



## Comparação de desempenho entre o aço ASTM A-36 com revestimento duro e cementação e o aço SAE 8620

Jamile Thön Langbehn<sup>1</sup>

Anderson Daleffe<sup>2</sup>

Davi Borges Vieira<sup>3</sup>

Henrique Cechinel Casagrande<sup>4</sup>

Vânia Medeiros Ribeiro<sup>5</sup>

Pedro Henrique Menegaro Possamai<sup>6</sup>

Paulo Eduardo Cecacci de Lion<sup>7</sup>

**Resumo:** O desgaste abrasivo representa um dos principais fatores de falha em componentes industriais, reduzindo a vida útil de máquinas e ferramentas. Em situações onde há combinação de abrasão superficial com esforços de impacto, são necessários tratamentos superficiais capazes de endurecer a região externa sem comprometer a tenacidade do núcleo. A cementação é amplamente utilizada nesse contexto, sendo o aço SAE 8620 uma das ligas de referência, embora apresente baixa disponibilidade em chapas no mercado nacional. Este estudo investigou o uso do aço ASTM A-36 como alternativa, aplicando-se um revestimento de aço inoxidável martensítico por soldagem, seguido de cementação. Foram conduzidos ensaios de microdureza, desgaste abrasivo com roda de borracha e análises metalográficas. Os resultados mostraram que a cementação foi efetiva no material de solda, promovendo modificações microestruturais relevantes. O corpo de prova soldado e cementado apresentou desempenho superior ao SAE 8620, demonstrando viabilidade de aplicação do ASTM A-36 em substituição, com potencial para ampliar a vida útil de peças de grande porte expostas a desgaste abrasivo.

**Palavras-chave:** Desgaste Abrasivo; Soldagem; Cementação; Aço Inoxidável.

### 1 INTRODUÇÃO

O entendimento dos fenômenos tribológicos possui papel fundamental na área da metalurgia. A tribologia investiga o comportamento da interação entre superfícies em contato, abrangendo processos como atrito, desgaste e lubrificação.

<sup>1</sup> Doutoranda, UFRGS, Centro Universitário UNISATC. E-mail: [jamile.thon@satc.edu.br](mailto:jamile.thon@satc.edu.br)

<sup>2</sup> Doutor, Centro Universitário UNISATC. E-mail: [anderson.daleffe@satc.edu.br](mailto:anderson.daleffe@satc.edu.br)

<sup>3</sup> Graduando, Centro Universitário UNISATC. E-mail: [davi.borges@satc.edu.br](mailto:davi.borges@satc.edu.br)

<sup>4</sup> Doutorando, UFSC. E-mail: [henrique\\_cechinel@hotmail.com](mailto:henrique_cechinel@hotmail.com)

<sup>5</sup> Mestranda, Centro Universitário UNISATC. E-mail: [vania.ribeiro@satc.edu.br](mailto:vania.ribeiro@satc.edu.br)

<sup>6</sup> Mestrando, Centro Universitário UNISATC. E-mail: [pedro.possamai@satc.edu.br](mailto:pedro.possamai@satc.edu.br)

<sup>7</sup> Graduando, Centro Universitário UNISATC. E-mail: [paulo\\_eduardo\\_lion@hotmail.com](mailto:paulo_eduardo_lion@hotmail.com)



Considera-se desgaste quando essa interação provoca a remoção de material de uma das superfícies. Entre os principais tipos de desgaste, destacam-se o abrasivo e o adesivo.

Na indústria, os processos de desgaste comprometem a durabilidade de componentes metálicos, exigindo substituições frequentes de ferramentas. Isso acarreta interrupções na produção, queda no rendimento e aumento de custos. Para elevar a resistência à abrasão das ligas metálicas, podem ser aplicados tratamentos térmicos, processos termoquímicos ou ainda diferentes tipos de revestimentos. A seleção do método mais adequado depende das características da peça e de sua aplicação final.

Na produção de componentes em aço, o tratamento termoquímico de cementação é empregado quando se busca elevada resistência ao desgaste abrasivo na superfície aliada a boa tenacidade no núcleo. Esse processo permite obter peças com elevada dureza superficial, sem comprometer a resistência a impactos ou vibrações. Trata-se de uma técnica amplamente utilizada na indústria, que possibilita o uso de ligas de menor custo, com baixo teor de elementos de liga, além de apresentar um investimento relativamente reduzido em comparação a outros métodos de endurecimento superficial.

Diversas ligas de aço podem ser aplicadas ao processo de cementação. Entre elas, destacam-se o aço SAE 8620 e o aço ASTM A-36, sendo o SAE 8620 o mais empregado devido ao seu melhor desempenho. Entretanto, no mercado brasileiro, a disponibilidade desse material em chapas é limitada, sendo encontrado com maior frequência em barras e tubos de pequeno diâmetro. Essa restrição dificulta sua utilização na fabricação de componentes de grande porte.

