

## INFLUÊNCIA DO TRATAMENTO TÉRMICO NA APLICAÇÃO DE TORQUE EM UM SOQUETE DE IMPACTO TIPO JUNTA UNIVERSAL


### INFLUENCE OF HEAT TREATMENT ON TORQUE APPLICATION ON A UNIVERSAL JOINT IMPACT SOQUETE


Recebido em: 28/09/2025

Reenviado em: 22/01/2026

Aceito em: 24/02/2026

Publicado em: 29/03/2026

Jefferson Augusto de carvalho Benedito<sup>1</sup>   
Centro Universitário Senai de São Paulo

Leandro Cardoso da Silva<sup>2</sup>   
Centro Universitário Senai de São Paulo

**Resumo:** Este artigo científico trata da análise de um soquete de impacto do tipo junta universal, utilizado para apertar e desapertar porcas e parafusos com alto torque em diversas indústrias, como automobilismo, aviação e montadoras. O dispositivo utilizado no estudo é um soquete de impacto com encaixe quadrado de 25,4 milímetros em conformidade com a norma DIN 3121, e um encaixe sextavado 17 milímetros. O soquete possui uma junta universal capaz de transmitir movimento de um ponto de origem a um ponto de destino, utilizando uma cruzeta para conexão entre eixo de entrada (encaixe quadrado 25,4mm) e eixo de saída (encaixe sextavado 17mm), permitindo uma flexibilidade de posicionamento em diversas direções sem afetar o sentido de rotação. O material utilizado no projeto foi o aço cromo molibdênio SAE 4140, devido à sua boa temperabilidade, resistência mecânica, resistência à fratura e resistência à fadiga. O objetivo do estudo é avaliar a capacidade de transmissão de torque em função do posicionamento da junta universal (0°, 30° e 45°), e verificar a influência do tratamento térmico no fator de segurança, considerado para este estudo o valor mínimo de 1,2. Para isso, foram realizados testes de torção em posições e durezas distintas, utilizando o software SolidWorks para o desenvolvimento do modelo sólido e o software ANSYS para a realização dos testes por elementos finitos. Os resultados das análises mostraram que os tratamentos térmicos e a posição da junta universal afetam diretamente a capacidade de atuação do soquete. Quanto maior a defasagem angular entre os eixos, maior a tensão operante na cruzeta e menor o torque transmitido na saída, ou seja, a restrição angular de 45° mostrou-se mais crítica em virtude da diminuição do torque transmitido e o aumento da tensão atuante na cruzeta. Esse estudo é importante para aprimorar a eficiência dos soquetes de impacto utilizados nas indústrias, garantindo uma maior confiabilidade na aplicação do torque em porcas e parafusos de alta exigência, além de contribuir para a redução de falhas e custos. Com esses resultados, pode-se utilizar essas informações em novos projetos futuros de soquetes de impacto, que apresentem melhorias em suas características e desempenho.

**Palavras-chave:** Junta Universal; SAE 4140; Tratamento Térmico; Torque; Fator de Segurança.

**Abstract:** This scientific article analyzes a universal joint impact socket used to tighten and loosen nuts and bolts with high torque in various industries, such as automotive, aviation, and assembly plants. The device used in the study is an impact socket with a 25.4mm square drive in accordance with DIN 3121 and a 17mm hex drive. The socket has a universal joint capable of transmitting movement from a starting point to a finishing point, using a crosshead to connect the input shaft (25.4mm square drive) and output shaft (17mm hex drive), allowing flexible positioning in various directions without affecting the direction of rotation. The material used in the design was SAE 4140 chrome molybdenum steel, due to its good hardenability, mechanical strength, fracture toughness, and fatigue resistance. The objective of this study is to evaluate the torque transmission capacity as a function of the universal joint positioning (0°, 30°, and 45°) and to verify the influence of heat treatment on the safety factor, considering a minimum value of 1.2 for this study. To this end, torsion tests were performed in different positions

<sup>1</sup> Aluno do Programa de Pós-graduação Projetos de Mecânica Industrial pelo Centro Universitário Senai SP. E-mail: 03jevilu@gmail.com

<sup>2</sup> Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade de São Paulo. Centro Universitário SENAI SP e Faculdade de Tecnologia (FATEC). E-mail: leandro.cardoso@sp.senai.br



and at different hardness levels, using SolidWorks software to develop the solid model and ANSYS software for finite element testing. The analysis results showed that heat treatments and the universal joint position directly affect the socket's actuation capacity. The greater the angular offset between the shafts, the greater the operating stress on the crosshead and the lower the torque transmitted at the output. In other words, the 45° angular restriction proved to be more critical due to the decrease in transmitted torque and the increase in acting stress on the crosshead. This study is important for improving the efficiency of impact sockets used in industry, ensuring greater reliability in the application of torque to highly demanding nuts and bolts, in addition to contributing to the reduction of failures and costs. These results can be used in future impact socket designs that offer improvements in their characteristics and performance.

**Keywords:** Universal Joint; SAE 4140; Heat Treatment; Torque; Safety Fator.

## INTRODUÇÃO

Os soquetes são acessórios amplamente utilizados nas indústrias, facilitando a execução de aperto e desaperto de porcas e parafusos. Há diversos tipos de soquetes, os mesmos são classificados segundo a sua aplicabilidade, dentre os quais tem-se o soquete curto, soquete padrão e soquete longo, distintamente aplicados em lugares onde requer um alcance específico do item a ser fixado ou solto (Silva, 2019).

O emprego de forças maiores utilizando equipamentos como apertadeiras, catraca pneumática, torquímetros, entre outros, necessita-se de um tipo de soquete específico, denominado de soquete de impacto. Segundo Jiwtoe e Raut (2014), o soquete de impacto tem por finalidade aguentar os esforços aplicados sobre ele, ou seja, há um intervalo de valores de torque onde essa ferramenta pode atuar de maneira segura, sem atingir a indesejável quebra.

Este artigo baseia-se em um soquete de impacto do tipo junta universal, o aço utilizado foi o SAE 4140. Foram levantados dados sobre a relação do valor de torque máximo em função da dureza e posição angular do soquete, visando a integridade do mesmo estipulou-se um fator de segurança de 1.2 para realização dos testes. A microestrutura do aço é de suma importância para a caracterização de suas propriedades, para a obtenção de melhorias realiza-se um processo chamado tratamento térmico, controlando o aquecimento e resfriamento é possível atingir qualidades desejáveis para uma aplicação específica (Salão Internacional de Ensino, Pesquisa E Extensão, 2020).

Observou-se que a temperatura de revenimento tem uma grande influência no valor da dureza, conseqüentemente coopera para o aumento do limite de escoamento, intervindo diretamente na possibilidade de aumentar o torque aplicado, afirma Silva (2012).

O modelo 3D do produto foi modelado no software Solidworks, já para a obtenção dos dados referentes aos testes efetuados, usou-se o software ANSYS.

De acordo com Augustini (2022), o software ANSYS é amplamente utilizado em diversas áreas, tornando a tarefa de análise de elementos finitos um fator crucial para aquisição de dados, através dos quais é possível fazer melhorias contínuas.



## REVISÃO DE LITERATURA

Durante a elaboração deste artigo foram realizadas pesquisas pertinentes ao comportamento do aço SAE 4140 submetido a testes de torção. Objetivando a melhoria de suas propriedades, realizou-se pesquisas sobre o efeito dos elementos liga na composição do aço e a melhoria de suas propriedades com a aplicação de tratamentos térmicos, possibilitando assim o levantamento dos dados de torque em função do melhoramento das propriedades.

## A IMPORTÂNCIA DO AÇO

O aço é de suma importância para o crescimento econômico de muitos países. A produção do aço é responsável pela transformação de vidas, isso devido a empregabilidade gerada neste setor. Com o aumento da demanda na esfera siderúrgica, encontrou-se necessidade de redução nos custos de fabricação, investindo em estruturação econômica e ampliação dos setores industriais (Costa; Escorsim; Costa, 2007).

