



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA



João Paulo Castro do Nascimento

**Análise da influência da corrente e velocidade de goivagem
no processo de goivagem a arco plasma através de
resultados geométricos da remoção.**

Uberlândia
2021



João Paulo Castro do Nascimento

**Análise da influência da corrente e velocidade de goivagem
no processo de goivagem a arco plasma através de
resultados geométricos da remoção.**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado à Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Mecânica, sob orientação do Professor Pós-Doutor Louriel Oliveira Vilarinho .



João Paulo Castro do Nascimento

Análise da influência da corrente e velocidade de goivagem no processo de goivagem a arco plasma através de resultados geométricos da remoção.

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado à Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Aprovado em: ___/___/___

BANCA EXAMINADORA

Prof. Pós-Doutor Louriel Oliveira Vilarinho

Prof. Doutor Douglas Bezerra de Araújo

Eng. Doutor Diandro Bailoni Fernandes



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
 Coordenação do Curso de Graduação em Engenharia Mecânica
 Rodovia BR 050, KM 78, Bloco 1D, 2º andar - Bairro Glória, Uberlândia-MG, CEP 38400-902
 Telefone: (34) 2512-6773 - www.mecanica.ufu.br - cocme@ufu.br



ATA DE DEFESA - GRADUAÇÃO

Curso de Graduação em:	Engenharia Mecânica				
Defesa de:	FEMEC41100 - Projeto de Fim de Curso II				
Data:	01/04/2022	Hora de início:	08:30	Hora de encerramento:	09:10
Matrícula do Discente:	11811EMC040				
Nome do Discente:	João Paulo Castro do Nascimento				
Título do Trabalho:	Análise da Influência da Corrente e Velocidade de Goivagem no Processo de Goivagem a Arco Plasma Através de Resultados Geométricos da Remoção				
A carga horária curricular foi cumprida integralmente?	<input checked="" type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não				

Reuniu-se, em ambiente virtual, com acesso pelo link: https://teams.microsoft.com/l/meetup-join/19%3ameeting_NDJINWFjMDgtNTNjMC00ZjY2LTg3N2QtOGQxMWU0MzYzZjg0%40thread.v2/0?context=%7b%22Tid%22%3a%22cd5e6d23-cb99-4189-88ab-1a9021a0c451%22%2c%22Oid%22%3a%22c46e85a3-fb5d-4df5-8828-d8729b063fc5%22%7d, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Curso de Graduação em Engenharia Mecânica, em 01/04/2022, assim composta: Prof. Dr. Douglas Bezerra de Araújo – Faculdade de Engenharia Mecânica FEMEC/UFU; Eng. Dr. Diandro Bailoni Fernandes – Fundação de Apoio Universitário FAU/UFU e Prof. Dr. Louriel Oliveira Vilarinho – Faculdade de Engenharia Mecânica FEMEC/UFU, orientador do candidato.

Iniciando os trabalhos, o presidente da mesa, Prof. Dr. Louriel Oliveira Vilarinho, apresentou a Comissão Examinadora e o candidato, agradeceu a presença do público, e concedeu ao discente a palavra, para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação do discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do curso.

A seguir o(a) senhor(a) presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos(às) examinadores(as), que passaram a arguir o candidato. Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando o candidato:

(x) Aprovados sem nota.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Louriel Oliveira Vilarinho, Professor(a) do Magistério Superior**, em 01/04/2022, às 09:11, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Douglas Bezerra de Araujo, Professor(a) do Magistério Superior**, em 01/04/2022, às 09:12, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Diandro Bailoni Fernandes, Usuário Externo**, em 01/04/2022, às 09:12, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **3475928** e o código CRC **C76B038C**.



AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por estar ao meu lado em todos os momentos, me ajudando, cuidando de mim e me concedendo oportunidades de viver experiências incríveis que Ele me proporcionou.

Agradeço ao meu orientador, Prof Louriel, pela oportunidade, orientação, apoio, ensinamentos e principalmente pela amizade e respeito mútuo que mantivemos durante os anos de trabalho e pesquisa.

Ao IWE. Dr. Diandro e ao Eng. M. Sc. Edmundo e ao Eng. Victor por me ajudarem a superar os desafios, pelos ensinamentos e pelo apoio na execução deste trabalho e pela amizade e confiança.

À minha esposa por me inspirar, incentivar e apoiar, mesmo nos momentos mais difíceis, suportando junto comigo os desafios e as limitações que a graduação impõe.

A minha família por sempre estar ao meu lado, aconselhando, incentivando e pelo apoio constante em todos os momentos.

A Petrobras S/A pela oportunidade de participar de um projeto tão importante, podendo complementar minha formação acadêmica e adquirir experiência profissional junto a uma equipe de engenheiros experientes.

A toda Equipe do LAPROSOLDA/UFU, pela disponibilização do laboratório, equipamentos e recursos necessários para a execução deste trabalho e em especial a equipe do projeto N-reparos com a qual tive o privilegio de trabalhar diretamente.

Aos membros da banca examinadora.



RESUMO

Este trabalho trata de um procedimento experimental para o levantamento de parâmetros de goivagem nas regiões de interesse de chapas de aço ASTM A131 EH36, visando atender requisitos geométricos adequados em pesquisas futuras, como **largura e profundidade médias**, através da análise dos resultados de testes por Arco Plasma. Para conhecer a influência da velocidade e da corrente utilizados no processo de goivagem a plasma nos valores obtidos de largura e profundidade, este trabalho propõe testes práticos variando a velocidade de goivagem em três níveis em torno da velocidade ótima de corte para 03 níveis de corrente, avaliando assim os parâmetros geométricos. Este trabalho foi realizado como uma das etapas iniciais do projeto de pesquisa em parceria com a Petrobrás, que visa avaliar quantas vezes é possível realizar reparos em juntas formadas pelos aços ASTM A131 AH36, ASTM A131 DH36 e ASTM A131 EH36, submetidas a etapas de soldagem (união), remoção (goivagem a arco plasma) e reparo. O número de remoções e reparos foram variados a fim de determinar o máximo de reparos possíveis para que as propriedades mecânicas da junta fiquem dentro de uma faixa aceitável pela norma.

Palavras-chave: Goivagem a arco plasma, Geometria de remoção, Velocidade de corte, Corrente elétrica.



ABSTRACT

This work aims to be an experimental procedure to study gouging parameters on interest regions of ASTM A131 EH36 steel plates, to meet adequate geometric requirements in future researchs, such as average width and penetration, through the results analysis by Plasma Arc. In order to know the speed and current influence used in the plasma gouging process on the obtained values of width and penetration, this work proposes practical tests by varying the gouging speed in 03 levels around the optimal cutting speed by 03 different current values, thus evaluating the geometric parameters. Was carried out as one of the initial stages of the research project in partnership with Petrobras, which aims to evaluate how many times is possible to perform repairs on ASTM A131 AH36, ASTM A131 DH36 and ASTM A131 EH36 steels joints, submitted to welding, removal (plasma arc gouging) and repair. The number of removals and repairs was varied in order to determine as many repairs as possible so that the joint mechanical properties are within an acceptable range by the standard.

Keywords: Plasma arc gouging, Removal geometry, Cutting speed, Electric current.



LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa mestre de soldagem e processos aliados (continuação)	14
Figura 2 – Tocha típica de arco de plasma	15
Figura 3 – Temperatura do arco TIG e do jato plasma.....	16
Figura 4 – Peças de uma tocha plasma	17
Figura 5 – Arco transferido e não transferido	18
Figura 6 - Diferença do Ciclo Térmico da Soldagem e do Tratamento Térmico.....	20
Figura 7 - Diagrama de transformação isotérmica completo para uma liga ferro-carbono com composição eutetoide: A, austenita; B, bainita; M, martensita; P, perlita.	22
Figura 8 - Fonte Powermax 1650 - HyperTherm	23
Figura 9 - Mesa de Coordenadas XY com tecimento	24
Figura 10 - Interface de comando, controle e acionamento da fonte	25
Figura 11 - Croqui da placa para testes	27
Figura 12 - Referência para a medição da DBP e do ângulo de ataque (α);.....	29
Figura 13 - Efeito da velocidade de goivagem na largura e profundidade para corrente de 60 A.....	33
Figura 14 - Efeito da velocidade de goivagem na largura e profundidade para corrente de 80 A.....	33
Figura 15 - Efeito da velocidade de goivagem na largura e profundidade para corrente de 100 A.....	34
Figura 16 - Efeito da velocidade de goivagem na largura e profundidade para corrente de 60 A (Sem material fundido).....	36
Figura 17 - Efeito da velocidade de goivagem na largura e profundidade para corrente de 80 A (Sem material fundido).....	36



Figura 18 - Efeito da velocidade de goivagem na largura e profundidade para corrente de 100 A (Sem material fundido).....	37
Figura 19 - Efeito da velocidade de goivagem na largura e profundidade para corrente de 60 A (ZAC)	39
Figura 20 - Efeito da velocidade de goivagem na largura e profundidade para corrente de 80 A (ZAC)	39
Figura 21 - Efeito da velocidade de goivagem na largura e profundidade para corrente de 100 A (ZAC)	40
Figura 22 - Teste 1 – ($I = 60$ A; $V_G = 5,1$ mm/s)	49
Figura 23 - Teste 2 - ($I = 60$ A; $V_G = 11,4$ mm/s)	49
Figura 24 - Teste 3 - ($I = 60$ A; $V_G = 17,8$ mm/s)	50
Figura 25 - Teste 4 - ($I = 80$ A; $V_G = 7,6$ mm/s)	50
Figura 26 - Teste 5 - ($I = 80$ A; $V_G = 16,5$ mm/s)	51
Figura 27 - Teste 6 - ($I = 80$ A; $V_G = 25,4$ mm/s)	51
Figura 28 - Teste 7 - ($I = 100$ A; $V_G = 11,0$ mm/s)	52
Figura 29 - Teste 8 - ($I = 100$ A; $V_G = 24,1$ mm/s)	52
Figura 30 - Teste 9 - ($I = 100$ A; $V_G = 37,3$ mm/s)	53



LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Aplicabilidade dos processos de corte térmicos a materiais	12
Tabela 2 - Consumíveis protegidos para tocha T100M.....	25
Tabela 3 - Parâmetros para remoção por goivagem sem oscilação angular	30
Tabela 4 - Resultados obtidos na goivagem.	32
Tabela 5 - Resultados obtidos na goivagem medido através da macrofotografia.	35
Tabela 6 - Resultados de largura e profundidade da ZAC..	38



Análise da influência da corrente e velocidade de goivagem no processo de goivagem a arco plasma através de resultados geométricos da remoção.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	11
1.1 Classificação do processo de goivagem a arco de plasma	13
1.2 O processo de Goivagem a arco de plasma (PAC)	14
1.3 Modificações Microestruturais na ZAC da Goivagem	19
2. MATERIAIS	23
2.1. Equipamentos	23
2.2. Consumíveis	25
2.3. Material de base.....	26
3. METODOLOGIA EXPERIMENTAL.....	28
3.1. Goivagem.....	28
3.2. Medição.....	30
3.3. Macrofotografias	31
4. RESULTADOS	32
4.1. Medição com paquímetro.....	32
4.2. Medição através das macrofotografias.....	34
4.3. Medição de largura e profundidade da ZAC através das macrofotografias..	37
5. DISCUSSÃO DOS DADOS	41
5.1 Aspectos de acabamento.....	41
5.2 Geometria da remoção.....	42
5.3 Aspectos geométricos da ZAC.....	43
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	45
6.1 Conclusões	45
7.1 Recomendações para trabalhos futuros.....	45



7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47
8. APÊNDICE	49



1. INTRODUÇÃO

Entender o comportamento dos processos de fabricação mecânica é de fundamental importância na indústria, pois através do conhecimento das variáveis do processo, bem como a influência de cada uma, possibilita melhores regulagens dos parâmetros e conseqüentemente gera uma grande gama de benefícios, como melhoria da qualidade do produto, aumento da produtividade, redução de custos e diminuição de resíduos. Ademais, a avaliação das propriedades mecânicas de juntas soldadas submetidas a múltiplos ciclos térmicos é de suma importância, principalmente para o setor de Petróleo, Gás Natural, Energia e Biocombustíveis, uma vez que o controle da quantidade de reparos impacta em prazos e custos de construção e manutenção.

Para que seja possível realizar tais processos de forma que atenda aos requisitos de projeto necessários, tais como propriedades mecânicas da peça e tolerâncias adequadas (geométricas, de forma, de rugosidade), é de fundamental importância definir os parâmetros adequados de execução. Nos processos de Soldagem, que segundo Callister e Rethwisch (2018) pode se caracterizar como processos de fabricação mecânica, não é diferente.

Como no projeto realizado pelo centro para pesquisa e desenvolvimento de processos de soldagem – LAPROSOLDA em parceria com a Petrobras, o intuito foi avaliar o número máximo de reparos que uma junta de aço ASTM A131 EH36 soldada pelos processos SMAW e FCAW poderiam suportar sem que houvesse perda significativa nas propriedades mecânicas do material, fez-se necessário a escolha de um processo de remoção de material para a determinação do estudo.

