

Vinicius Rodrigues Suzukayama

AVALIAÇÃO DE FLUXOS PARA SOLDAGEM DE ALTA ENERGIA COM PROCESSO TANDEM ARC

Monografia apresentada ao Programa de
Educação Continuada em Engenharia da Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo para
conclusão de curso de Especialização.

São Paulo

Maio/2015

Vinicius Rodrigues Suzukayama

(Engenheiro de Materiais, Universidade Federal de São Carlos, 2009)

AVALIAÇÃO DE FLUXOS PARA SOLDAGEM DE ALTA ENERGIA COM PROCESSO TANDEM ARC

Monografia apresentada ao Programa de
Educação Continuada em Engenharia da Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo para
conclusão de curso de Especialização.

Área de Concentração:
Engenharia da Soldagem

Orientador:
Engenheiro Carlos Alberto Faggiani

São Paulo

Maio/2015

*"A dúvida é o princípio da sabedoria."
Aristóteles*

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha família: a meus pais Renaldo Satoshi Suzukayama e Silvia Suzukayama que proveram todo carinho, educação e recursos para que eu pudesse chegar a esta etapa da minha vida. Aos meus irmãos Lucas Suzukayama e Gabriel Suzukayama que sempre estiveram ao meu lado. À minha esposa Laís Suzukayama que está sempre ao meu lado me apoiando e me incentivando em todas as minhas decisões.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todos que de certa forma me auxiliaram na execução deste trabalho.

Agradeço ao meu orientador Carlos Alberto Faggiani por todo apoio e dedicação.

Agradeço ao apoio do Prof. Dr. Sérgio Duarte Brandi e do M.e Jaime Casanova no suporte prestado nas análises microestruturais.

Agradeço ao meu amigo e mentor Antônio Cordeiro de Souza por toda ajuda.

Agradeço aos meus colegas de trabalho, Luis Carlos Ataide Barbosa, Saulo de Oliveira, Sergio Alves, Karine Zaccari, Ricardo Silva, Augusto Blanco e Thiago Silva por toda ajuda prestada nas diversas etapas do desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço à Lincoln Electric do Brasil por prover os recursos para execução da soldagem e realização das análises.

Agradeço à Usiminas por ceder o metal base para execução do trabalho.

CURRICULUM VITAE

Dados Pessoais:

Vinicius Rodrigues Suzukayama.
Brasileiro – Casado – 27 anos.
Tel. (residência): (11) 4561-8981
Tel. (celular): (11) 96467-0445
Email: vinicius_suzukayama@yahoo.com.br

Escolaridade:

Ensino Superior Completo – Bacharel em Engenharia de Materiais –
Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) – Concluído em 2009.
Ensino Médio Completo – Colégio Jardim São Paulo – Concluído em 2004.

Experiência Profissional:

2010 – 2015 – Lincoln Electric do Brasil

- 06/2013 – 2015 – Engenheiro de Pesquisa e Desenvolvimento – Responsável pela coordenação de Projetos de Desenvolvimento e responsável pelo desenvolvimento de Arames Tubulares e Arames compostos de alma metálica.
- 2013 – 05/2013 – Engenheiro de aplicações Segmento Naval – Responsável pelo suporte técnico aos clientes do segmento naval dos estados de São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul.
- 2012 – 2013 – Engenheiro de Aplicações Regional Sul – Responsável pelo suporte técnico aos clientes de todos os segmentos nos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, sendo principal cliente o Estaleiro Rio Grande (Rio Grande – RS).
- 2011 – 2012 – Engenheiro de Aplicações Trainee Regional Sul – Responsável pelo suporte técnico à implementação dos equipamentos de soldagem e linhas de soldagem de painéis no Estaleiro Rio Grande (Rio Grande - RS)
- 2010 – 2011 – Engenheiro Trainee – Treinamentos e Preparação para assumir o cargo de Engenheiro de Aplicações.

2008 – 2009 – EATON Corp

- Estagiário na Engenharia de Tratamentos Térmicos
- Estagiário no Centro de Excelência em Engenharia de Materiais (CoE)

Idiomas:

Inglês Avançado

RESUMO

Visando a tendência de busca por produtividade o presente trabalho propõe a soldagem do aço classificado como EN-10025-4-04-S355-M / ASTM A131/A131M - EH36, produzido pela rota TMCP, com três Fluxos com diferentes características, um fluxo Semi-Básico, um Semi-Básico micro-ligado com Titânio e Boro e um Básico.

Para cada fluxo foi soldado um corpo de prova com os parâmetros de soldagem monitorados, utilizando o processo de soldagem ao Arco Submerso Tandem com dois arames, em altos níveis de aporte energético, muito além dos praticados atualmente.

Para cada corpo de prova soldado foram avaliados: características físicas do metal depositado, como dimensões e perfil de penetração; cálculo de diluição e análise química para avaliar a eficiência de deposição de alguns elementos químicos em função da alta energia utilizada; avaliação da tenacidade a 2mm da face do segundo cordão, conforme especificações navais, e na região de intersecção dos cordões de solda às temperaturas de 0°C, -20°C e -40°C; e avaliação microestrutural resultante, buscando correlações com os resultados químicos e mecânicos encontrados.

O fluxo que apresentou melhor desempenho em tenacidade à baixas temperaturas foi o Semi-Básico micro-ligado com Titânio e Boro, seguido do Semi-Básico e o Básico, principalmente devido à microestrutura do cordão de solda proporcionada pela diferença de composição química do metal depositado.

ABSTRACT

Targeting the search trend for productivity this paper proposes weld the steel classified as EN-10025-4-04-S355-M / ASTM A131/A131M-EH36 with three fluxes with different characteristics, a Semi-basic flux, a Semi-basic flux micro-alloyed with titanium and boron and a basic flux.

For each flux was made a welding joint with the welding parameters monitored, using the Tandem submerged arc process with two wires, at high levels of Heat Input, far beyond the performed currently.

For each joint were evaluated the physical characteristics of the welding bead as dimensions and profile of penetration; calculation of dilution and chemical analysis to evaluate the efficiency of deposition of some chemical elements in function of high energy used; evaluation of toughness: 2 mm from the face of the second bead, as naval specifications, and in the region of intersection of weld beads at temperatures of 0° C, -20° C and -40° C; and microstructural evaluation, seeking correlations with chemical and mechanical results found.

The best result was found with the Semi-basic flux micro-alloyed with titanium and boron, followed by the Semi-basic and Basic flux, mainly due to the weld bead microstructure resultant from the different chemical composition of each weld metal.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Fluxo de fabricação de aço líquido e lingotamento de placas dos aços da série Sincron. [1]	4
Figura 2- Fluxo de laminação das chapas grossas da série Sincron da Usiminas - Usina de Ipatinga. [1].....	6
Figura 3– Curva tempo temperatura para o processamento termomecânico de fabricação dos aços TMCP. Onde: Tra = Temperatura de recristalização austenítica; Tir = Temperatura de início do resfriamento; Tfr = Temperatura final de resfriamento; e Cr = Taxa de resfriamento. [Baseada em 1, 13]	9
Figura 4 - Regiões da ZAC e respectivas temperaturas. [6]	11
Figura 5 - Influência do ciclo térmico de soldagem na largura do grão solidificado. [6]	12
Figura 6- Relação entre gradiente de resfriamento e penetração parcial do líquido no contorno de grão. [6].....	13
Figura 7- Relação entre temperatura máxima atingida para cada região da zona de recristalização e o tamanho de grão. [Baseado em 20]	14
Figura 8- Efeito da energia de soldagem na: (a) largura da zona afetada pelo calor; (b) ciclo térmico próximo a zona de ligação; e (c) perfil de resistência mecânica. [Baseado em 20].....	15
Figura 9– A) Vista superficial ilustrativa da formação de ferrita acicular no interior do grão [8]; B) Modelo tridimensional de crescimento em ripas de uma ferrita acicular nucleada a partir de uma inclusão. [29]	17

Figura 10- Diagrama de resfriamento contínuo para um aço convencional comercial. (PF= ferrita poligonal; FSP= ferritas em placas; CAF e AF ferrita acicular grossa e ferrita acicular fina; LF= ferrita em ripas e M= martensita em ripas). [9]	19
Figura 11 – Fração de formação microestrutural para diferentes proporções de titânio e boro no metal de solda. A sigla AF representa a fração de ferrita acicular, a sigla SF representa a fração da ferrita com segunda fase e a sigla F representa a fração de ferrita primária. [7]	21
Figura 12 - Fração de formação microestrutural para diferentes concentrações de alumínio no metal de solda. A sigla AF representa a fração de ferrita acicular, a sigla SF representa a fração da ferrita com segunda fase e a sigla F representa a fração de ferrita primária. [39]	22
Figura 13 – Fração de formação microestrutural para diferentes proporções de titânio e alumínio no metal de solda. A sigla AF representa a fração de ferrita acicular, a sigla SF representa a fração da ferrita com segunda fase e a sigla F representa a fração de ferrita primária. [40]	23
Figura 14 - Efeito do Pré-aquecimento na susceptibilidade à trincas induzidas por hidrogênio. [31]	26
Figura 15 - Efeito do carbono equivalente no pré-aquecimento requerido. [5]	27
Figura 16 - Esquema de soldagem ao Arco Submerso. [Baseado em 23].....	29
Figura 17- Influência da corrente de soldagem no perfil do cordão. [11].....	31
Figura 18 - Influência do tipo de corrente de soldagem no perfil do cordão. [11]	32
Figura 19 - Influência da tensão de arco no perfil do cordão. [11].....	33