O mercado ferro/aço no Brasil, teve sua inicialização em meados do século XX, impulsionado pelo crescimento industrial entre 1917 e 1930, não era por menos, pois, a fonte de inspiração “é caseira” encontrava-se nos minérios de Minas Gerais (BRASIL, 2019).

Ainda com a contribuição de Brasil (2019), observou-se o avanço siderúrgico ao longo dos anos, apontando os anos de 1937, 1950 e 1991, respectivamente com volume de produção de 50 mil toneladas, 788 mil toneladas e por fim 19,5 milhões de toneladas, esses dados demonstram a expansão do setor siderúrgico do Brasil, esse contendo o maior parque industrial da América do Sul, e apontado como o maior produtor da América Latina.

Segundo Bélgica (2022), o Brasil está entre os top 10 dos maiores produtores de aço do mundo, ocupando a posição de número 9, destacando-se em primeiro lugar encontra-se a China. Fazendo uma comparação do volume de produção do aço entre os países citados anteriormente no período de novembro de 2022, a China registrou 74,5 milhões de toneladas de aço produzidos, já o Brasil, catalogou 2,6 milhões de toneladas. A nível mundial, tendo como referência o período já citado, somando-se a produção de todos os países reportados ao World Steel Association, foram registrados 139,1 milhões de toneladas.

Por fim, Pannoni (2007) destaca que o aço é um elemento indispensável à vida, ainda que muitas vezes atue de forma discreta, quase invisível. Ele se faz presente em inúmeros aspectos do cotidiano, como ferros de passar roupas, escorredores de louça, dobradiças e elevadores, revelando-se, na realidade, o verdadeiro protagonista. Sua presença impulsiona o



desenvolvimento e o crescimento econômico, ao mesmo tempo em que contribui para a melhoria contínua da qualidade de vida.

#### **SAE 4140**

A aplicação dos materiais metálicos está presente em diversos ramos da indústria, quando comparados com os polímeros, cerâmicos e compósitos, o aço se destaca em sua usabilidade em diferentes áreas, tornando assim o material mais difundido e aplicável na indústria, empregado na fabricação de dispositivos, eixos, engrenagens, entre outros (Pinedo, 2021).

O SAE 4140 faz parte dos aços que recebem beneficiamento, ou seja, são submetidos à tratamentos térmicos, os mesmos têm por finalidade melhorar as suas propriedades mecânicas em função de sua aplicação, tendo por característica a mesclagem de resistência mecânica, ductilidade e tenacidade (Machado; Louzada, 2022).

De acordo com BEPLER (2016), a composição química do SAE 4140 o define como aço cromo-molibdênio, os elementos de liga contidos nas estruturas dos aços influenciam diretamente na ampliação da dureza, resistência e temperabilidade do material. A dureza e resistência estão relacionados a atuação desses elementos químicos como formadores de carbonetos.

O sistema de classificação do aço imposto pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), NBR (Norma Brasileira) e NM (Norma MERCOSUL) 87, em geral, classifica os aços com um conjunto de quatro algarismos, os mesmos definem a família e a composição do carbono em centésimos de porcentagem (Costa e Silva; Mei, 2021).

Ainda com contribuição de Costa e Silva e Mei (2021), é possível destacar a quantidade em porcentagem dos elementos de liga do cromo, molibdênio e carbono, respectivamente 0,5 ou 0,9, 0,12 ou 0,2 e 0,4. O aço SAE 4140 contém mais elementos de liga, porém, não foram descritos, dando ênfase aos elementos já descritos.

#### **EFEITOS DOS ELEMENTOS DE LIGA: CARBONO, MOLIBDÊNIO E CROMO**

Segundo Silva (2020), os elementos de liga são estabilizadores das fases austenita e ferrita, essas integram o diagrama ferro-carbono, elas diferenciam-se em suas estruturas cristalinas, sendo a fase ferrita CCC (cúbico de corpo centrado) e a austenita CFC (cúbico de face centrada).

Dentre os variados benefícios do carbono, pode-se apontar o auxílio na formação da fase martensita após um rápido resfriamento do aço (Rodrigues, 2025). Segundo Vilela *et al.* (2019), a fase martensita é influenciada pela taxa de resfriamento, confirmando assim a veracidade da informação contida no trabalho de Rodrigues (2025). Com a contribuição de Braga (2005), constata-se que o carbono é o principal elemento de endurecimento.

Conforme Costa e Silva e Mei (2021), o elemento molibdênio colabora para a formação de partículas resistentes à abrasão, aumenta a dureza a quente, aumenta a resistência a fluência e a quente, aumenta a temperatura do crescimento do grão na austenita, entre outros.

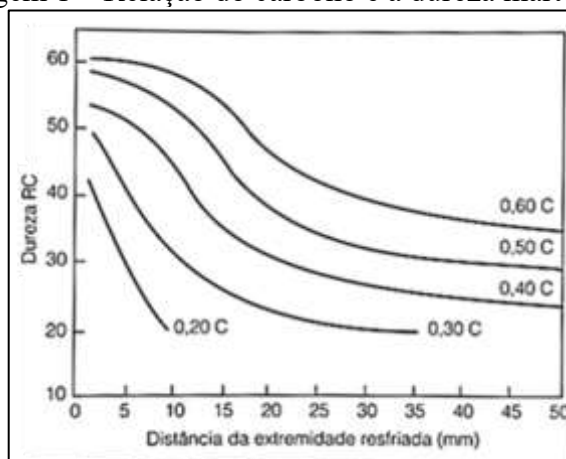
Por fim, o elemento cromo, dentre muitas funções de importância, auxilia no melhoramento da resistência à corrosão, aumento da resistência à alta temperatura, consequentemente contribui para a melhora da têmpera, alcança maior durabilidade em relação ao desgaste e dentre outros aumenta a resistência à tração (Braga, 2005).

## TRATAMENTO TÉRMICO

O tratamento térmico é um processo que envolve o aquecimento e o resfriamento de materiais metálicos sob condições cuidadosamente controladas de temperatura, tempo e taxa de resfriamento. Seu principal objetivo é promover alterações na microestrutura do material, resultando em modificações nas propriedades mecânicas, que podem ser aumentadas ou reduzidas conforme a necessidade (Da Costa *et al.*, 2024).

Segundo Tchicusse (2025), a têmpera tem como metodologia a aceleração do resfriamento de um aço aquecido em sua temperatura de austenitização. A eficácia do endurecimento tem uma relação direta ao meio de resfriamento, os quais podem ser por meio aquoso, óleo, ar ou soluções poliméricas.

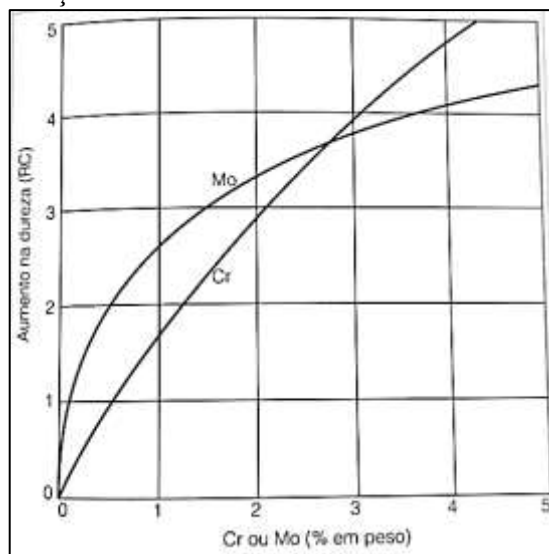
Imagem 1 – Relação do carbono e a dureza martensita.



Fonte: Costa e Silva e Mei (2021).

Como pode ser visto na Imagem 1, a dureza martensita é diretamente proporcional ao teor de carbono.

Imagem 2 – Relação do cromo e molibdênio com a dureza martensita.

