



ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS PROCESSOS DE SOLDAGEM MIG/MAG E A LASER EM CHAPAS DE AÇO CARBONO SAE 1005

Natan Damian Crozetta ¹

Pedro Henrique Menegaro Possamai ²

Ruan Venancio Martins ³

Anderson Daleffe ⁴

Célia Malfatti ⁵

Henrique Cechinel Casagrande ⁶

Gilson de March ⁷

Jamile Langbehn ⁸

Resumo: Os processos de soldagem são amplamente utilizados na indústria, com aplicações em diversos setores, como construção naval, automotivo e estruturas metálicas. Este estudo tem como objetivo comparar os processos de soldagem GMAW e LASER como alternativas para esses setores, utilizando aço SAE 1005 como material base e arame ER70S-6 como material de adição. Os parâmetros de soldagem foram rigorosamente igualados para garantir uma comparação precisa. Os ensaios realizados incluíram tração, análise metalográfica, micro dureza Vickers e monitoramento termográfico, com o intuito de observar o comportamento térmico durante a soldagem.

Palavras-chave: Soldagem a Laser. MAG. HLAW. SAE 1005. Análise comparativa.

1 INTRODUÇÃO

A indústria metalmecânica, que emprega diversos processos de fabricação, destaca-se a soldagem, uma técnica utilizada para unir componentes por meio de calor, pressão ou ambos, podendo incluir ou não adição de material [1]. O processo de soldagem é fundamental na linha de produção para muitas empresas metalmecânica. Esse método é reconhecido como um dos mais importantes e populares processo de fabricação utilizados em todo o mundo [2]. Além de unir metais, essa técnica também pode ser empregada para realizar outros processos, como o de revestimentos em peças que sofrem degradação durante o uso [3].

Dentre os diversos métodos de soldagem, destacam-se GMAW (Gás Metal Arc Welding) e a tecnologia a laser. O processo GMAW é amplamente reconhecido



por sua praticidade e alta taxa de deposição de material [4,5]. Em contraste, a soldagem a laser se destaca pela precisão, oferecendo controle detalhado e um menor aporte térmico em comparação com outras técnicas [6].

A soldagem a laser é particularmente eficaz na união de materiais dissimilares, essencial na fabricação de estruturas de veículos, onde diferentes metais são combinados para otimizar resistência e leveza [7].

Devido ao baixo número de conteúdos e conhecimentos práticos e teóricos sobre a soldagem a laser, percebeu-se a necessidade de um estudo que demonstre de forma simplificada as diferenças desse método em comparação com outros. A soldagem a laser representa uma evolução significativa em relação a técnicas tradicionais, como o GMAW

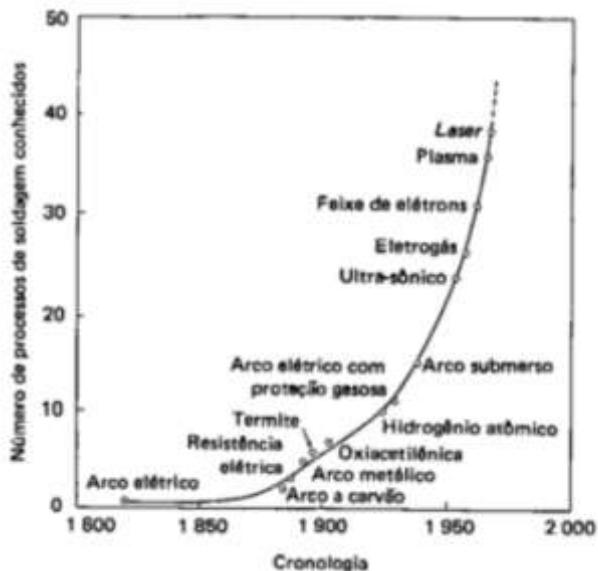
Dessa forma, o presente artigo adota uma abordagem comparativa entre as técnicas de soldagem GMAW e a laser, garantindo que os mesmos parâmetros sejam utilizados para ambos os processos, a fim de evitar divergências. Os resultados da avaliação das juntas soldadas foram obtidos por meio de ensaios mecânicos destrutivos, como o de tração, e complementados com ensaios de microdureza para medir a resistência à deformação superficial, além de análises metalográficas para examinar a morfologia e estrutura do material. O processo de soldagem foi monitorado com uma câmera termográfica para traçar o gradiente de temperatura.