Figura 20 - Influência do diâmetro do eletrodo no perfil do cordão. [11].....	34
Figura 21 - Influência da velocidade de soldagem no perfil do cordão. [11] ...	35
Figura 22 - Influência do ângulo de soldagem no perfil do cordão, A) Ângulo puxando; B) Ângulo neutro; C) Ângulo empurrando. [11]	36
Figura 23 - a) Disposição típica para soldagem Tandem-Arc com dois arames.	
b) Disposição típica para soldagem Tandem-Arc com 3 arames. [11].....	38
Figura 24 - Efeito do número de eletrodos na velocidade de soldagem de juntas de topo. [11]	39
Figura 25 – Perfil do cordão de solda do primeiro arco. [12]	40
Figura 26 – Perfil do cordão de solda do segundo arco. [12].....	40
Figura 27 - Perfil do cordão de solda do terceiro arco. [12].....	41
Figura 28 - Ilustração das forças sobre o arco elétrico para diferentes arranjos de polaridade de eletrodos. [12]	43
Figura 29 - Composições de ângulo de eletrodos para soldagem com Tandem Arc com dois e três eletrodos. [12].....	44
Figura 30 - Identificação do metal base utilizado no trabalho.	51
Figura 31 - Efeito do carbono equivalente no pré-aquecimento requerido. [5]	53
Figura 32 - Micrografias, Aumento de 100X; A - Superfície da base da chapa; B – 0,25 da espessura, a partir da base da chapa; C – 0,5 da espessura, a partir da base da chapa; D – Superfície do topo da chapa; E – 0,25 da espessura, a partir do topo da chapa; D – 0,5 da espessura, a partir do topo da chapa. [3]	55
Figura 33 - Micrografias, Aumento de 500X; A - Superfície da base da chapa; B – 0,25 da espessura, a partir da base da chapa; C – 0,5 da espessura, a partir	

da base da chapa; D – Superfície do topo da chapa; E – 0,25 da espessura, a partir do topo da chapa; 0,5 da espessura, a partir do topo da chapa. [3] 56

Figura 34 - Curva de Energia absorvida (J) por temperatura (°C), obtida a partir de ensaio de impacto Charpy com entalhe em V. (Resultado típico apresentado no relatório de aprovação do produto). [3]	58
Figura 35 - Arame para soldagem ao arco submerso utilizado.	59
Figura 36 - Etiquetas de identificação dos fluxos utilizados.....	60
Figura 37 - Fontes de Soldagem Lincoln Electric PowerWave AC/DC 1000 SD com controladores MAXsa 10.	62
Figura 38 - Sistema de soldagem ao Arco Submerso Tandem Arc.	62
Figura 39 - Esquema de configuração das tochas de soldagem.	63
Figura 40 - Configuração das tochas de soldagem.	64
Figura 41 - Dimensões do cobre junta utilizado na soldagem dos corpos de prova.....	65
Figura 42 - Dimensões de preparação da junta.	65
Figura 43 - Dimensões dos corpos de prova.....	66
Figura 44 - Fotos com detalhes da montagem dos corpos de prova.....	67
Figura 45 - Controlador de temperatura da estufa de secagem de fluxo.....	68
Figura 46 - Sequência de passes de soldagem para o procedimento de alta energia.....	69
Figura 47 - Interface do Software Lincoln Observer.	72
Figura 48 - Interface do Software Production Monitoring 2.2.....	73
Figura 49 - Instrumentos utilizados para medir as dimensões dos cordões de solda.	74

Figura 50 - Interface do Software ArcWorks WeldCAD.	75
Figura 51 - Análise Química do metal de solda realizada na face do cordão de solda e na intersecção dos cordões.	76
Figura 52 - Dimensões do corpo de prova de impacto Charpy com entalhe em V.	77
Figura 53 - Posição de retirada dos corpos de prova de Impacto: A) A 2 mm da face do segundo cordão; B) Intersecção dos cordões de solda.	78
Figura 54 - Posição dos corpos de prova.	78
Figura 55 - Fluxograma para a identificação de microconstituintes no metal de solda. [35]	82
Figura 56 - Interface do Software AxioVision utilizado para determinação da fração de fases.	83
Figura 57 - Exemplo de Micrografia em Campo Escuro para detecção de inclusões (Aumento de 200X).	84
Figura 58 - Energia de soldagem aplicada ao Lado 1 do corpo de prova.	88
Figura 59 - Energia de soldagem aplicada ao Lado 2 do corpo de prova.	88
Figura 60 - Regiões de segmentação do corpo de prova soldado.	89
Figura 61 - Dimensões do cordão de solda.	90
Figura 62 - Avaliação de composição química calculada versus analisada para o CP-105.	96
Figura 63 - Avaliação de composição química calculada versus analisada para o CP-NAV.	97
Figura 64 - Avaliação de composição química calculada versus analisada para o CP-DX.	98

Figura 65 - Composição química comparativa entre os três CPs analisada na face do cordão de solda.....	99
Figura 66 - Composição química comparativa entre os três CPs analisada na face do cordão de solda para os elementos químicos de interesse.....	100
Figura 67 - Composição química comparativa entre os três CPs analisada na intersecção dos cordões de solda.	101
Figura 68 - Composição química comparativa entre os três CPs analisada na intersecção dos cordões de solda para os elementos químicos de interesse. .	102
Figura 69 - Energia absorvida no ensaio de Impacto Charpy ensaiado na intersecção dos cordões de solda.	104
Figura 70 - Energia absorvida no ensaio de Impacto Charpy ensaiado à 2mm da face da placa no lado do segundo cordão de solda.	104
Figura 71 - Macrografia da junta soldada do CP - 105, indicando as regiões de avaliação micrográfica; Região 1 – Centro do segundo passe de solda, Região 2 – Região de Refino. Ataque Nital 6%.	106
Figura 72 - Micrografia da Região 1 - Centro do segundo passe de solda do CP - 105. Aumento de 50X. Ataque Nital 2%.	107
Figura 73 - Micrografia da Região 1 - Centro do segundo passe de solda do CP - 105. Aumento de 200X. Ataque Nital 2%. 1 - Ferrita de contorno de grão (GF); 2 - Ferrita intragranular poligonal (PF); 3 - Ferrita com segunda fase alinhada (AC); e 4 - Ferrita acicular (AF).	108
Figura 74 - Micrografia da Região 1 - Centro do segundo passe de solda do CP - 105. Aumento de 500X. Ataque Nital 2%. 1 - Ferrita de contorno de grão (GF); e 4 - Ferrita acicular (AF).	109

Figura 75 - Micrografia da Região 2 – Região de refino do CP - 105. Aumento de 100X. Ataque Nital 2%.....	110
Figura 76 - Micrografia da Região 2 – Região de refino do CP - 105. Aumento de 500X. Ataque Nital 2%.....	111
Figura 77 - Micrografia da Região 2 – Região de refino do CP - 105. Aumento de 1000X. Ataque Nital 2%. 5 - Ferrita primária (F); e 6 - Agregado ferrita carboneto ou Perlita (FC ou P).	112
Figura 78 - Macrografia da junta soldada do CP - NAV, indicando as regiões de avaliação micrográfica; Região 1 – Centro do segundo passe de solda, Região 2 – Região de Refino. Ataque Nital 6%.	113
Figura 79 - Micrografia da Região 1 - Centro do segundo passe de solda do CP - NAV. Aumento de 50X. Ataque Nital 2%.	114
Figura 80 - Micrografia da Região 1 - Centro do segundo passe de solda do CP - NAV. Aumento de 200X. Ataque Nital 2%. 1 - Ferrita de contorno de grão (GF); 2 - Ferrita intragranular poligonal (PF); e 4 - Ferrita acicular (AF).....	115
Figura 81 - Micrografia da Região 1 - Centro do segundo passe de solda do CP - NAV. Aumento de 500X. Ataque Nital 2%. 1 - Ferrita de contorno de grão (GF); e 4 - Ferrita acicular (AF).....	116
Figura 82 - Micrografia da Região 2 – Região de refino do CP - NAV. Aumento de 100X. Ataque Nital 2%.....	117
Figura 83 - Micrografia da Região 2 – Região de refino do CP - NAV. Aumento de 500X. Ataque Nital 2%.....	118

Figura 84 - Micrografia da Região 2 – Região de refino do CP - NAV. Aumento de 1000X. Ataque Nital 2%. 5 - Ferrita primária (F); e 6 - Agregado ferrita carboneto ou Perlita (FC ou P).	119
Figura 85 - Macrografia da junta soldada do CP - DX, indicando as regiões de avaliação micrográfica; Região 1 – Centro do segundo passe de solda, Região 2 – Região de Refino. Ataque Nital 6%.	120
Figura 86 - Micrografia da Região 1 - Centro do segundo passe de solda do CP - DX. Aumento de 50X. Ataque Nital 2%.	121
Figura 87 - Micrografia da Região 1 - Centro do segundo passe de solda do CP - DX. Aumento de 200X. Ataque Nital 2%. 1 - Ferrita de contorno de grão (GF); 3 - Ferrita com segunda fase alinhada (AC); e 4 - Ferrita acicular (AF).	122
Figura 88 - Micrografia da Região 1 - Centro do segundo passe de solda do CP - DX. Aumento de 500X. Ataque Nital 2%. 1 - Ferrita de contorno de grão (GF); e 4 - Ferrita acicular (AF).	123
Figura 89 - Micrografia da Região 2 – Região de refino do CP - DX. Aumento de 100X. Ataque Nital 2%.	124
Figura 90 - Micrografia da Região 2 – Região de refino do CP - DX. Aumento de 500X. Ataque Nital 2%.	125
Figura 91 - Micrografia da Região 2 – Região de refino do CP - DX. Aumento de 1000X. Ataque Nital 2%. 5 - Ferrita primária (F); e 6 - Agregado ferrita carboneto ou Perlita (FC ou P).	126
Figura 92 - Fração de fases no cordão de solda.	128
Figura 93 - Fração de fases na região de refino.	129
Figura 94 - Fração de área de inclusões.	131

