



ANÁLISE COMPARATIVA DO AÇO 1045 LAMINADO, SEM E COM TRATAMENTO TÉRMICO A ÓLEO, PARA APLICAÇÕES EM CHUTES DE ESTEIRAS TRANSPORTADORAS

Pedro Henrique Menegaro Possamai¹

Natan Damian Crozetta²

Rauan Venancio Martins³

Ricardo Nunes⁴

Anderson Daleffe⁵

Alexandre Rocha⁶

Jamille Langbehn⁷

Henrique Cechinel Casagrande⁸

Resumo: atualmente, o aço é amplamente utilizado em diversas aplicações industriais devido às suas propriedades mecânicas adaptáveis. O aço AISI 1045, utilizado em diversas aplicações industriais, pode ter suas propriedades mecânicas ajustadas por meio de tratamentos térmicos. Esses processos controlados de aquecimento e resfriamento visam otimizar as propriedades físicas e mecânicas do material de acordo com as exigências da aplicação. O presente estudo teve como objetivo avaliar os efeitos do tratamento térmico nas propriedades de dureza e resistência do aço AISI 1045, amplamente utilizado em engenharia. Para isso, foi utilizado aço AISI 1045 laminado, que passou por um processo de têmpera com resfriamento em óleo e água. Após o tratamento, as amostras foram submetidas a testes de dureza e resistência à tração. Os resultados mostraram um aumento significativo na resistência à tração em comparação com o material não temperado, e a dureza foi elevada de 160 HV1 para 490 HV1 após o tratamento térmico.

Palavras-chave: Tratamento térmico; Aço SAE 1045; Esteiras transportadoras.

1 INTRODUÇÃO

A mineração desempenha um papel fundamental no cenário econômico do Brasil, sendo um dos principais motores de crescimento e desenvolvimento do país [1]. A abundância de recursos minerais e a crescente demanda por commodities no mercado global impulsionaram investimentos no setor, exigindo tecnologias e processos cada vez mais eficientes para atender às demandas de produção em larga escala. A industrialização tem se expandido continuamente ao longo das décadas, impulsionada pela necessidade de maior produtividade e pela aceleração dos processos em diversos setores [2]. A indústria metal mecânica evolui a cada dia e se torna mais competitiva no mercado de trabalho que exige ao extremo produtos de qualidade, custo competitivo e sustentabilidade [3].



O aço é o material mais versátil entre as ligas metálicas, e é produzido em grande variedade de tipos e formas, para atender eficazmente a determinadas aplicações. Esta variedade decorre da necessidade de ininterruptas adequações dos produtos, às exigências do mercado que pede aplicações específicas, sejam elas nas mudanças das propriedades mecânicas, na composição química, ou até mesmo na forma final do material [4].

O aço é um material fornecido em diferentes graus, formas, tamanhos e condições. Apresentam boas propriedades mecânicas, como usinabilidade, propriedades de impacto, soldabilidade e alta resistência. Por isso, tem inúmeras aplicações industriais. Além disso, suas propriedades físicas e mecânicas podem ser alteradas por tratamento térmico para diferentes usos. Muitos pesquisadores realizaram várias investigações experimentais para estudar o efeito de diferentes processos de tratamento térmico nas propriedades mecânicas do aço. O tratamento térmico geralmente é feito para alterar as propriedades mecânicas e físicas dos metais. Especialmente a dureza, resistência ao impacto, resistência à tração e a ductilidade do aço carbono podem ser modificadas por tratamento térmico [5].

Entre os diversos tratamentos térmicos, destaca-se a têmpera, cujo principal objetivo é promover o endurecimento dos aços por meio do resfriamento rápido, resultando na formação de martensita. A martensita é uma solução sólida supersaturada de carbono no ferro alfa, com estrutura tetragonal de corpo centrado, obtida por uma transformação adi fusional e praticamente instantânea. Essa transformação ocorre por escorregamento localizado, sendo impulsionada pela diferença de energia livre entre a matriz e a fase martensítica. Em termos morfológicos, a martensita forma placas ou agulhas, o que contribui diretamente para a elevada dureza final do aço [6, 7, 8].

