CEFET-MG

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS



DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

LORENA ARCO VERDE

ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA ESPESSURA DA CAMADA DE SHOP PRIMER SOBRE A ESTABILIDADE DO ARCO ELÉTRICO E DAS CARACTERÍSTICAS DO METAL DE SOLDAS PRODUZIDAS PELO PROCESSO FCAW SOBRE CHAPAS REVESTIDAS

BELO HORIZONTE

2024

LORENA ARCO VERDE

ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA ESPESSURA DA CAMADA DE SHOP PRIMER SOBRE A ESTABILIDADE DO ARCO ELÉTRICO E DAS CARACTERÍSTICAS DO METAL DE SOLDAS PRODUZIDAS PELO PROCESSO FCAW SOBRE CHAPAS REVESTIDAS

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais do CEFET-MG, na área de concentração de Ciência e Desenvolvimento de Materiais, na Linha de Pesquisa em Seleção, Processamento e Caracterização, como parte integrante dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Materiais.

Orientador: PROF. DR. CLÁUDIO TURANI VAZ

Coorientador: PROF. DR. BRUNO CORDEIRO SILVA

BELO HORIZONTE

2024

Verde, Lorena Arco.
V483e Estudo da influência da espessura da camada de *shop primer* sobre a estabilidade de arco elétrico e das características do metal de soldas produzidas pelo processo FCAW sobre chapas revestidas / Lorena Arco Verde. – 2024.
68 f. : il.
Orientador: Cláudio Turani Vaz.
Coorientador: Bruno Cordeiro Silva.
Dissertação (mestrado) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais, Belo Horizonte, 2024.
Bibliografia.
1. Soldagem. 2. Arames tubulares. 3. Tintas para revestimentos. 4. Corrosão e anticorrosivos. I. Vaz, Cláudio Turani. II. Silva, Bruno Cordeiro. III. Título.
CDD: 671.5212

Ficha elaborada pela Biblioteca - *campus* Nova Suíça - CEFET-MG
Bibliotecária: Rosiane Maria Oliveira Gonçalves - CRB6-2660

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
COORDENAÇÃO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MATERIAIS - NS

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO Nº 18 / 2024 - POSMAT (11.52.07)

Nº do Protocolo: 23062.025736/2024-47

Belo Horizonte-MG, 23 de maio de 2024.

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA ESPESSURA DA CAMADA DE SHOP PRIMER SOBRE A ESTABILIDADE DO ARCO ELÉTRICO E DAS CARACTERÍSTICAS DO METAL DE SOLDAS PRODUZIDAS PELO PROCESSO FCAW SOBRE CHAPAS REVESTIDAS

Autora: Lorena Arco Verde

Orientador: Prof. Dr. Cláudio Turani Vaz

A Banca Examinadora composta pelos membros abaixo aprovou em 23 de maio de 2024 esta Dissertação:

Prof. Dr. Cláudio Turani Vaz (ORIENTADOR)
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET/MG

Dr. Bruno Cordeiro Silva (COORIENTADOR)
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET/MG

Prof. Dr. Carlos Alberto Carvalho Castro (EXAMINADOR INTERNO)
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais ? CEFET-MG

Prof.ª Dr.ª Maria Celeste Monteiro de Souza Costa (EXAMINADORA EXTERNA)
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais ? CEFET-MG

(Assinado digitalmente em 05/06/2024 14:53)
BRUNO CORDEIRO SILVA
TECNICO DE LABORATORIO AREA
DEMAT (11.55.06)
Matrícula: 1676875

(Assinado digitalmente em 29/05/2024 13:52)
CARLOS ALBERTO CARVALHO CASTRO
PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO
DMCVG (11.64.05)
Matrícula: 2494298

(Assinado digitalmente em 23/05/2024 21:53)
CLAUDIO TURANI VAZ
PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO
POSMAT (11.52.07)
Matrícula: 1812853

(Assinado digitalmente em 27/05/2024 11:32)
MARIA CELESTE MONTEIRO DE SOUZA COSTA
PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO
DEMAT (11.55.06)
Matrícula: 2301635

Visualize o documento original em **https://sig.cefetmg.br/public/documentos/index.jsp** informando seu número: **18**, ano: **2024**, tipo: **ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO**, data de emissão: **23/05/2024** e o código de verificação: **fe1d369670**

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus.

A minha família e ao Carlos Sarmento pelo incentivo e por facilitar para que esse sonho fosse realidade.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Cláudio Turani Vaz pela oportunidade, dedicação e disponibilidade em ensinar.

Ao Coorientador Prof. Dr. Bruno Cordeiro Silva por sempre se mostrar disponível em contribuir.

Aos professores e funcionários do Departamento de Engenharia de Materiais do CEFET-MG.

Aos meus amigos incentivadores em especial Leonardo Schiavo, Stephanie Panin, Larissa Palhano, Luiz da Silva e Oficina Marca.

A Akzo Nobel pelo fornecimento da tinta de pré-construção usada nesse estudo.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

RESUMO

Na indústria metal mecânica, o principal objetivo é alcançar maior produtividade com o menor custo de fabricação. Para atingir tal eficiência, é necessário acompanhar o processo de fabricação de perto. Quantidades consideráveis de material metálico são desperdiçadas devido a perdas e retrabalho causados pela corrosão. Em setores como a indústria naval e *offshore*, o tempo de processamento e a localização agravam a corrosão, tornando indispensável a proteção do material. O *shop primer* (tinta de pré-construção) é um grande aliado nesse processo, pois impede o contato direto com o metal base, criando uma barreira protetiva contra a corrosão. A soldagem FCAW (Flux-cored Arc Welding) é amplamente utilizada nessas situações por ser uma das alternativas mais produtivas. No entanto, a qualidade das soldas produzidas por esse processo pode ser comprometida quando realizadas sobre a camada protetiva. Este trabalho teve como objetivo verificar a influência de diferentes espessuras de *shop primer* aplicado em chapas de aço carbono ASTM A-36 no processo de soldagem e nas características das soldas produzidas pelo arame classe E71T1-C1A2-CS2. Foram realizadas soldagens com monitoramento da corrente e tensão, além de análises macro e microestruturais e das escórias das soldas. Maiores espessuras da camada de shop primer resultaram em aumento na largura e penetração das soldas. O monitoramento dos parâmetros elétricos durante a soldagem não indicou alterações no arco elétrico nas diferentes condições avaliadas. Alterações na diluição, resultantes do aumento na penetração, não impactaram a microestrutura do metal de solda. Medidas do ângulo de contato do cordão e a análise da escória, juntamente com a análise dos sinais elétricos, indicaram que a espessura da camada de shop primer foi responsável pela alteração na fluidez do metal líquido na poça de fusão.

Palavra-chave: Soldagem, Arame tubular rutilico, *Shop primer*.

ABSTRACT

In the metal-mechanical industry, the main goal is to achieve higher productivity at the lowest manufacturing cost. To attain such efficiency, it is necessary to closely monitor the manufacturing process. Considerable amounts of metallic material are wasted due to losses and rework caused by corrosion. In sectors such as the naval and offshore industries, processing time and location exacerbate corrosion, making material protection indispensable. Shop primer (pre-construction paint) is a great ally in this process, as it prevents direct contact with the base metal, creating a protective barrier against corrosion. FCAW (Flux-cored Arc Welding) is widely used in these situations as it is one of the most productive alternatives. However, the quality of the welds produced by this process can be compromised when performed over the protective layer. This study aimed to verify the influence of different thicknesses of shop primer applied to ASTM A-36 carbon steel plates on the welding process and the characteristics of welds produced by the E71T1-C1A2-CS2 class wire. Weldings were performed with monitoring of current and voltage, as well as macro and microstructural analyses and slag analyses of the welds. Greater thicknesses of the shop primer layer resulted in increased weld width and penetration. Monitoring of electrical parameters during welding did not indicate changes in the electric arc under the different conditions evaluated. Changes in dilution, resulting from increased penetration, did not impact the microstructure of the weld metal. Measurements of the bead contact angle and slag analysis, along with the analysis of electrical signals, indicated that the thickness of the shop primer layer was responsible for altering the fluidity of the molten metal in the weld pool.

KEYWORDS: *Welding, Rutile tubular wire, Shop primer*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Soldagem com arames tubulares com proteção externa 16
Figura 2 - Diferença de geometria de cordão – a-processo GMAW e b-processo FCAW 18
Figura 3 - Seção transversal dos arames contínuos para soldagem.....19
Figura 4 - Efeito do gás de proteção no perfil do cordão executado com a soldagem FCAW.....20
Figura 5 - Modos de transferência metálica 24
Figura 6 - Transferência por Curto-circuito.....25
Figura 7 - Transferência Globular.....25
Figura 8 - Transferência Spray.....26
Figura 9 - Quadros de filmagens para eletrodo rutílico com proteção gasosa Ar+25% CO2 para diferentes correntes 27
Figura 10 - Quadros de filmagens para eletrodo rutílico com proteção gasosa 100% CO2 para diferentes correntes 27
Figura 11 - Mecanismos de proteção catódica.....29
Figura 12 - Pontos de fixação com descontinuidades sobre primer 31
Figura 13 - Ponto de fixação com poros e escória 32
Figura 14 -Poros na solda sobre tinta primer 32
Figura 15 - Macrografia dos cordões.....34
Figura 16 - Fluxograma das etapas do procedimento experimental.....35
Figura 17 - Aspecto visual das placas para confecção dos corpos de prova 36
Figura 18 - Adaptação do trator de solda para aplicação do shop primer 38
Figura 19 - Disposição da pistola para realização da pintura.....38
Figura 20 - Pontos de medição da espessura da camada de revestimento.....39
Figura 21 - Aparato montado para soldagem de forma semimecanizada.....40
Figura 22 - Retiradas das amostras para análise macro e microestrutural 42
Figura 23 - Corte longitudinal da Amostra.....42
Figura 24 - Representação do ângulo de contato 43
Figura 25 - Regiões do metal de solda indicando os locais de observação da microestrutura 43
Figura 26 - Cordões de solda com e sem escória.....46

Figura 27 - Macrografias da seção transversal das soldas. 47
Figura 28 - Macrografia da seção transversal da solda realizada sobre chapa revestida com espessura de 60 µm (indicação de mordedura na margem direita).....48
Figura 29 - Microestrutura do metal de solda.....54

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 -Comparação entre os processos de soldagem por arame autoprotegido e eletrodo revestido.....17
Gráfico 2 - Comparação entre os processos de soldagem por arame fluxado e eletrodo revestido.....17
Gráfico 3 - Espessura da camada de shop primer 45
Gráfico 4 - Largura das soldas produzidas sobre chapa sem pintura e com diferentes espessuras de shop primer 49
Gráfico 5 - Reforço das soldas produzidas sobre chapa sem pintura e com diferentes espessuras de shop primer 49
Gráfico 6 - Área do reforço das soldas produzidas sobre chapa sem pintura e com diferentes espessuras de shop primer 50
Gráfico 7- Ângulo de contato das soldas obtidas 51
Gráfico 8 - Penetração das soldas produzidas sobre chapa sem pintura e com diferentes espessuras de shop primer 51
Gráfico 9 - Área das soldas produzidas sobre chapa sem pintura e com diferentes espessuras de shop primer 52
Gráfico 10 - Diluição das soldas produzidas sobre chapa sem pintura e com diferentes espessuras de shop primer 53
Gráfico 11 - Oscilogramas de tensão e corrente obtidos sob as diferentes condições do estudo.....56
Gráfico 12 - Desvio padrão da tensão para as diferentes condições 57
Gráfico 13 - Frequência do ciclo de tensão para as diferentes condições 57
Gráfico 14 - Tensão média de soldagem para as diferentes condições.....58
Gráfico 15 -Corrente média de soldagem para as diferentes condições de soldagem 58
Gráfico 16 - Difratogramas das escórias formadas na soldagem sob diferentes condições 60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição química do metal de solda do arame tubular rutílico E71T1-C1A2-CS2 22
Tabela 2 - Propriedades mecânicas do metal de solda do arame tubular rutílico E71T1-C1A2-CS2 22
Tabela 3 - Parâmetros de soldagem para arames tubulares rutílicos 23
Tabela 4 - Formas de transferência classificação IIW 24
Tabela 5 - Parâmetros variáveis de soldagem 33
Tabela 6 - Composição química do metal de base ASTM 36 36
Tabela 7 – Amostras 37
Tabela 8 - Parâmetros de soldagem 40

LISTA DE ABREVIAÇÕES

AF - Ferrita acicular

ASTM - *American Society for Testing and Materials*

AWS - *American Welding Society*

DBCP -Distância Bico de Contato Peça

FCAW - *Flux Cored Arc Welding*

FS (A) - Ferrita com segunda fase alinhada

FS(NA) - Ferrita de segunda fase não alinhada

GMAW - *Gas Metal Arc Welding*

IIW - *International Institute of Welding*

PF(I) - Ferrita poligonal Intragranular

SMAW - *Shielded Metal Arc Welding*

LISTA DE SÍMBOLOS

A	Ampere
Al	Alumínio
Ar	Argônio
C	Carbono
CO	Monóxido de carbono
CO_2	Dióxido de carbono
Cr	Cromo
Cu	Cobre
Fe	Ferro
Kg	quilograma
Min	Minuto
Mm	Milímetro
Mn	Manganês
Ni	Níquel
O_2	Oxigênio
P	Fósforo
S	Enxofre
Si	Silício
TiO_2	Dióxido de titânio
V	Volt
µm	Mícron
Im	Corrente média
σIm	Desvio padrão da corrente média
Vm	Tensão média
σVm	Desvio padrão da tensão média
ΔU	Variação de tensão
Ø	Diâmetro

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 144
2. OBJETIVOS 155
2.1. Objetivo geral 155
2.2. Objetivos específicos 155
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 166
3.1. Soldagem com arames tubulares (FCAW) 1616
3.1.1. Tipos de arames tubulares 199
3.1.2. Arames tubulares rutílicos 211
3.1.2.1. Arame tubular classe E71T1-C1A2-CS2 222
3.1.3. Transferência metálica na soldagem com arames tubulares 233
3.1.4. Transferência metálica na soldagem com arames tubulares rutilicos 266
3.2. Tintas de pré-construção (*shop primer*).....288
3.2.1. Tipos de *shop primer* 299
3.3. Soldagem sobre o *shop primer* 3030
4. MATERIAIS E METODOLOGIA 355
4.1. Materiais.....366
4.2. Aplicação do Shop Primer 377
4.3. Deposição de cordões de solda sobre chapa revestida com shop primer....4040
4.4. Aquisição e análise dos sinais elétricos coletados durante a soldagem 411
4.5. Avaliação das soldas produzidas 411
4.5.1. Corte e preparação das amostras para análise macro e microestrutural 411
4.5.2. Análise macroestrutural e medição do perfil do cordão.....422
4.5.3. Análise microestrutural das soldas.....433
4.5.4. Análise da escória por difração de raios-x.....444
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....455
6. CONCLUSÕES 611
7. SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS 622
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 633

1. INTRODUÇÃO

A indústria metalmecânica exerce grande influência sobre a economia do país. Portanto, existe uma necessidade rigorosa de garantir a eficiência de seus processos e buscar a maior produtividade com o menor custo de fabricação. Independentemente da etapa de processamento, é necessário prestar atenção à proteção do aço contra a corrosão, que é agravada em ambientes litorâneos e reduz significativamente a vida útil deste material. A utilização desses materiais nem sempre é imediata, e o tempo de armazenamento os expõe ainda mais.

Uma forma de retardar o efeito da corrosão, aplica-se sobre as chapas uma camada protetora chamado shop *primer* (tinta de pré construção) que por meio da proteção catódica preserva o material. Tal tinta possui zinco em sua composição, elemento que tende a oxidar preferencialmente em detrimento do ferro, criando uma camada inibidora de corrosão e proteção. O controle da aplicação nem sempre é suficiente para garantir que a camada protetora esteja conforme o recomendado pelo fabricante. Há peças que já são enviadas com a proteção e, outras, devido a manutenção, recebem a aplicação de uma nova camada.

A condição ideal, que não reflete a realidade, exige a remoção da proteção antes da realização da soldagem, pois pode ainda comprometer a solda produzida, interferindo nas propriedades metalúrgicas e no comportamento mecânico. Mesmo com os recentes avanços proporcionados pelos fabricantes de tintas, o rigoroso controle na aplicação e as consequências sobre os processos realizados posteriormente exigem atenção especial.

A soldagem *Flux-Cored Arc Welding* (FCAW), devido à elevada produtividade e à possibilidade de soldagem fora da posição plana, é um dos processos mais utilizados nos setores industriais onde a aplicação de tintas de pré-construção é uma exigência, como na indústria naval.

Levando em conta as condições reais, este trabalho tem como proposta analisar a influência da camada do shop primer na estabilidade do processo de soldagem, produzida pelo processo FCAW em chapas de aço carbono revestidas com variadas espessuras. Serão avaliadas a estabilidade do processo, morfologia e microestrutura das soldas obtidas.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

O objetivo geral desse trabalho é estudar a estabilidade do processo e as soldas produzidas com arames tubulares (*flux cored*) rutílicos classe E71T1-C1A2-CS2 com proteção de CO_2, em chapas revestidas com diferentes espessuras de *shop primer* a base de Etil Silicato de Zinco.

2.2. Objetivos específicos

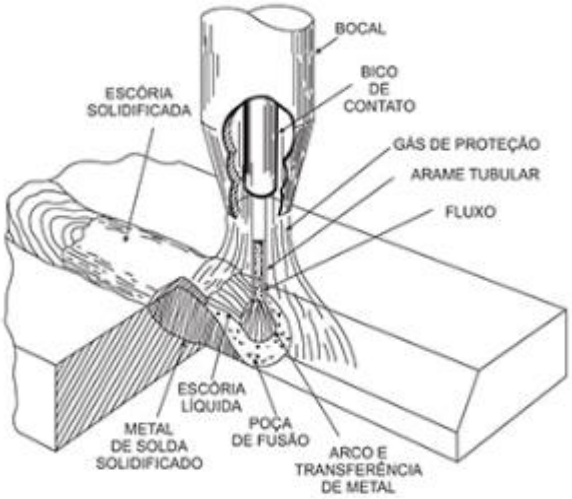
- Criar uma metodologia para aplicar de forma uniforme a camada do *primer*;
- Aplicar de modo semimecanizado, camadas com diferentes espessuras de *shop primer* sobre a chapa, garantindo a espessura e a uniformidade;
- Depositar cordões de solda sobre as chapas revestidas utilizando o arame tubular classe E71T1-C1A2-CS2 em combinação com o gás de proteção CO_2;
- Avaliar os parâmetros elétricos (tensão e intensidade da corrente) durante as soldagens em função das diferentes espessuras do *primer*;
- Avaliar as características morfológicas e microestruturais das soldas e analisar as escórias obtidas.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Soldagem com arames tubulares (FCAW)

A soldagem a arco elétrico com arames tubulares (FCAW) é um processo onde a união dos metais é obtido através do aquecimento e fusão destes, por intermédio de um arco elétrico entre o arame tubular consumível alimentado continuamente e a peça a ser soldada. A proteção do arco e da poça de fusão nesse processo é feita pelo fluxo contínuo no arame, quando auto protegidos ou por uma fonte externa gasosa. Na Figura 1 é ilustrada uma solda produzida por este processo, empregando proteção gasosa externa.

