

Comparação das propriedades mecânicas de materiais produzidos pelos processos de fundição convencional e de microfusão

Alex Agostinho da Silva

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo (IFSP), Sertãozinho, SP, Brasil

Marcos Alves Fontes

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo (IFSP), Sertãozinho, SP, Brasil

Resumo: Os processos de fabricação de peças metálicas são fundamentais para a indústria metalmeccânica, destacando-se a fundição convencional e a microfusão como técnicas amplamente utilizadas, cada uma com características específicas que atendem a diferentes necessidades. A fundição convencional destaca-se pela capacidade de fabricar peças de grandes dimensões com menor custo, sendo amplamente empregada em aplicações que permitem tolerâncias geométricas menos rigorosas. Por outro lado, a microfusão é caracterizada por sua elevada precisão dimensional, excelente acabamento superficial e capacidade de produzir peças de alta complexidade. A escolha entre esses dois métodos depende diretamente das exigências da aplicação, das propriedades mecânicas desejadas e da análise dos custos envolvidos. Para comparar as propriedades mecânicas do aço carbono ASTM A216 – Gr. WCB produzido por ambos os processos, foram realizados ensaios mecânicos de tração, dureza Rockwell A e impacto Charpy, visando a avaliar, respectivamente, a resistência mecânica, a tenacidade e a dureza dos materiais, além da análise metalográfica para avaliação da microestrutura. Os resultados indicam que os materiais produzidos por microfusão apresentam propriedades superiores de resistência mecânica e dureza, devido à melhor homogeneização da microestrutura e à menor presença de defeitos internos, como porosidades. Já os materiais fabricados por fundição convencional, embora possuam menor resistência e dureza, destacam-se por sua maior tenacidade e ductilidade, sendo mais adequados para aplicações que exigem maior absorção de energia antes da fratura. Além disso, apresentam vantagens como menores custos e menor tempo de produção.

Palavras-chave: Fundição. Microfusão. Ensaio mecânico. Propriedades mecânicas.

Abstract: *Metal parts manufacturing processes are essential for the metalworking industry, with conventional casting and investment casting standing out as widely used techniques, each with specific characteristics that meet different needs. Conventional casting stands out for its ability to manufacture large parts at a lower cost, and is widely used in applications that allow for less rigorous geometric tolerances. On the other hand, investment casting is characterized by its high dimensional accuracy, excellent surface finish and ability to produce highly complex parts. The choice between these two methods depends directly on the application requirements, the desired mechanical properties and the analysis of the costs involved. In order to compare the mechanical properties of ASTM A216 – Gr. WCB carbon steel produced by both processes, Tension testing, Rockwell A hardness and Charpy impact tests were performed, aiming to evaluate, respectively, the mechanical strength, toughness and hardness of the materials, in addition to metallographic analysis to evaluate the microstructure. The results show that the materials produced by investment casting have superior mechanical strength and hardness properties, attributed to the better homogenization of the microstructure and the lower presence of internal defects, such as porosities. In contrast, materials produced by conventional casting, although exhibiting lower strength and hardness, stand out for their higher toughness and ductility, making them more suitable for applications requiring greater energy absorption before fracture. Furthermore, they offer advantages such as lower costs and shorter production times.*

Keywords: *Casting. Investment casting. Mechanical testing. Mechanical properties.*

INTRODUÇÃO

A produção de peças para uso industrial a partir de metais e ligas metálicas pode ser realizada por diversos processos. A maioria desses métodos tem como ponto de partida o metal líquido, que é vertido em um molde cuja cavidade possui o formato da peça a ser fabricada (Chiaverini, 1986).

De acordo com Paris (2008), o processo de fabricação por fundição, que transforma o metal líquido em um metal solidificado, é aquele no qual as peças são produzidas por meio do aquecimento do metal ou da liga até temperaturas superiores ao seu ponto de fusão, seguido de sua solidificação e resfriamento em um molde com o formato desejado.

A fundição permite a fabricação de uma ampla variedade de peças, que vão desde pequenos componentes até grandes estruturas empregadas em navios, usinas hidrelétricas e outras aplicações de grande porte. O limite dimensional dessas peças é definido pela capacidade física das instalações de produção (Tâmega, 2017).

Entre os processos de fabricação de peças metálicas a partir do metal líquido, destacam-se a fundição convencional e a microfusão, amplamente utilizadas devido às suas características e aplicações específicas.

De acordo com a Associação Brasileira de Fundição (ABIFA, 2016), existem 1.170 fundições convencionais ativas no Brasil e um total de 35 fundições de precisão (microfusão) cadastradas. De acordo com os dados levantados, a produção média mensal de peças fundidas em 2016, considerando o período de janeiro a novembro, foi de aproximadamente 180 mil toneladas. Nesse contexto, a fundição de precisão representou apenas 0,12% do volume total produzido.

Segundo Chiaverini (1986), a principal diferença entre os diversos processos de fundição está na etapa de "moldagem", ou seja, na confecção do molde. Independentemente do tipo de fundição adotado, algumas etapas devem ser consideradas, incluindo o desenho da peça, o projeto e a confecção do modelo (modelagem), a produção do molde (moldagem), a fusão do metal, o vazamento no molde, a limpeza e rebarbação, além do controle de qualidade.