O tratamento térmico de recozimento se faz necessário para fornecer melhores características de ductilidade e resistência ao material que acaba de ser deformado. Esse tratamento térmico anulará parcialmente (ou até mesmo totalmente) os efeitos do trabalho a frio, a fim de que o aço possa ser utilizado em procedimentos de fabricação que exigem uma extensa deformação plástica, como a deformação extra profunda, dando continuidade no processo de conformação sem a ocorrência de uma fratura ou um consumo excessivo de energia [9].



A normalização nos aços (metal base) tem por objetivo refinar e homogeneizar a estrutura do aço, conferindo-lhe melhores propriedades que as obtidas no recozimento. O resfriamento, após austenitização, é geralmente ao ar, a normalização é usada para homogeneizar a sua estrutura fundida (normalização ou recozimento) e aliviar tensões, seja na fundição ou na soldagem [10].

Os ensaios para caracterização de amostras são fundamentais para avaliar suas propriedades físicas, químicas e mecânicas, garantindo a adequação aos requisitos de projeto e aplicação. No caso de amostras metálicas, esses ensaios permitem identificar a composição química, microestrutura, resistência mecânica, dureza, tenacidade e outras características essenciais para o desempenho em diferentes condições operacionais [11, 12].

Assim, o presente estudo foi conduzido para analisar o efeito de processo de tratamento térmico nas propriedades mecânicas do aço AISI 1045, os resultados da avaliação das têmperas realizadas foram obtidos por meio de ensaio mecânico destrutivo de tração e de dureza, enquanto dados adicionais, como as análises metalográficas, para examinar a morfologia e a estrutura do material, foram complementados com informações provenientes de referências literárias.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para garantir a produção de componentes com a qualidade desejada, torna-se fundamental selecionar o material e o processo de tratamento térmico mais adequados. Neste estudo comparativo entre diferentes processos, foi utilizada uma chapa de aço AISI 1045 para a retirada dos corpos de prova. Os corpos de prova foram cortados a 0°, 45° e 90° em relação ao sentido de laminação da chapa, assegurando uniformidade no material analisado, para os materiais com tratamento térmico foi utilizado corpos de prova que foram cortados a 0° em relação ao sentido de laminação. A Tab. 1 apresenta a composição química do aço AISI 1045 utilizado no experimento.



Tabela 01 - Composição química aço AISI 1045.

Elementos	Teor em massa (%)
Carbono (C)	0,42 a 0,50
Manganês (Mn)	0,60 a 0,90
Fósforo (P)	Máx. 0,040
Enxofre (S)	Máx. 0,050
Ferro (Fe)	Sobra para soma = 100%

Fonte: Adaptado da norma AISI 1045 (2024)

2.2 TÊMPERA

O processo de têmpera, o corpo de prova de aço AISI 1045 foi mantido no forno para o aquecimento a uma temperatura de 850 °C. Em seguida, essa temperatura foi mantida por duas horas para transformação completa em martensita. Depois disso, os corpos de prova foram retirados do forno, e foram submetidos a vários tipos de resfriamento como: óleo a 250°C e 550°C e em água a 250 °C e 550 °C.

2.3 RECOZIMENTO

Um processo de tratamento térmico de recozimento completo foi realizado aquecendo as amostras a uma temperatura de 850 °C e, em seguida, manteve as amostras nessa temperatura por uma hora para que o material pudesse se transformar em austenita. Depois disso, os corpos de prova foram resfriados apenas dentro do forno.

2.4 NORMALIZAÇÃO

Para normalizar, os corpos de prova foram mantidos na temperatura do recozimento, ou seja, 850 °C por duas horas, seguido por uma rápida taxa de resfriamento ao ar livre. O tempo de espera na temperatura de normalização permite que a microestrutura mude.