Figura 1 - Soldagem com arames tubulares com proteção externa



Fonte: FORTES, 2004

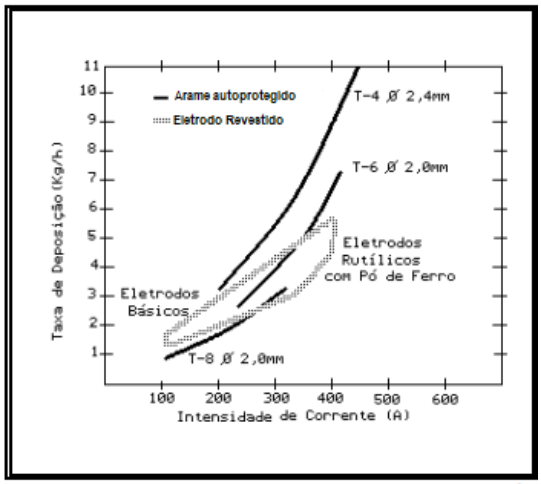
As principais vantagens da soldagem com arame tubulares com proteção gasosa são as seguintes: alta produtividade em decorrência de elevada taxa de deposição; facilidade de operação fora da posição plana; alta versatilidade podendo ser empregada em campo; possibilidade de ajustes da composição química do cordão de solda; e facilidade de automatização, o que ajuda na falta de mão de obra qualificada. (Starling et al., 2009)

Barbedo (2011) afirma ainda que o que favorece a escolha pelo processo FCAW em relação aos demais são: a qualidade da solda depositada; cordões com boa aparência e contornos satisfatórios; a maioria dos aços podem ser soldados;

adequado para materiais com espessuras maiores; menos susceptível a trincas e mais tolerante a correntes de ar na soldagem em campo.

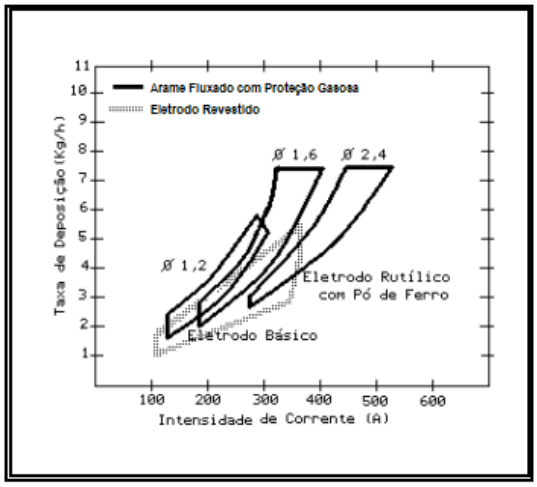
Os gráficos 1 e 2 comparam as taxas de deposição de diferentes processos de soldagem. No gráfico 1, ao comparar os processos FCAW com SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*), nota-se que o primeiro apresenta taxas de deposições maiores devido a possibilidade de utilização de altas correntes. O gráfico 2 demonstra um acréscimo de 50% na taxa de deposição para um arame do tipo rutilico de diâmetro 2,4 mm, em comparação com a obtida com eletrodo revestido rutilico de 5 mm de diâmetro com pó de ferro no revestimento. O que também precisa ser considerado para o aumento da produtividade é o fator de utilização (*Duty Cycle*) que devido a alimentação continua, diminui as paradas para troca de eletrodo.

Gráfico 1 -Comparação entre os processos de soldagem por arame autoprotegido e eletrodo revestido



Fonte: NÚCLEO TECNOLÓGICO DE SOLDAGEM & QUALIDADE, 2002 (Adaptado)

Gráfico 2 - Comparação entre os processos de soldagem por arame fluxado e eletrodo revestido



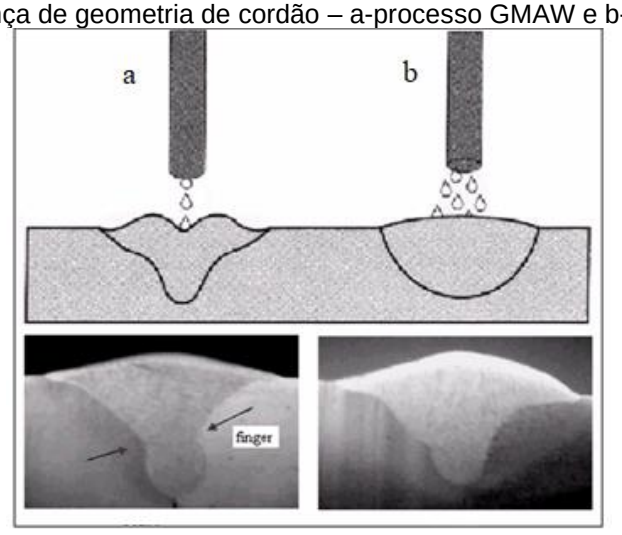
Fonte: NÚCLEO TECNOLÓGICO DE SOLDAGEM & QUALIDADE, 2002 (Adaptado)

Bracarense et al (2006) em um procedimento experimental de soldagem em tubos de 254 mm de diâmetro nominal e 9,5 mm de espessura, concluiu que para um quilômetro de tubulação são utilizadas aproximadamente 175 horas com o processo SMAW (Soldagem a arco elétrico com eletrodo revestido), 128 horas com Gás Metal Arc Welding (GMAW) e 112 horas com FCAW. Machado (1996) diz que a taxa de deposição do eletrodo tubular, se comparada com o eletrodo revestido, é cerca de 2 vezes maior na posição vertical e seis vezes maior na posição horizontal/plana, alcançando até 11 Kg/h do que com arames maciços contabilizando o tempo global de trabalho na junta.

Levando em consideração a geometria do cordão, segundo Rodrigues (2015), arames tubulares (processo FCAW) apresentam arco mais largo, logo as gotas espalham e criam uma área de projeção maior. O arco quando mais largo produz uma poça de fusão calma e plana que proporciona um cordão de solda de aspecto liso e com boa molhabilidade. A penetração apesar de ser mais rasa do que nas soldas pelo processo GMAW, é larga levando a uma maior tolerância para desalinhamento da tocha reduzindo defeitos por falta de fusão.

Soldas com arames maciços (processo GMAW), apresentam penetração mais estreita, num formato *finger*, podendo levar a defeitos por falta de fusão. Um pequeno desalinhamento da tocha pode causar uma falta de fusão lateral para uma junta em ângulo. A Figura 2 apresenta a diferença das geometrias descritas.

Figura 2 - Diferença de geometria de cordão – a-processo GMAW e b-processo FCAW



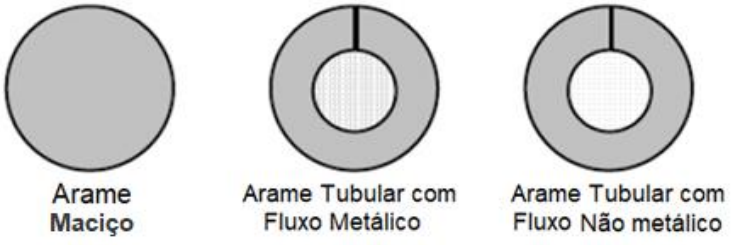
Fonte: RODRIGUES, 2005 (adaptada)

Tais características e aumento de produtividade justificam a utilização do processo FCAW no segmento naval e *offshore*, na construção pesada, na soldagem de perfis estruturais, em *pipeline* e na manutenção em geral.

3.1.1. Tipos de arames tubulares

Os arames tubulares são constituídos por um invólucro metálico com um fluxo em seu interior, como ilustra a Figura 3. As características do fluxo em seu interior e o meio de proteção é o que define sua classificação. Na soldagem com arame maciço, toda a seção transversal conduz a corrente, enquanto no tubular com fluxo metálico, essa é conduzida parcialmente pelo núcleo. Por outro lado, nos arames tubulares com fluxo não metálico, toda a condução se dá pelo invólucro tubular metálico.

Figura 3 - Seção transversal dos arames contínuos para soldagem



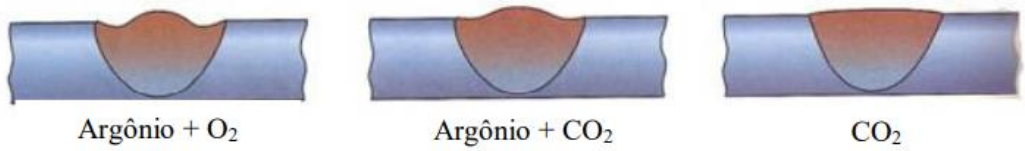
Fonte: FORTES, 2004 (adaptado)

A proteção na soldagem com arames tubulares pode ocorrer de dois modos distintos. De acordo com o Núcleo Tecnológico de Soldagem e Qualidade (2002), nos tubulares auto protegidos, ela é realizada pelo fluxo contido no interior do arame, o que proporciona atuação tanto nas características operacionais quanto na proteção global da poça durante a soldagem. Nos arames que necessitam de gás de proteção externo o fluxo contido proporciona a estabilidade do arco elétrico e também melhora as características do metal depositado. Esse gás de proteção pode ser inerte, como argônio ou hélio, em que os elementos químicos presentes no gás não reagem com os elementos presentes no metal de solda, ou ativo, como dióxido de carbono ou dióxido, onde ocorrem reações químicas entre esses elementos e o metal de solda, causando alterações nos teores de carbono e na quantidade de óxidos. Há também a opção de utilizar uma mistura desses gases.

Segundo Kuntz (2016), a escolha do gás de proteção influencia as características morfológicas da solda, como largura, reforço e penetração, o modo de

transferência do metal, velocidade de soldagem, as propriedades químicas e mecânicas e o aspecto do cordão de solda. A Figura 4 ilustra uma representação do efeito do gás de proteção no perfil do cordão de solda em soldagem com eletrodo tubular.

Figura 4 - Efeito do gás de proteção no perfil do cordão executado com a soldagem FCAW



Fonte: BARBEDO, 2011

Segundo Rodrigues (2010) entre os gases argônio e o hélio, o primeiro é o mais utilizado por propiciar um arco mais estável em função do menor potencial de ionização. No entanto, quando utilizado na soldagem de chapas de aço ASTM (*American Society for Testing and Materials*) A-36, ele causa uma redução de tensão, resultando em baixa energia no arco, o que leva a uma menor penetração e ao aparecimento de mordeduras.

O CO_2 (dióxido de carbono) é um dos gases mais utilizados no processo FCAW. Quando aquecido a altas temperaturas, ele se dissocia, formando CO (óxido de carbono), que é mais estável sob tais condições que o CO_2, o que implica num forte efeito oxidante. Comparativamente com o hélio e o argônio, esse produz soldas com maior penetração e largura e admite velocidades de soldagem mais elevadas, gerando um arco com maior energia, tem também uma condutibilidade térmica maior, fazendo com que a energia térmica do arco se espalhe sobre uma área maior, favorecendo uma penetração na forma circular. (RODRIGUES, 2005). Como o CO_2 é mais denso que o argônio, ele apresenta um escudo de gás mais resistente à ruptura por correntes de ar. Os níveis de hidrogênio da solda podem ser de até 30% menores com CO_2 do que com 80% argônio e 20% CO_2. (WIDGERY, 1994)

Widgery (1994) também afirma que, para cada tonelada de arame consumido, um soldador usa em média meia tonelada de gás, o que significa que, embora o custo do gás não seja tão alto, seu volume é significativo para o processo.

Os arames tubulares que utilizam gás de proteção têm o seu fluxo dividido em metálicos (*metal cored*) e não metálicos (*flux cored*). No primeiro tipo, o preenchimento do arame é feito predominantemente com pós metálicos e ferro-ligas, proporcionando

assim alta eficiência de deposição. As principais vantagens incluem a baixa quantidade de fumos, respingos e também baixos teores de hidrogênio difusível. (WIDGERY, 1994)

No caso de arames do tipo *flux cored,* o preenchimento é realizado também com compostos não metálicos, atuando como formadores de escória que, além de proteger a poça de fusão, contribuem para um melhor desempenho na soldagem fora da posição plana.

Esses arames são divididos em básicos e rutílicos. Os arames básicos são indicados quando são necessárias soldas com baixos níveis de hidrogênio, mas apresentam restrições fora da posição plana, operando normalmente com transferência globular não axial a correntes elevadas e curto-circuito para menores correntes. (MODENESI, 2012). Além disso, eles produzem ainda soldas com boa ductilidade e tenacidade. (ALVES e BUENO, 2016)

3.1.2. Arames tubulares rutílicos

Barbedo (2011) afirma que os arames tubulares rutílicos possuem em seu interior fluxos não metálicos que atuam como constituintes de escória e estabilizadores do arco. Esse material interno também têm a função de proteger e remover impurezas do metal de solda.

De acordo com Starling *et al*. (2009) o fluxo interno dos arames rutílicos contém cerca de 50% de dióxido de titânio (TiO_2) adicionado na forma de rutilo. Fortes (2004) observa que a soldagem com este arame apresenta alta estabilidade e contribui com pouco oxigênio para a solda. De acordo com o Núcleo de Tecnologia e Soldagem (2002) esse arame permite, ao mineral rutílo, que o ponto de fusão e a viscosidade da escória sejam controlados por uma faixa muito mais larga em comparação com as escórias básicas e funciona como estabilizador do arco. Tal comportamento possibilita a soldagem também na posição vertical sobre cabeça ou altas velocidades na posição plana. Ambas as situações contribuem para o aumento da produtividade. (WIDGERY, 1994)

Conforme Barbedo (2011), este fluxo traz ainda benefícios para o cordão de solda, tais como: a adição de elementos químicos com ação desoxidantes, como Mn (Manganês), Si (Silício) e Al (Alumínio); a adição de elementos de liga, o que é

desejável para determinadas aplicações; a proteção gasosa adicional próxima da poça de fusão e a proteção térmica e química pela formação da camada de escória.

3.1.2.1. Arame tubular classe E71T1-C1A2-CS2

O grande número de consumíveis com diferentes características tornou necessário o estabelecimento de especificações. A *American Welding Society* (AWS) estabelece classificações para arames tubulares, levando em consideração as propriedades mecânicas do metal de solda, as posições de soldagem, as características de usabilidade do eletrodo, a composição nominal do gás de proteção usado, a condição do tratamento térmico pós soldagem, se houver, e composição química do metal de solda. A norma AWS A5.36/A5.36M-2016 trata dessas classificações.

O arame tubular E71T1-C1A2-CS2 possui fluxo não metálico do tipo rutílico. A composição química do metal de solda produzido por esse arame, utilizando CO_2 como gás de proteção, de acordo com a especificação AWS A5.36, é apresentada na Tabela 1, com os valores máximos indicados para cada elemento, e as propriedades mecânicas na Tabela 2.

Tabela 1 – Composição química do metal de solda do arame tubular rutílico E71T1-C1A2-CS2

Elementos	C	Mn	Si	S	P	Ni	Cr	Mo	V	Cu
% em massa	0,12	1,6	0,9	0,03	0,03	0,5	0,2	0,3	0,008	0,35

Fonte: AWS A5.36

Tabela 2 - Propriedades mecânicas do metal de solda do arame tubular rutílico E71T1-C1A2-CS2

Resistência à tracção	**Limite de elasticidade**	**Resistencia ao impacto**	**% de alongamento**
470 - 670 Mpa	390 Mpa	20 J	Minimo 22

Fonte: AWS A5.36

Esse arame é indicado na soldagem de produção de equipamentos pesados para uma grande variedade de aços de baixa e média resistência. Permite soldagem em todas as posições, maior penetração e menor possibilidade de formação de poros. (BRACARENSE et.al.,2006). A Tabela 3 apresenta taxas de deposição e eficiência de deposição para o arame tubular E71T1-C1A2-CS em função da corrente, tensão e extensão do eletrodo.

Tabela 3 - Parâmetros de soldagem para arames tubulares rutílicos

Diâmetro (mm)	Corrente (A)	Tensão (V)	Taxa Deposição (Kg/h)	Eficiência Deposição (%)	Extensão Eletrodo (mm)
1,2	150	28	1,90	87	10-20
	210	29	2,85	87	10-20
	250	30	3,85	88	10-20
	290	33	4,85	88	10-20
	330	34	5,75	90	10-20

Fonte: FORTES, 2004 adaptada

3.1.3. Transferência metálica na soldagem com arames tubulares

A transferência metálica influência a estabilidade e o desempenho operacional do processo, o nível de respingos e fumos, a possibilidade de soldar fora da posição plana e o formato do cordão. Modenesi (2012) afirma que o modo de transferência depende de fatores como os parâmetros elétricos do arco (tipo e valor da corrente, tensão e polaridade), diâmetro e composição do metal de adição, tipo e composição do meio de proteção, comprimento energizado do eletrodo, pressão atmosférica, entre outros.

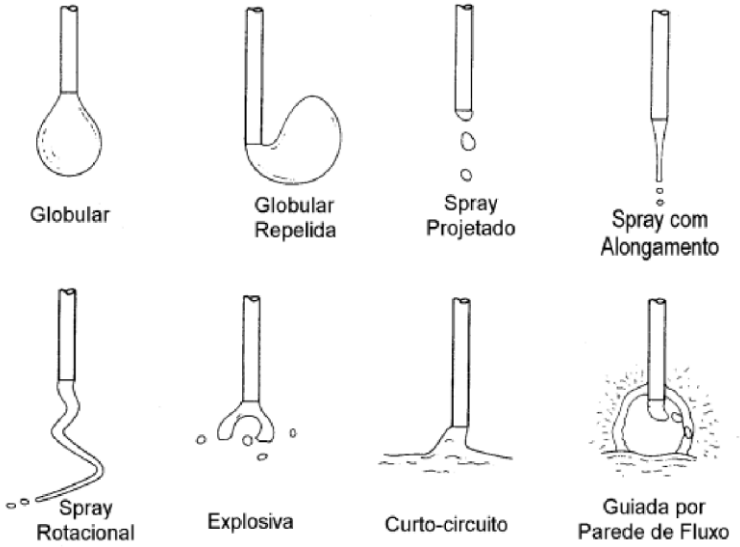
Alves e Bueno (2016) afirmam que a deposição do metal de solda é feita através da transferência de gotas de metal pela coluna do arco. O tamanho, forma e frequência caracterizam um determinado tipo de transferência metálica. O mais difundido dos sistemas de classificação de transferência metálica é o proposto pelo *International Institute of Welding* (IIW), detalhado na Tabela 4 e baseado em aspectos fenomenológicos da transferência de metal. Esses modos são representados de forma ilustrativa pela Figura 5.