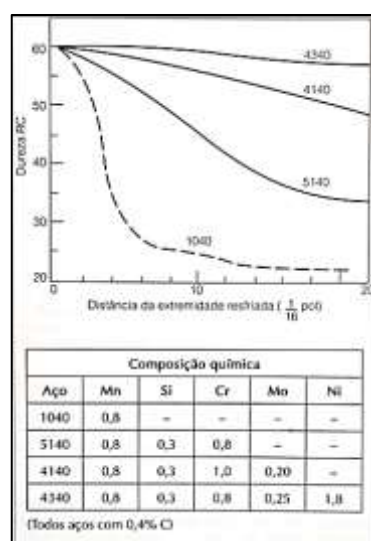


Fonte: Costa e Silva e Mei (2021).

Análogo a Imagem 1, a Imagem 2 também descreve que o aumento da dureza martensita é diretamente proporcional aos teores de cromo e molibdênio contidos na estrutura do aço. A Imagem 1 tem total concordância com as informações colhidas de Braga (2005), onde a mesma diz que o carbono é o elemento principal para o endurecimento do aço.

A afirmação de Beppler (2016) contrasta com a Imagem 3, essa demonstra claramente a influência dos elementos de liga contidos nas estruturas de quatro aços distintos, também fornece informações sobre os teores dos mesmos, repare que para ambos os aços, a quantidade de carbono é aproximadamente 0,4%.

Imagem 3 – Influência dos elementos de liga na dureza.

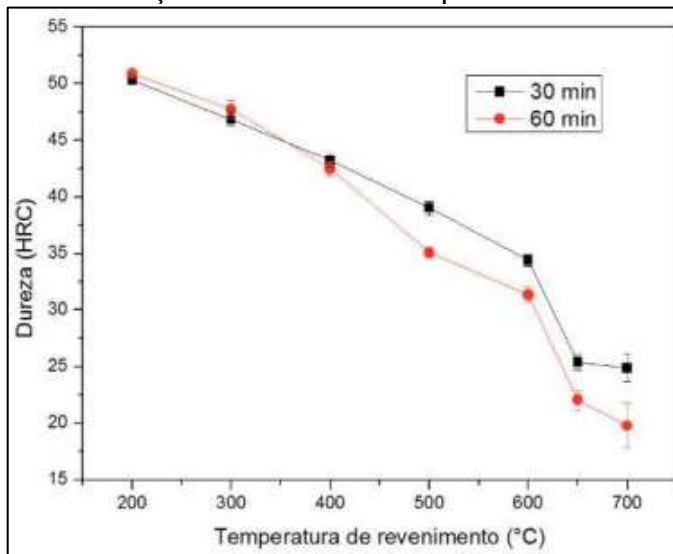


Fonte: Costa e Silva e Mei (2021).

## REVENIMENTO

O tratamento de revenimento é feito posteriormente à têmpera, isso devido as tensões residuais e baixa tenacidade provinda da mesma. Sendo assim, o revenimento é de suma importância para a obtenção de melhorias nas propriedades mecânicas e influência na microestrutura dos aços (Ladeira *et al.*, 2017).

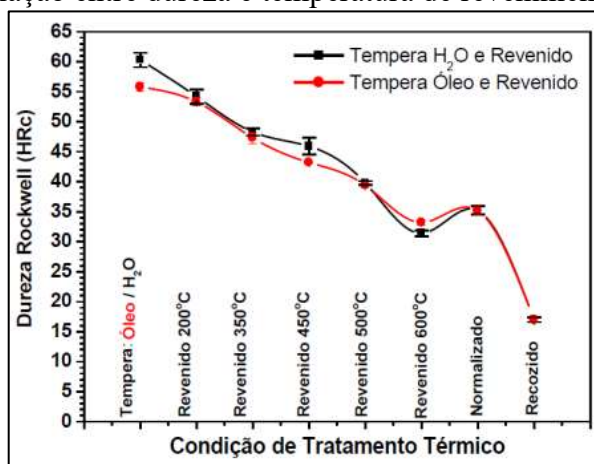
Imagem 4 – Relação entre dureza e temperatura de revenimento.



Fonte: Ladeira *et al.* (2017).

Como pode ser visto na Imagem 4, a dureza tem uma relação inversamente proporcional a temperatura de revenimento, ou seja, quanto menor a temperatura, maior a dureza obtida. Como já descrito acima, este artigo se ateve a utilização do aço SAE 4140, sendo assim, veja na Imagem 5 as informações sobre a relação dureza e temperatura de revenimento do aço em questão, levantadas por Rios, Do Amaral e Souza (2016).

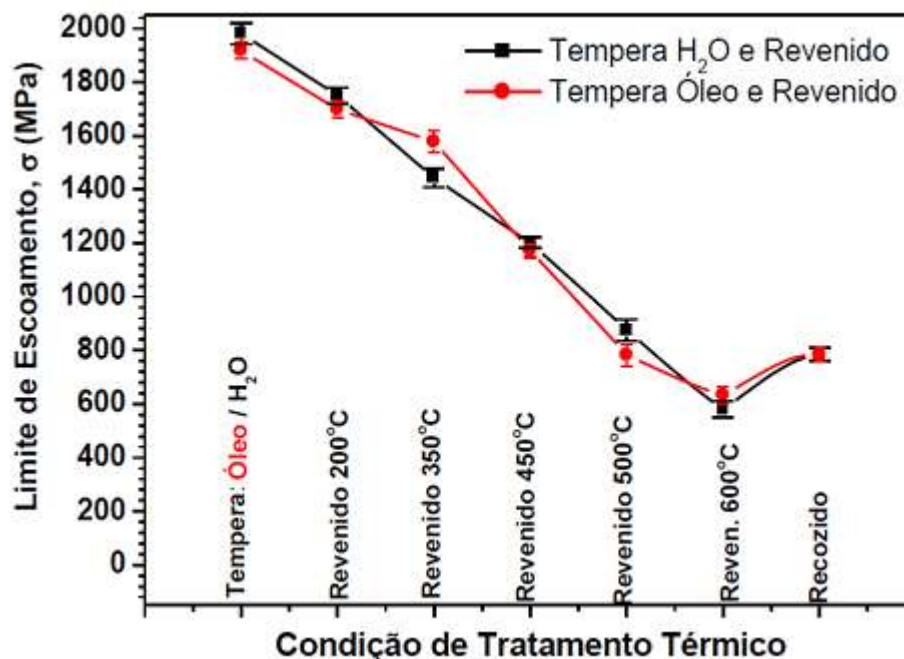
Imagem 5 – Relação entre dureza e temperatura de revenimento do SAE 4140.



Fonte: Rios, Do Amaral e Souza (2016).

Ainda com a contribuição de Rios, Do Amaral e Souza (2016), pode-se observar que a temperatura de revenimento não influencia apenas na dureza do material, essa também auxilia na alteração dos valores de limites de escoamento, veja as informações contidas na Imagem 6:

Imagem 6 – Influência da temperatura de revenimento no limite de escoamento.



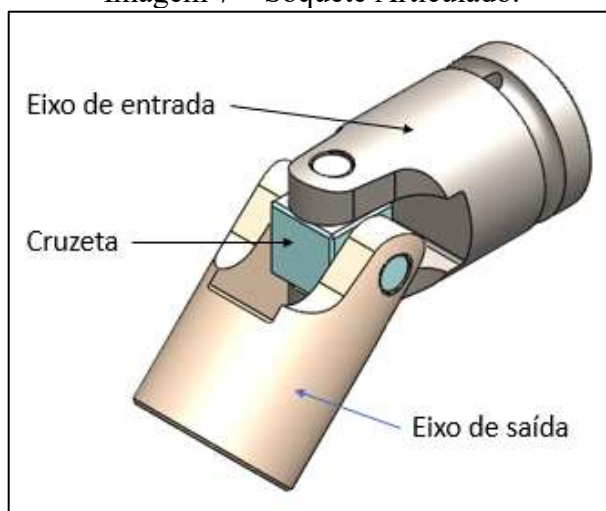
Fonte: Rios, Do Amaral e Souza (2016).