Visando identificar uma alternativa ao emprego do aço SAE 8620 cementado, este estudo analisou o comportamento do aço ASTM A-36 submetido à deposição de solda dura seguida de cementação, com a expectativa de atingir vida útil equivalente. O aço ASTM A-36 destaca-se por sua ampla disponibilidade no mercado, baixo custo e elevada soldabilidade, fatores que podem representar vantagem competitiva na produção de componentes de grande dimensão. Todavia, permanece a incerteza quanto à capacidade da solda dura em ser efetivamente cementada, constituindo um aspecto central para o desenvolvimento desta pesquisa.



## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nas próximas seções serão abordados os aspectos teóricos relativos ao estudo e obtidos por meio de uma revisão da bibliografia. Os conteúdos abordados servirão de base para o desenvolvimento da pesquisa e consolidação dos resultados.

### 2.1 FERRO E DIAGRAMA DE FASES

O aço é definido como uma liga ferrosa cujo principal elemento de liga é o carbono, com teor máximo de 2,1%. Aços que contêm apenas carbono como elemento de liga, além de outros elementos residuais, são denominados aços carbono [1].

O ferro, que constitui a matriz do aço, apresenta estrutura cristalina e diversas fases alotrópicas. O carbono se dissolve intersticialmente no ferro, formando soluções sólidas. A austenita (Fe- $\gamma$ ), com estrutura cúbica de face centrada (CFC), pode acomodar até 2,1% de carbono em sua rede cristalina. Já a ferrita (Fe- $\alpha$ ), que possui estrutura cúbica de corpo centrado (CCC), forma solução sólida com no máximo 0,02% de carbono. Essa diferença ocorre porque os interstícios da estrutura CFC são maiores que os da estrutura CCC, permitindo maior dissolução de carbono [2]. Quando o limite de solubilidade é ultrapassado, ocorre a formação da cementita (Fe<sub>3</sub>C), uma fase dura e frágil que altera significativamente as propriedades mecânicas dos aços [1].

### 2.2 MARTENSITA

A martensita é uma fase metaestável resultante do resfriamento extremamente rápido da austenita, caracterizando-se por uma transformação não difusional. Em velocidades de resfriamento elevadas, a difusão do carbono não ocorre, levando a uma transformação alotrópica da estrutura CFC da austenita para a estrutura tetragonal de corpo centrado (TCC). Nesse processo, os átomos de carbono permanecem em solução sólida intersticial no ferro, originando uma solução sólida supersaturada de carbono. Essa configuração estrutural pode se decompor rapidamente em ferrita e cementita caso seja fornecida energia suficiente. Os grãos



de martensita apresentam morfologia em placas ou agulhas, sendo extremamente duros, resistentes e frágeis [3].

## 2.2 CEMENTAÇÃO

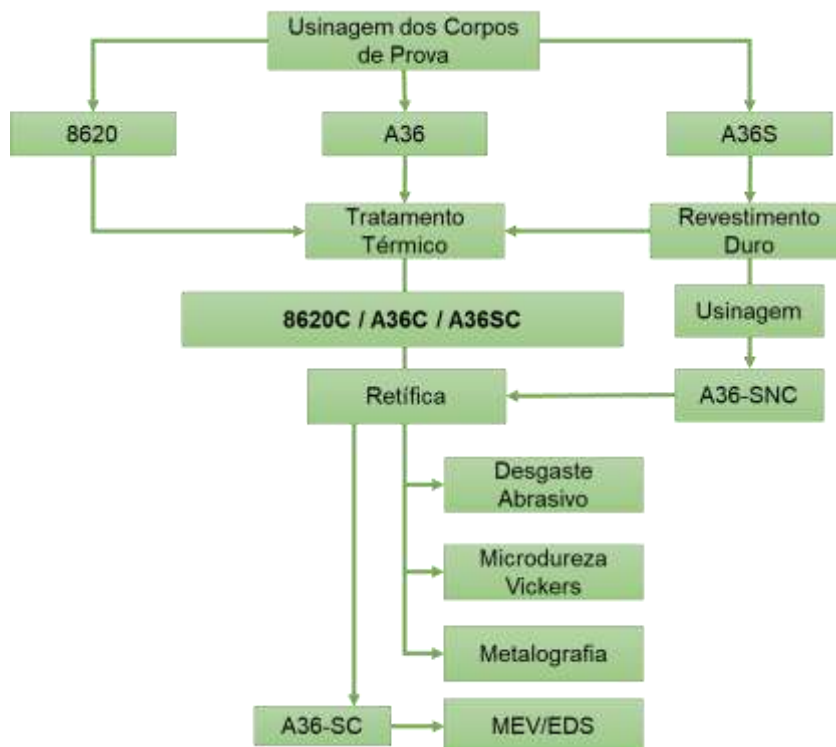
O tratamento de cementação constitui, na prática, um processo termoquímico no qual o carbono é incorporado à superfície do material por difusão em estado sólido a altas temperaturas. O objetivo desse tratamento é alterar as propriedades superficiais, preservando as características do núcleo do material de base. Como resultado, obtém-se uma camada superficial enriquecida em carbono, enquanto o núcleo mantém baixo teor deste elemento [4].

