

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS
MESTRADO EM ENGENHARIA DE MATERIAIS



LEONARDO SCHIAVO DE REZENDE

**INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE FLUORETO COMO CARGA EM *SHOP PRIMER* A
BASE DE ETIL SILICATO DE ZINCO SOBRE SOLDAS PRODUZIDAS PELO
PROCESSO FCAW**

BELO HORIZONTE

2023

LEONARDO SCHIAVO DE REZENDE

**INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE FLUORETO COMO CARGA EM *SHOP PRIMER* A
BASE DE ETIL SILICATO DE ZINCO SOBRE SOLDAS PRODUZIDAS PELO
PROCESSO FCAW**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, na Área de concentração: Ciência e Desenvolvimento de Materiais, na Linha de Pesquisa em Seleção, Processamento e Caracterização, como parte integrante dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Materiais.

Orientador: Prof. Dr. Cláudio Turani Vaz

Coorientador: Dr. Bruno Cordeiro Silva

BELO HORIZONTE

2023

R467i Rezende, Leonardo Schiavo de.
Influência da adição de fluoreto como carga em *shop primer* a base de etil silicato de zinco sobre soldas produzidas pelo processo FCAW / Leonardo Schiavo de Rezende. – 2023.
74 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, 2023.
Bibliografia.

1. Soldagem por fluxo. 2. Arames tubulares - Soldabilidade. 3. Fluoretos. I. Vaz, Cláudio Turani. II. Silva, Bruno Cordeiro. III. Título.

CDD: 671.5212



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 60 / 2023 - POSMAT (11.52.07)

Nº do Protocolo: 23062.052026/2023-17

Belo Horizonte-MG, 18 de outubro de 2023.

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

*INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE FLUORETO COM CARGA EM SHOP PRIMER A BASE DE
ETIL SILICATO DE ZINCO SOBRE SOLDAS PRODUZIDAS PELO PROCESSO FCAW*

Autor: Leonardo Schiavo de Rezende

Orientador: Prof. Dr. Cláudio Turani Vaz

A Banca Examinadora composta pelos membros abaixo aprovou em 28 de junho de 2023 esta
Dissertação:

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

Prof. 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 Ivanilza Felizardo (EXAMINADORA EXTERNA)
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET-MG

(Assinado digitalmente em 19/10/2023 08:23)

BRUNO CORDEIRO SILVA

*DEMAT (11.55.06)
Matricula: ###768#5*

(Assinado digitalmente em 19/10/2023 09:15)

CARLOS ALBERTO CARVALHO CASTRO

*DMCVG (11.64.05)
Matricula: ###942#8*

(Assinado digitalmente em 18/10/2023 17:32)

(Assinado digitalmente em 18/10/2023 18:04)

CLAUDIO TURANI VAZ

POSMAT (11.52.07)
Matricula: ###128#3

IVANILZA FELIZARDO

DEM (11.56.09)
Matricula: ###343#4

Visualize o documento original em <https://sig.cefetmg.br/public/documentos/index.jsp> informando seu número: **60**, ano: **2023**, tipo: **ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO**, data de emissão: **18/10/2023** e o código de verificação: **a8e55d3e57**

Dedico este trabalho ao meu filho Lucca, companheiro diário e inspiração de superação; aos meus pais, Carlos e Sandra, fontes inesgotáveis de amor; aos meus irmãos, Rodrigo e Renato, pela alegria e dedicação; e a minha esposa Neila pela cumplicidade, carinho e paciência.

AGRADECIMENTOS

Aos meus amados filho, pais, irmãos e esposa pelo amor e suporte incondicionais.

Aos meus amigos de Lagoinha e Adjacências: Igor, Leandro, Pedro e Lucas por tornar a vida mais leve.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Cláudio Turani Vaz, por mais uma oportunidade de orientação.

Ao meu coorientador Dr. Bruno Cordeiro Silva, pelas reflexões construtivas.

À Lorena, companheira de pesquisa que ajudou a desbravar este trabalho.

Aos parceiros de DEMAT Jorge e Gilberto pela amizade e prosas filosóficas.

Aos professores e funcionários do Departamento de Engenharia de Materiais.

Ao CEFET-MG pela oportunidade e por me acolher pela terceira vez.

À Akzo Nobel pelo fornecimento do *shop primer* utilizado nesse estudo. Em especial aos Engenheiros Hilton Wanderlei de Castro e Victor Noce de Bernardi Sampaio.

“Viver é isto: ficar se equilibrando o tempo
todo entre escolhas e consequências.”

Jean-Paul Sartre

RESUMO

Indústrias naval, offshore, de construção civil e mecânica utilizam aços estruturais que podem ficar armazenados por prolongado tempo e até expostos a intempéries. Desta forma, é necessário que esse material esteja protegido, principalmente contra corrosão. Para isso, são realizadas pinturas com uma tinta conhecida como *shop primer* ou tinta de pré-construção, que além de atuar como inibidor de corrosão, pode afetar negativamente o processo de soldagem e comprometer a qualidade das soldas. Para superar esses inconvenientes, é necessário desenvolver novas alternativas que produzam cordões de solda equivalentes aos obtidos em chapas sem recobrimento. Com o intuito de otimizar o processo de soldagem sobre chapas pintadas, este trabalho teve como objetivo avaliar a influência da carga de fluoreto adicionada em formulação comercial de *shop primer* sobre as soldas realizadas com arame tubular classe E71T1-C1A2-CS2 e proteção gasosa 100% CO₂. De forma comparativa foram avaliadas quatro condições: chapa base sem primer, com primer e sem carga de fluoreto, com primer e com carga de 7,5% m/m e 15% m/m de fluoreto. Verificou-se que o primer inibe a adesão de respingos nas chapas e que influencia na morfologia da solda, gerando cordões mais largos e mais profundos. Em contrapartida, a carga de fluoreto age atenuando esses efeitos, quando comparado com os resultados obtidos com a pintura sem carga. Foi verificado também que o primer sem carga de fluoreto não altera a microestrutura em comparação com as soldas realizadas sem o seu emprego. No entanto, verificou-se que a presença de fluoreto aumenta a fração volumétrica de ferrita acicular e ferrita de segunda fase alinhada, em detrimento das reduções das frações de ferrita primária de contorno de grão e de ferrita intragranular. Por fim, os sinais elétricos coletados mostram que o primer aumenta a tensão média na soldagem e a presença do fluoreto tende a atenuar este efeito. A corrente média tende a diminuir com a presença do primer e o fluoreto intensifica esta queda. Como consequência, as amostras com carga de fluoreto apresentaram menores aportes térmicos que as demais amostras. Adicionalmente, foi observado que a presença do fluoreto influenciou a transferência metálica alterando a frequência de ciclos da tensão.

Palavras-chave: Fluxo ativo; *Shop primer*; FCAW; Fluoreto.

ABSTRACT

Shipbuilding, offshore, civil construction and mechanical industries use structural steels that can be stored for a long time and even exposed to the weather. In this way the material must be protected, mainly against corrosion. For this, painting is carried out with a paint known as shop primer or pre-construction paint, which, in addition to acting as a corrosion inhibitor, can negatively affect the welding process and compromise the quality of the welds. To overcome these inconveniences, it is necessary to develop new alternatives that produce weld beads equivalent to those obtained in uncoated plates. With the aim of optimizing the welding process on plates painted with primer, this work investigated the influence of fluoride charge added in a commercial formulation of shop primer over welds made with tubular wire E71T1-C1A2-CS2 with 100% CO₂ gas protection. In a comparative way, this work evaluated four conditions: base plate without primer, painted with primer without fluoride, with primer and with 7.5% m/m and 15% m/m of fluoride addition. It was verified that the primer inhibits the adhesion of the welding spatter on the plates and influences the morphology of the weld, generating wider and deeper beads. On the other hand, the fluoride acts to attenuate these effects, when compared with the results obtained with unfilled paint. It was also verified that the primer without fluoride charge does not influence the microstructures obtained in comparison with welds made without primer. However, it was found that the presence of fluoride increases the volumetric fraction of acicular ferrite and aligned second-phase ferrite reducing grain boundary primary ferrite and intragranular ferrite fractions. Finally, the electric signals shows that the primer increases the average welding voltage and the presence of fluoride tends to attenuate this effect. The average current tends to decrease with the presence of the primer and the fluoride charges intensifies this effect. Consequently, samples with fluoride load have lower thermal inputs than the other samples. Additionally, it was observed that the primer presence changes the metallic transfer increasing the voltage frequency cycles.

Keywords: Active flux; Shop primer; FCAW; Fluoride.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Soldagens FCAW sem proteção gasosa (à esquerda) e com proteção gasosa (à direita).....	17
Figura 2 - Efeito do gás de proteção no perfil do cordão.....	18
Figura 3 - Seções transversais dos cordões de solda em placas de 5 mm do aço AISI 304 -soldagem A-TIG com diferentes fluxos	20
Figura 4 - Seções transversais de cordões de solda TIG e A-TIG em aço inoxidável austenítico obtidos com as mesmas condições de soldagem	21
Figura 5 - Influência do fluxo ativo na soldagem EBW de aço inox 304 – (A) soldagem sem fluxo e (B) soldagem com fluxo	22
Figura 6 - Perfis de cordões de solda com diferentes fluxos - soldagem GMAW	23
Figura 7 - Diferenças de arco elétrico entre a soldagem TIG e A-TIG	24
Figura 8 - Diferenças de sentido de fluxos - (A) líquido de alta pureza e (B) material contaminado com tensoativo.....	25
Figura 9 - Efeito da constrição do arco elétrico	26
Figura 10 - Perfis de cordões de solda de diferentes tipos de fluxo com soldagem GMAW.....	27
Figura 11 - Gráfico que relaciona a pressão parcial de H ₂ no arco elétrico com concentração calculada de H ₂ no metal de solda.....	28
Figura 12 - Fluxograma da metodologia.....	32
Figura 13 - Chapa jateada.....	33
Figura 14 – Equipamento utilizado na pintura	35
Figura 15 - Chapa pintada com primer - amostra sem fluoreto; 0%	36
Figura 16 - Pontos de medição da espessura do shop primer	37
Figura 17 - Montagem sobre a tartaruga para soldagem	38
Figura 18 – Tensão de corte - amostra 1(15%).....	39
Figura 19 - Fracionamento dos cordões de solda e escolha das faces a serem analisadas	40
Figura 20 - Perfil do cordão de solda	41
Figura 21 - Região amostrada.....	42
Figura 22 - Espessuras das camadas de tinta	43

Figura 23 - Chapas pintadas – A) amostra sem fluoreto - 0%; B) amostra com carga de 7,5% de fluoreto C) amostra com carga de 15% de fluoreto. Detalhes com ampliação de 5X.....	44
Figura 24 - Chapa soldada - amostra 15%-A	45
Figura 25 - Respingos – amostra sem primer “C”. A) chapa soldada; B) Frame da soldagem.....	46
Figura 26 - Respingos – amostra 7,5% “C”. A) chapa soldada; B) Quadro da soldagem	47
Figura 27 - Respingos em trajetória parabólica.....	48
Figura 28 - Marcas de trajetória do respingo.....	49
Figura 29 - Microestruturas das amostras sem primer – a)200X; b)400X	51
Figura 30 - Microestruturas das amostras com primer sem carga de fluoreto – a)200X; b)400X.....	52
Figura 31 - Microestruturas das amostras com primer e com carga de fluoreto 7,5% – a)200X; b)400X	53
Figura 32 - Microestruturas das amostras com primer e com carga de fluoreto 15% - – a)200X; b)400X	54
Figura 33 – Largura dos cordões de solda	56
Figura 34 - Penetração dos cordões de solda	57
Figura 35 - Área de penetração do cordão de solda	57
Figura 36 - Perfis dos cordões de solda - A) amostra sem primer; B) amostra com primer e sem carga de fluoreto; C) amostra com 7,5% de fluoreto; D) amostra com 15% de fluoreto	58
Figura 37 - Reforço dos cordões de solda	59
Figura 38 – Áreas dos reforços dos cordões de solda	60
Figura 39 - Diluição dos cordões de solda	60
Figura 40 – Área total dos cordões de solda	61
Figura 41 – Tensão média na soldagem	62
Figura 42 – Corrente média na soldagem	62
Figura 43 – Aporte térmico na soldagem	63
Figura 44 - Oscilogramas de tensão - A) sem primer; B) com primer e sem fluoreto; C) 7,5% de fluoreto; D) 15% de fluoreto	64
Figura 45 - Oscilogramas de corrente - A) sem primer; B) com primer e sem fluoreto; C) 7,5% de fluoreto; D) 15% de fluoreto.....	65

Figura 46 - Oscilograma de tensão da soldagem sobre chapa com shop primer e adição de 15% de carga de fluoreto - Intervalo de 2 a 3s	66
Figura 47 - Frequência de ciclos (s^{-1}).....	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição química do aço carbono ASTM A36	33
Tabela 2 – Amostras	34
Tabela 3 - Parâmetros de soldagem propostos.....	37
Tabela 4 - Composição química típica do arame tubular E71T1-C1A2-CS2	38

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AWS	<i>American Welding Society</i>
EBW	<i>Electron Beam Welding</i>
FCAW	<i>Flux Cored Arc Welding</i>
FCAW-S	<i>Self-Shielded Flux Cored Arc Welding</i>
FCAW-G	<i>Gas Shielded Flux Cored Arc Welding</i>
GMAW	<i>Gas Metal Arc Welding</i>
IIW	<i>International Institute of Welding</i>
LBW	<i>Laser Beam Welding</i>
PAW	<i>Plasma Arc Welding</i>
PCP	<i>Preconstruction Prime</i>
UTS	<i>Ultimate Tensile Strength</i>
YS	<i>Yield Strength</i>
ZTA	Zona termicamente afetada
P.A.	Para análise
DBCP	Distância bico de contato peça

LISTA DE SÍMBOLOS

Al_2O_3	Alumina
Ar	Argônio
C	Carbono
CO	Monóxido de carbono
CO_2	Dióxido de carbono
Fe	Ferro
FeO	Óxido de ferro(II)
HF	Fluoreto de hidrogênio
KF	Fluoreto de potássio
K_3AlF_6	Hexafluoraluminato de potássio
MnF_3	Fluoreto de manganês
O_2	Oxigênio
Si	Silício
TiO_2	Dióxido de titânio
mm	milímetro
<i>I_m</i>	Corrente média
σI_m	Desvio padrão da corrente média
<i>V_m</i>	Tensão média
σV_m	Desvio padrão da tensão média
Ø	Diâmetro
µm	micrometro
v/v	título volume por volume

SUMÁRIO

1. Introdução	15
2. Objetivos	16
3. Revisão Bibliográfica	17
3.1.2 Arames Tubulares	18
3.1.2.1 Arames tubulares rútilicos	19
3.2 Soldagem com fluxo ativo	19
3.3.1 Efeito dos fluxos ativos na solda	24
3.3.1.1 Fluxos com fluoretos	27
3.4 Tintas de pré-construção (<i>Shop Primer</i>).....	29
3.4.1 Soldagem sobre primers	29
4 Metodologia.....	32
4.1 Preparação das chapas metálicas	33
4.2 Preparação dos <i>shop primers</i>	34
4.3 Pinturas das chapas e medição da espessura tinta	35
4.4 Deposição dos cordões de solda sobre chapa	37
4.5 Filmagem das soldagens.....	39
4.6 Monitoramento de tensão e corrente e análises desses sinais	39
4.7 Preparação das amostras para análise macro e microestrutural	39
4.7.1 Análise macroestrutural.....	41
4.7.2 Análise microestrutural.....	42
5 Resultados e discussão.....	43
5.1 Espessura de tinta das pinturas	43
5.2 Análise visual das soldas	45
5.2 Microestrutura das soldas	49
5.3 Morfologia dos cordões de solda.....	55
5.4 Análises dos sinais elétricos.....	61

6 Conclusões.....	67
7 Sugestões para trabalhos futuros.....	68
6 Referências Bibliográficas	69

1. Introdução

As indústrias naval, *offshore*, de construção civil e mecânica são grandes consumidoras de aços estruturais que, por vezes, podem passar meses armazenados ou em processamento. Para evitar que esses materiais degradem, sobretudo por oxidação, são realizadas pinturas com uma tinta de pré-construção, ou *shop primer*, que tem como função principal atuar como inibidor de corrosão. Apesar de atuar eficientemente contra corrosão, a pintura dificulta a execução da soldagem e pode comprometer a solda produzida.

Dentre os processos mais empregados na montagem de tais estruturas, destaca-se a soldagem com arames tubulares (FCAW), sobretudo com proteção gasosa devido, entre outros fatores, à alta produtividade. O desenvolvimento de novas formulações de fluxos ajudou a consolidar a utilização desse tipo de processo pela melhora na qualidade do metal depositado, inclusive na soldagem sobre *shop primer*. Contudo, as características dos eletrodos tubulares podem não ser suficientes em garantir cordões de soldas isentos de discontinuidades sob as condições citadas. Para tentar evitar tais problemas, é necessário: controlar a velocidade da soldagem, tornando o processo mais lento; remover o revestimento de *shop primer* anteriormente a soldagem para eliminar as ocorrências de discontinuidades ou, pelo menos, minimizá-las. No entanto, essas medidas tornam o processo mais lento e mais oneroso.

Para contornar os inconvenientes no processamento e custos adicionais gerados pela soldagem sobre chapas recobertas com *shop primer*, é necessário desenvolvimento de novas alternativas que produzam cordões de solda equivalentes aos obtidos em soldagens sobre chapas sem recobrimento. Embora haja evolução nas formulações de fluxos dos consumíveis de soldagem para otimizar a operação sobre os *shop primers*, pouco se avançou na formulação dessas tintas nesse sentido, pois seu principal objetivo é proteger contra o processo corrosivo.

Este trabalho tem como proposta utilizar diferentes quantidades de um sal de fluoreto como carga ativa em *shop primer* a base de etil silicato de zinco e verificar sua influência sobre o processo de soldagem e o metal de solda depositado produzido empregando o processo de soldagem FCAW nas chapas revestidas.

2. Objetivos

Verificar a influência de fluoreto usado como carga em tinta de pré-construção (*shop primer*) a base de etil silicato de zinco sobre soldas produzidas pelo processo FCAW em chapas de aço carbono revestidas.

2.1 Objetivos específicos

- Preparar “*shop primers*”, sem e com diferentes cargas de fluoreto de lítio e aplicar de modo mecanizado sobre chapas de aço ASTM A36 garantindo assim uma espessura de camada constante e homogênea;
- Realizar soldas sobre as chapas pintadas, de modo mecanizado, por meio do processo FCAW com arame tubular classe E71T1-C1A2-CS2, mantendo constantes os parâmetros de soldagem;
- Monitorar e avaliar o comportamento dos parâmetros elétricos (tensão e corrente) durante a soldagem, de forma a avaliar o efeito do primer quanto à estabilidade do processo;
- Avaliar a influência de fluoreto sobre aspectos morfológicos, largura, penetração e reforço; e metalográficos, microestrutura, dos cordões de soldas produzidos, além da presença de possíveis discontinuidades.

3. Revisão Bibliográfica

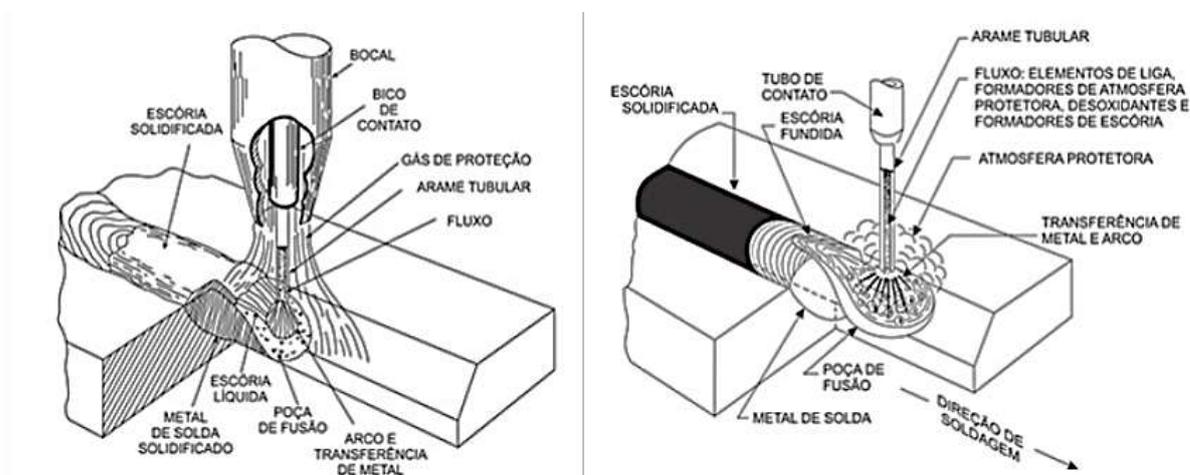
3.1 Soldagem com arames tubulares (FCAW)

A soldagem com arames tubulares é bastante utilizada em setores industriais como o naval, *offshore* e construção mecânica, pois apresenta elevada taxa de deposição, em comparação com soldagens realizadas por de outros processos. Pode ser executada de forma contínua e ininterrupta, é facilmente adaptável, pode ser utilizada para soldagem em campo, além de haver a possibilidade de soldar em todas as posições (BARBEDO, 2011; LEZZI *et al.*, 2015).

Segundo STARLING *et al.* (2011), os cordões de soldas produzidos apresentam excelentes características metalúrgicas devido à atuação dos fluxos, que podem: contribuir com o ajuste da composição química do metal de solda; gerar de gases de proteção; auxiliar na estabilização do arco; adicionar agentes desoxidantes, formadores de nitretos e de escória; influenciar nas propriedades mecânicas e no perfil do cordão de solda.