Tabela 4 - Formas de transferência classificação IIW

TIPO DE TRANSFÊRENCIA	EXEMPLO DE PROCESSO DE SOLDAGEM
1. Transferencia por Queda Livre	
1.1 Globular	
1.1.1 Gota	GMAW - baixa corrente
1.1.2 repelida	GMAW - com proteção de CO2
1.2 Spray	
1.2.1 Axial	GMAW - corrente intermediária
1.2.2 Com alongamento	GMAW - corrente média
1.2.3 Rotacional	GMAW - corrente elevada
1.3 Explosiva	SMAW (eletrodos revestidos)
2. Transferencia por contato	
2.1 Curto-circuito	GMAW - arco "curto"
2.2 Cotínua	GTAW com alimentação continua
3 Transferencia protegida por escoria	
3.1 Guiado pela parede	SAW
3.2 Outros modos	SMAW, FCAW, ESW, etc

Fonte: MODENESI, 2012 adaptada

Figura 5 - Modos de transferência metálica



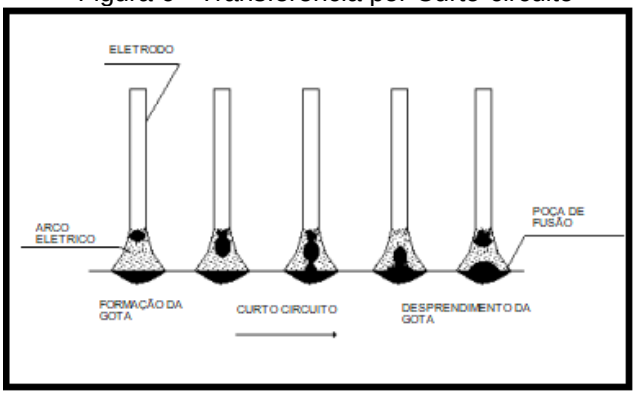
Fonte: MODENESI 2012

Segundo tal classificação, a transferência metálica ocorre através do modo transferência por queda livre, transferência por contato ou transferência protegida por escória. Na soldagem ao arco elétrico com eletrodo maciço contínuo (GMAW), observa-se três formas principais. A transferência por curto-circuito, apresentada na Figura 6, ocorre na soldagem com um pequeno comprimento do arco (baixa tensão) e geralmente com uma baixa corrente. Nesta forma de transferência, a ponta do eletrodo atinge periodicamente a poça de fusão, ocasionando um curto-circuito e a extinção do arco. Na transferência globular, como mostrado na Figura 7, forma-se gotas na ponta do arame que não se desprendem devido a ação da tensão superficial. Com o aumento do tamanho da gota, consequentemente, devido ao peso provocado

por ação da gravidade, ocorre a separação do arame e a sua transferência para a poça de fusão. Quanto à transferência por *spray,* apresentada na Figura 8, Modenesi (2012) afirma que quando a mistura de proteção é rica em argônio e o eletrodo está ligado ao polo positivo, o diâmetro das gotas transferidas diminui com o aumento da corrente. Acima de um certo nível de corrente, há uma rápida redução do diâmetro das gotas e ao mesmo tempo o arco, passa a envolver completamente a gota. A transferência é dominada por forças magnéticas e as gotas são lançadas para a poça de fusão independentemente da posição de soldagem.

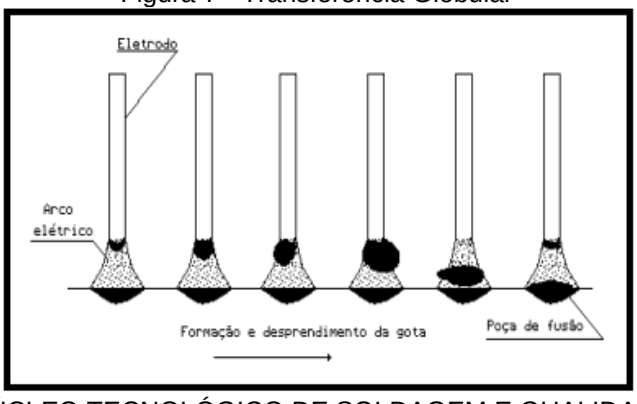
Estudos da transferência metálica com arames tubulares (FCAW) demonstram que nesse processo observa da transferência metálica similar ao processo GMAW.

Figura 6 - Transferência por Curto-circuito



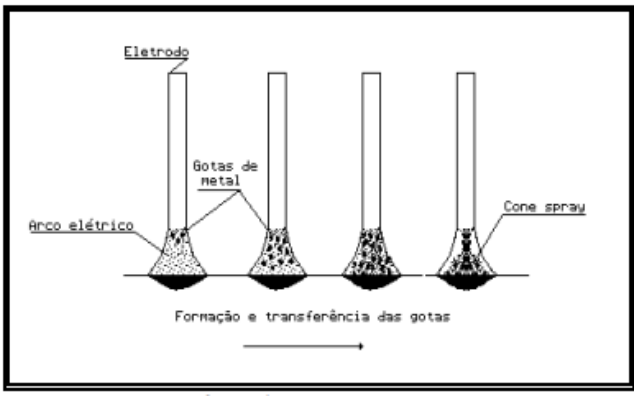
Fonte: NÚCLEO TECNOLÓGICO DE SOLDAGEM E QUALIDADE, 2002

Figura 7 - Transferência Globular



Fonte: NÚCLEO TECNOLÓGICO DE SOLDAGEM E QUALIDADE, 2002

Figura 8 - Transferência Spray



Fonte: NÚCLEO TECNOLÓGICO DE SOLDAGEM E QUALIDADE, 2002

Contudo, segundo Wang et al. (1995), na soldagem FCAW, a transferência se dá de maneira mista, ou seja, mais modos atuando simultaneamente. Starling e Modenesi (2005), ao estudarem a soldagem com arame tubular básico no processo FCAW, afirmam que a forma de transferência de metal depende das características do fluxo no núcleo do arame. Arames com o núcleo de pó metálico e que contêm muito poucas adições não metálicas (*metal cored)* têm comportamento semelhante ao de arames maciços apresentando transferência por curto circuito para baixas correntes e transferência por *spray* projetado para altas correntes. Quando há adições capazes de estabilizar o arco, isso possibilita a operação com transferência não repulsiva com eletrodo negativo.

3.1.4. Transferência metálica na soldagem com arames tubulares rutilicos

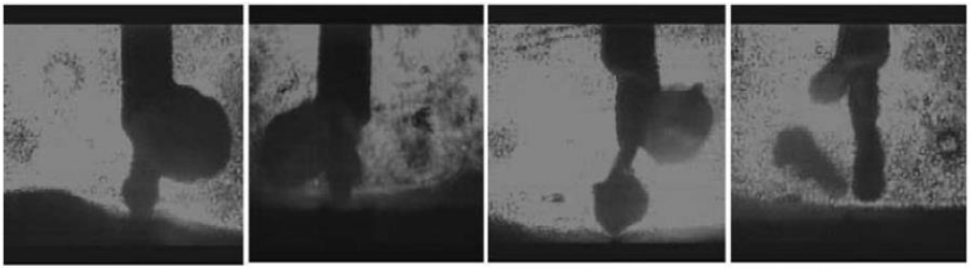
Starling et al. (2009), em seu estudo sobre a caracterização do cordão na soldagem FCAW com arame tubular rutilico, observaram que, ao empregar a polaridade positiva, quando ocorre um aumento na corrente de soldagem, nota-se uma redução no tamanho médio das gotas de metal e aumento a frequência de destacamento. Na soldagem com os dois gases, Ar e CO_2, a transferência metálica é do tipo globular, com a formação de uma coluna de fluxo projetada em direção à poça. Entretanto, na soldagem com mistura 75%Ar-25%CO_2 com valores mais baixos de corrente, a gota metálica e o fluxo são transferidos independentemente para a poça de fusão, e a coluna de fluxo parece retardar a transferência da gota. Observa-se que, em algum momento, ela chega a tocar a poça de fusão, gerando perturbações no arco e levando maiores flutuações dos valores de corrente de soldagem e tensão. Para altas correntes, a gota metálica se deforma pela ação da coluna de fluxo, perdendo o

formato tipicamente circular. Nesse caso, a coluna de fluxo parece ainda dificultar a transição para a transferência spray.

Na soldagem com 100% CO_2, para valores mais baixos de corrente, a coluna de fluxo retarda a transferência da gota de metal para a poça, deixando entender que a transferência ocorre somente após a mistura com o material do fluxo. A coluna de fluxo não chega a tocar a poça de fusão. Para valores de corrente mais altos, a gota metálica e o fluxo passam a se transferir independentemente para a poça, gerando perturbações no arco e resultando nas maiores flutuações observadas nos valores de corrente de soldagem e tensão do arco.

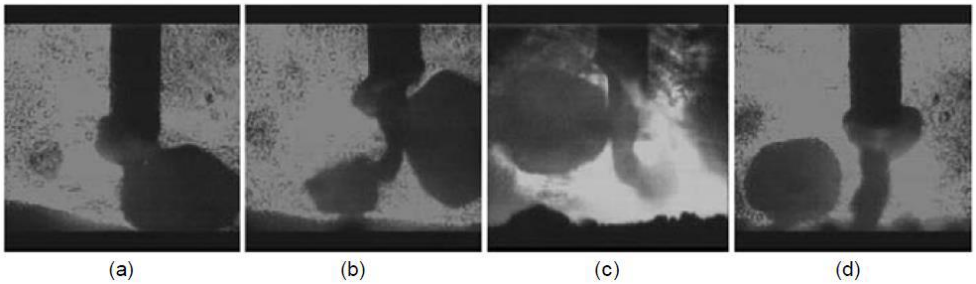
Alves e Bueno (2016), ao avaliar a transferência metálica com eletrodos tubulares do tipo rutílico, verificaram o mesmo comportamento na proteção gasosa Ar+ 25% CO_2 e 100% CO_2. Concluíram ainda que, com o aumento progressivo da corrente, ocorre transferência do tipo globular, porém a coluna de fluxo formada não toca a poça de fusão (Figura 9 e 10a e b). Para os níveis mais altos de corrente há uma diminuição do diâmetro da gota, mas mesmo assim este é maior que o diâmetro do eletrodo (Figura 9 e 10c e d).

Figura 9 - Quadros de filmagens para eletrodo rutílico com proteção gasosa Ar+25% CO2 para diferentes correntes



Fonte: ALVES E BUENO, 2016

Figura 10 - Quadros de filmagens para eletrodo rutílico com proteção gasosa 100% CO2 para diferentes correntes



Fonte: ALVES E BUENO, 2016

3.2. Tintas de pré-construção (*shop primer*)

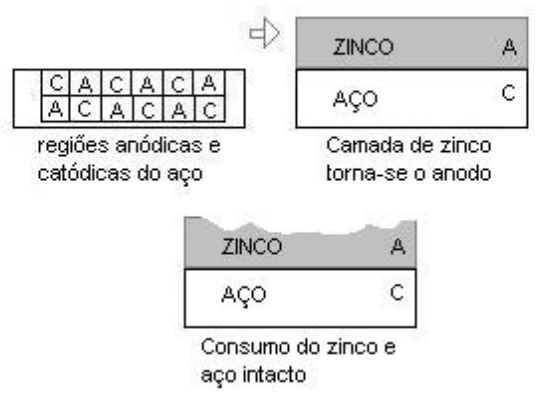
O uso dos metais tem sido parte da evolução e do progresso, no entanto, desde o início, a corrosão tem representado um problema. Na indústria naval, esse fenômeno é observado de forma recorrente, considerando ser um ambiente com alta umidade e salinidade que acelerem o processo. Diante dessa necessidade, foram desenvolvidas técnicas e produtos para a proteção nos estaleiros. Segundo Pinheiro e Silva (2015), os revestimentos anticorrosivos são como películas aplicadas sobre a superfície metálica que dificultam o contato com o meio corrosivo e impedem a ação do agente sobre o material, aumentando a vida útil do mesmo. Ainda segundo esses autores, características indispensáveis de um revestimento anticorrosivo são: inercia química, aderência, resistência mecânica, espessura adequada e impermeabilidade.

Nesses ambientes, as chapas são tratadas antes da armazenagem, aplicando uma proteção temporária de fundo conhecida como tinta *shop primer,* que pode ou não ser aproveitada como parte do processo de pintura definitivo. Tais tintas possuem como constituintes fundamentais o veículo fixo, pigmentos, solventes e aditivos. Elas são aplicadas diretamente nas chapas metálicas após a preparação da superfície, atuando como revestimento isolante e exercendo proteção catódica, também chamada de revestimento de sacrifício. Na proteção catódica, a corrosão é controlada pela aplicação dessas tintas com grandes concentrações de pigmentos metálicos anódicos. Segundo Pinheiro e Silva (2015), o zinco é o principal pigmento utilizado como anodo misturado nas tintas especiais.

A proteção catódica propicia o contato do aço com um metal menos nobre e mais facilmente corrosivo, que atuará como ânodo e metal de sacrifício. O aço torna-se a parte catódica e a corrosão ocorrerá no zinco (ânodo), como representado na Figura 11, onde a corrosão ocorre no zinco, preservando o aço.

Garcia (1999) afirma que quando aços revestidos com *shop primer* são expostos a um meio corrosivo e condutor (eletrólito), a significativa diferença de potencial entre o aço e o zinco gera uma força eletromotriz que leva à corrosão preferencial do zinco, promovendo assim a proteção do substrato.

Figura 11 - Mecanismos de proteção catódica



Fonte: BOIÇA, 2009

Enquanto houver zinco em quantidade suficiente para sofrer corrosão, a superfície do aço estará protegida, evitando a oxidação até que o material receba a pintura definitiva. Segundo Qi et al. (2022), essa proteção vai decaindo ao longo do tempo devido a formação de produtos de corrosão.

Para ambientes marinhos, é recomendado o uso de tintas à base de zinco silicato de etila ou pigmentadas com óxido de ferro e fosfato de zinco, afim de evitar que o metal sofra oxidação durante o processamento (GENTIL,2007). O período de proteção varia de 3 a 6 meses.

3.2.1. Tipos de *shop primer*

Shop primers à base de zinco vêm sendo usadas desde a década de 30, porém, a aplicação desse revestimento teve sua demanda aumentada na década de 70, sendo solicitada principalmente pela indústria automobilística.

A evolução dos *primers* é dividida em gerações que foram marcadas pela redução gradual da porcentagem em peso de zinco ao longo do tempo. Os primeiros tinham até 90% em peso de zinco, os de segunda geração continham 40 a 50 % em peso de zinco, e os atuais, da terceira geração, contêm zinco em porcentagens de 20 a 30 % em peso (JOHNSON,1998).

Essa evolução ocorre, conforme Azevedo e Paiva (2008), principalmente devido à necessidade de atender às pressões ambientais e à insatisfação com a durabilidade dos sistemas de pintura feitas após a aplicação dessas tintas de pré-construção. Componentes como zinco estariam acumulando na natureza para além dos valores toleráveis. Além disso, essa evolução permitiu tintas de pré-construção

com preços mais competitivos, graças à redução do teor desse componente nas composições. Adicionalmente, essa alteração melhorou a soldabilidade por meio da redução da porosidade das soldas.

Segundo Qi et al. (2022), as tintas líquidas ricas em zinco mais utilizadas são aquelas à base de resinas epóxis e de silicatos. Tomachuk (2015) afirma que essa ampla utilização se deve principalmente ao baixo custo do processo. Garcia e Costa (2015) dizem que essas tintas podem ser classificadas como orgânicas ou inorgânicas, diferenciando-se pelo veículo onde estão dispersas. Quando dispersas em epóxi ou borracha clorada, são consideradas tintas orgânicas, se são à base de etil silicato, são classificadas como inorgânicos.

Garcia (1999) afirma ainda que as primeiras resinas inorgânicas utilizadas com zinco foram à base de silicato de zinco e menciona que essa composição é mais resistente a corrosão em ambientes de atmosfera marítima. Tal comportamento foi verificado tanto para proteção catódica como para inibição e barreira, devido à maior quantidade de produtos de corrosão formados na superfície do revestimento.

O *shop primer* à base de etil silicato de zinco possui uma boa proteção anticorrosiva e resistência a danos causados por operações de solda, corte a gás e desempeno (JOHNSON,et al.1998).

3.3. Soldagem sobre o *shop primer*

Na realidade da indústria, muitas vezes, não é possível executar as instruções exatamente como indicado, e nem sempre é respeitado uma aplicação homogênea e controlada das camadas de *shop primer*. De acordo com Lima (2015), o zinco contido nos primers possui um ponto de ebulição mais baixo do que a temperatura de fusão do aço, o que facilita a vaporização e é a principal causa de instabilidade do arco.

Narayanan (2015) diz que o zinco vaporizado fica retido durante a solidificação da solda, gerando porosidade interna e externa. Além disso, observa-se um aumento na turbulência do arco devido ao vapor de zinco, o que promove um aumento anormal nos respingos e altera a direção do arco, influenciando a forma do cordão.

Qualquer tinta ou primer deixada em uma junta irá gerar gases durante o processo de soldagem. Suzuki et al. (1990) apontam o hidrogênio, monóxido de carbono, nitrogênio e oxigênio como os gases gerados na decomposição dos *primers* durante

a soldagem. A quantidade de gás gerado varia dependendo do tipo de *shop primer* e da espessura da camada.

Lima (2015), confirma que as soldagens feitas sobre o excesso de primer apresentam como modos de falha potencial a porosidade, falta de fusão e presença de respingo. Narayanan (2015) acrescenta a esses fatores uma aparência ruim do cordão. Já Suzuki et al. (1990) afirmam que esses problemas são mais evidenciados quando a camada de proteção é mais espessa. Defeitos internos degradam significativamente as propriedades mecânicas das juntas de solda e podem causar falhas prematuras de componentes. A Figura 12 e 13 ilustram um ponteamento no qual a limpeza adequada do metal galvanizado e do primer na junta não foi realizada, levando a descontinuidades como poros, aspecto irregular e escória.

O hidrogênio tem efeito significativo devido à tendência de formação de hidrogênio difusível e seus efeitos sobre a porosidade. Considerando que nas soldas de filete, há uma maior concentração de *primer*, haverá maior formação de gases.

Jonshon et al. (1990) afirmam que a redução do nível de zinco observada ao longo das gerações de *primers* melhorou o comportamento da soldagem e reduziu o nível de respingos e porosidades.