2 PROCESSO DE SOLDAGEM

Em meados do século XIX, o processo de soldagem foi apresentado por Sir Humphry Davy após a descoberta do arco elétrico. No entanto, há registros da utilização de metais aditivos no processo de união de dois materiais base já em 2000 a.C., por meio de esforço físico e marteladas após o aumento da temperatura dos materiais envolvidos [3, 8].

O processo de soldagem tornou-se viável para a indústria cerca de 100 anos depois de sua apresentação, principalmente devido à Primeira Guerra Mundial. Os processos evoluíram para atender à crescente demanda da indústria, resultando na necessidade de estudos aprofundados sobre cada método [8]. Atualmente, a soldagem é um dos processos mais utilizados para a união de materiais metálicos, subdividindo-se em diversas técnicas, A Fig. 01 ilustra a evolução cronológica da soldagem e bem como entre outras técnicas.

Figura 01 - Evolução dos processos de soldagem



Fonte: Soldagem – Processo e Metalurgia

Comumente, as palavras soldagem e solda são tratadas como sinônimos, mas, em termos técnicos, há uma diferença significativa entre elas. Soldagem refere-se ao processo de unir dois ou mais materiais por meio de calor, pressão, ou ambos, para formar uma junta permanente. Já a solda pode se referir a dois aspectos: o resultado do processo de soldagem (a união entre as partes) ou o material fundido utilizado no processo de soldagem para unir as partes [3].

2.1 SOLDAGEM GMAW

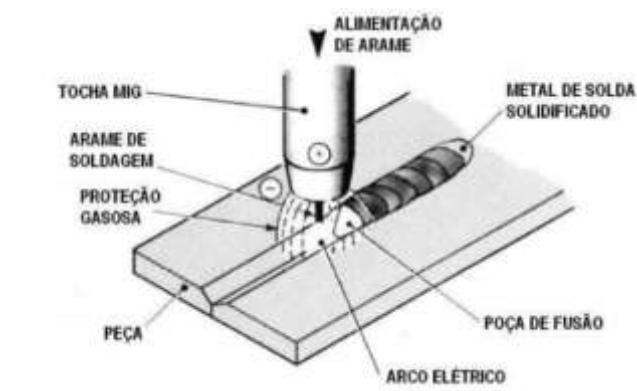
O princípio do processo GMAW era conhecido desde a década de 1920, quando se percebeu que certos gases facilitavam a abertura do arco, protegiam o cordão de solda e permitiam a adição de elementos de liga. No entanto, apenas em 1948 a técnica foi aplicada comercialmente, devido à melhor estabilidade do arco e à evolução dos equipamentos [9].

Inicialmente, a soldagem MIG foi criada para utilizar gases inertes, como o argônio, para proteger o arco elétrico e o metal fundido de contaminações atmosféricas. Com o tempo, o processo MAG, que usa gases ativos como o dióxido de carbono, foi introduzido para melhorar a penetração e a velocidade de soldagem

em materiais ferrosos. Esse avanço permitiu uma maior versatilidade e eficiência, especialmente em aplicações de alta produção [10].

O processo de soldagem GMAW utiliza um eletrodo consumível para transferir material fundido para a poça de fusão por meio de um arco elétrico (Fig. 02). Durante essa transferência, gotas de metal se formam na extremidade do arame-eletrodo, apresentando variações em tamanho, frequência de desprendimento e tempo de formação. Essa dinâmica é influenciada por vários fatores, como o material e o diâmetro do eletrodo, o tipo de gás de proteção, a intensidade e polaridade da corrente, além do comprimento do arco e das condições de pressão ambiente [11].

Figura 02 – Processo de soldagem MIG/MAG



Fonte: ESAB Apostila MIG/MAG

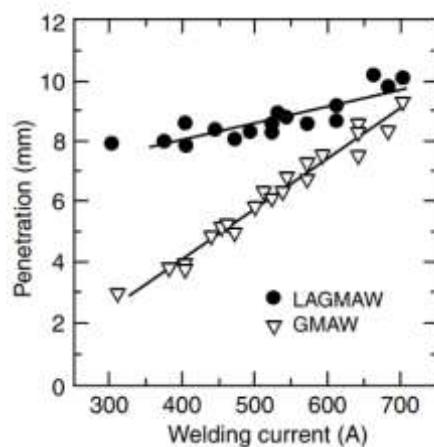
2.2 SOLDAGEM A LASER

A soldagem LASER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation), foi impulsionada pela sua capacidade de se propagar no ar com baixa perda e manter suas características físicas ao ser orientado por ópticas. Devido à sua qualidade distinta, o laser possibilita alcançar características que não podem ser obtidas por outros processos [12].