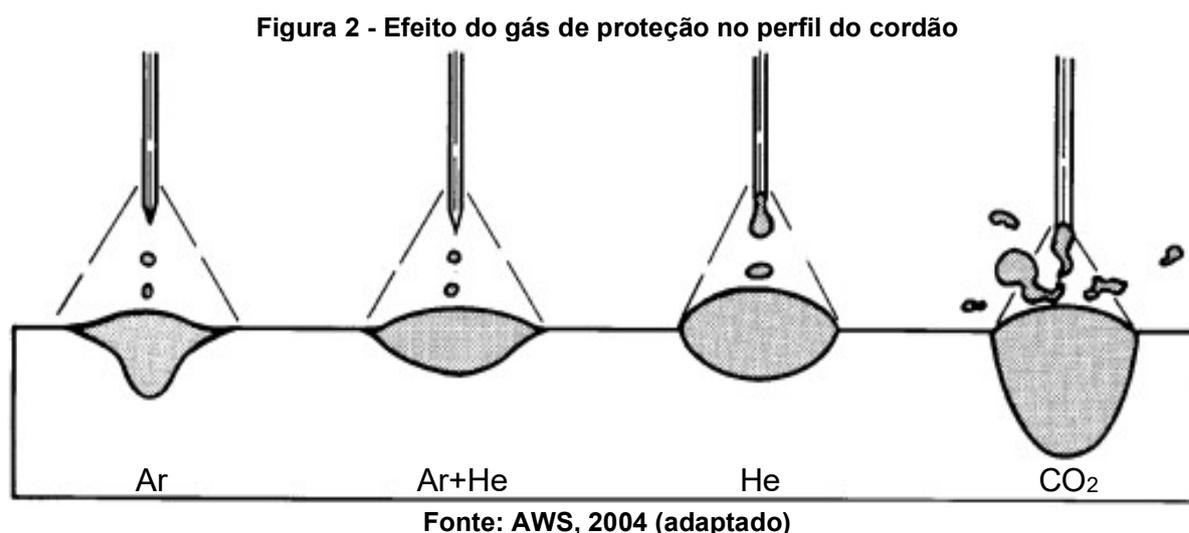
O processo FCAW apresenta duas variações: auto protegido (FCAW-S – *Self-Shielded Flux Cored Arc Welding*) e com proteção gasosa (FCAW-G – *Gas-Shielded Flux Cored Arc Welding*), ilustrados na Figura 1.

Figura 1 - Soldagens FCAW sem proteção gasosa (à esquerda) e com proteção gasosa (à direita).



Fonte: AWS, 2004 (adaptada)

Basicamente, as diferenças se devem às formas em que o arco elétrico e a poça de fusão são protegidos da atmosfera e de elementos presentes nessa, durante a soldagem, principalmente: oxigênio, nitrogênio e hidrogênio. Enquanto o processo FCAW-S utiliza arames desenvolvidos para aplicação sem gás de proteção, o processo FCAW-G utiliza uma fonte externa de gás para proteger a poça de fusão da atmosfera. Ademais, os gases podem ter funções complementares às protetivas, tornando as soldagens mais eficientes: aumentando a penetração do cordão de solda e a taxa de deposição metálica, auxiliando na estabilidade do arco elétrico, influenciando na microestrutura do metal depositado e, conseqüentemente, nas propriedades mecânicas, influenciando no modo de transferência metálica e no perfil do cordão de solda, conforme exemplificado pela Figura 2. (ALVES *et al.*, 2016; WIDGERY, 1994).



3.1.2 Arames Tubulares

Os arames tubulares para soldagem com proteção gasosa externa podem ser do tipo “*flux cored*”, fluxo não-metálico, ou “*metal cored*” fluxo metálico. Os “*flux cored*” podem ser, em função das características do fluxo, classificados em rútilicos ou básicos. Dentre esses arames, o mais utilizado para soldagem de estruturas é o do tipo rútilico.

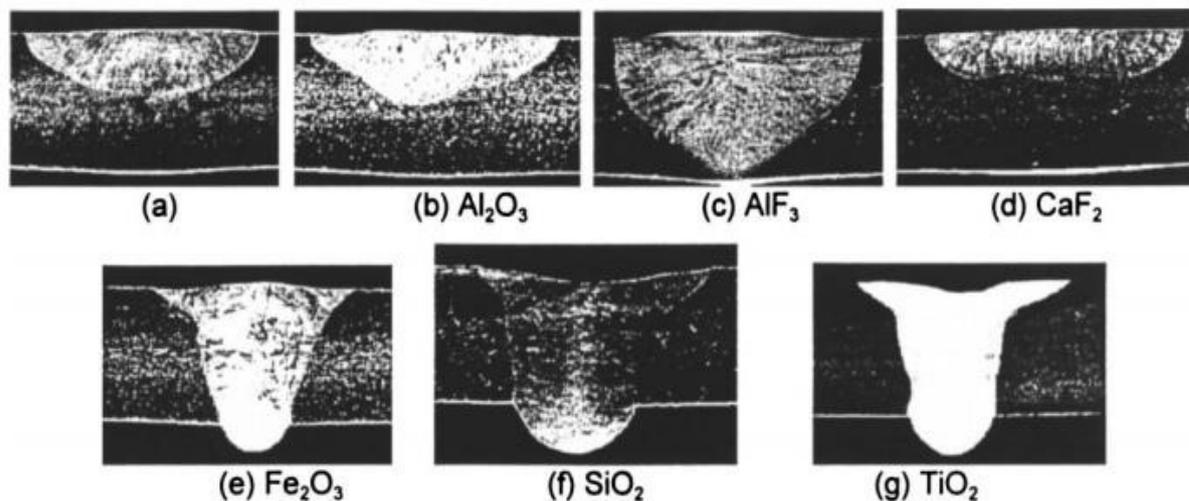
3.1.2.1 Arames tubulares rutilicos

Segundo Widgery (1994), o desenvolvimento desse tipo de arame permitiu trabalhar com uma faixa maior de temperatura de fusão e de viscosidade da escória, se comparado aos eletrodos tubulares básicos, por causa do mineral rutilo. Dessa forma, é possível utilizá-lo para soldar em qualquer posição: soldas com escórias mais viscosas para a soldagem nas posições vertical e sobre cabeça; escórias fluidas para a soldagem a altas velocidades na posição plana, resultando em maior produtividade. Adicionalmente, a presença do titânio (Ti) contribui para suavizar e estabilizar o arco elétrico. Starling *et al.* (2009) e Widgery (1994) relatam que em arames tubulares rutilicos podem conter de óxido de cálcio (CaO). Esse componente contribui para aumentar a fluidez do metal solda e na tendência de ocorrer transferência metálica do tipo globular.

3.2 Soldagem com fluxo ativo

A soldagem por fluxo ativo, ou soldagem ativada por fluxo, é uma técnica que consiste na aplicação de uma fina camada de material sobre uma superfície a ser soldada para otimizar o processo de soldagem. O fluxo aplicado é um preparado, podendo ser uma suspensão ou pasta, composta por uma parte inorgânica, geralmente óxidos e/ou sais, mais comuns de halogênios, e outra sendo um solvente, sendo álcoois e acetona ou mais utilizados. A parte inorgânica pode ser de um componente simples ou uma mistura de insumos. Muitos trabalhos não revelam a composição desses por ser segredo industrial e, portanto, de interesse comercial. Mas fato é que o fluxo ativo promove alterações na geometria do cordão de solda. A Figura 3 apresenta soldas produzidas pelo processo A-TIG com diferentes composições de fluxo. O preparado é aplicado sobre a superfície a ser soldada, ou por de *spray* ou com pincel. Posteriormente, o solvente evapora e o fluxo fica aderido sobre a superfície do metal de base (MODENESI, 2013; AZEVEDO 2012; LU *et al.* 2003).

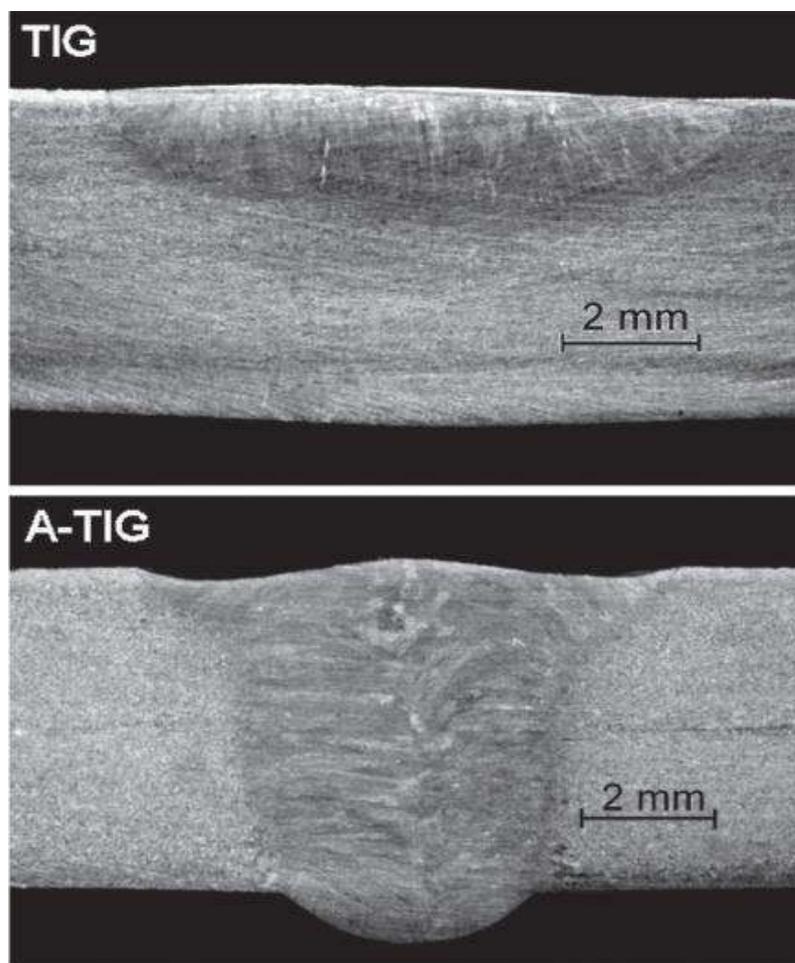
Figura 3 - Seções transversais dos cordões de solda em placas de 5 mm do aço AISI 304 - soldagem A-TIG com diferentes fluxos



Fonte: Modenesi et al., 2000

Segundo Neto (2017), a soldagem por fluxo ativo se originou a partir da percepção de desvios nos processos de soldagem a TIG (*Tungsten Arc Welding*) em metais não ferrosos e em ligas de aços inoxidáveis. De alguma forma, até então não explicada, houve alterações significativas no perfil do cordão de solda. Então, estudos sobre o tema mostraram que a presença de alguns elementos, sendo alguns de liga, como Al, O, S e Ti; poderiam mudar a geometria do cordão de solda. E foi atribuído aos elementos que promoviam alterações no processo de soldagem o caráter ativo. Posteriormente, foram realizados estudos com aplicações superficiais de fluxos simples e inorgânicos que continham elementos ativos, sobre chapas metálicas de diversos tipos e ligas. Por meio desses foi constatada a atividade dos elementos nas soldagens e que são necessárias pequenas quantidades dos fluxos para promover alterações nas soldas. Camadas com algumas dezenas ou centenas de micrometros de espessura são suficientes para alterar o arco elétrico e, conseqüentemente, o perfil do cordão de solda, diminuindo a largura e aumentando a penetração, como apresenta a Figura 4. No caso da soldagem TIG com fluxo ativo, A-TIG (*Active Flux Tungsten Arc Welding*), experimentos realizados obtiveram aumentos de penetração de aproximadamente 300%. Foram também obtidos cordões de solda com 10mm de profundidade, feitos um único passe. (TWI, 1995; MODENESI, 2013).

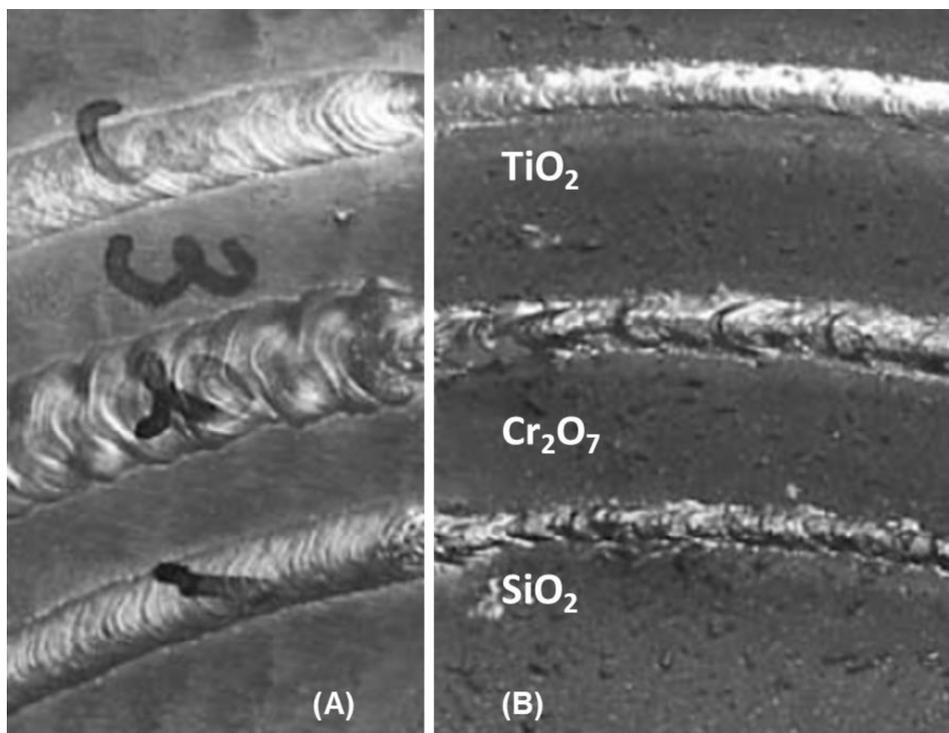
Figura 4 - Seções transversais de cordões de solda TIG e A-TIG em aço inoxidável austenítico obtidos com as mesmas condições de soldagem



Fonte: Modenesi, 2013

Na literatura são encontrados diversos estudos relacionados ao fluxo ativo e as tecnologias que os utilizam, não estando restrita apenas a soldagem A-TIG. Esses estudos abordam, também, processos de soldagens que não utilizam arco elétrico como fonte de energia, dentre eles: soldagem por feixes de elétrons - EBW (*Electron Beam Welding*) (Figura 5), a LASER - LBW (*Laser Beam Welding*), a plasma - PAW (*Plasma Arc Welding*). Pesquisas com fluxo ativo na soldagem GMAW foram realizadas, contudo são mais recentes e não há muitas a respeito (MODENESI, 2013; UCHOA, 2017).

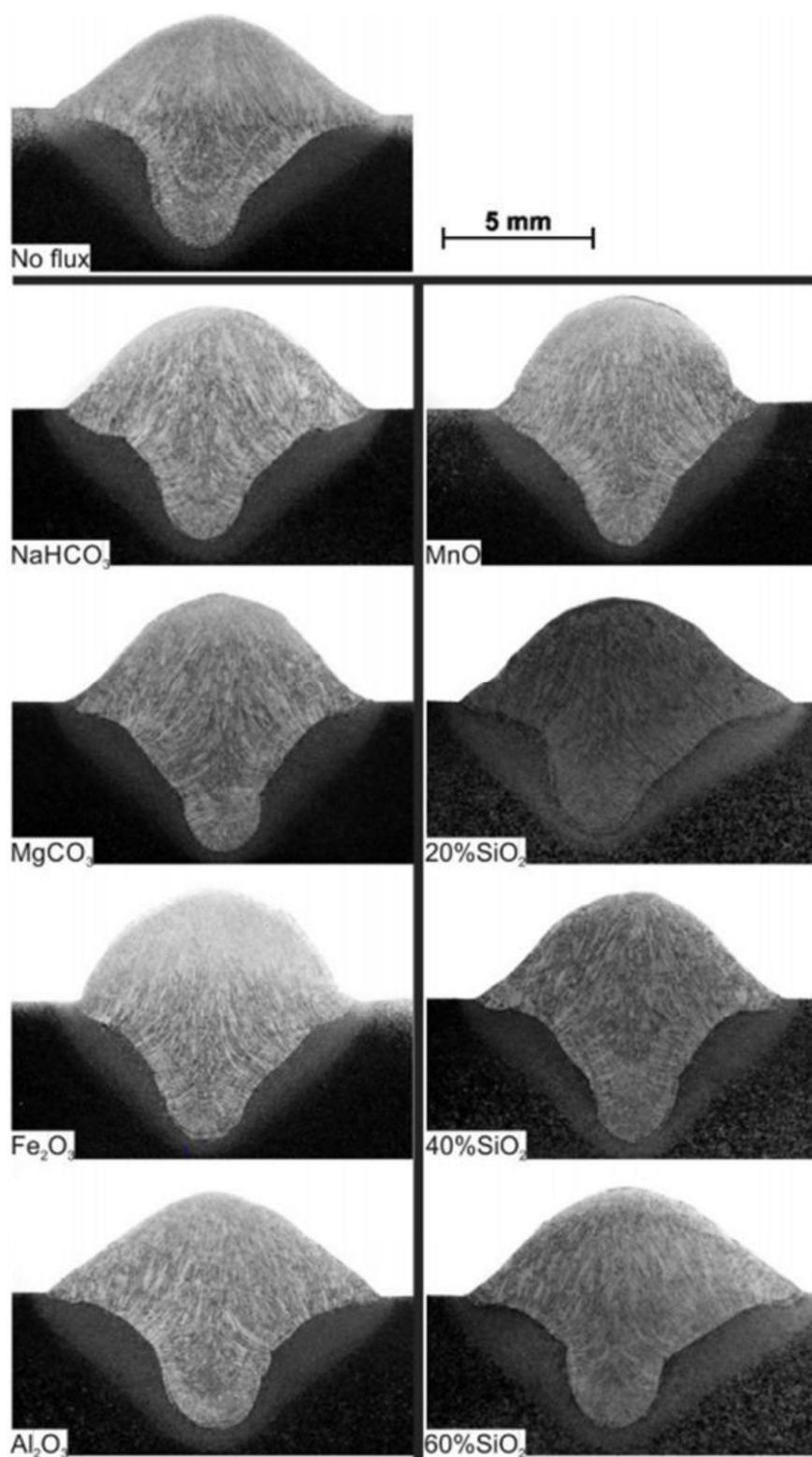
Figura 5 - Influência do fluxo ativo na soldagem EBW de aço inox 304 – (A) soldagem sem fluxo e (B) soldagem com fluxo



Fonte: Ruihua, 2006

A Figura 6 mostra os resultados obtidos por Varbai *et al.* (2016) em que foram realizadas soldas pelo processo GMAW com proteção gasosa (82% Argônio+18% CO₂). Os autores verificaram que pequenas quantidades de fluxos podem alterar a geometria dos cordões de solda, quando comparado com as soldas feitas sem influência desses. Os autores ainda citam que o teor de oxigênio tem relação com tendência de aumento na largura das soldas. Por fim, observaram que as mudanças na geometria da solda não afetaram a microestrutura.

Figura 6 - Perfis de cordoes de solda com diferentes fluxos - soldagem GMAW

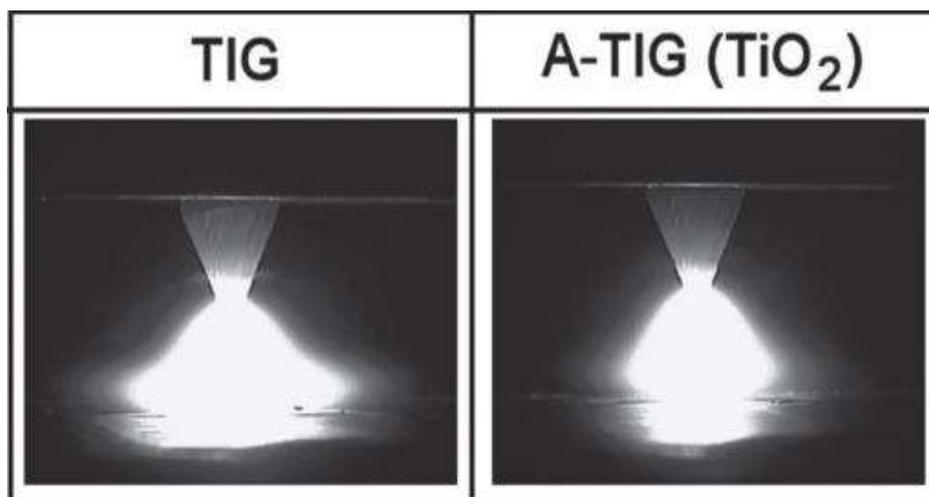


Fonte: Varbai, 2016 (adaptada)

3.3.1 Efeito dos fluxos ativos na solda

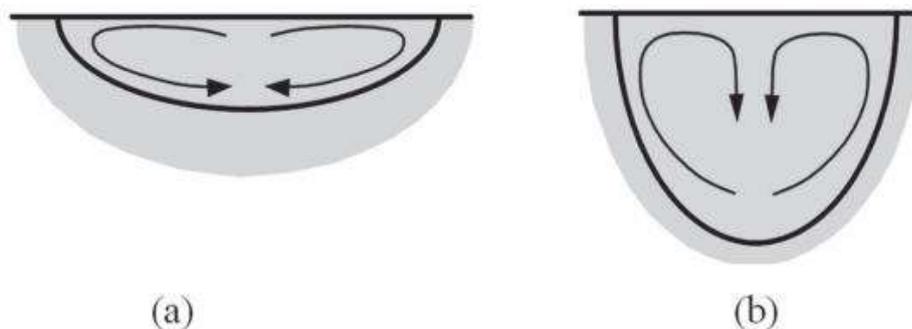
Algumas teorias explicam os mecanismos de atuação dos fluxos ativos, principalmente sobre a penetração. Nas situações onde é observado aumento da penetração do cordão de solda, foram notadas a diminuição da largura e a constrição do arco elétrico. Entre as hipóteses propostas pelos autores que estudam tais processos, duas são as mais citadas. Uma propõe que a constrição do arco, mostrado no comparativo feito na Figura 7, provém de reações no fluxo, provocadas pelo arco elétrico, e que aumentam a densidade da corrente elétrica e de energia. A outra diz que a inversão no sentido do fluxo de convecção da poção de fusão em função de reações químicas e/ou alterações de tensões superficiais promovem o aumento da penetração (Efeito Marangoni) conforme indicado na Figura 8. Alguns autores, por sua vez, indicam que ambos os fenômenos ocorrem simultaneamente. (MODENESI, 2013; VARBAI, 2016; AZEVEDO, 2012). Além desses fenômenos, a utilização de fluxo ativo pode influenciar em outras características das soldas, como: teor de hidrogênio difusível, aumento de reforço do cordão, alterações nas dimensões e microestrutura da solda e zona termicamente afetada – ZTA, dentre outras (VARBAI, 2016; SINGH, 2020).

