



COMPARATIVO ENTRE SOLDA MANUAL E AUTOMÁTICA EM AÇOS DISSIMILARES

Gustavo Wippel Cunha¹
Lucas Antunes Carara²
Luiz Henrique Moraes Silva³
Anderson Daleffe⁴
Natan Crozeta⁵
Joélson Vieira da Silva⁶
Hadrian Martins⁷
Henrique Cechinel Casagrande⁸

Resumo: O objetivo principal do presente artigo é realizar um estudo comparativo entre a solda manual e a solda automatizada no processo de soldagem de aços dissimilares. Neste, falaremos sobre o processo de solda manual, e de solda automatizada, suas vantagens e desvantagens. Ensaios de dureza e análises metalográficas foram realizados para compreender as alterações microestruturais e mecânicas nas juntas soldadas. Os resultados indicaram que a soldagem automatizada apresentou maior consistência e controle na zona termicamente afetada, enquanto a soldagem manual revelou maior variabilidade nas propriedades mecânicas. Ambas as técnicas, no entanto, demonstraram eficácia, comprovando a possibilidade de integração desses materiais com propriedades distintas para aplicações industriais, onde confiabilidade e desempenho são essenciais.

Palavras-chave: Soldagem manual; Soldagem automatizada; Aços dissimilares.

1 INTRODUÇÃO

A soldagem é uma técnica essencial na fabricação e manutenção de estruturas metálicas, sendo aplicada em uma vasta gama de setores industriais, desde a construção de pontes e edifícios até a produção de veículos, equipamentos pesados e componentes aeroespaciais. Ela é caracterizada pelo processo de união de materiais, geralmente metais, por meio de fusão, com ou sem aplicação de pressão, utilizando um material de adição ou apenas o próprio material base. Dentre as formas de soldagem, destacam-se a soldagem manual e a soldagem automática, que se diferenciam em complexidade, eficiência, custo e aplicabilidade.

¹ Graduando em Engenharia Mecatrônica. UniSATC. E-mail: gustavo.cunha@unisatc.edu.br

² Graduando em Engenharia Mecatrônica. UniSATC. E-mail: lucas.carara@unisatc.edu.br

³ Graduando em Engenharia Mecatrônica. UniSATC. E-mail: luiz.silva@unisatc.edu.br

⁴ Professor UniSATC. E-mail: anderson.daleffe@unisatc.edu.br

⁵ Mestrando em Engenharia Metalúrgica. UniSATC. E-mail: natan.crozeta@unisatc.edu.br

⁶ Professor UniSATC. E-mail: joelso.silva@unisatc.edu.br

⁷ Graduando em Engenharia Mecânica UniSATC. E-mail: hadrian.martins@unisatc.edu.br

⁸ Mestrando em Engenharia Metalúrgica. UniSATC. E-mail: henrique_cechinel@unisatc.edu.br



O manual de aplicação é amplamente utilizado por sua flexibilidade e capacidade de adaptação em condições variáveis. Técnicas como solda com eletrodo revestido (SMAW), soldagem TIG (Tungsten Inert Gas) e MIG/MAG (Metal Inert Gas/Metal Active Gas) são exemplos comuns dessa modalidade. Essas técnicas desativam alta habilidade do soldador para garantir a qualidade e consistência das soldas, tornando o processo mais dependente da expertise humana. Um manual de soldagem é particularmente útil em projetos que exigem maior adaptabilidade e em situações onde o acesso à área de soldagem é limitado. Como destacado por Cunha e Miranda (2018), o manual de soldagem continua sendo essencial em projetos que exigem personalização e alta precisão em condições adversas.

Por outro lado, a soldagem automática e robotizada tem ganhado espaço na indústria devido à sua capacidade de realizar operações repetitivas com alta precisão e consistência. Os sistemas de soldagem automática podem operar sem a intervenção constante de um soldado, utilizando programações pré-definidas e sensores que garantem a qualidade da solda, aumentando a eficiência e prejudicando o risco de falhas humanas. Processos como manipulação por arco submerso (SAW) e aplicação a laser são frequentemente aplicados em sistemas automatizados, especialmente em indústrias que exigem produção em massa e alta produtividade. Conforme abordado por Silva e Castro (2020), a automação na modificação tem sido um dos pilares da modernização industrial, promovendo ganhos significativos em produtividade e qualidade.

Quando se trata da soldagem de aços diferentes, ou seja, a união de metais com diferentes propriedades químicas e mecânicas, os desafios técnicos se intensificam. A compatibilidade entre os metais, as diferenças nos pontos de fusão, os coeficientes de expansão térmica e as respostas de formação de fases intermetálicas são aspectos críticos que devem ser considerados. As técnicas mais comuns para a soldagem de aços diferentes incluem o uso de processos de soldagem TIG e MIG/MAG, além de métodos especiais como a soldagem por fricção (FSW - Friction Stir Welding) e soldagem por feixe de elétrons. Esses processos são escolhidos com base na compatibilidade entre os materiais e na aplicação final da peça soldada. Em um estudo de Oliveira e Santos (2017), a utilização de materiais diferentes é apresentada como um campo em constante evolução, com avanços tecnológicos permitindo a superação de barreiras tradicionais.