Uma forma eficaz de potencializar os benefícios de diferentes processos de soldagem é através da combinação de técnicas, o que deu origem a estudos sobre processos híbridos na década de 1970. Em 1991, a sinergia entre o LASER e o arco elétrico resultou na criação do HLAW (Hybrid LASER-Arc Welding). O HLAW oferece a capacidade de realizar soldagens de alta qualidade em várias configurações de juntas, proporcionando um processo mais robusto, com até três vezes a eficiência de

um processo LASER convencional. Além disso, permite a adição de metal de enchimento, que ajusta as propriedades metalúrgicas da solda e possibilita a execução de soldas filetadas. A menor taxa de resfriamento também reduz a dureza da solda, tornando o processo ainda mais vantajoso em termos de controle térmico e resistência [13]. O gráfico da Fig. 03 demonstra a comparação de penetração da soldagem GMAW e HLAW.

Figura 03 – Comparaçāo penetração(mm) x Corrente (A) do LAGMAW (HLAW) e GMAW.



Fonte:– Livro: Welding Metallurgy

Entretanto, a elevada refletividade de um feixe de laser na superfície metálica é uma desvantagem significativa. Além disso, o custo do equipamento é alto, e são necessários ajustes e alinhamentos precisos das juntas para garantir a qualidade da solda [14].

2.3 COMPARAÇÃO DOS PROCESSOS

A soldagem LASER e o processo MAG apresentam características complementares, sendo cada um mais adequado para diferentes cenários industriais. O LASER, com seu feixe altamente concentrado, permite soldas estreitas e profundas em alta velocidade, resultando em mínima distorção e uma zona termicamente afetada (ZTA) reduzida. Isso o torna ideal para aplicações que exigem precisão e acabamento de alta qualidade, especialmente em materiais de diferentes espessuras ou com formas complexas.



Em contrapartida, o processo MAG, por utilizar um arco elétrico contínuo protegido por gases ativos, oferece maior versatilidade e eficiência em produção de grande escala, particularmente na soldagem de materiais ferrosos. Embora o MAG apresente maior penetração e seja amplamente acessível em termos de custo e operação, ele tende a gerar uma ZTA maior e mais distorção nas peças quando comparado ao LASER. Assim, a decisão de uso entre os dois processos dependerá da necessidade entre precisão, custo e volume de produção [13].

3 MATERIAIS E METODOS

Neste estudo, foram utilizadas quatro chapas de 65 x 100 x 2 mm, fabricada em aço SAE 1005, como material de base. O material de edição que foi utilizado para ambos os processos de soldagem foi o arame segundo a norma AWS A5.18 ER70S-6 com diâmetro de 0,8mm. Que apresenta baixo teor de carbono e costuma ser empregado para a fabricação de estruturas metálicas e para uso geral em metalurgia para a ligação de materiais de baixo carbono como aço SAE 1020, devido ao seu baixo custo em comparação com outras ligas [15,16]. A configuração das juntas foi realizada utilizando uma junta de topo com chanfro quadrado, respeitando a norma AWS D1.1.

Para garantir a certificação da composição química do material base, foi realizada análise por Espectrometria de Emissão Óptica (OES). Esse método possibilitou uma análise precisa dos elementos presentes, tanto qualitativa quanto quantitativamente, além de detectar traços de impurezas. Isso assegurou a conformidade do material com as especificações técnicas e permitiu um controle rigoroso das propriedades metalúrgicas para processos como soldagem e conformação.

Para realizar a solda MAG, foi utilizado o equipamento modelo IMC® DigiPLUS A7 ACDCDU6. Os parâmetros utilizados foram: tensão de 14V, alimentação de 2 m/min e vazão de gás de 12 l/min.

Para realizar a soldagem a laser, utilizou-se o equipamento SENFENG® modelo SF2000HWM. Os parâmetros ajustados foram: potência de 3000 W, amplitude de 5 mm, frequência de 2000 Hz, varrimento de 6000 mm/s, alimentação de 65 cm/min e vazão de gás de 12 l/min.



4 ANÁLISE DOS DADOS

Na sequência, serão tratados os resultados obtidos ao longo desse estudo. Esse experimento teve o propósito de buscar uma quantidade significativa de ensaios com o objetivo de obter diferentes resultados, e dessa forma ter uma boa conclusão do processo.