2.5 ENSAIOS MECÂNICOS

Após o tratamento térmico, o corpo de prova foi limpo com lixa e um pedaço de pano para remover partículas indesejadas. A amostra tratada também foi verificada visualmente quanto a rachaduras e distorções. Depois disso, as amostras foram levadas para os diferentes ensaios mecânicos executados, conforme explicados abaixo.

2.5.1 Tração

Para verificar a resistência à tração de cada amostra com e sem tratamento térmico, o teste de tração foi realizado em uma máquina de tração mecânica modelo Emic DL-10000, com sua capacidade máxima de 10 KN, os corpos de prova foram cortados com dimensões conforme norma técnica ASTM E8 – 04. Cada amostra foi mantida na mandíbula da máquina com o arranjo de fixação adequado. Em seguida, o teste de tração foi realizado até o limite de fratura e os valores de carga máxima foram anotados.

2.5.2 Dureza

Dureza é uma propriedade mecânica cujo conceito está relacionado à resistência que um material apresenta ao risco ou à deformação permanente quando pressionado por outro material ou por marcadores padronizados. A dureza Vickers (HV), método escolhido para o ensaio, utiliza um único tipo de penetrador que consiste em uma pirâmide regular de diamante com base quadrada e ângulo entre as faces opostas iguais a 136°. O valor da HV é determinado pela razão entre a carga aplicada (kgf) e a área superficial da impressão (mm²). Análise foi realizada com o equipamento SHIMADZU HMV-G e software HMV-G. Sendo efetuadas 5 endentações em pontos distintos e conferência de resultado de acordo com a norma ASTM E140-07.

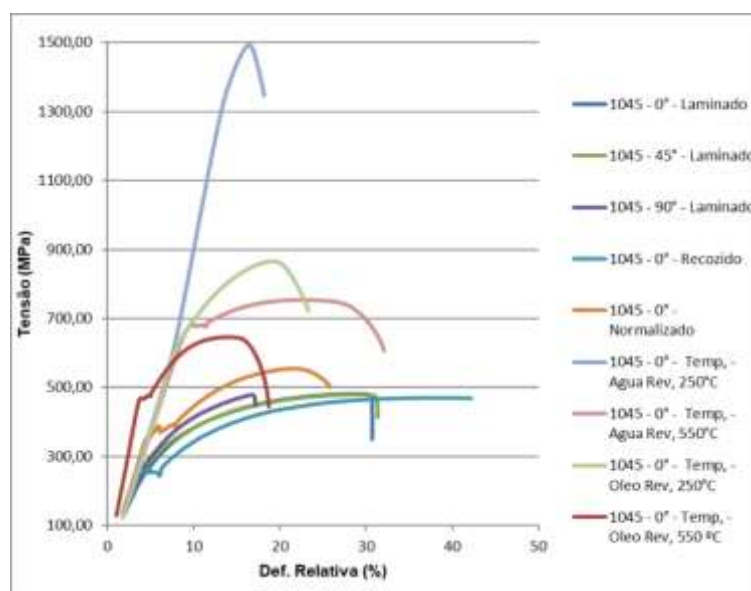
2.5.3 Metalografia

Com o objetivo de garantir que as propriedades dos corpos de prova estivessem em conformidade com a norma SAE 1045, na condição de laminado e temperado, foram conduzidos ensaios metalográficos para complemento dos ensaios de tração e dureza. A análise de microestrutura e caracterização de metais e ligas foi realizada através da técnica de Microscopia Óptica, utilizando um microscópio Olympus BX51M. A preparação das amostras seguiu os procedimentos estabelecidos na norma ASTM E3-11, com ataque químico nital 2,0%.

3 ANÁLISE DOS DADOS

As amostras após seus devidos preparos foram testadas quanto à resistência a tração e dureza. Como é possível perceber no gráfico 1, a relação de tensão e deformação específica, os corpos de prova estudados possuem um comportamento dúctil.

Gráfico 01 - Tensão x deformação específica.



Fonte: Do autor (2024)



Observando a tabela 02 que origina o gráfico 01, observasse que os corpos de prova com tratamento térmico obtiveram valores de resistência a tração superiores aos sem tratamento térmico.