Figura 7 - Diferenças de arco elétrico entre a soldagem TIG e A-TIG



Fonte: Modenesi, 2013 (adaptada)

Figura 8 - Diferenças de sentido de fluxos - (A) líquido de alta pureza e (B) material contaminado com tensoativo

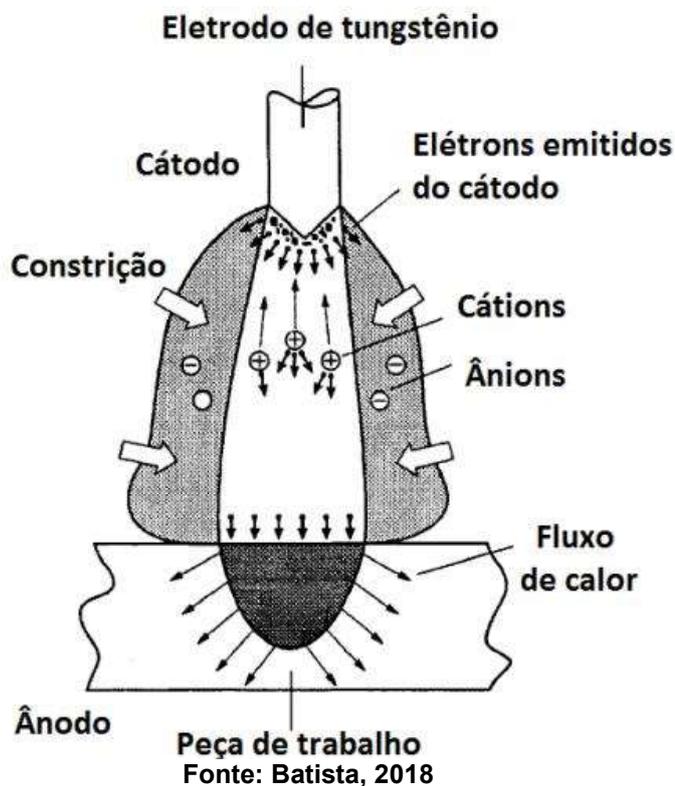


Fonte: Modenesi, 2013

Os autores que defendem a teoria da constrição do arco elétrico, tiveram seus estudos baseados, inicialmente, em resultados de experimentos realizados com fluxos que continham halogênios ou outros elementos eletronegativos; flúor, oxigênio e cloro (MODENESI, 2013; LECONTE *et al.* 2007). Segundo essa teoria, os elementos presentes no fluxo, átomos ou moléculas quando dissociadas, devida a intensa energia arco elétrico, são capazes de capturar os elétrons das regiões mais periféricas do arco elétrico e formar ânions, o que faz com que a corrente elétrica concentre no centro da coluna de plasma do arco. Essa captura dos elétrons da periferia do arco resulta no efeito constritivo, como exemplificado pela Figura 9 (LECONTE *et al.*, 2007). Além disso, como no centro da coluna a temperatura é maior, átomos dos vapores metálicos são mais facilmente ionizados para a forma de cátions, cedendo elétrons para o arco e facilitando a passagem da corrente elétrica. Com a diminuição da área do arco, a densidade de corrente do anodo aumenta, resultando em uma maior força do arco sobre a poça de fusão, resultando no aumento da penetração (BATISTA, 2018).

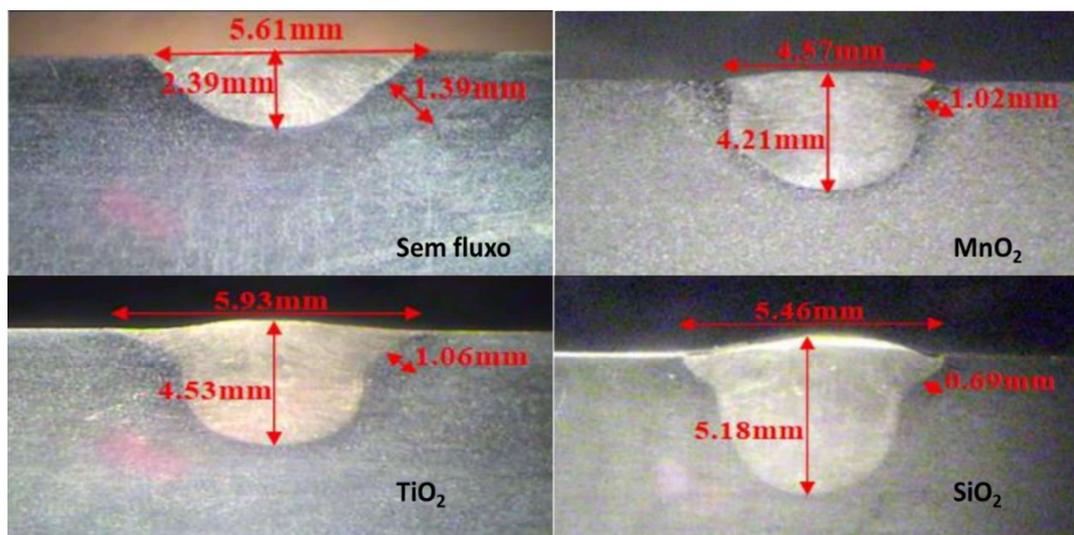
Ainda segundo Leconte *et al.* (2007) e Modenesi (2013), uma outra abordagem para explicar o aumento de penetração do cordão de solda nos processos que utilizam fluxo ativado é o Efeito Marangoni. Elementos ativos presentes na poça de fusão reduziram a tensão superficial dessa, gerando movimentos de convecção centrípetos, conforme mostra a Figura 8(b). Essa situação, segundo os pesquisadores citados, ocorre no processo A-TIG. A soldagem TIG, segundo Leconte *et al.* (2007), o efeito Marangoni não favorece a penetração do cordão de solda, pois o movimento da poça de fusão é centrífugo, como exposto pela Figura 8(a).

Figura 9 - Efeito da constrição do arco elétrico



As pesquisas realizadas por Singh *et al.* (2020) e Varbai *et al.* (2016), ambas em processo de soldagem com fluxo ativado, mostram que fluxos ativos alteram o perfil do cordão de solda e do perfil da ZTA, Figura 10. Em Varbai (2016), o fluxo que não teve caráter ativo na soldagem foi o fluxo de Al_2O_3 (Figura 6), resultado também obtido em estudos com soldagem A-TIG (Figura 3(b)) (MODENESI, 1998). Ainda em Varbai (2016), os resultados obtidos não mostraram diferenças nas microestruturas da ZTA e do cordão de solda. Entretanto, a análise microestrutural ainda é pouco estudada em soldagem com fluxo ativo em processo GMAW.

Figura 10 - Perfis de cordões de solda de diferentes tipos de fluxo com soldagem GMAW



Fonte: Sigh, 2020

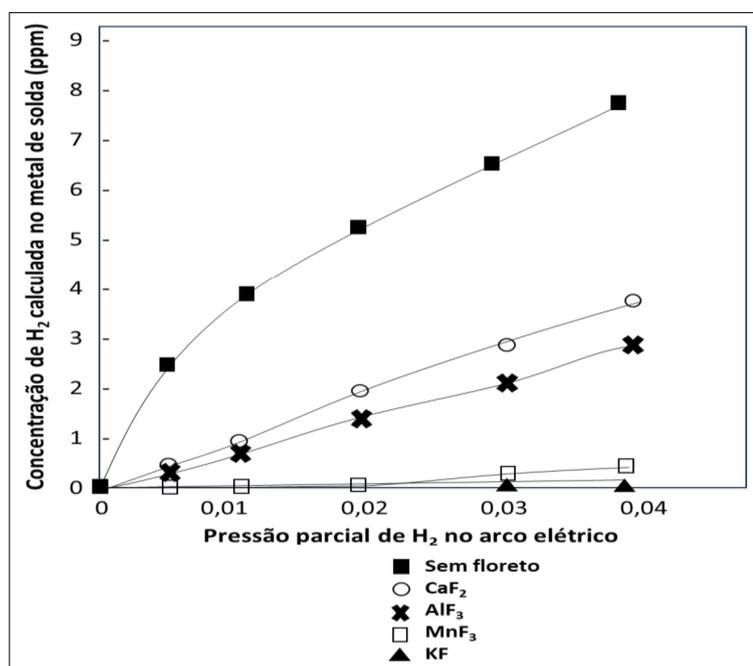
3.3.1.1 Fluxos com fluoretos

Como mencionado, os mecanismos envolvendo os fluxos ativos, ainda não são bem definidos. Contudo, elementos mais eletronegativos, em especial o oxigênio e os halogênios, flúor e cloro, geralmente fazem parte das composições dos fluxos que conseguem aumentar a penetração do cordão de solda. Estudos sobre as soldagens com tais compostos evidenciam uma alteração no comportamento do arco elétrico, por meio da constrição, e consequente aumento de penetração do cordão de solda. Como esses elementos não alteram a tensão superficial da poça de fusão, sua atuação ocorre diretamente e apenas na física do arco elétrico (LECONTE et al., 2007; OLIVEIRA, 2007). O flúor é o elemento mais eletronegativo e, quando dissociado, aumenta ainda mais sua afinidade em atrair elétrons (MATSUSHITA e LIU, 2000). Segundo Leconte *et al.* (2007), além da densificação do arco elétrico, ocorre aumento da temperatura, fato evidenciado pela espectroscopia de emissão óptica devido ao efeito de ativação fluoreto.

O estudo de Matsushita e Liu (2000) cita três mecanismos que minimizam o hidrogênio (H₂) difusível. A explicação sobre o primeiro mecanismo diz que a basicidade do fluxo, na soldagem, influencia na diminuição da pressão parcial de H₂ no arco elétrico, reduzindo a solubilidade desse elemento na poça de fusão. Comparando os fluxos, quanto maior a basicidade, menor a pressão parcial de H₂ e, portanto, menor o teor de H₂ difusível. O gráfico da Figura 11 mostra que o caráter

básico de cada fluoreto utilizado nesse estudo influencia diretamente no teor de hidrogênio difusível, mas com eficiências diferentes. O segundo mecanismo propõe que a presença de gases de proteção na soldagem dilui o H_2 presente na atmosfera em torno do arco elétrico e, assim, tem-se a pressão parcial desse elemento também diminuída e conseqüente redução da diluição na poça de fusão. Por fim, o terceiro mecanismo, teórico, propõe que o flúor (F) presente no fluxo reaja com o hidrogênio no processo de soldagem, formando uma espécie insolúvel ao cordão de solda, o fluoreto de hidrogênio no estado gasoso (HF). À medida que essa espécie insolúvel se forma, o H_2 presente na soldagem é consumido e, conseqüentemente, a pressão parcial de H_2 é reduzida. E, assim como nos mecanismos anteriores, o teor de H_2 difusível também diminui. Matsushita e Liu (2000) ainda dizem que esses três mecanismos podem ocorrer concomitantemente durante a soldagem.

Figura 11 - Gráfico que relaciona a pressão parcial de H_2 no arco elétrico com concentração calculada de H_2 no metal de solda



Fonte: Matsushita e Liu, 2000 (adaptado)

Vaz e Bracarense (2014) e Vaz *et al.* (2017) verificaram que a presença de flúor em carga polimérica adicionado ao revestimento de eletrodos básicos e fluxos de arames tubulares com base celulósica, influenciam na redução de hidrogênio difusível do metal de solda, melhora a estabilidade do processo de soldagem, além de contribuir na obtenção do microconstituente ferrita acicular.

3.4 Tintas de pré-construção (*Shop Primer*)

As tintas de pré-construção ou *shop primers* ou *preconstruction primer* (PCP) são revestimentos primários ou tintas que contêm cargas anticorrosivas e que são aplicados sobre superfícies para protegerem os substratos de sofrerem deteriorações: químicas e eletroquímicas. Dentre os sistemas de pintura, as protetivas, a aplicação do *primer* é considerada a mais importante, pois tem também como função servir como base de aderência para posterior pintura (VERGES, 2005; LU *et al.* 2003). E Segundo relata Lu *et al.* (2003), os primers orgânicos têm sido amplamente utilizados para proteger metais em ambientes corrosivos devido ao bom desempenho físico, químico, mecânico e baixo custo.

Streitberger (2018) relata que os primers têm como características: aderência ao substrato, coesão, resistência química, inércia e proteção corrosiva. Os primers possuem como seus constituintes fundamentais o veículo fixo, pigmentos, solventes e aditivos. Para atmosferas marinhas e industriais, é recomendado o uso de tintas ricas em zinco à base de silicato de etila ou pigmentadas com óxido de ferro e fosfato de zinco. No caso do veículo fixo, Johnson *et al.* (1998) cita que as películas poliméricas utilizadas podem ser: epóxis, poliuretanos, silicatos de etila, poliésteres, vinílicas, entre outras; ao veículo, podem ser adicionados plastificantes para dar mais maleabilidade ao primer. E as películas poliméricas auxiliam a proteger o substrato fisicamente, criando uma barreira contra o meio externo. Os aditivos, sendo o mais comum o zinco metálico, atuam como protetores catódicos. Entretanto, para esse tipo de proteção ocorrer, a carga metálica tem que estar em contato com o substrato e em um meio eletroquímico em que é gerada uma diferença de potencial, no caso, entre o zinco metálico e o metal de base, que tem o ferro como maior massa de elemento de liga, e leva à corrosão preferencial do zinco e, portanto, proteção do substrato de aço (KNUDSEN, *et al.* 2005; GENTIL, 2007).

3.4.1 Soldagem sobre primers

Johnson *et al.* (1998), Yuan *et al.* (2016) e Suzuki (1990) *et al.* mencionam que a qualidade da solda geralmente é insatisfatória ao soldar diretamente sobre uma superfície pintada com primer, pois a presença desse pode levar a porosidade excessiva, instabilidade do arco, captação de carbono, perda de elementos de liga e

alto teor de hidrogênio difusível. Uma forma de contornar essas intercorrências é a remoção local do primer para soldagem diretamente sobre o substrato metálico.

Os autores ainda citam que a maior parte da porosidade do metal de solda resulta do aprisionamento de gás, sendo o hidrogênio, monóxido de carbono e dióxido de carbono os produtos mais prevalentes na pirólise do primer. As resinas à base de acrílico ou epóxi no primer podem fornecer grandes quantidades de carbono, hidrogênio e oxigênio à soldagem e à poça de fusão. À medida que o metal líquido começa a solidificar, gases como hidrogênio e monóxido de carbono podem saturar a solubilidade na poça de fusão, gerando poros. Para os primers à base de zinco, a resina e o zinco contribuem para a formação de descontinuidades de solda. O zinco vaporiza facilmente no arco de soldagem e pode ser retido na poça de fusão como poros. A porosidade pode ser a causa de reparo ou rejeição da solda resultante. Suzuki *et al.* (1990), cita que a presença de fluoretos e carbonatos auxiliam na redução dos gases na poça de fusão e diminuem o teor de hidrogênio difusível, e o carbonato auxilia também no controle de viscosidade da escória e desoxida.

Matsushita e Liu (2000, *apud* JOHNSON, 1998) mencionam que o uso de fluoreto de manganês (MnF_3) como carga de eletrodo tubular em soldagem sobre uma chapa de aço recoberta com *shop primer* proporcionou redução no teor de H_2 difusível. A soldagem foi realizada sobre uma chapa de aço recoberta por *shop primer* de base epóxi com a espessura de 0,11mm. Na soldagem sem a carga de MnF_3 o nível de hidrogênio estava em torno de 70mL/100g. Na soldagem com a adição de carga de fluoreto, o H_2 difusível foi reduzido para 13-15 ml/100g. Ainda no trabalho de Matsushita e Liu (2000), os autores realizaram soldagens utilizando fluoretos como carga, 5%*m/m*, de fluxo: hexafluoraluminato de potássio (K_3AlF_6); fluoreto de potássio (KF); fluoreto de manganês (MnF_3). O processo utilizado foi FCAW com os parâmetros: corrente de 30V, tensão de 270A, velocidade de 5,4-6,0mm/s, *heat input* de 1,4KJ/mm, alimentação de 91,7-104,2mm/s, *stickout* de 20mm; e soldagens realizadas sobre chapas de aço AISI1010. Também foi utilizado CO_2 , com 1% de H_2 e CO_2 com 4% de H_2 como gases protetivos. Os autores concluíram que a utilização de fluoreto de potássio é melhor em reduzir o teor de hidrogênio difusível, em detrimento aos outros fluoretos testados, sobretudo quando há maior pressão parcial de H_2 na atmosfera protetiva.

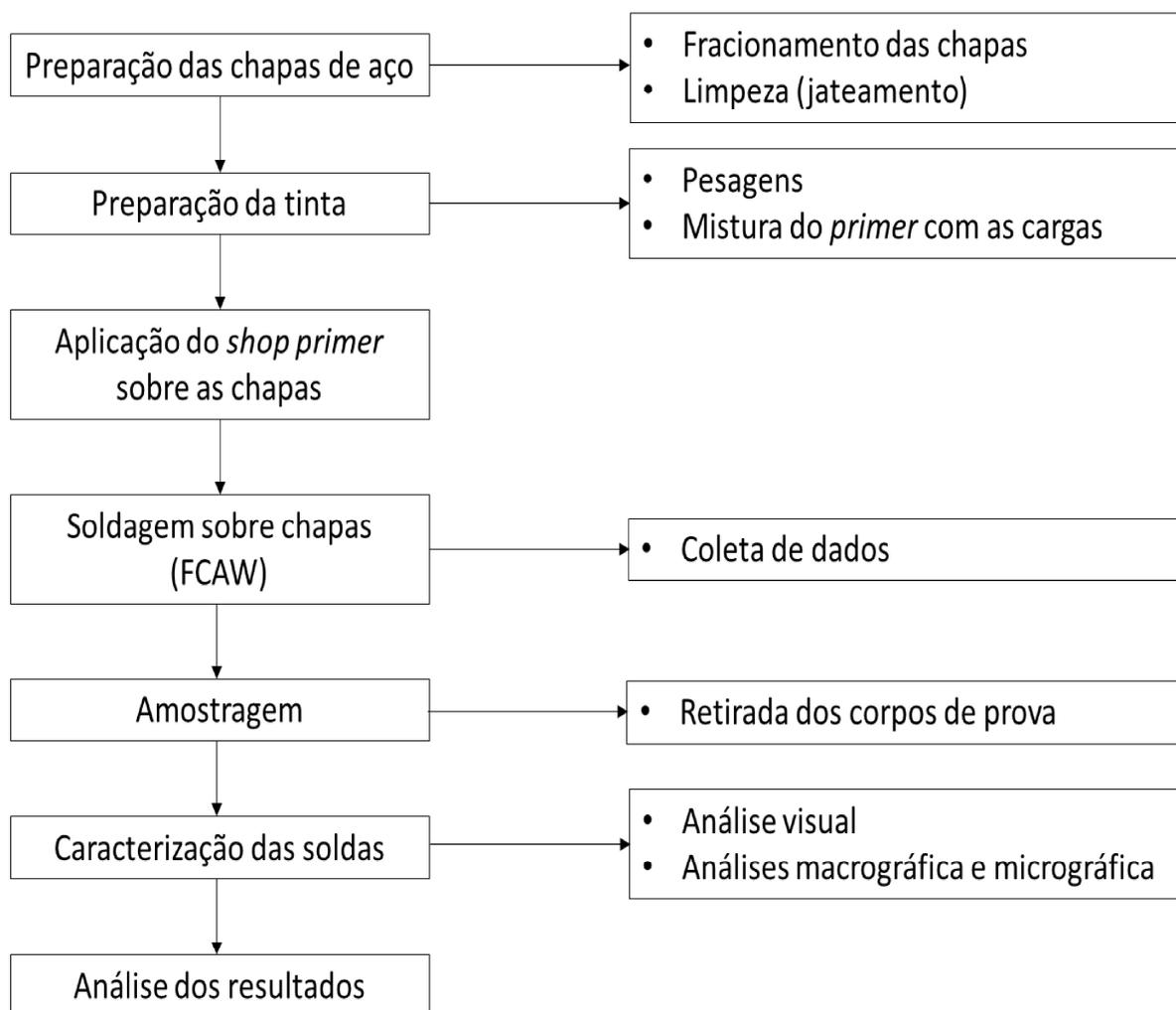
Na literatura não foram encontrados trabalhos que investigam a utilização fluoretos como cargas de *shop primers* com a finalidade de otimizar o processo de

soldagem e melhorar a qualidade do metal depositado. E Johnson *et al.* (1998) menciona que as eliminações das intercorrências de soldagens sobre superfícies pintadas com primers reduziriam os custos associados às operações de jateamento e de retrabalho para reparar as juntas de soldas defeituosas. O autor também conclui que o sucesso da soldagem sobre o primer resultaria claramente em ganhos significativos de produtividade e econômicos.

4 Metodologia

A Figura 12 é apresentada o fluxograma com as etapas realizadas para se atingir os objetivos propostos neste estudo.