Para que a cementação ocorra de maneira eficaz, determinados fatores são essenciais tanto no material de base quanto nas condições de processamento. A principal força motriz da difusão é o gradiente de concentração, ou seja, a diferença de percentual de carbono entre o meio difusor e o material [2]. Dessa forma, quanto menor o teor de carbono no metal de base e maior a concentração de carbono no meio de cementação, mais eficiente será o processo de difusão. Normalmente, a cementação é aplicada a aços com teor de carbono inferior a 0,3%.

## 3 MATERIAS E MÉTODOS

Os aços utilizados para o estudo foram o ASTM A-36 e o SAE 8620, ambos obtidos de chapas laminadas a quente, onde todos os corpos de prova foram cortados de uma mesma chapa de cada material. Todos os experimentos foram realizados em triplicata. O Fluxograma da Fig. 1 mostra as etapas de realização do trabalho.

Figura 1 – Etapas do Estudo.



Fonte: do autor, 2025.

A Tab. 1 detalha os materiais utilizados e as respectivas nomenclaturas que serão citadas ao longo do trabalho. Ainda, traz uma síntese dos parâmetros utilizados nos processos de revestimento duro e tratamento térmico. Nas próximas seções constam as descrições detalhadas de cada processo.

Tabela 1 – Parâmetros utilizados no desenvolvimento do estudo.

<b>Materiais Utilizados</b>	
SAE 8620 cementado	8620 C
ASTM-A36 cementado	A36C
ASTM-A36 soldado e não cementado	A36-SNC
ASTM-A36 soldado e cementado	A36-SC
<b>Revestimento duro</b>	
Processo	GMAW
Material de Deposição	Arame ER-410
Tensão de soldagem	17,7V
Corrente de soldagem	135A
Gás de soldagem	Ar/O 92/8%
Vazão de gás	15l /min



---

Pré-aquecimento	100°C
<b>Tratamento Térmico</b>	
Atmosfera de carbono	1%
Pré-aquecimento	3h a 550°C
Temperatura de cementação	920°C
Tempo de permanência	2h
Meio de Resfriamento/martêmpera	Sal Fundido a 180°C
Martêmpera A36	Direta
Martêmpera 8620	860°C
Subzero	- 85°C por 2h

---

Fonte: do Autor, 2025.

Para a caracterização foram realizados ensaios de metalografia, microdureza Vickers, MEV/EDS e desgaste abrasivo com roda de borracha.

A metalografia foi realizada seguindo a norma ASTM-E3. Para os corpos de prova de 8620C e A36C foi utilizado Nital 3% como reagente para ataque químico e tempo de exposição de 5s. Os corpos de prova A36-SC e A36-SNC foram atacados com solução Vilela por 15 segundos. As imagens foram obtidas em um microscópio óptico Olympus BX51M.

A microdureza Vickers foi realizada de acordo com a norma ASTM E384-11 em um microdurômetro Shimadzu HVM com aplicação de carga de 4,98N. Foi utilizada a norma ISO 18203:2016 como referência para determinar a camada cementada efetiva

O ensaio de MEV foi realizado em um microscópio eletrônico de varredura Zeiss com uma sonda EDS acoplada.

O ensaio de desgaste abrasivo em roda de borracha foi realizado de acordo com a norma ASTM G65. Para o ensaio foi utilizada areia padronizada n. 100 que estava disponível para ensaio. Antes e após o ensaio os corpos de prova foram limpos com álcool isopropílico em banho de ultrassom. Para coleta da massa foi utilizada uma balança Marte AD500 com precisão de 3 casas decimais.

### 3 ANÁLISE DOS DADOS

A Fig. 2 mostra os resultados do ensaio de abrasão com roda de borracha para as 4 condições testadas. Para o cálculo da perda volumétrica foi utilizada a eq.