A fundição convencional é amplamente utilizada devido à sua capacidade de produzir peças de grande porte com menor custo, sendo especialmente indicada para

aplicações que permitem tolerâncias geométricas menos rigorosas (Silva, 2020). Esse processo envolve a fusão do metal e seu vazamento em um molde, possibilitando a fabricação de componentes de grandes dimensões e com formatos relativamente simples (Silva, 2020).

De acordo com Kiminami, Castro e Oliveira (2019), a fundição convencional com molde de areia é o processo mais utilizado na indústria, sendo responsável pela maior parte da produção global de peças fundidas. Esse método consiste no vazamento do metal fundido em um molde de areia, onde ocorre sua solidificação e, após o resfriamento, a peça fundida é extraída com a quebra do molde. Após a remoção, a peça passa por processos adicionais, como usinagem para eliminar partes indesejadas, como o sistema de alimentação e o massalote, além de possíveis ajustes dimensionais em faces ou furos. Além disso, pode ser submetida a tratamentos térmicos para aprimorar suas propriedades mecânicas (Kiminami; Castro; Oliveira, 2019).

Segundo Chiaverini (1986), diversos fenômenos podem ocorrer durante a solidificação do metal líquido dentro dos moldes, podendo gerar heterogeneidades e, conseqüentemente, impactar as propriedades e a qualidade das peças fundidas. Entre esses fenômenos, destacam-se a cristalização, a contração de volume, a concentração de impurezas e o desprendimento de gases.

O processo de microfusão, também conhecido como fundição de precisão ou fundição por cera perdida, envolve o uso de um molde cerâmico produzido pelo revestimento de um modelo de cera consumível com uma argamassa cerâmica refratária, que se solidifica por aquecimento. Com isso, a cera é derretida, formando uma cavidade no interior do molde cerâmico (Kiminami; Castro; Oliveira, 2019).

Brasil, Martinez e Nascimento (2025) ainda definem que esse processo utiliza modelos de cera que são imersos em uma lama refratária para a formação de uma casca cerâmica. Após sucessivas aplicações e secagens até atingir a espessura desejada, a cera é eliminada por aquecimento, deixando uma cavidade que será preenchida com metal líquido.

Após o endurecimento da pasta refratária, o modelo é consumido ou inutilizado. No processo de fundição de precisão, tanto o modelo quanto o molde são descartados após o uso. Isso contrasta com a fundição em areia verde, na qual o modelo pode ser

reutilizado e apenas o molde é descartado. Nesse caso, porém, ambos os componentes são eliminados após a solidificação da peça (Chiaverini, 1986).

A microfusão é reconhecida por sua alta precisão dimensional, excelente acabamento superficial e capacidade de fabricar peças complexas (Silva, 2020). Esse processo se destaca especialmente na produção de componentes de pequenas dimensões e elevada complexidade, sendo amplamente utilizado em setores como joalheria e engenharia. Além disso, permite um acabamento detalhado e otimiza o uso dos materiais (Silva, 2020).

De acordo com Chiaverini (1986), as principais limitações desse processo estão relacionadas às restrições de dimensão e peso das peças fundidas, impostas por fatores econômicos, físicos e pela capacidade dos equipamentos disponíveis. O peso máximo recomendado para peças fundidas por esse método é de cinco quilogramas, sendo que, para componentes maiores, entre cinco e aproximadamente 25 quilogramas, o investimento inicial tende a ser significativamente elevado.

Outra limitação, conforme descrito por Kiminami, Castro e Oliveira (2019), é a baixa taxa de solidificação, que pode levar ao crescimento excessivo dos grãos em peças com seções maiores que dez a 20 mm, comprometendo a tenacidade e a resistência à fadiga dos componentes produzidos.

A escolha entre esses dois métodos está diretamente relacionada aos requisitos de aplicação, às propriedades mecânicas desejadas e aos custos envolvidos (Silva, 2020). Para isso, é essencial uma avaliação comparativa das propriedades obtidas por cada processo, para uma melhor tomada de decisão sobre a correta escolha.

Sendo assim, este trabalho tem como objetivo comparar as propriedades mecânicas, como resistência mecânica, tenacidade e dureza, de peças produzidas pelos processos de fundição convencional, em molde de areia, e microfusão. A análise permitirá evidenciar as diferenças nas propriedades, visando a identificar a aplicabilidade mais adequada para cada processo.

MATERIAIS E MÉTODOS

Composição química das amostras

Amostras de aço carbono ASTM A216 – Gr. WCB (ASTM, 2013a) foram fornecidas por uma empresa fabricante de válvulas de controle. As Tabelas 1 e 2 apresentam, respectivamente, a composição química e as propriedades mecânicas do material, também fornecido pela empresa.