Para tal, o processo de remoção escolhido para a realização do reparo da junta soldada, necessário para o correto andamento do projeto, foi a goivagem por plasma a ar comprimido, devido à maior capacidade de remoção de material, baixa contaminação por elementos aderidos na superfície e velocidades que podem ser até quatro vezes mais rápida, se comparada com a goivagem realizada por arco-grafite, além de apresentar também um melhor acabamento da superfície goivada (FERNICOLA, 2006). Além desses fatores, o processo de goivagem por arco plasma utilizando ar comprimido apresenta custo mais baixo quando comparado a goivagem



a arco plasma que utiliza outros tipos de gases, como nitrogênio, ou mistura de Argônio/Hidrogênio, muito usados em peças de Alumínio por exemplo. Todos estes fatores são somados ao fato de que o uso processo de goivagem a arco de plasma tem crescido no meio industrial por poder ser aplicado a diversos tipos de materiais diferentes, conforme pode ser observado na Tabela 1.

Tabela 1 - Aplicabilidade dos processos de corte térmicos a materiais

Material	Processos de Corte			
	OFC	PAC	CAC-A	LBC
Aço Carbono	X	X	X	X
Aço Inoxidável	X	X	X	X
Ferro Fundido	X	X	X	X
Alumínio		X	X	X
Titânio	X	X	X	X
Cobre		X	X	X
Materiais Refratários		X	X	X

- Esta tabela deve ser considerada apenas um guia geral para a aplicabilidade do processo. Para processos a serem utilizados com ligas específicas, deve-se consultar o fabricante ou outro fornecedor apropriado.

- OFC = oxyfuel gas cutting; PAC = plasma arc cutting; CAC-A= air carbono arc cutting e LBC = laser beam cutting (corte de raio a laser).

- Processo aplicável com técnicas especiais; todos os outros processos (x) são aplicados comercialmente

Fonte: (WELDING HANDBOOK, 2001)

Além desses fatores, por se tratar de um processo de remoção por plasma, o material sofre uma grande imposição de calor, atingindo temperaturas superiores à de fusão do material a ser removido, podendo ocasionar mudanças significativas na



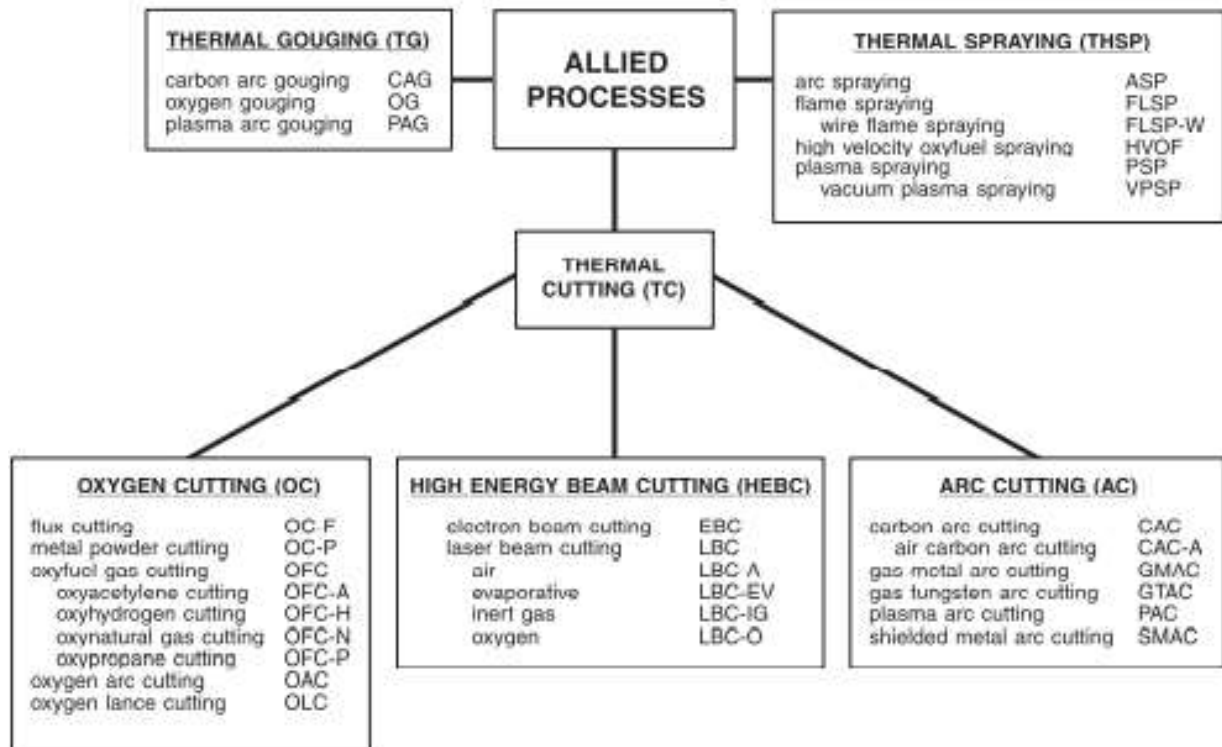
microestrutura do material, e conseqüentemente nas propriedades mecânicas, podendo neste caso, ser considerado um processo mais crítico em relação a outros processos de goivagem como o processo de remoção por esmerilhamento, por exemplo, no qual a imposição de calor sobre a peça é consideravelmente menor que o processo em questão. Logo, quando estudamos e garantimos o número de reparos possível para o processo de goivagem por plasma, podemos garantir que outros processos de goivagem com menor imposição de calor também poderão ser realizados.

A grande dificuldade em questão para a realização do estudo do número de reparos e que deu origem ao estudo executado por este trabalho, foi para tentar garantir que a remoção fosse executada, removendo o máximo do material depositado pelo processo de soldagem, de forma permitir uma sobreposição das Zonas afetadas pelo calor da soldagem e da goivagem. Para isso, o estudo da influência dos parâmetros de goivagem, tais como corrente, DBP (distância bico peça), velocidade de goivagem, amplitude do tecimento, frequência de tecimento, Pressão e ângulo são indispensáveis para compreender a influência dos parâmetros do processo sobre a geometria da remoção obtida.

1.1 Classificação do processo de goivagem a arco de plasma

Conforme AWS (2010), o processo de goivagem pertence a um grupo de processos de corte térmico (TC – Thermal cutting), que realizam corte ou remoção de material por meio da fusão, queima ou vaporização do metal de base. Estes processos, são subdivididos em classificações de acordo com a forma de geração do calor utilizado para a realização do corte, podendo se classificar como OC (Oxygen Cutting) que são processos que utilizam como fonte de calor a combustão do oxigênio, AC (Arc Cutting) que são processo que utilizam-se de uma fonte elétrica para a formação do arco elétrico (Categoria no qual o processo em questão para este trabalho se enquadra) e Outros processos de corte térmico, conforme podemos conferir através da Figura 1.

Figura 1 - Mapa mestre de soldagem e processos aliados (continuação)



Fonte: (AWS, 2010, p. 53)

O processo de goivagem a arco de plasma (PAC) é um dos processos térmicos de remoção mais amplamente utilizados na indústria, dentre os quais ainda podemos destacar; gás oxicorte (OFC), ar arco de carbono (CAC-A) e corte por feixe de laser (LBC). Os processos de corte térmico (TC) realizam o corte ou remoção de metal por meio de derretimento, queima ou vaporização da peça de trabalho. Embora todos utilizem calor para realizar o corte, cada processo tem um princípio de operação diferente. Os vários processos também têm diferentes aplicações com respeito a materiais e espessuras (WELDING HANDBOOK, 2001).

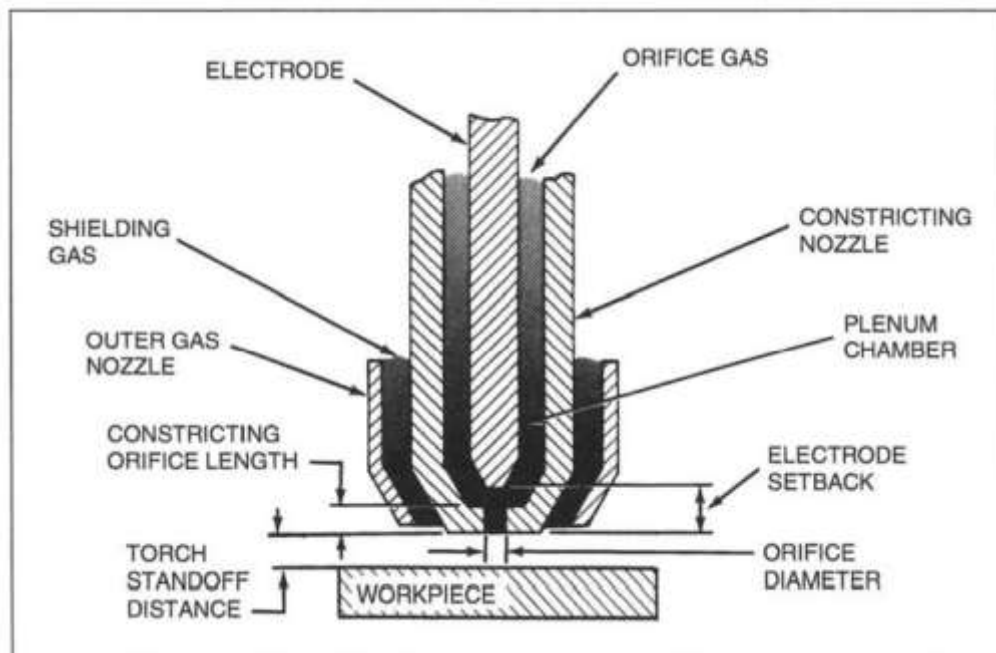
1.2 O processo de Goivagem a arco de plasma (PAC)

Os estados da matéria são classificados de acordo com o nível de energia (Agitação molecular) entre as moléculas do material. Um material pode ter seu estado alterado à medida que energia térmica é fornecida para o mesmo. Neste

sentido os estados são classificados em estado sólido, líquido, gasoso e plasma, denominado por vezes como o quarto estado da matéria. Segundo Smith (2014) a ionização de gases causa a criação de elétrons livres e íons positivos entre os átomos de gás. Quando isso ocorre, o gás torna-se eletricamente condutor com capacidade de transporte de corrente. tornando-se plasma, o quarto estado da matéria.

O processo de corte a plasma foi inventado em 1954 por Robert Gage, e consiste em forçar a passagem de um arco elétrico TIG (tungsten inert gas) por um orifício estreito, de forma focalizar o arco e conseqüentemente aumentar a temperatura e a densidade de energia obtida através de um arco TIG convencional, atingindo temperaturas da ordem de 24000 K (FERNICOLA, 2006). O orifício estreito responsável por focalizar o arco é localizado no bico constritor (Constricting nozzle) e pode ser melhor observado na Figura 2.

Figura 2 – Tocha típica de arco de plasma

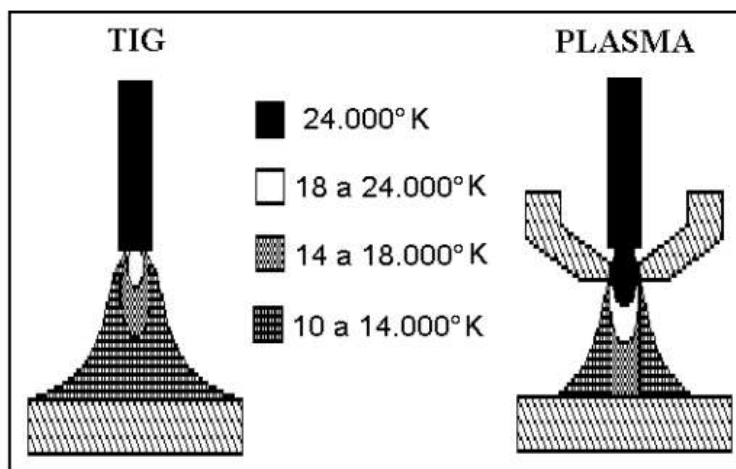


Fonte: (WELDING HANDBOOK, 2001, p. 306).

O plasma é transferido para a peça causando o aumento de sua temperatura até a fusão do material. O material fundido pelo calor do plasma é removido por meio

de um gás a alta vazão (LIMA, 2009). Devido ao efeito da constrição do arco é possível alcançar temperaturas muito maiores na região de contato do arco elétrico com o material de base. A distribuição de temperatura no arco de plasma, grande vantagem deste tipo de processo em relação ao processo TIG, pode ser melhor observada na Figura 3.