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição química do metal base. [3, 25, 26]	52
Tabela 2 - Tamanho de grão ferrítico, de acordo com ASTM-E112/1996. [3]..	54
Tabela 3 - Avaliação de inclusões, de acordo com ASTM-E45/2005. [3]	54
Tabela 4 - Propriedades Mecânicas (Resistência à Tração). [25, 26]	57
Tabela 5 - Propriedades Mecânicas (Tenacidade à fratura). [25, 26].....	57
Tabela 6 - Composição Química do EM12-K. [30]	59
Tabela 7 - Propriedades dos Fluxos utilizados no trabalho. [11, 12, 24]	60
Tabela 8- Composição química dos depósitos pelo método de avaliação descrito na AWS A5.17 para os fluxos utilizados.....	61
Tabela 9 - Dimensões dos corpos de prova.	66
Tabela 10 - Procedimento de soldagem.	70
Tabela 11– Classificação de microestrutura de metal de solda de aços ferríticos. [35].....	81
Tabela 12 – Código de identificação dos corpos de prova.....	85
Tabela 13 - Monitoramento de soldagem para o CP – 105.	86
Tabela 14 - Monitoramento de soldagem para o CP – NAV.....	87
Tabela 15 - Monitoramento de soldagem para o CP – DX.....	87
Tabela 16 - Dimensões dos cordões de solda.	91
Tabela 17 - Resultados de diluição calculados para os corpos de prova.....	92
Tabela 18 - Composição química da junta soldada do CP – 105, calculada por diluição.....	92

Tabela 19 - Composição química da junta soldada do CP – NAV, calculada por diluição.....	93
Tabela 20 - Composição química da junta soldada do CP – DX, calculada por diluição.....	94
Tabela 21 - Composição química das juntas soldadas, medidas por espectroscopia de emissão ótica.....	95
Tabela 22 - Resultados de Energia absorvida no ensaio de Impacto Charpy para as juntas soldadas.....	103
Tabela 23- Fração de fases.....	128
Tabela 24 - Fração de inclusões em área %.....	130

LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS E ABREVIATURAS

AC:	Ferrita com segunda fase alinhada
AF:	Ferrita acicular
ASTM:	American Society for Testing and Materials
AWS:	American Welding Society
CA (AC):	Corrente Alternada
CC- (DC-):	Corrente contínua polaridade negativa
CC:	Corrente Constante
CC+ (DC+):	Corrente contínua polaridade positiva
CE:	Carbono Equivalente
CLC:	Continuous on-line control
CP:	Corpo de Prova
CV:	Tensão Constante
F:	Ferrita primária
FC ou P:	Agregado ferrita carboneto ou Perlita
GF:	Ferrita de contorno de grão
HI:	Energia de Soldagem (Heat Input)
IB:	Índice de Basicidade (Boniszewski)
M(L):	Martensita em ripas
M(T):	Martensita maclada
M:	Martensita
MA:	Metal de Adição
MA:	Constituinte martensita-austenita
MB:	Metal Base
PF:	Ferrita intragranular poligonal
Ppm:	Partes por milhão
SF(B):	Bainita
SF(LB):	Bainita Inferior
SF(NA):	Ferrita com segunda fase não alinhada
SF(SP):	Placas laterais de ferrita (side plates)
SF(UB):	Bainita superior
SF:	Ferrita com segunda fase
TMCP:	Processo termo mecanicamente Controlado (Thermo Mechanical Control Process)
ZAC:	Zona Afetada pelo Calor

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA.....	ii
AGRADECIMENTOS.....	iii
CURRICULUM VITAE	iv
RESUMO	v
ABSTRACT	vi
LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE TABELAS.....	xv
LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS E ABREVIATURAS	xvii
SUMÁRIO.....	xviii
1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA.....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.	3
2.2 AÇOS TMCP.....	3
2.2.1 MÉTODO DE FABRICAÇÃO.....	3
2.3 METALURGIA DA SOLDAGEM.....	10
2.3.1 ENERGIA DE SOLDAGEM E SUAS INFLUÊNCIAS.	10
2.3.2 MECANISMO DE MICROLIGAS COM TITÂNIO, BORO e alumínio.....	16
2.3.3 INFLUÊNCIA DO CARBONO EQUIVALENTE NA SOLDABILIDADE.....	24

2.4 PROCESSO DE SOLDAGEM.	28
2.4.1 SOLDAGEM AO ARCO SUBMERSO.	28
2.4.2 PARÂMETROS DE SOLDAGEM.	30
2.4.3 SOLDAGEM AO ARCO SUBMERSO TANDEM ARC.	37
2.4.4 CONSUMÍVEIS DE SOLDAGEM.	46
3. OBJETIVOS.	50
4. MATERIAIS E MÉTODOS.	51
4.1 METAL BASE.....	51
4.1.1 COMPOSIÇÃO QUÍMICA	52
4.1.2 MICROESTRUTURA TÍPICA	54
4.1.3 PROPRIEDADES MECÂNICAS	57
4.2 CONSUMÍVEIS DE SOLDAGEM	59
4.2.1 ARAME PARA SOLDAGEM AO ARCO SUBMERSO	59
4.2.2 FLUXOS PARA SOLDAGEM AO ARCO SUBMERSO.....	60
4.3 EQUIPAMENTO DE SOLDAGEM	61
4.4 PREPARAÇÃO DA JUNTA SOLDADA.....	65
4.5 PROCEDIMENTO DE PREPARAÇÃO DOS CONSUMÍVEIS DE SOLDAGEM	68
4.6 PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM.....	69
4.7 MÉTODO DE AQUISIÇÃO DE DADOS DE SOLDAGEM.....	71

4.8 MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO DE PERFIL DE CORDÃO E CÁLCULO DE DILUIÇÃO	73
4.9 ANÁLISE QUÍMICA DO CORDÃO DE SOLDA.....	76
4.10 MÉTODO DE AVALIAÇÃO DE TENACIDADE	77
4.11 METALOGRAFIA	79
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	85
5.1 MONITORAMENTO DE SOLDAGEM.....	85
5.2 DIMENSIONAMENTO DE PERFIL DE CORDÃO	89
5.3 CÁLCULO DE DILUIÇÃO.....	91
5.4 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO DEPÓSITO	95
5.5 AVALIAÇÃO DE TENACIDADE	103
5.6 AVALIAÇÃO METALOGRÁFICA.....	105
5.6.1 CP – 105.....	106
5.6.2 CP – NAV	113
5.6.3 CP – DX.....	120
5.6.4 Fração volumétrica de fases.....	128
5.6.5 Avaliação das inclusões	130
6. CONCLUSÕES.....	132
7. SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS.....	134
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:.....	135
ANEXO I – Certificados de qualidade.....	139

ANEXO II – Laudos de ensaios laboratoriais	146
ANEXO III – Gráficos de Monitoramento de Soldagem	162

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

Os aços EH36/S355M produzidos pelo processo TMCP são aços de alta resistência e baixa liga, utilizados em componentes estruturais na indústria de energia e construção naval. Os aços em questão aliam alta resistência a baixas espessuras, gerando benefícios econômicos na fabricação, movimentação, processamento, montagem e soldagem dos componentes, além de características para melhorar sua soldabilidade.

O estudo pretende apresentar alternativas de maior produtividade na soldagem de aços estruturais, combinando a escolha de um aço com melhores características de soldabilidade e consumíveis de soldagem de alto desempenho, para determinar procedimentos de soldagem de maior produtividade.

O aço utilizado para este projeto é classificado como EN-10025-4-04-S355-M / ASTM A131/A131M - EH36.

A norma EN-10025-4 especifica produtos de aço estrutural laminados a quente. Esta norma especifica a composição química e o processo de fabricação do aço, quanto ao processamento termomecânico, propriedades mecânicas, métodos de inspeção e testes, identificação e embalagem. [25]

Quanto à nomenclatura do aço, S355M, a sigla S representa que trata-se de um aço estrutural, o número representa a tensão de escoamento mínima para uma espessura menor ou igual a 16 mm expressa em Mpa (N/mm^2) e o sufixo M indica que as medidas de tenacidade à baixa temperatura devem atender a um

valor específico de 40J à temperatura de -20°C, que corresponde a 27J à temperatura de -30°C de acordo com a Eurocode 3. [25]

A norma ASTM A131/A131M especifica os aços estruturais para soldagem naval. Esta norma especifica o processo de fabricação do aço, o tratamento térmico, a composição química, as propriedades mecânicas, os métodos de inspeção e testes, a identificação e embalagem. [26]

Quanto à nomenclatura do aço, EH36, o EH indica que o aço é de alta resistência e o 36 indica que o limite de escoamento mínimo é de 360Mpa. [26]

Visando a tendência de busca por produtividade o presente trabalho propõe uma investigação de diferentes consumíveis de soldagem, utilizando o processo de soldagem ao Arco Submerso Tandem com dois arames, em altos níveis de aporte energético, muito além dos praticados atualmente.

Neste trabalho foram avaliados três Fluxos com diferentes características, um básico, um semi-básico e um semi-básico micro-ligado.