1. Foi considerado o valor de densidade para o aço 8620 e A36 igual a  $7,85\text{g/cm}^3$  e para a solda de aço inoxidável 410 igual a  $7,78\text{g/cm}^3$ .

$$V (\text{mm}^3) = \frac{m (\text{g})}{\rho (\frac{\text{g}}{\text{cm}^3})} \times 1000 \quad (1)$$

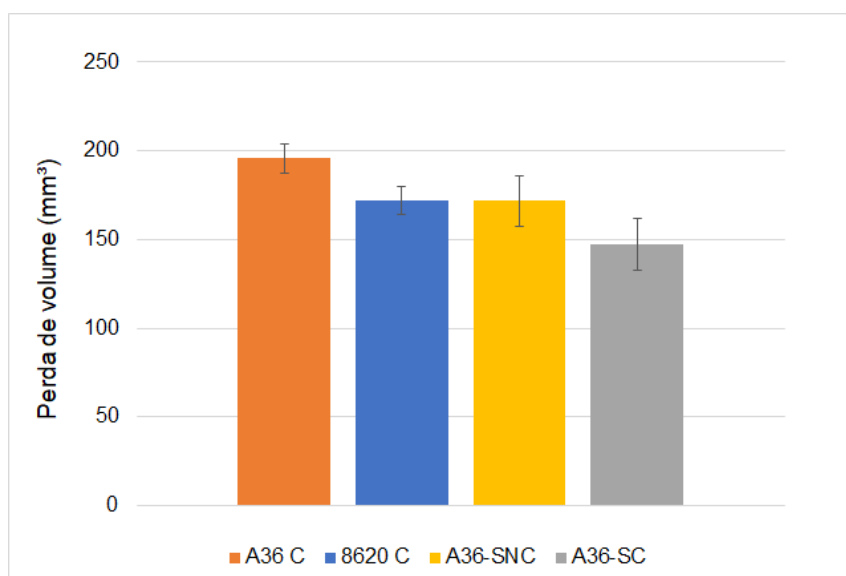
Onde:

V = volume perdido no ensaio ( $\text{mm}^3$ ).

m = massa perdida no ensaio (g).

$\rho$  = densidade do aço ( $\text{g/cm}^3$ ).

Figura 2 - Resultado do ensaio de Roda de Borracha.

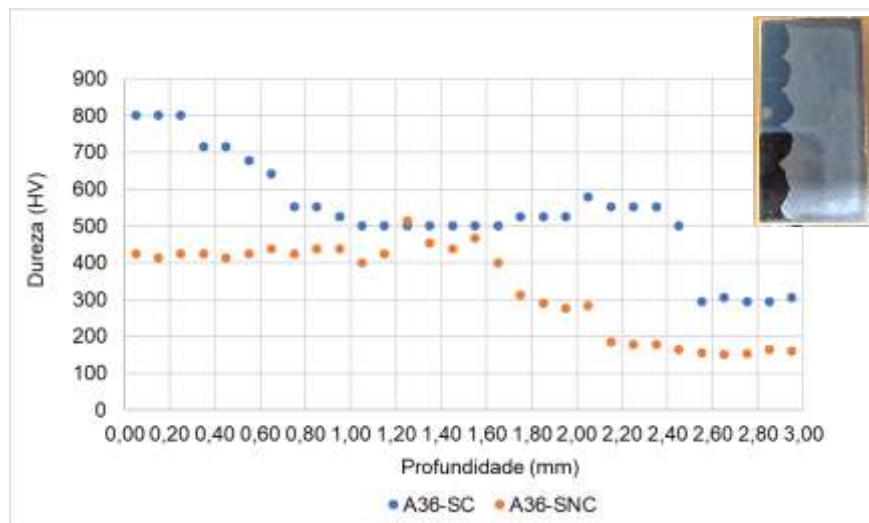


Fonte: do Autor, 2025.

Os aços SAE 8620 e ASTM A-36 são amplamente empregados em processos de cementação, sendo o SAE 8620 geralmente reconhecido por seu melhor desempenho. Isso foi evidenciado em ensaios de desgaste abrasivo, nos quais o aço A-36 apresentou perda de massa 14% superior à do 8620. No caso do aço A36-SNC, a perda de massa foi muito próxima à do 8620, indicando que a simples deposição de solda sobre o A-36 já proporcionou aumento significativo da vida útil. Já o aço A36-SC apresentou o melhor desempenho no ensaio, com perda de massa 14% inferior à do A36-SNC. Esses resultados demonstram que o tratamento térmico aplicado foi eficaz, promovendo considerável melhoria na durabilidade do material.

Os resultados da análise de microdureza estão apresentados nas figuras a seguir. A Fig. 3 exibe exclusivamente os corpos de prova A36-SC e A36-SNC. A imagem localizada no canto superior direito do gráfico mostra a seção transversal do corpo de prova A36-SC, permitindo observar a região de solda e correlacionar essa área com os valores de dureza obtidos.

Figura 3 - Análise de Microdureza Vickers CPs A36-SNC e A36-SC.