4.1 ANÁLISE TERMOGRÁFICA

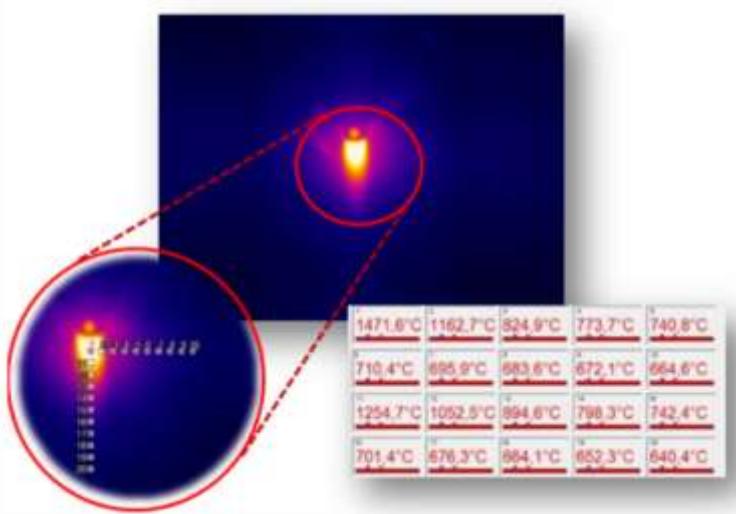
Para monitorar as temperaturas durante o processo de soldagem, foi utilizada uma câmera infravermelha modelo Optris® PI 08M, com uma resolução óptica de 764 x 480 pixels a 32 Hz, também conta com uma faixa espectral de 780 – 820 nm e capacidade de operar em um intervalo de temperatura de 575 a 1900°C. A escolha deste modelo se deve à sua alta sensibilidade e a sua exatidão, com uma margem de erro de $\pm 1\%$ para temperaturas abaixo de 1500°C e $\pm 2\%$ para temperaturas acima de 1500°C [17], características que se alinham perfeitamente com os processos de soldagem analisados. A tecnologia de termografia infravermelha permite a captura da radiação térmica emitida pela superfície do material, convertendo-a em uma imagem térmica que revela a distribuição de temperatura em tempo real.

Esse tipo de monitoramento é crucial para a análise dos processos de soldagem, pois o controle da temperatura influencia diretamente a formação da microestrutura e, consequentemente, as propriedades mecânicas da junta soldada. A faixa de temperatura da câmera abrange as temperaturas típicas da poça de fusão e da ZTA, permitindo uma análise detalhada das condições térmicas ao longo de todo o processo de soldagem.

Além disso, a utilização da termografia infravermelha possibilita um monitoramento não invasivo e em tempo real, essencial para capturar as rápidas variações de temperatura típicas dos processos de soldagem, especialmente no caso da soldagem a laser, em que as taxas de resfriamento são significativamente mais rápidas em comparação ao processo MIG/MAG. Assim, a aplicação desta técnica fornece uma base sólida para a comparação quantitativa e qualitativa dos perfis térmicos gerados por cada método de soldagem, contribuindo para a otimização dos parâmetros e melhoria da qualidade das soldas.

As imagens obtidas com a câmera termográfica permitiram uma análise detalhada dos processos de soldagem e das diferenças entre os métodos estudados. A figura 04 ilustra o aporte térmico durante a soldagem a laser, destacando as características térmicas específicas desse método. Em contraste, a Figura 05 apresenta o aporte térmico correspondente ao processo de soldagem MIG/MAG.

Figura 04: Gradiente de temperatura durante a soldagem a laser, capturado pela câmera termográfica Optris® PI 08M.

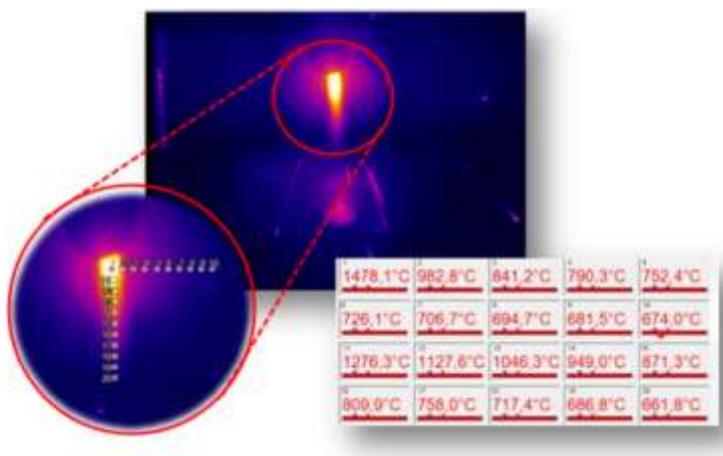


Fonte: Do autor (2024)

Na Fig. 05, observa-se que o processo de soldagem a laser apresenta uma concentração térmica substancial, resultante do uso de um feixe de luz altamente focalizado. Essa característica permite uma alta densidade de potência, que contribui para a precisão na fusão dos materiais e minimiza a ZTA, favorecendo um controle mais rigoroso do aporte térmico e reduzindo o risco de distorções e tensões residuais.