O avanço da soldagem robotizada trouxe uma revolução na maneira como a indústria aborda a união de aços diferentes, combinando soluções com eficiência. No entanto, a escolha entre a soldagem manual e robotizada depende de uma série de fatores, incluindo o tipo de projeto, orçamento e requisitos de qualidade. A comparação entre esses dois métodos leva em consideração aspectos como a precisão do controle térmico, a capacidade de adaptação a diferentes geometrias e a consistência das soldas. Para Mendes (2019), a soldagem robotizada tem desempenhado um papel transformador, especialmente em setores onde a repetibilidade e a confiabilidade são críticas

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 HISTÓRIA DA SOLDAGEM DISSIMILAR

Desde suas primeiras aplicações, a soldagem tem evoluído constantemente, dentre essas evoluções destaca-se a soldagem dissimilar, que envolve a união de diferentes tipos de metais. A princípio, a soldagem era um simples processo de união de dois metais semelhantes, porém, com o passar dos anos a tecnologia evoluiu, e criou-se a necessidade de materiais mais resistentes e duradouros, à partir disto, surge a solda dissimilar como aços austeníticos e ferríticos, ligas de níquel e alumínio, entre outros (Almeida, 2022).

A união de materiais dissimilares é capaz de oferecer uma combinação de propriedades mecânicas e físicas distintas, proporcionando soluções únicas exigidas em diversas aplicações de engenharia. Além disso, permite ainda uma redução de peso das estruturas, e deste modo, no consumo de combustíveis e na emissão de gases poluentes. A demanda por este tipo de união é a força motriz para o desenvolvimento e aperfeiçoamento recente dos processos de soldagem (Plaine, 2016).

Ao longo dos anos a soldagem atravessou diversos marcos históricos, como no século XIX a introdução ao arco elétrico, que possibilitou a junção de diversos materiais, porém, ainda encontrando desafios para aços dissimilares (Carvalho, 2024).

Mais a frente, em 1960, a soldagem por eletroescória ganhou grande notabilidade, segundo Picchi (2021), essa técnica reduziu significativamente os



problemas de trinca e porosidade nas soldas, melhorando a qualidade das juntas dissimilares.

Com o passar dos anos, a soldagem a laser se tornou popular, revolucionando a indústria na década de 1980 com soldas mais controladas e precisas. De acordo com Magalhães (2024) esse tipo de soldagem de materiais metálicos envolve essencialmente uma interação complexa entre o laser e substâncias opacas, podendo ser executada usando um feixe de laser contínuo ou pulsado, tendo seus princípios divididos em soldagem por condução de calor e soldagem a laser de penetração profunda.

A contínua evolução das técnicas de soldagem dissimilar demonstram cada vez mais a utilização desse método nas indústrias, e a crescente demanda associada a esse processo. Estudos como os de Santos (2020) e os de Silva et al. (2022) exploram novas tecnologias que contribuem para as práticas de soldagem serem cada vez mais seguras e eficientes.

2.2 PROCESSOS DE SOLDAGEM: MANUAL E AUTOMÁTICO

Nos últimos anos a soldagem tem evoluído constantemente, e com isso ocorreu o surgimento de diversos processos de solda, dentre eles podemos citar alguns dos principais métodos manuais, como o eletrodo revestido, MIG/MAG e TIG. Já nos processos automáticos temos a soldagem a laser, arco submerso e MIG/MAG automatizada.

A soldagem com eletrodo revestido é um processo extremamente simples, sendo principalmente utilizado para soldar aços de baixo carbono, aços de baixa, média e alta liga, aço inoxidável, ferros fundidos, alumínio, cobre, níquel e ligas destes. Além disto, a soldagem de metais dissimilares também é possível utilizando o eletrodo revestido. A grande limitação deste processo se deve ao fato dele ser tipicamente manual, assim, o soldador deve ter uma grande habilidade para se obter uma solda de qualidade (Felizardo, 2016).

O processo MIG - Metal Inert Gas e MAG - Metal Active Gas, estabelece um arco elétrico entre a peça e um arame consumível, fundindo o arame continuamente à medida que este é alimentado à peça de fusão. Na soldagem MIG/MAG, o metal de solda é protegido da atmosfera por meio do fluxo de um gás ou



de uma mistura de gases, classificados como inertes (usualmente argônio e hélio) ou ativos (mistura de gases ativos com inertes ou até mesmo CO₂ puro). Esses gases têm a função de evitar a contaminação do arame, além de estabilizar o arco elétrico e controlar a transferência do material de adição (Machado, 1996).