## JUNTA UNIVERSAL

A junta universal tem por finalidade a transmissão de movimento entre eixos que se dispõem em desalinhamento um ao outro. As suas características de construção garantem a transferência de movimento rotativo sem alteração do sentido de rotação inicial, esse empregado no eixo de entrada (Ferreira Júnior; Vilar, 2020).

Ainda com a contribuição de Ferreira Júnior e Vilar (2020), pode-se verificar que a junta universal é constituída de pelo menos três principais componentes, os quais são: eixo de entrada, eixo de saída e cruzeta. Esse mesmo autor aponta dentre tantas aplicações de junta universal a utilização deste sistema em ferramentas do tipo soquete articulado, o qual é o tema central deste artigo.

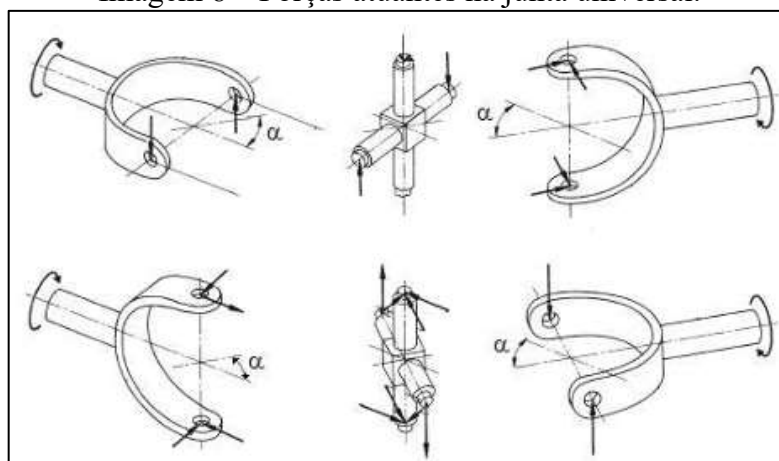
Imagem 7 – Soquete Articulado.



Fonte: elaborado pelos autores (2025).

Conforme os apontamentos de Simionato (2022), não há regularidade ao movimento rotativo de entrada em relação ao movimento rotativo de saída, isso quando os eixos estão em desalinhamento angular, conforme a Imagem 7. Devido a inconsistência desses movimentos, os valores de torque de entrada são distintos dos valores de torque de saída, na literatura o nome desse erro é denominado de gimbal. Já os dados levantados por Pires (2014), estão de total acordo com Simionato (2022), indicam que há diferença entre o movimento de rotação aplicado no eixo motor e o movimento de rotação que chega ao eixo movido, esse comportamento se dá em função do desalinhamento entre os eixos. Os dados demonstram que a rotação do eixo movido é proporcionalmente afetada em virtude da defasagem angular entre os eixos. Essas informações estão de total acordo com os resultados encontrados nas simulações realizadas para posicionamentos angulares distintos, trazendo assim veracidade ao método de análise.

Imagem 8 – Forças atuantes na junta universal.



Fonte: Pires (2014).

## CRUZETA

Esse item é de suma importância, pois o mesmo tem a função de acoplar o eixo motor com o eixo movido, garantindo assim a transmissão de movimento e torque produzidos no eixo de origem. Além da transmissão de movimento, a cruzeta também possibilita o desalinhamento angular entre os eixos (Ramos, 2024).

Segundo informações colhidas do trabalho realizado por Lopes (2024), a cruzeta é o componente mais importante de uma junta universal, isso devido a ser o item que mais sofre oscilações de forças atuantes. Esses indicativos validam os resultados da simulação computacional feita para o presente artigo.

## TORQUE

Para Santos *et al.* (2025), o torque é compreendido por uma força aplicada em uma certa distância de origem com a finalidade de rotacionar um elemento em torno do seu próprio eixo, pode-se apresentar o torque como a resultante do produto da força pela distância  $T = F * d$ .

T = Torque

F = Força aplicada

d = Distância do centro ao ponto de aplicação da força

De acordo com Hibbeler (2010, p. 125), “torque é um momento que tende a torcer um elemento em torno de seu eixo longitudinal”. Ainda com a contribuição do mesmo autor, há uma certa preocupação em projetos de eixos, isso devido aos resultados causados quando são submetidos a toques. Através do trabalho apresentado por De Amorim (2024) com o título de “Avaliação de parâmetros de resistência ao cisalhamento de rejeito de mineração de ferro através de ensaios de campo”, é possível observar que por meio da aplicação de torque surge uma força paralela sobre uma seção transversal da haste, essa denominada tensão de cisalhamento. Segundo Ramos (2024, p. 13), “Quando em operação, a cruzeta está sob cargas de torque, flexão, axiais, radiais e cisalhamento. Portanto, a fabricação deste componente deve contar com materiais de alta resistência mecânica”.

Como pode ser visto acima, ambos os autores De Amorim e Ramos (2024) consentem a respeito do surgimento da tensão de cisalhamento provinda da aplicabilidade de um torque. Dentre outros estudos, o presente artigo estuda a transmissão de toque sobre um parafuso ou porca, utilizando para este fim uma ferramenta denominada soquete do tipo junta universal, sendo assim, é de extrema importância o apontamento da tensão de cisalhamento em decorrência do torque.



## PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Esta seção descreve os procedimentos e abordagens para a obtenção dos objetivos propostos neste estudo, quali-quantitativa, que tem por finalidade analisar o comportamento da aplicação de torque sobre um parafuso ou porca em distintas posições ( $0^\circ$ ,  $30^\circ$  e  $45^\circ$ ), utilizando para este fim uma ferramenta denominada de soquete do tipo junta universal, obtida por modelagem 3D, e averiguar da mesma forma as melhorias e as performances da ferramenta em função do tratamento térmico com o auxílio de simulação computacional.

## MODELO 3D

O modelo sólido tridimensional do soquete de impacto do tipo junta universal, com encaixe de 25,4mm (em conformidade com a norma DIN 3121) e boca 17 milímetros, foi desenvolvido utilizando o software SolidWorks. Esta etapa garantiu a representação precisa das dimensões e geometrias da ferramenta, fundamental para a fidelidade das simulações.

## DEFINIÇÃO DO MATERIAL

O material escolhido para o soquete foi o aço cromo-molibdênio SAE 4140. A seleção foi baseada nas suas propriedades de boa temperabilidade, resistência mecânica, resistência à fratura e resistência à fadiga, características essenciais para aplicações que envolvem alto torque e esforços dinâmicos. Para a execução das simulações foram considerados três estados do material, esses podem ser vistos na Tabela 2.

## PARÂMETROS DE SIMULAÇÃO E CONDIÇÕES DE CONTORNO

A análise do comportamento do soquete tipo junta universal em relação ao torque aplicado e ao limite de escoamento, em virtude dos tratamentos térmicos com distintas temperaturas de revenimento, foram realizados utilizando o software ANSYS, um ambiente de simulação por elementos finitos (MEF). As simulações foram configuradas com base nos seguintes parâmetros e condições:

1. **Varição angular da junta universal:** As análises foram conduzidas em três posições angulares distintas  $0^\circ$ ,  $30^\circ$  e  $45^\circ$
2. **Varição de dureza (Tratamento térmico):** Foram simuladas diferentes condições de dureza do material, correspondentes a distintos tratamentos térmicos de revenimento. Os valores de dureza foram correlacionados com o limite de escoamento do SAE 4140, conforme dados da literatura (Rios, Do Amaral e Souza, 2016), para avaliar a influência do tratamento térmico ao fator de segurança.