Tabela 1 – Composição química aço carbono ASTM A216 – Gr. WCB

Elemento	Composição %	Elemento	Composição %
Carbono (C)	0,30 máx	Níquel (Ni)	Residual 0,50 máx
Manganês (Mn)	1,00 máx	Cromo (Cr)	Residual 0,50 máx
Fósforo (P)	0,035 máx	Molibdênio (Mo)	Residual 0,20 máx
Enxofre (S)	0,035 máx	Cobre (Cu)	Residual 0,30 máx
Silício (Si)	0,600 máx	Vanádio (V)	Residual 0,03 máx

Tabela 2 – Propriedades mecânicas do aço carbono ASTM A216 – Gr. WCB

Propriedade Mecânica	Valor
Resistência à tração (MPa)	485 – 655
Limite de escoamento (MPa)	250 (mínimo)
Alongamento e, 2" (50 mm)	22% (mínimo)
Estricção	35% (mínimo)

Análise Metalográfica

Amostras de cada tipo de material foram preparadas por meio de lixamento sequencial, utilizando lixas com granulações de 400, 600, 800 e 1200. A cada troca de lixa, as peças eram rotacionadas em 90° em relação à posição anterior, com o objetivo de facilitar a identificação e a eliminação de arranhões mais profundos deixados pela etapa anterior. Durante o processo, utilizou-se água como lubrificante,

tanto para evitar o superaquecimento e minimizar danos ao material quanto para atuar como agente de limpeza, removendo resíduos gerados durante o lixamento.

Após o lixamento, as amostras foram polidas em uma politriz, utilizando pasta de alumina (Al_2O_3) em suspensão, com granulometria média de $0,1 \mu\text{m}$. O ataque químico foi realizado com o reagente nital a 4%. As imagens foram adquiridas com um microscópio óptico de bancada, equipado com sistema DIC (*Digital Image Correlation*) e fornecido pela Spectro Instrumental Científico Ltda., com alimentação de 110 V, 60 Hz.

Ensaio de Dureza

O ensaio de dureza foi realizado em um durômetro de bancada da marca Pantec, modelo RBS-MD, utilizando o método Rockwell A, conforme especificado pela norma ASTM E 140-97 (ASTM, 1997). O procedimento empregou um penetrador cônico de diamante, com uma força de 60 kgf e uma pré-carga de 10 kgf. O teste foi conduzido no laboratório do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, campus Sertãozinho. Foram avaliadas quatro amostras distintas: duas de aço carbono WCB produzidas por fundição convencional e duas do mesmo material fabricadas pelo processo de microfusão, realizando seis medições distintas para cada tipo de material (três em cada amostra). As regiões dos corpos de prova selecionadas para o ensaio foram escolhidas aleatoriamente em suas superfícies.

Ensaio de Impacto Charpy

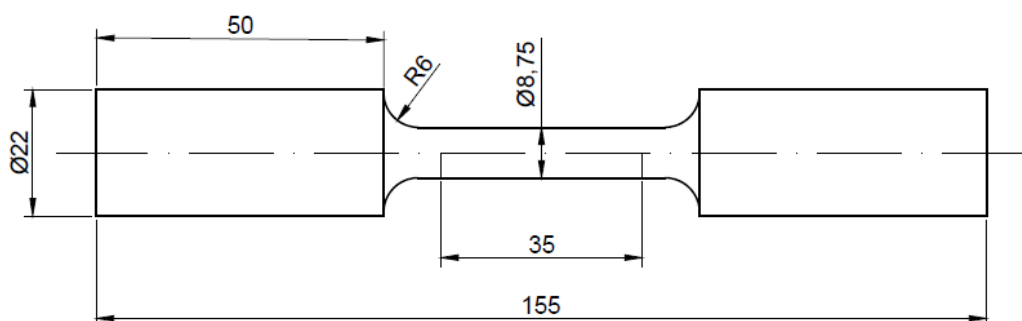
O ensaio de impacto Charpy foi realizado com o uso de um equipamento da marca Equilam, no laboratório de ensaios mecânicos do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, *Campus* Sertãozinho. Os corpos de prova, com dimensões de 10 mm x 10 mm x 55 mm de comprimento, foram preparados conforme a norma ASTM E 23-94 (ASTM, 1994) (aplicada a materiais metálicos), com entalhes em formato V, formando um ângulo de 45° e profundidade aproximada de 2 mm. Foram testados quatro corpos de prova de aço carbono WCB,

sendo dois originados do processo de fundição convencional e dois produzidos pelo processo de microfusão.

Ensaio de Tração

Para a realização do ensaio de tração, as amostras foram fabricadas conforme a norma ASTM A 370-06 (ASTM, 2006), seguindo as dimensões especificadas no desenho apresentado na Fig. 1.

Figura 1 – Dimensões dos corpos de provas para o ensaio de tração.