No processo TIG - Tungsten Inert Gas, por sua vez, um arco elétrico é gerado entre um eletrodo de tungstênio não consumível e a peça de trabalho, com a poça de fusão sendo protegida por um gás ou uma mistura de gases inertes. Esse arco elétrico é suave, proporcionando soldas de boa aparência e necessitando pouca ou nenhuma limpeza após a operação. A capacidade de controlar com precisão a quantidade de calor transferido à peça torna esse processo ideal para a soldagem de componentes pequenos que exijam alta precisão e controle (AWS, 1991).

Partindo para os processos de soldagem automática, um dos mais comuns que possuímos hoje em dia é a soldagem a laser. O primeiro laser, um sólido de rubi, foi criado por Maimann em 1960, excitado por uma lâmpada fluorescente. Pouco depois, os Laboratórios AT&T Bell desenvolveram um laser gasoso de He-Ne, seguido pelo laser de CO₂. O feixe se propaga no ar com pouca divergência, mantendo suas características físicas, o que impulsionou seu desenvolvimento. Hoje, existem diversos tipos de laser, desde sólidos até gasosos, com comprimentos de onda que vão do infravermelho ao ultravioleta. Em essência, o laser é um dispositivo que gera um feixe de radiação, destacando-se pela qualidade, que permite resultados em soldagem impossíveis com outros métodos (Gimenes; Ramalho, 2013). A qualidade apresentada pela soldagem a laser se intensifica ainda mais na utilização de processos automatizados, onde a precisão se torna maior do que no processo manual.

Outro método de soldagem automatizada que é bastante utilizado é o processo de Soldagem ao Arco Submerso (SAW) que envolve a utilização de um arame nu, que é alimentado de forma contínua durante a soldagem. Esse arame cria um arco elétrico entre a peça e o eletrodo, gerando uma poça de fusão. Essa poça de metal fundido e a área ao redor são cobertas por uma camada de fluxo granular, que não só protege o metal fundido da contaminação atmosférica, mas também desempenha diversas funções metalúrgicas, como controle da taxa de resfriamento e a redução da oxidação. O termo "submerso" se refere ao fato de que o arco elétrico fica oculto sob essa camada de fluxo, o que dispensa o uso de equipamentos de



proteção individual contra radiação por parte do operador (Machado, 1996; (Silva et al., 2018).

De acordo com o “Welding Handbook”, escrito por Cynthia L. Jenney e Annette O’Brien, a escolha entre soldagem manual e automática depende de uma série de fatores, incluindo a complexidade do trabalho, volume de produção, custo e necessidades de qualidade. Sendo a soldagem manual mais vantajosa para projetos pequenos ou quando é necessária flexibilidade e controle direto do processo. Já a soldagem automática, por outro lado, é ideal para produções em larga escala e quando a consistência e a repetibilidade são essenciais.

2.3 SOLDAGEM DE AÇOS DISSIMILARES

A soldagem de aços dissimilares refere-se à união de dois tipos de aço com propriedades químicas e mecânicas distintas. Exemplos comuns de aços dissimilares incluem a soldagem entre aço carbono e aço inoxidável, ou entre aço carbono e aços de alta resistência e ligas especiais. Esses materiais apresentam diferenças significativas em suas composições químicas, microestruturas, e comportamentos térmicos e mecânicos, o que torna o processo de soldagem um desafio técnico. "A soldagem de materiais dissimilares apresenta desafios significativos devido às diferenças em propriedades mecânicas, coeficientes de expansão térmica e resistências à corrosão dos metais envolvidos" (Liu et al., 2014). A escolha adequada do processo de soldagem, bem como dos materiais de enchimento e parâmetros de soldagem, é crucial para garantir a qualidade das juntas e o desempenho das peças soldadas.

Um dos principais desafios na soldagem de aços dissimilares é a diferença nas propriedades mecânicas e térmicas dos materiais. Aços com composições distintas apresentam pontos de fusão diferentes, o que pode causar problemas durante o processo de fusão. O aço carbono, por exemplo, tem um ponto de fusão mais baixo que o aço inox, o que pode levar a um derretimento excessivo de uma das ligas, comprometendo a resistência e a integridade da solda. "Diferenças nos coeficientes de expansão térmica entre materiais dissimilares podem resultar em tensões térmicas significativas, comprometendo a integridade da junta" (Zhang et al., 2011). Além disso, a diferença nos coeficientes de expansão térmica entre os



materiais pode gerar tensões térmicas indesejadas durante o resfriamento, resultando em trincas ou distorções nas peças soldadas.

Outro fator relevante é a diferença nas propriedades de resistência à corrosão. O aço inoxidável, por ser mais resistente à corrosão do que o aço carbono, pode ter sua proteção comprometida durante o processo de soldagem, especialmente nas zonas afetadas pelo calor, o que pode levar à formação de pátinas ou regiões suscetíveis à corrosão.