3. **Fixação e restrições:** O sextavado de 17 milímetros localizado no eixo movido, foi considerado com condições de contorno fixado, já as demais condições foram divididas entre restrições de movimentos e acoplamento entre as partes
4. **Aplicação de torque:** Foi considerado um valor de torque fixo (600Nm), com o intuito de analisar o torque transmitido na saída e as nuances dos distintos fatores de segurança em virtude do limite de escoamento, tendo como referência aceitável um fator de segurança de 1,2, esse já descrito na introdução.
5. **Análise de tensão:** A simulação destinou-se aos valores de tensões para os distintos limites de escoamento, se atendo a cruzeta, onde foram encontradas maiores oscilações das tensões. As deformações não foram levadas em consideração, pois, o fator de segurança é a variável de maior importância.

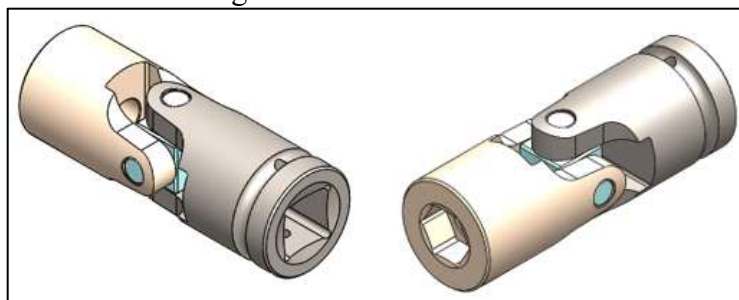
## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Esta seção apresenta os resultados obtidos nas simulações de torção do soquete de tipo junta universal, realizados por meio do software ANSYS. Serão detalhados os impactos das distintas posições ( $0^\circ$ ,  $30^\circ$  e  $45^\circ$ ) de aplicação de torque e a variação dos fatores de segurança em virtude do tratamento térmico revenimento em diferentes temperaturas, essas temperaturas influenciam diretamente nos valores de dureza do material.

## SIMPLIFICAÇÃO DO MODELAMENTO 3D

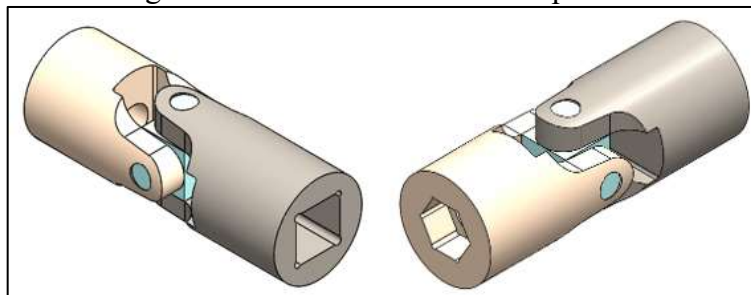
Para efetuar a simulação por elementos finitos, foi necessário realizar a simplificação do modelamento 3D, removendo assim partes desnecessárias que não influenciariam nos resultados e auxiliariam no processamento computacional.

Imagem 9 – Modelamento 3D.



Fonte: elaborado pelos autores (2025).

Imagem 10 – Modelamento 3D simplificado.

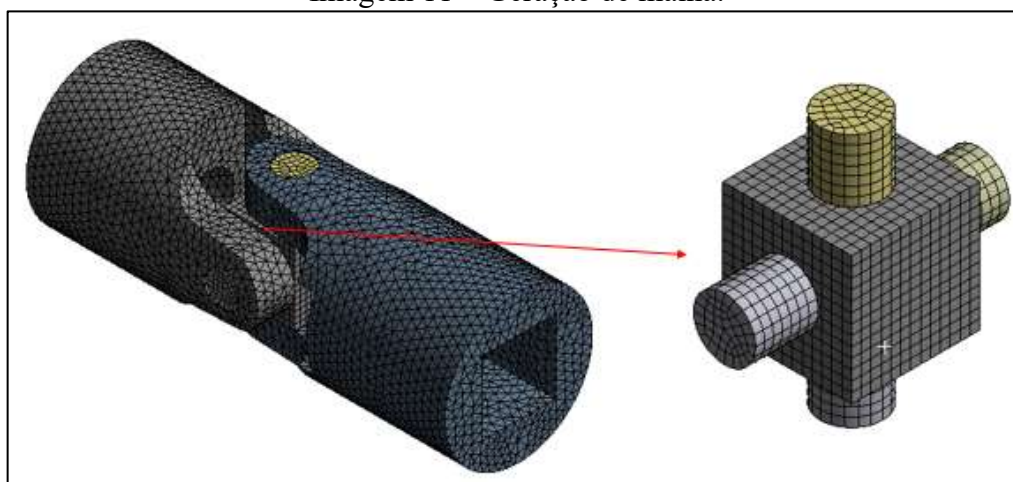


Fonte: elaborado pelos autores (2025).

## DETALHAMENTO DA MALHA

Utilizou-se como parâmetros de simulação malhas com elementos tetraédricos e hexaédricos, para o ambos os eixos foram utilizados malhas tetraédricas, já para a cruzeta devido a necessidade de melhorias da qualidade da malha, a escolha foi malha hexaédrica.

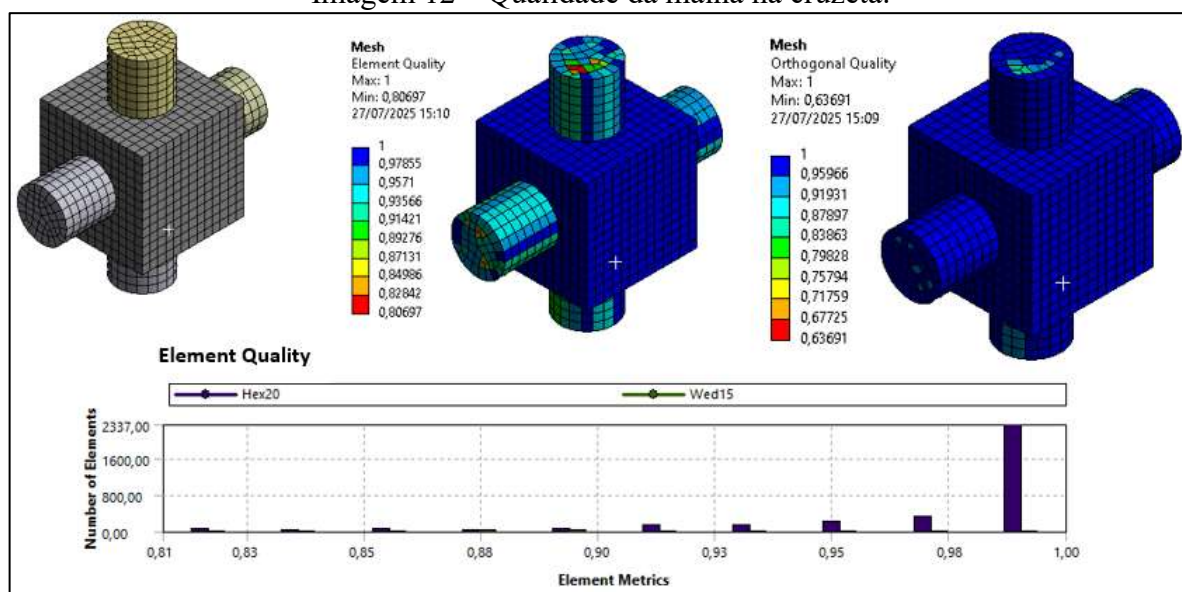
Imagem 11 – Geração de malha.



Fonte: elaborado pelos autores (2025).

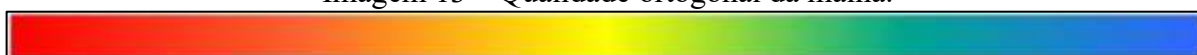
A malha tem grande influência nos resultados e convergência na simulação, sendo assim, para haja mais assertividade as malhas são submetidas à parâmetros de qualidade, dentre os quais tem-se o Element Quality e a Orthogonal Quality, ambos têm um range que varia entre 0 e 1, aquele indica qualidade ruim e esse indica qualidade perfeita (Azevedo, 2023).