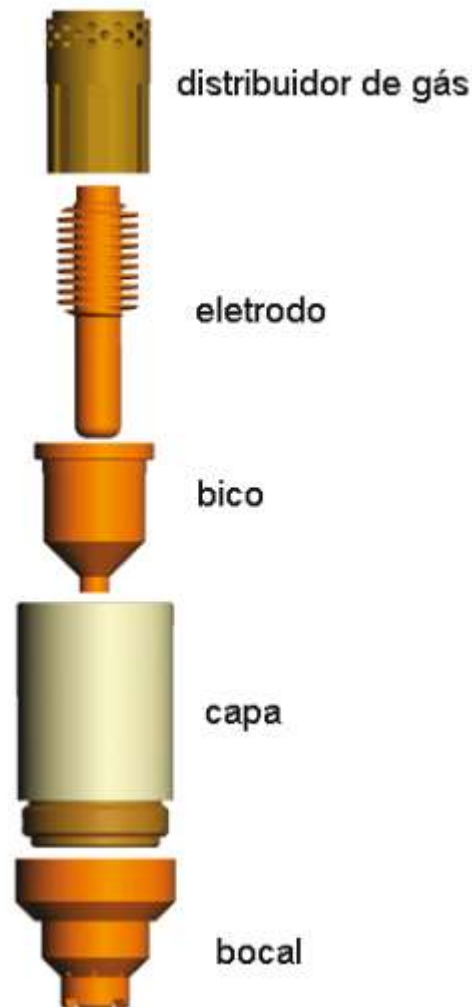
Figura 3 – Temperatura do arco TIG e do jato plasma



Fonte: (RAMALHO, 2002)

Para melhor compreender o funcionamento do processo de corte a arco de plasma, podemos observar a Figura 4 que ilustra os consumíveis da tocha envolvidos na formação do arco. O distribuidor de gás (Fabricado em material isolante) tem por finalidade principal fornecer sentido rotacional ao gás. O eletrodo é responsável por conduzir a corrente elétrica até um inserto de háfnio que emite elétrons para a geração do plasma. O bico, denominado também de bico constritor, tem como objetivo constrição do plasma (aumentando assim a temperatura do arco de plasma) e guiar o arco de plasma até a superfície de metal que será cortada conforme explicado anteriormente. A capa, por sua vez, sustenta e mantém os demais consumíveis alinhados, além de isolar o bocal frontal da parte elétrica envolvida no processo. Já o Bocal frontal, guia o jato de ar coaxial até a peça (LIMA, 2009).

Figura 4 – Peças de uma tocha plasma



Fonte: (LIMA, 2009, p. 4).

O processo se tornou mais popular em 1980 com o advento de sistemas portáteis e de baixo custo, e desde então sua utilização vem crescendo no mercado industrial (REIS, 2007). Entretanto o processo ainda é mais utilizado em instalações de grande porte para corte mecanizado ou automático. O elevado custo do equipamento e alto nível de ruído, de fumaça e de radiação gerados são limitações do processo, conforme afirma Modenesi e Marques (2000)

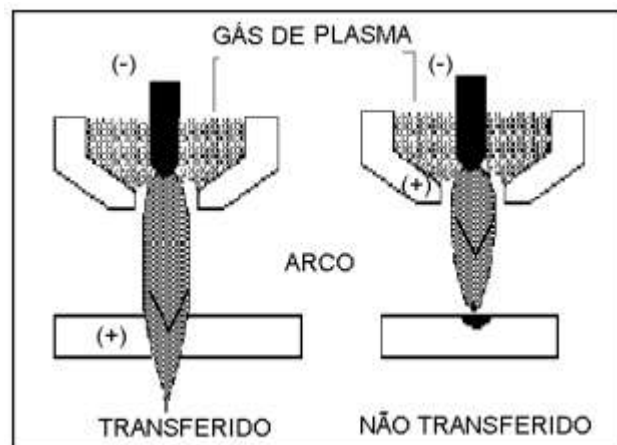
A goivagem a plasma é uma variação do processo de corte a plasma (PAC), que por conta da crescente preocupação com questões ambientais e de qualidade, tem ganhado o interesse das empresas. O autor considera a goivagem como uma leve regressão no processo de corte a plasma, uma vez que o furo do bocal



constritor utilizado para a goivagem é levemente aumentado para diminuir o efeito da constrição do arco em relação ao bocal utilizado para o processo de corte a plasma, causando um arco desfocado e ligeiramente diferente de um arco de corte. Um arco de corte é direcionado para baixo, enquanto na goivagem a tocha trabalha inclinada em relação à peça de trabalho para possibilitar a remoção do material fundido pela parte superior do material de base, causando sulcos na superfície através da remoção do material fundido pelas laterais, de forma adequada para as aplicações de reparos posterior (FERNICOLA, 2006).

O arco plasma pode ser transferido, quando a corrente elétrica flui entre a tocha plasma (cátodo) e a peça de trabalho (ânodo), ou de modo não transferido, quando a corrente elétrica flui entre o eletrodo e o bocal da tocha, conforme pode ser observado na Figura 5. O calor do arco plasma emerge do bocal em ambos os casos, porém é sempre usado o modo transferido par operações de corte de materiais metálicos, devido ao “heat input” utilizável na peça ser mais eficientemente aplicado quando o arco elétrico está em contato com a peça (RAMALHO, 2002). O arco não transferido, tem como vantagem o fato de poder ser utilizado em peças não condutoras de eletricidade (TAVARES, 2009).

Figura 5 – Arco transferido e não transferido



Fonte: (RAMALHO, 2002)



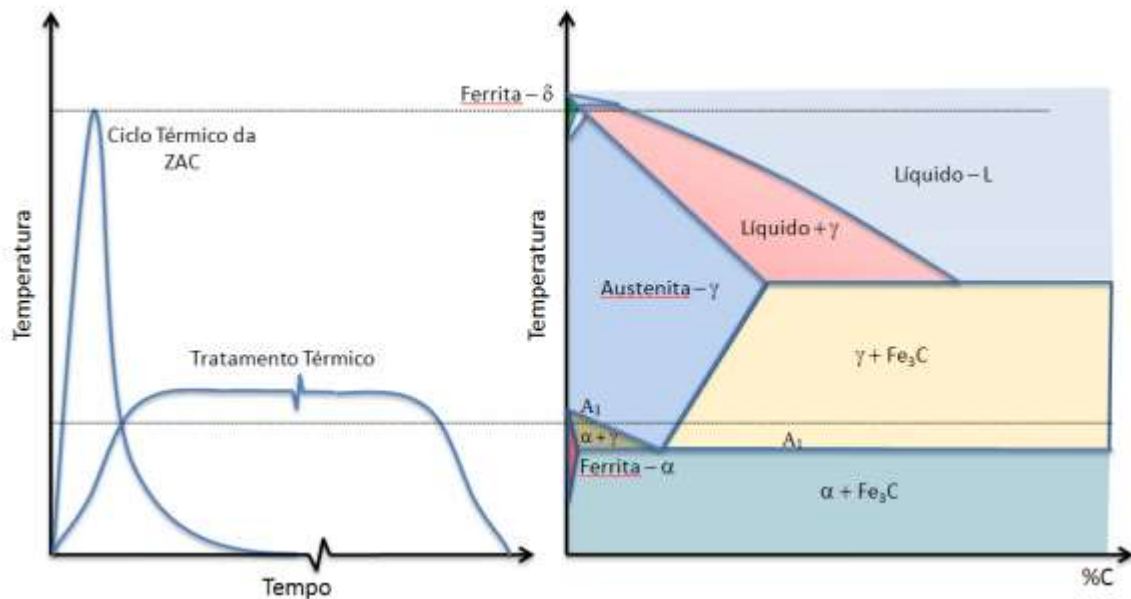
1.3 Modificações Microestruturais na ZAC da Goivagem

Devido à alteração de temperatura presentes em peças submetidas a processos de corte térmico (Que atingem a temperatura de fusão do material da peça de trabalho) em intervalos de tempo, ocorrem modificações microestruturais, estas modificações detalhadas por Cunha e Elisei (2016) alteram as propriedades mecânicas do material de base.

Nas décadas de 1950 e 1960, através do desenvolvimento de um equipamento de dilatometria de alta velocidade, construído especificamente para avaliar as transformações de fases características dos processos de soldagem (transformação de austenita em ferrita) foram produzidos os primeiros diagramas CCT para a soldagem, preocupados inicialmente em solucionar problemas de trincas a frio (fragilização por hidrogênio) e resistência na ZAC (HARRISON; FARRAR, 1989).

O diagrama de fase Fe-C e o diagrama CCT (Transformação em Resfriamento Contínuo) para o tratamento térmico do aço carbono podem ser utilizados também para a soldagem, porém algumas considerações devem ser reconhecidas. O ciclo térmico durante a soldagem e o tratamento térmico do aço carbono difere-se significativamente conforme mostra a Figura 6. As temperaturas de pico atingidas na ZAC podem chegar a $\sim 1500^{\circ}\text{C}$, com uma taxa de aquecimento e resfriamento alta e o tempo de permanência acima de A3 curto. Em comparação, a temperatura de pico no tratamento térmico que pode chegar na faixa de 900°C , uma taxa de aquecimento baixa e o tempo de permanência acima de A3 é mais longo (ARAUJO, 2008).

Figura 6 - Diferença do Ciclo Térmico da Soldagem e do Tratamento Térmico



Fonte: (KOU, 2003 - Modificado)

Nesse sentido, essas transformações microestruturais podem acontecer na zona adjacente a solda, denominada zona termicamente afetada (ZTA). O processo de formação da ZAC acontece tanto em processos de corte Térmico (como o processo em questão) como em processos de soldagem, logo, para melhor compreender a formação da ZAC (Zona Afetada pelo Calor) podemos analisar a formação da ZAC em processos de soldagem. Segundo Callister e Rethwisch (2018), na soldagem tanto a peça quanto o material de enchimento (eletrodo de solda) são aquecidos até ambos se fundir. Na solidificação o material de enchimento forma uma junção fundida entre a peça de trabalho, assim, há uma região denominada ZTA (Zona termicamente afetada) adjacente a solda, onde pode acontecer alterações microestruturais e de propriedades na peça. Dentre as alterações a literatura em questão destaca os seguintes pontos:

- Recristalização e crescimento dos grãos e conseqüentemente a diminuição da resistência, dureza e tenacidade em peças trabalhadas a frio;
- Possível formação de tensões residuais que enfraquecem a junção;



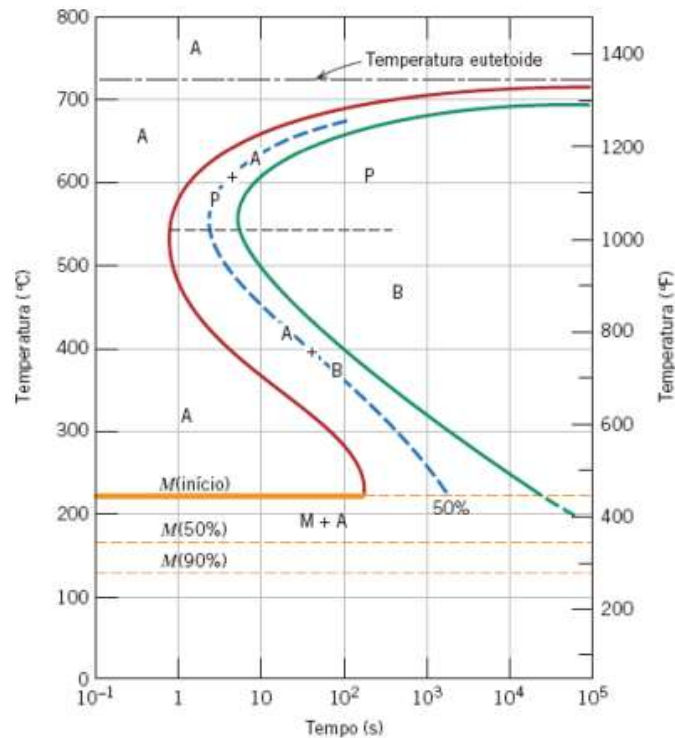
- A depender da composição da liga, da temperatura atingida no aquecimento e da taxa de resfriamento de aços pode haver a formação de martensita, fragilizando o material;
- Possível sensibilização de alguns aços inoxidáveis, tornando-os suscetíveis à corrosão intergranular.

A ZAC constitui uma área resultante dos ciclos térmicos de aquecimento e resfriamento durante um processo de soldagem sendo uma região do metal base, adjacente ao metal de solda que não foi fundida, as elevadas velocidades de aquecimento e resfriamento que experimentam esta pequena região produzem modificações na microestrutura alterando suas propriedades mecânicas, em relação ao metal de solda e metal de base (ANDIA; SOUZA; BOTT, 2013).

Portanto, trata-se de uma Zona formada devido a solidificação do material da peça e o material de enchimento que durante a soldagem são aquecidos até a temperatura em que ocorre a fusão de ambos. Para aços, aquecidos a temperatura acima da temperatura de formação de austenita, dependendo da taxa de resfriamento da zona, podendo ocorrer a formação de microestrutura perlita e uma fase proeutetoide, ou até mesmo a formação de martensita (em materiais como aços-liga por exemplo), Além da formação de tensões internas. (CHIAVERINI, 1988 p. 47) afirma que o teor de carbono, além do teor de elementos de liga presentes no aço carbono, podem alterar a temperabilidade de aços (torna-lo mais, ou menos suscetível à formação de martensita). O aumento do teor de carbono causando o deslocamento da curva TTT (Tempo temperatura transformação) para a direita, retardando o início da formação da perlita e da bainita e facilitando a obtenção de microestrutura martensítica. O diagrama de transformação isotérmica, ou denominada curva TTT pode ser observado na Figura 7.



Figura 7 - Diagrama de transformação isotérmica completo para uma liga ferro-carbono com composição eutetoide: A, austenita; B, bainita; M, martensita; P, perlita.