Para cada corpo de prova soldado foram avaliados: as características físicas do metal depositado, como dimensões e perfil de penetração; cálculo de diluição e análise química para avaliar a eficiência de deposição de alguns elementos químicos em função da alta energia utilizada; avaliação da tenacidade a 2mm da face do segundo cordão, conforme especificações navais, e na região de intersecção dos cordões de solda às temperaturas de 0°C, -20°C e -40°C; e avaliação microestrutural resultante, buscando correlações com os resultados químicos e mecânicos encontrados.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.2 AÇOS TMCP

A constante busca em desenvolver aços com maiores requisitos mecânicos, maior facilidade de processamento, menores espessuras e peso embarcado nos equipamentos e redução de custos de fabricação, permitiu o desenvolvimento de gerações modernas de aços micro-ligados produzidos pela tecnologia TMCP. [13]

O processo TMCP pode ser descrito como um processo que visa obter um refinamento de tamanho de grãos através da combinação de controle preciso da composição química, e de uma sequência específica de tratamento termomecânico, controlando precisamente os passes de laminação em termos de redução de espessura, tempo e temperatura. [13]

2.2.1 MÉTODO DE FABRICAÇÃO

O Aço Sincron é produzido por uma rota de lingotamento contínuo e conformação mecânica denominada como TMCP (Thermo Mechanical Control Process), com subsequente controle de resfriamento, designado como CLC (Continuous on-line control). [1]

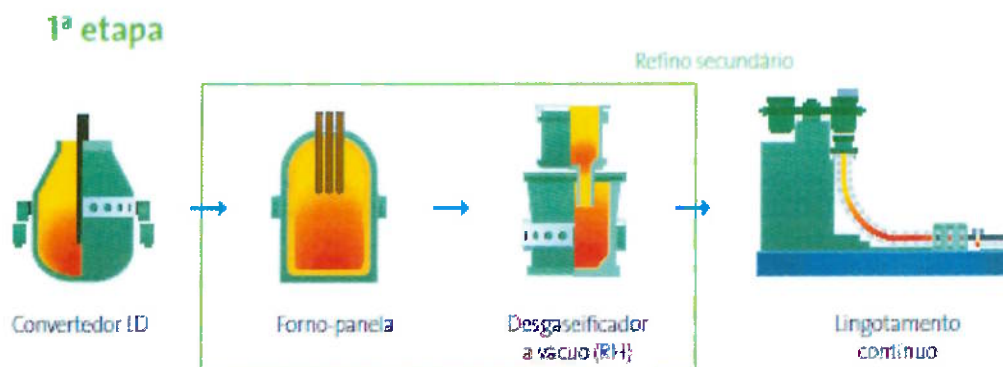
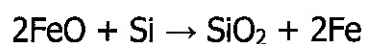
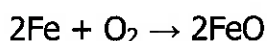


Figura 1- Fluxo de fabricação de aço líquido e lingotamento de placas dos aços da série Sincron. [1]

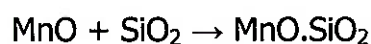
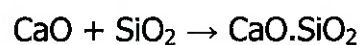
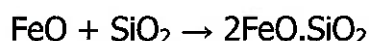
O aço para confecção dos aços Sincron é fabricado a partir da fusão de sucata e ferro-gusa em um convertedor LD, no qual é realizada a purificação do metal através da oxidação das impurezas ocasionada pela injeção de oxigênio ao metal líquido e adição de um fundente à base de Cal.

O oxigênio injetado pelas lanças do convertedor promove a retirada de Si, Mn e C do metal fundido, o oxigênio reage inicialmente com o Fe formando FeO, e em seguida, devido a maior afinidade com o Si e o Mn, o oxigênio do FeO se combina ao Si e ao Mn formando SiO₂ e MnO. [2]



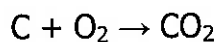
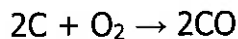
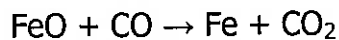
A sílica formada combina-se com o FeO, MnO e cal do fundente para formar uma escória que, por diferença de densidade, irá sobrenadar o metal líquido.

[2]



Simultaneamente ocorre a remoção de C de acordo com as seguintes reações.

[2]



Paralelamente é realizada a adição de ligas para obtenção da composição química desejada.

Na etapa seguinte o metal líquido é transferido para um forno panela. Durante o vazamento do metal é realizada a separação da escória no conversor e a adição de ligas. [2]

No forno de panela será realizada a etapa de refino secundário, nesta etapa é realizada a dessulfuração para teores abaixo de 0,005%, desfosforação e descarburização do aço para teores abaixo de 0,002%. [2]

Devido às etapas anteriores a quantidade de oxigênio é alta, e durante o vazamento ocorre a absorção de alguns gases atmosféricos como nitrogênio e hidrogênio, que são removidos do banho na etapa subsequente, a degaseificação a vácuo (RH). [1, 2]

Após a degaseificação o metal líquido é encaminhado diretamente para a linha de lingotamento contínuo, no qual o metal líquido é convertido diretamente em placas de aço. Os fenômenos de solidificação envolvidos neste processo tais como, estrutura cristalográfica, distribuição de inclusões não metálicas e segregações, irão influenciar fortemente na qualidade do produto e exigem controles especiais. [1, 2]

Os lingotes devem ser livres de inclusões e outros defeitos, o que irá minimizar a segregação de defeitos na linha de centro das chapas e defeitos superficiais. [13]

As placas são inspecionadas internamente por ultrassom e, externamente, os defeitos superficiais encontrados são eliminados por escarificação. [3]

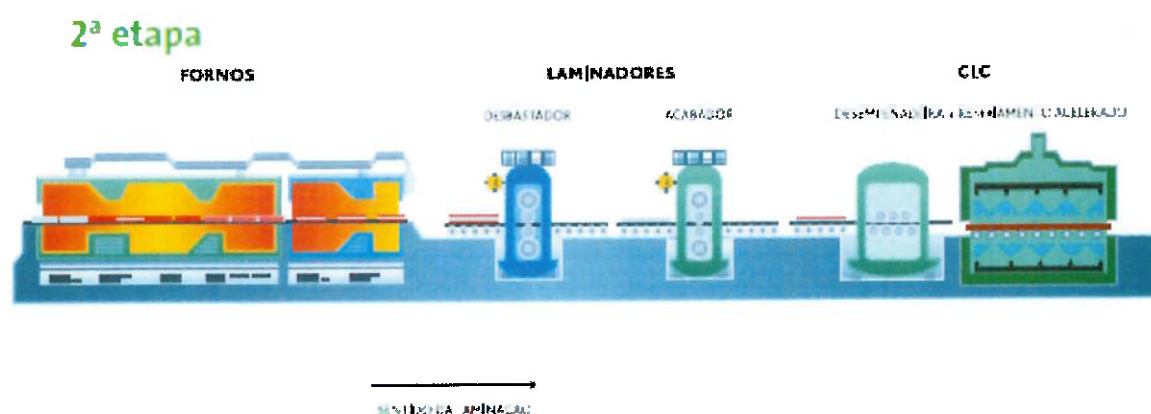


Figura 2- Fluxo de laminação das chapas grossas da série Sincron da Usiminas - Usina de Ipatinga. [1]

As placas são então encaminhadas para o forno de reaquecimento, onde são aquecidas até atingirem uma temperatura acima da temperatura de austenitização, esta temperatura é mantida por um tempo suficiente para atingir uma condição de equilíbrio, a fim de promover a solubilização dos precipitados formados na aciaria e a dissolução dos elementos de microligas adicionados. Nesses fornos, o controle e a uniformidade de temperatura em todas as direções da placa são fundamentais para a garantia de forma e propriedades mecânicas requeridas no produto final. [1, 4, 13]

A chapa é então encaminhada para uma sequência de passes de laminação chamada de etapa de desbaste, no qual a temperatura é mantida acima da temperatura de recristalização austenítica, para promover grandes taxas de

redução de espessura e aproximar a espessura da chapa à espessura final desejada. [1]

Após esta etapa a chapa passa para uma nova sequência de passes de laminação chamada de etapa de acabamento, no qual a temperatura da chapa é mantida abaixo da temperatura de recristalização austenítica, promovendo um significativo refino de grão. [3]

Antes de a chapa ser enviada ao resfriamento acelerado, o material passa em uma desempenadeira a quente para a melhoria da forma, a fim de que o resfriamento seja o mais uniforme possível em todas as direções da chapa. [1]

A etapa seguinte consiste no resfriamento controlado da chapa com água, para garantir a formação da microestrutura desejada, e com isso atingir altos níveis de resistência mecânica gerada pela fase formada e o tamanho de grãos resultante. O equipamento utilizado para o resfriamento acelerado na planta da Usiminas é denominado como CLC (Continuous on-line control). [1]

O rápido resfriamento busca alcançar a formação de uma microestrutura composta de Ferrita e Bainita, de pequenos tamanhos de grão. A estrutura ferrítica consiste em uma estrutura de alta ductilidade, baixa resistência mecânica e dureza. A estrutura Bainítica se caracteriza como uma série de ripas paralelas ou agulhas de ferrita separadas por partículas alongadas de fases cementita. Uma vez que os aços bainíticos possuem uma estrutura mais fina (partículas de ferrita α e Fe_3C) esta estrutura possui, em geral, maior resistência mecânica que os aços ferríticos e perlíticos, porém ainda assim apresentam uma combinação satisfatória de resistência e ductilidade, apresentando menor fragilidade que uma estrutura martensítica. [4]

A Figura 3 ilustra o processamento termomecânico de produção dos aços TMCP. O início da curva ilustra a etapa de reaquecimento, seguido da etapa de laminação de desbaste realizada a temperaturas acima da temperatura de recristalização austenítica (T_{ra}) e a laminação acabamento, realizada abaixo da T_{ra} . A partir do ponto T_{ir} é iniciado o processo de resfriamento a uma taxa constante, dada pela inclinação da reta Cr (Taxa de resfriamento), observa-se que a linha de resfriamento cruza a linha de formação ferrítica, iniciando a transformação Austenita – Ferrita, e após algum tempo cruza a linha de formação da bainita, interrompendo a transformação ferrítica e iniciando a transformação da austenita restante em bainita. Observe que no ponto T_{fr} é realizada a interrupção do resfriamento acelerado, o que promove uma queda na taxa de resfriamento da chapa, evitando que a linha de resfriamento cruze a linha de início de transformação martensítica.