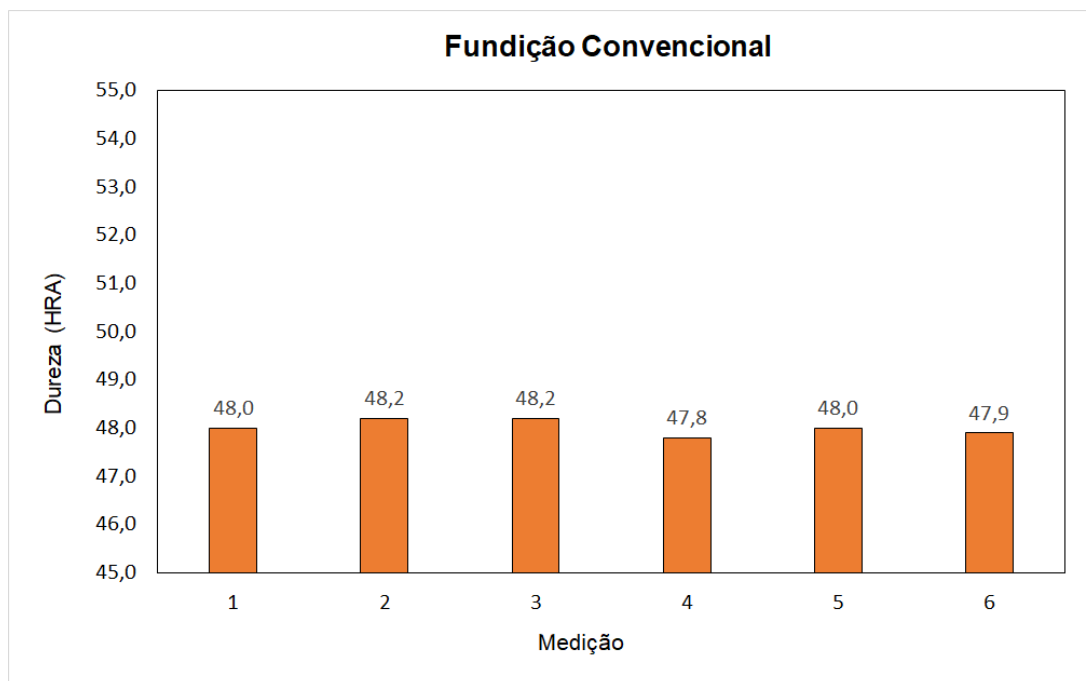
Fonte: Próprios autores (2025).

O ensaio de tração foi realizado na empresa QualyService, utilizando uma máquina de tração universal Wolder, modelo Testa, com capacidade de carga de 600 kN. As condições do ensaio foram: temperatura de 22° C, umidade relativa do ar de 50% e velocidade de 5 mm/min. Todo o procedimento seguiu as condições estabelecidas pelas normas ASTM E8-13 (ASTM, 2013b) e ASTM A 370-06 (ASTM, 2006). O ensaio foi realizado em quatro corpos de prova, sendo dois de aço carbono WCB obtidos pelo processo de fundição convencional e dois do mesmo material fabricados pelo processo de microfusão.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

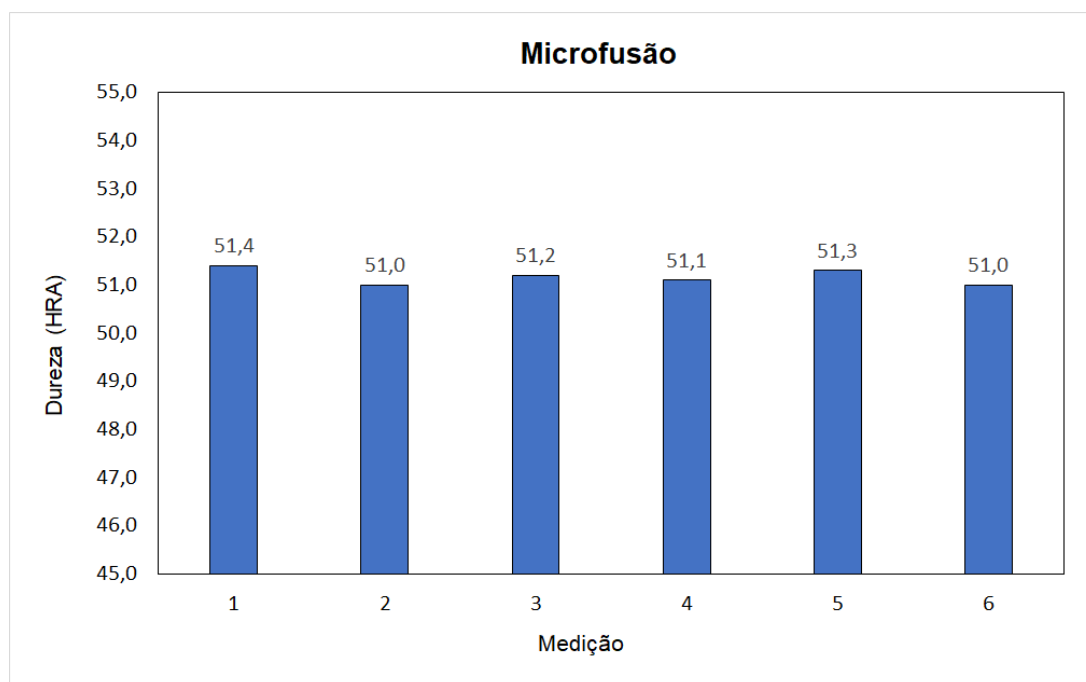
As Fig. 2 e 3 apresentam os valores de dureza HRA obtidos nas amostras de aço carbono ASTM A216 – Gr. WCB, fundidas pelo método convencional e pela microfusão, respectivamente.

Figura 2 – Dureza HRA, para amostras fabricadas por fundição convencional



Fonte: Próprios autores (2025).

Figura 3 – Dureza HRA, para amostras fabricadas por microfusão



Fonte: Próprios autores (2025).