Figura 12 - Pontos de fixação com descontinuidades sobre *primer*



Fonte: Lima, 2015

Figura 13 - Ponto de fixação com poros e escória

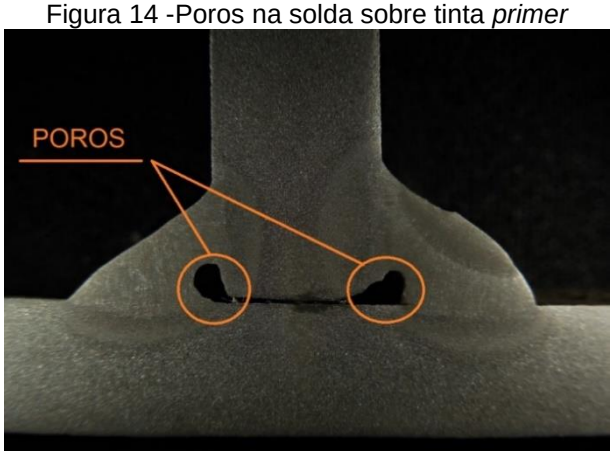


Fonte: Lima, 2015

Jonshon et al (1998) mencionaram ainda que a porosidade pode ser afetada pelo pigmento e ligantes do *primer*, espessura do revestimento, tipo de eletrodo empregado, espessura da peça, posição de soldagem, aporte de calor, geometria da junta e corrente de soldagem. Certos componentes dos *primers* também podem alterar a fluidez da escória e do metal de solda, afetar a ductilidade do metal de solda. O aumento da fluidez resulta em uma alteração do perfil no cordão que leva a uma redução na resistência à fadiga reduzida.

Vasconcelos (2014), ao analisar a sequência de soldagem em painéis típicos navais, simulou soldas feitas sobre tinta primer com eletrodo revestido, arco submerso e arame tubular realizadas em chapas de aço com 8 mm de espessura. As chapas já chegaram no estaleiro com a proteção de *shop primer,* embora não tenha sido claramente especificado qual tipo. O processo de união entre as chapas foi iniciado com ponteamento usando eletrodo revestido e concluído com arco submerso. Observou-se uma concentração de poros na região da raiz da solda, como mostra a macrografia da secção transversal dos cordões na Figura 14.

Figura 14 -Poros na solda sobre tinta *primer*



Fonte: VASCONCELOS, 2014

Segundo o autor, ocorreu a reação do arco elétrico com a tinta, gerando gás que foi aprisionado no metal de solda devido ao rápido resfriamento, o que resultou em instabilidade ao arco elétrico, causando efeitos indesejáveis na solda, tais como poros e respingos.

Garcia et al (2021), ao realizar a avaliação da soldagem na presença de primer naval de etil silicato de zinco, aplicou o mesmo sobre as chapas em quatro diferentes espessuras de camadas: 13, 68, 85 e 130 mícrons. Soldou pelos processos GMAW e FCAW. Foram utilizados arames com diâmetro de 1,2 mm, e os gases utilizados foram o Ar+5% CO_2 para o GMAW e Ar+15%CO_2 para FCAW. Os parâmetros de soldagem, como velocidade de soldagem (20 cm/min), DBCP (Distância Bico de Contato-Peça) (18 mm) e vazão de gás (18 l/min) foram fixos, e os demais, alterados conforme indicado na tabela 5.

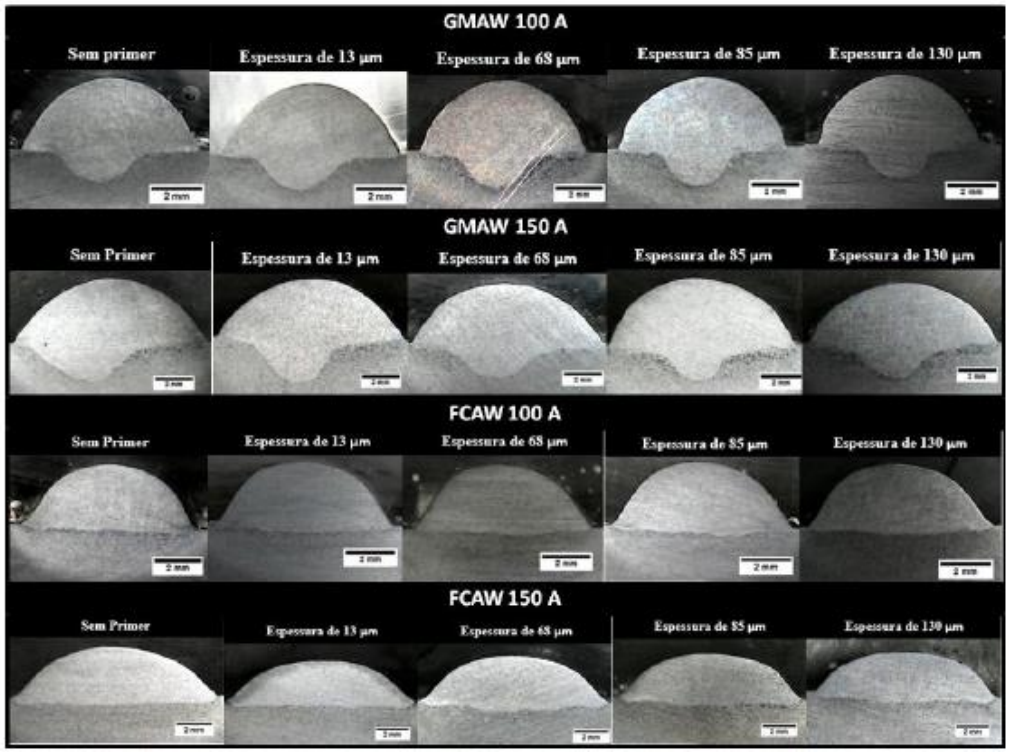
Tabela 5 - Parâmetros variáveis de soldagem

Dados	GMAW 100A	GMAW 150A	FCAW 100A	FCAW150A
Corrente de base (A)	40	72	64	104
Tempo de base (ms)	14	8	24	14
Corrente de pulso (A)	297	299	299	298
Tempo de pulso (ms)	4	4	4	4

Fonte: GARCIA et al., 2014

Quando a soldagem foi iniciada sobre a região com camada de tinta, observou-se o surgimento de respingos no sentido da soldagem, e quanto maior a espessura da camada, maior a quantidade deles, principalmente no processo FCAW. Porém, não foram identificadas descontinuidades, como porosidades. Os autores concluíram que o ângulo de molhamento dos cordões de solda tende a diminuir para maiores espessuras de *primer*. O processo FCAW resultou em melhor molhabilidade e maior largura do cordão de solda do que o GMAW, sendo este apresentou maior reforço e penetração. O processo GMAW operado com a corrente média de 150 A resulta em melhores resultados para espessuras de primer dentro da faixa recomendada pelo fabricante (abaixo de 20 µm). Na Figura 15, são apresentadas as macrografias dos cordões de solda obtidos.

Figura 15 - Macrografia dos cordões



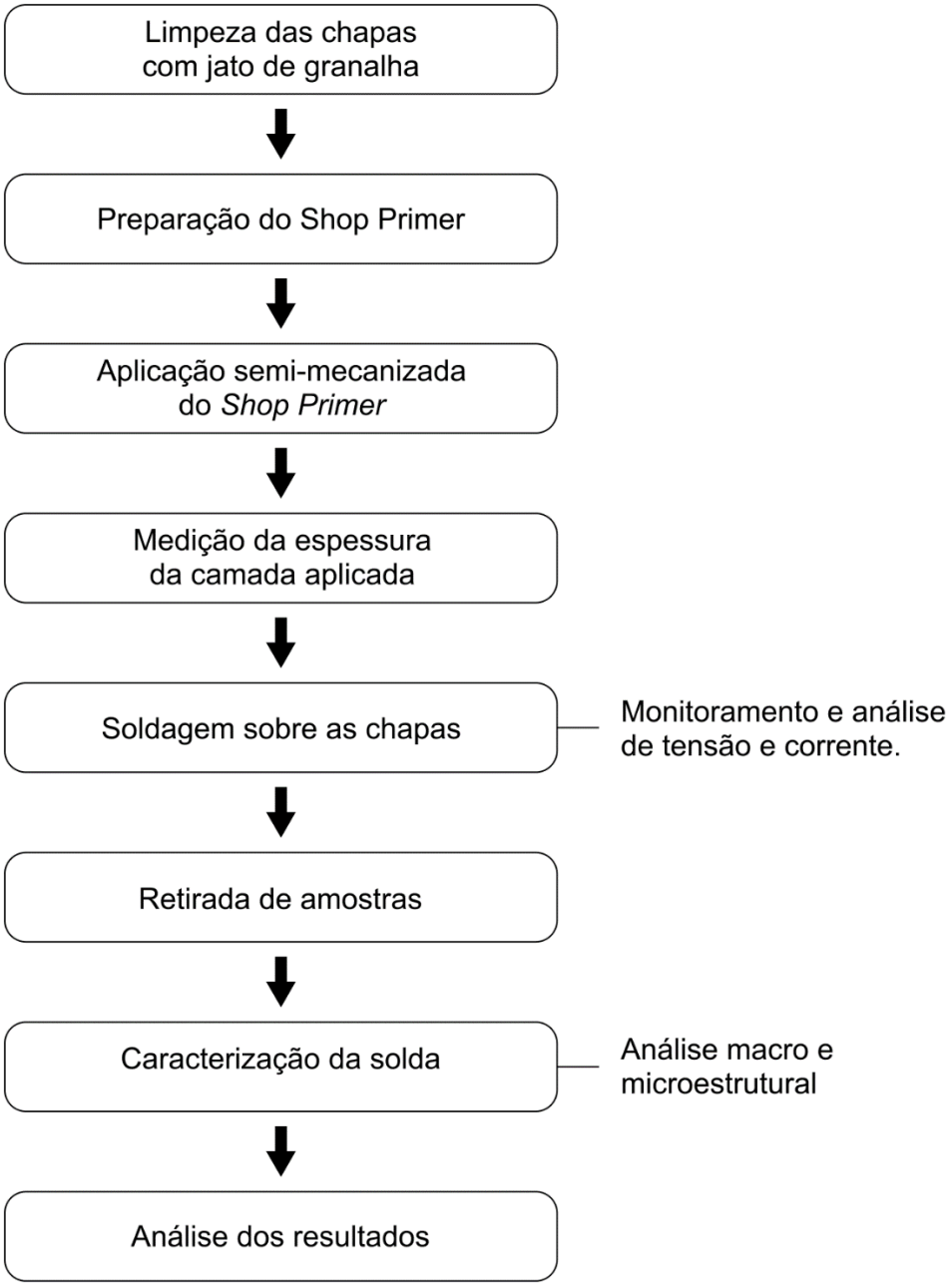
Fonte: GARCIA et al., 2014

Da soldagem sobre camadas excessivas de *shop primer*, pode-se esperar que a maior concentração de zinco cause instabilidade e turbulência no arco, o que pode aumentar os respingos e afetar a forma do cordão. Além disso, vapores de zinco retidos durante a solidificação podem causar porosidade interna e externa, prejudicando as soldas produzidas.

4. MATERIAIS E METODOLOGIA

Para atingir o objetivo proposto neste estudo, o trabalho de pesquisa envolveu a preparação das chapas, a aplicação do *shop primer* e a soldagem. A Figura 16 apresenta o resumo das etapas do procedimento experimental.

Figura 16 - Fluxograma das etapas do procedimento experimental



Fonte: A AUTORA, 2023

4.1. Materiais

Para a realização dos testes de soldagem, foram utilizadas chapas de aço carbono classe ASTM A36 com espessura de ¾". A composição química típica deste aço é descrita na Tabela 6. As chapas foram cortadas nas dimensões de 120 mm de comprimento por 60 mm de largura. A Figura 17 apresenta a chapa após jateamento. O fabricante da tinta recomenda que todas as superfícies a serem pintadas estejam limpas, secas e livres de contaminantes. Neste trabalho optou-se pelo jateamento com granalha para garantir a ausência de oxidação ou de qualquer outro tipo de contaminante. Essa ação permite um melhor contato elétrico das partículas de zinco com o substrato, gerando uma superfície com a rugosidade adequada para proporcionar uma boa ancoragem da tinta.

Tabela 6 - Composição química do metal de base ASTM 36

Elementos	**C**	**Mn**	**Si**	**S**	**P**	**Cu**
Composição em % do peso	0,26	—	Max 0,4	Max 0,05	Max 0,04	0,2 (quando especificado)

Fonte: Norma ASTM 36/A 36M,1996

Figura 17 - Aspecto visual das placas para confecção dos corpos de prova



Fonte: A AUTORA, 2022

Para o revestimento das chapas, foi utilizada uma tinta de pré-construção à base de etil silicato de zinco, Interplate 855, da marca International Marine Coatings. O material é fornecido em duas embalagens: o componente A (tinta) e o B (solvente). A proporção indicada pelo fabricante é de 0,67 volume do componente A para 1 volume de componente B, foi usado um copo dosador.

O consumível utilizado para a execução da solda sobre a chapa pintada foi o arame tubular rutílico, do tipo *flux cored* (fluxo não metálico), classe AWS E71T1-C1A2-CS2, com um diâmetro de 1,2 mm. O gás de proteção utilizado foi o CO_2 que

apresenta ótimo resultado em termos de estabilidade de processo e perfil de solda com custo mais baixo do que a mistura Argônio e CO_2.

4.2. Aplicação do Shop Primer

O componente A foi misturado com agitador mecânico e, durante a agitação, o componente B foi adicionado lentamente. O tempo mínimo de mistura foi de 5 minutos, e o material foi peneirado conforme indicado pelo fabricante. As chapas que receberam a aplicação seguiram as recomendações de preparação. Um total de 12 chapas foram preparadas, conforme apresentado na Tabela 7. Foi estabelecido a utilização de 3 chapas como mínimo de amostra, e de cada amostra foram retirados 3 corpos de prova para analise metalográfica totalizando 9 corpos de prova garantindo a repetibilidade.

Tabela 7 – Amostras

Espessura da camada	Quantidade de chapas
Sem revestimento	3
20 mícrons	3
40 mícrons	3
60 mícrons	3

Fonte: A AUTORA, 2022

Para a aplicação do primer, a bancada, foi adaptada com um trilho para a movimentação do trator de soldagem da marca White Martins, modelo MC 46 (conforme ilustrado na Figura 18), no qual foi acoplado a pistola de ar comprimido. A movimentação do trator foi automatizada, com a velocidade ajustada em seu próprio mecanismo. Foram feitos testes preliminares de modo a obter uma camada de *shop primer* na espessura desejada (aproximadamente 20 mícrons). O trator foi ajustado para sua velocidade máxima de 20 cm/s, e variou-se a distância entre a pistola e a chapa, bem como as configurações da pistola.

As amostras foram pintadas individualmente, e entre as aplicações, realizou-se a checagem da velocidade do trator, descartando possíveis variações decorrentes de flutuações de tensão na rede elétrica. A pistola de jateamento da pintura foi acoplada ao trator garantindo a padronização da operação. A pistola era acionada

manualmente, tornando o processo semimecanizado. Essa possuía ajustes de leque, fluxo de tinta e pressão. Alterações foram realizadas para obter uma cobertura total homogênea da chapa de modo a garantir e espessura desejada para a camada.

A chapa foi apoiada em um aparato suporte a 17 cm da pistola, conforme ilustra a Figura 19. Com essa configuração, a primeira demão resultou em uma espessura de 20µm. Para as chapas com espessuras maiores de tinta (40µm e 60µm), os resultados foram obtidos através da aplicação de camadas sucessivas.

Figura 18 - Adaptação do trator de solda para aplicação do *shop primer*



Fonte: A AUTORA, 2022

Figura 19 - Disposição da pistola para realização da pintura

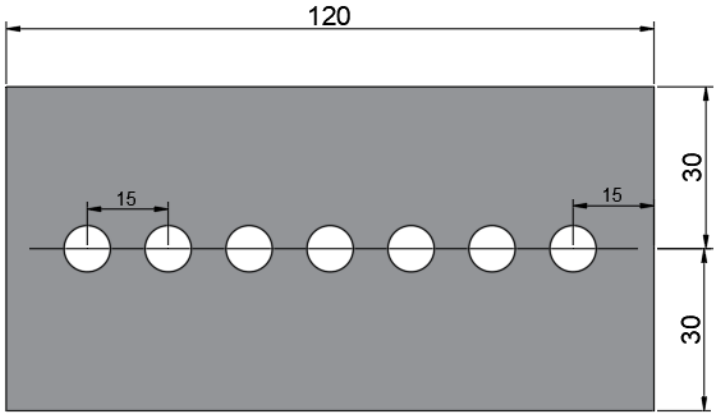


Fonte: A AUTORA, 2022

A medição da espessura das camadas de tinta foi realizada com o equipamento de indução magnética da marca Checkline, modelo 30000 FX. De acordo com as recomendações do fabricante, o tempo de secagem é de 5 minutos, considerando a temperatura ambiente de 25ºC. As medições para verificação foram feitas após esse período. Para as camadas mais espessas, após a medição de conferência, o processo de pintura foi repetido até se atingir a espessura desejada.

Para verificar a homogeneidade da camada aplicada, foram realizadas sete medições ao longo da linha de centro da chapa, com espaçamento conforme ilustrado na Figura 20. Os dados foram tratados calculando suas médias e desvios padrão utilizando as equações 1 e 2.

Figura 20 - Pontos de medição da espessura da camada de revestimento



Fonte: A AUTORA, 2022

Equação 1:

$$\underline{X} = \frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n} Xi$$

Onde $\underline{X}$ é a média aritmética, n é o número de amostras e X_i e o valor individual

Equação 2:

$$Dp = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(Xi - \underline{X}\right)^2}{N}}$$

Onde Dp é o desvio padrão, Xi valor individual, $\underline{X}$ média dos valores e n é a quantidade de dados.

4.3. Deposição de cordões de solda sobre chapa revestida com shop primer

A soldagem foi realizada de forma semimecanizada, por meio do acoplamento do trator de solda da marca White Martins, modelo MC46, com deslocamento automático e regulável a uma velocidade constante de 20 cm/s sobre o trilho da bancada de trabalho (Figura 21). As soldas foram produzidas utilizando uma fonte de energia inversora multiprocesso da marca Lincoln Electric, modelo Powerwave S350.

A tabela 8 apresenta os parâmetros de soldagem utilizados. Esses parâmetros foram obtidos após testes preliminares, nos quais o critério de avaliação foi a estabilidade do processo (menor ocorrência de respingos) e o aspecto visual do cordão (regularidade e ausência de descontinuidade das superfícies). O ajuste desses ocorreu na deposição de cordões sobre chapa, sem aplicação de *shop primer*.

Figura 21 - Aparato montado para soldagem de forma semimecanizada



Fonte: A AUTORA, 2022

Tabela 8 - Parâmetros de soldagem

Corrente	200A
Tensão	26V
Velocidade	50cm/min
Distância de bico de contato peça (DBCP)	20 mm
Gás de proteção	CO_2
Vazão do gás	18l /min
Polaridade	CC+

Fonte: A AUTORA, 2024

4.4. Aquisição e análise dos sinais elétricos coletados durante a soldagem

A aquisição dos sinais elétricos (tensão e intensidade de corrente) foi realizada por meio do *software* Lincoln Checkpoint, instalado em um computador conectado à fonte durante o processo de soldagem, a uma taxa de 60.000 pontos por segundo. O tempo de gravação foi de 8 segundos, sendo dispensado os 2 segundos iniciais devido ao tempo de abertura do arco e a presença de instabilidades. Os dados coletados foram tratados utilizando o *software* Sinal para obtenção dos oscilogramas de tensão e corrente. Foram determinadas ainda as médias e desvios padrão da tensão, corrente e aporte térmico. Além das grandezas mencionadas, foram elaborados histogramas de tensão e corrente.