Figura 12 - Fluxograma da metodologia



Fonte: Produzido pelo Autor

4.1 Preparação das chapas metálicas

Nesse trabalho foram utilizadas chapas de aço ASTM A36, de dimensões 200mm de comprimento, 60mm de largura e $\frac{3}{4}$ " de espessura, cuja especificação quanto a composição química é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 - Composição química do aço carbono ASTM A36

Elemento	C	Mn	P	S	Si	Cu
% em massa	0,26 (máx.)	0,85-1,35	0,04	0,05	0,40 (máx.)	0,20 (mín.)

Fonte: ASTM, 2014 (Adaptado).

As chapas tiveram suas superfícies preparadas por meio de jateamento abrasivo ao metal quase branco grau Sa 2 $\frac{1}{2}$ (ISO8501-1:1998), seguindo a recomendação do fabricante da tinta conforme ilustrado nla Figura 13.

Figura 13 - Chapa jateada



Fonte: Produzido pelo Autor

4.2 Preparação dos *shop primers*

O *shop primer* utilizado para pintar as chapas metálicas foi o *Interplate 855*, a base de etil silicato de zinco da marca *International Marine Coatings*. Esse produto foi preparado conforme determina o *data sheet* do fabricante na proporção em volume de 0,67 do reagente A (resina) para 1 do reagente B (reagente de cura). Especificamente para as amostras com carga de fluoreto de potássio, os volumes do reagente A foram medidos em proveta previamente tarada. Posteriormente, essas amostras tiveram suas massas mensuradas em balança analítica. A partir dessas medidas, foram pesadas massas de fluoreto de potássio correspondentes às proporções de 7,5% e 15% em relação ao reagente A. Deve-se destacar que o reagente A é uma poupa com suspensão de sólidos, que o fluoreto é um pó e que o reagente B é um composto volátil. Tendo estas considerações, foi arbitrado que a forma mais coerente e simples de se estabelecer uma relação entre primer e fluoreto foi por meio da relação massa por massa, citada. Em seguida, os componentes foram despejados em um recipiente, misturados até completa homogeneização e dissolução. Por fim, as tintas preparadas foram passadas em peneira 60 *mesh* (0.3mm). O percentual em massa de fluoreto foi calculado em relação à massa do reagente A do *shop primer*. Reagente utilizado como carga foi o fluoreto de lítio para análise (P.A.) da marca Dinâmica.

Por fim, as chapas foram identificadas por meio de tipagem, considerando as condições superficiais de cada amostra, sendo: chapa sem pintura, pintada e sem carga de fluoreto e pintada e com carga de 7,5% e pintada e com carga de 15%. Essas condições são apresentadas pela Tabela 2 – Amostras. Essas condições foram analisadas em triplicadas.

Tabela 2 – Amostras

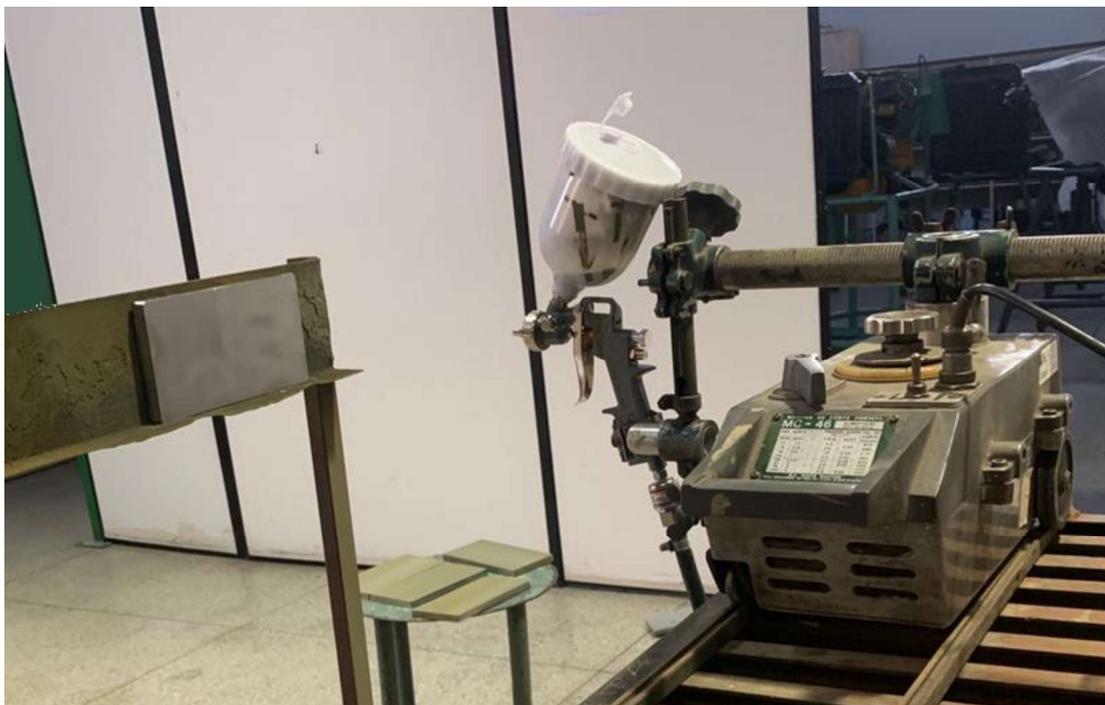
Condição	Carga de Fluoreto (m/m)	Amostra
Sem <i>shop primer</i>	Sem carga	Sem pintura
	Sem carga	0%
Com <i>shop primer</i>	Com 7,5%	7,5%
	Com 15,0%	15%

Fonte: Produzido pelo Autor

4.3 Pinturas das chapas e medição da espessura tinta

Para a pintura das chapas foi montada uma estrutura, ilustrada na Figura 14, onde as peças foram posicionadas a 20cm de distância da pistola de pintura. As chapas foram pintadas com uma pistola de pintura gravitacional com tanque alto para pintura do tipo convencional, marca Stels, modelo 5731455, bico de 1,5mm, regulada para operar com pressão de 60kgf/cm². A pistola foi acoplada a uma estrutura montada em uma tartaruga da marca White Martins, modelo MC 46.

Figura 14 – Equipamento utilizado na pintura



Fonte: Produzido pelo Autor

As chapas foram pintadas em demãos e a Figura 15 apresenta uma chapa com sua pintura final. Após cada demão, a espessura obtida era medida por meio do medidor *Check Line*, modelo FX3000 e marca Electromatic. Esse processo foi repetido até que fossem obtidas espessuras totais de aproximadamente 20 μ m. Para verificar as espessuras totais obtidas ao longo das chapas pintadas, foram realizadas 10 medições com o leitor de espessuras ao longo das extensões das chapas, conforme

esquema ilustração da Figura 16. Os resultados obtidos foram tratados com suas médias e desvios padrões, Equações 1 e 2, respectivamente.

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n X_k \quad (1)$$

Onde \bar{X} é a média aritmética, n é o número de amostras e X_k é o valor de cada dado obtido.

$$Dp = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - M_a)^2}{N}} \quad (2)$$

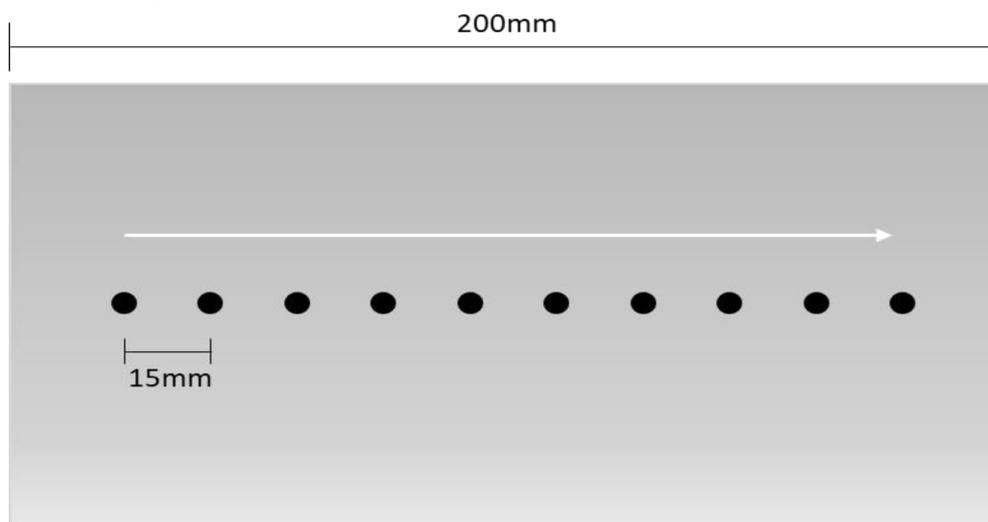
Onde Dp é o desvio padrão, X_i valor na posição i no conjunto de dados, M_a média aritmética dos dados e n é quantidade de dados.

Figura 15 - Chapa pintada com primer - amostra sem fluoreto; 0%



Fonte: Produzido pelo Autor

Figura 16 - Pontos de medição da espessura do shop primer



Fonte: Produzido pelo próprio autor

4.4 Deposição dos cordões de solda sobre chapa

As soldagens foram realizadas empregando uma fonte inversora de frequência, modelo Power Wave®, poS350 e alimentador de arame modelo LF45 da Lincoln Electric. Os parâmetros estabelecidos para as soldagens estão indicados na Tabela 3, abaixo.

Tabela 3 - Parâmetros de soldagem propostos

Corrente	200A
Tensão	26V
Velocidade de soldagem	20cm/min
Distância bico de contato peça	20mm
Gás de proteção	CO ₂
Polaridade	CC+

Fonte: Produzido pelo próprio autor

O arame utilizado para soldagem foi o E71T1-C1A2-CS2, conforme AWS 5.36, com diâmetro de 1,2 mm. O arame é do tipo *flux cored* (fluxo não metálico) rutilico. A composição química típica do metal de solda produzido por este arame na soldagem empregando CO₂ como gás de proteção é apresentada na Tabela 4. As soldagens foram realizadas em atmosfera protetiva de CO₂, com vazão de 19l/min.

Tabela 4 - Composição química típica do arame tubular E71T1-C1A2-CS2

Elemento	C	Mn	P	S	Si
% em massa	0,04	1,30	0,04	0,04	0,50

Fonte: ESAB, 2015 (Adaptado)

A mecanização da soldagem foi feita pelo acoplamento da tocha de soldagem a uma estrutura adaptada à tartaruga White Martins modelo MC 46, que se locomoveu sobre um trilho a uma velocidade constante de 200mm/min. E a distância entre o bico de contato e a peça (DBCP) de 20mm. A estrutura montada para a soldagem é mostrada pela Figura 17, e essa garantiu a realização da soldagem com velocidade e a distância bico de contato peça constantes.

Figura 17 - Montagem sobre a tartaruga para soldagem

Fonte: Produzido pelo próprio autor

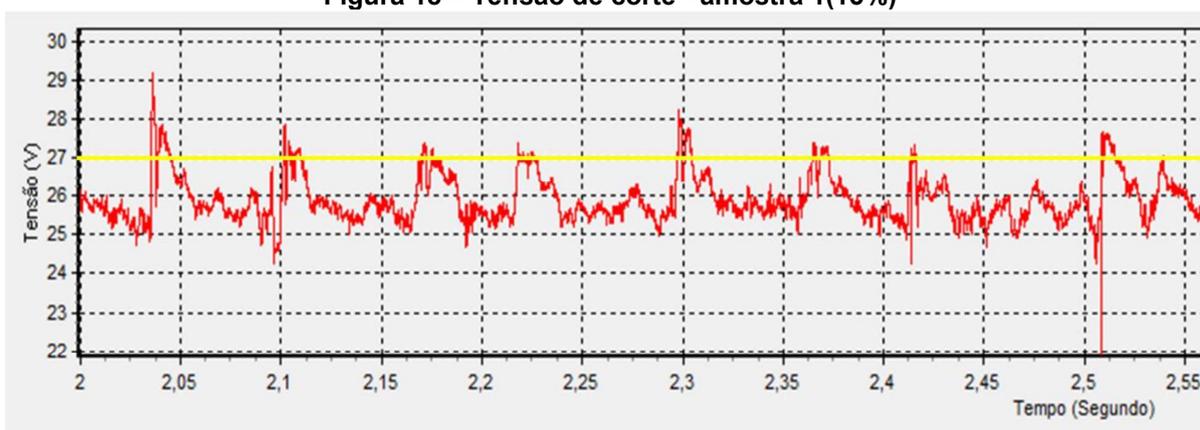
4.5 Filmagem das soldagens

Todas as soldagens foram filmadas empregando para isso uma câmera *GO Pro Hero 3* com resolução de 1280x702 pixels a uma taxa de aquisição de 60 quadros/s. Para reduzir a luminosidade foi utilizada uma lente filtrante nº8.

4.6 Monitoramento de tensão e corrente e análises desses sinais

As soldagens foram monitoradas por meio do *software* Lincoln Checkpoint, instalado em computador conectado à fonte via conexão *ethernet*, e a taxa de aquisição de dados foi de 60.000Hz. Os dados coletados, corrente e tensão, foram tratados por meio dos *softwares* Sinal e Microsoft Excel, onde foram gerados oscilogramas e calculados as tensões e as correntes médias (V_m e I_m , respectivamente), os desvios padrão das tensões e correntes médias (σV_m e σI_m , respectivamente) e os aportes térmicos. Por fim, a partir dos oscilogramas de tensão, foram determinadas, por contagem visual, as frequências de picos de tensão, considerando uma tensão de corte de 26,9V, pois abrangia a maior parte dos picos dos ciclos, Figura 18.

Figura 18 – Tensão de corte - amostra 1(15%)



Fonte: Produzido pelo próprio autor

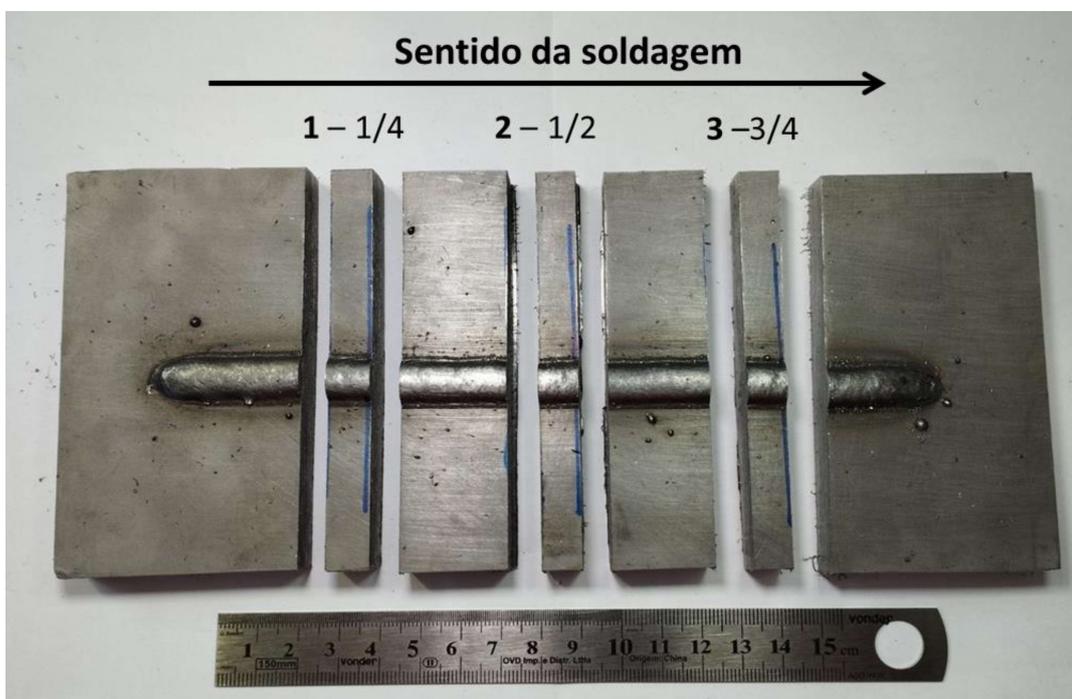
4.7 Preparação das amostras para análise macro e microestrutural

Para as análises de macroestruturas e microestruturas foram retiradas 3 amostras de 5mm de espessura de cada cordão. As chapas foram cortadas com o auxílio de uma serra de fita, em processo de corte com refrigeração. As posições de

cortes 1, 2 e 3; correspondem, respectivamente, à $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$ e $\frac{3}{4}$ do comprimento do cordão de solda, esquema mostrado pela Figura 19. Posteriormente, amostras foram embutidas à quente com resina sintética de baquelite. As faces analisadas foram aquelas voltadas para o início do cordão de solda.

As amostras embutidas foram lixadas para desbaste com lixa d'água em uma politriz Arotec modelo Aropol-2V, com redução progressiva de granulometria: #120, #240, #320, #400 e #600; e, em seguida, foi feito polimento com pasta de diamante, também com redução progressiva de granulometria: $9\mu\text{m}$ e $3\mu\text{m}$. Ao fim da etapa de polimento, as amostras passaram por um processo de revelação do perfil do cordão de solda e das microestruturas, que consiste em um ataque químico das superfícies com solução de Nital 3% v/v; 3ml de ácido nítrico concentrado e álcool etílico, ambos reagentes P.A. As amostras foram embebidas em solução de Nital por aproximadamente 10 segundos, até que fosse obtida uma superfície fosca e, em seguida, as amostras foram lavadas com álcool e secadas à frio.

Figura 19 - Fracionamento dos cordões de solda e escolha das faces a serem analisadas



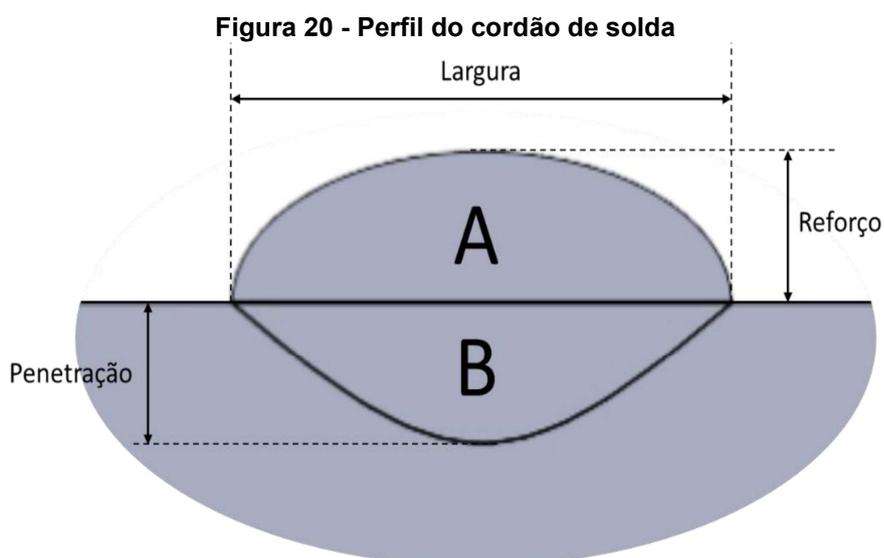
Fonte: Produzido pelo próprio autor

4.7.1 Análise macroestrutural

Para a captura das imagens dos perfis dos cordões de solda foi utilizada uma lupa estereoscópica binocular Metrimpex Hungary PZO – Labimex, acoplada a uma câmera. Posteriormente, com o auxílio do *software Image J*, foram mensuradas as seguintes medidas dos perfis dos cordões: penetração, largura, reforço, área do reforço, área da penetração e diluição, Figura 20. A diluição foi calculada conforme Equação 3, abaixo.

$$D = \frac{B}{A+B} \times 100\% \quad (3)$$

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



Fonte: Produzido pelo próprio autor

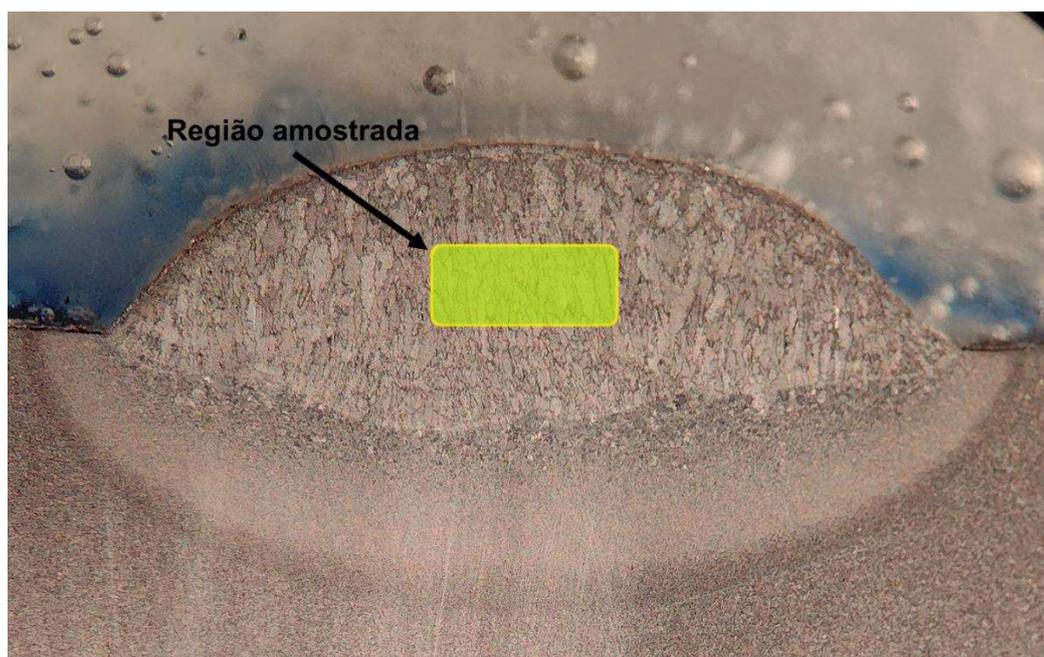
A partir dos resultados das medidas citadas, foram calculadas as médias aritméticas, Equação 1, e os desvios padrões, Equação 2, de cada grupo amostras, com a finalidade de verificar indícios de influências dos recobrimentos, sem carga e com cargas de fluoreto, sobre as soldagens.