Fonte: (CALLISTER; RETHWISCH, 2018)

Analogamente, se um aço é mais temperável, este terá menor soldabilidade, necessitando de processos pré-aquecimento e de tratamento térmicos específicos para alívio de tensões internas provenientes do aquecimento. Quanto maior o teor de carbono nos aços mais difícil o aço se torna, devido ao efeito de endurecimento pelo resfriamento após a soldagem, na zona afetada pela solda (CHIAVERINI, 1988, p. 201).



2. MATERIAIS

2.1. Equipamentos

Para a realização dos testes de goivagem a fonte utilizada foi a Powermax1650 da HyperTherm, como mostra a Figura 8. Esta fonte possibilita, entre outras regulagens, o ajuste da corrente elétrica e da pressão de ar comprimido utilizada no processo.

Figura 8 - Fonte Powermax 1650 - HyperTherm



Fonte: (HYPERTHERM, 2022)

Visando obter maior controle e precisão dos parâmetros de goivagem estabelecidos para a execução dos testes de goivagem, optou-se por utilizar uma mesa de coordenadas XY automatizada que pode ser observada na Figura 9.



Figura 9 - Mesa de Coordenadas XY com tecimento



Fonte: O autor.

A Figura 9 apresenta a bancada experimental utilizada para este estudo, cujos equipamentos e componentes enumerados na imagem, estão listados abaixo.

1. Acionamento (eixo X);
2. Acionamento (eixo Y);
3. Alinhamento da tocha;
4. Tocha;
5. Placa para testes.

A Figura 10 mostra a interface de controle do usuário, que permite ao operador da mesa, visualizar e controlar os parâmetros da mesa de coordenadas XY apresentada na Figura 9. Os componentes destacados na imagem se encontram listados abaixo.

1. Controlador;
2. Acionamento da fonte;

Figura 10 - Interface de comando, controle e acionamento da fonte



Fonte: O autor.

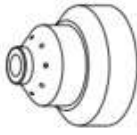

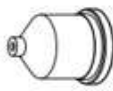
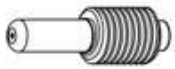
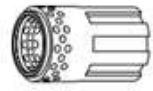
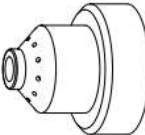
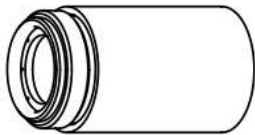
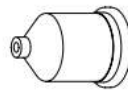
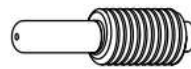
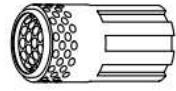
2.2. Consumíveis

Para realização das remoções, foram utilizados consumíveis protegidos para tocha mecanizada conforme sugere o manual de operação da fonte, sendo estes consumíveis de mesma marca da fonte para as correntes de 60, 80 e 100 amperes, todos compatíveis com a tocha T100M MATCH TCH ASSY 25, apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Consumíveis protegidos para tocha T100M

Corrente	Bocal	Capa	Bico	Eletrodo	Distribuidor de gás
	120930	120928	120931	120926	120925
60 A					



Corrente	Bocal	Capa	Bico	Eletrodo	Distribuidor de gás
	120930	120928	120927	120926	120925
80 A					
	220047	220048	220011	220037	220051
100 A					

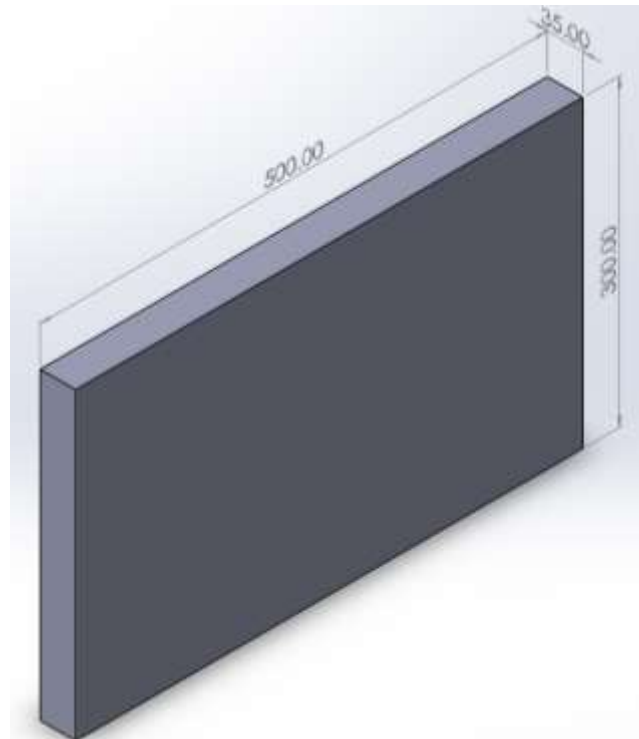
Fonte : (HYPERTHERM, 2003)

2.3. Material de base

O material de base escolhido para a realização deste trabalho foi o aço estrutural naval ASTM A131 EH36, que é um dos materiais escolhidos para posterior estudo do número de reparos, justamente para que fosse possível garantir a repetibilidade dos resultados obtidos neste trabalho durante o desenvolvimento do projeto detalhado inicialmente. O croqui da chapa utilizada para o processo de goivagem é apresentado na Figura 11 com as dimensões 500 x 300 x 35 mm (Comprimento, largura e espessura).



Figura 11 - Croqui da placa para testes



Fonte: O autor.



3. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

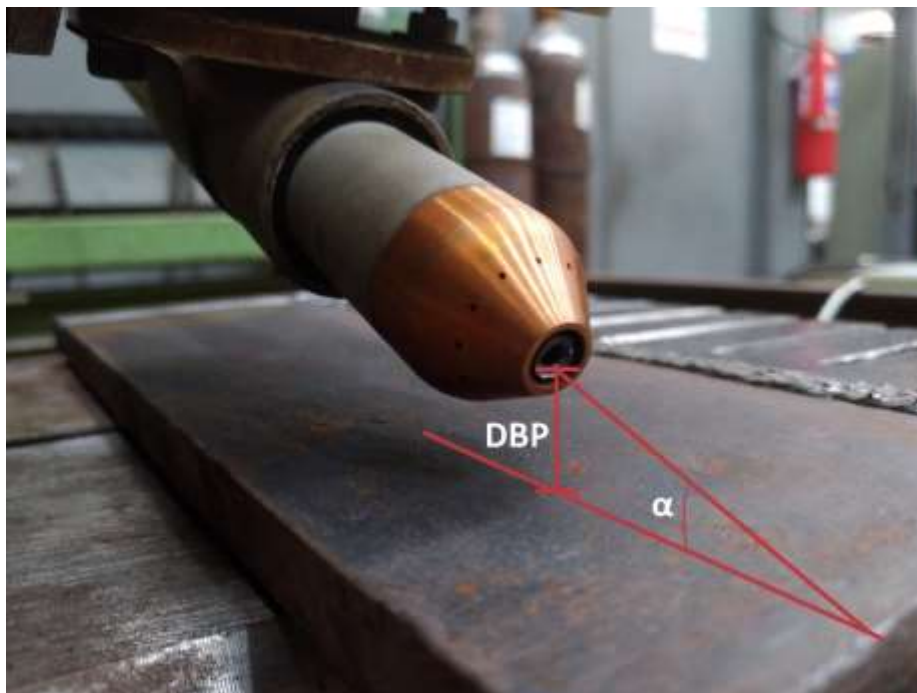
Conhecendo os parâmetros que exercem influência no processo de goivagem, à saber: corrente elétrica; velocidade de goivagem; ângulo de ataque; distância bico peça (DBP); pressão do ar e dimensões do bico e da tocha; para que seja possível analisar a influência da velocidade de goivagem e da corrente elétrica como proposto neste trabalho, precisamos reduzir o número de variáveis no processo. Por este motivo, optou-se pela utilização dos mesmos consumíveis para a realização de todos os testes, além da fixação de valores para as demais variáveis que não estão em estudo neste trabalho conforme será detalhado posteriormente.

Devido ao fato de o manual do fabricante da fonte (HYPERTHERM, 2003) apresentar somente valores de velocidade de corte e não de goivagem, decidiu-se por avaliar o desempenho do processo de remoção aproveitando os parâmetros de corte fornecidos pelo fabricante, o qual indica valores de velocidade que variam de acordo com a corrente a ser utilizada e com a espessura do material a ser cortado, mantendo fixo os valores de DBP, ângulo de ataque e pressão.

3.1. Goivagem

Com a finalidade de minimizar o número de parâmetros que influenciam no processo de goivagem, foram fixados os valores de Pressão do ar, DBP (Distância bico peça representado na Figura 12) e ângulo de ataque (representado pela letra grega α na Figura 12). Assim, foram variados somente valores de corrente elétrica e velocidade de goivagem.

Figura 12 - Referência para a medição da DBP e do ângulo de ataque (α);



Fonte: O autor.

O valor fixado para a pressão de ar foi definido com base nos limites de operação da fonte Powermax 1650 Hypertherm (HYPERTHERM, 2003), que utiliza pressões que variam de 50 psi à 60 psi, assim, o valor escolhido é o valor médio de pressão 55 psi para a realização dos testes. A DBP adotada foi de 1,5 mm e o ângulo de ataque escolhido foi de 45° com base nos valores sugeridos para goivagem, pelo manual do fabricante.

Foram adotados os parâmetros de velocidade de corte sugeridos pelo fabricante para uma espessura de material de 12,7 mm, em três níveis, sendo que o nível intermediário é o valor de velocidade sugerido como ótimo, o nível mais alto sendo a velocidade máxima de corte permitida e o nível inferior de velocidade seria o valor intermediário decrescido da diferença entre o valor máximo e o otimizado, permitindo assim um espaçamento quantitativo equalizado entre os níveis. Para a corrente, os níveis selecionados foram de 60, 80 e 100 A, enquanto que os demais parâmetros foram mantidos constantes, conforme apresentado na Tabela 3.



Tabela 3 - Parâmetros para remoção por goivagem sem oscilação angular

Teste	Pressão do ar (psi)	DBP (mm)	Ângulo de Ataque (graus)	Corrente (A)	Velocidade de Goivagem (mm/s)
1				60	5,1
2				60	11,4
3				60	17,8
4				80	7,6
5	55	1,5	45	80	16,5
6				80	25,4
7				100	11,0
8				100	24,1
9				100	37,3

□ Valor mínimo □ Valor ótimo □ Valor máximo

Fonte: O autor.

3.2. Medição

Após a execução de cada teste, foram feitas medições utilizando um paquímetro analógico de forma a se obter os valores de largura e profundidade de cada teste. Foram feitas três medições de largura e três medições de profundidade em cada teste, sendo, uma no início da goivagem, outra no meio e uma última na região do final, de forma a se obter um valor médio de cada parâmetro.

Os valores medios de largura e profundidade obtidos através desta medição estão apresentados na Tabela 4 no capítulo de resultados.



3.3. Macrofotografias

Após a medição dos testes, foram feitos cortes transversais na placa de testes seccionando-a em regiões próximas as medições, em uma região que melhor representa o aspecto do teste como um todo para a confecção de macrofotografias de cada teste individualmente, de forma a possibilitar tanto a visualização dos aspectos geométricos e de acabamento, quanto efetuar novas medições de forma a desconsiderar a camada de material fundido oxidado que ficou aderida nas laterais e nos fundos de alguns dos testes realizados.

Estes novos valores estão apresentados na Tabela 5.



4. RESULTADOS

4.1. Medição com paquímetro

Após a execução de testes, as placas de testes foram seccionadas transversalmente na região das remoções para a confecção de macrofotografias utilizadas para as medições de largura e profundidade, as quais foram tomadas em três posições, início, meio e fim das remoções, cujos resultados médios são apresentados na Tabela 4. No Apêndice I encontram-se as macrofotografias obtidas com através dos testes.

Vale ressaltar que as medidas de largura e profundidade apresentadas na Tabela 4 levam em consideração as camadas de óxidos e material fundido que ficou aderido em algumas amostras, influenciando nos valores medidos. Estes valores mostram os valores reais de largura e profundidade após a execução dos testes.

Tabela 4 - Resultados obtidos na goivagem.

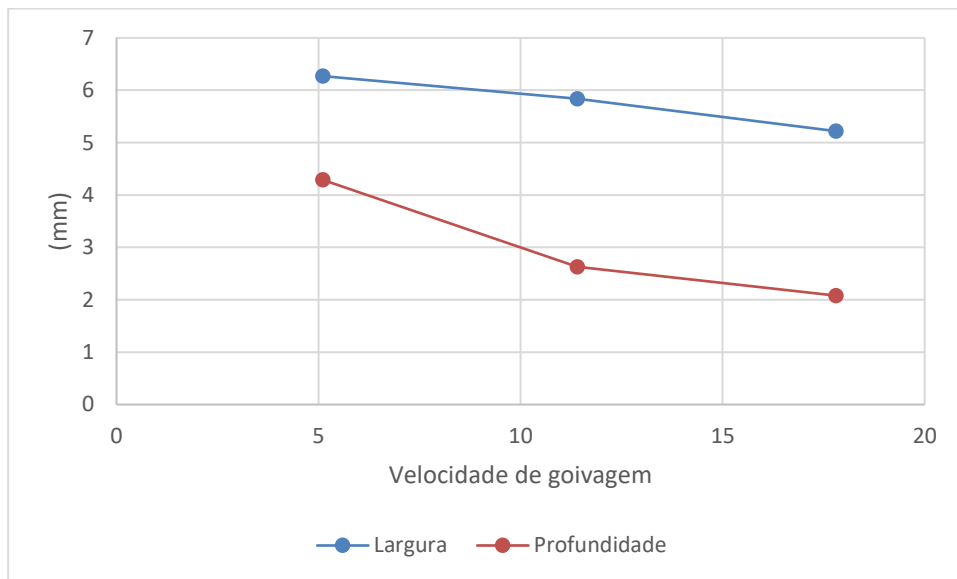
Teste	Largura (mm)	Profundidade (mm)
1	6,27	4,29
2	5,84	2,63
3	5,22	2,08
4	6,47	5,69
5	5,90	4,42
6	5,43	3,55
7	6,07	5,86
8	5,08	3,50
9	4,50	2,81

Fonte: O autor.