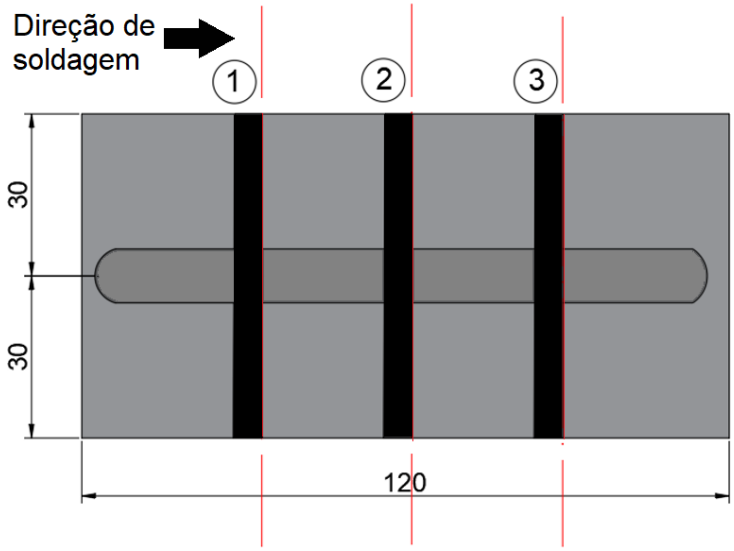
4.5. Avaliação das soldas produzidas

4.5.1. Corte e preparação das amostras para análise macro e microestrutural

Para a análise macro e microestrutural das soldas, foram realizados cortes nas chapas utilizando serra de fita refrigerada. De cada chapa, foram retiradas 3 amostras com aproximadamente 10 mm de largura, correspondentes às posições de ¼, ½ e ¾ do cordão de solda, como mostra a Figura 22. As faces analisadas foram na direção da soldagem, conforme ilustrado na Figura 23, representando a seção do cordão de solda. As amostras de número 1, 2 e 3 passaram por análise macroestrutural, e apenas a amostra de número 2 foi submetida à análise microestrutural. As amostras destinadas à análise microestrutural foram embutidas a frio com acrílico autopolimerizável, lixadas com lixas de granulometria #120, #240, #320, #400, #600 e #1200. Em seguida, foram polidas com pasta de diamante, com redução progressiva de granulometria (9μm, 3 μm e 1 μm). Após polimento, as amostras foram atacadas empregando Nital 3%.

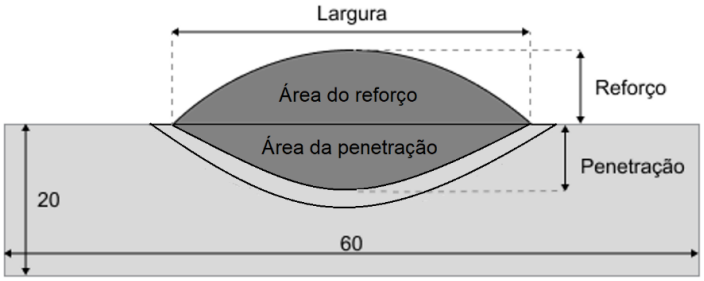
As amostras destinadas à análise macroestrutural da solda, após serem cortadas, foram lixadas na sequência com lixas de granulometria #120, #240, #320, #400 e #600. Em seguida, foram atacadas empregando reagente Nital 3%.

Figura 22 - Retiradas das amostras para análise macro e microestrutural



Fonte: A AUTORA, 2022

Figura 23 - Corte longitudinal da Amostra



Fonte: A AUTORA, 2022

4.5.2. Análise macroestrutural e medição do perfil do cordão

As análises macrográficas foram conduzidas por meio de uma lupa estereoscópica da marca ZEISS, modelo STEMI 2000-C, acoplada a uma câmera. Após a obtenção das imagens, com o auxílio do programa Image J, foram avaliadas as geometrias dos cordões, incluindo a penetração, largura, reforço, área do reforço, área da penetração (Figura 23), ângulo de contato conforme indicado na Figura 24. A diluição foi determinada utilizando a equação 3.

Figura 24 - Representação do ângulo de contato



Fonte: A AUTORA, 2023

Equação 3:

$$D = \frac{B}{A + B} x\ 100\%$$

Onde D é a diluição, A área do reforço e B área da penetração.

4.5.3. Análise microestrutural das soldas

A análise microestrutural foi conduzida utilizando um microscópio ótico invertido da marca Fortel com sistema de captura de imagem da marca Kontrol, modelo LM-713. O software do computador utilizado para a captura das imagens foi o TopView 3.7. Foram obtidas imagens com ampliação de 100x, 200x, 400x e 800x em diferentes regiões do metal de solda conforme ilustrado na Figura 25. A identificação dos constituintes presentes nas amostras foi efetuada empregando a metodologia proposta no Doc.No.IX-1533-88 (IIW, 1988).

Figura 25 - Regiões do metal de solda indicando os locais de observação da microestrutura



Fonte: A AUTORA, 2023

4.5.4. Análise da escória por difração de raios-x

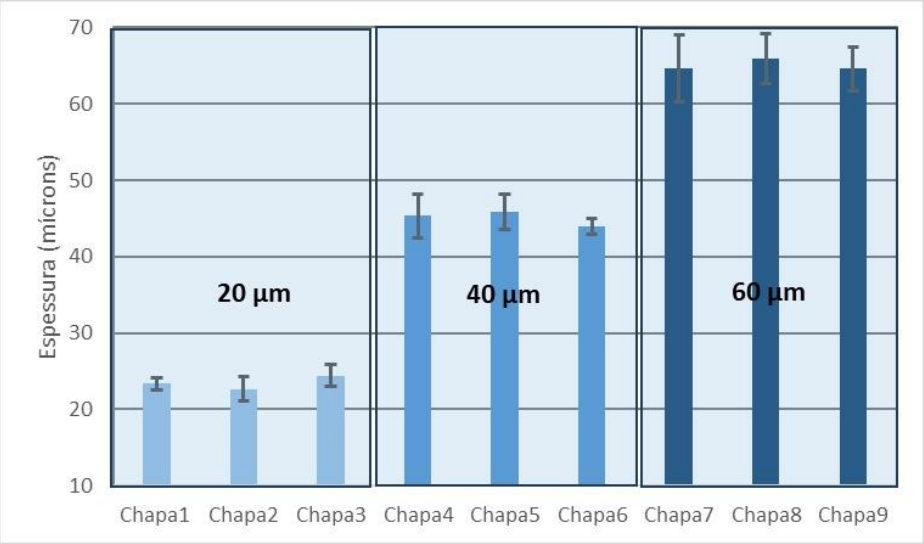
A escória gerada na soldagem sob as diferentes condições desse estudo foi coletada. Para a realização da análise por difração de raios-x estas foram previamente moídas manualmente utilizando graal e pistilo de modo de modo a garantir a homogeneidade do material moído. A análise foi realizada através de um equipamento marca Shimadzu, modelo XRD700, com alvo metálico de cobre. Os parâmetros utilizados foram: tensão 40kV, corrente 30mA, tempo fixo de 1.8s por passo, o passo de 0,06s−1 e ângulo de varredura de 3° a 90º. Os dados coletados foram tratados empregando o software Origin. Para avaliação dos prováveis compostos presentes foi utilizada a base de dados PDF-2 do International Centre for Diffraction Data (ICDD).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Espessura da camada de shop primer

O gráfico 3 apreseneta os resultados das medições de espessura da camada de *shop primer* realizadas ao longo da linha de centro de cada corpo de prova conforme descrito na metodologia. Os resultados obtidos indicam que a técnica de aplicação utilizada permitiu a obtenção de uma camada homogênea com valores similares aos nominais objetivados nesse estudo.

Gráfico 3 - Espessura da camada de shop primer

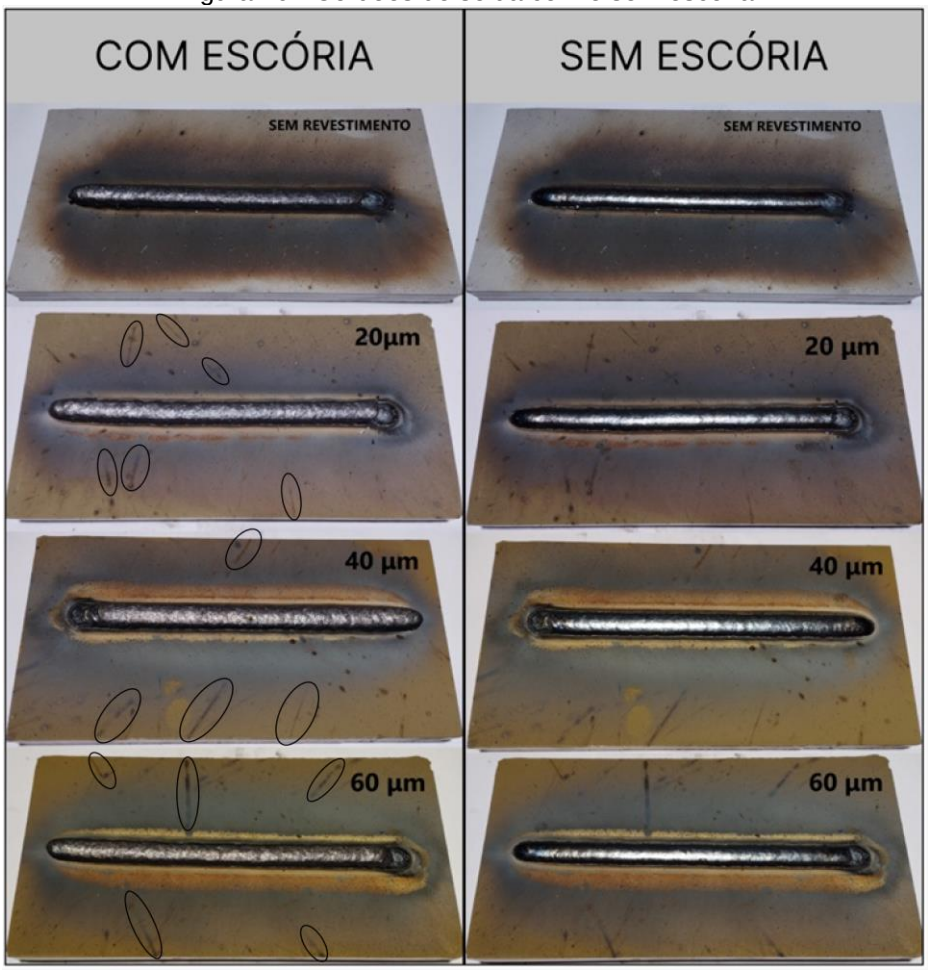


Fonte: A AUTORA, 2023

5.2. Aspecto visual dos cordões de solda

Inicialmente foi realizada a análise visual das soldas depositadas sobre as chapas sem e com diferentes espessuras de *shop primer* (20, 40 e 60 µm). Na Figura 26 são ilustrados os cordões obtidos antes e após a remoção da escória. Nota-se que estes apresentam um aspecto visual típico de soldas produzidas com arames tubulares da classe estudada, com superfície lisa, margens regulares e livres de descontinuidades superficiais.

Figura 26 - Cordões de solda com e sem escória



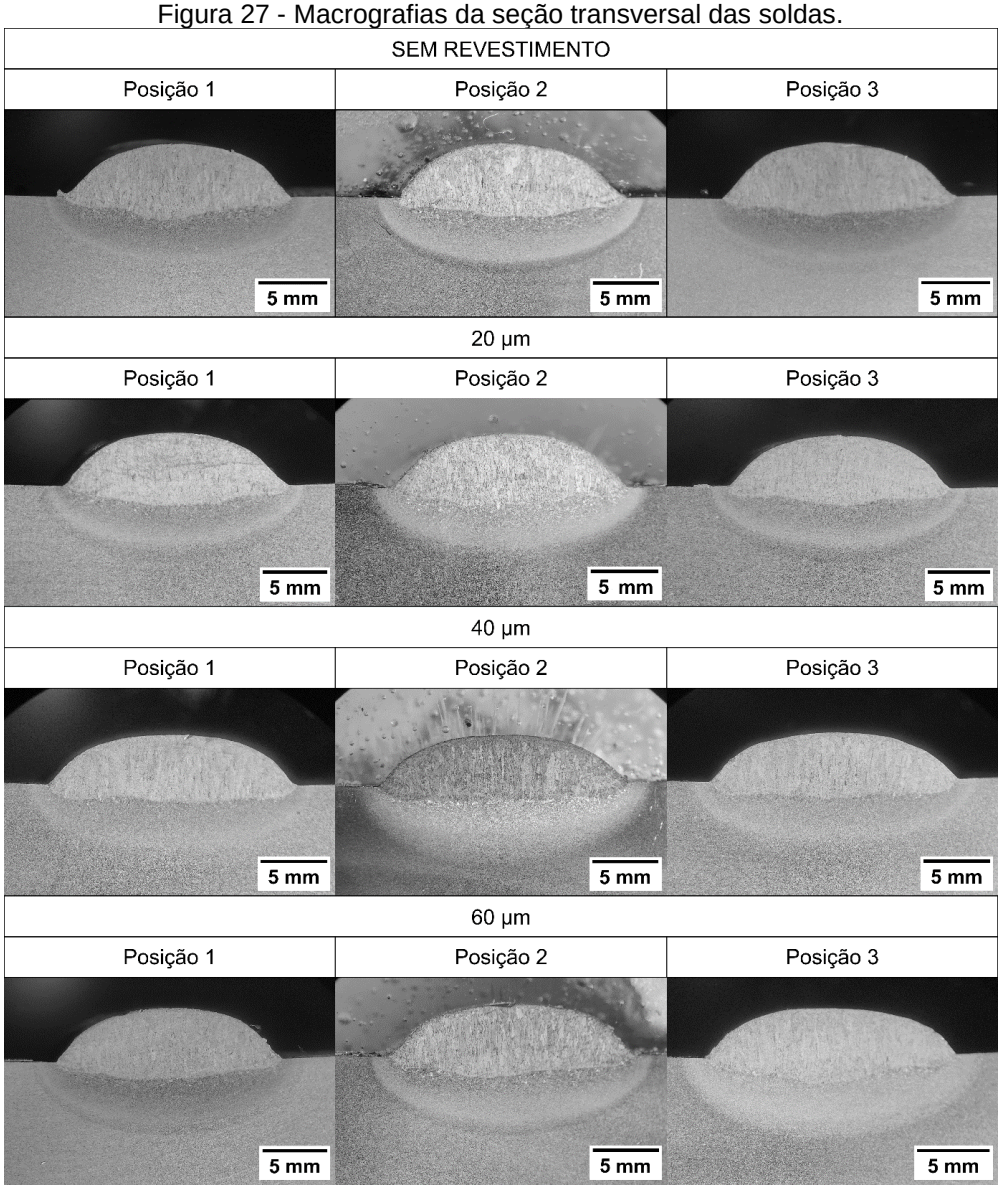
Fonte: A AUTORA, 2023

De acordo com a analise visual, foi observado um aumento na quantidade de marcas de respingos sobre a superfície das chapas em decorrência da aplicação do *shop primer*. A presença de linhas escuras evidencia a trajetória. Volpone e Mueller (2006) afirmam que um dos principais problemas de soldagem de chapas revestidas com primer é a projeção de metal de solda para fora da poça de fusão, principalmente quando se faz a soldagem utilizando o processo GMAW com proteção de gás ativo. Zhabrev et al. (2020), por sua vez, diz que provavelmente a influência do zinco na formação de jatos de vapor no arco seja responsável pelos respingos. Mesmo tendo sido evidenciada uma maior incidência de marcas sobre a superfície da chapa, neste trabalho não foi observado aumento na quantidade de respingos indicando que, a princípio, o emprego de shop primer não influenciou tal característica.

5.3. Macroestrutura e dimensões das soldas

Macrografias da seção transversal dos cordões de solda depositados sobre chapa sem e com as diferentes espessuras de *shop primer* são apresentados na Figura 27.

Figura 27 - Macrografias da seção transversal das soldas.

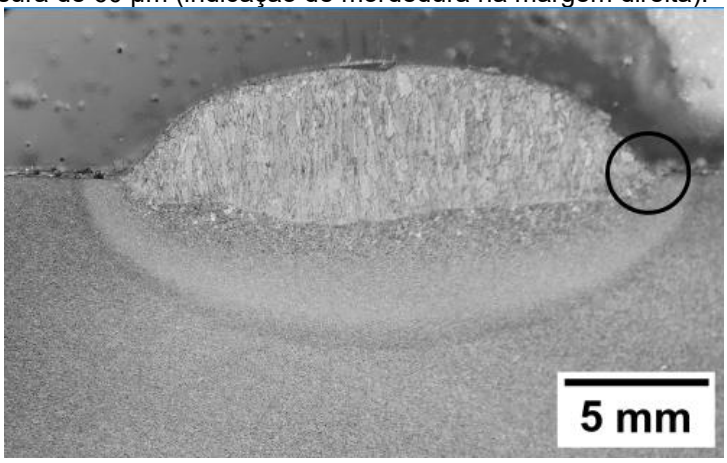


Fonte: A AUTORA, 2023

Na posição 2 (centro) de um dos cordões depositados sobre chapa revestida com espessura de 60 µm, foi identificada uma descontinuidade superficial do tipo mordedura, ilustrada em detalhe na Figura 28. Geralmente, tal ocorrência está associada ao emprego de parâmetros de soldagem inadequados, como corrente ou velocidade muito elevada e má manipulação do arame tubular (AWS, 2001). Todavia, os testes preliminares sobre chapas sem aplicação do *shop primer*, foram conduzidos

para seleção ótima dos parâmetros de soldagem. Ademais, é importante ressaltar que essa descontinuidade não foi observada nas demais amostras de cordões de solda depositados sobre chapa com revestimento de *shop primer* empregando-se os mesmos parâmetros de soldagem.

Figura 28 - Macrografia da seção transversal da solda realizada sobre chapa revestida com espessura de 60 µm (indicação de mordedura na margem direita).