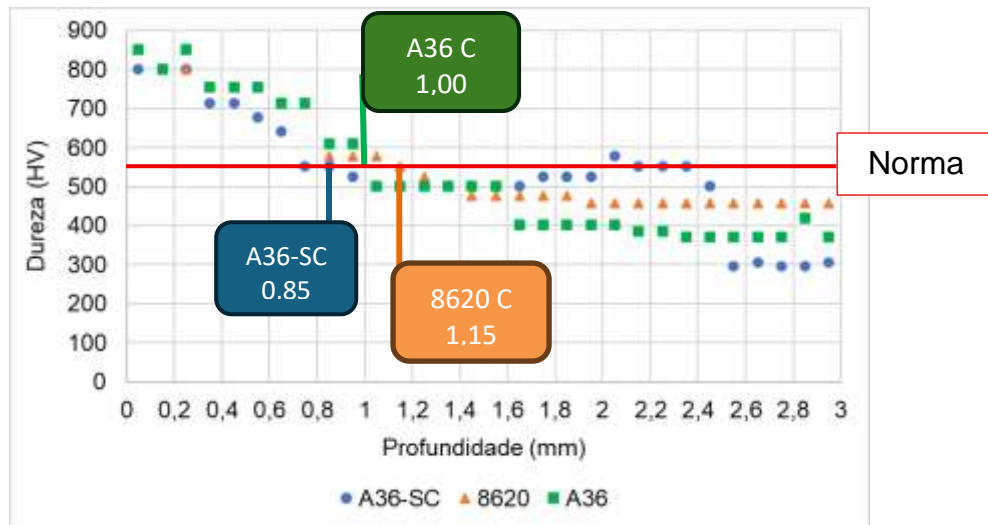


Fonte: do Autor, 2025.

Verifica-se que o tratamento térmico promoveu aumento significativo da dureza tanto na região da solda depositada quanto no núcleo do aço base. A maior dureza foi observada até uma profundidade de aproximadamente 0,8 mm, indicando a ocorrência de difusão de carbono na superfície do material depositado. Esses resultados estão em concordância com os obtidos nos ensaios de desgaste abrasivo.

A Fig. 4 compara os resultados de microdureza dos materiais 8620C, A36C e A36-SC. Em relação a dureza superficial os 3 materiais apresentaram durezas muito próximas, sendo o 8620C e o A36C com 850HV e o A36-SC com 800HV.

Figura 4 -Microdureza Vickers dos materiais em estudo.



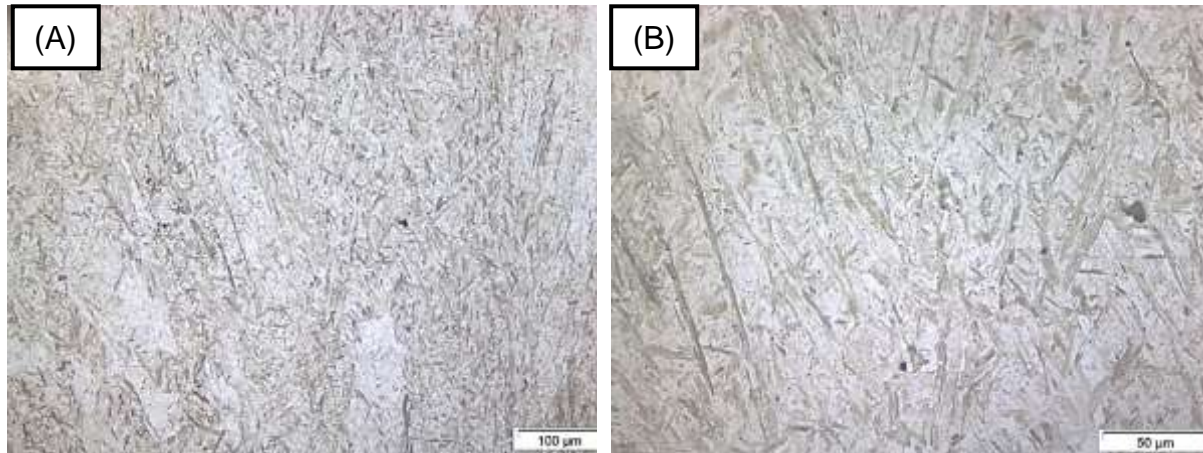
Fonte: do Autor, 2025.

De acordo com a norma ISO 18203 [5], a camada cementada efetiva é definida pela profundidade da superfície em direção ao núcleo até atingir uma dureza mínima de 550 HV. Nesse contexto, a camada cementada efetiva do aço 8620C foi de 1,15 mm, apresentando uma diminuição gradual da dureza até se estabilizar. Já no caso do A36C, a camada efetiva foi de 1,0 mm, com queda acentuada da dureza antes da estabilização no valor correspondente ao núcleo. Esses resultados auxiliam na compreensão das diferenças observadas na perda de volume durante o ensaio de desgaste abrasivo.