A soldagem de aços dissimilares exige um controle rigoroso dos parâmetros de soldagem, como corrente, tensão, velocidade de avanço e tipo de gás de proteção, além da escolha adequada do material de enchimento. "O controle rigoroso de parâmetros como corrente, tensão e velocidade de avanço é essencial para evitar a fusão desigual e a formação de defeitos na soldagem de aços dissimilares" (Gonçalves et al., 2017). Processos como a soldagem a arco (SMAW), MIG/MAG e TIG são frequentemente usados para esse tipo de aplicação, mas cada processo possui suas peculiaridades.

Para minimizar os problemas relacionados à fusão desigual e à diferença de expansão térmica, a soldagem de aços dissimilares pode envolver o uso de pré-aquecimento ou controle da velocidade de resfriamento das peças. O uso de um arco estável e a escolha do eletrodo adequado são essenciais para obter uma fusão homogênea e evitar a formação de defeitos, como trincas a quente. "A seleção de materiais de enchimento adequados é crucial para minimizar tensões residuais e evitar problemas como fragilidade nas juntas soldadas" (Davies, 1993).

Em casos de soldagem entre materiais com alta diferença de resistência, como aço inoxidável e aço carbono, é comum utilizar processos automatizados, como MIG/MAG, que permitem maior controle sobre a deposição do material e a minimização das tensões residuais. A escolha do material de enchimento é um fator crítico na soldagem de aços dissimilares. O material de enchimento deve ser escolhido com base nas propriedades dos dois metais base, garantindo uma boa adesão e evitando problemas como a fragilidade nas juntas. Para soldagem entre aço carbono e aço inox, por exemplo, "ligas como a 309L são amplamente utilizadas na soldagem de aço carbono com aço inoxidável devido à sua compatibilidade química e resistência à corrosão" (Kou, 2003).



Os parâmetros de soldagem, como corrente elétrica, velocidade de avanço, e tipo de gás de proteção, também devem ser ajustados para equilibrar as diferenças nas propriedades dos materiais. Uma corrente muito alta pode causar uma fusão excessiva de um dos metais, enquanto uma corrente muito baixa pode resultar em uma solda fraca. O controle da velocidade de resfriamento também é essencial para reduzir a formação de tensões térmicas e minimizar o risco de distorções e falhas na junta.

Em suma, a soldagem de aços dissimilares requer um planejamento cuidadoso, levando em consideração as propriedades dos materiais envolvidos, as técnicas de soldagem apropriadas e a escolha dos materiais de enchimento adequados. "Com a combinação certa de processo, parâmetros e materiais, é possível obter juntas de alta qualidade que atendem às exigências mecânicas e de durabilidade dos componentes" (Liu et al., 2014).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização do experimento, foram utilizadas quatro peças de aço carbono 1045, com espessura de 3/16" (4,76 mm), e quatro peças de aço carbono 1020, com espessura de 1/8" (3,18 mm). O procedimento consistiu em unir peças de aço 1045 a peças de aço 1020, simulando condições industriais em que a união de materiais com propriedades específicas é necessária.

Figura 1 - Peça feita de aço 1045 e peça de aço 1020 que serão unidas.



Fonte: os autores.

A soldagem foi realizada em dois métodos diferentes: soldagem automática e soldagem manual. Na soldagem automática, foi utilizado um robô Yaskawa, configurado para realizar o processo de solda do tipo MAG (Metal Active Gas). Este procedimento foi repetido duas vezes, resultando em duas peças unidas. Na soldagem manual, usei uma máquina de solda Vulcano FlexMIG 350i Trifásica, da marca Balmer, também utilizando o processo MAG. Assim como no método automatizado, foram realizadas duas uniões, totalizando quatro peças finais: duas obtidas por soldagem automática e duas por soldagem manual. Cada peça resultante era composta por uma metade de aço carbono 1045 e outra metade de aço carbono 1020.

A MAG, utilizada em ambas as técnicas, é um processo de soldagem por arco elétrico que emprega um gás de proteção ativo para estabilizar o arco e proteger a poça de fusão. O termo "ativo" refere-se à interação química do gás com o metal fundido. No caso do experimento, foi utilizado um eletrodo de arame de 1,2 mm de diâmetro, alimentado a uma velocidade constante de 6 m/min. A tensão aplicada em todas as soldagens foi ajustada para 22,4 V, garantindo condições uniformes nos dois métodos. O processo MAG é amplamente utilizado na indústria devido à sua alta produtividade e características, sendo adequado para a soldagem de aços de carbono e aços de baixa liga.

Figura 2 e 3 - Máquina de solda e robô utilizado.



Fonte: os autores.