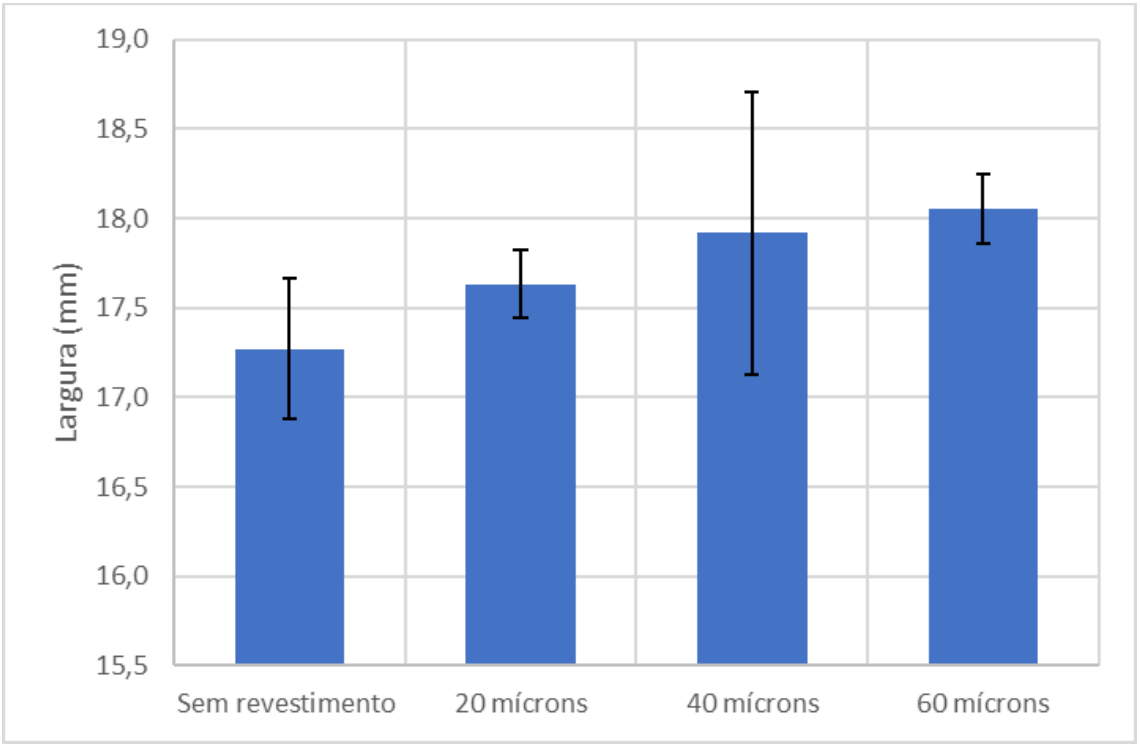


Fonte: A AUTORA, 2023

Aparentemente, observando as macrografias, não foram notadas alterações significativas quanto a morfologia e dimensões das soldas. No entanto, para avaliar possíveis diferenças largura, reforço, penetração, áreas e diluição das soldas foram medidas.

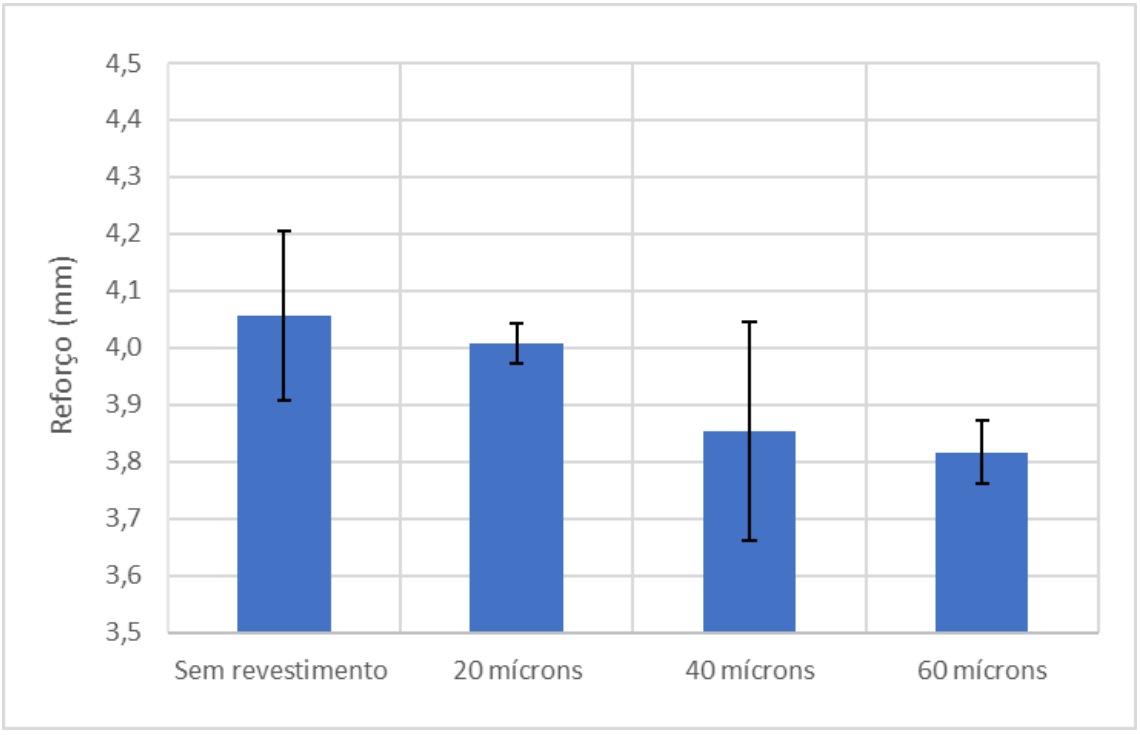
Verificou-se, pelos dados apresentados no gráfico 4, uma tendência de aumento na largura resultante do uso e do aumento na quantidade de *shop primer* aplicada sobre a superfície. Tal comportamento é relatado por Johnson et al. (1998) em um extenso estudo sobre a influência do *shop primer* nas soldas produzidas em chapas revestidas. O aumento foi compensado pela redução na altura do reforço (Gráfico 5) que, em resumo, resultou na manutenção da área desse conforme pode ser verificado no Gráfico 6. Desse modo é possível constatar que a manutenção dos parâmetros de soldagem (tensão, corrente e velocidade de soldagem) durante os experimentos resultou na manutenção da taxa de deposição. Esse resultado também é um indicativo de que a presença de primer sobre a superfície não resultou em aumento na geração de respingos conforme discutido no item 5.2.

Gráfico 4 - Largura das soldas produzidas sobre chapa sem pintura e com diferentes espessuras de shop primer



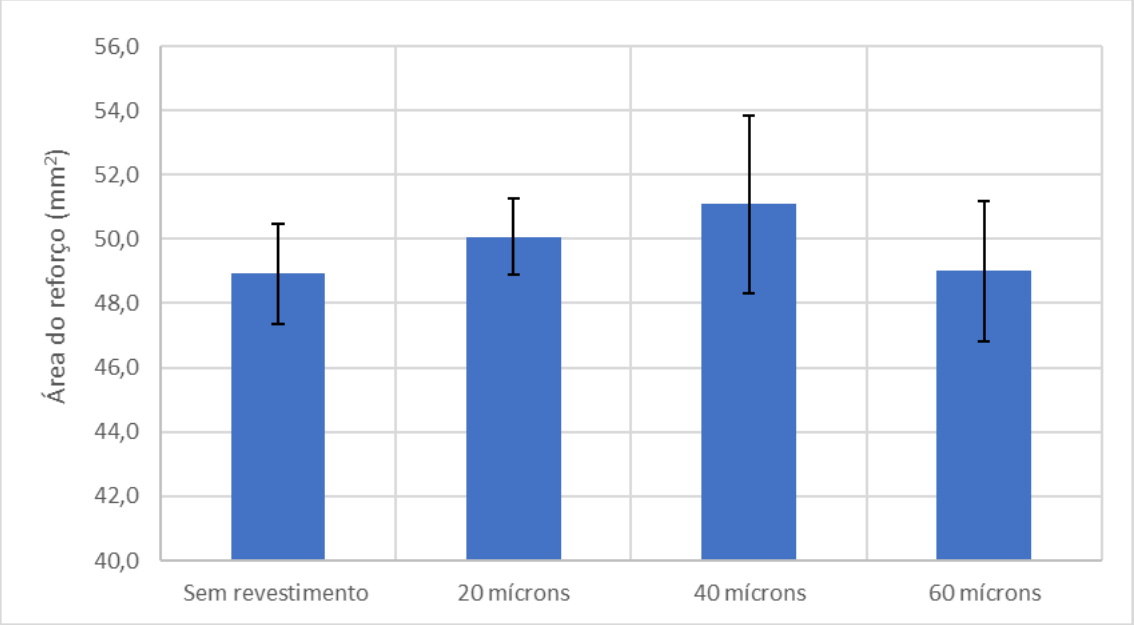
Fonte: A AUTORA, 2023

Gráfico 5 - Reforço das soldas produzidas sobre chapa sem pintura e com diferentes espessuras de shop primer



Fonte: A AUTORA, 2023

Gráfico 6 - Área do reforço das soldas produzidas sobre chapa sem pintura e com diferentes espessuras de shop primer

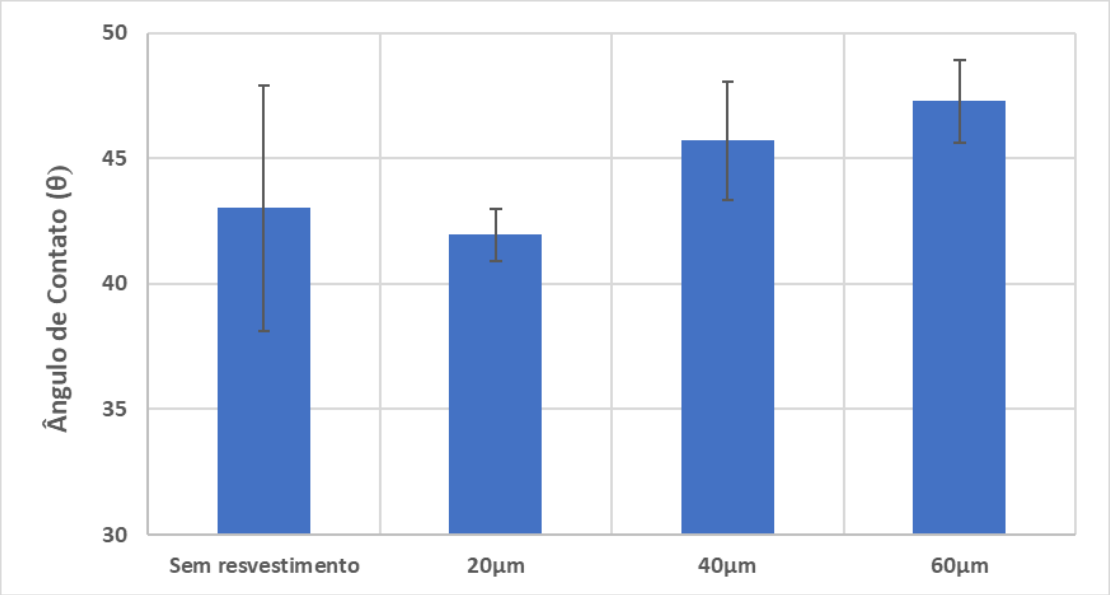


Fonte: A AUTORA, 2023

As alterações observadas no perfil das soldas, ou seja, aumento na largura e redução do reforço resultantes do uso de maiores espessuras de *shop primer* podem ser associadas a diversos fatores. Johnson et al. (1998) mencionam que a presença de zinco no primer pode alterar tanto a fluidez da escoria quanto do metal de solda. O aumento da fluidez do metal de solda provoca uma alteração no perfil do cordão de solda resultando em um perfil mais achatado o que justifica o cordão mais plano e consequentemente mais largo por não variar a área do reforço. Ainda conforme esses autores, a formação do cordão de solda mais largo também pode ser associada a alterações na tensão superficial decorrentes do emprego do *shop primer* sobre a superfície. Por outro lado, o emprego e a quantidade do *shop primer* sobre a superfície também pode proporcionar modificações no arco elétrico que resultariam, indiretamente, em alterações na morfologia das soldas produzidas conforme mencionado por Johnson et al. (1998) em seu estudo sobre soldagem sobre primer de tinta no programa nacional de construção naval.

Com o intuito de avaliar, entre as possibilidades mencionadas, qual seria a responsável pelas alterações observadas, foram realizadas medidas do ângulo de contato. O Gráfico 7 apresenta uma tendência de aumento desse, mostrando que, à medida que a espessura da camada do *shop primer* aumenta, a molhabilidade diminui, descartando a influência da tensão superficial no aumento da largura.

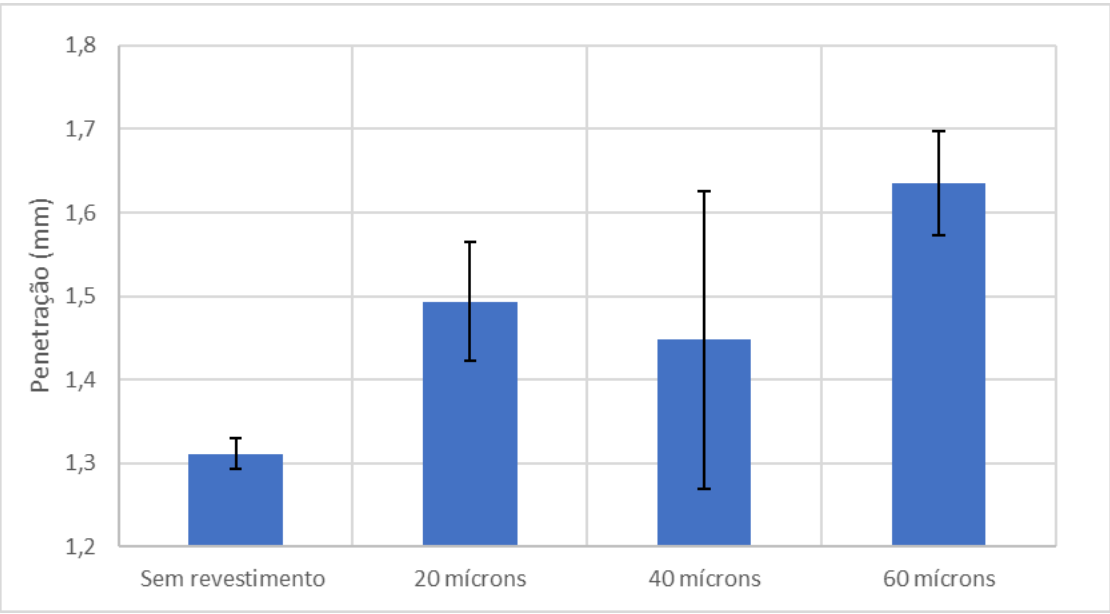
Gráfico 7- Ângulo de contato das soldas obtidas



Fonte: A AUTORA, 2023

Adicionalmente, conforme dados apresentados no Gráfico 8, notou-se que o emprego do *shop primer* e o aumento na espessura da camada aplicada também promoveram um aumento na penetração das soldas. Essa tendência, a princípio, não foi observada para as soldas depositadas sobre chapa revestida com uma camada de 40 µm de shop primer. No entanto, nota-se, para esta condição, um maior desvio padrão, indicando aumento na variabilidade das medidas, que pode ter influenciado o resultado e gerado os distúrbios observados para tal condição.

Gráfico 8 - Penetração das soldas produzidas sobre chapa sem pintura e com diferentes espessuras de shop primer

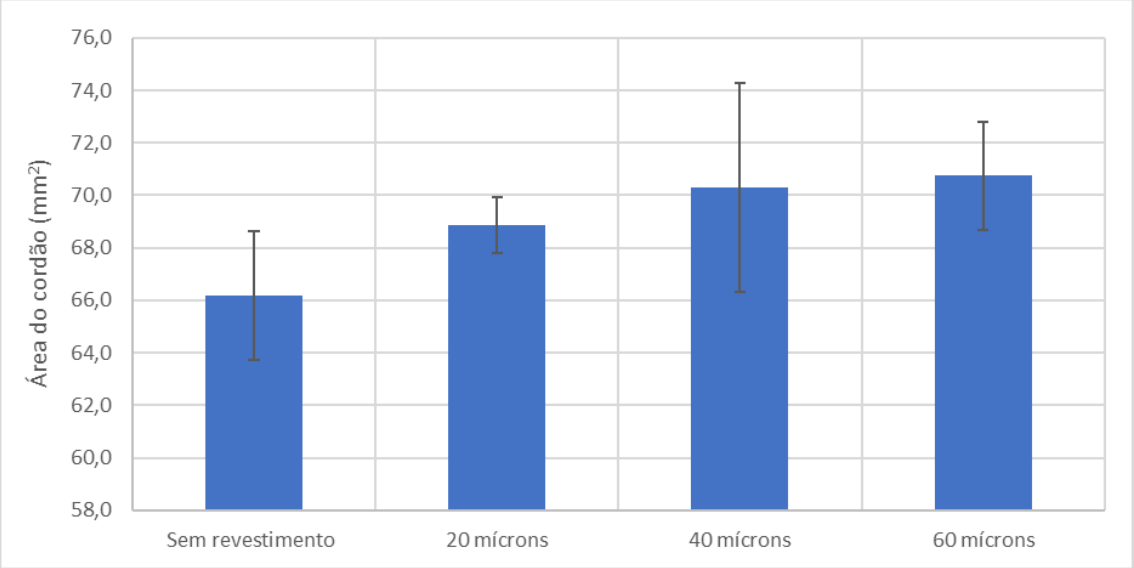


Fonte: A AUTORA, 2023

O aumento da penetração, como resultado do emprego de *shop primer* e do aumento da espessura de camada, também foi relatado por Johnson et al. (1998) em estudos conduzidos utilizando tintas de pré-construção com a mesma base. Segundo esses autores, o fenômeno está associado ao poder calorifico da soldagem, considerando que o primer é fonte de carbono.

Como não foi observada variação na área do reforço como consequência do emprego de shop primer, o aumento observado na área total da seção transversal das soldas apresentado no Gráfico 9, é resultante do aumento de penetração mencionado.