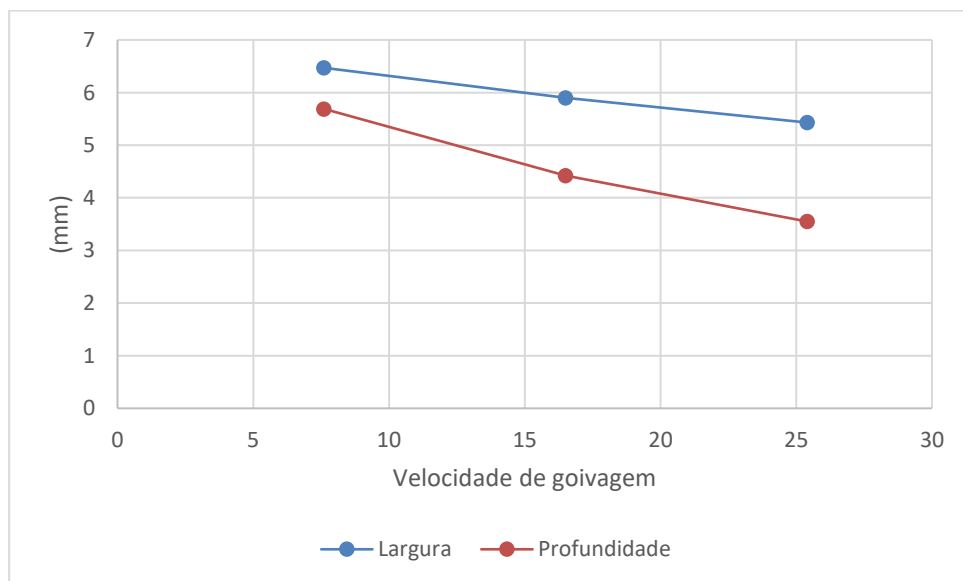
A partir dos resultados obtidos de largura e profundidade, foi possível plotar gráficos que representam de forma clara o que ocorre em cada teste, dando assim uma melhor comparação da influência da velocidade de goivagem para diferentes níveis de corrente durante o processo.

Figura 13 - Efeito da velocidade de goivagem na largura e profundidade para corrente de 60 A.



Fonte: O autor.

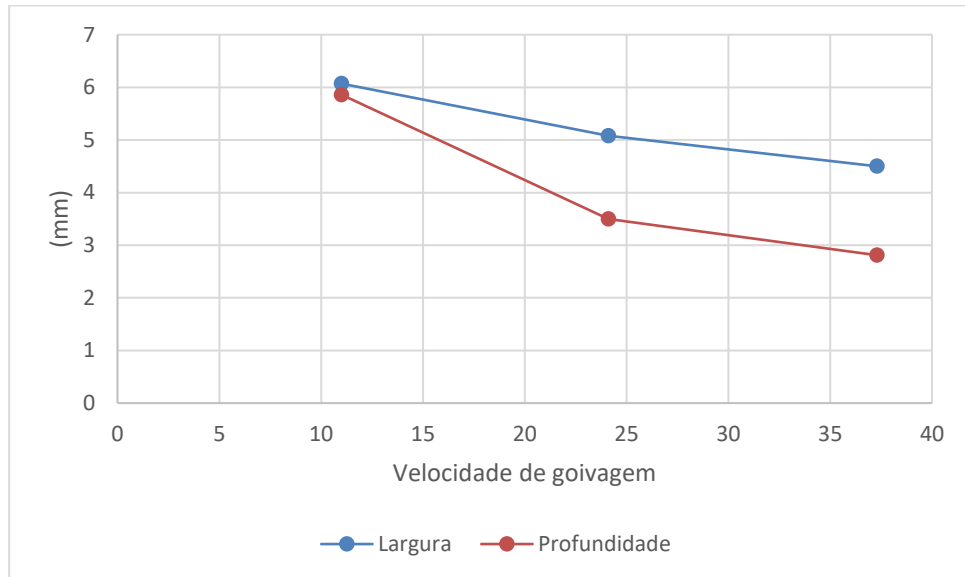
Figura 14 - Efeito da velocidade de goivagem na largura e profundidade para corrente de 80 A.



Fonte: O autor.



Figura 15 - Efeito da velocidade de goivagem na largura e profundidade para corrente de 100 A.



Fonte: O autor.

4.2. Medição através das macrofotografias

Considerando que em alguns dos testes que foram realizados não foi possível remover todo o material fundido pelo jato de ar comprimido do processo de goivagem a arco plasma, de forma a confirmar os resultados obtidos anteriormente, foram feitas novas medições, desta vez, pelas macrofotografias desconsiderando a escória de material de base fundido que não foi removida pelo jato de ar comprimido em alguns dos testes. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 5.

Estes resultados apresentados na Tabela 5 foram tomados com base em uma macrografia que feita na região central de cada remoção, não sendo valores médios como os resultados apresentados anteriormente na Tabela 4.



Tabela 5 - Resultados obtidos na goivagem medido através da macrofotografia.

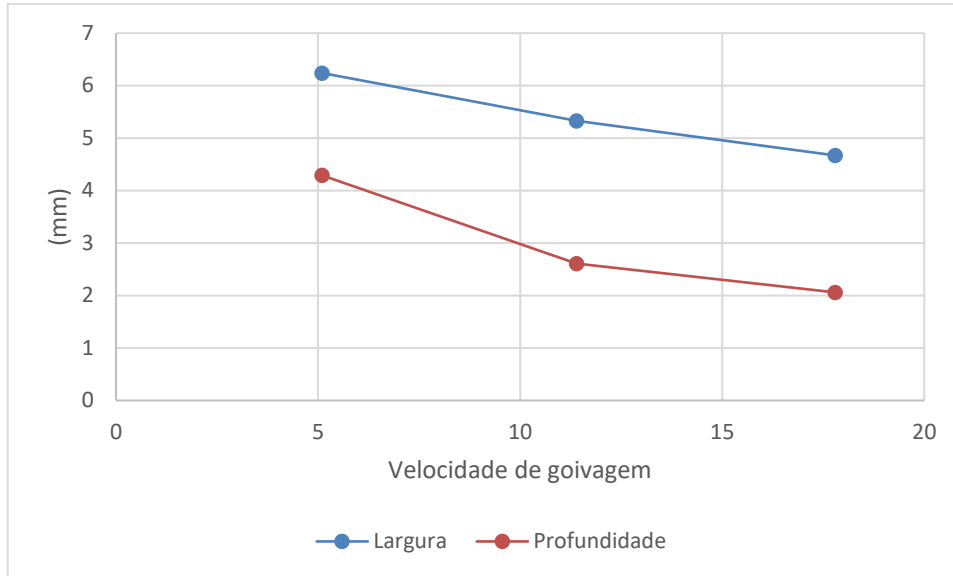
Teste	Largura (mm)	Profundidade (mm)
1	6,24	4,29
2	5,33	2,61
3	4,67	2,06
4	5,94	5,66
5	5,76	4,40
6	5,11	3,57
7	5,81	7,28
8	4,86	5,20
9	4,04	4,85

Fonte: O autor.

Para simplificar a análise e para uma melhor observação dos dados, foram plotados gráficos que relacionam a velocidade de goivagem com os resultados de largura e profundidade obtidos, para diferentes níveis de corrente aplicados nos testes, os quais estão apresentados nas Figuras 16, 17 e 18.

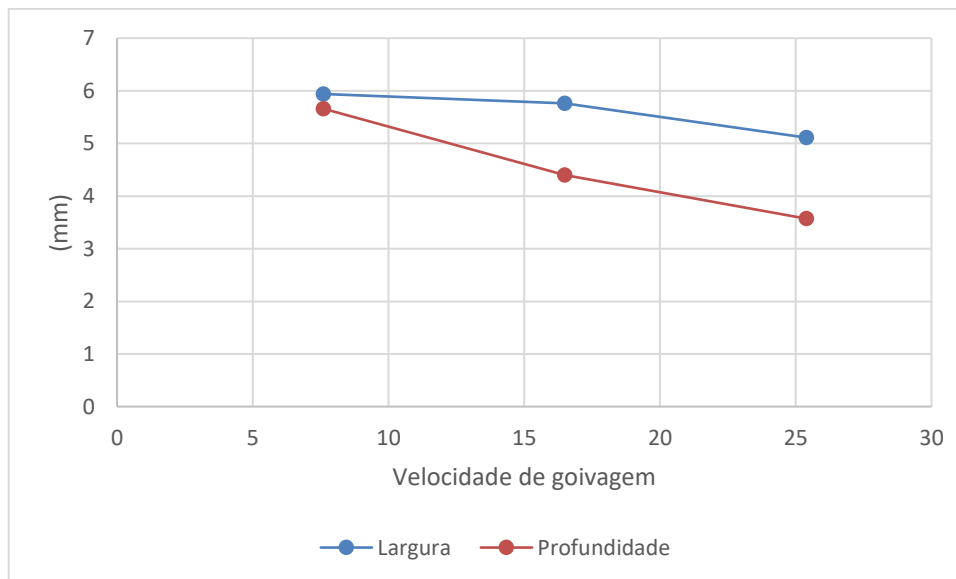


Figura 16 - Efeito da velocidade de goivagem na largura e profundidade para corrente de 60 A (Sem material fundido)



Fonte: O autor.

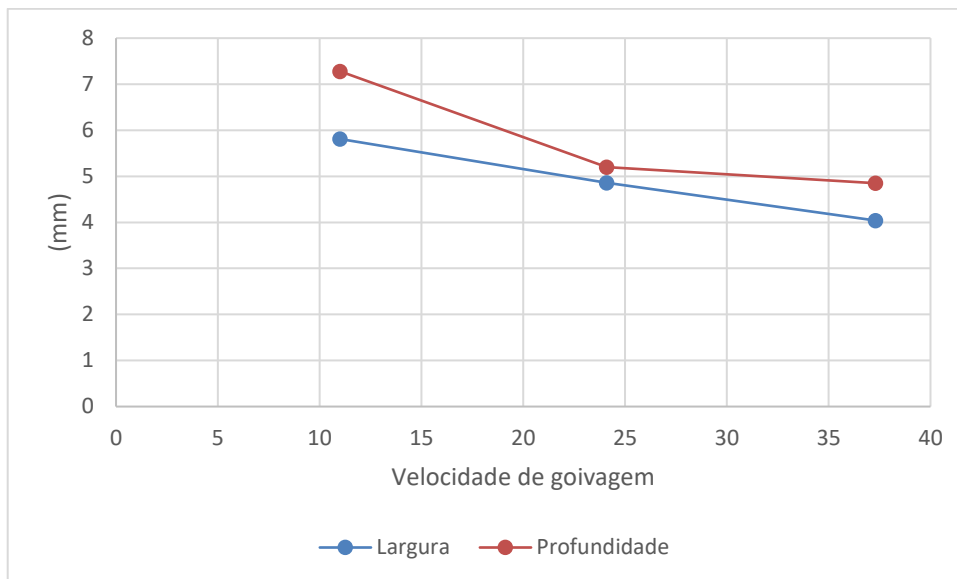
Figura 17 - Efeito da velocidade de goivagem na largura e profundidade para corrente de 80 A (Sem material fundido)



Fonte: O autor.



Figura 18 - Efeito da velocidade de goivagem na largura e profundidade para corrente de 100 A (Sem material fundido)



Fonte: O autor.

4.3. Medição de largura e profundidade da ZAC através das macrofotografias.

Uma vez que se tem neste trabalho a possibilidade de ir um pouco além do que havia sido previsto, foram feitas medições de valores de largura e profundidade da ZAC dos testes de goivagem, buscando não somente a complementação do trabalho, mas também a complementação do conhecimento adquirido neste trabalho. Os valores obtidos por estas medições estão apresentados na Tabela 6.



Tabela 6 - Resultados de largura e profundidade da ZAC..