Ao comparar os processos de soldagem a laser e MAG, verificou-se que ambos alcançam temperaturas semelhantes na poça de fusão, aproximadamente 1474°C, conforme os dados obtidos pela câmera termográfica. Entretanto, ao analisar os gradientes térmicos nos pontos mais afastados, as diferenças entre os processos tornam-se evidentes. No eixo X (Pontos 1 a 10), foi registrada uma diferença de 9,4°C, enquanto no eixo Y (Pontos 11 a 20), colinear ao cordão d'e solda, a diferença foi ainda maior, atingindo 21,4°C. Esses resultados evidenciam a superioridade do laser em termos de controle térmico, o que se traduz em uma redução significativa na deformação das peças soldadas, homogeneização da microestrutura do material.

Figura 05: Gradiente de temperatura durante a soldagem MIG/MAG, capturado pela câmera termográfica Opbris® PI 08M.



Fonte: Do autor (2024)

4.2 ANÁLISE METALOGRÁFICA

Análise de microestrutura e caracterização de metais e ligas, realizada através da técnica de Microscopia Óptica (MO), foi utilizado um microscópio Olympus BX51M, com base na norma ASTM E3-11 para preparação da amostra, com ataque nital 2,0%.

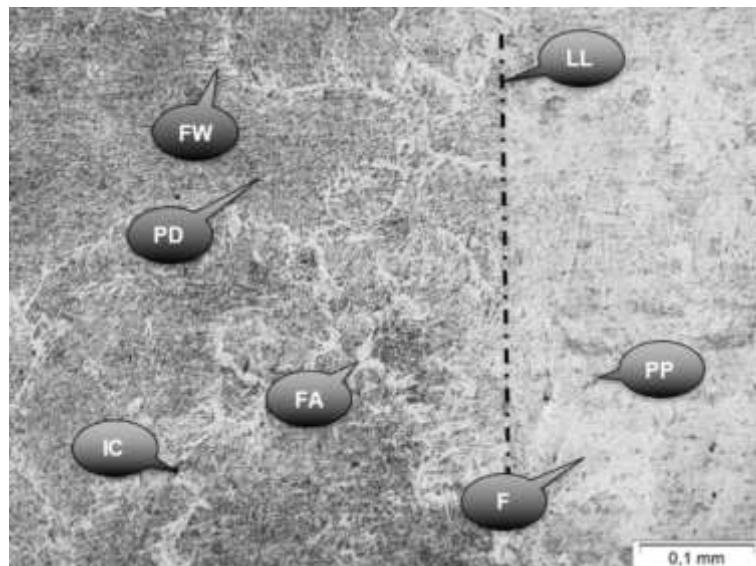
Partindo do fato de que a soldagem a laser apresentou uma formação mais homogênea de perlita ao longo da microestrutura. A soldagem com MAG apresentou se comparado com a laser grãos mais grosseiros na ZTA, conforme ilustrado na Fig. 06.

Partindo do fato de a soldagem a LASER tem um aporte térmico menor a mesma não apresentou a formação de ferrita de Widmanstätten (FW), destacada na Fig. 07 da soldagem MAG, comparando-a com o diagrama ferro-carbono observasse que ela não atingiu a zona de austenita. A formação de placas de ferrita (F), como a FW, exerce um impacto significativo nas propriedades do aço, incluindo sua tenacidade na zona afetada pelo calor da soldagem.

Para melhor entendimento da imagem foram feitos abreviações e indicados nas imagens, onde a ferrita alotriomórfica (FA) que é o primeiro produto da decomposição da austenita. Linha de ligação (LL), inclusão (IC) que ocorrem quando