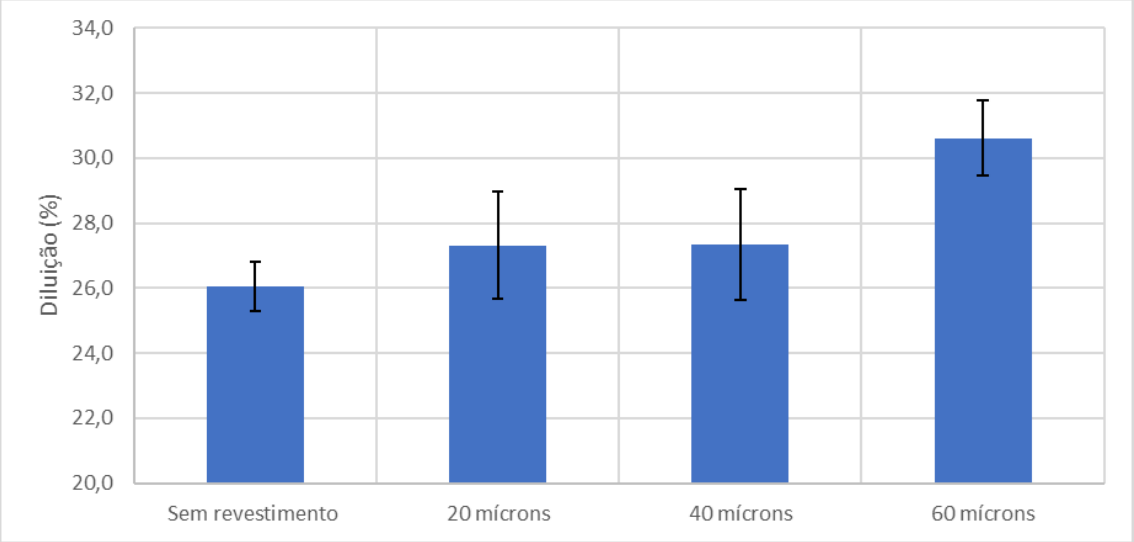
Gráfico 9 - Área das soldas produzidas sobre chapa sem pintura e com diferentes espessuras de shop primer



Fonte: A AUTORA, 2023

A principal consequência da variação nas áreas das soldas (reforço e penetração) é a tendência no aumento na diluição evidenciado no Gráfico 10.

Gráfico 10 - Diluição das soldas produzidas sobre chapa sem pintura e com diferentes espessuras de shop primer

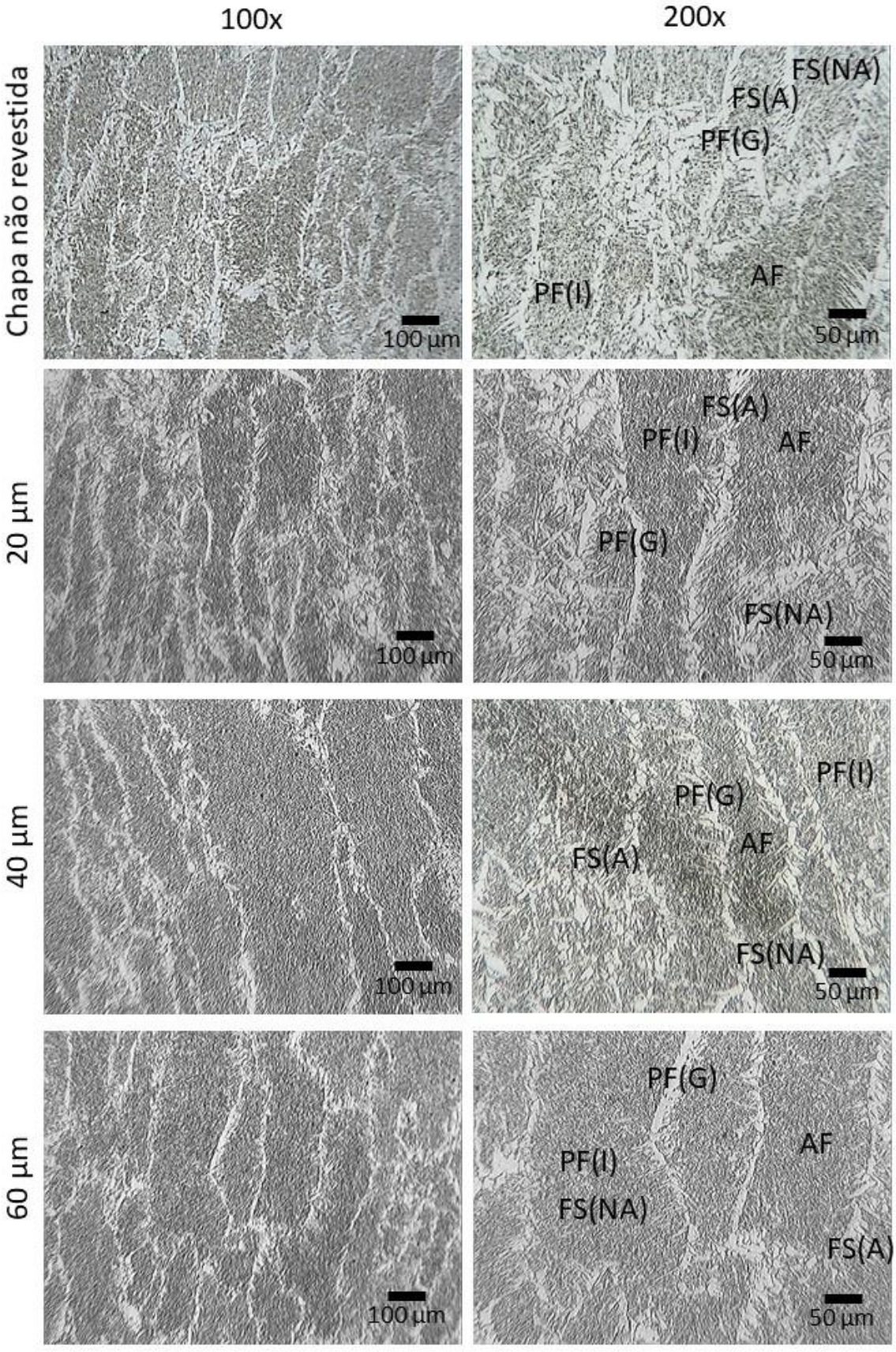


Fonte: A AUTORA, 2022

5.4. Microestrutura das soldas produzidas

Com o objetivo de complementar a análise macrográfica, as amostras foram observadas ao microscópio ótico para identificar os constituintes presentes. A Figura 29 apresenta as micrografias obtidas com ampliações de 100x e 200x na região central do cordão. Nota-se a presença de ferrita primária de contorno de grão [PF(G)], ferrita com segunda fase alinhada [FS(A)], pequenas quantidades de ferrita de segunda fase não alinhada [FS(NA)] e ferrita poligonal intragranular [PF(I)], além da predominância de ferrita acicular (AF). Essa é uma microestrutura típica de soldas obtidas com a classe de consumível utilizada neste trabalho, conforme relatado por Barbedo (2011) e Starling et al. (2010). Destaca-se ainda que não foram observadas diferenças significativas na presença e quantidade dos constituintes nas soldas obtidas sob as diferentes condições do estudo, indicando que, a princípio, o shop primer não influenciou este aspecto, mesmo tendo promovido alteração na diluição das soldas conforme mencionado anteriormente.

Figura 29 - Microestrutura do metal de solda



Fonte: A AUTORA, 2023

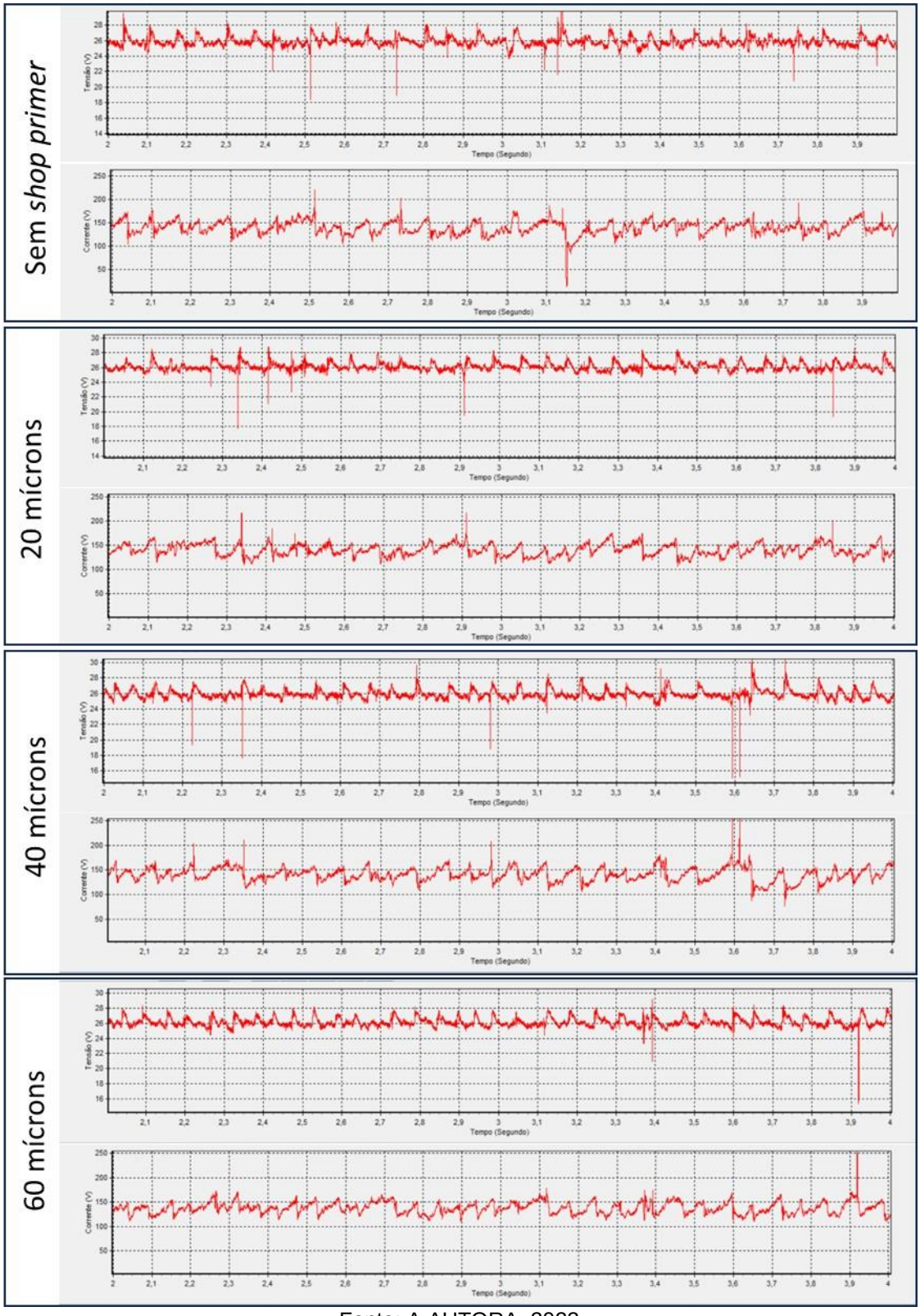
5.5. Análise dos sinais elétricos coletados durante a soldagem

Para investigar a existência de relação entre as alterações observadas na morfologia dos cordões de solda, a saber, variação da largura e aumento da penetração, com a alterações no modo de transferência metálica e variações no arco, foi realizado o monitoramento dos sinais elétricos.

Os oscilogramas de tensão e corrente resultantes das soldagens sob as condições desse estudo são apresentados no Gráfico 11. A análise da variação dos sinais coletados ao longo do tempo indica que o modo de transferência metálica predominante é globular conforme verificado por Starling et al. (2010) para a mesma combinação arame/gás. Essa hipótese é reforçada pela análise do critério variação de tensão (ΔU) que, segundo Bauné (2001), se encontra entre 1 e 10V para transferência globular na soldagem com arames tubulares rutílicos.

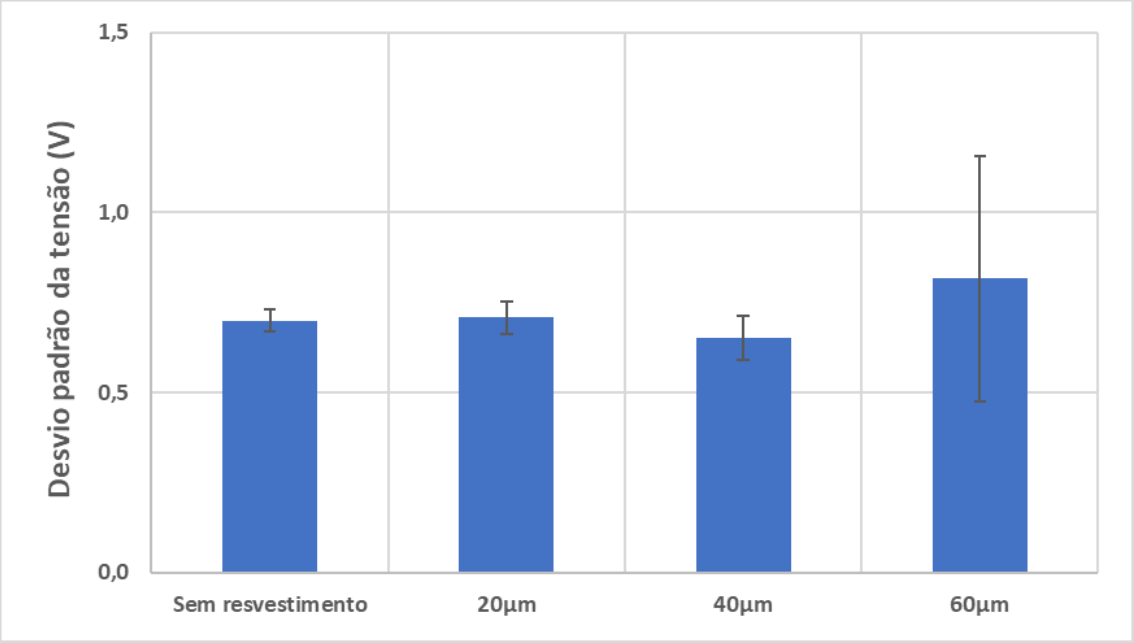
Comparando os sinais obtidos durante a soldagem não se observa, aparentemente, variações na forma desses decorrentes do emprego e da variação na espessura da camada de *shop primer*, tanto para tensão quanto corrente. Medidas do desvio padrão da tensão durante a soldagem (Gráfico 12), a contagem da frequência de ciclos (Gráfico 13) e os valores de tensão e corrente médios (Gráficos 14 e 15) para as diferentes condições corroboram com essa hipótese.

Gráfico 11 - Oscilogramas de tensão e corrente obtidos sob as diferentes condições do estudo.