Durante o processo, o gás de proteção utilizado, que é uma mistura de dióxido de carbono (CO_2) e argônio (Ar), mistura também conhecida como “Stargold”, desempenha um papel crucial, prevenindo a contaminação da solda por oxigênio e nitrogênio presentes no ar. Além disso, ele contribui para a formação de uma poça de fusão estável, melhorando a qualidade do cordão de solda. No caso deste experimento, a utilização do processo MAG em ambas as técnicas possibilitou uma análise comparativa direta, eliminando variáveis relacionadas ao tipo de solda.

As quatro peças resultantes foram avaliadas quanto à qualidade da solda por meio da técnica de metalografia, que consiste na preparação, observação e análise microscópica de amostras metálicas para investigar suas características estruturais, como grãos, fases e possíveis defeitos. Esse método permitiu uma análise detalhada das zonas fundidas e da interface entre os aços 1045 e 1020. Os resultados superficiais, vistos ao olho, já mostraram que as soldas realizadas pelo robô apresentavam alta uniformidade, com cordões bem formados e consistentes, evidenciando a capacidade do processo automatizado de manter um padrão elevado. Por outro lado, na soldagem manual, uma das peças apresentou uma solda de boa

qualidade, enquanto outra revelou descontinuidades e irregularidades no cordão, evidenciando a influência da habilidade do operador e da variabilidade inerente ao método manual.

Figura 4 e 5 - A esquerda a solda feita pelo robô e a direita feita manualmente, sendo em ambas a chapa acima da união de solda, aço 1020.



Fonte: os autores.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 ANÁLISE DE METALOGRAFIA DOS AÇOS SOLDADOS

A soldagem manual possui forte dependência da habilidade do operador, o que pode levar a um ciclo térmico menos controlado. Isso pode causar resfriamento mais lento ou irregular, favorecendo o crescimento de grãos na ZTA (Zona Térmica Afetada). A ZTA aparenta ser mais larga, indicando um controle térmico menos preciso e possivelmente um aporte térmico maior e mais irregular.

Figura 6 - ZTA. Soldagem manual.



Fonte: os autores.

Parece haver uma diferenciação entre regiões de grão grosseiro e fino, indicando diferentes zonas térmicas típicas de uma solda (zona fundida, zona termicamente afetada - ZTA, e material base).

A estrutura apresenta regiões escuras e claras, sugerindo que o ataque químico realçou fases como ferrita e perlita.

Figura 7 - ZTA (Zona Térmica Afetada) solda manual do aço 1045.



Fonte: os autores.

O aço 1045 com maior teor de carbono, apresenta uma zona térmica mais escura (figura 7) em relação ao aço 1020 com menor teor de carbono (figura 8), isso ocorre devido a essa diferença em suas composições, gerando assim mais ou menos ferrita e/ou perlita em sua composição final.

Figura 8 - ZTA (Zona Térmica Afetada) solda manual do aço 1020.



Fonte: os autores.

A solda robotizada tem uma zona termicamente afetada (ZTA) que aparenta ser mais estreita e controlada, característica de um processo robotizado devido à alta repetibilidade e controle preciso de parâmetros como velocidade de soldagem e aporte térmico.

Figura 9 - ZTA (Zona Térmica Afetada) solda robotizada.



Fonte: os autores.

A soldagem robotizada permite melhor controle do ciclo térmico, resultando em um resfriamento mais uniforme. Isso reduz o risco de formação de grãos grosseiros na ZTA e promove uma microestrutura mais homogênea.

No aço 1020 (baixo carbono), predominam regiões ferríticas, enquanto o aço 1045 apresenta uma maior quantidade de perlita devido ao teor mais alto de carbono. A interface entre os dois aços parece bem fundida, sugerindo uma boa penetração da solda.

Figura 10 - ZTA (Zona Térmica Afetada) solda robotizada do aço 1045.



Fonte: os autores.

Figura 11 - ZTA (Zona Térmica Afetada) solda robotizada do aço 1020.



Fonte: os autores.



4.2 ANÁLISE DE MICRODUREZA DA SOLDA AUTOMÁTICA

Foi feita também uma análise de variação da microdureza (HV) para a solda automatizada ao longo de uma certa distância a partir de um ponto inicial. Os dados obtidos foram expostos em uma tabela, e analisados a partir de um gráfico.

Tabela 1 - Análise da microdureza na solda automatizada.

Robo				
Ponto	Distancia ponto inicial	Incremento	Medição	HV
0	0,0	0	104,65	169,33
1	0,5	0,5	95,68	202,56
2	1,0	0,5	106,89	162,30
3	1,5	0,5	97,92	193,40
4	2,0	0,5	89,7	230,47
5	2,5	0,5	92,69	215,84
6	3,0	0,5	97,18	196,36
7	3,5	0,5	85,96	250,96
8	4,0	0,5	86,71	246,64
9	4,5	0,5	82,97	269,38
10	5,0	0,5	93,44	212,39
11	5,3	0,3	98,67	190,47
12	5,6	0,3	99,42	187,61
13	5,9	0,3	101,66	179,43
14	6,2	0,3	93,44	212,39
15	6,5	0,3	89,7	230,47
16	7,0	0,5	91,94	219,38
17	7,5	0,5	94,93	205,78
18	8,0	0,5	97,18	196,36
19	8,5	0,5	97,18	196,36
20	9,0	0,5	93,44	212,39
21	9,5	0,5	88,21	238,32
22	10,0	0,5	86,71	246,64