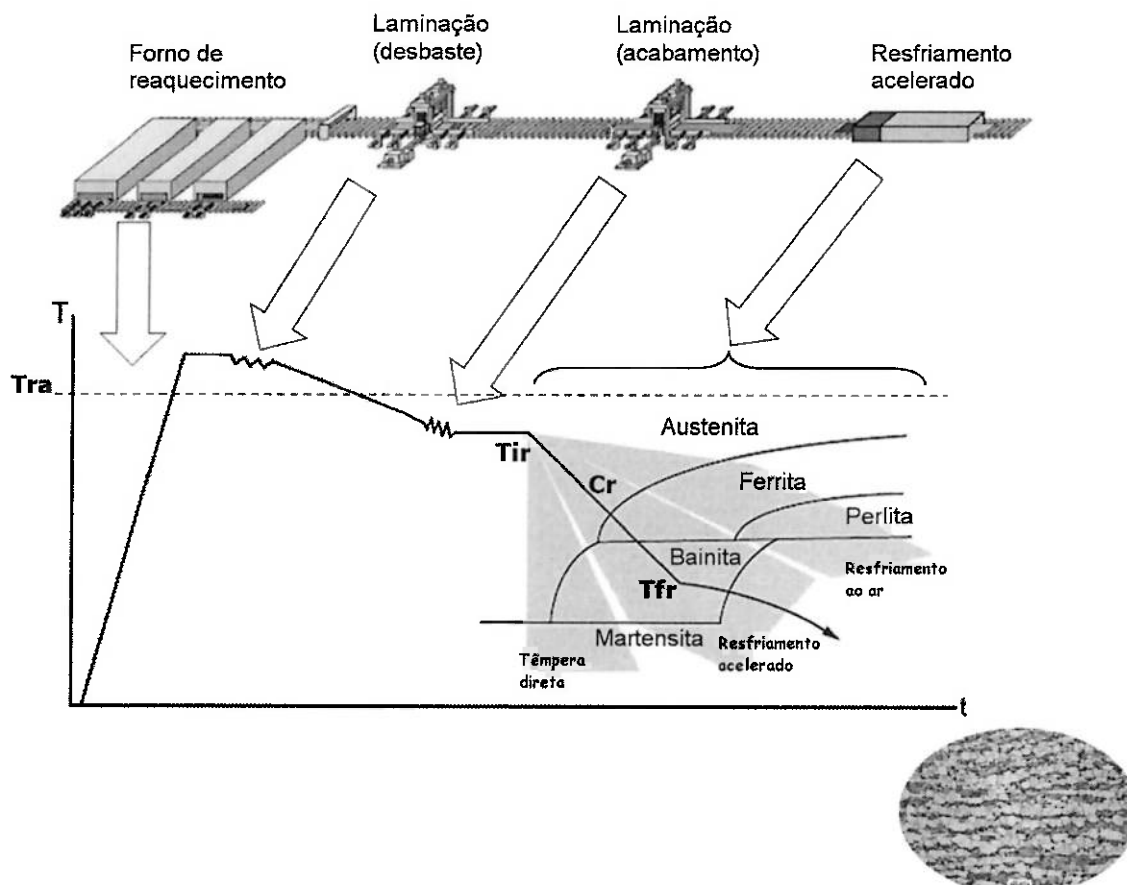


Figura 3– Curva tempo temperatura para o processamento termomecânico de fabricação dos aços TMCP. Onde: Tra = Temperatura de recrystalização austenítica; Tir = Temperatura de início do resfriamento; Tfr = Temperatura final de resfriamento; e Cr = Taxa de resfriamento. [Baseada em 1, 13]

O sistema de fabricação dos Aços Sincron combina um controle preciso da composição química do aço, um ótimo controle dimensional nas etapas de laminação e desempenho, garantindo uma microestrutura de grãos refinados e alta resistência mecânica graças ao seu sistema de resfriamento controlado.

2.3 METALURGIA DA SOLDAGEM

2.3.1 ENERGIA DE SOLDAGEM E SUAS INFLUÊNCIAS

Energia de soldagem é uma função da corrente de soldagem, da tensão de arco e da velocidade de soldagem. Tanto o processo de soldagem quanto o procedimento de soldagem influenciam na energia de soldagem. [21]

A energia de soldagem é dada pela seguinte equação.

$$HI = (V \times I \times 60) / v \quad [6]$$

Onde: V = tensão de arco (V)

I = corrente de soldagem (A)

v = velocidade de soldagem (unidade de velocidade linear)

HI = Energia de soldagem (J / unidade de velocidade linear)

Cada processo de soldagem e cada procedimento de soldagem apresentam um ciclo térmico, taxa de aquecimento, temperatura máxima atingida, tempo e temperatura, e, a taxa de resfriamento varia de acordo com cada parâmetro utilizado. [21]

Cada uma dessas variações de ciclo térmico irá afetar de maneira diferente a região soldada e as regiões adjacentes à região soldada. [21]

A região soldada e as regiões adjacentes são compostas de três regiões: zona fundida (ZF), zona de ligação (ZL), e zona afetada pelo calor (ZAC).

A zona afetada pelo calor (ZAC) por sua vez pode ser subdividida em região de crescimento de grãos, região de refino de grão, região de transformação parcial e região de esferoidização de carbonetos. [6]

A Figura 4 ilustra as diferentes zonas da região soldada e adjacências.

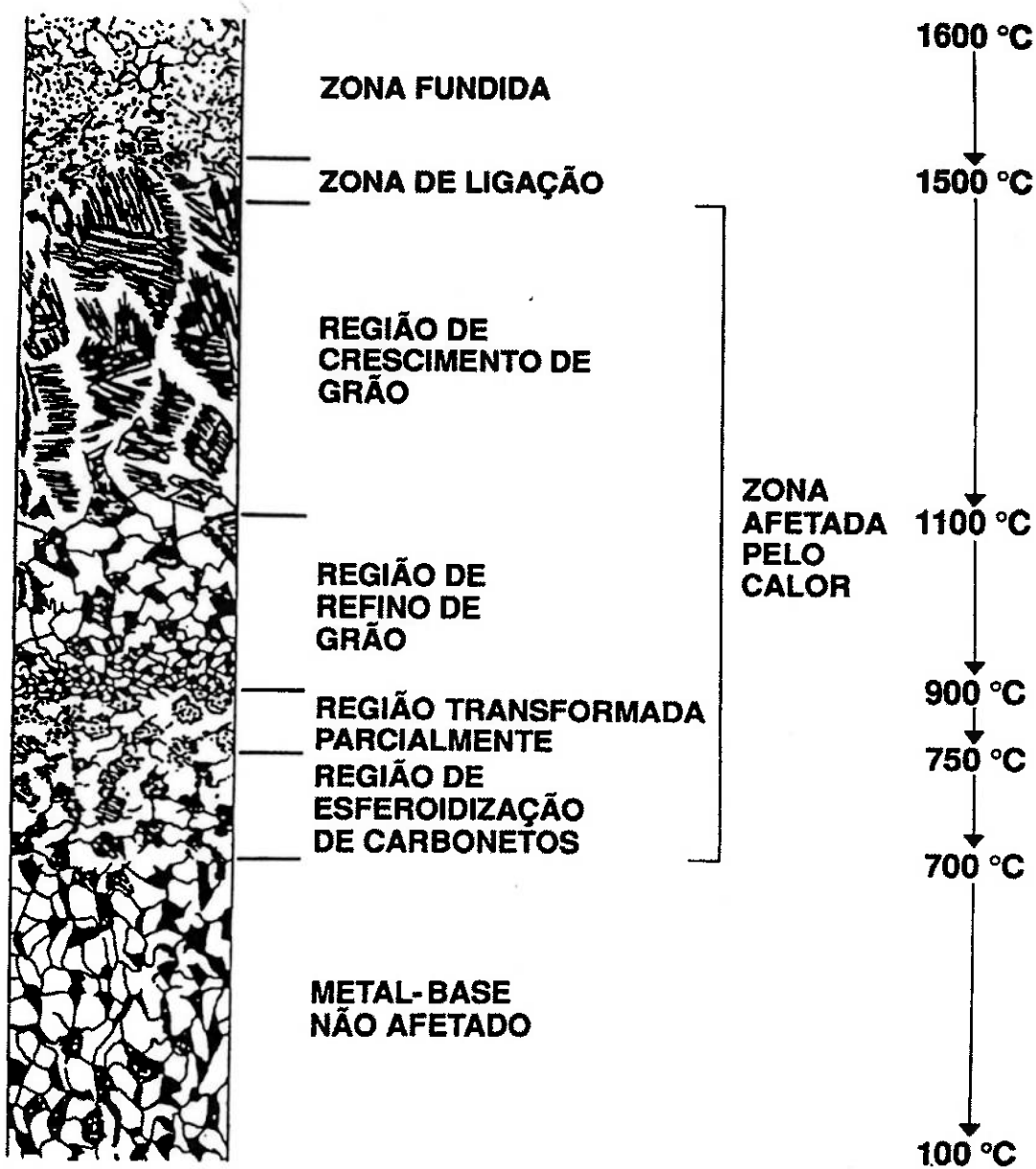


Figura 4 - Regiões da ZAC e respectivas temperaturas. [6]

Altas energias de soldagem estão relacionadas a altas temperaturas máximas atingidas e menores taxas de resfriamento. Quanto mais altas as energias de soldagem mais extensas serão as zonas que compõem a região soldada e as regiões adjacentes.

A energia de soldagem irá influenciar diretamente na estrutura final da solda, pois a solidificação da poça de fusão ocorre de maneira epitaxial, ordenados pelos grãos da zona de ligação e, quanto maior a temperatura da região, maior será o tamanho de grão da zona de ligação e mais grosseira será a microestrutura do cordão de solda. [6]

A Figura 5 ilustra a diferença da largura do grão formado para diferentes ciclos térmicos de soldagem, o ciclo (a) representa um ciclo de maior energia de soldagem e o ciclo (b) representa um ciclo de menor energia de soldagem.