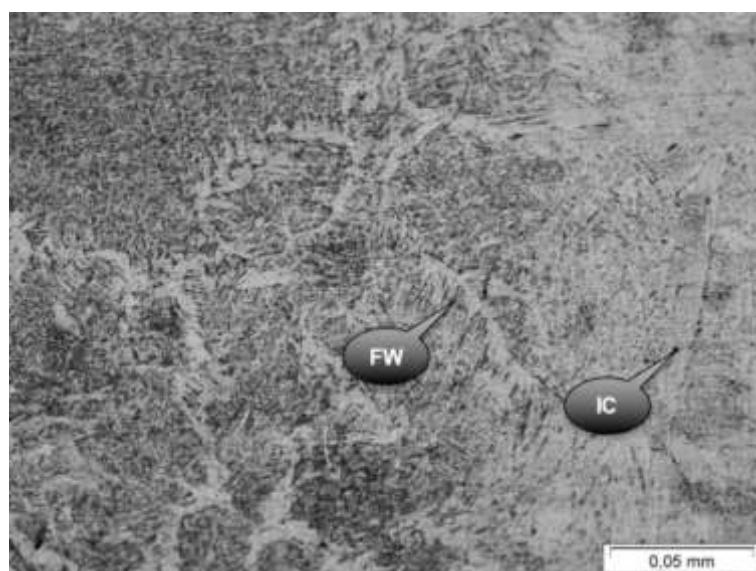
pequenas partículas de fluxo ficam presas dentro do metal de solda, a formação de perlita poligonal (PP), perlita dissolvida na matriz ferrítica (PD).

Figura 06 – Metalografia da amostra soldada com MAG.



Fonte: Do autor (2024)

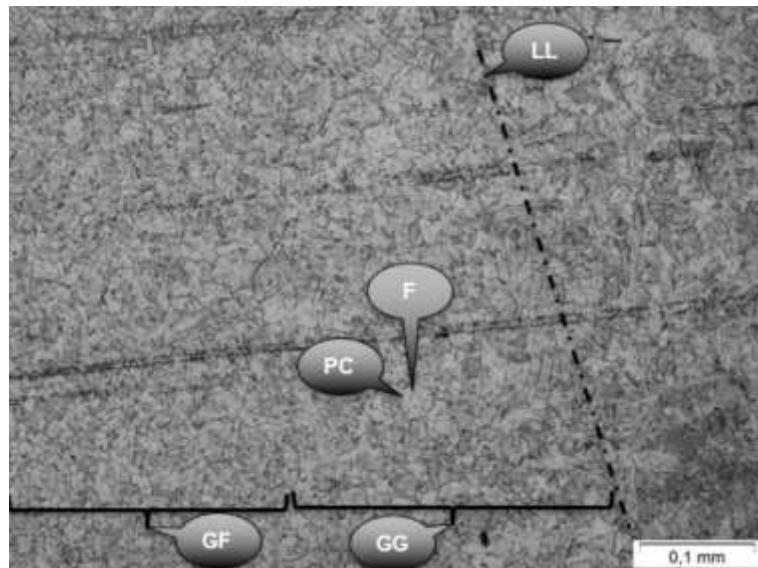
Figura 07 – Metalografia da amostra soldada com MAG.



Fonte: Do autor (2024)

Observa-se na imagem da figura 08, perlita de contorno de grão (PC), região de grão grosso (GG), e região de grão fino (GF).

Figura 08 – Metalografia da amostra soldada com LASER.



Fonte: Do autor (2024)

4.3 ANÁLISE DE DUREZA

Análise de dureza pela técnica de ensaio de micro dureza Vickers com carga de 9,807 N, penetrador de diamante com base quadrada e ângulo entre as faces opostas iguais a 136° e uma distância de 0,5 mm a cada penetração. Com base na norma ASTM E140-12B(2019)e1. Para este ensaio foi utilizado o micro durômetro modelo Shimadzu Corporation HMV-2TADW DM.

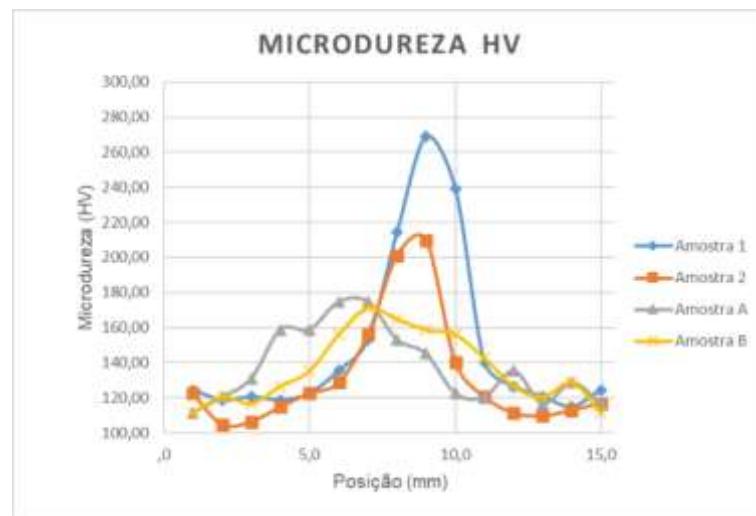
Os valores de dureza médio nas amostras soldadas com laser foram mais homogêneos pelo fato de terem um menor aporte térmico, como foi mostrado nas figuras 04 e 05 com a câmara térmica, partindo do fato de que suas microestruturas tiveram uma formação mais homogênea de perlita. Já os valores para soldagem MAG foram maiores pois em sua ZTA ouve maior segregação de carbono, resultado das altas temperaturas atingidas no processo.