Imagem 12 – Qualidade da malha na cruzeta.



Fonte: elaborado pelos autores (2025).

Imagem 13 – Qualidade ortogonal da malha.

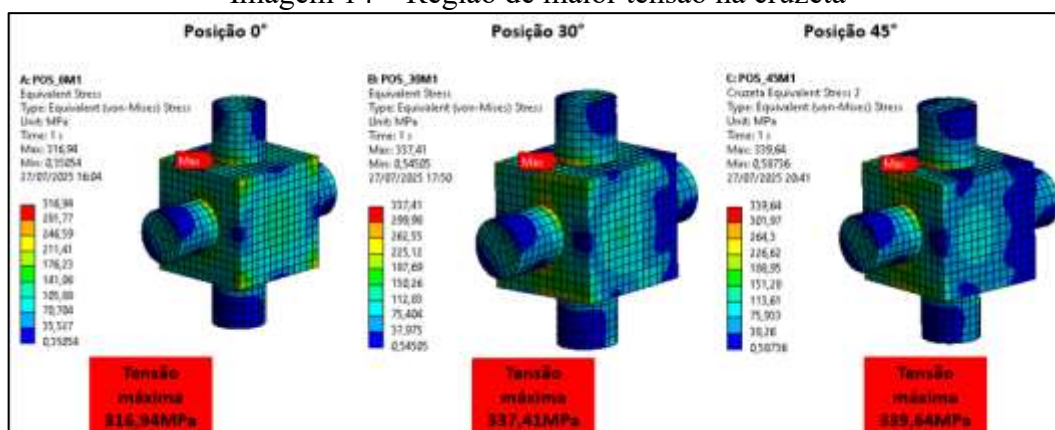
					
Unacceptable	Bad	Acceptable	Good	Very good	Excellent
0-0.001	0.001-0.14	0.15-0.20	0.20-0.69	0.70-0.95	0.95-1.00

Fonte: Azevedo (2023).

Como pode ser visto na Imagem 12 e Imagem 13, a qualidade da malha na região de maior tensão na cruzeta, conforme mostrado na Imagem 14, está entre muito boa a excelente, dando mais confiabilidade nos resultados encontrados.

## VARIAÇÃO DA TENSÃO NA CRUZETA EM FUNÇÃO DOS POSICIONAMENTOS DISTINTOS

Imagem 14 – Região de maior tensão na cruzeta



Fonte: elaborado pelos autores (2025).

Na Imagem 14, pode-se ver claramente que a tensão é diretamente proporcional ao ângulo (0°, 30° e 45°) de posicionamento entre os eixos. A Tabela 1 informa os significados dos símbolos contidos nas imagens.

Tabela 1 – Significado dos possíveis símbolos encontrados nas imagens.

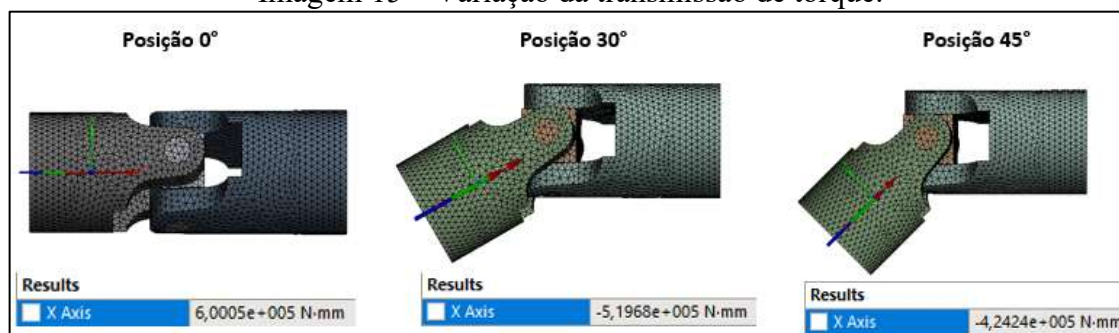
SÍMBOLOS	SIGNIFICADOS
POS_0M1	Material recozido / Defasagem angular entre os eixos 0°
POS_30M1	Material recozido / Defasagem angular entre os eixos 30°
POS_45M1	Material recozido / Defasagem angular entre os eixos 45°
POS_0M2	Material renenido à 650°C / Defasagem angular entre os eixos 0°
POS_30M2	Material renenido à 650°C / Defasagem angular entre os eixos 30°
POS_45M2	Material renenido à 650°C / Defasagem angular entre os eixos 45°
POS_0M3	Material renenido à 205°C / Defasagem angular entre os eixos 0°
POS_30M3	Material renenido à 205°C / Defasagem angular entre os eixos 30°
POS_45M3	Material renenido à 205°C / Defasagem angular entre os eixos 45°

Fonte: elaborado pelos autores (2025).

## INFLUÊNCIA DA POSIÇÃO ANGULAR DA JUNTA UNIVERSAL NO TORQUE TRANSMITIDO

As simulações revelaram que o posicionamento angular da junta universal tem um impacto direto na transmissão de torque, o valor de torque na saída (boca 17 milímetros) do soquete de tipo junta universal se mostrou inversamente proporcional ao deslocamento angular, ou seja, quanto maior a defasagem angular, menor o torque transmitido na saída.

Imagem 15 – Variação da transmissão de torque.



Fonte: elaborado pelos autores (2025).

Os dados da Imagem 15 estão concernentes com as informações de Lopes (2024), onde o mesmo relaciona o torque de saída pelo produto do torque de entrada com o cosseno do ângulo de inclinação que a junta universal está posicionada  $T_f = T_i * \cos\beta$ .

$T_f$  = Torque aplicado  
 $T_i$  = Torque Transmitido  
 $\cos\beta$  = Ângulo entre os eixos

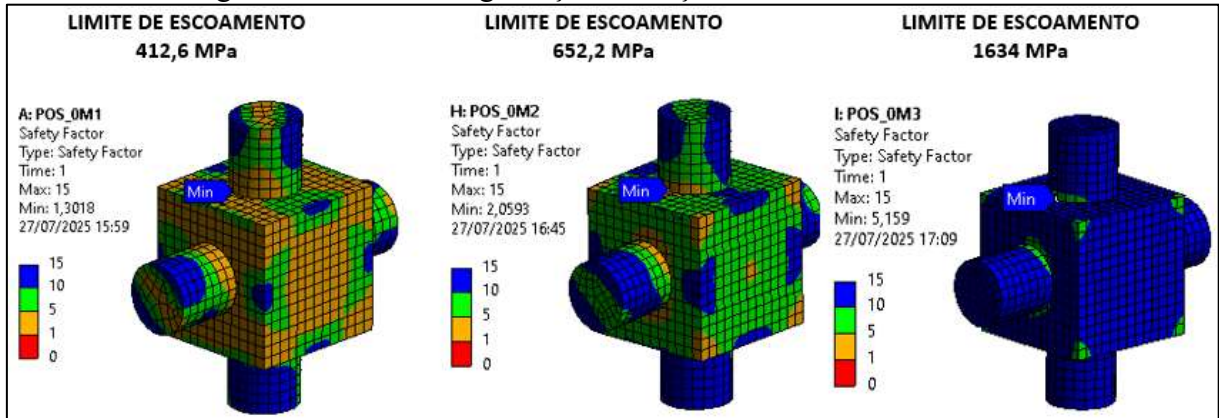
O torque transmitido é prejudicado à medida que o ângulo de atuação do soquete aumenta. Conforme observado na Imagem 15, o menor torque transmitido foi de 424,24Nm, ocorrendo uma perda de aproximadamente 29,29% em relação ao torque aplicado (600Nm).

Nas simulações realizadas não foram encontradas mudanças relevantes na transmissão de torque em função dos estados dos materiais, recozido, revenido à 650°C e revenido à 205°C, sendo assim não houve necessidade de indicá-los na Imagem 15. Matematicamente os torques transferidos estão coerentes, validando assim as condições de contornos configuradas no software ANSYS.