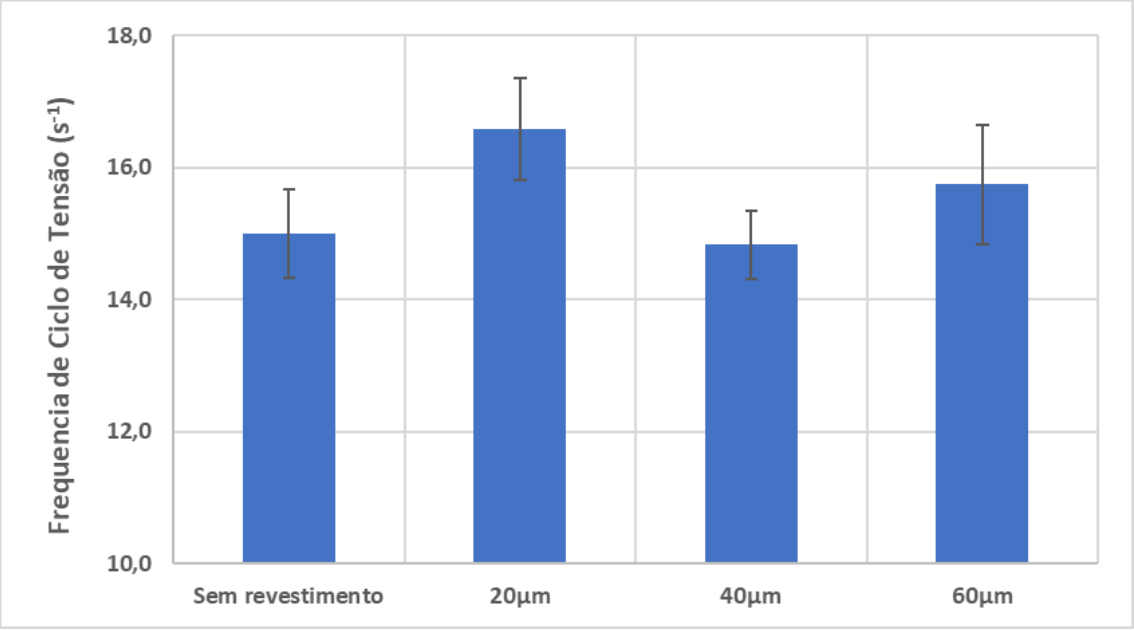
Fonte: A AUTORA, 2023

Gráfico 12 - Desvio padrão da tensão para as diferentes condições



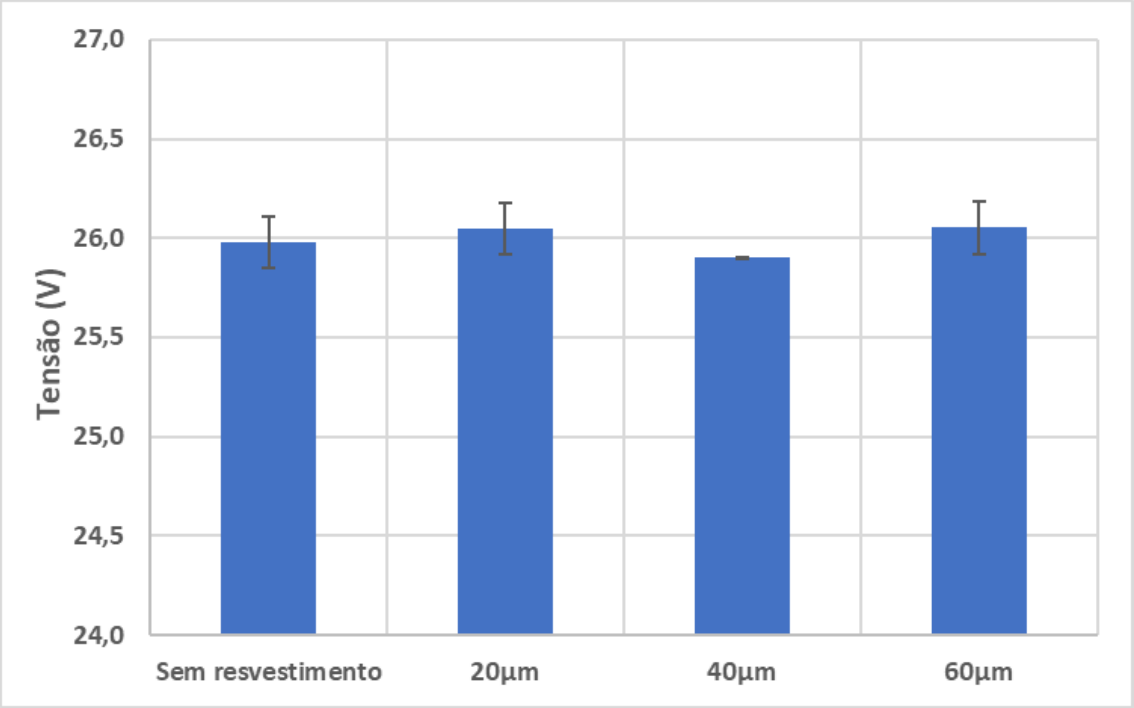
Fonte: A AUTORA, 2023

Gráfico 13 - Frequência do ciclo de tensão para as diferentes condições



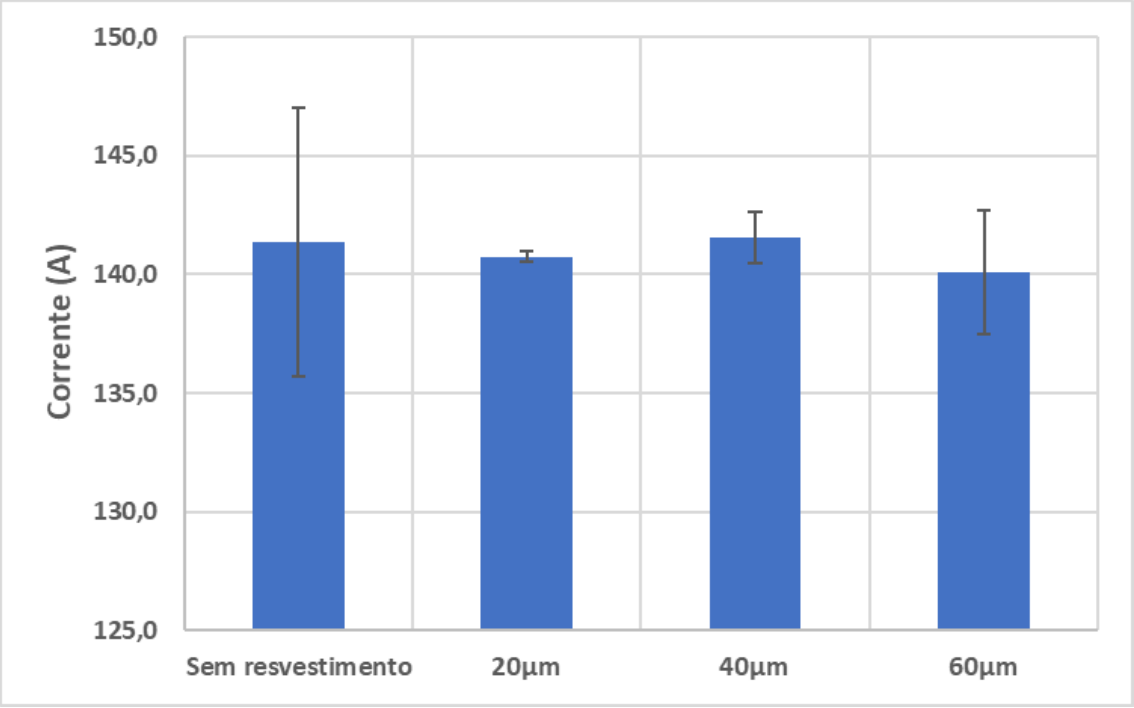
Fonte: A AUTORA, 2023

Gráfico 14 - Tensão média de soldagem para as diferentes condições



Fonte: A AUTORA, 2023

Gráfico 15 -Corrente média de soldagem para as diferentes condições de soldagem



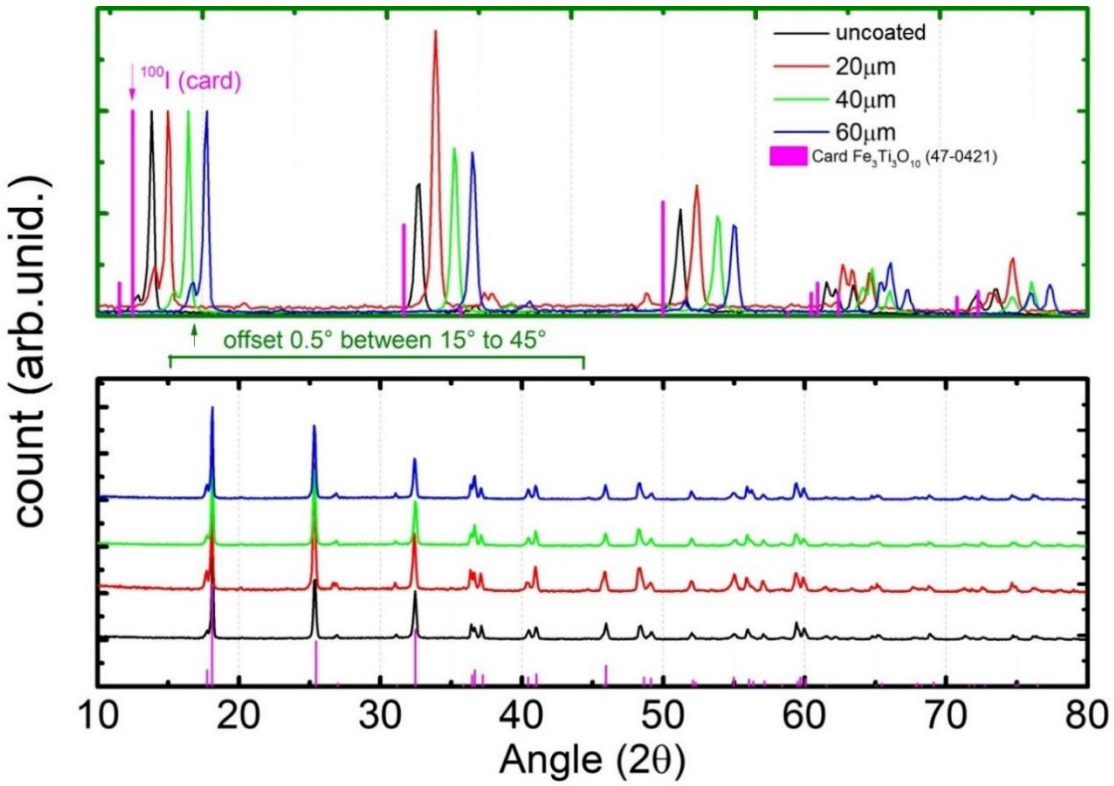
Fonte: A AUTORA, 2023

5.6. Análise da escória

No Gráfico 16 são apresentados os difratogramas das escórias geradas nas soldagens sob as diferentes condições. Os resultados indicam que essa é formada predominantemente por compostos cristalinos. Na comparação com as fichas do banco de dados PDF-2, conforme apresentado no gráfico, foi possível verificar a evidente coincidência dos picos gerados a partir da análise de todas as escórias com os correspondentes ao composto $Fe_3Ti_3O_{10}$. Por se tratar de um arame tubular com fluxo não metálico do tipo rutílico, é coerente a predominância do composto mencionado. Comparando as diferentes amostras de escória nota-se ainda que os picos são coincidentes ocorrendo somente variações quanto as intensidades. Esse comportamento é evidenciado de maneira clara no gráfico superior onde são apresentados os difratogramas das amostras na faixa entre 15 e 45° com defasagem de 0,5° entre uma e outra.

As diferenças mencionadas não indicam, a princípio, que o emprego do *shop primer* tenha influenciado a composição e, por consequência, propriedades físicas da escória como a fluidez como mencionado por Johnson (2018). Tais resultados reforçam a hipótese levantada anteriormente que a mudança no perfil das soldas produzidas tenha resultado da menor fluidez do metal líquido como relatado por Johnson (2018). Contudo, para se confirmar essa possibilidade seria necessário a condução de experimentos adicionais não propostos no escopo desse estudo.

Gráfico 16 - Difratogramas das escórias formadas na soldagem sob diferentes condições



Fonte: A AUTORA, 2023

6. CONCLUSÕES

Após a realização deste estudo sob as condições de soldagem estabelecidas, pode se concluir que:

- O aspecto visual dos cordoes de solda executados sobre chapas com e sem aplicação de *shop prime*r não apresentaram diferenças visuais significativas e nem descontinuidades;
- embora tenha sido observado um aumento na quantidade de marcas de respingos sobre a superfície das chapas com *primer*, tal fator pode ser associado ao aumento na ocorrência de respingos nessas condições;
- constatou-se um aumento na largura e na penetração das soldas com o aumento da espessura do *primer*, porém sem alterações significativas na área do reforço;
- não houve alteração microestrutural dos cordões de solda, não revelou alterações entre as amostras sem e com diferentes espessuras de *primer*;
- o monitoramento dos sinais elétricos durante a soldagem não indicou variações associadas ao uso do *shop primer*;
- os difratogramas das escórias geradas nas soldagens também não mostraram diferenças substanciais relacionadas ao *primer*;
- Levando-se em conta as constatações relativas aos sinais elétricos, análise da escória e medidas do ângulo de contato verifica-se que as alterações na largura das soldas na presença de maiores quantidades de shop primer está associada a alterações na fluidez do metal líquido;

7. SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

- Aprofundar o estudo da relação entre o emprego de *shop primer* e alterações na fluidez do metal líquido;
- Estudar o efeito da aplicação de camadas de *shop primer* com espessura acima de 60 mícrons sobre as características das soldas;
- Realizar filmagens em alta velocidade de soldas produzidas sob as condições desse estudo visando completar a análise dos sinais elétricos e investigar a formação de respingos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, Lucas de Souza e BUENO, Pedro Henrique Barros. **Estudo Comparativo de Desempenho do Processo FCAW Utilizando como Gases de Proteção 100%CO_2, Ar + 25% CO_2 e Ar + 40% CO_2 Eletrodo Tubular E71T-1 como consumível**. 2016. 75p. Relatório (Grau de Engenheiro Mecânico) - Universidade de Brasília. Brasília

American Society For Testing And Materials - ASTM.Standard Specification for Carbono Structural Steel. **ASTM A 36/A 36M** – 96. West Conshohocken, PA, USA. 1996

American Welding Society – AWS. Specification for Carbon and Low-Alloy Steel Flux Cored Electrodes for Flux Cored Arc Welding and Metal Cored Electrodes for Gas Metal Welding. **AWS A5.36/A5.36M**. Danvers, MA, USA. 2016.

American Welding Society. **Welding Handbook:** Welding Process, Part 1. 9. ed. rev. Miami: AWS, 2004. v. 2.

AZEVEDO, João e PAIVA, Mário. P. D. "**Hidrojateamento e nova geração de tinta sem solventes tolerante à umidade: o que há de novo e suas implicações para o estaleiro do futuro**." In **INTERCORR 2008**. Recife/PE.

BARBEDO, Nancy Del Ducca. **Avaliação comparativa dos processos de soldagem GMAW e FCAW utilizando aço ASTM A-36 para verificar a soldabilidade, propriedades metalúrgicas e geométricas, e resistência mecânica**. 2011. 68p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Itajubá, Itajubá. Minas Gerais.

BAUNÉ, E.; BONNET, C. and LIU S., "Reconsidering the basicity of a FCAW Consumable- Part 1 – Solidified slag composition of a FCAW Consumable as basicity indicator". **Welding Journal** p. 57s-64s. March, 2000.

BHUVENESH, R. NORIZAMAN, M. H. & MANAN, M. S. A. Surface Roughness and MRR Effect on Manual Plasma Arc Cutting Machining. World Academy of Science,

Engineering and Technology. **International Journal of Industrial and Manufacturing Engineering**. V. 6, N. 2. 2012

BOIÇA, Nello Rossi. **Ferramentas de Melhoria da Qualidade Aplicadas a um Processo de Pintura Industrial**. 2009. 47p. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia de Produção) - Universidade Estadual de Maringá. Maringá

BRACARENSE et al. Welding current effect on diffusible hydrogen content in flux cored arc weld metal. **Scielo** Brasil Vol 24, N°. 14. Novembro, 2002.

BRACARENSE, Alexandre; SORAGI, Carlos; FELIZARDO, Ivanilza. Parametrização para soldagem orbital Robotizada de tubos com arame tubular. **Tecnologia em Metalurgia e Materiais**. São Paulo. Volume 2, número 3. P.6-10, janeiro – março 2006.

FORTES, Cleber. ESAB S/A. **Apostila de Arames Tubulares**. Contagem (MG), 2004.

FRAGATA, R; ORDINI, A. Desempenho anticorrosivo de esquemas de pintura com tintas primárias em pó pigmentadas com zinco. **Corros. Prot. Mater**., Lisboa, v. 28, n. 2, p. 55-64, 2009.

GARCIA, A C S; CUNHA,T V; DiÁZ, V V. **Avaliação da soldagem na presença de primer naval com os processos GMAW e FCAW pulsado**. In **COINSO (Congresso internacional soldadura)**. 2021, Buenos Aires Argentina.

GARCIA, Pedro Henrique Lopes. **Caracterização de uma tinta com alto teor de zinco quanto à proteção oferecida a substrato de aço carbono durante imersão em meios aquosos.** 1999. 101p. Dissertação (Mestrado em Ciências na Área de Reatores Nucleares de Potência e Tecnologia do Combustível Nuclear), Universidade de São Paulo, São Paulo.

GARCIA, Pedro Henrique Lopes e COSTA, Isolda. **Efeito do meio corrosivo na duração do período de proteção catódica conferida por uma tinta com alto teor**

de zinco a substrato de aço. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN/CNEN, São Paulo, p. 769 - 772. 2015.

GENTIL, Vicente. **Corrosão**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007

HASHIMOTO, T. e MORIMOTO, T. 2007. Reduction of Spatter Generation on Gas Shielded Arc Welding from the Viewpoint of Welding Material. vol 5: **Welding International**, 2007. p. 331-336.

IIW. Guide to the light microscope examination of ferritic steel weldmetals.Doc. No.IX-1533-88. IXJ 123-87. June 1988.

JOHNSON, Kevin Scott. **Diffusible hydrogen control and microstructural refinement in FCA welds performed over primer-coated steels**. 2018. 331p. Thesis (degree of Master of Science Metallurgical and Materials Engineering - Colorado School of Mines. Colorado

JOHNSON, K. S.; LIU, S.; OLSON, D. L. **Welding Over Paint Primer**. U.S. Department of the Navy Carderock Division, Naval Surface Warfare Center in cooperation with Peterson Builders, Inc. Colorado School of Mines, 1998.

KUNTZ, Maiquel Rodrigo Klhan. **Análise comparativa entre a soldagem com arame sólido e metal cored no processo multipasses.** 2016. 84p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel Engenharia Mecanica) - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do sul. Panambi. Rio Grande do sul

LEE, Chul-Hwan et al**.** Effect of retained pre-construction primer on the corrosion protection properties of epoxy coatings**. Corrosion Science and technology,** vol.6, no.5 (2007), pp.219~226. Ulsan Korea, 2007

LIMA, Elpidio Moura Faleiros. **Análise de falhas em processo de soldagem com arame tubular na indústria naval utilizando FMEA**. 2015. 124p Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Naval) – Universidade Federal de Santa Catarina Joinville, Santa Catarina.

MACHADO, Ivan Guerra. **Soldagem e técnicas conexas:** processos. 477p Porto Alegre: Editado pelo autor,1996.

MODENESI, Paulo J. **Introdução a Física do Arco Elétrico e sua Aplicação na Soldagem dos Metais**. Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 2007.

MODENESI, Paulo J. **Introdução a Física do Arco Elétrico Soldagem I**. Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 2012.

MODENESI, Paulo J et al. **Introdução à Metalurgia da Soldagem.** Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 2012.

MOREIRA, A.F et al. Caracterização de revestimentos soldados com arame tubular aws e309lt-1 em função da adição de CO_2 no gás de proteção. **CBECIMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais**, Novembro, 2006, Foz do Iguaçu, PR

NARAYANAN, B. K.; HENRY J.; LIAO Y. C.; GALIHER D. **Solutions for woldeing zinc coated steels.** The Lincoln Electric company. Tower International, Livonia MI, 2015**.**

Núcleo Tecnológico de Soldagem e Qualidade. **Manual de Tecnologia de Fabricação e soldagem.** São Paulo, SP. 2002.

PERDIGÃO, Sergio de Carvalho. Instrução para classificação dos constituintes microestruturais do metal de solda dos aços ferrítico, utilizando-se microscopia ótica. **Associação Brasileira de Soldagem (ABS)** N°16 ABR/JUN 1987

PINHEIRO, Marcio Augusto Rollin e SILVA, Renato Cesar Lima. **Análise de corrosão e aplicação de revestimentos anticorrosivos em cascos de navios.** 2015. 74p.

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal Fluminense. Niterói. Rio de Janeiro.

QI. Chunping et al. Enhanced anticorrosion performance of zinc rich epoxy coatings modified with stainless steel flakes. **Elsevier** Vol 163, Fev 2022.

RODRIGUES, Emanuel Rezende. **Influência de parâmetros do processo FCAW–G nas características da solda do aço ASTM A-36**. 2010. 78p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica e de Materiais) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba. Paraná

RODRIGUES, Lucilene de Oliveira**. Análise e Otimização de Parâmetros na Soldagem com Arame Tubular**. 2005. 82p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Itajubá, Itajubá. Minas Gerais.

RODRÍGUEZ, José Alberto Pérez-Barreto. **Efeito da corrosão do chapemanento do fundo do casco sobre a confiabilidade estrutural de navios.** 2015. 119p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. São Paulo.

STARLING, C. M. D.; MODENESI, P.J; BORBA, T. M. D. Caracterização do Cordão na Soldagem FCAW com um Arame Tubular Rutílico. **Soldagem Insp** Vol.14 N° 4, p. 298-312, Out/Dez, 2009.

STARLING, D.M.C.; MODENESI, P.J. Metal Transfer Evaluation of Tubular Wires. **Welding International** Vol.21 N° 6, p. 412-420, Out, 2007.

STARLING, D.M.C.; MODENESI, P.J. “Estudo da transferência de metal de um arame tubular básico”. **Cobef**, 2005

Starling, C. M. D.; Modenesi, P. J.; Borba, T. M. D. Comparison of operational performance and bead characteristics when welding with different tubular wires. **Welding International**, Vol. 24, n° 8, p. 579–592, 2010.

SUZUKI, T; MAKI, S; KANBE, Y. The Practicability of Primer Resistant Flux-Cored Wire. **Welding International**, Vol.4, p.486-493, 1990.

TOMACHUK, Celia R. Revestimentos de zinco sobre aços e suas aplicações. **Corrosão e proteção**, vol 58, p. 26-33. Out/ Nov 2015.

VOLPONE, M e Mueller S. Problems linked to welding and cutting of primer treated metal sheets. **Welding International**, vol.20, n°12, p.942-947, 2006.

VASCONCELOS, Alexandre. Maioli. **Análise da sequência de soldagem em painéis típicos navais.** 2014. 145p. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Naval e Oceânica) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

WANG, W.; LIU, S.; JONES, J.E. " Flux Cored Arc Welding: Arc Signals, Processing and Metal Transfer Characterization. **Welding research supplement**. P. 369- 377, 1995.

WIDGERY, David. **Tubular Wire Welding**. 1. ed. Cambridge: Abington Publishing, 1994.

ZHABREV, L; KURUSHKIN, D; MUSHNIKOV, L; PANCHENKO, O. The Coatings Breakdown Products Influence on the Gas Metal ArcWelding Parameters. **Coatings**. Nov 2020.