Gráfico 1 - Corpo de prova com Robô



A partir de um ensaio de dureza de Vickers pudemos obter os valores apresentados acima, esse método consiste em aplicar uma carga conhecida, nesse caso de 1N, sobre a superfície de um material. A dureza de Vickers é calculada através da fórmula:

$$HV = \frac{1,8544 \cdot F}{d^2}$$

Onde:

- F: Força aplicada.
- d: Diagonal média da impressão (em mm).

Observando a tabela inferimos que o valor de HV começa relativamente alto (169,33 no ponto 0) e apresenta algumas variações ao longo da distância, essas variações apresentam por vezes alguns pontos significativos de dureza, que podem estar relacionados à transição ou mistura de ambos os materiais na zona afetada pelo calor (ZAC). No ponto 0 temos o começo do processo de soldagem no aço 1045, percebemos que a partir do ponto 4 até o ponto 14 os valores de HV variam com maior intensidade, isso se dá por conta do ponto 14 ser o último dentro da solda, ou seja, a partir do ponto 15 adentramos na região do aço 1020. Atesta-se um certo aumento na dureza, na região citada (ponto 4 ao 14) justamente por conta desta área corresponder



à zona de termicamente afetada, entre os aços 1020 e 1045 havendo formação de estruturas mais duras, a exemplo da martensita, esse fenômeno pode ser atribuído ao calor do processo de soldagem.

As regiões de início e de fim apresentam uma maior estabilidade, provavelmente por conta da proximidade com o material de origem (1020 ou 1045) tendo uma dureza característica de um dos materiais.

4.3 ANÁLISE DE MICRODUREZA DA SOLDA MANUAL

Assim como a análise de microdureza da soldagem automatizada, foi feita também a mesma prova para a soldagem manual, e os resultados expostos em uma tabela e um gráfico novamente.

Tabela 2 - Análise da microdureza na solda manual

Manual				
Ponto	Distancia ponto inicial	Incremento	Medição	HV
0	0,0	0	92,69	215,84
1	0,5	0,5	90,45	226,67
2	1,0	0,5	92,69	215,84
3	1,5	0,5	90,45	226,67
4	2,0	0,5	90,45	226,67
5	2,5	0,5	89,70	230,47
6	3,0	0,5	90,45	226,67
7	3,5	0,5	88,95	234,38
8	4,0	0,5	89,70	230,47
9	4,5	0,5	89,70	230,47
10	5,0	0,5	108,39	157,84
11	5,3	0,3	103,16	174,25
12	5,6	0,3	110,64	151,49
13	5,9	0,3	117,38	134,59
14	6,2	0,3	113,62	143,65
15	6,5	0,3	113,62	143,65
16	6,8	0,3	116,61	136,37
17	7,1	0,3	115,12	139,93
18	7,4	0,3	115,12	139,93
19	7,7	0,3	116,61	136,37
20	8,0	0,3	106,89	162,30
21	8,5	0,5	106,15	164,57
22	9,0	0,5	104,65	169,33
23	9,5	0,5	108,39	157,84
24	10,0	0,5	114,37	141,77

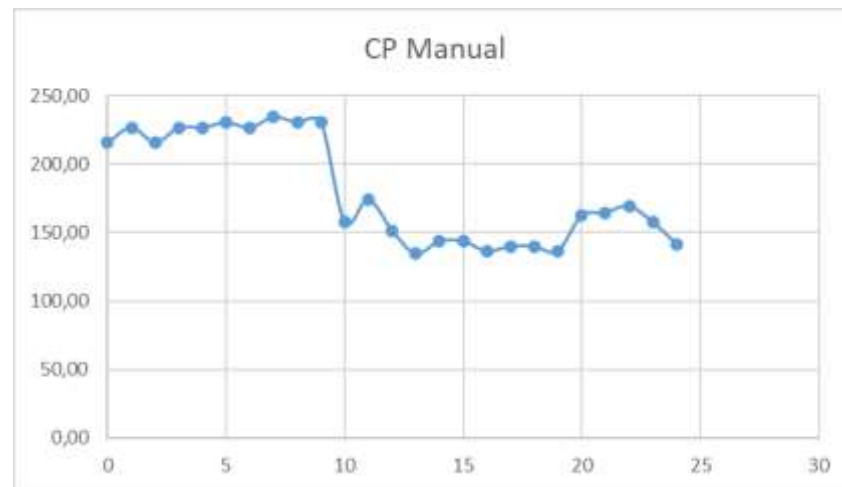


Gráfico 2 - Corpo de prova manual.