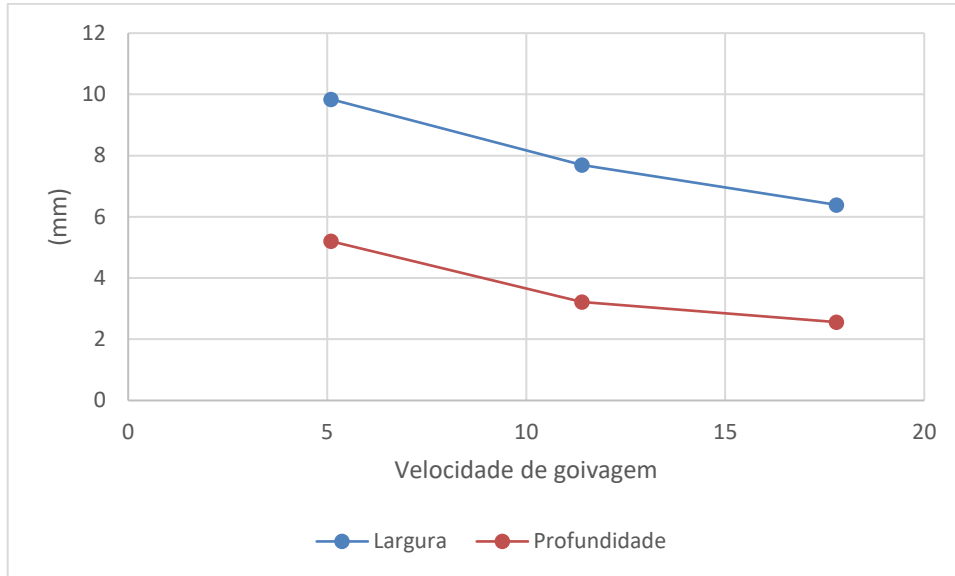
Teste	Goivagem		ZAC da goivagem		Diferença	
	Larg. (mm)	Profundidade (mm)	Larg. (mm)	Profundidade (mm)	Larg. (mm)	Profundidade (mm)
1	6,24	4,29	9,84	5,20	3,60	0,91
2	5,33	2,61	7,69	3,22	2,36	0,61
3	4,67	2,06	6,39	2,56	1,72	0,50
4	5,94	5,66	8,84	6,22	2,90	0,56
5	5,76	4,40	7,53	4,72	1,77	0,32
6	5,11	3,57	6,69	3,83	1,58	0,26
7	5,81	7,28	8,87	7,84	3,06	0,56
8	4,86	5,20	6,25	5,41	1,39	0,21
9	4,04	4,85	5,57	5,10	1,53	0,25

Fonte: O autor.

Da mesma forma que realizado nas medições anteriores, foram plotados gráficos com os dados obtidos nesta etapa para a melhor visualização e análise dos mesmos. Estes gráficos estão apresentados nas Figuras 19, 20 e 21.

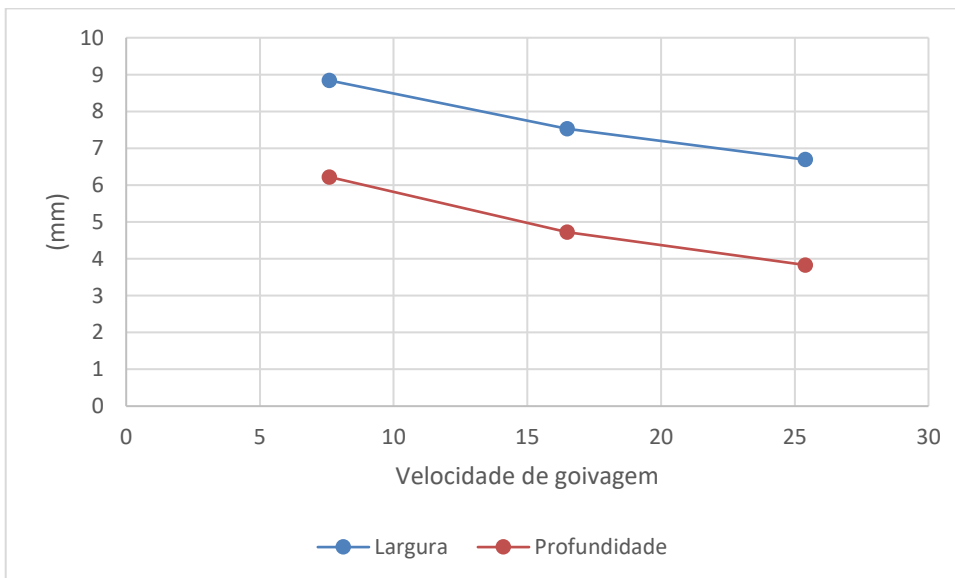


Figura 19 - Efeito da velocidade de goivagem na largura e profundidade para corrente de 60 A (ZAC)



Fonte: O autor.

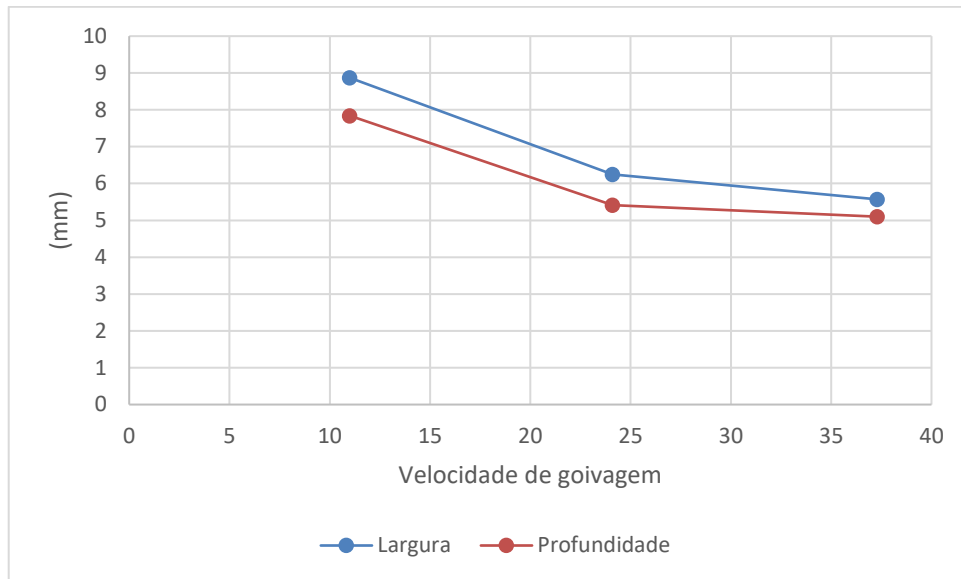
Figura 20 - Efeito da velocidade de goivagem na largura e profundidade para corrente de 80 A (ZAC)



Fonte: O autor.



Figura 21 - Efeito da velocidade de goivagem na largura e profundidade para corrente de 100 A (ZAC)



Fonte: O autor.



5. DISCUSSÃO DOS DADOS

Com base nos dados obtidos pelo experimento, foi possível retirar várias conclusões sobre diferentes aspectos observados, por isso a conclusão será dividida para que os aspectos possam ser melhor organizados para o leitor.

5.1 Aspectos de acabamento

Observando as macrofotografias feitas nos testes de goivagem, foi possível observar que para os testes realizados com corrente elétrica de 60 A praticamente todo o material fundido foi removido pela ação do jato de ar, não restando material fundido aderido nas laterais da remoção. À medida que a corrente elétrica aplicada no processo foi aumentando, verificou-se que parte do material fundido foi se solidificando e aderindo principalmente nas paredes da remoção. Para a remoção feita utilizando corrente elétrica de 100 A, vemos que este problema ocorre em escala ainda maior que nas anteriores.

É importante lembrar que à medida que os valores de corrente elétrica foram sendo aumentados, a velocidade de goivagem também foi aumentada, porém, não é possível atribuir o material aderido nas superfícies goivadas ao aumento da velocidade de goivagem, pois quando observa-se a Tabela 4, juntamente com as macrofotografias, é possível verificar que mesmo para valores similares ou inferiores de velocidade de goivagem (comparação entre testes 2 e 7 e comparação entre testes 3, 4 e 7, respectivamente) os testes com maiores valores de corrente apresentam mais material fundido (escória) junto a superfície.

Por isso é possível concluir que além da influência da corrente sobre este fenômeno, há ainda a influência de outro fator que não a velocidade de goivagem. Este fator pode ser a pressão do ar por exemplo, pois devido a maiores valores de corrente há maior quantidade de material fundido e conseqüentemente maior pressão é necessária para a remoção deste, para fora da superfície goivada.



Quando se compara os três testes realizados com corrente de 80 A, é possível ver que os testes 5 e 6 apresentam material fundido aderido na lateral da goiva e que o teste 4 não apresenta, portanto é possível concluir que para os parâmetros adotados para estes testes a velocidade de goivagem também teve influência no acabamento superficial do teste, mesmo que em menor efeito que os demais.

Verificou-se ainda através das macrofotografias, que os melhores acabamentos alcançados e as geometrias mais uniformes e sem irregularidades, se deu para conjunto de parâmetros de corrente e velocidade de goivagem inferiores, como pode ser observado da Figura 21 até a Figura 27. Este fato pode ser atribuído à correlação entre os valores de corrente e velocidade de goivagem utilizados.

5.2 Geometria da remoção

Primeiramente, é necessário destacar que, ao se realizar o experimento, era esperado que quanto maior fosse o valor da corrente elétrica utilizada no processo maior fosse o volume de material removido. Porém, de acordo com os dados apresentados na Tabela 4, observou-se que isto ocorre para os testes realizados com velocidades de goivagem similares e com correntes diferentes, como pode ser observado comparando os testes 1 com 4, 2 com 7 e 3 com 5 pois a largura e a profundidade aumentam, sendo que este último parâmetro aumenta de forma muito mais significativa que o primeiro.

Seguindo esta mesma linha de raciocínio, quando comparamos os testes 6 e 8 pelos dados da Tabela 4, vemos que as velocidades de goivagem são similares e que há somente a variação de corrente entre os testes, porém não há aumento de largura e profundidade. Contudo, quando analisamos as medidas apresentadas na Tabela 5, considerando o volume de material que efetivamente foi fundido, vemos que apesar da largura apresentar uma ligeira diminuição, há um aumento muito mais significativo na profundidade, logo, conclui-se que assim como nos testes analisados anteriormente, o volume de material removido aumenta com o aumento da corrente.

Uma outra comparação interessante que é possível de ser verificada pela Tabela 5, é que podemos comparar o teste 2 simultaneamente com os testes 1, 3 e



7, vemos que a influência da corrente sobre a profundidade da goivagem é muito maior do que a da velocidade de goivagem. Esta observação pode ainda ser confirmada através da comparação do teste 5 com o teste 3, 4 e 6 e pela comparação do teste 8 com os testes 6, 7 e 9 simultaneamente.

Pela observação dos gráficos que foram plotados, verifica-se que todos, sem exceção, apresentam tendência decrescente, ou seja, a largura e a profundidade sempre diminuem conforme se aumenta a velocidade de goivagem para um mesmo valor de corrente. Em alguns casos a alteração se deu de maneira mais sutil, com variações um tanto menores que em outros, como pode ser observado nas Figuras 18 e 21, mas é válido ressaltar que em todos houve decremento tanto da largura quanto da profundidade com o aumento da velocidade. Este fato é observado em todos os níveis de corrente utilizados no processo.

Ainda através das microfotografias, verificou-se que as goivagens de cada teste apresentam formato diferente, por exemplo, todas as goivagens feitas com a corrente de 60 A apresentam perfil mais abaulado. Já os testes realizados com a corrente de 100 A e as respectivas velocidades de goivagem apresentam formato mais afinado e mais profundo que os demais.

5.3 Aspectos geométricos da ZAC

O primeiro ponto importante da análise da ZAC que deve ser destacado é que todas as observações feitas anteriormente de profundidade e largura também se aplicam a profundidade e largura da ZAC. A profundidade da zona afetada pelo calor aumenta com o aumento da corrente. A influência da corrente sobre a profundidade da ZAC é maior do que a influência da velocidade de goivagem. Através de comparação gráfica vemos que o aumento da velocidade de goivagem faz com que haja uma diminuição do alcance da ZAC tanto em largura, quanto em profundidade, e, quando analisados os valores da diferença entre a ZAC e a remoção apresentados na Tabela 6 observa-se que a ZAC se torna mais estreita tanto nas laterais quanto no fundo, com o aumento da velocidade de goivagem.

Uma possível observação que pode ser feita é que, comparando o teste 2 com o teste 7, que apresentam velocidades de goivagem praticamente iguais, a diferença entre a profundidade da ZAC e a profundidade da goivagem (que dá a dimensão da



espessura do fundo da ZAC) se mantém praticamente o mesmo, mas quando comparamos o teste 2 com o teste 1, vemos que há um aumento desta espessura conforme a velocidade de goivagem diminuiu. Podemos concluir, portanto, que no teste 1 boa parte do calor gerado pelo processo está somente aquecendo a peça e não chega a fundir o material tornando a ZAC deste teste muito mais espessa que as demais.

O formato da ZAC também apresentou perfil mais abaulado nos primeiros testes realizados, seguindo assim a mesma tendência que a remoção, de se tornar mais afinado conforme há um aumento da corrente (sem alteração do valor de pressão do processo).



6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

6.1 Conclusões

Os resultados obtidos por este trabalho, mostram que os pares de valores de corrente elétrica e velocidade de goivagem utilizados nos testes de 1 a 6 apresentam melhores acabamentos em relação aos testes 7 a 9, apresentando remoção com geometria mais uniforme e com menor aderência de material fundido nas laterais da remoção.