4.7.2 Análise microestrutural

A análise microestrutural foi realizada de forma qualitativa, para identificar os microconstituintes presentes no metal de solda. Esta análise foi feita por meio do microscópio óptico invertido trinocular marca Fortel, com sistema de digitalização da marca Kontrol® modelo LM-713, com oculares que promoveram ampliações de 100X, 200X, 400X e 800X. As imagens foram captadas pelo computador por meio do software ToupView 3.7.

Para padronizar uma caracterização comparativa, foi escolhida arbitrariamente a região mais central dos cordões de solda, porção mostrada pela Figura 21.

Figura 21 - Região amostrada



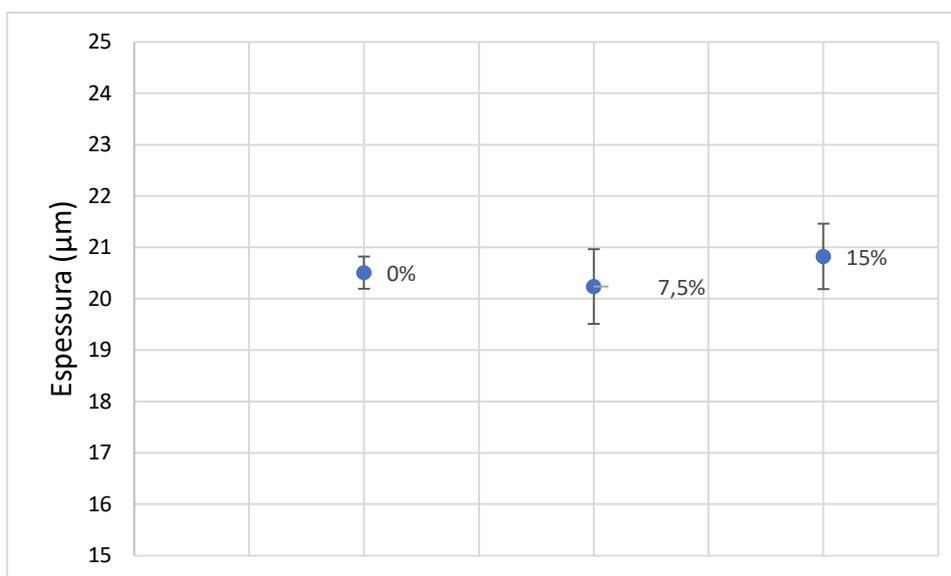
Fonte: Produzido pelo próprio autor

5 Resultados e discussão

5.1 Espessura de tinta das pinturas

O processo de pintura se mostrou eficiente, garantindo homogeneidade da espessura da camada de tinta, conforme o gráfico da Figura 22. Medições realizadas indicaram resultados próximos ao desejado que é de 20 μm . Ademais, a espessura obtida também atende aos requisitos do fabricante, *International Paint*, que recomenda camada mínima de 15 μm e máxima de 25 μm .

Figura 22 - Espessuras das camadas de tinta



Fonte: Produzido pelo próprio autor

As chapas pintadas com tintas que continham carga de fluoreto apresentaram pequenas manchas brancas. Embora os processos de mistura e homogeneização tenham sido eficientes, as manchas que surgiram são indícios de segregação. Segundo Tracton *et al.* (2006), a segregação pode ter ocorrido durante a secagem da tinta, em que algum componente, possivelmente o fluoreto, migra para a superfície da pintura à medida em que ela seca, causando manchas. Ainda segundo o autor, segregação ocorre devido às diferenças de tensão superficial entre a carga segregada e a tinta em que está presente. À medida que a tinta seca, ocorre a diminuição da tensão superficial, favorecendo a movimentação da carga para a superfície,

segregando. A observação citada é mostrada pela Figura 23. E foi observado que o aumento do teor de fluoreto resultou em pinturas com mais machas.

Figura 23 - Chapas pintadas – A) amostra sem fluoreto - 0%; B) amostra com carga de 7,5% de fluoreto C) amostra com carga de 15% de fluoreto. Detalhes com ampliação de 5X



Fonte: Produzido pelo próprio autor

É importante destacar que a distribuição dessas manchas ao longo da superfície é bem dispersa e a distância entre elas é bem inferior a largura do cordão de solda. Por consequência, tal fenômeno não influenciou nos resultados desse trabalho.

5.2 Análise visual das soldas

Todos os cordões de solda produzidos apresentaram, visualmente, regularidade. As soldagens foram estáveis, livres de descontinuidades superficiais como mordedura e com pouca ocorrência de respingos, conforme ilustrado na Figura 24 para chapa com 15% de carga. Tais comportamentos são típicos de soldagem com o arame E71T1-C1A2-CS2. Foi observado também que as soldagens sobre as chapas pintadas geraram mais fumos do que as não pintadas.

Figura 24 - Chapa soldada - amostra 15%-A

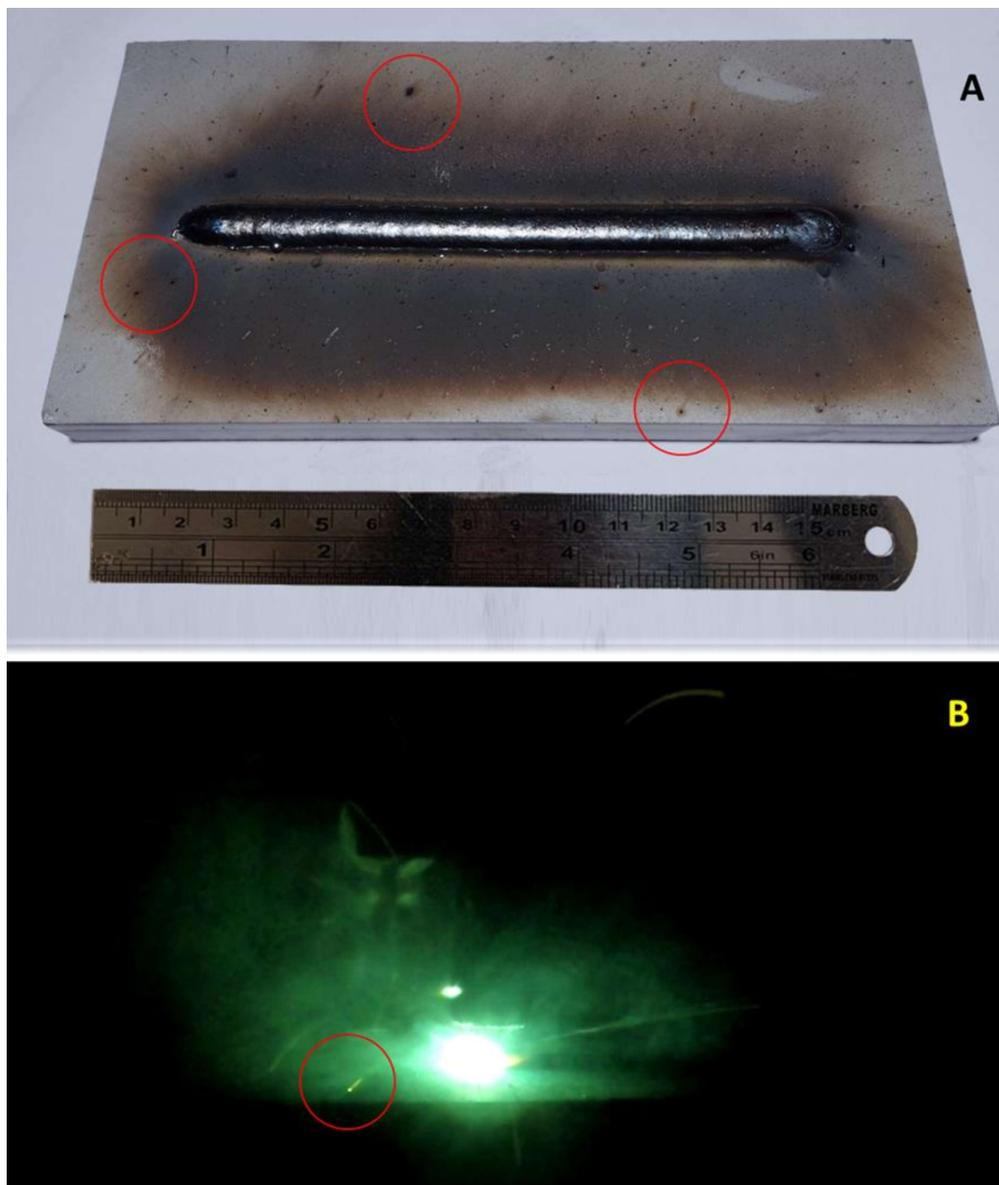


Fonte: Produzido pelo próprio autor

Outro ponto observado por meio da filmagem e das chapas foi que os respingos gerados pelas amostras pintadas com primer tiveram pouca aderência sobre as chapas base, diferente das amostras sem primer. A Figura 25A tem destacados alguns pontos de respingo e marcas entorno destes, mostrando uma projeção direta do respingo sobre a chapa base; a Figura 25B mostra um quadro da soldagem e a

projeção do respingo no momento em que este choca com a chapa base e adere a superfície.

Figura 25 - Respingos – amostra sem primer “C”. A) chapa soldada; B) Frame da soldagem

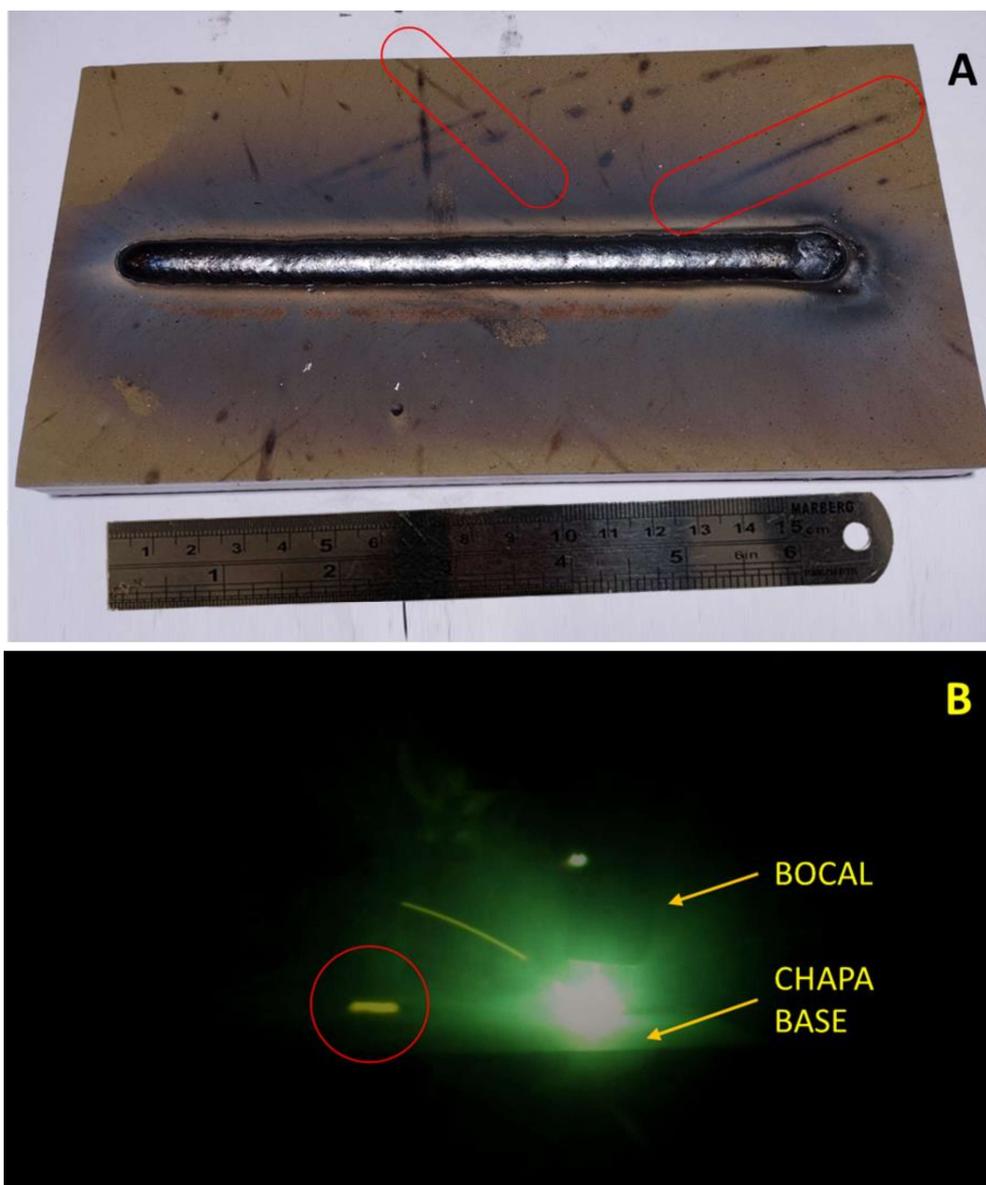


Fonte: Produzido pelo próprio autor

A Figura 26A mostra que sobre a chapa base têm linhas retas e escuras com direções aleatórias, algumas das quais circuladas em vermelho, que indicam trajetórias dos respingos produzidos durante a soldagem. Esse fenômeno é comprovado por meio da imagem, Figura 26B, que tem destacada a trajetória de um respingo deslocando. A Figura 27 mostra uma sequência de quadros com registro de um outro comportamento observado de interação e deslocamento de respingos sobre

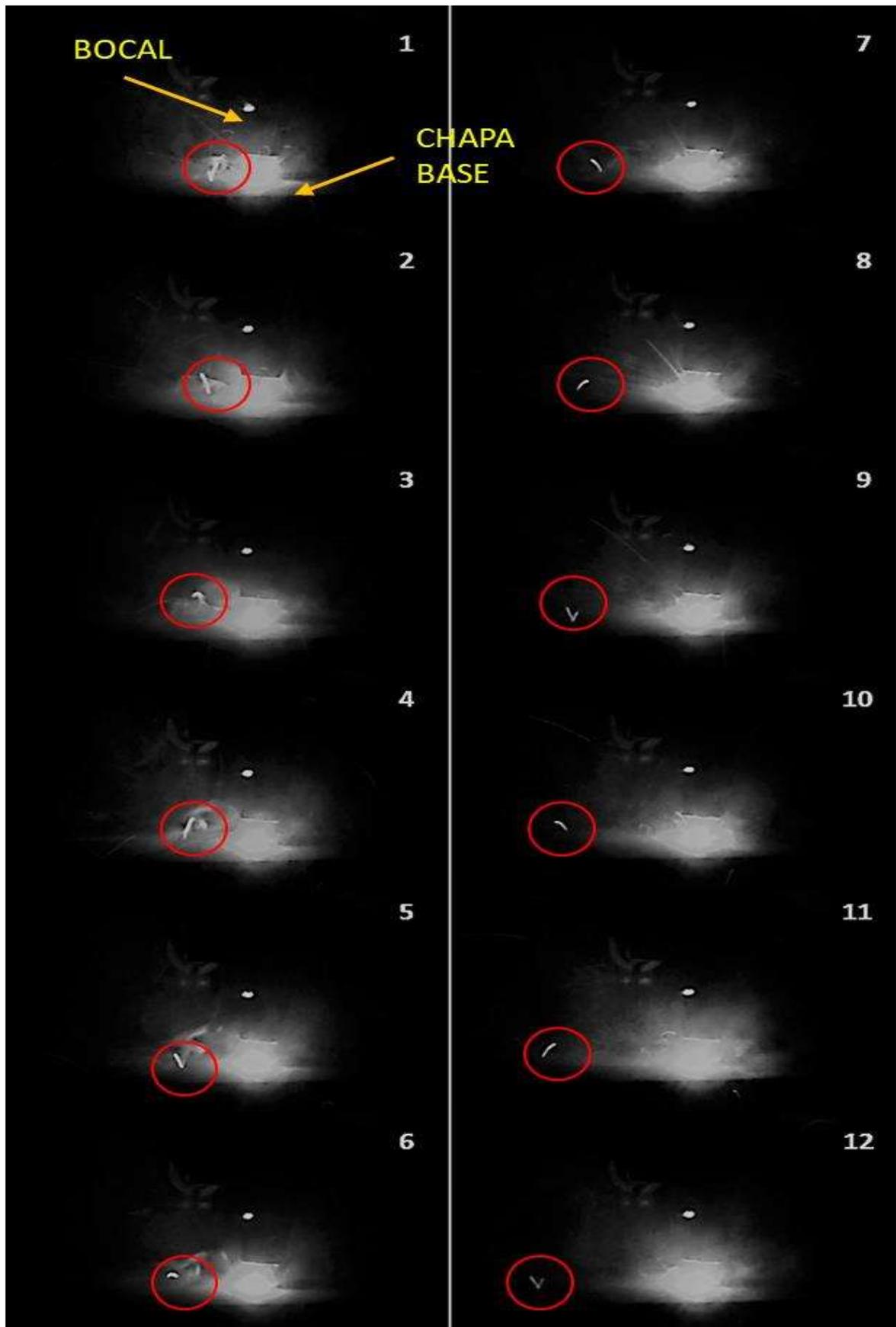
a chapa base. Nesse as gotas de metal fundido ricocheteiam sobre a chapa, em movimento parabólico. As marcas desta variação de interação são mostradas pela Figura 26.

Figura 26 - Respingos – amostra 7,5% “C”. A) chapa soldada; B) Quadro da soldagem



Fonte: Produzido pelo próprio autor

Figura 27 - Respingos em trajetória parabólica



Fonte: Produzido pelo próprio autor

Figura 28 - Marcas de trajetória do respingo



Fonte: Produzido pelo próprio autor

Não foi encontrado na literatura estudos sobre a interação dos respingos com *shop primer*. Contudo, segundo Behring *et al.* (2004), a interação entre a gota (respingo) e a superfície se deve pela relação de tensão superficial da gota e a energia de superfície a ser “molhada”. Essencialmente, quanto menor a tensão superficial do líquido, maior a facilidade deste se espalhar e “molhar” a superfície; e para a superfície pintada sua energia é superior à da superfície não pintada. Desta forma, portanto, essa explicação é uma hipótese que justifica a menor interação da superfície do primer com os respingos gerados pela soldagem.

5.2 Microestrutura das soldas

As microestruturas das soldas obtidas são apresentadas nas Figura 29 a Figura 32, com ampliações de 200X e 400X. As Figuras retratam, respectivamente, as amostras sem primer, com primer e sem carga de fluoreto, com primer e com carga de 7,5% de fluoreto e com primer e carga de 15% de fluoreto.

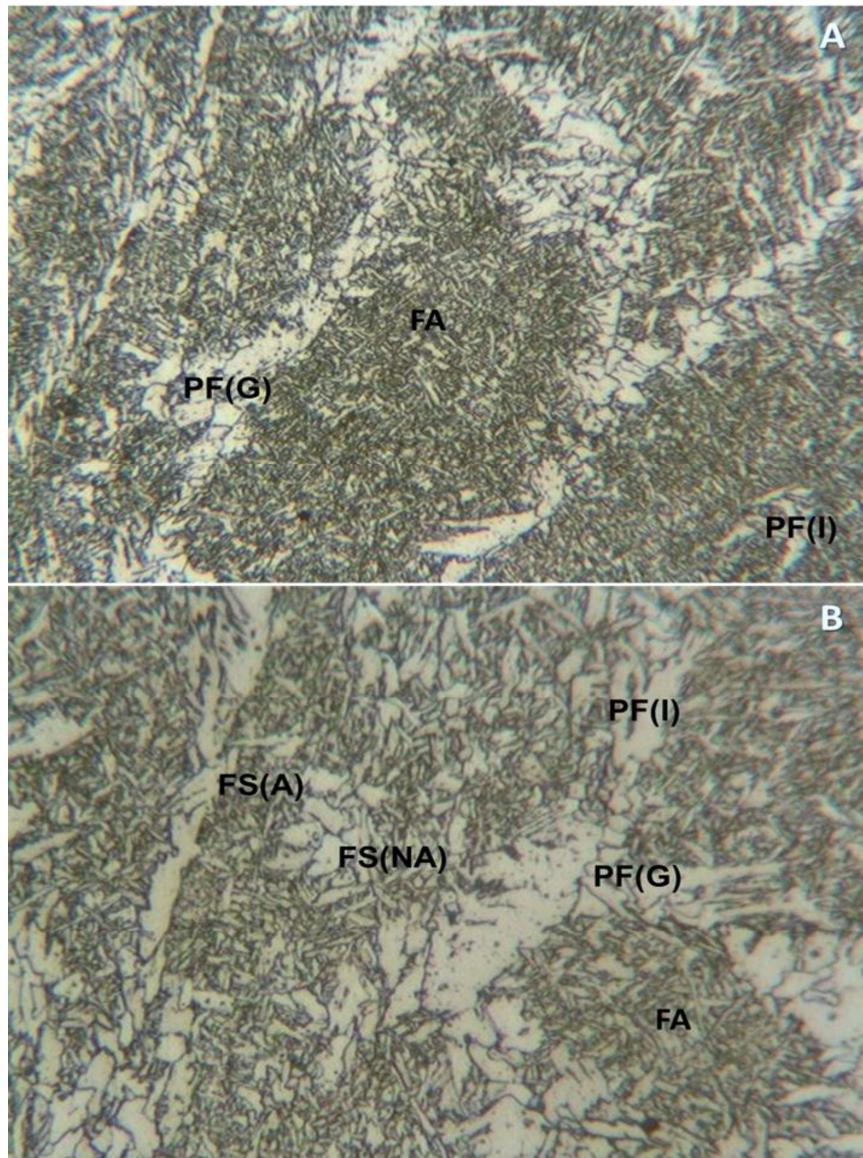
Nas microestruturas foram observados os constituintes em todas as amostras foram: PF(G) – ferrita primária de contorno de grão; PF(I) – ferrita primária intragranular; AF – ferrita acicular; FS(NA) e FS(A) – ferritas com segunda fase não alinhada e alinhada. Esses são característicos de soldas com arame tubular da classe E71T1-C1A2-CS2. Nota-se a predominância de ferrita acicular, além de pequenas frações volumétricas de ferrita primária de contorno de grão, que favorecem uma boa resistência mecânica, combinando boas tenacidade e ductibilidade (STARLING, 2009).