Para o material A36-SC, a camada cementada efetiva deveria ser de 0,85 mm, conforme os critérios estabelecidos pela norma. Entretanto, os resultados apresentados na Fig. 4 indicam que a dureza permanece em torno de 500 HV até aproximadamente 1,6 mm, voltando a elevar-se para cerca de 550 HV até a profundidade de 2,3 mm. Somente a partir desse ponto ocorre a queda e posterior estabilização em 300 HV. Esse comportamento está em concordância com o ensaio de desgaste abrasivo, uma vez que, à medida que o desgaste avança, o material de menor dureza é gradualmente exposto, aumentando a tendência de elevação da taxa de desgaste. Contudo, no caso do A36-SC, a manutenção de maiores valores de dureza por uma profundidade superior em relação aos demais materiais contribui para que a taxa de desgaste se mantenha estável por um período mais prolongado.

A Fig. 5 (a) e (b) mostra a metalografia do CP A36-SNC com ampliação de 200x e 500x.

Figura 5 - Metalografia CP A36-SNC, ampliação de (a) 200x e (b) 500x.

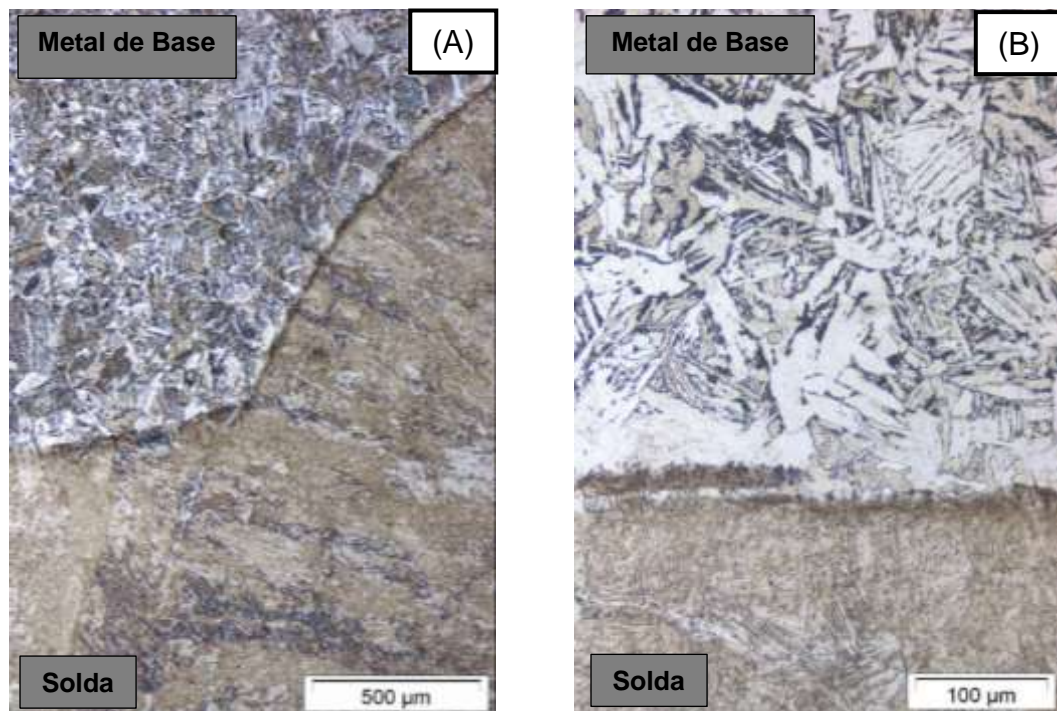


Fonte: do Autor, 2025.

Observa-se uma microestrutura tipicamente martensítica com a presença de um pequeno percentual de Ferrita- $\delta$  e austenita retida. A microestrutura encontrada é a esperada de acordo com a literatura [6][7][8].

A Fig. 6 mostra a região entre solda e metal de base com ampliações de 50x e 200x.

Figura 6 - Metalografia do CP A36-SNC. Região de divisa entre solda e metal de base. (a) 50x, (b) 200x.



Fonte: do Autor, 2025.

A microestrutura do metal de base condiz com um aço baixo carbono [9], porém devido ao aquecimento proveniente do processo de soldagem observa-se que a microestrutura fica mais grosseira na ZTA.

A Fig. 7 apresenta a metalografia do corpo de prova A-36SC na superfície, obtida com ampliação de 50x. A imagem evidencia a difusão de carbono na região superficial, destacada por uma faixa de aproximadamente 0,4 mm com coloração mais escura. Observa-se ainda uma zona intermediária que se estende até cerca de 0,7 mm. Esses resultados estão em concordância com a análise de microdureza da Fig. 4, na qual o perfil de dureza revela valores mais elevados até aproximadamente 0,7 mm, mantendo-se estáveis até o término da deposição da solda.