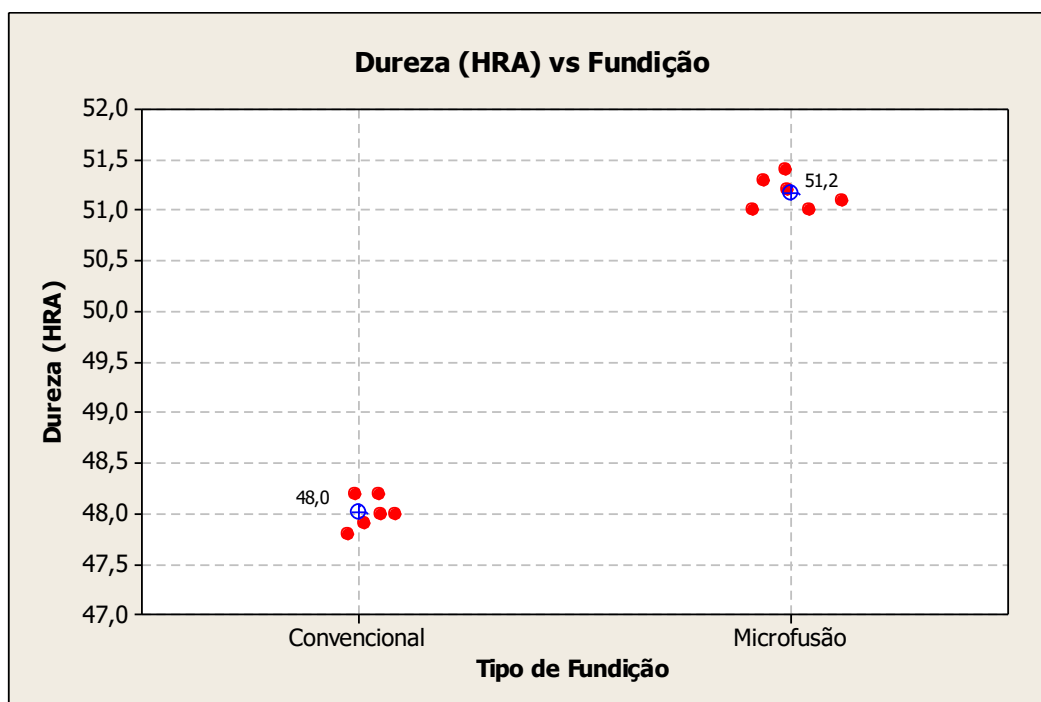
A dureza esperada para o aço carbono WCB pode variar conforme as especificações de fabricação, a composição exata do material e o processo de

tratamento térmico. De acordo com a norma ASTM A216-13 (ASTM, 2013a), que regula os critérios de fundição do aço carbono WCB, amplamente utilizado na fabricação de válvulas e outros componentes de sistemas de fluido, a dureza final das peças fundidas deve atender a uma faixa específica. Para o aço WCB fundido, é usualmente esperado que os valores de dureza estejam entre 48 e 50 HRA (ASTM, 2013a). Pequenas variações em relação a esse intervalo não comprometem a qualidade do material, sendo resultado de flutuações naturais inerentes ao processo de fundição.

Ao analisar as Fig. 2 e 3, observa-se que os valores obtidos nos ensaios de dureza apresentam baixa dispersão, indicando pouca variação entre as amostras. Isso sugere que as variáveis existentes nos processos de fundição, incluindo temperatura de fusão, tempo de resfriamento e outras variáveis, foram controlados de forma eficiente. Esse controle assegurou amostras consistentes, com propriedades uniformemente distribuídas durante a solidificação.

A Fig. 4 apresenta um comparativo dos valores de dureza obtidos para os dois tipos de materiais estudados, permitindo uma análise direta das diferenças entre os dois processos com relação à esta propriedade mecânica.

Figura 4 – Comparativo da dureza HRA para os dois processos de fundição

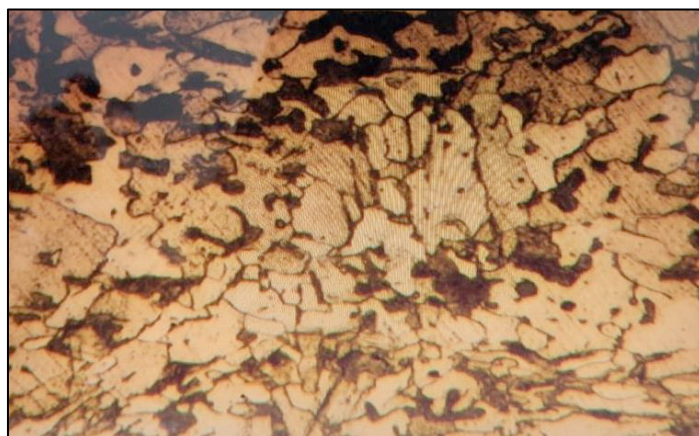


Fonte: Próprios autores (2025).

O processo de microfusão apresentou valores médios de dureza superiores em comparação aos obtidos pelo processo de fundição convencional. Essa diferença pode ser atribuída às diferenças nas microestruturas dos materiais produzidos por cada método.