Tabela 02 – Resultados ensaio de tração.

Condições	Tensão Max. (MPa)	Tensão Esc. (MPa)
1045 - 0° - Laminado	482,3	235,8
1045 - 45° - Laminado	479,6	142,6
1045 - 90° - Laminado	427,4	254,2
1045 - 0° - Recozido	468,4	260,2
1045 - 0° - Normalizado	542,3	360,0
1045 - 0° - Rev. Temp. Água 250°C	1496,9	1329,0
1045 - 0° - Rev. Temp. Água 550°C	760,8	674,7
1045 - 0° - Rev. Temp. Óleo 250°C	859,7	639,1
1045 - 0° - Rev. Temp. Óleo 550°C	646,1	467,1

Fonte: Dos autores (2024)

Para o ensaio de dureza Vickers foi utilizado uma carga de 9,807 N, os valores de dureza médio são mostrados na tabela 03. Como podemos observar os valores de dureza para o aço laminado foi inferior, aos das amostras com tratamento térmico, sendo a amostra com revenimento e temperada a água que apresentou a maior dureza.

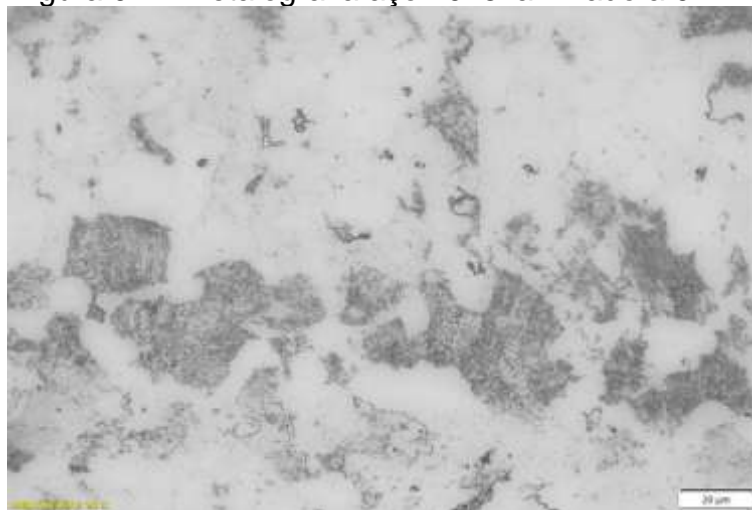
Tabela 03 – Dureza média das amostras.

Condições	Dureza (HV1)
1045 - 0° - Laminado	≈ 160
1045 - 45° - Laminado	≈ 160
1045 - 90° - Laminado	≈ 160
1045 - 0° - Recozido	≈ 187
1045 - 0° - Normalizado	≈ 190
1045 - 0° - Rev. Temp. Água 250°C	≈ 490
1045 - 0° - Rev. Temp. Água 550°C	≈ 224
1045 - 0° - Rev. Temp. Óleo 250°C	≈ 270
1045 - 0° - Rev. Temp. Óleo 550°C	≈ 234

Fonte: Dos autores (2024)

Como podemos observar na figura 01, onde ela apresenta a metalografia do aço 1045 laminado sem tratamento térmico, ele apresenta a formação de fases de ferrita e perlita bem delimitadas e grãos formados, morfologia característica de um aço carbono. Como é característica do processo de laminação os grãos apresentam um alongamento bem delimitado na direção em que o material foi laminado.