## FATOR DE SEGURANÇA EM FUNÇÃO DO LIMITE DE ESCOAMENTO

De acordo com a contribuição de Rios, Do Amaral e Souza (2016) e De Camargo *et al.* (2023), pode-se dizer que as propriedades dos materiais podem interferir no fator de segurança, esse se relacionando diretamente com o limite de escoamento.

Imagem 16 - Fator de segurança em função do limite de escoamento.



Fonte: Elaborada pelo autor (2025).

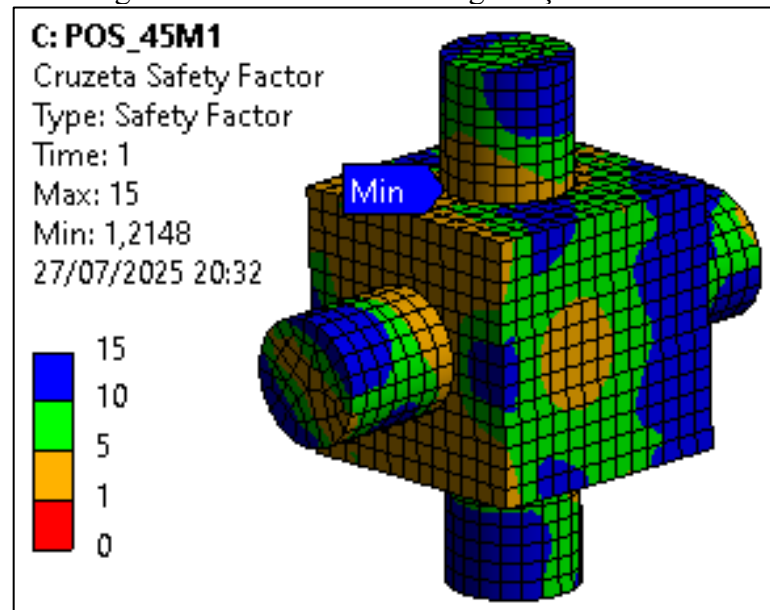
Os limites de escoamento descritos na Imagem 16 são dados referentes do software ANSYS, esses dados estão bem aproximados das informações encontradas no catálogo da Gerdau (2003).

Tabela 2 – Limites de escoamento em função do estado do material.

ESTADO DO MATERIAL	LIMITE DE ESCOAMENTO
Recozido	412,6Mpa
Revenido à 650°C	652,2Mpa
Revenido à 205°C	1634Mpa

Fonte: elaborado pelos autores (2025).

Imagem 17 – Menor fator de segurança encontrado.



Fonte: elaborado pelos autores (2025).

O menor fator de segurança encontrado nas simulações foi de 1,2148, conforme indicado na Imagem 17.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo investigou a influência do tratamento térmico na aplicação de torque em um soquete de impacto tipo junta universal e a capacidade de transmissão de torque em diferentes posicionamentos angulares. Os resultados obtidos pelas simulações em ANSYS, utilizando o aço SAE 4140, revelaram dois pontos críticos e complementares.

Primeiramente, a análise demonstrou uma perda significativa na transmissão de torque, diretamente proporcional ao aumento da defasagem angular da junta universal. Especificamente, a restrição angular de 45° mostrou-se a condição mais crítica, resultando em maior tensão operante na cruzeta e menor torque transmitido na saída. Essa constatação é fundamental e sugere que, para aplicações que demandam alta precisão de torque final, o soquete tipo junta universal pode não ser a escolha mais adequada, dada a inconsistência na transmissão de torque em ângulos maiores.

Em segundo lugar, foi comprovada a melhoria do fator de segurança em função do tratamento térmico de revenimento. A variação das temperaturas de revenimento impactou diretamente o limite de escoamento do material, conferindo maior resistência à ferramenta e, consequentemente, um fator de segurança mais elevado. Este achado ressalta a importância da escolha e do controle do tratamento térmico na fabricação desses componentes, garantindo maior confiabilidade e durabilidade em ambientes industriais de alta exigência.

Em suma, embora o soquete tipo junta universal ofereça flexibilidade de posicionamento, seu uso para aplicações de torque final deve ser reavaliado. Os dados sugerem a necessidade de considerar alternativas ou aprimoramentos para mitigar a perda de torque em ângulos acentuados. Para trabalhos futuros, recomenda-se a realização de um estudo focado no projeto de juntas universais otimizadas, que possam minimizar ou eliminar essa perda de torque, garantindo uma transmissão mais linear e eficiente, mesmo em condições de desalinhamento angular. Tal pesquisa poderia contribuir para o desenvolvimento de ferramentas mais robustas e confiáveis para a indústria.

## REFERÊNCIAS

AUGUSTINI, Jacqueline Matsuda. **Análise da eficiência no desenvolvimento de competências em disciplinas abordando materiais por meio do software ANSYS granta edupack® na língua portuguesa.** São Bernardo do Campo: Researchgate, 2022. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Julio-Dutra-3/publication/362528426>. Acesso em: 17 mar. 2023.

AZEVEDO, Lucas Vinícius da Silva. **Otimização topológica aplicada em pedal de freio de um veículo OFF-ROAD.** 2023. 57 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em



Engenharia Mecânica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2023.  
Disponível em:

<https://riut.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/33709/1/otimizacaotopologicapedalfreio.pdf>. Acesso em: 29 jul. 2025.

BÉLGICA. Worldsteel. **Produção de aço bruto em novembro de 2022**. Bruxelas: Worldsteel Association, 2022. Disponível em: <https://worldsteel.org/media-centre/press-releases/2022/november-2022-crude-steel-production/>. Acesso em: 24 mar. 2023.

BEPPLER, Rhafael. **Comparação da revelação entre reagentes metalográficos monocromáticos e de coloração nos aços SAE 1045, 4140, 52100, 304 e 420**. Orientador: Alexandre Galiotto. 2016. 65 f. Monografia (Tecnólogo em Fabricação Mecânica) – Instituto Federal de Santa Catarina, Jaraguá do Sul, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ifsc.edu.br/handle/123456789/278>. Acesso em: 12 mar. 2024.

BRAGA, Lincoln Ferreira. **Simulação Computacional por Elementos Finitos do Processo de Forjamento em Matriz fechada de Rodas SAE 4140 de Utilização em Ponte Rolante**. 2005. 128 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005. Disponível em: [https://bib.pucminas.br/teses/EngMecanica\\_BragaLF\\_1.pdf](https://bib.pucminas.br/teses/EngMecanica_BragaLF_1.pdf). Acesso em: 20 jul. 2025.

BRASIL. Instituto Aço Brasil. **História do Aço**. [S. l.], 2019. Disponível em: <https://acobrasil.org.br/site/historia-do-aco/>. Acesso em: 23 mar. 2023.

COSTA, Verlaine Lia; ESCORSIM, Sérgio; COSTA, Deneive Leonor. Processo produtivo e produção de aço: a inserção do Grupo Gerdau S.A. no cenário mundial. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE ADMINISTRAÇÃO, 20., 2007, Ponta Grossa. **Anais [...]**. Ponta Grossa: ADM, 2007. v. 1, p. 1-7. Disponível em: [http://ri.uepg.br/riuepg/bitstream/handle/123456789/778/EVENTO\\_Processo%20produtivo.pdf](http://ri.uepg.br/riuepg/bitstream/handle/123456789/778/EVENTO_Processo%20produtivo.pdf). Acesso em: 22 mar. 2023.

COSTA E SILVA, André Luiz V.; MEI, Paulo Roberto. **Aços e Ligas Especiais**. 4. ed. rev. São Paulo: Blucher, 2021.

DA COSTA, José Endreo Baracho *et al.* Análise do efeito do tratamento térmico de precipitação do aço patinável USISAC350. **Observatorio de la Economía Latinoamericana**, Curitiba, v. 22, n. 1, 2024. Disponível em: <https://ojs.observatoriolatinoamericano.com/ojs/index.php/olel/article/view/1843/1961>. Acesso em: 20 jul. 2025.