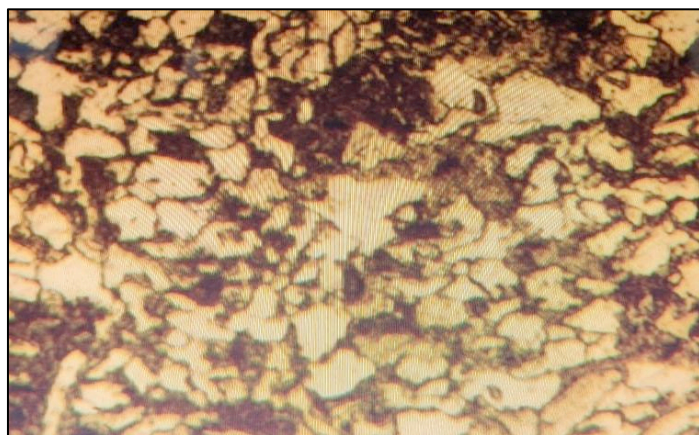
Conforme mostrado nas Fig. 5 e 6, que apresentam as microestruturas das amostras de aço obtidas pelos processos de fundição convencional e microfusão, respectivamente, o processo de microfusão resulta em uma microestrutura mais refinada e homogênea, com menor ocorrência de porosidade e defeitos, o que contribui para uma maior dureza. Por outro lado, na fundição convencional, é possível observar grãos mais grosseiros e menos uniformes, o que está associado a valores inferiores de dureza do material.

Figura 5 – Microestrutura da amostra de aço obtida pelo processo de fundição convencional



Fonte: Próprios autores (2025).

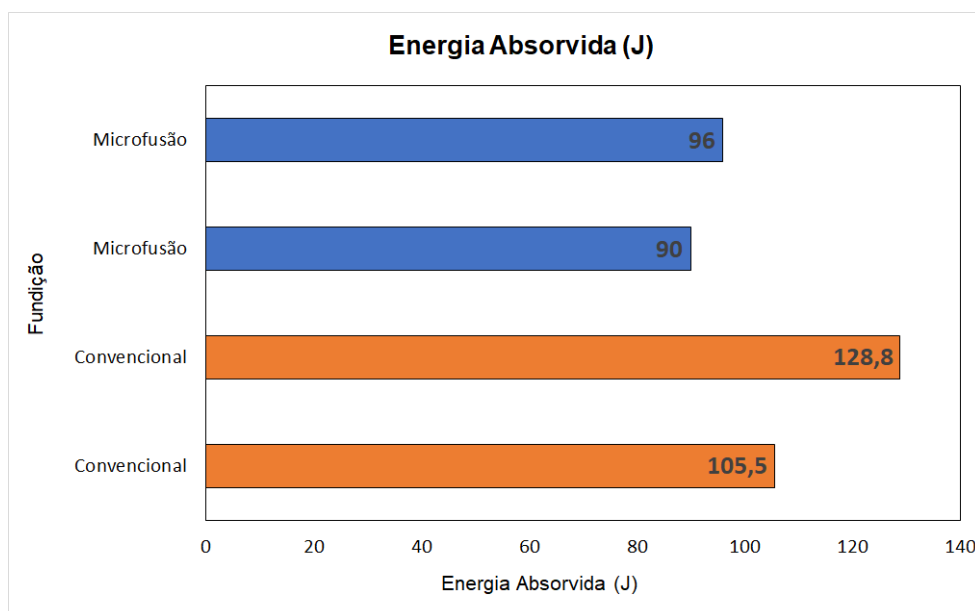
Figura 6 – Microestrutura da amostra de aço obtida pelo processo de microfusão



Fonte: Próprios autores (2025).

A Fig. 7 apresenta o resultado do teste de impacto, comparando os valores de energia absorvida para cada amostra testada.

Figura 7 – Energia absorvida durante ensaio de impacto Charpy



Fonte: Próprios autores (2025).

Observa-se que os corpos de prova provenientes do processo de fundição convencional apresentaram valores de energia superiores a 100 J, enquanto os corpos de prova do processo de microfusão registraram valores ligeiramente inferiores a 100 J. De acordo com a norma ASTM A370-06 (ASTM, 2006), os materiais são classificados como dúcteis quando apresentam valores de energia absorvida próximos ou superiores a 108 J (ASTM, 2006).

Apesar da variação encontrada nos valores de energia absorvida, nenhuma das amostras sofreu fratura completa após o ensaio (Fig. 8), o que também indica um comportamento dúctil em todas elas.

Comparativamente, os corpos de prova produzidos pelo processo de fundição convencional apresentaram maior absorção de energia no ensaio de impacto em relação aos produzidos pelo processo de microfusão. Essa diferença pode ser atribuída às distintas microestruturas dos materiais. Na fundição convencional, a presença de grãos mais grossos e menos refinados permite maior deformação do material e maior absorção de impacto antes da fratura. Por outro lado, a microestrutura

mais refinada, homogênea e compacta obtida pelo processo de microfusão é mais suscetível à fratura em condições de impacto ou de deformação intensa.