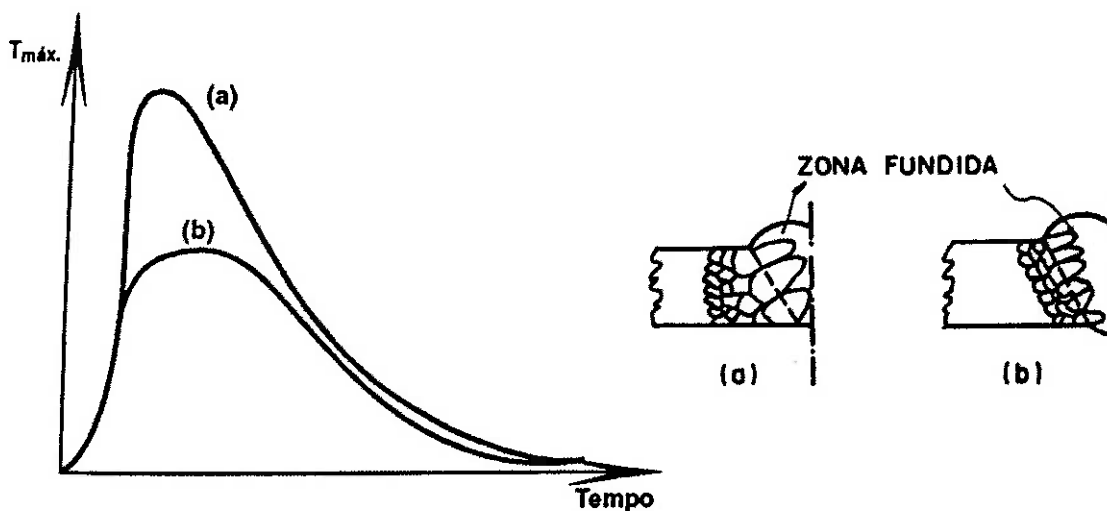


Figura 5 - Influência do ciclo térmico de soldagem na largura do grão solidificado. [6]

Na zona de ligação a energia de soldagem irá influenciar na penetração parcial de líquido no contorno de grão. Altas energias de soldagem promovem gradiente suave de resfriamento, propiciando uma maior penetração parcial de líquido no contorno de grão como pode ser observado na Figura 6.

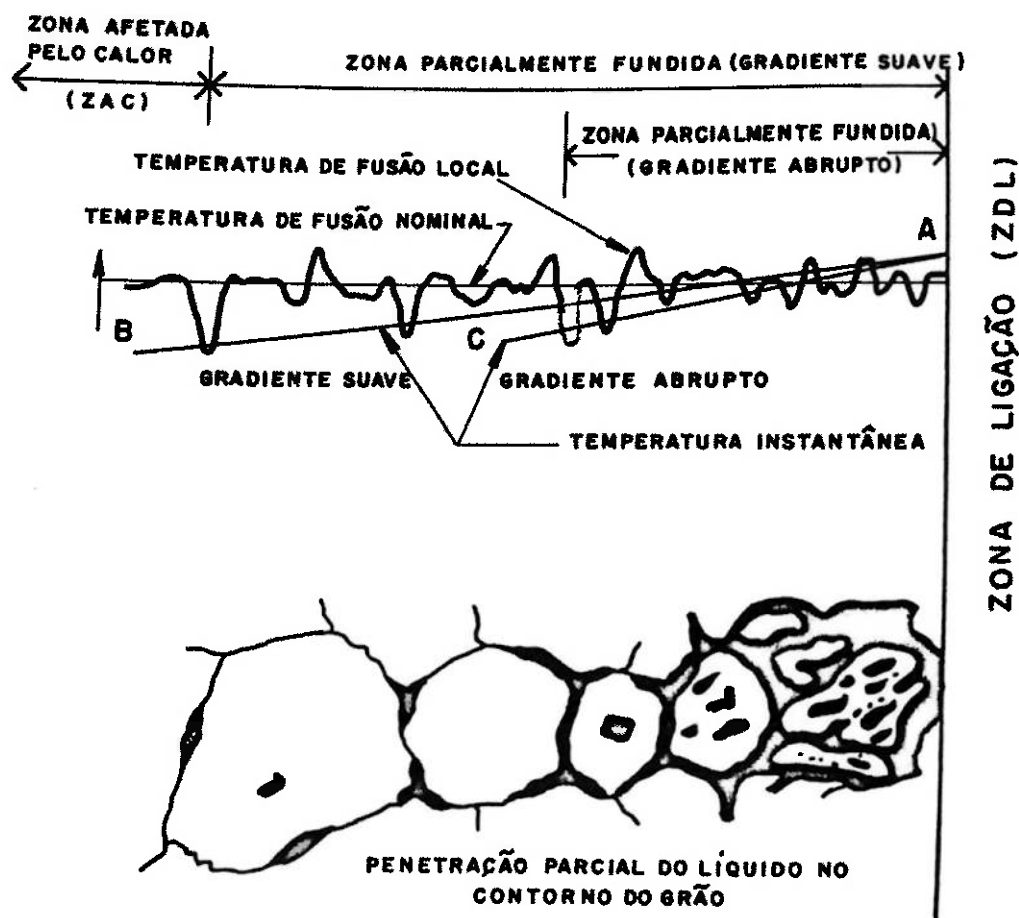


Figura 6- Relação entre gradiente de resfriamento e penetração parcial do líquido no contorno de grão. [6]

A penetração parcial de líquido no contorno de grão pode ser prejudicial às propriedades do aço, pois pode ocorrer nesta região a fusão e solidificação de fases de baixo ponto de fusão podendo ocasionar trincas de liquação. [6]

Na Zona afetada pelo calor, na região adjacente à zona fundida, no período em que a temperatura do metal de base varia entre a faixa de 1500 e 1300°C, ocorre a austenitização do aço e o processo de recristalização, seguido do crescimento e coalescimento do grão austenítico. [6, 20]

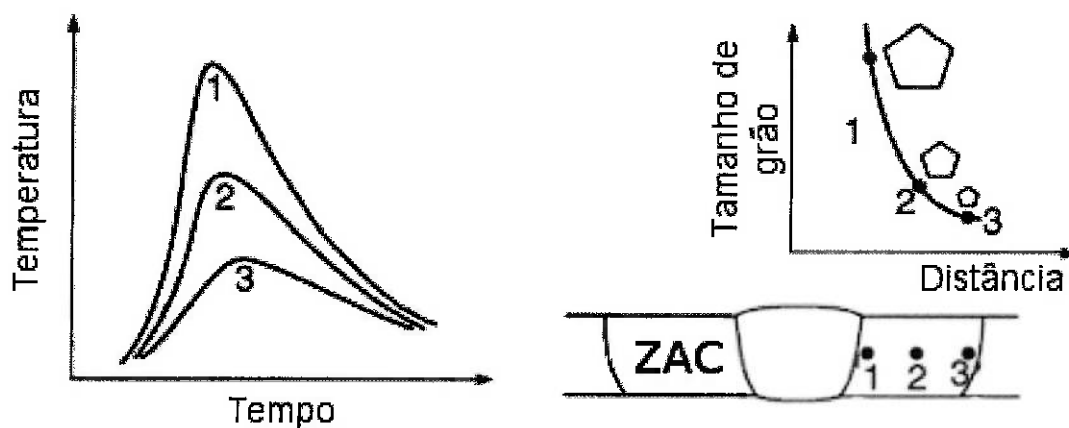


Figura 7- Relação entre temperatura máxima atingida para cada região da zona de recristalização e o tamanho de grão. [Baseado em 20]

Quanto maior a energia de soldagem aplicada ao processo maior será a zona de recristalização e crescimento de grãos, pois esses processos de transformação microestrutural são regidos pelo fenômeno de difusão, que é dependente de temperatura e tempo. [20]

Tanto a extensão da zona afetada pelo calor, quanto o tempo de recristalização e crescimento de grão aumentam de acordo com o aumento da energia de soldagem, como pode ser observado na Figura 7. Consequentemente a perda de resistência mecânica devido ao crescimento de grãos torna-se mais severa como ilustrado na Figura 8.

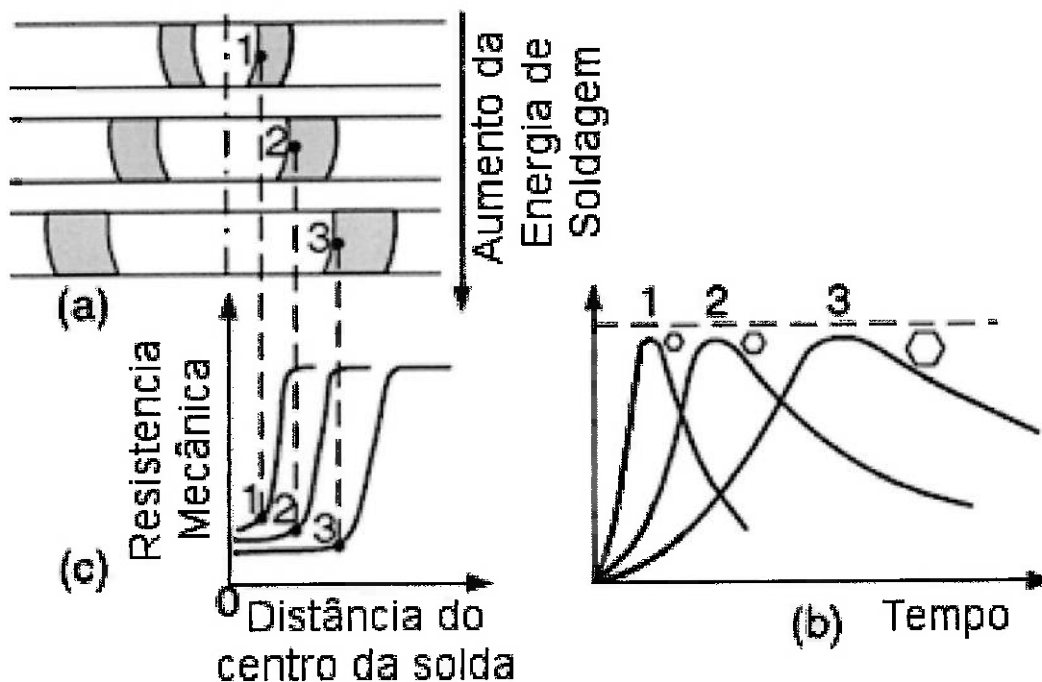


Figura 8- Efeito da energia de soldagem na: (a) largura da zona afetada pelo calor; (b) ciclo térmico próximo a zona de ligação; e (c) perfil de resistência mecânica. [Baseado em 20]