As micrografias das soldas feitas sobre as chapas sem primer e das pintadas com primer e sem carga de fluoreto, Figura 29 e Figura 30, respectivamente, não apresentaram diferenças aparentes nas frações dos microconstituintes encontrados. Johnson *et al.* (1998), dizem que a presença do primer é suficiente para alterar significativamente a microestrutura da solda, inclusive aumentando o teor de ferrita acicular e reduzindo o de ferrita de segunda fase. Contudo, essas alterações não foram observadas nas amostras deste estudo.

As micrografias das soldas das chapas pintadas com primer e com cargas de fluoreto, Figura 31 e Figura 32, mostram que contêm menores frações de ferrita primária de contorno e ferrita primária intragranular e maiores de ferrita de segunda fase alinhada e de ferrita acicular, quando comparadas com as amostras sem pintura e pintadas com primer e sem carga de fluoreto, Figura 29 e Figura 30, respectivamente.

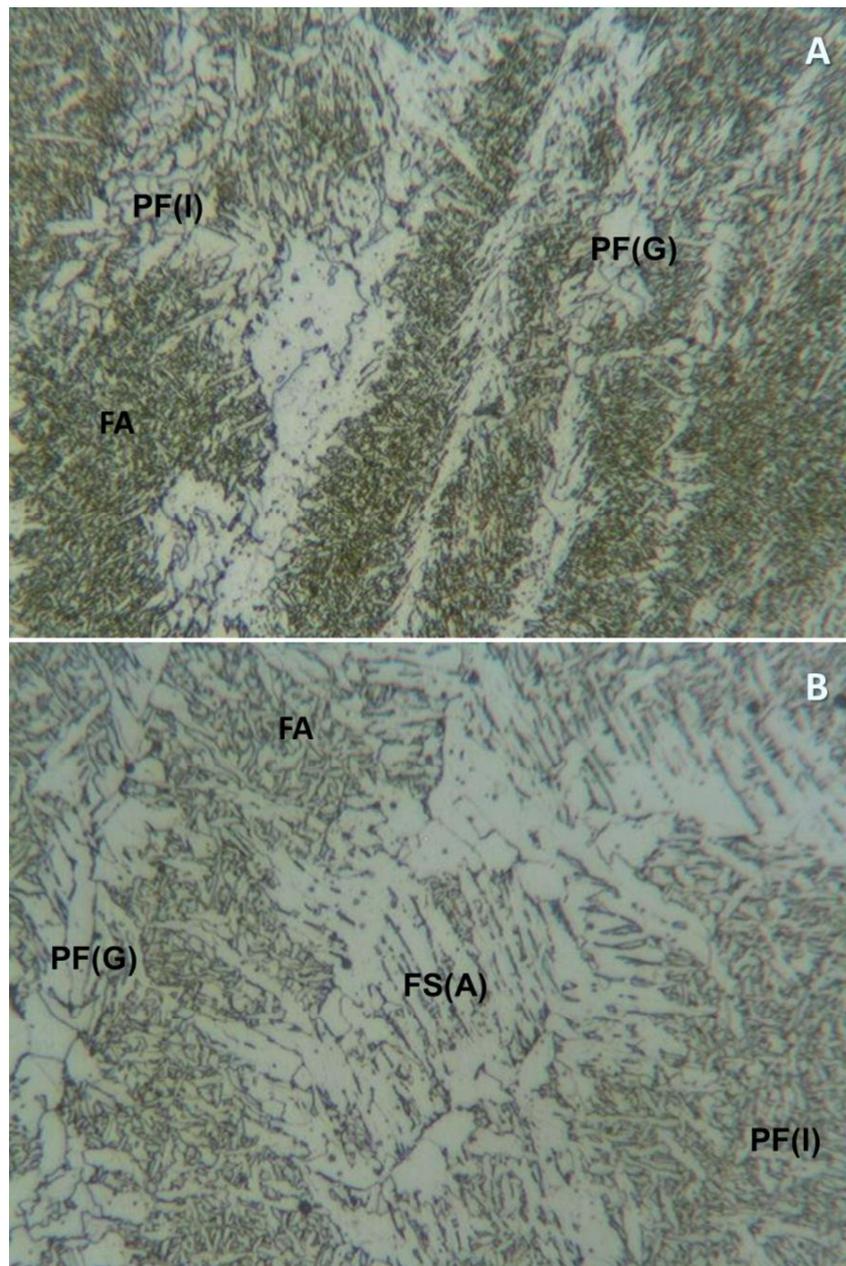
Entre as amostras que continham carga de fluoreto foi observada tendência de aumentos das frações volumétricas de ferrita de segunda fase alinhada e ferrita acicular. Além disso, foi observada tendência na redução das frações de ferrita primária de contorno de grão e ferrita intragranular, com o aumento do teor de fluoreto, conforme as Figuras 30 e 31, respectivamente.

Figura 29 - Microestruturas das amostras sem primer – a)200X; b)400X



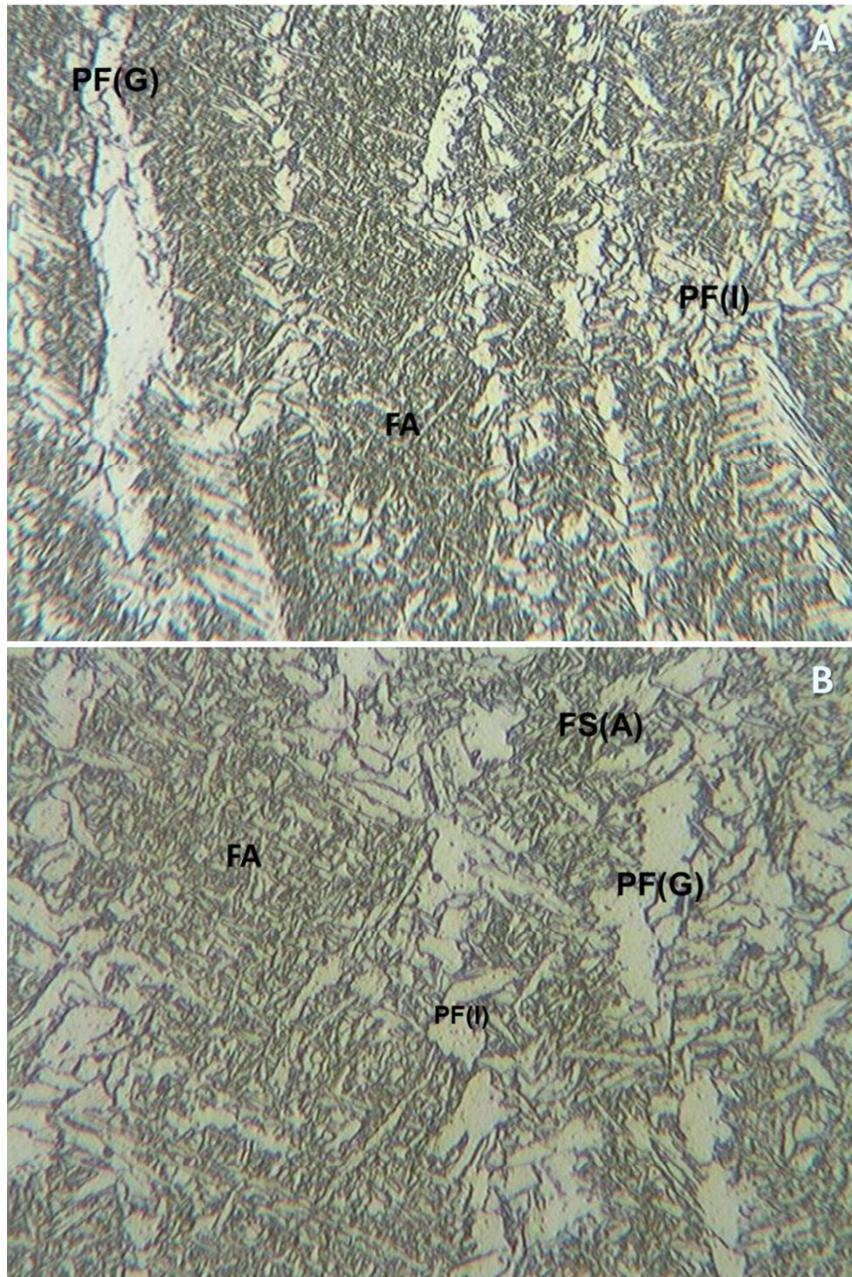
Fonte: Produzido pelo próprio autor

Figura 30 - Microestruturas das amostras com primer sem carga de fluoreto – a)200X; b)400X



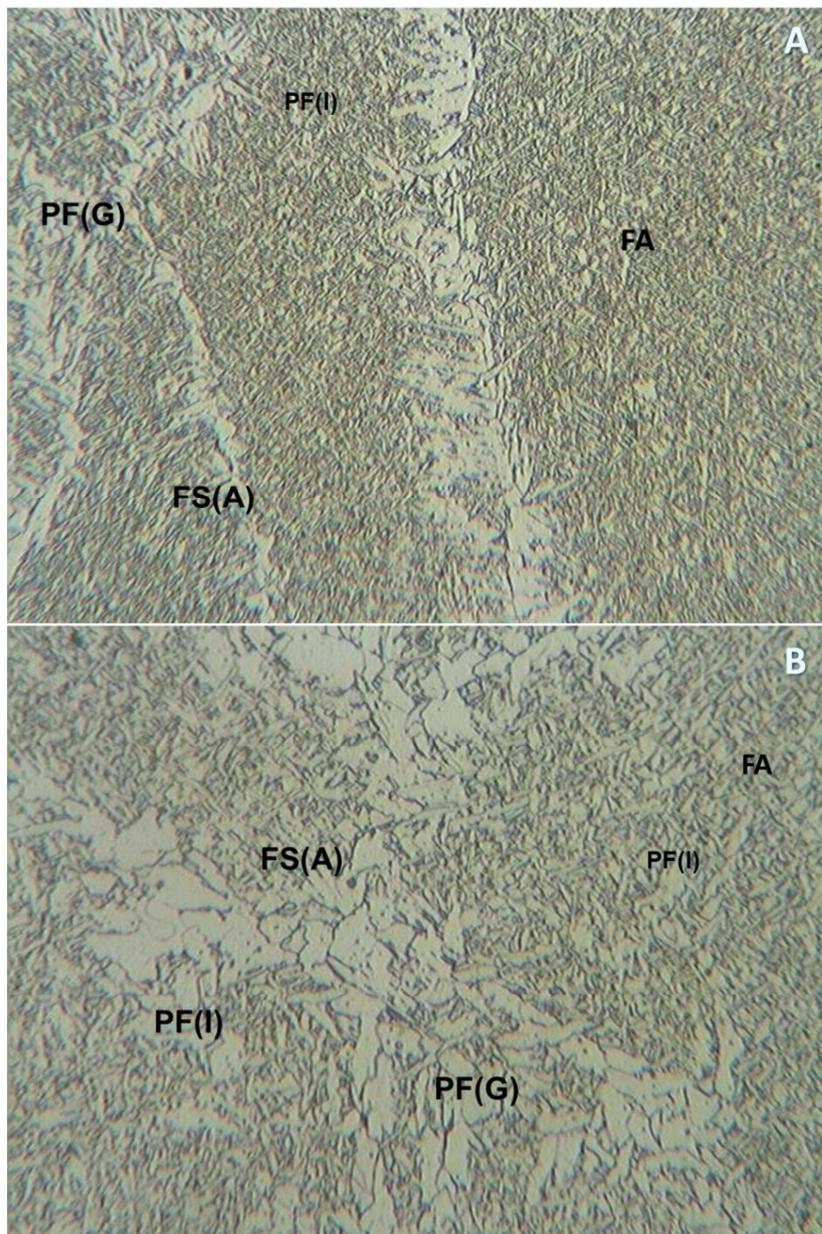
Fonte: Produzido pelo próprio autor

Figura 31 - Microestruturas das amostras com primer e com carga de fluoreto 7,5% – a)200X;
b)400X



Fonte: Produzido pelo próprio autor

Figura 32 - Microestruturas das amostras com primer e com carga de fluoreto 15% -- a)200X;
b)400X



Fonte: Produzido pelo próprio autor

Evans (1992) diz que a presença de óxido de titânio (TiO_2), matéria prima do consumível utilizado neste trabalho, atua como nucleante no metal de solda, favorecendo formação de ferrita acicular, microconstituente encontrado em todos os cordões de solda produzidos. Contudo, apenas esse processo de nucleação não justifica o aumento da fração deste microconstituente e ferrita de segunda fase alinhada nas amostras pintadas e com presença de fluoreto. Cabe destacar, entretanto, que os estudos em que foram notados aumentos das frações das fases

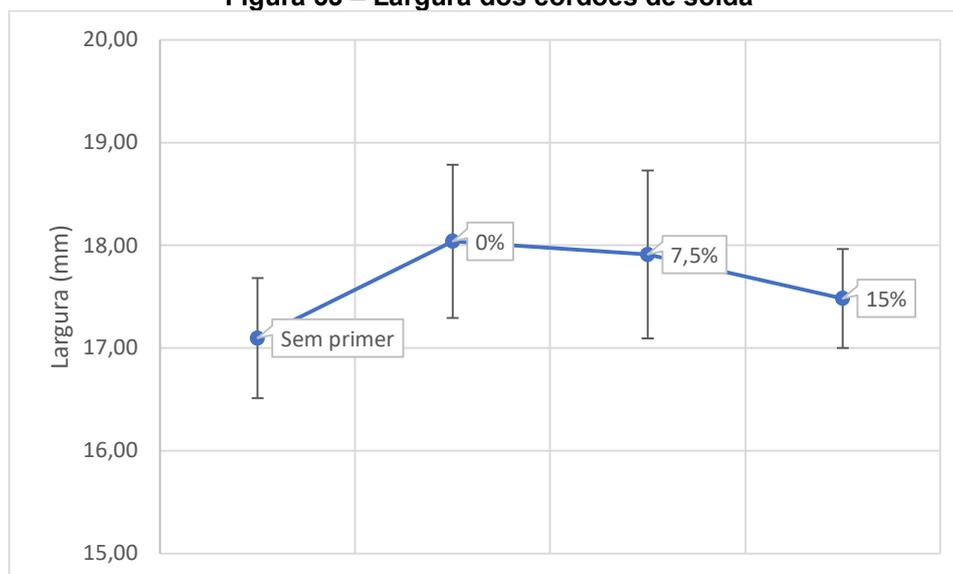
citadas, também foram verificadas diminuições das frações de ferrita primária de contorno de grão.

Vaz e Bracarense (2014) estudaram a influência de politetrafluoroetileno (PTFE) em soldagem com eletrodo revestido básico. Na oportunidade, os autores compararam as soldagens entre eletrodos revestidos com presença de PTFE e sem. Como resultado, eles verificaram que o PTFE influenciou no aumento da fração de ferrita acicular. Estes resultados são atribuídos a uma proteção gasosa mais protetiva, rica em carbono, redução do nitrogênio do metal e influencia na taxa de resfriamento de solda. Estes parâmetros não são objetos de estudos deste presente trabalho, entretanto, a atmosfera rica em carbono, uma vez que a proteção gasosa utilizada neste trabalho é 100% CO₂ e o mecanismo de redução de nitrogênio do metal de solda, são possíveis hipóteses para justificar os aumentos das frações volumétricas de ferrita acicular e ferrita alinhada de segunda fase.

5.3 Morfologia dos cordões de solda

As análises das dimensões dos perfis dos cordões de solda mostraram uma tendência no aumento da largura com o emprego do *shop primer* em comparação de soldas sem aplicação da tinta. No gráfico da Figura 33 nota-se ainda que as amostras de soldas sobre chapas com primer e sem carga de fluoreto, com 7,5% e 15% carga de fluoreto apresentam uma tendência de redução sem, contudo, indicar diferenças significativas. A hipótese para este fato se deve à atuação do flúor gerando uma constrição do arco elétricos. Esta condição corrobora com os trabalhos de Mondenesi *et al* (2000), Lu (2003), Varbai (2016), dentre outros autores, que verificaram que tal efeito influenciado pela presença de fluoretos resultava em cordões de soldas mais estreitos. Embora os trabalhos dos autores citados tenham utilizado processos de soldagens, TIG E GMAW, e consumíveis diferentes deste presente trabalho, a característica observada é a mesma. Sendo assim, pode-se considerar como hipótese mais provável o efeito do fluxo sobre a redução da largura do cordão para a amostra com 15% de fluoreto

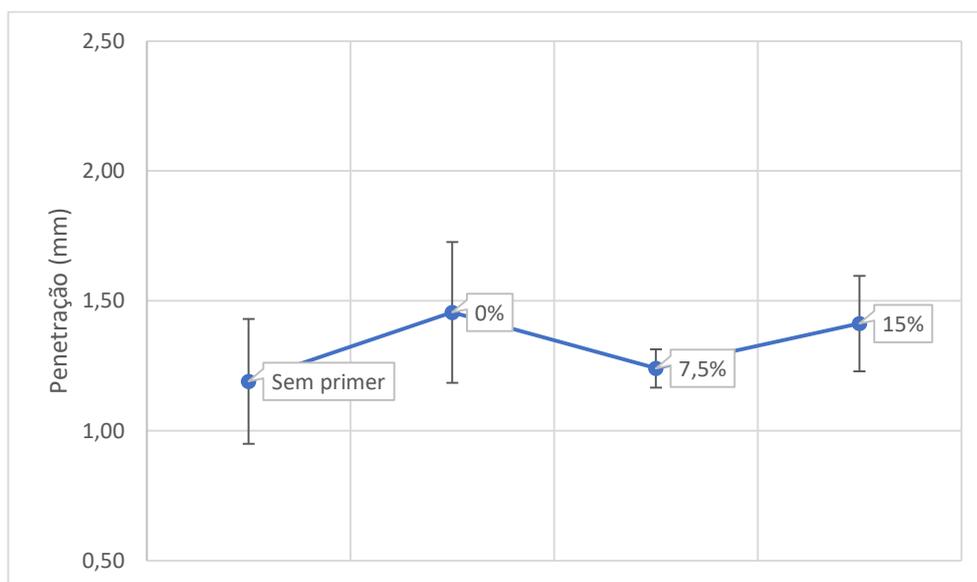
Figura 33 – Largura dos cordões de solda



Fonte: Produzido pelo próprio autor

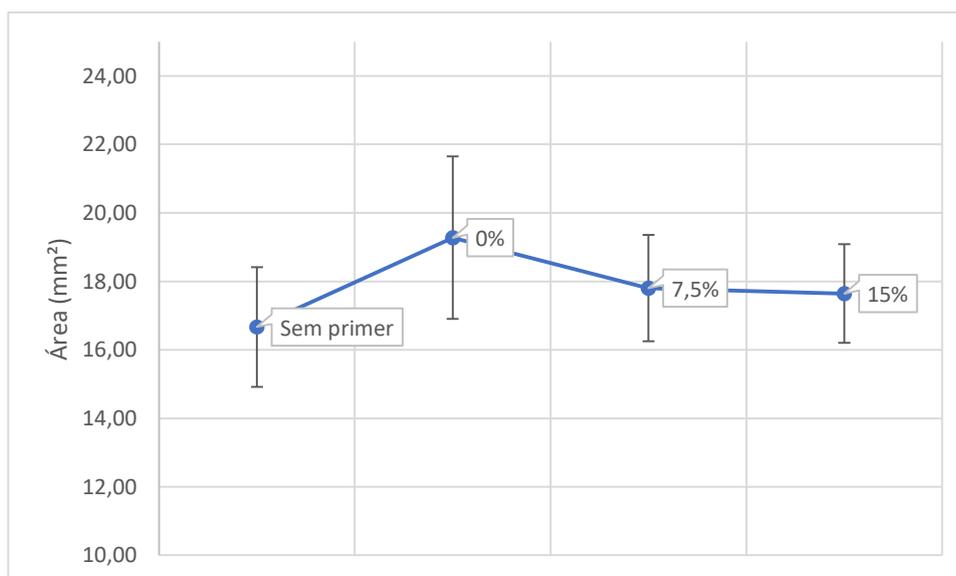
A avaliação de penetração dos cordões de solda, Figura 34, mostrou uma tendência de aumento de penetração para a amostra com primer e sem carga de fluoreto, quando comparada com a amostra de solda sobre chapa sem primer. JOHNSON (1998) cita que o primer influencia o aumento de penetração da solda, pois o poder calorífico da soldagem aumenta, uma vez que o primer é fonte de carbono.

A amostra com carga de 7,5% de fluoreto não teve alteração significativa da penetração, quando comparada com a amostra sem primer. Já os resultados da amostra com carga de 15% de fluoreto indicam uma penetração média próxima aos resultados obtidos para solda apenas com primer. Para a amostra com carga de 15%, não ficou evidente se o resultado obtido é por influência do primer e/ou do emprego da carga de fluoreto. Sabe-se por meio de estudos citados que ambos podem influenciar na penetração da soldagem, mas esta informação por si só não é suficiente para explicar o comportamento médio deste resultado.

Figura 34 - Penetração dos cordões de solda

Fonte: Produzido pelo próprio autor

Os resultados da área de penetração, Figura 35, mostram que o maior valor médio foi o das amostras de solda com primer sem carga de fluoreto. Correlacionando este resultado com gráficos das Figura 33 e Figura 34, era de se esperar que o aumento da largura acrescido de aumento de penetração resultasse no aumento da área de penetração.