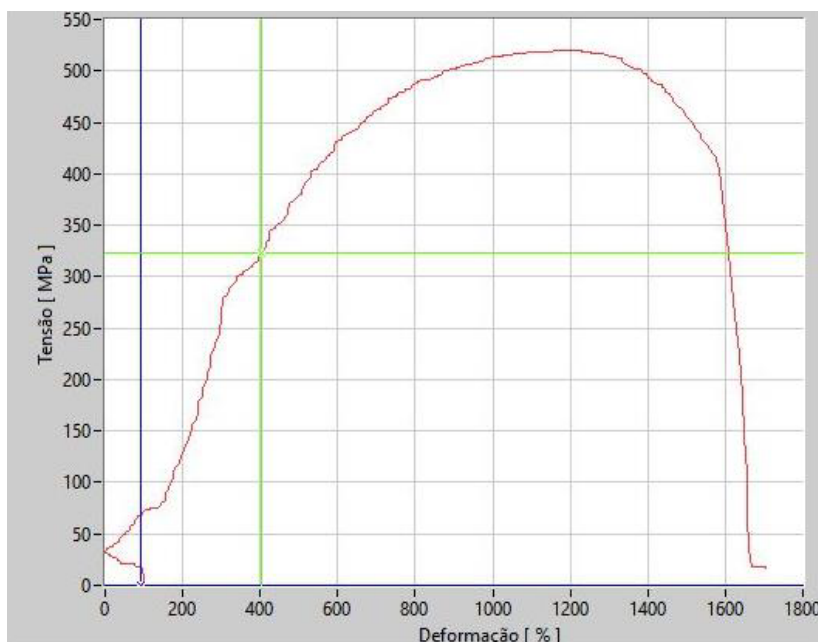
Figura 8 – Corpos de prova após teste de impacto Charpy



Fonte: Próprios autores (2025).

Quanto aos resultados dos ensaios de tração, as Fig. 9 e 10 exibem, respectivamente, a curva característica de Tensão *versus* Deformação para os corpos de prova da fundição convencional e da microfusão.

Figura 9 – Curva Tensão *versus* Deformação, do corpo de prova fabricado por fundição convencional

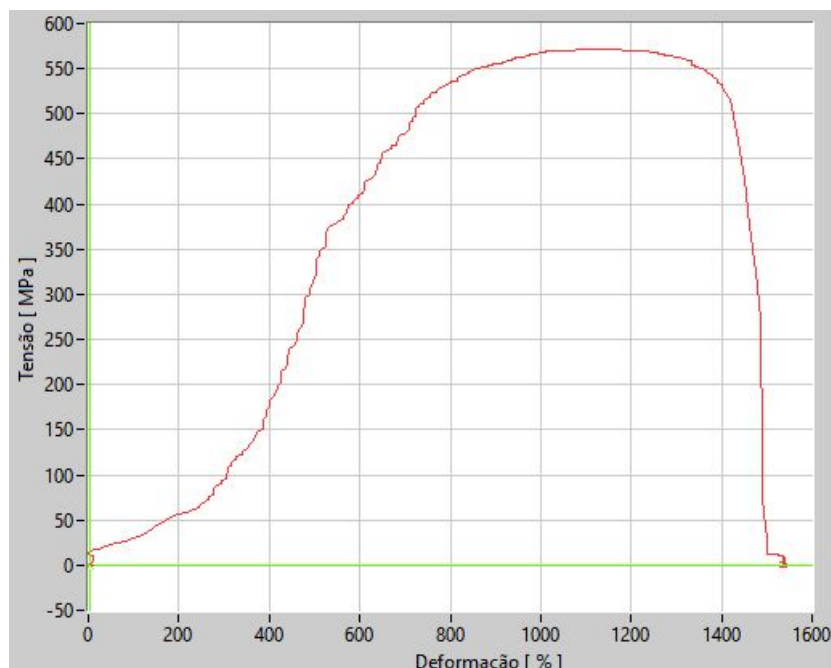


Fonte: Próprios autores (2025).

Ambas as curvas apresentam características típicas de materiais dúcteis. O principal indicativo de ductilidade é a longa deformação antes da ruptura, como

mostrado no eixo das abscissas dos gráficos das Fig. 9 e 10. Materiais dúcteis têm alta capacidade de deformação antes de falhar, enquanto materiais frágeis rompem com pouca ou nenhuma deformação plástica. A amostra de aço carbono WCB mostrou elevada resistência a deformações progressivas, suportando cargas significativas mesmo após ultrapassar a fase elástica.

Figura 10 – Curva Tensão *versus* Deformação, do corpo de prova fabricado por microfusão



Fonte: Próprios autores (2025).

Outro aspecto marcante em ambos os gráficos é a presença de uma fase de deformação plástica bem definida. Após atingir o limite de escoamento, o material entra em uma região de deformação plástica que se estende até o limite máximo de resistência (aproximadamente 520 MPa para a amostra de fundição convencional e 570 MPa para a amostra de microfusão), antes que a curva decline até a ruptura. Essa transição do comportamento elástico para o plástico é característica de materiais dúcteis, capazes de redistribuir tensões internas por meio da deformação.

Em ambos os gráficos, observa-se ainda uma subida inicial linear correspondente à região elástica, seguida por um platô característico da deformação plástica e, finalmente, um declínio gradual após atingir a força máxima. Nos materiais

frágeis, a curva geralmente não apresenta uma região significativa de deformação plástica e termina de forma abrupta logo após o limite elástico.

A Tabela 3 apresenta os dados das propriedades obtidas no ensaio de tração para os quatro corpos de prova analisados, permitindo a comparação dos resultados de cada processo de fundição.

Tabela 3 - Comparativo das propriedades obtidas no ensaio de tração.