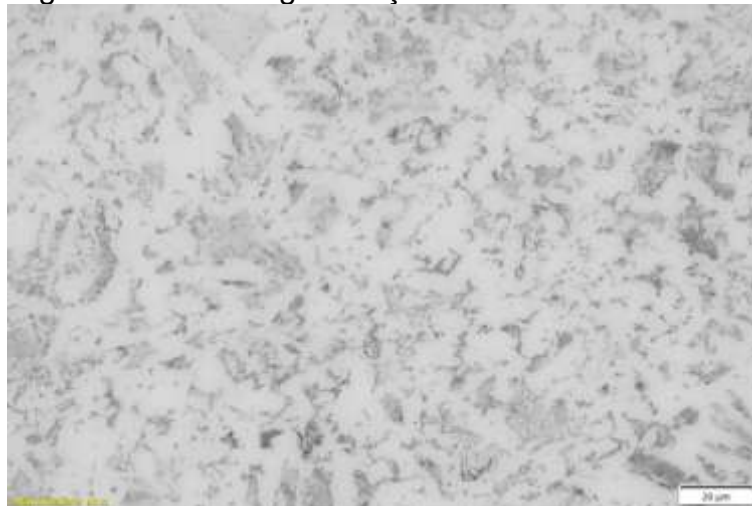
Figura 01 – Metalografia aço 1045 laminado a 0°.



Fonte: Dos autores (2024)

Na figura 02, observasse a metalografia do aço 1045 normalizado, que é composto, por perlita, com uma estrutura de camadas de ferrita e cementita. A estrutura do grão é refinada e uniformizada pelo processo de normalização, o que melhora as propriedades do material.

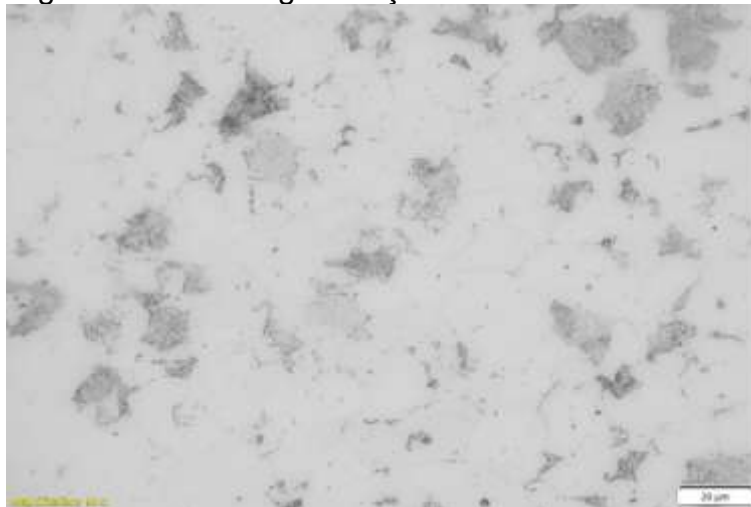
Figura 02 – Metalografia aço 1045 laminado a 0° normalizado.



Fonte: Dos autores (2024)

A figura 03, apresenta a metalografia do aço 1045 recozido, que é caracterizado por uma matriz de ferrita, com quantidade reduzida de perlita e cementita, devido ao aquecimento controlado e resfriamento lento.

Figura 03 – Metalografia aço 1045 laminado a 0° recozido.



Fonte: Dos autores (2024)

Analisando as figuras 04, 05, 06 e 07 que apresentam a metalografia do aço 1045 laminado com tratamento térmico a 850 °C e tempera em óleo, ele apresenta a formação homogênea de fases de ferrita e perlita, com início de formação de martensita. Que é uma característica do processo de tempera deste aço. Características essas que explicam os resultados mais elevados nos ensaios de tração e dureza.

Figura 04 – Metalografia aço 1045 laminado a 0° revenido e temperado a água a 250°C.



Fonte: Dos autores (2024)

Figura 05 – Metalografia aço 1045 laminado a 0° revenido e temperado a água a 550°C.



Fonte: Dos autores (2024)

Figura 06 – Metalografia aço 1045 laminado a 0° revenido e temperado a óleo a 250°C.



Fonte: Dos autores (2024)

Figura 07 – Metalografia aço 1045 laminado a 0° revenido e temperado a óleo a 550°C.



Fonte: Dos autores (2024)

4 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos neste estudo experimental, pode-se concluir que os processos de tratamento térmico e a taxa de resfriamento têm um grande efeito nas propriedades mecânicas do aço AISI 1045. As seguintes conclusões foram tiradas do estudo.