Tabela 01 – Dados obtidos nos ensaios de micro dureza.

DISTÂNCIA (mm)	Amostra 1		Amostra 2		Amostra A		Amostra B	
	D	HV	D	HV	D	HV	D	HV
1	0,122	124,53	0,123	122,51	0,129	111,38	0,129	111,38
2	0,125	118,63	0,133	104,78	0,124	120,55	0,124	120,55
3	0,124	120,55	0,132	106,38	0,119	130,89	0,126	116,75
4	0,125	118,63	0,127	114,92	0,108	158,91	0,121	126,60
5	0,123	122,51	0,123	122,51	0,108	158,91	0,117	135,40
6	0,117	135,40	0,120	128,72	0,103	174,71	0,109	156,01
7	0,110	153,18	0,109	156,01	0,103	174,71	0,104	171,37
8	0,093	214,30	0,096	201,12	0,110	153,18	0,106	164,96
9	0,083	269,06	0,094	209,77	0,113	145,16	0,108	158,91
10	0,088	239,35	0,115	140,15	0,123	122,51	0,109	156,01
11	0,115	140,15	0,124	120,55	0,124	120,55	0,114	142,62
12	0,121	126,60	0,129	111,38	0,117	135,40	0,121	126,60
13	0,124	120,55	0,130	109,68	0,126	116,75	0,124	120,55
14	0,127	114,92	0,128	113,13	0,120	128,72	0,120	128,72
15	0,122	124,53	0,126	116,75	0,126	116,75	0,129	111,3

Fonte: Do autor (2024)

Gráfico 01 – Comparaçao dos ensaios de micro dureza.



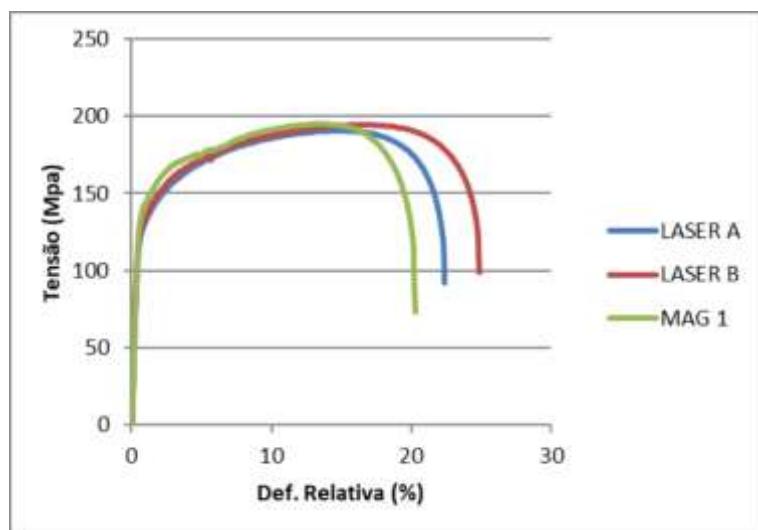
Fonte: Do autor (2024)

4.4 ENSAIO DE TRAÇÃO

A orientação dos corpos de prova que foram cortados em transversal com relação a área soldada. Para efetuar o ensaio foi utilizada uma máquina de tração

mecânica modelo Emic DL-10000, com sua capacidade máxima de 100 KN, os corpos de prova foram cortados com dimensões conforme a norma ASTM E08 padrão reduzido.

Gráfico 02 – Tensão x deformação específica.