DE AMORIM, Isadora. **Avaliação de parâmetros de resistência ao cisalhamento de rejeito de mineração de ferro através de ensaios de campo**. 2024. 99 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil de Infraestrutura) – Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2024. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.edu.br/bitstream/handle/123456789/262249/TCC%20-%20ISADORA%20DE%20AMORIM%20%20.pdf>. Acesso em: 24 jul. 2025.

FERREIRA JÚNIOR, Albeni Gurgel; VILAR, Zoroastro Torres. **Projeto de uma junta universal de transmissão para veículo baja**. 2020. 10 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Rio



Grande do Norte, 2020. Disponível em:

<https://repositorio.ufersa.edu.br/server/api/core/bitstreams/1bf69d7a-c44a-41b9-b029-aca8a5862c7/content>. Acesso em: 21 jul. 2025.

GERDAU. **Catálogo Gerdau**: Manual de aços. São Paulo: GERDAU, 2003. Disponível em: [https://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariamecanica/maprotec/catalogo\\_acos\\_gerdau.pdf](https://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariamecanica/maprotec/catalogo_acos_gerdau.pdf). Acesso em: 29 jul. 2025.

HIBBELER, Russell Charles. **Resistência dos materiais**. 7. ed. São Paulo: Pearson, 2010. 637 p.

JIWTODE, Vinay L.; RAUT, Laukik P. Wear of impact socket: A review. **International Journal For Scientific Research & Development**, [s. l.], v. 2, n. 9, p. 652-655, set. 2014. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/268851806>. Acesso em: 15 mar. 2023.

LADEIRA, Dayanni Gonçalves *et al.* Avaliação do revenimento na dureza e microestrutura do aço AISI 4340. **Vértices**, Campos dos Goytacazes, v. 19, n. 2, 2017. Disponível em: <https://www.redalyc.org/journal/6257/625768699007/html/>. Acesso em: 21 jul. 2025.

MACHADO, Diana dos Santos; LOUZADA, Gabriel Grillo. **Análise de dureza dos aços AISI 4140 e AISI 4340 submetidos as mesmas condições de têmpera e revenimento**: um projeto virtual. Orientador: Sayd Farage David. 2022. 41 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Instituto Federal do Espírito Santo, Cachoeiro de Itapemirim, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ifes.edu.br/handle/123456789/1904>. Acesso em: 12 mar. 2024.

PANNONI, Fábio Domingos. **Princípios da proteção de estruturas metálicas em situação de corrosão e incêndio**. 4. ed. [S. l.]: Gerdau Açominas, 2007. Disponível em: [https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/62242308/manual\\_corrosao](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/62242308/manual_corrosao). Acesso em: 24 mar. 2023.

PINEDO, Carlos Eduardo. **Tratamentos térmicos e superficiais dos aços**. São Paulo: Blucher, 2021. 326 p. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br/Leitor/Publicacao/194687/epub/0>. Acesso em: 01 abr. 2023.

PIRES, Henrique Oliveira de Almeida. **Projeto de junta cardan para veículo agrícola**. 2014. 60 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014. Disponível em: <https://bdta.abcd.usp.br/directbitstream/4660eadb-dcd7-4a5c-b6b7-358e79d2fc34>. Acesso em: 22 jul. 2025.

RAMOS, Fabrício Becom. **Simulação computacional aplicada ao processo de forjamento de uma cruzeta**. 2024. 40 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2024. Disponível em: <https://repositorio.unipampa.edu.br/server/api/core/bitstreams/64be32f6-24a8-402b-ae33-bf82dbb0cfa5/content>. Acesso em: 23 jul. 2025.

RIOS, Carlos Triveño; DO AMARAL, Mariana P.; SOUZA, Evellyn S. Influência de tratamentos térmicos na microestrutura e propriedades mecânicas do aço SAE 4140. *In*:



CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, 22., 2016, Rio Grande do Norte. **Anais [...]**. Rio Grande do Norte: [s. n.], 2016. p. 1-12. Disponível em: <https://www.metallum.com.br/22cbecimat/anais/PDF/304-264.pdf>. Acesso em: 21 jul. 2025.

RODRIGUES, Matheus de Souza. **Avaliação do impacto dos inibidores voláteis de corrosão na eficiência do processo de retificação**. 2025. 87 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Bauru, 2025. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/88022843-6c08-4ea6-bca1-d0fc94cc4d55/content>. Acesso em: 20 jul. 2025.

SALÃO INTERNACIONAL DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO, 9., 2017, Santana do Livramento. **Análise microestrutural e ensaio mecânico de aço SAE 4140 submetido a tratamento térmico de têmpera**. [S. l.]: UNIPAMPA, 2020. Disponível em: [https://guri.unipampa.edu.br/uploads/evt/arq\\_trabalhos/13482/seer\\_13482.pdf](https://guri.unipampa.edu.br/uploads/evt/arq_trabalhos/13482/seer_13482.pdf). Acesso em: 15 mar. 2023.

SANTOS, Felipe Eduardo Mendes de Oliveira *et al.* Análise da relação torque-força em juntas aparafusadas: Fatores de influência e implicações. **Contemporânea**, Rio de Janeiro, v. 5, n. 6, p. 1-30, 2025. Disponível em: <https://ojs.revistacontemporanea.com/ojs/index.php/home/article/view/8347/5812>. Acesso em: 24 jul. 2025.

SILVA, Erica Marcelino Freitas de Souza. **Análise microestrutural, mecânica e eletroquímica do AIA 316l nas formas de chapa e tubo soldado por tig autógeno**. 2020. 95 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica) – Universidade Federal Fluminense, Volta Redonda, 2020. Disponível em: <https://ppgem.uff.br/wp-content/uploads/sites/127/2021/09/06Analise-microestrutural.pdf>. Acesso em: 20 jul. 2025.

SILVA, Nivea Brito da. **Desenvolvimento de método para especificação de ferramentas (soquetes e extensões) durante análise virtual de montagem dos veículos na indústria automotiva**. 2019. 18 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Gestão da Manutenção) – Centro Universitário SENAI CIMATEC, Salvador, 2019. Disponível em: <http://repositoriosenaiba.fieb.org.br/bitstream/fieb/1480/1/NIVEA%20BRITO%20DA%20SILVA.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2023.

SILVA, Silvio Eduardo Teixeira Pinto da. **Análise das propriedades mecânicas e estruturais do aço SAE 4140 submetido a tratamento criogênico**. 2012. 103 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais) – Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2012. Disponível em: <https://uenf.br/posgraduacao/engenharia-de-materiais/wp-content/uploads/sites/2/2013/07/DISSERTA%C3%87%C3%83O-FINAL-5.pdf>. Acesso em: 22 mar. 2023.

SIMIONATO, Murilo. **Avaliação estrutural de um cardan rígido industrial aplicado na transmissão de movimento entre eixos perpendiculares**. 2022. 59 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ucs.br/xmlui/bitstream/handle/11338/10900/TCC%20Murilo%20Simionato.pdf>. Acesso em: 21 jul. 2025.



TCHICUSSE, Daniel Chiongo. Avaliação dos efeitos do tratamento térmico de têmpera no aço hadfield com resfriamento em água e óleo: Estudo com dente de caçamba reaproveitado. **Research, Society and Development**, [s. l.], v. 14, n. 6, 2025. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/49040/38429>. Acesso em: 20 jul. 2025.

VILELA, Larissa de Barros Machado *et al.* Efeito da taxa de resfriamento sobre a formação de martensita em um aço inoxidável ferrítico com 11 %Cr e baixos teores de intersticiais. **Matéria**, Rio de Janeiro, v. 24, n. 1, 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rmat/a/TJFC8MKZqFpkH8QttvYwRxJ/?format=html>. Acesso em: 20 jul. 2025.