Processos	Amostras	Propriedades			
		Limite de Resistência (MPa)	Limite de Escoamento (MPa)	Alongamento (%)	Redução de Área (%)
Fundição convencional	cp 01	515	300	33,0%	67,0%
	cp 02	520	323	29,0%	67,0%
Microfusão	cp 03	571	365	32,0%	56,0%
	cp 04	539	315	32,0%	57,0%

Como mostrado na Tabela 3, observa-se que os materiais produzidos por microfusão apresentam maior limite de resistência (571 MPa e 539 MPa) e maior limite de escoamento (365 MPa e 315 MPa) em comparação aos valores da fundição convencional. Assim como os valores de dureza e de energia absorvida, essa diferença pode ser atribuída à microestrutura mais uniforme, com menor presença de defeitos internos e grãos mais refinados.

Por outro lado, os corpos de prova provenientes da fundição convencional apresentam uma redução maior da área em comparação aos corpos de prova da microfusão, o que indica que esses materiais exibem um comportamento mais dúctil do que os produzidos pelo processo de microfusão.

Para consolidar todos os resultados em um único espaço, foi criado o Quadro 1, que apresenta, de forma comparativa, os resultados obtidos nos ensaios de dureza, impacto e tração em amostras produzidas pelo processo de fundição convencional e por microfusão.

Quadro 1 - Comparativo das propriedades dos dois processos de fundição.

Propriedade	Fundição convencional	Microfusão
Tenacidade	Superior	Inferior
Ductilidade	Superior	Inferior
Resistência Mecânica	Menor	Maior
Dureza	Menor	Maior

A fundição convencional apresenta maior tenacidade e ductilidade, características relacionadas à capacidade de deformação antes da fratura, conferindo-lhe maior resistência a impactos e tornando-a menos propensa a falhas catastróficas. Por outro lado, a microfusão se destaca por sua maior resistência mecânica e dureza, propriedades que indicam um desempenho superior em aplicações que exigem alta resistência ao desgaste e menor deformação sob cargas elevadas.

CONCLUSÕES

Este estudo comparou as propriedades mecânicas do aço carbono ASTM A216 – Gr. WCB, produzidos pelos processos de fundição convencional e de microfusão, por meio de ensaios de dureza Rockwell A, impacto Charpy, tração e análise metalográfica.

Os resultados evidenciaram diferenças significativas nas propriedades mecânicas das peças fabricadas pelos dois processos distintos. A microfusão proporciona maior resistência mecânica e dureza, atribuídas principalmente por uma microestrutura mais refinada e homogênea, além da menor incidência de defeitos internos, como porosidades. Em contrapartida, a fundição convencional, embora apresente menor resistência e dureza, se destaca por sua maior tenacidade e ductilidade, tornando-a mais adequada para aplicações que exigem maior absorção de energia antes da fratura. Esses resultados também foram evidenciados pela análise microestrutural do material, que apresentou grãos mais grosseiros e uma distribuição mais heterogênea.

Assim, este estudo fornece suporte para a tomada de decisão no setor metalmeccânico, auxiliando engenheiros e projetistas na escolha do processo mais adequado para a fabricação de componentes metálicos. Os resultados obtidos destacam as principais características de cada método, oferecendo uma base técnica sólida para a seleção do processo de fundição mais compatível com as exigências específicas de cada aplicação.

REFERÊNCIAS

ABIFA. **Informativos de desempenho:** desempenho do setor de fundição Novembro/2016. Disponível em: www.abifa.org.br/indices-setoriais/. Acesso em: 20 set. 2024.

ASTM INTERNATIONAL. **ASTM A216-13. Standard Specification for Steel Castings, Carbon, Suitable for Fusion Welding, for High-Temperature Service.** West Conshohocken, PA: ASTM International, 2013a.

ASTM INTERNATIONAL. **ASTM A370-06:** Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2006.

ASTM INTERNATIONAL. **ASTM E8-13:** Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2013b.

ASTM INTERNATIONAL. **ASTM E23-94:** Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials. West Conshohocken, PA: ASTM International, 1994.

ASTM INTERNATIONAL. **ASTM E140-97:** Standard Hardness Conversion Tables for Metals. West Conshohocken, PA: ASTM International, 1997.

BRASIL, D. A.; MARTINEZ, L. G.; NASCIMENTO FILHO, F. J. **Processos de Fabricação.** Disponível em: https://cm-kl-content.s3.amazonaws.com/201702/INTERATIVAS_2_0/PROCESSOS_DE_FABRICACAO/U1/LIVRO_UNICO.pdf. Acesso em: 16 jan. 2025.

CHIAVERINI, V. **Tecnologia Mecânica.** São Paulo: Makron Books. 1986. 2 v.

KIMINAMI, C. S.; CASTRO, W. B.; OLIVEIRA, M. F. **Introdução aos processos de fabricação de produtos metálicos.** 1. ed. São Paulo: Blucher, 2019.

PARIS, A. A. F. **Tecnologia da Fundição.** Santa Maria/RS: Independente, 2008. 185 p.

SILVA, J. R. **Fundição e microfundição: princípios e aplicações industriais.** São Paulo: Editora Técnica, 2020.

TÂMEGA, F. **Fundição de processos siderúrgicos.** Londrina: Educacional S.A, 2017.