Fonte: Do autor (2024)

Como é possível perceber no gráfico 2, a relação de tensão e deformação específica, os corpos de prova estudados possuem um comportamento dúctil. A tensão de escoamento também segue essa linha de comparação de resultados. Como já era esperado em ambos os ensaios os corpos de prova romperam fora da área de soldagem, validando assim os processos, demonstrando que em ambos os processos se obtém a resistência desejada.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados deste estudo demonstram a viabilidade do processo de soldagem a LASER em comparação com o GMAW. Ambos os processos alcançam temperaturas semelhantes na poça de fusão, em torno de 1474°C. No entanto, as diferenças tornam-se visíveis nos gradientes térmicos em áreas mais distantes. No eixo X, observou-se uma diferença de 9,4°C, enquanto no eixo Y, colinear ao cordão de solda, a diferença foi ainda maior, atingindo 21,4°C. Essas variações indicam comportamentos térmicos semelhantes, favorecendo o LASER principalmente por conta de sua maior concentração térmica.



Uma das principais vantagens do LASER é sua maior concentração e menor aporte térmico, o que evita a formação de FW, frequentemente observada no processo GMAW. A ausência de FW é benéfica porque impede a formação de austenita na zona afetada pelo calor, melhorando a tenacidade da junta soldada, um fator crucial para a integridade das soldas.

Além disso, as amostras soldadas com LASER apresentaram dureza mais homogênea, devido à formação uniforme de perlita. Em contraste, o GMAW resultou em valores de dureza mais elevados devido à maior segregação de carbono na ZTA. O GMAW é mais adequado para situações que requerem maior homogeneidade e similaridade com o material de base.

Apesar de exigir maior controle técnico e treinamento especializado, a soldagem a LASER oferece produtividade e qualidade superiores. Embora o GMAW seja popular por seu custo acessível, o LASER, apesar do investimento inicial mais alto, proporciona soldas de alta qualidade com maior precisão e menor distorção. Além disso, melhora a eficiência de produção e reduz os custos operacionais a longo prazo. Portanto, o maior custo inicial do LASER pode ser compensado por seus benefícios superiores em qualidade e desempenho.

REFERÊNCIAS

- [1] 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. Vincci*, vol. 9, n. 2, p. 205-225, 2024.
- [2] Marques, P.; Modensesi, P.; Bracarense, A. Soldagem fundamentos e tecnologia. Belo Horizonte: UFMG, Ed. 3., 2009.
- [3] Almendra, A. et al. Soldagem: Área Metalúrgica. São Paulo: SENAI-SP, 2013.
- [4] Wainer, E.; Brandi, S.; de Melo, F. Soldagem: Processos e metalurgia. São Paulo: Blucher, 2008.
- [5] 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.
- [6] He, G.; Gao. X.; Li, L.; Gao, P. OCT monitoring data processing method of laser deep penetration welding based on HDBSCAN. *Óptica e Tecnologia Laser*, vol. 179, 2024.



- [7] Cordoso,I.; Neto,M.; Estudo de viabilidade técnica do processo de soldagem a laser em tailor welded blanks na indústria automobilística. Anais. 2015 Salvador, I simpósio internacional de inovação e tecnologia. 2015.
- [8] Neis, M. Soldagem: Eixo Tecnológico: Controle e Processos Industriais. São Paulo: Cetec Capacitações.
- [9] 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 impresso através da técnica de manufatura aditiva por arco elétrico. Rev. Vincci, vol. 9, n. 2, p. 622-638, 2024.
- [10] ESAB. Soldagem MIG/MAG.
- [11] Scotti, A.; Ponomarev, V. Soldagem MIG/MAG: Melhor entendimento Melhor desempenho. São Paulo, Artliber Editora, 2. Ed., 2014.
- [12] Almendra, A. et al., Soldagem: Área Metalúrgica. São Paulo. SENAI-SP Editora. Pag., 375. 2013.
- [13] Almeida, D., Casemiro, H., Dutra, E. Processo de soldagem LASER HÍBRIDO GMAW. Fatec-SP. 2013.
- [14] da Cunha, L. Solda: como, quando e por quê. Porto Alegre: Imprensa Livre, 3^a Ed., 2013.
- [15] Ferreira, C. A., Daleffe, A., Casagrande, H. C., De March, G., Martins, H., Schaeffer, L. Análise mecânica do arame ER70S-6 em manufatura aditiva pulsada. Rev. De Gestão Social e Ambiental, Miami, vol. 19, n. 5, p. 1-13, 2025.
- [16] Casagrande, H. C., Daleffe, A., De March, G., Ferreira, C. A., Da Silva, J. V., Martins, H., Schaeffer, L., Castelan, J., & Fritzen, D. Carbon precipitation on the bonding line between deposited material and base material using an additive manufacturing process. Seven Editora, 733–746. 2024.
- [17] Opbris GmbH. Operator's manual: opbris PI 08M. Berlin: Opbris GmbH.

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.