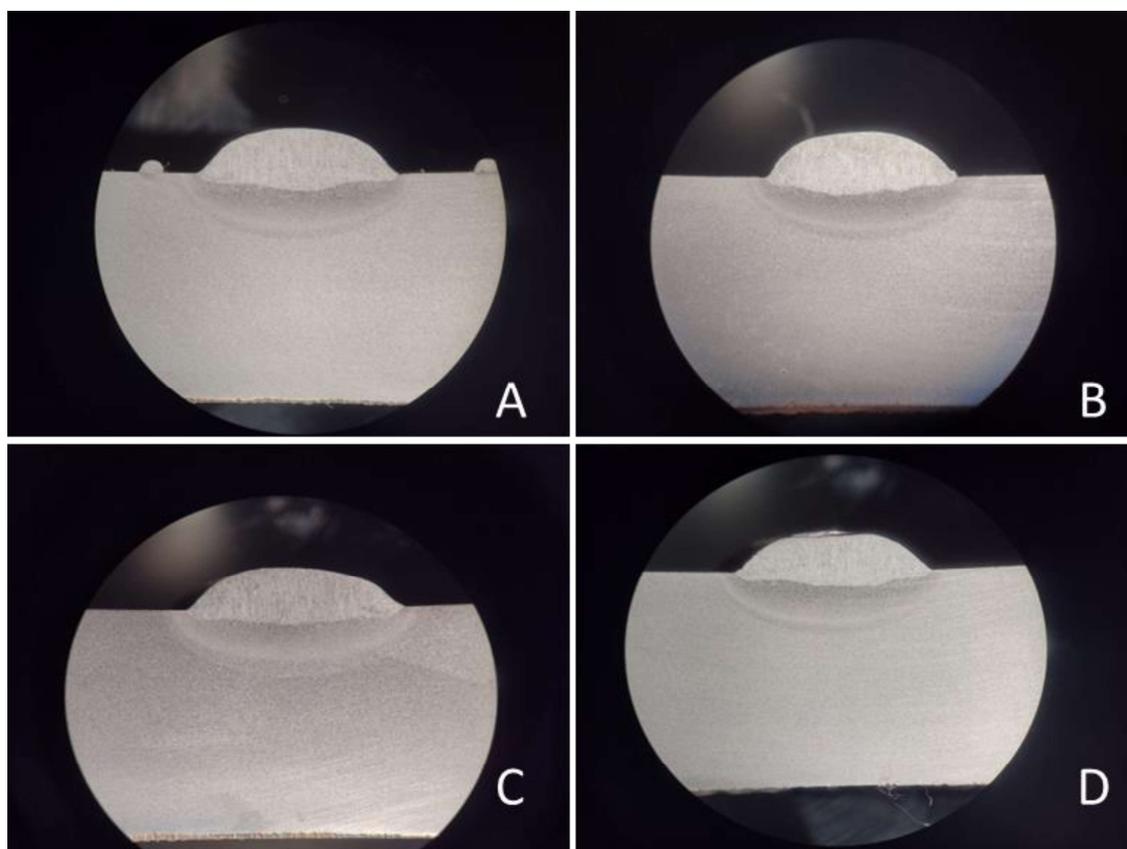
Figura 35 - Área de penetração do cordão de solda

Fonte: Produzido pelo próprio autor

Analogamente, para as demais amostras, esta correlação de dados também mostrou coerência. A amostra sem pintura apresentou os menores valores médios para os dados analisados e, portanto, apresentou menor área de penetração média. Já a amostra com 7,5% de fluoreto, apresentou valor médio de largura próximo ao da amostra pintada com primer e sem carga de fluoreto, contudo apresentou menor penetração e, conseqüentemente, menor área de penetração do que a amostra citada para comparação. Por fim, a amostra com carga de 15 % de fluoreto, também seguindo a mesma correlação feita anteriormente para as amostras com primer e sem carga de fluoreto e com 7,5% de fluoreto, apresentou menor largura média e penetração média similar ao das amostras apenas com primer e sem carga de fluoreto. Como consequência, era de se esperar uma área de penetração média menor que a da amostra com primer e sem carga de fluoreto, e foi o que ocorreu.

Cabe ressaltar que esta correlação foi possível também pelo formato do perfil de penetração dos cordões obtidos, Figura 36. Caso os cordões fossem similares aos da Figura 36, seria mais difícil estabelecer a correlação feita.

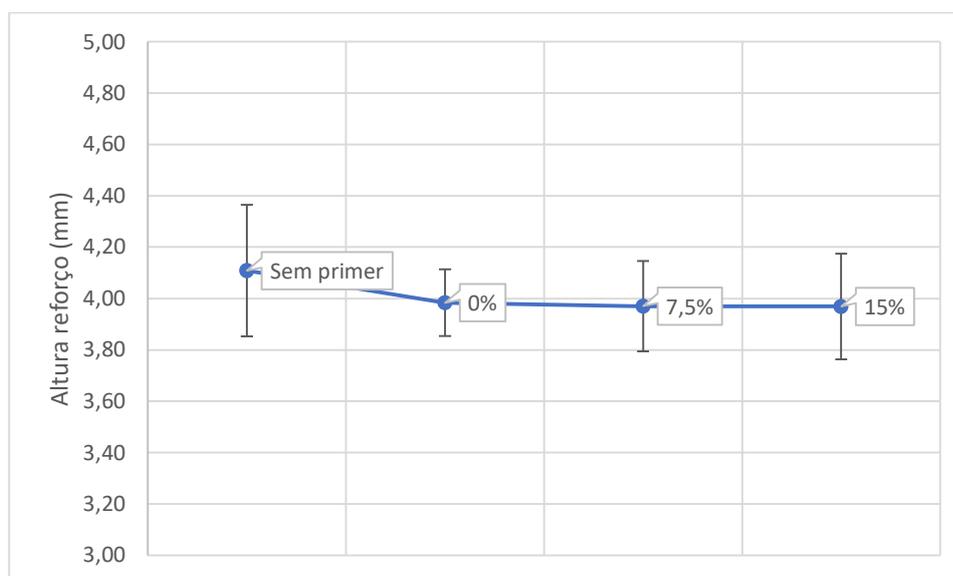
Figura 36 - Perfis dos cordões de solda - A) amostra sem primer; B) amostra com primer e sem carga de fluoreto; C) amostra com 7,5% de fluoreto; D) amostra com 15% de fluoreto



Fonte: Produzido pelo próprio autor

Diferentemente dos parâmetros avaliados anteriormente, não foram notadas diferenças significativas entre os reforços das soldas, conforme mostra o gráfico da Figura 37. Embora as amostras 0%, 7,5% e 15% pareçam ter uma tendência de menor altura que a amostra sem primer, contudo, nota-se um maior desvio padrão para esta amostra.

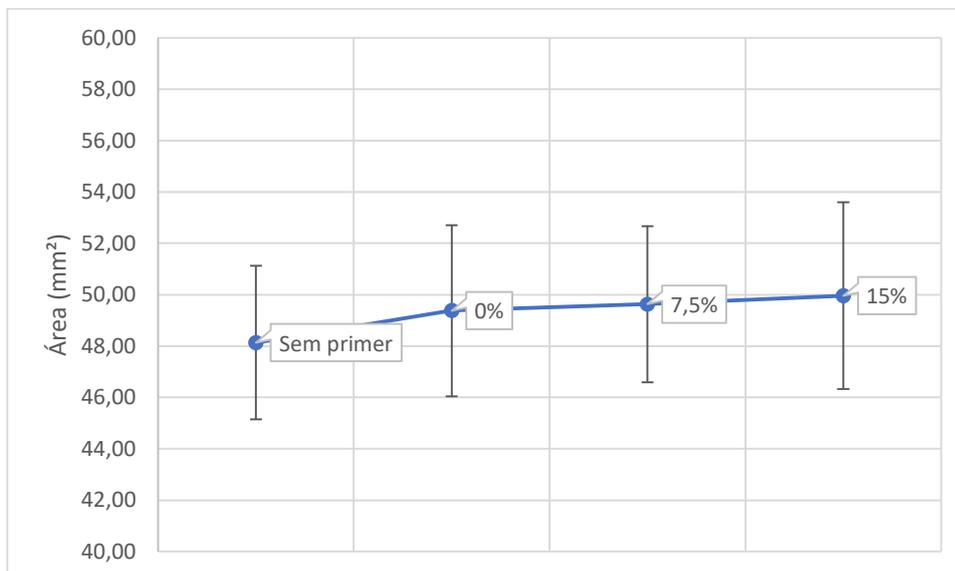
Figura 37 - Reforço dos cordões de solda



Fonte: Produzido pelo próprio autor

As áreas médias dos reforços foram também mensuradas, conforme mostra o gráfico da Figura 38, e foi notado que não houve diferenças significativas entre as amostras. Considerando que não houve aumento na altura do reforço e que as larguras dos cordões tiveram diferenças significativas, era de se esperar que as áreas dos reforços também apresentassem diferenças. No entanto, os valores médios apresentaram desvios padrões significativos, não sendo possível verificar uma tendência neste parâmetro.

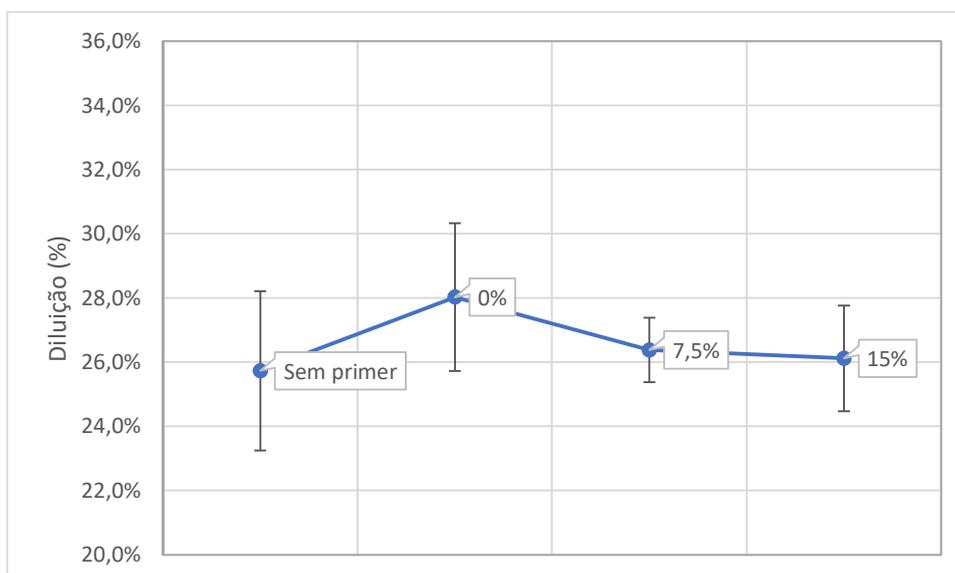
Figura 38 – Áreas dos reforços dos cordões de solda



Fonte: Produzido pelo próprio autor

O gráfico da Figura 39 apresenta as diluições das soldas. Foi observada maior diluição média das amostras 0%, o que era esperado, uma vez que é a que apresentou maiores penetração, largura e área de penetração. No entanto, as amostras 7,5% e 15% não apresentaram variações significativas, quando comparadas com a amostra sem primer. Possivelmente, essa imprecisão se deve aos grandes desvios padrões das avaliações do reforço e área do reforço, o que aponta variações dimensionais do cordão de solda.

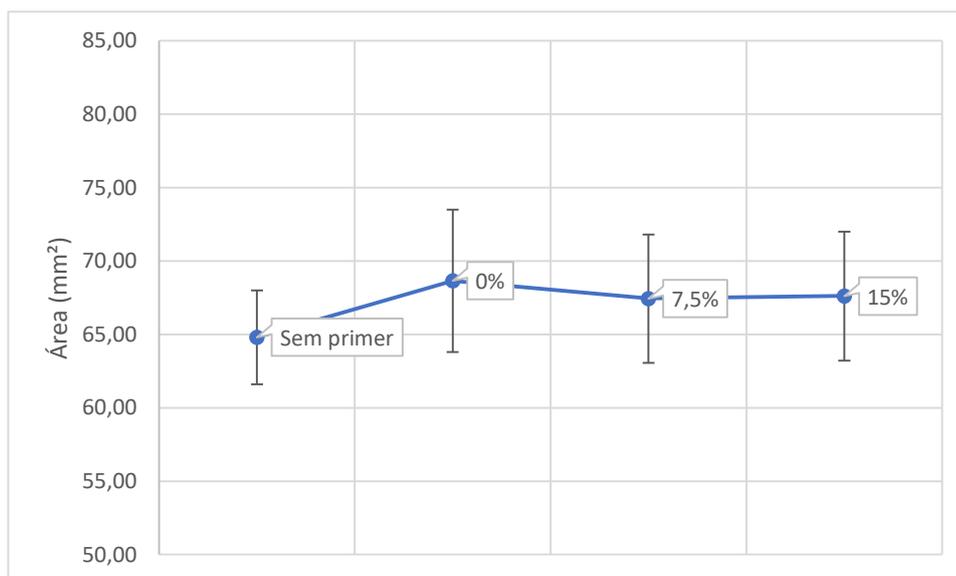
Figura 39 - Diluição dos cordões de solda



Fonte: Produzido pelo próprio autor

Por fim, a avaliação da área total médias das soldas mostrou que houve tendência de aumento nas amostras que foram soldadas sobre primer, conforme indicado no gráfico da Figura 40. Já a atuação da carga de fluoreto, aparentemente, não mostrou influência relevante neste parâmetro.

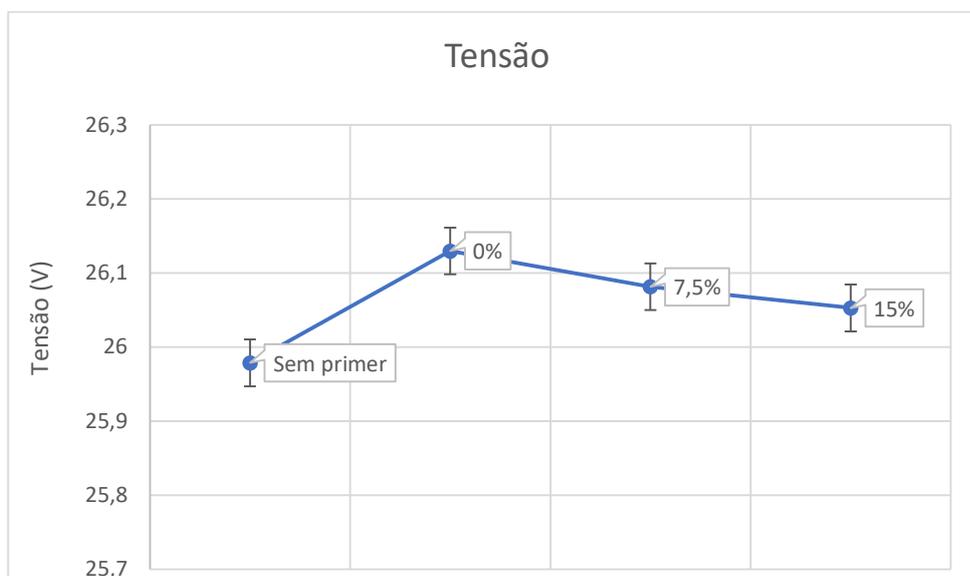
Figura 40 – Área total dos cordões de solda



Fonte: Produzido pelo próprio autor

5.4 Análises dos sinais elétricos

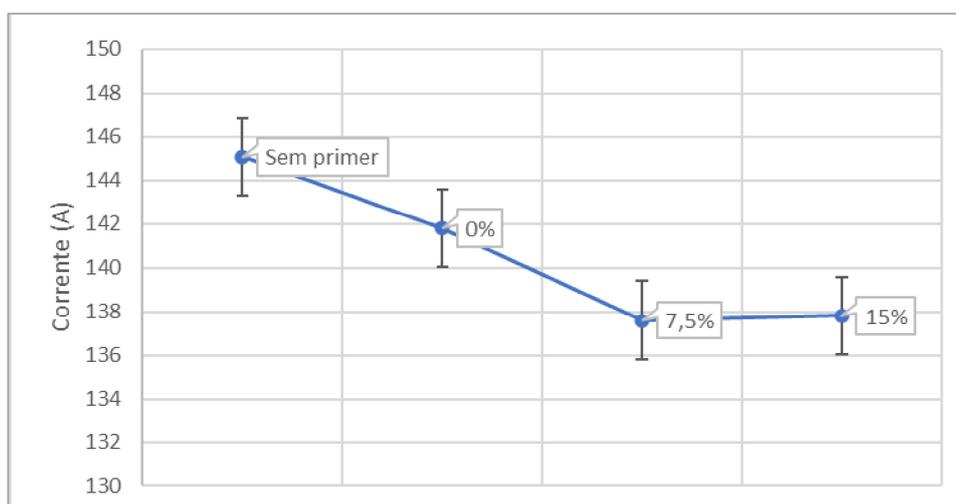
Analisando os dados dos sinais elétricos coletados foi verificado que a presença do primer na soldagem aumentou a tensão média. A maior tensão média encontrada foi a da amostra sem carga de fluoreto. Adicionalmente, foi observado também que a presença do fluoreto mostra uma tendência na diminuição dos valores de tensão, à medida em que é aumentada a concentração de fluoreto. Entretanto, as amostras com fluoreto apresentaram valores de tensões médias superiores aos da amostra sem primer, conforme mostra o gráfico da Figura 41.

Figura 41 – Tensão média na soldagem

Fonte: Produzido pelo próprio autor

Não foram encontrados na literatura estudos que avaliam a influência do primer sobre a tensão de soldagem, contudo, uma hipótese provável é a alteração na atmosfera gerada pelos gases gerados pelo primer interagindo com o arco elétrico, que pode afetar o processo de soldagem devido à sua composição química que não é totalmente conhecida.

A avaliação das correntes médias, Figura 42, mostrou que a presença do primer resultou na redução dos valores médios nas amostras analisadas. As amostras com carga apresentam uma tendência de queda dos valores de tensão, à medida em que aumenta a concentração de fluoreto.

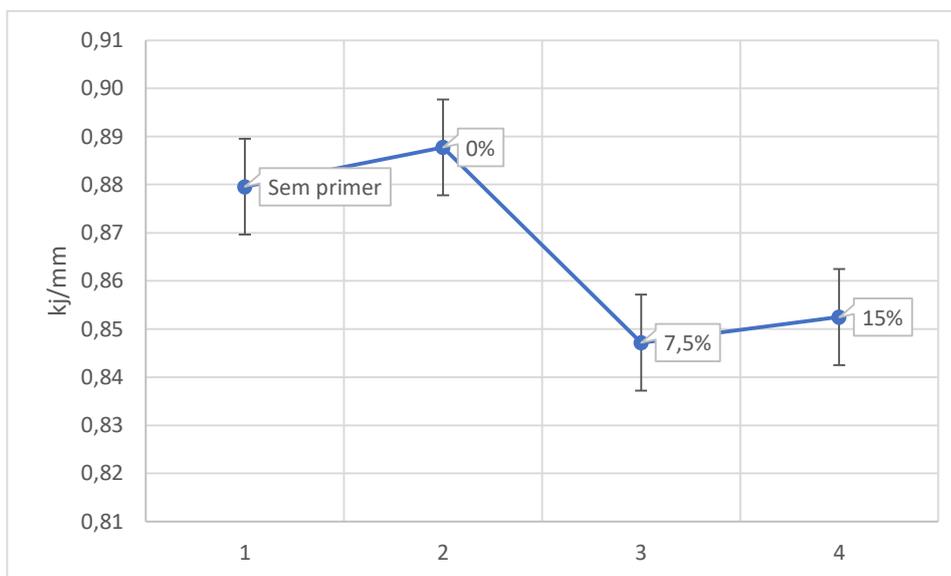
Figura 42 – Corrente média na soldagem

Fonte: Produzido pelo próprio autor

As medidas de aporte térmico apresentadas pela

Figura 43, mostram que a presença do primer não alterou este parâmetro. Já para as amostras com presença de fluoreto, foi observada uma redução considerável, o que era esperado, pois, principalmente para as amostras com carga de fluoreto, foram obtidos dados de correntes e tensões mais baixos que as demais amostras. Srinivasan et al. (2011), diz que o aporte térmico influencia na taxa de resfriamento e, conseqüentemente, na microestrutura obtida e no tamanho de grão, sendo esse mais ou menos refinado. As amostras deste trabalho não apresentaram diferenças significativas no tamanho de grão, contudo, as amostras com menor aporte térmico, com carga de fluoreto, apresentaram maiores frações de ferrita acicular e de segunda fase alinhada.