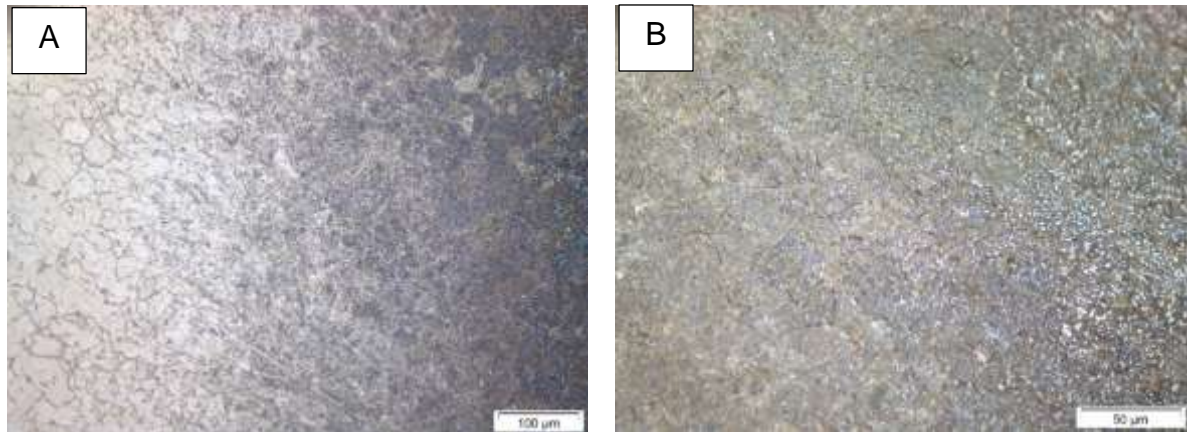
Figura 7 - Metalografia CP A36-SC. Superfície do corpo de prova.50x.



Fonte: do autor, 2025.

A Fig. 8 mostra em detalhe a microestrutura da região cementada, com ampliações de 200x (a) e 500x (b). Na Fig. 8(b) observa-se uma matriz martensítica com carbonetos finamente distribuídos, cuja concentração aumenta próximo à superfície (lado direito). Também é possível identificar a precipitação de carbonetos nos contornos de grão, corroborando com os dados da literatura [10][11].

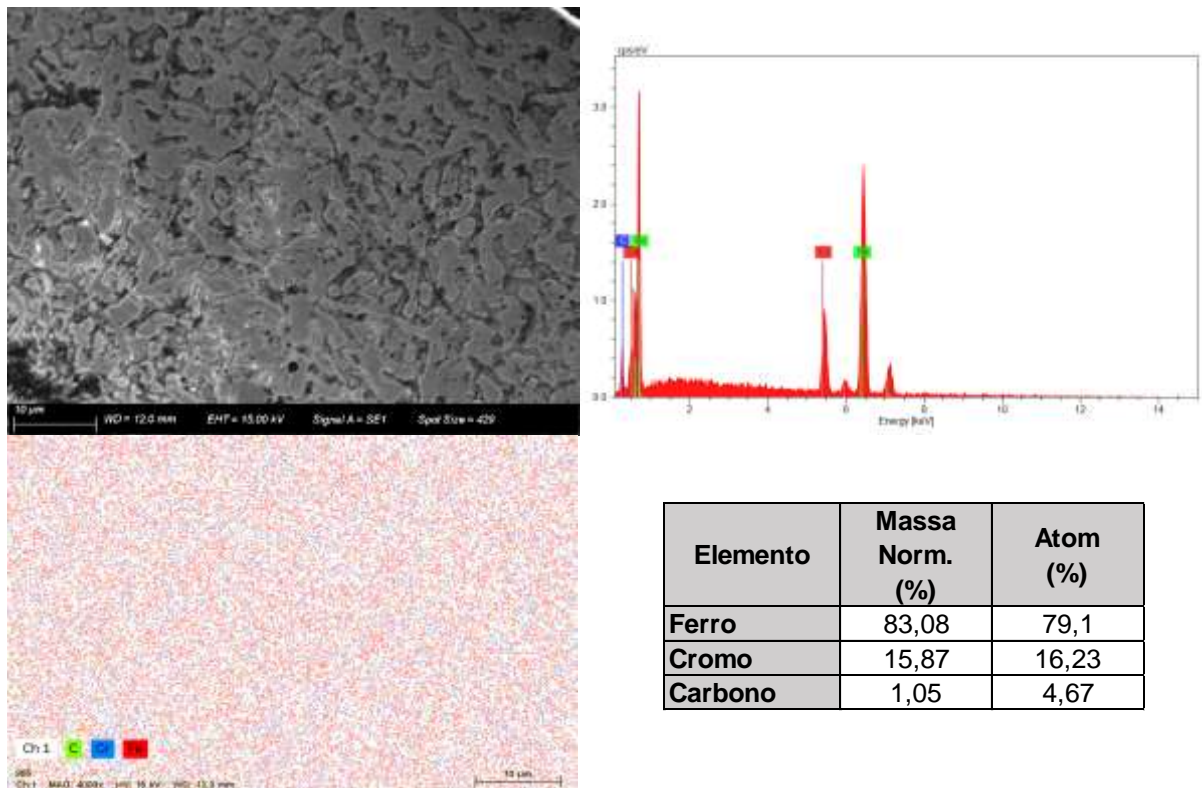
Figura 8 - Metalografia CP A36-SC. (a) 200x e (b) 500x.