Da mesma forma que foi utilizado o ensaio de dureza de Vickers para serem feitos os cálculos de microdureza da soldagem automatizada, foi feito para a soldagem manual, e a partir dos resultados podemos obter algumas conclusões.

Ao observarmos a tabela 2 vemos que nossa análise começa no ponto 0, neste ponto a solda entra em contato com o aço 1045, que apresenta uma dureza inicial alta, com valores de HV entre 215-230, isso acontece por conta da característica de maior dureza do aço 1045 em relação ao 1020. Entre os pontos 0 e 10, a dureza permanece relativamente estável, com pequenas oscilações, enquanto, a partir do ponto 10 (distância de 5,0 mm), ocorre uma redução progressiva, possivelmente causada pelo efeito térmico da soldagem, que modifica as propriedades do material próximo à região fundida.

Já entre os pontos 10-19 acontece uma transição de soldagem e observa-se uma redução significativa na dureza, de cerca de 157 HV (ponto 10) para 135 HV (ponto 19), provavelmente associada à zona termicamente afetada (ZTA) e à mistura de materiais, refletindo propriedades mecânicas intermediárias entre os dois aços.

Por fim, a partir do ponto 20 (distância de 8,0 mm), na região do aço 1020, a dureza começa a aumentar, variando entre 160 e 170 HV. Esses valores, embora menores que os do aço 1045, refletem as características do aço 1020, que tem um teor de carbono mais baixo e, naturalmente, é menos duro. O aumento em alguns



pontos, como 164 HV no ponto 21 e 169 HV no ponto 22, pode estar ligado à influência residual da soldagem ou à zona termicamente afetada.

Analisando de forma geral, a soldagem manual apresenta maior estabilidade de dureza na região inicial, mas uma redução significativa na transição para o aço 1020, indicando um controle térmico menos preciso e uma ZTA mais pronunciada. Já a soldagem automatizada produz dureza mais elevada e consistente, com menor declínio na transição e maior endurecimento no aço 1020, refletindo um controle térmico mais eficiente e menor variação microestrutural ao longo da solda. Essa diferença de estabilidade está refletida também na média de microdureza das duas soldagens, enquanto a soldagem manual apresenta uma média de HZ igual a 180,72 kgf/mm², a média da soldagem automatizada se apresenta com um valor muito maior, de 211,53 kgf/mm².

Comparação Geral:

Critério	Solda Automatizada	Solda Manual
Uniformidade da microestrutura	Alta, devido ao controle preciso.	Baixa, com maior variação entre regiões.
Zona Termicamente Afetada (ZTA)	Estreita e bem controlada.	Larga e menos controlada.
Aporte térmico	Precisamente ajustado.	Variável, dependendo da habilidade do soldador.
Defeitos potenciais	Baixo risco de porosidade ou inclusões.	Maior risco de porosidade e falta de fusão.



Propriedades mecânicas	Uniformes ao longo da junta.	Variáveis, com pontos fracos potenciais.
-------------------------------	------------------------------	--

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo sobre a soldagem dissimilar entre os aços 1020 e 1045, utilizando métodos de soldagem manual e automatizada, demonstrou resultados positivos tanto no ensaio de dureza quanto na análise metalográfica. A soldagem automatizada mostrou-se mais eficiente em termos de uniformidade na dureza e controle da zona termicamente afetada (ZTA), enquanto a soldagem manual apresentou maior variação nas propriedades mecânicas, especialmente na transição entre os materiais. No entanto, ambas as abordagens atingiram os objetivos propostos, comprovando a viabilidade técnica do processo de união entre esses dois materiais. Os resultados obtidos ressaltam a importância do controle térmico e da escolha do método de soldagem para otimizar as propriedades finais das juntas soldadas, contribuindo para aplicações industriais que demandam resistência e confiabilidade.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, A. K. P. **Soldagem dissimilar em aços 1020 e 1045: análise de propriedades mecânicas e microestruturais**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2022. Disponível em: https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/69094/3/2022_tcc_akpalmeida.pdf. Acesso em: 13 nov. 2024.

AMERICAN WELDING SOCIETY. **Welding Handbook**. Volume 1: **Welding Science and Technology**. 9. ed. Miami: AWS, 2001. Disponível em: <https://pubs.aws.org/download_pdfs/whb-1.9pv.pdf>. Acesso em: 8 dez. 2024.

AMERICAN WELDING SOCIETY. **Welding Handbook: Welding Science and Technology**. 8. ed. Miami: AWS, 1991.

CARVALHO, Josilândia dos Santos. **Caracterização mecânica e microestrutural de solda de amateigamento dissimilar**. 2024. 81 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharias,



Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Caraúbas, 2024. Disponível em: <https://repositorio.ufersa.edu.br/server/api/core/bitstreams/0a607e5e-4c5d-48d7-aab4-10731965d436/content>. Acesso em: 13 nov. 2024.