Figura 43 – Aporte térmico na soldagem



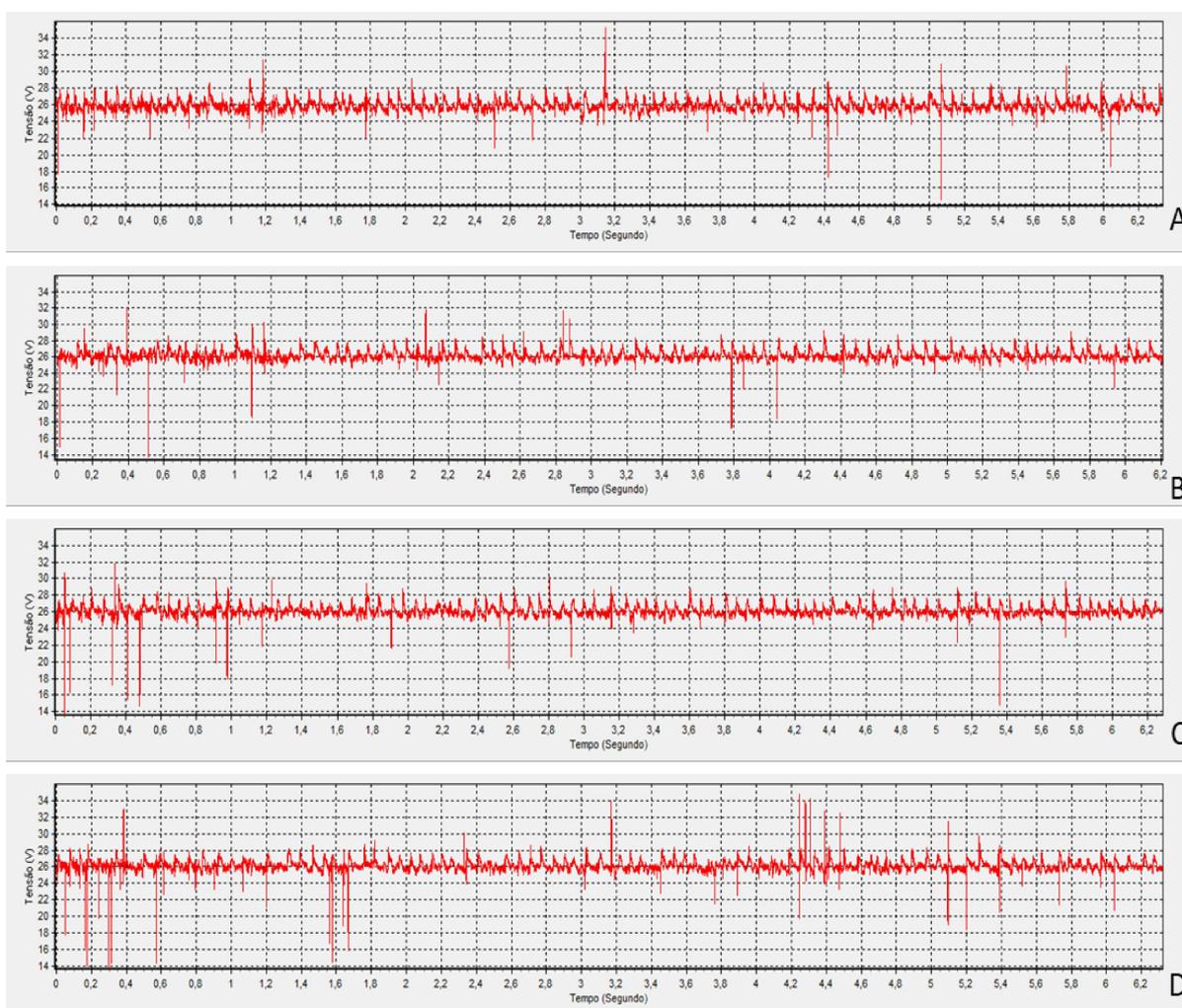
Fonte: Produzido pelo próprio autor

As Figura 44 e Figura 45 apresentam, respectivamente, os oscilogramas de tensão e corrente obtidos a partir do monitoramento dos dados durante as soldagens sob as diferentes condições. Não foram observadas diferenças significativas quanto a morfologia.

Pelo comportamento das variações de tensão e corrente, observa-se que a transferência metálica predominante é do tipo globular, conforme verificado por

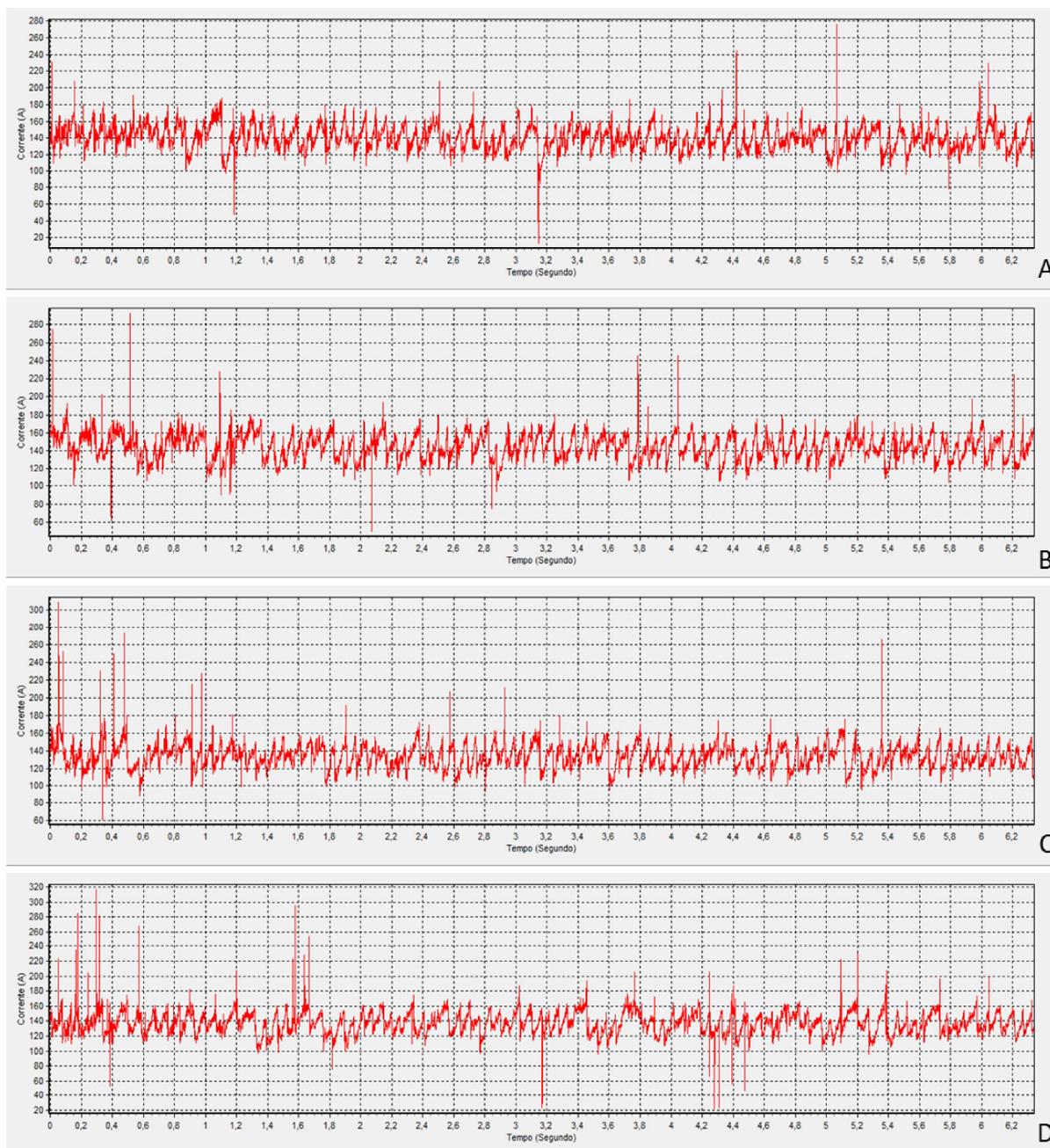
Starling *et al.* (2009) em trabalho realizado com soldagem FCAW utilizando arame tubular rutilico e gás de proteção 100% CO₂. Entretanto, o sinal de tensão apresenta aparentes diferenças quanto a frequência dos ciclos à medida que se utiliza a carga de fluoreto. Para confirmar possíveis diferenças, foi realizada a medição das frequências desses ciclos, ilustrados na Figura 46. A tensão de corte utilizada no cálculo foi de 26,9V. Os resultados obtidos são mostrados na Figura 47.

Figura 44 - Oscilogramas de tensão - A) sem primer; B) com primer e sem fluoreto; C) 7,5% de fluoreto; D) 15% de fluoreto



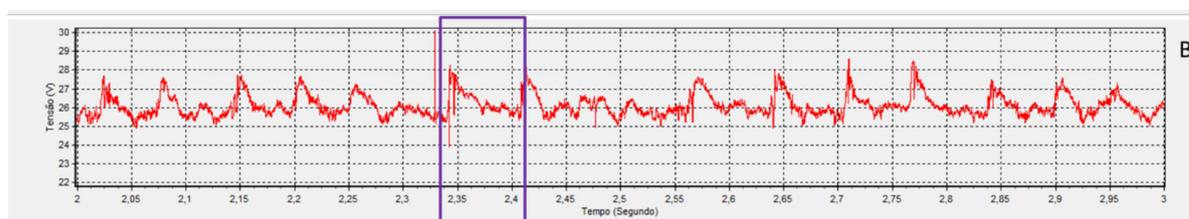
Fonte: Produzido pelo próprio autor

Figura 45 - Oscilogramas de corrente - A) sem primer; B) com primer e sem fluoreto; C) 7,5% de fluoreto; D) 15% de fluoreto



Fonte: Produzido pelo próprio autor

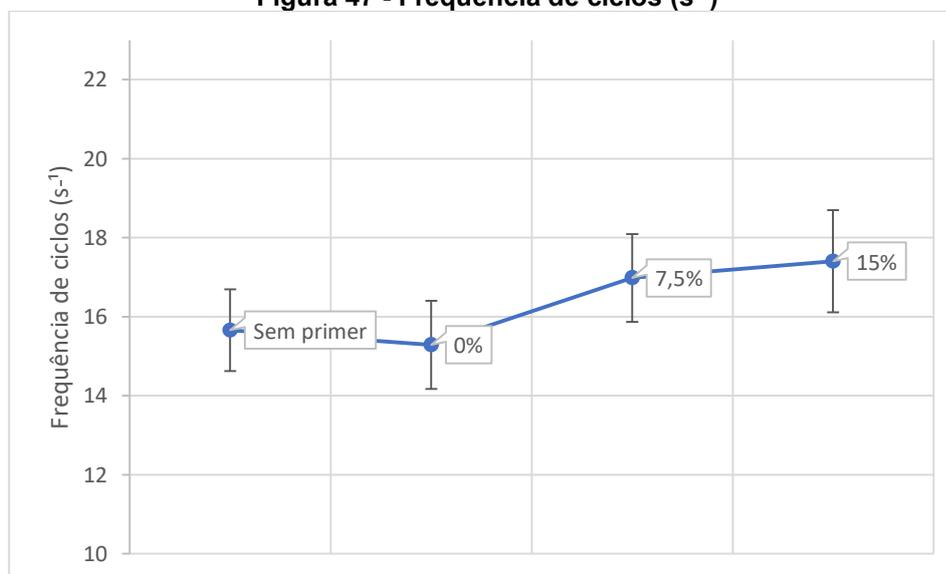
Figura 46 - Oscilograma de tensão da soldagem sobre chapa com shop primer e adição de 15% de carga de fluoreto - Intervalo de 2 a 3s



Fonte: Produzido pelo próprio autor

Nota-se que a presença do primer sem carga de fluoreto não influenciou significativamente na alteração média de ciclos. No entanto, foi observado que a presença do primer alterou o comportamento desses, aumentando-os. Entre as amostras com primer, parece haver uma tendência de aumento de ciclos à medida em que é aumentada a concentração de primer. Contudo, devido aos significativos desvios padrões das amostras com primer, esta diferença não pode ser apontada, a princípio, como significativa. Além disso, essa diferença tem como hipótese o aumento da frequência da formação de gotas para transferência metálica.

Figura 47 - Frequência de ciclos (s^{-1})



Fonte: Produzido pelo próprio autor

6 Conclusões

Com a realização deste estudo nas condições de soldagem estabelecidas, chegou-se as seguintes conclusões:

As soldas realizadas em chapas com e sem pintura de *shop primer* não apresentaram diferenças visuais significativas. Além disso, não houve ocorrência de descontinuidades nas soldas, indicando que a presença do *shop primer* não influenciou nestes aspectos. Entretanto, foi observado que a presença do primer inibe a aderência dos respingos sobre as chapas base.

Com base nas microestruturas observadas, foi verificado que o *shop primer* sem carga de fluoreto, na espessura aplicada, não altera significativamente a microestrutura da solda, quando comparado com a amostra sem pintura. Contudo, para as soldas feitas sobre chapas com primer e carga de fluoreto ocorre aumentos das frações volumétricas de ferrita acicular e ferrita de segunda fase alinhada, e reduções das de ferrita primária de contorno de grão e ferrita intragranular, com o aumento da carga de fluoreto.

A presença de fluoreto tende a reduzir a tensão média, além de reduzir a corrente média. Desta forma, o aporte térmico é menor nas amostras com carga de fluoreto. Concomitantemente, a frequência de ciclos de tensão relacionados a transferência metálica é maior nas amostras com primer.

A presença do primer altera a morfologia dos cordões de solda, aumentando a largura e a penetração. Contudo, a presença do fluoreto, como carga, atenua a influência do primer.

7 Sugestões para trabalhos futuros

Realizar estudos complementares empregando cargas de fluoreto em quantidades acima da utilizada nesse trabalho de modo consolidar as tendências observadas quanto a variações no perfil das soldas e sinais elétricos.

Estudar a influência da carga de fluoreto no *shop primer* sobre o teor de hidrogênio difusível, composição química e propriedades mecânicas das soldas produzidas.

Investigar a influência das cargas de fluoreto sobre a resistência à corrosão da camada de shop primer.

6 Referências Bibliográficas

ALVES, L. S.; BUENO, P. H. B. Estudo Comparativo de Desempenho do Processo FCAW Utilizando como Gases de Proteção 100%CO₂, Ar + 25% CO₂ e Ar + 40% CO₂ Eletrodo Tubular E71T-1 como Consumível. Orientador: Prof. Guilherme Caribe de Carvalho. 2016. 87 p. Projeto de Graduação (Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

AZEVEDO, A.G.L. Soldagem A-TIG em aço inoxidável ferrítico. Orientador: Prof. Dr. Valtair Antônio Ferraresi. 2012. 196 p. Tese de Doutorado (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2012.

BARBEDO, N. D. L. Avaliação Comparativa dos Processos de Soldagem GMAW e FCAW Utilizando Aço ASTM A-36 Para Verificar a Soldabilidade, Propriedades Metalúrgicas, Geométricas e Resistência Mecânica. Orientador: Prof. Dr. Edmilson Otoni Corrêa. 2011. 82 p. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2011.

BATISTA, L. A. Soldagem MIG/MAG com fluxo ativo do aço inoxidável austenítico AISI 304L. Orientador: Prof. Dr. Paulo José Modenesi. 2018. 115 p. Tese de Doutorado (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018.

BEHRING, J. L., et al., “Adaptação No Método Do Peso Da Gota Para Determinação Da Tensão Superficial: Um Método Simplificado Para A Quantificação Da Cmc De Surfactantes No Ensino Da Química”, Química Nova, v. 27, pp. 492-495, 2004.

BRACARENSE, A. Q. *et al.* Welding current effect on diffusible hydrogen content in flux cored arc weld metal. J. Braz. Soc. Mech. Sci. v.24, n.4, Rio de Janeiro Nov. 2002

DILLENBECK, V.R.; CASTAGNO, L. The Effects of Various Shielding Gases. vol. 66, nº 9, Sept : Welding Journal, 1987. pp 45-49

EVANS, G. M.; The effect of titanium on the microstructure and properties of C-Mn

all-weld-metal deposits, *Welding Reserch Abroad*, Vol. 28, 1992, p. 13-21

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.

JOHNSON, K. S.; LIU, S. *Diffusible Hydrogen Control and Microstructural Refinement in FCA Welds Performed over Primer-Coated Steels*. M. Sc. Colorado School of Mines 1998.

JÚNIOR, J. C. et al. *Comparação da Taxa e Eficiência de Deposição entre os Consumíveis ER70S-6 e E71T-1C*. *Soldagem & Inspeção*, São Paulo, v. 20, ed. 1, p. 2-15, 29 jan. 2015.

KIM, Y-s, e EAGAR, T. W. (1993). *Analysis of Metal Transfer in Gas Metal Arc Welding*. *Welding Research*, 269–278.

KNUDSEN, O.; STEINSMO, U.; BJORDAL, M. *Zinc-rich primers Test performance and electrochemical properties*. *Progress in Organic Coatings*, 2005. – *Prog Org Coating*.

KOU, S. *Welding Metallurgy*. 2. ed. Hoboken: Wiley-Interscience, 2003. 466 p.

KUMAR, P. S.; VINEET, K.; PRIYANKA, V. *Effect of Various Fluxes on Weld Characteristics in Activated Metal Inert Gas Welding Process*. Department of Mechanical Engineering, Aryabhata College of Engineering and Research Center, Ajmer Rajasthan India. *The International journal of analytical and experimental modal analysis* Volume XII, Issue IV, April, 2020.

LANCASTER, J.F., *Metallurgy of Welding*, George Allen & Unwin, Londres, 1987, pp. 12, 20-52.

LECONTE, S. et al. *Effects of lux containing fluorides on TIG welding process*. *Science and Technology of Welding Joining*, 2007.

LEZZI, F.; COSTA, L. The development of conventional welding processes in naval construction, *Welding International*, 786-797, 2013.

LU, S.; FUJII, SUGIYAMA, H.; NOGI, K. Shanping et al. Mechanism and optimization of oxide fluxes for deep penetration in gas tungsten arc welding. *Metallurgical and Materials Transactions*, 2003.

LEE, C. et al. Effect of Retained Pre-construction Primer on the Corrosion Protection Properties of Epoxy Coatings." Korea, Republic of, 2007.

MATSUSHITA, M.; LIU, S. Hydrogen control in steel weld metal by mean sof fluoride additions in welding flux. *Welding Journal (Miami, Fla)*, 2000. 79. 295s-303s.

MODENESI, P.; APOLINÁRIO, E.; PEREIRA, I. TIG welding with single-component fluxes. *Journal of Materials Processing Technology*, 2000. 99.

MODENESI, P. The chemistry of TIG weld bead formation. *Soldagem & Inspeção*, 2013. 18. 287-300.

MOREIRA, A. F. Influência da atmosfera protetora no cordão de solda obtido através dos processos de soldagem GMAW e FCAW. Orientador: Prof. Dr. Vicente Afonso Ventrella. 2008. 147 p. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2008.

NETO, J. R. F. Estudo do Efeito de Fluxos em Aspectos Operacionais da Soldagem MIG/MAG. Orientador: Dr. Paulo José Modenesi. 2017. 117 p. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2017.

NORRISH, J. *Advanced Welding Processes*. J. W. Nottingham e D. A. Worcester, Eds. (pp. 1–373). London: IOP Publishing Ltd, 1992.

OLIVEIRA, W. C. Estudo do Efeito de Fluxos na Soldagem A-TIG de Alumínio. Orientador: Dr. Paulo José Modenesi. 2007. 181 p. Tese de Doutorado (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

SALES, J. C. Efeito do Tipo de Gás de Proteção Sobre o Desempenho do Arame Tubular AWS E71T-1, Utilizando Processo Convencional e Pulsado. Orientador: Prof. Dr. Jesualdo Pereira Farias. 2002. 80 p. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia e Ciência de Materiais) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2002.

SINGH, A.; DEY, V.; RAI, R. Techniques to improve weld penetration in TIG welding (A review). *Materials today: proceedings*. 4. 1252-1259, 2020.

STARLING, D.M.C.; MODENESI, P.J. "Avaliação da Transferência de Metal de Arames Tubulares", Universidade Federal de Minas Gerais, *Soldagem & Inspeção*, vol.11, nº 3, pp.147-155, 2006.

STARLING, C. M. D.; MODENESI, P. J.; BORBA, T. M. D. Caracterização do Cordão na Soldagem FCAW com um Arame Tubular Rutilico. *Soldag. insp.* São Paulo, v.14, n.4, p.298-312, Dez, 2009.

STARLING, C. M. D.; MODENESI, P. J.; BORBA, T. M. D. Caracterização do Cordão na Soldagem FCAW com um Arame Tubular "Metal Cored". *Soldag. insp.* São Paulo, v.16, n. 3, p.285-300, Jul/Set 2011.

SRINIVASAN, K., V. BALASUBRAMANIAN. "Effect of surface tension metal transfer on fume formation rate during flux-cored arc welding of HSLA steel." *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 56 (2011).

STREITBERGER, H. J.; GOLDSCHMIDT, A. BASF handbook basics of coating technology. *European Coatings*, 2018.

SUZUKI, T; MAKI, S; KANBE, Y. The practicability of primer resistant flux-cored wire, *Welding International*, 4:6, 486-493, 1990.

VARBAI, B. K.; MÁJLINGER, K. Effects of Active Fluxes in Gas Metal Arc Welding. *Periodica Polytechnica Mechanical Engineering*. 61. 68-73, 2016.

TWI (The Welding Institute). *An Evaluation of the A-TIG Welding Process*, 1995

UCHOA, J. D. Caracterização do Metal de Solda Obtido com Arame AWS ER 70 S-6 em Função da Adição de Fluxo Ativo e Vazão do Gás de Proteção CO₂ em Solda Bead on Plate no Aço ASTM A36. Orientador: Prof. Dr. Ayrton de Sá Brandim. 2017. 105 p. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia de Materiais) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Teresina, 2017.

VAZ, C.T.; BRACARENSE, A. Q. Influência do uso de PTFE como aglomerante em eletrodos revestidos básicos sobre a formação de ferrita acicular no metal de solda. *Soldagem e Inspeção*. São Paulo. Vol. 19, Nº. 02, Abr/Jun 2014, p.177-189.

VAZ, C.T. et al. Arames Tubulares Celulósicos: Influência da Adição de Polímeros sobre a Estabilidade do Processo e Propriedades do Metal de Solda Produzido. *Soldag. insp.* [online]. 2017, vol.22, n.4, pp.374-388.

VERGÉS, G. R. Estudo do Desempenho de Sistemas de Pintura para Materiais das Redes de Distribuição de Energia Elétrica Situadas em Regiões Litorâneas. Orientador: Profº Dr. Carlos Mario Garcia. 2005. 214 p. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia de Materiais) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Curitiba, 2005.

YUAN, Y.; YAMAZAKI, K.; SUZUKI, R. Relationship between penetration and porosity in horizontal fillet welding by Hybrid Tandem MAG welding process. *Welding in the World*. 33. 349-357, 2016.

WANG, W.; LIU, S.; JONES, J.E. "Flux Arc Welding: Arc Signals, Processing and Metal Transfer Characterization", *Welding Journal*, v82, n°3, pp.369s-377s, 2016.

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

WEMAN, K. *Specification for Carbon and Low Alloy Steel Flux Cored Electrodes for Flux Cored Arc Welding and Metal Cored Electrodes for Gas Metal Arc Welding: AWS A5.36/A5.36M:2016. 2. ed. rev.* Miami: American Welding Society (AWS), 2016. v. 2.

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

ZHANG, R.; FAN, D.; KATAYAMA, S. *Electron Beam Welding with Activating Flux. Transaction of JWRI. 35, 2006.*