Na região do aço no qual as temperaturas permanecem entre 1100 e 900°C ocorre a região de refino de grão, no qual a temperatura e o tempo de permanência são menores. Nesta região a austenita obtida é rapidamente recuperada antes de sua transformação, produzindo ferrita e /ou perlita com pequeno tamanho de grão, gerando uma região de resistência e ductilidade elevadas. [6]

Na região de temperatura entre 900 e 750°C a perlita é austenitizada, formando um grão com teor de carbono mais elevado, no resfriamento essa austenita pode se transformar novamente em perlita, ou em bainita ou martensita de alto carbono, podendo gerar uma região de propriedades mecânicas inferiores ao metal de base. [6]

Na faixa de temperatura entre 750 e 700°C pode ocorrer a esferoidização das lamelas de cementita da perlita, reduzindo a resistência mecânica desta região. Este fenômeno irá ocorrer apenas em uma faixa muito estreita da zona afetada pelo calor. [6]

2.3.2 MECANISMO DE MICROLIGAS COM TITÂNIO, BORO E ALUMÍNIO

No ciclo de resfriamento do metal de solda para os aços, durante a decomposição da austenita, a ferrita se transforma preferencialmente em ferrita proeutetóide nos contornos de grão austeníticos, a medida que a transformação continua a ferrita pode se nuclear no interior do grão austenítico na forma de ferrita poligonal ou ferrita acicular e, à taxas de resfriamento mais altas, a austenita pode se transformar em bainita e martensita, dependendo da condição de resfriamento. A proporção relativa entre essas fases é governada pela nucleação e taxa de crescimento, mas é conhecido que a adição de algumas microligas no metal de solda promovem sítios de nucleação de ferrita acicular prioritários em relação à transformação da ferrita no contorno de grão. [18]

A ferrita acicular forma-se em uma faixa de temperatura de aproximadamente 500 a 650°C e consiste em grãos muito finos em formato de ripas intercalados com contornos de grão de alto ângulo. [9] Pode-se observar na Figura 9 um esquema representando a ferrita acicular.

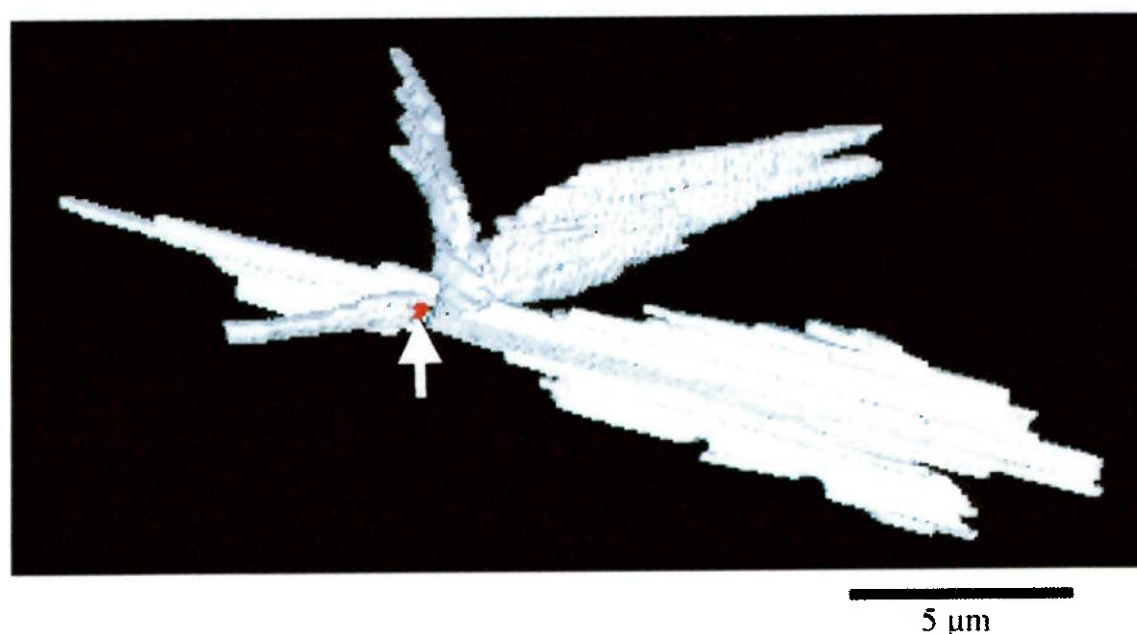
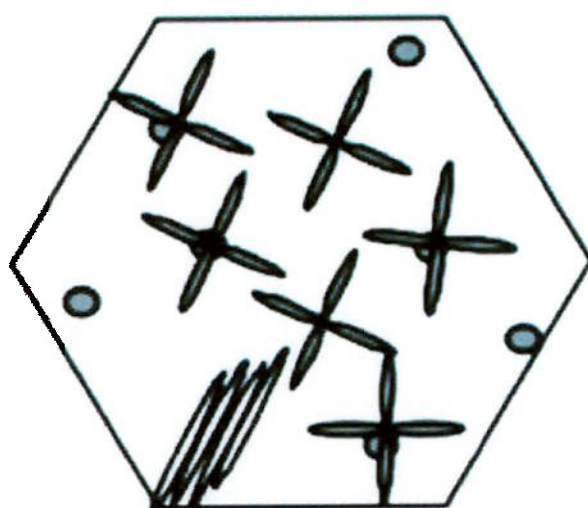


Figura 9– A) Vista superficial ilustrativa da formação de ferrita acicular no interior do grão [8]; B) Modelo tridimensional de crescimento em ripas de uma ferrita acicular nucleada a partir de uma inclusão. [29]

Estudos mostram que, entre materiais de diferentes microestruturas, a melhor combinação para que boas propriedades sejam atingidas é uma matriz de grãos muito finos sem fases fragilizantes, com uma distribuição e orientação com alto grau de aleatoriedade. [7, 8, 17]

Esta é exatamente a situação que é desenvolvida quando o metal de solda apresenta uma alta quantidade de ferrita acicular. O tamanho médio de grão é

de aproximadamente 0,1 a 3,0 μm (sendo que as melhores propriedades são atingidas com tamanho de grão médio de 1,0 μm) com contornos de grãos de alto ângulo entre as ripas de ferrita acicular. Também pelo controle correto de composição química pode-se garantir uma baixa quantidade de formação de carbeto fragilizantes. [9]

Sob estas condições falhas por clivagem a baixas energias, como ocorridas em estruturas bainíticas e ferríticas, são dificultadas e o principal mecanismo de falhas passa a ser por geração de microvazios e coalescência que necessitam de energias muito maiores para se propagarem. [9]

A taxa de resfriamento do metal de solda deve ser balanceada de maneira que a composição química e o volume da fração efetiva de inclusões também sejam adequados para que todas as reações ocorram de maneira correta. Pode-se observar na Figura 10, as taxas de resfriamento para um aço comercial, no qual pode-se observar que as taxas de resfriamento para formação de ferrita acicular em uma proporção boa para garantir boas propriedades mecânicas, acima de 65%, está na faixa de 81 a 46°C/s. [9]