CUNHA, RT; MIRANDA, JP. **Manual de fundamentos e técnicas de soldagem**. São Paulo: Editora Técnica, 2018.

DAVIES, A. C. **The Science and Practice of Welding**. 10th ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1993.

FELIZARDO, Ivanilza. **Apostila: Tecnologia da Soldagem**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Mecânica, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, 2016. Disponível em: <https://www.dem.cefetmg.br/wp-content/uploads/sites/39/2017/09/Apostila-Tecnologia-da-Soldagem.pdf>. Acesso em: 13 nov. 2024.

GIMENES, Luiz; RAMALHO, José Pinto. **Soldagem Laser**. Disponível em: https://infosolda.com.br/wp-content/uploads/Downloads/Artigos/processos_solda/soldagem-laser.pdf. Acesso em: 13 nov. 2024.

GONÇALVES, M. et al. **Soldagem de aços dissimilares: análise e práticas**. *Revista de Engenharia Mecânica*, v. 25, n. 3, p. 45-56, 2017.

KOU, S. **Welding metallurgy**. 2. ed. New York: John Wiley & Sons, 2003.

LIU, L.; ZHANG, W.; ZHANG, Y. **Dissimilar metal welding technologies**. Berlin: Springer, 2014.

MACHADO, Ivan Guerra. **Soldagem e Técnicas Conexas: Processos**. Porto Alegre: Laboratório de Soldagem e Técnicas Conexas, 1996. 477 p. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/213243/001117701.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 13 nov. 2024.

MAGALHÃES, Roberto. **História da soldagem a laser: evolução e pesquisa**. 2024. Disponível em: <https://compraco.com.br/blogs/industria/historia-da-soldagem-a-laser-evolucao-e-pesquisa?srsId=AfmBOorjzDxCcMazcEyblKxtzZclhwndzmZ1vGOW9J91zE-s2GK9D1Qh>. Acesso em: 13 nov. 2024.

MENDES, GP; SILVA, RA; BARBOSA, TL. **Avanços em soldagem robotizada: aplicações industriais no Brasil**. Porto Alegre: Editora UFRGS, 2019.

OLIVEIRA, FR; SANTOS. **Desafios na manipulação de materiais diferentes**. *Revista Brasileira de Engenharia de Materiais*, v. 3, pág. 145-160, 201.

PICCHI, Ivan Bezerra de Mello. **Soldagem dissimilar por eletroescória com fita de chapas de aço carbono cladeado com aço inoxidável 904L e passe de acabamento em Inconel 625**. 2021. 153 f. Monografia (Especialização) – Curso de Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2021. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/362931508_SOLDAGEM DISSIMILAR POR ELETROESCORIA COM FITA DE CHAPAS DE ACO CARBONO CLADEADO COM ACO INOXIDAVEL 904L E PASSE DE ACABAMENTO EM INCONEL 625. Acesso em: 13 nov. 2024.

PLAINE, Athos Henrique. **Análise multicritério aplicada ao planejamento da operação de sistemas hidrotérmicos: um enfoque em questões ambientais**.



2016. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2016. Disponível em:

<https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/8598/TeseAHP.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 13 nov. 2024.

SANTOS, Georgia Effgen. **Estudo da soldabilidade de consumíveis de ligas a base de níquel em soldagem dissimilar com aço carbono por meio do ensaio trans-varestraint**. 2020. 175 f. Monografia (Especialização) – Curso de Engenharia e Ciência de Materiais, Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2020. Disponível em:

https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/53215/5/2020_dis_gesantos.pdf. Acesso em: 13 nov. 2024.

SILVA, Rafaela dos Santos; et al. **Análise da junta soldada dissimilar entre Inconel 718 e AISI 316L pelo processo GTAW multipass**. Soldagem e Inspeção, v. 27, 2022. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/si/a/jJpM97qMXT4V5VcNwS45MGz/>. Acesso em: 13 nov. 2024.

SILVA, AL; CASTRO, MJ. **Automação na soldagem: teoria e aplicações**. Rio de Janeiro: LTC, 2020.

ZHANG, W.; LIU, L.; CHEN, X. **Thermomechanical effects on dissimilar metal joints**. *Journal of Welding Research*, v. 89, p. 120-128, 2011.

ABSTRACT

The main objective of this article is to conduct a comparative study between manual welding and automated welding in the process of joining dissimilar steels. It discusses the manual welding process and the automated welding process, highlighting their advantages and disadvantages. Hardness tests and metallographic analyses were conducted to understand the microstructural and mechanical changes in the welded joints. The results indicated that automated welding showed greater consistency and control in the heat-affected zone, while manual welding exhibited greater variability in mechanical properties. Both techniques, however, proved effective, demonstrating the feasibility of integrating these materials with distinct properties for industrial applications where reliability and performance are essential.

Key-words: Manual welding; Automated welding; Dissimilar steels.