Fonte: do autor. 2025.

A Fig. 9 mostra o resultado do ensaio de MEV e EDS da superfície do corpo de prova A36-SC com ampliação de 3000x. O resultado condiz com o ensaio de metalografia apresentado anteriormente com a formação de uma matriz martensítica com carbonetos dispersos.

Figura 9 – MEV/EDS CP A36-SC.



Fonte: do Autor, 2025.



A composição encontrada pelo mapping da sonda EDS condiz com o material adicionado, porém com teor mais elevado de carbono, indicando que ocorreu difusão de carbono do material de solda. O mapping também indica uma maior concentração de Cr nos contornos de grão, evidenciando a precipitação de carbonetos nestes locais. Apesar de os resultados indicarem a precipitação de carbonetos, a qual é prejudicial à resistência a corrosão do metal, não sugere um resultado negativo para o estudo em questão. O estudo visa o aumento de resistência ao desgaste em um ponto localizado de uma peça que necessita ser cementada como um todo. O resultado abre portas para outros usos que venham a necessitar de propriedades e processos de fabricação parecidos.

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados do ensaio de abrasão indicam uma forte possibilidade de utilizar o aço ASTM A-36 com deposição de solda dura e cementação em substituição ao aço SAE 8620 cementado.

A caracterização microestrutural por MEV/EDS do aço soldado e cementado comprovou que houve cementação no material de solda e não somente a têmpera deste. Esse resultado foi crucial para definir se o tratamento termoquímico foi efetivo no material depositado. Comparando os resultados com o aço apenas soldado houve aumento da resistência a abrasão.

De acordo com os resultados do ensaio de desgaste abrasivo com roda de borracha, o aço A-36 soldado e cementado apresentou um resultado não somente satisfatório, mas 14% superior ao encontrado no aço SAE 8620.

O resultado da pesquisa trouxe uma nova alternativa para fabricação de peças cementadas, tendo como opção utilizar um aço de baixo custo e alta disponibilidade, e ainda soldar apenas os locais com maior exigência ao desgaste abrasivo, com uma resistência intermediária no restante da peça.

#### REFERÊNCIAS

[1] CHIAVERINI, Vicente. **Aços e ferros fundidos**. 6. ed. São Paulo: Associação Brasileira de Metais, 1988. 518 p.



- [2] CALLISTER JUNIOR, William D. **Ciência e Engenharia de Materiais: uma introdução**. 7.ed. [reimpr.] Rio de Janeiro: LTC, 2012. 705 p.
- [3] DOS SANTOS, Rezende Gomes. **Transformação de fases em materiais metálicos**. 1. ed. São Paulo: Unicamp, 2007. 430 p.
- [4] PINEDO, Carlos Eduardo. **Tratamentos térmicos e superficiais do aço**. São Paulo: Blucher, 2021. 326 p.
- [5] **ISO: International Organization for Standardization**, Steel — Determination of the thickness of surface-hardened layers. ISO 18203:2016. p. 12.
- [6] B. Zhu, J. Lin, Y. Lei, Y. Zhang, Q. Sun, e S. Cheng. Additively manufactured  $\delta$ -ferrite-free 410 stainless steel with desirable performance. **Mater Lett**, vol. 293, jun. 2021, doi: 10.1016/j.matlet.2021.129579.
- [7] R. Puli; G. D. Janaki Ram. Wear and corrosion performance of AISI 410 martensitic stainless steel coatings produced using friction surfacing and manual metal arc welding. **Surf Coat Technol**, vol. 209, p. 1–7, set. 2012, doi:10.1016/j.surfcoat.2012.06.075.
- [8] S. Roy et al. Investigating the effect of different shielding gas mixtures on microstructure and mechanical properties of 410 stainless steel fabricated via large scale additive manufacturing. **Addit Manuf**, vol. 38, fev. 2021, doi: 10.1016/j.addma.2020.101821.
- [9] COLPAERT, Hubertus. **Metalografia dos produtos siderúrgicos comuns**. 4. ed., rev. atual. São Paulo: Edgard Blücher, 2008+ 1 CD-ROM xx, 652 p. ISBN 9788521204497.
- [10] F. Ernst, Y. Cao, e G. M. Michal. Carbide precipitation in austenitic stainless steel carburized at low temperature. **Acta Materialia - ACTA MATER**, vol. 55, p. 1895–1906, nov. 2007, doi: 10.1016/j.actamat.2006.09.049.
- [11] S. R. Collins et al. **Low-Temperature Carburization of Austenitic Stainless Steels**. ASM Handbook, 2014.