A influência da corrente elétrica sobre a profundidade da remoção mostra-se mais significativa do que a influência da velocidade de goivagem sobre o mesmo parâmetro, de forma que com o aumento da corrente elétrica, maiores profundidades de remoção são alcançadas.

Tanto a largura quanto a profundidade da remoção apresentaram efeito inversamente proporcionais em relação a velocidade de goivagem, ou seja, ambas decrescem conforme a velocidade de goivagem aumenta, sendo que a profundidade da goivagem apresenta maiores variações.

De forma geral, o presente trabalho cumpriu com o que foi proposto, uma vez que serviu como base de parâmetros de acabamento para dar sequência no projeto de pesquisa desenvolvido a partir desta análise, as conclusões obtidas nele tem grande relevância no entendimento do processo de goivagem por arco plasma.

7.1 Recomendações para trabalhos futuros

Dar sequência ao estudo dos aspectos geométrico da goivagem por arco plasma é de suma importância, tendo em vista que não há um grande número de estudos nesta área e o entendimento da influência dos parâmetros envolvidos no processo, pode beneficiar não somente a pesquisa científica, mas também o setor industrial.

Tendo como base os aspectos de acabamentos obtidos neste trabalho, seria importante também, utilizar-se dos valores de velocidade de goivagem que apresentaram melhores acabamentos e superfícies livres de escória, para a realização de estudos com variações de velocidade de goivagem e de corrente em três níveis para posterior análise estatística do processo (ANOVA), de forma que



seja possível estabelecer correlação entre a corrente elétrica e a velocidade de goivagem.

Analisar a variação geométrica da remoção através da medição de volume de material removido, de preferência em mais de uma região, também é um trabalho muito interessante e que pode contribuir para o estudo do processo de goivagem a arco plasma.



7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDIA, J. L. M.; SOUZA, L. F. G.; BOTT, I. S. **HAZ Physical Simulation of API 5L X80 Pipeline Steel**. Pipeline Technology Conference. 8ª ed. Hannover, Germany, 2013.

ARAUJO, D. B. DE. **Metodologia Para uso de Simulação Física no Estudo da ZAC e na Obtenção de Diagramas CCT para Soldagem**. 104 f. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2008.

AWS A3.0M /A3.0:2010. **Standard Welding Terms and Definitions: Including Terms For Adhesive Bonding, Brazing, Soldering, Thermal Cutting, and Thermal Spraying**. 12ª ed. American Welding Society. Miami, FL, 2010.

CALLISTER, W. D. JR.; RETHWISCH, D. G. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda., 2018. v. 1

CASTRO, J. F.; SCOTTI, A. **Manual prático-operacional para goivagem por plasma a ar comprimido**. Centro para Pesquisa e Desenvolvimento de Processos de Soldagem, 2013.

CHIAVERINI, V. **Aços e ferros fundidos**. 6. ed. São Paulo: ABM, 1988.

CUNHA, G. A. DA; ELISEI, C. D. C. A. **Análise e comparação da microestrutura da ZTA do corte realizado por plasma e oxicorte em chapas de aço 1020**. XX Encontro Latino Americano de Iniciação Científica. São José dos Campos: Universidade do Vale do Paraíba, 27 out. 2016.

FERNICOLA R. **Plasma gouging versus traditional methods**. Svetsaren - The ESAB welding and cutting journal, v. Vol 61 n°1, p. 17–23, 2006.

HARRISON, P. L.; FARRAR, R. A. **Application of continuous cooling transformation diagrams for welding of steels**. International Materials Reviews, v. 34, p. 35–51, 1989.

HYPERTHERM. **Sistema a plasma Powermax1650**. Disponível em: <<https://www.hypertherm.com/pt/hypertherm/powermax/powermax1650-plasma-system/>>. Acesso em: 14 março 2022.

HYPERTHERM. **Sistema de Corte e Goivagem arco plasma**. Manual de operação 804487 – Revisão 1, 2003

WELDING HANDBOOK COMMITTEE. **Welding handbook**. 9ª ed. American Welding Society, Miami, FL, 2001. v. 1

WELDING HANDBOOK COMMITTEE. **Welding handbook**. 9ª ed. American Welding Society, Miami, FL, 2001. v. 2

KOU, S. **Welding Metallurgy**. 2ª ed. New Jersey: Jhon Wiley & Sons, 2003. v. 1

LIMA E. G. **Corte a Plasma**. Artigo. Revista da soldagem Hypertherm, São Paulo, p. 18–26, fev. 2009.



MODENESI, P. J.; MARQUES, P. V. **Soldagem I: Introdução aos processos de soldagem**. 1. ed. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2000. v. 1

RAMALHO, J. **Processo de corte plasma**. Artigo. São Paulo: Núcleo Tecnológico de Soldagem & Qualidade , 2002.

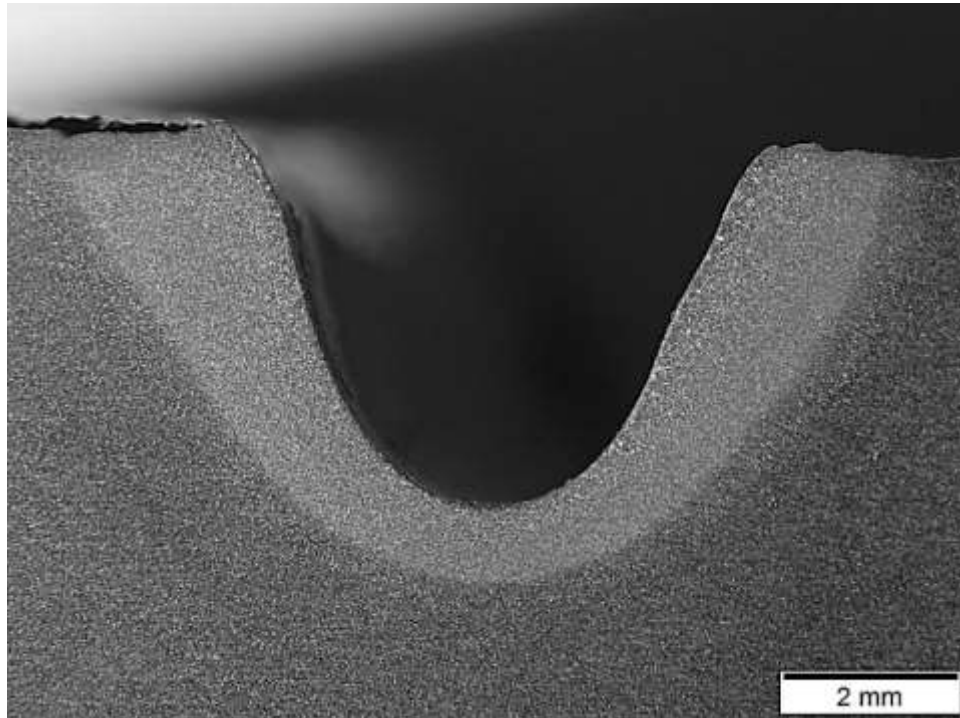
REIS, R.P.;SCOTTI, A. **Fundamentos e Prática da Soldagem a Plasma**. 1ª ed. Editora Artliber, 2007.

SMITH, F. **Plasma arc cutting**. Trade of Pipefitting – Thermal Processes. Thurles, Ireland: Solas, 2014.

TAVARES, W. S. **Estudo das técnicas de remoção de material empregadas em soldagens de fabricação ou de manutenção de estruturas de aços**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, Brasil.

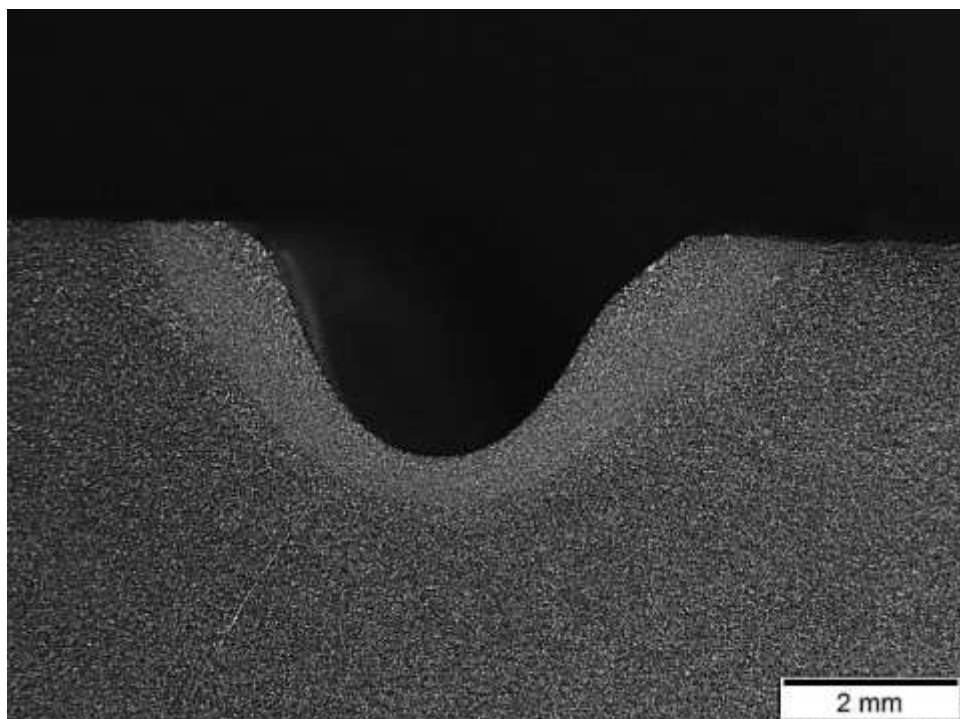
8. APÊNDICE

Figura 22 - Teste 1 – ($I = 60 \text{ A}$; $V_G = 5,1 \text{ mm/s}$)



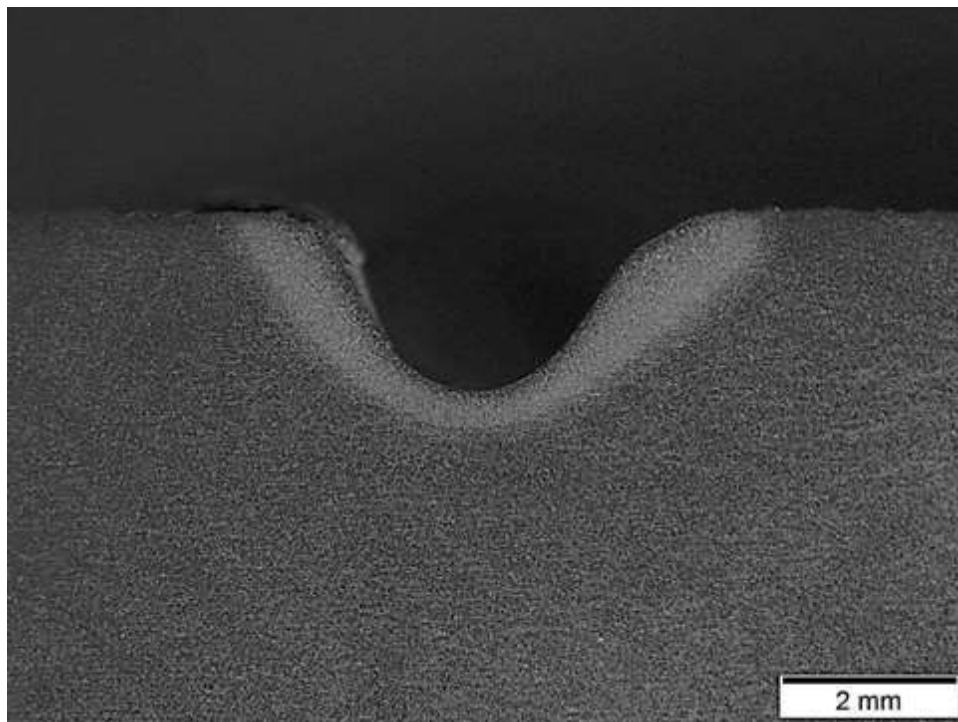
Fonte: O autor.

Figura 23 - Teste 2 - ($I = 60 \text{ A}$; $V_G = 11,4 \text{ mm/s}$)



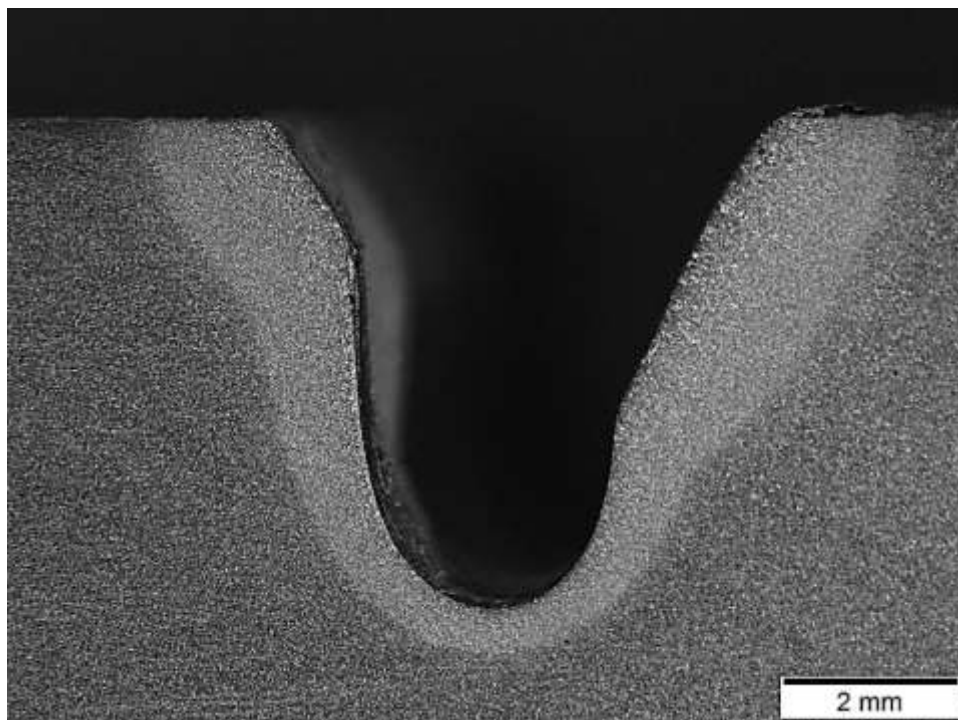
Fonte: O Autor.