Na metalografia do aço AISI 1045, a amostra com tratamento térmico em óleo, obteve a formação de martensita, o que agregou grande dureza ao material, diferenciando da amostra que não foi feito tratamento térmico;

Os resultados obtidos pelo tratamento indicaram não apenas o aumento de resistência do material, aço AISI 1045, mas também o aumento elevado de dureza dos diferentes corpos de provas analisados;

Portanto, considerando o custo-benefício e as propriedades mecânicas, o aço AISI 1045 temperado e resfriado em óleo se apresenta como uma solução eficaz para a fabricação de componentes de esteiras transportadoras, especialmente em aplicações que exigem alta resistência ao desgaste e longevidade do material.

REFERÊNCIAS

- [1] Conheça a história das Correias Transportadoras. correiasmercurio, 2022. Disponível em:



<<https://www.correiasmercurio.com.br/historiadascorreiastransportadoras/#:~:tex=O%20registro%20das%20primeiras%20correias,sobre%20superf%C3%ADcies%20planas%20de%20madeira>>.

[2] Quaresma, L. F. Balanço mineral brasileiro 2001. Disponível em: <<https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/dnpm/paginas/balanco-mineral/arquivos/balanco-mineral-brasileiro-2001-ferro>>.

[3] Bonifacio, D. C., Milanez, A., Daleffe, A., Possamai, P. H. M., Casagrande, H. C., De March, G. Determinação de lote mínimo para viabilização de uma célula para soldagem robotizada em uma indústria de implementos agrícolas. Rev. Vincchi, vol. 9, n. 2, p. 205-225, 2024.

[4] CENTRO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO EM AÇO. Aços Estruturais. Rio de Janeiro. CBCA, 2014. Disponível em: <<https://www.cbca-acobrasil.org.br/site/acos-estruturais.php>>.

[5] SUSHMA, Singh; SUSHANT, Samir; KHUSHMEET, Kumar; SASHANK, Thapa. Efeito dos processos de tratamento térmico nas propriedades mecânicas do aço AISI 1045. 2021. Disponível em: <Efeito dos processos de tratamento térmico nas propriedades mecânicas do aço AISI 1045 – ScienceDirect>

[6] Braga, C. Análise da dureza e microestrutura dos aços AISI D2 e AISI D6 submetidos a têmpera convencional e tratamento criogênico. (Monografia de graduação). Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.

[7] Colpaert, H. Metalografia dos produtos siderúrgicos comuns. 4 ed. São Paulo: Blücher, 2008.

[8] Callister, W. D. Fundamentos da ciência e engenharia de materiais: uma abordagem integrada. 2 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

[9] Fieto, B. M. Evolução da microestrutura e das propriedades mecânicas de aços if tratados termo mecanicamente. (Monografia de graduação). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

[10] Soares, J. P., Terrones, L. A. H., Paranhos, R. Efeito dos Tratamentos Térmicos de Normalização e de Solubilização na Microestrutura de uma Junta Dissimilar Soldada entre um Tubo de Aço API 5L X-52 e o Inconel 625. Rev. Soldagem e Inspeção, vol. 22, p. 357-373, 2017.

[11] Possamai, P. H. M., Daleffe, A., Casagrande, H. C., Ferreira, C. A., Schaeffer, L., Bilessimo, L. D. Estudo do processo de manufatura aditiva por fusão localizada para ligas E71T-1 E ER70S-6. Rev. De Gestão Social e Ambiental, Miami, vol. 19, n. 7, p. 1-14, 2025.

[12] Casagrande, H. C., Daleffe, A., Martins, H., De March, G., Milanez, A., Possamai, P. H. M., Langbehn, J. T. Caracterização microestrutural e de micro dureza para o arame tubular UTP AF LEDURIT 60 impressos através da técnica de manufatura aditiva por arco elétrico. Rev. Vincchi, vol. 9, n. 2, p. 622-638, 2024.



AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao Centro Universitário - UNISATC pelo apoio à pesquisa por meio do uso de suas instalações laboratoriais e à Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina - FAPESC pelo apoio financeiro para a compra de equipamentos e suprimentos de pesquisa.