Figura 24 - Teste 3 - ($I = 60$ A; $VG = 17,8$ mm/s)



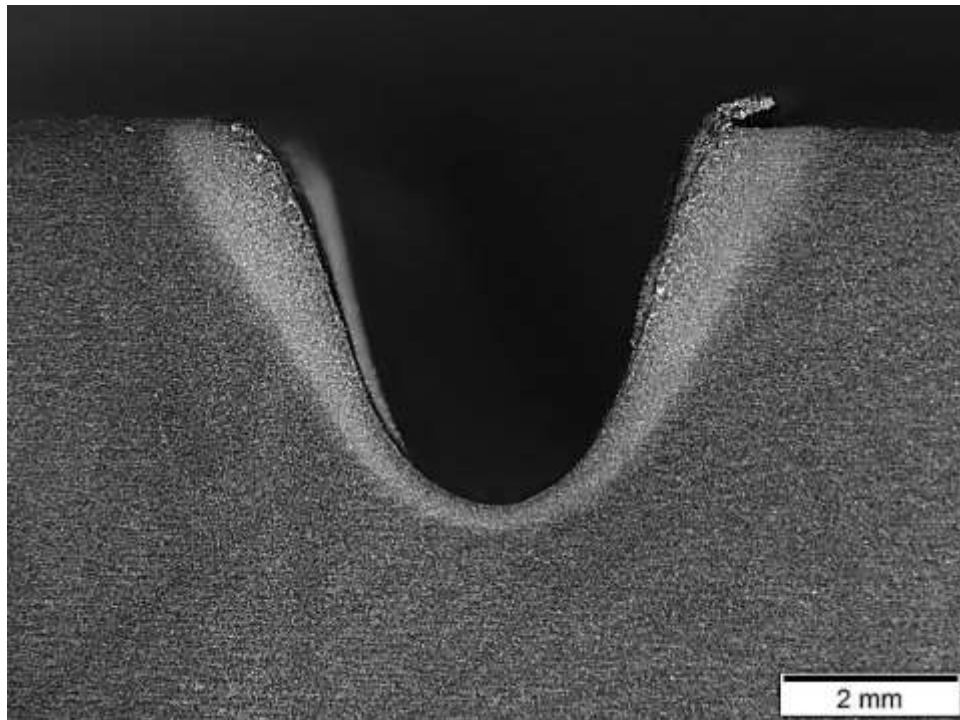
Fonte: O autor.

Figura 25 - Teste 4 - ($I = 80$ A; $VG = 7,6$ mm/s)



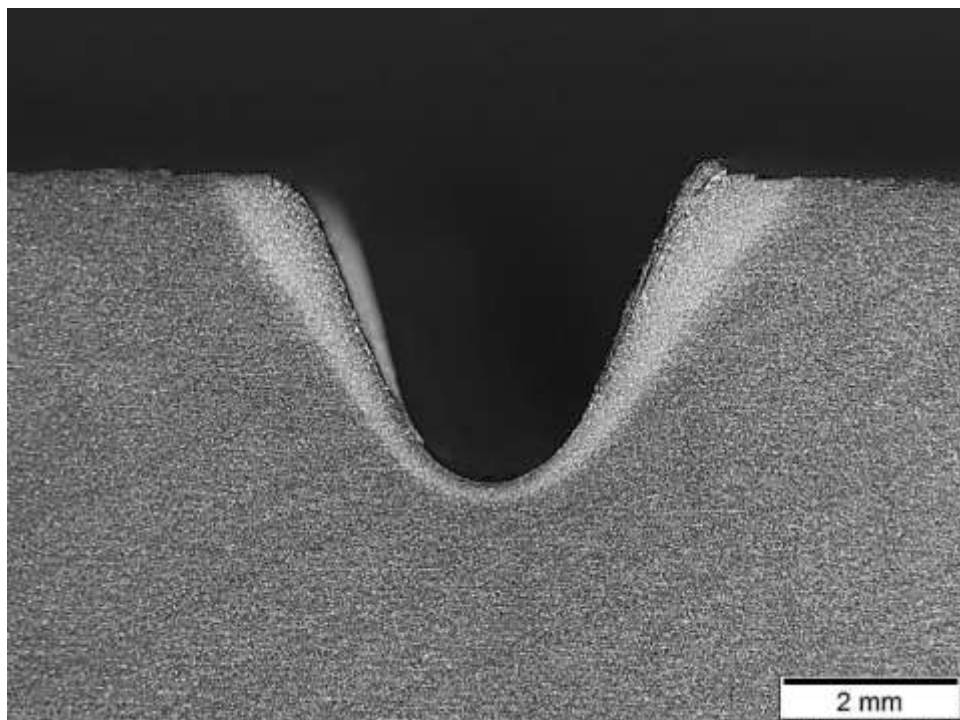
Fonte: O autor.

Figura 26 - Teste 5 - ($I = 80 \text{ A}$; $VG = 16,5 \text{ mm/s}$)



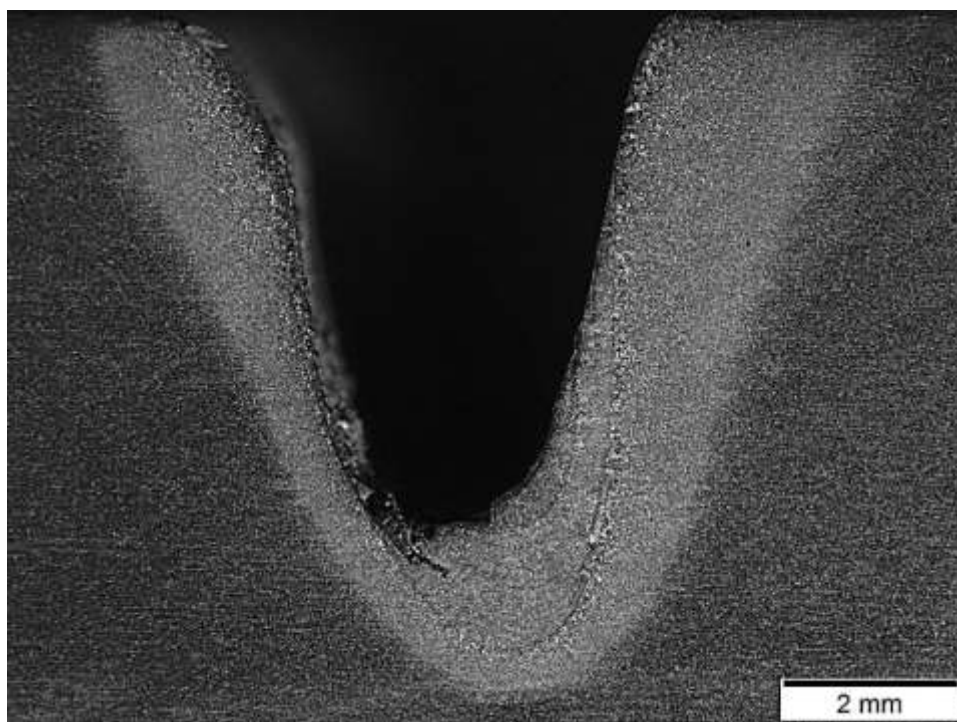
Fonte: O autor.

Figura 27 - Teste 6 - ($I = 80 \text{ A}$; $VG = 25,4 \text{ mm/s}$)



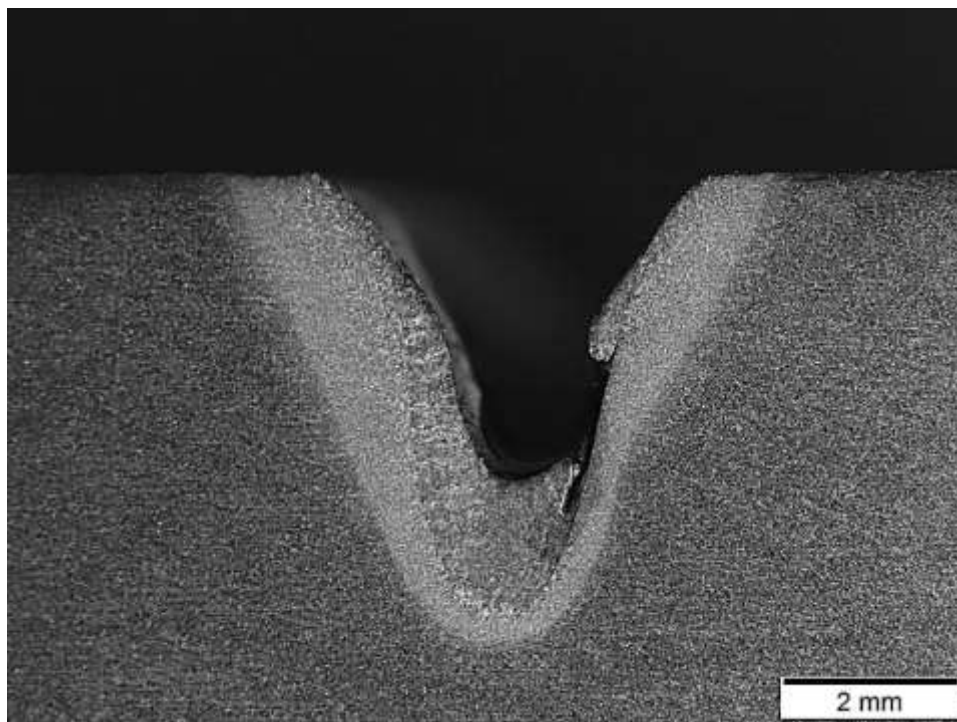
Fonte: O autor.

Figura 28 - Teste 7 - ($I = 100$ A; $VG = 11,0$ mm/s)



Fonte: O autor.

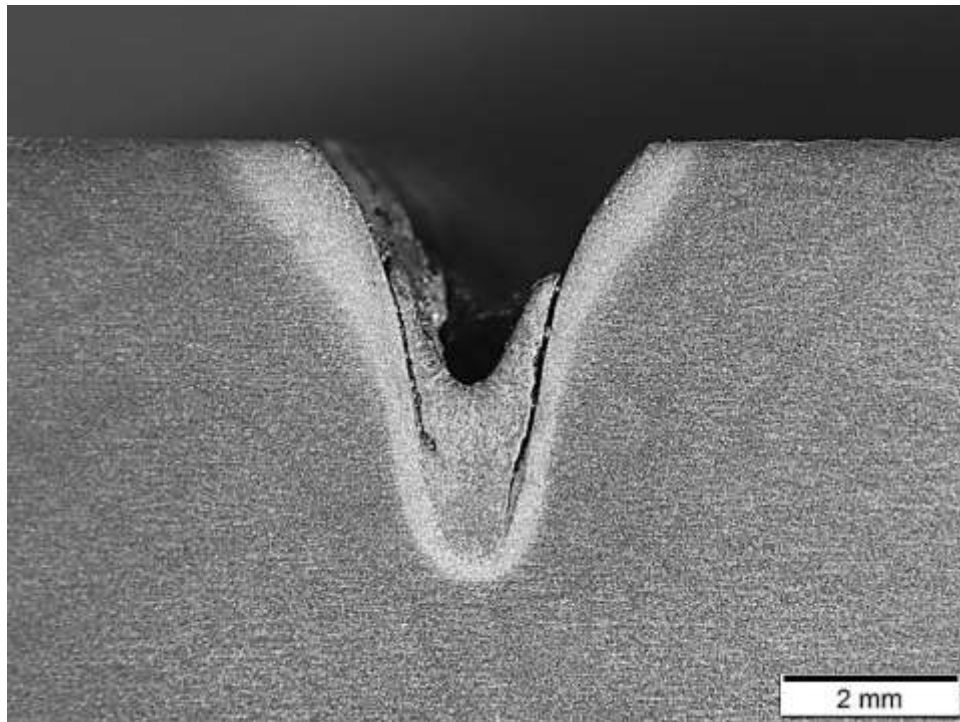
Figura 29 - Teste 8 - ($I = 100$ A; $VG = 24,1$ mm/s)



Fonte: O autor.



Figura 30 - Teste 9 - ($I = 100 \text{ A}$; $VG = 37,3 \text{ mm/s}$)



Fonte: O autor.