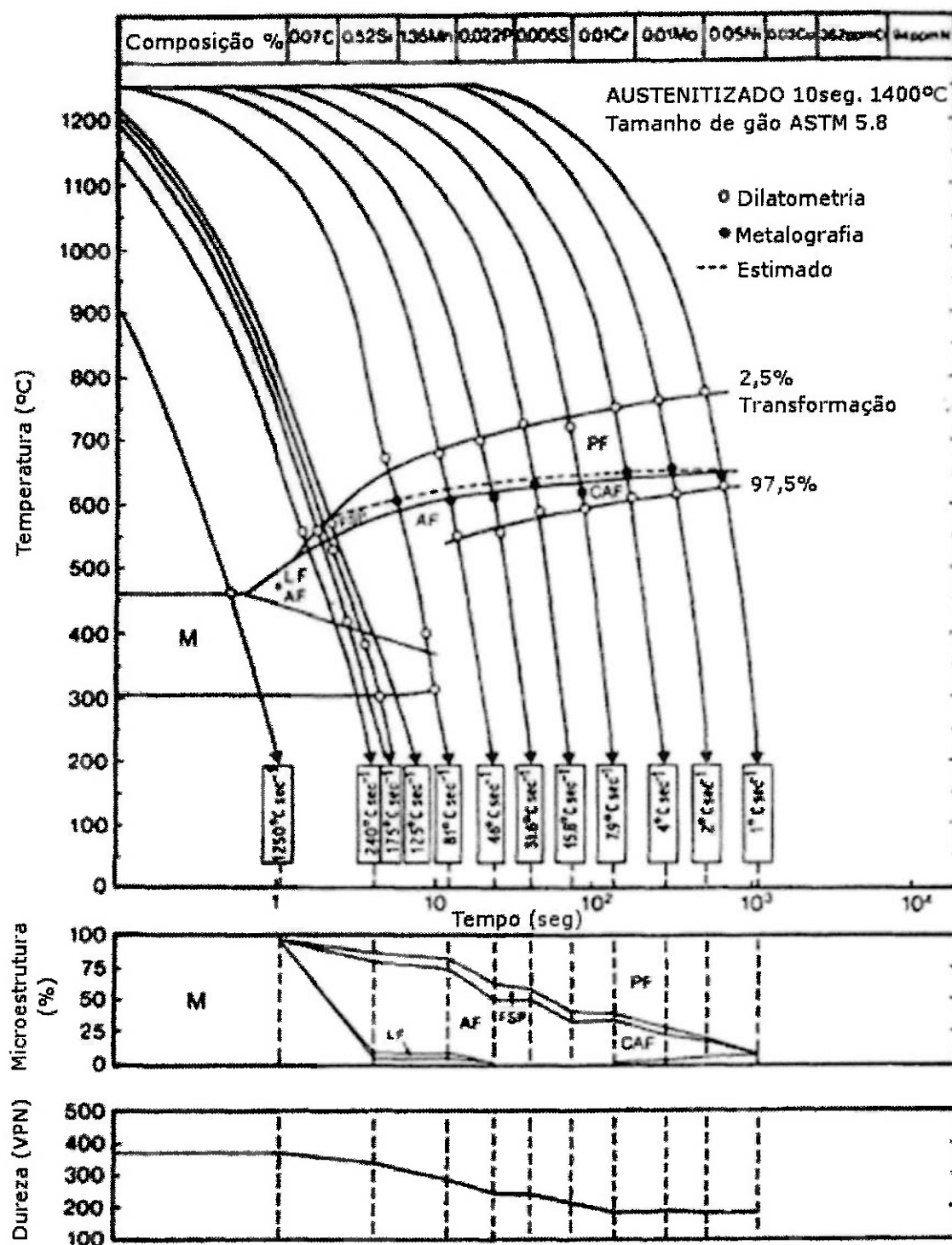


Figura 10- Diagrama de resfriamento contínuo para um aço convencional comercial. (PF= ferrita poligonal; FSP= ferritas em placas; CAF e AF ferrita acicular grossa e ferrita acicular fina; LF= ferrita em ripas e M= martensita em ripas). [9]

A adição precisa de titânio (Ti) e boro (B) combinados resulta em alterações substanciais na microestrutura do metal depositado por soldagem ao arco elétrico. [7, 8, 18]

Para o titânio, há evidências concretas de que o elemento contribui para a formação mais eficaz de ferrita acicular, agindo como nucleante devido à formação de interfaces matriz/inclusões de compostos contendo titânio, dispersos em precipitados muito finos de compostos de Ti, C, O e N. [7, 8, 15]

O Boro, quando adicionado em pequenas quantidades, se difunde pela matriz e se concentra nos contornos de grão formando compostos que reduzem a energia de interface e retardam a transformação de fase austenita -> ferrita, reduzindo a taxa de formação de ferrita proeutetóide, permitindo maior formação de ferrita acicular. [7, 8, 14, 15, 18]

O boro quando combinado ao nitrogênio, proveniente da atmosfera ou dissolvido no metal de base, perde sua eficiência na estabilização do contorno de grão austenítico, o titânio faz-se importante no processo também por se combinar preferencialmente ao nitrogênio livre consumindo o mesmo para que não se combine ao boro e não reduza sua eficiência. [15, 16]

Os gráficos da Figura 11 ilustram as diferentes proporções de microconstituintes com relação à concentração de titânio e boro na solda. A sigla AF representa a fração de ferrita acicular, a sigla SF representa a fração da ferrita com segunda fase e a sigla F representa a fração de ferrita primária.

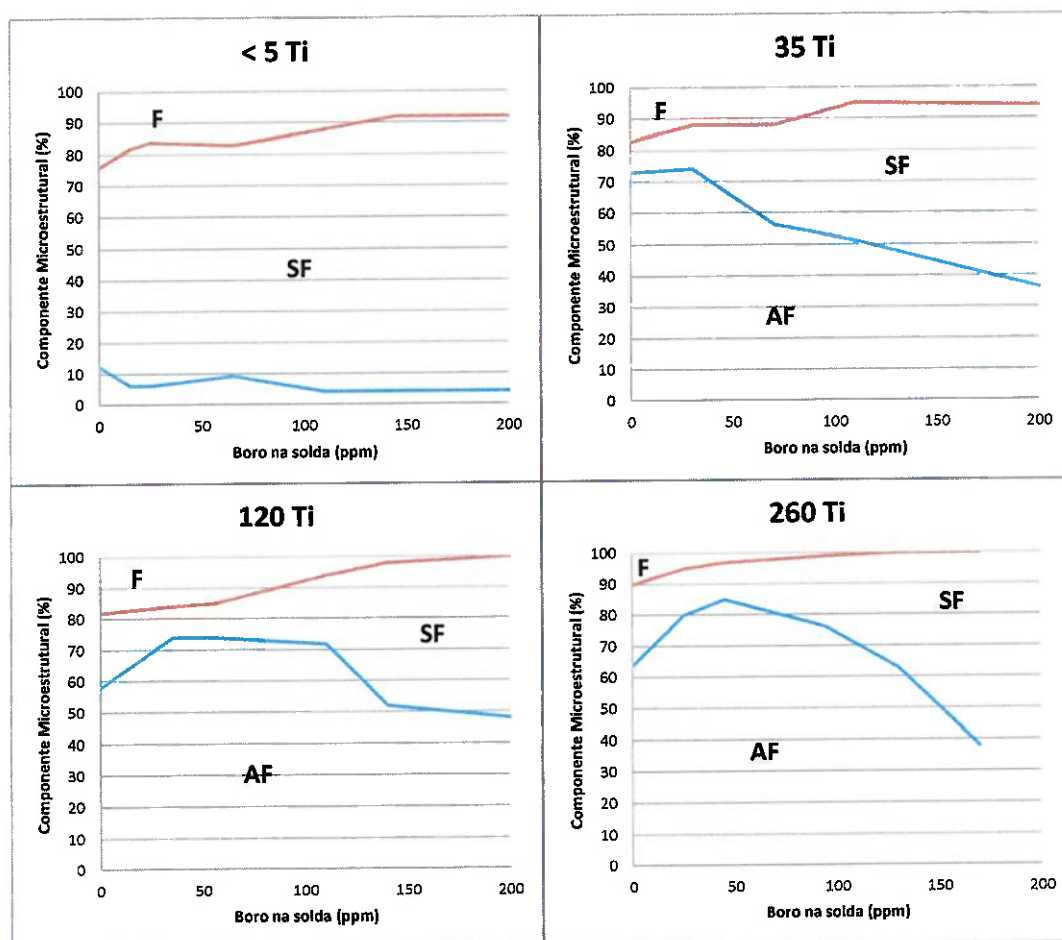


Figura 11 – Fração de formação microestrutural para diferentes proporções de titânio e boro no metal de solda. A sigla AF representa a fração de ferrita acicular, a sigla SF representa a fração da ferrita com segunda fase e a sigla F representa a fração de ferrita primária. [7]

O Alumínio no metal de solda altera a microestrutura, as propriedades mecânicas e a composição das inclusões não metálicas no metal de solda. A dureza e a resistência mecânica aumentam com o aumento no teor de alumínio e as propriedades de tenacidade variam de acordo com o teor no metal de solda, apresentando seus máximos valores na ausência total de alumínio no metal de solda ou em teores de aproximadamente 350 ppm. [39]

Os óxidos compostos de alumínio, em quantidades precisas, também atuam como nucleantes de ferrita acicular. Pode-se observar na Figura 12 a variação

da proporção de formação de fases de acordo com o teor de alumínio no cordão de solda. [39]

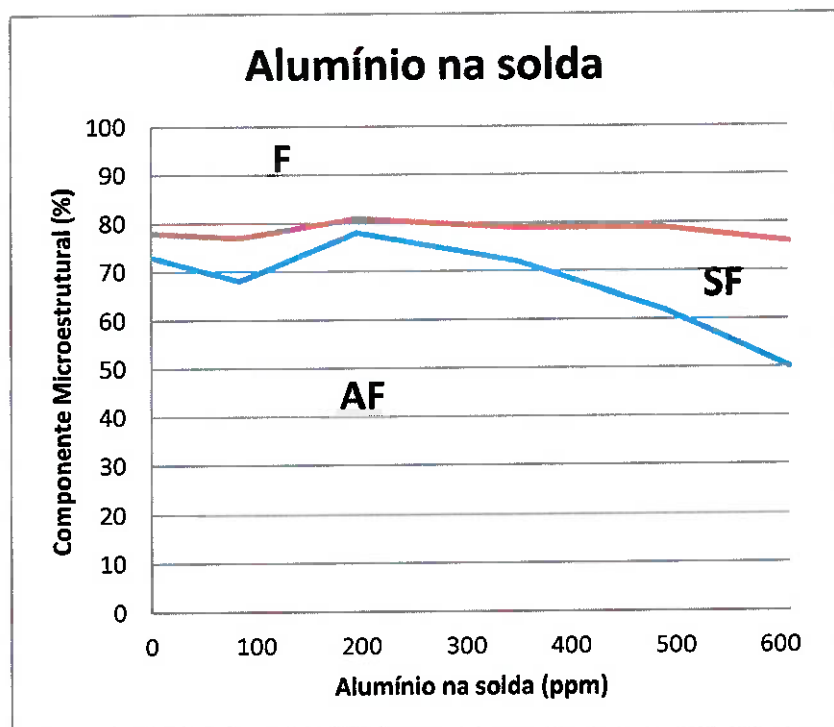


Figura 12 - Fração de formação microestrutural para diferentes concentrações de alumínio no metal de solda. A sigla AF representa a fração de ferrita acicular, a sigla SF representa a fração da ferrita com segunda fase e a sigla F representa a fração de ferrita primária. [39]

O alumínio assim como o titânio também se associa preferencialmente ao nitrogênio em relação ao boro, permitindo melhor eficiência deste elemento em sua função de estabilizar o contorno de grão austenítico. [39]

A proporção relativa entre o alumínio e o titânio no metal de solda também influencia na proporção de formação de ferrita acicular, de ferrita com segunda fase e ferrita primária, conforme pode-se observar no gráfico da Figura 13 [40].

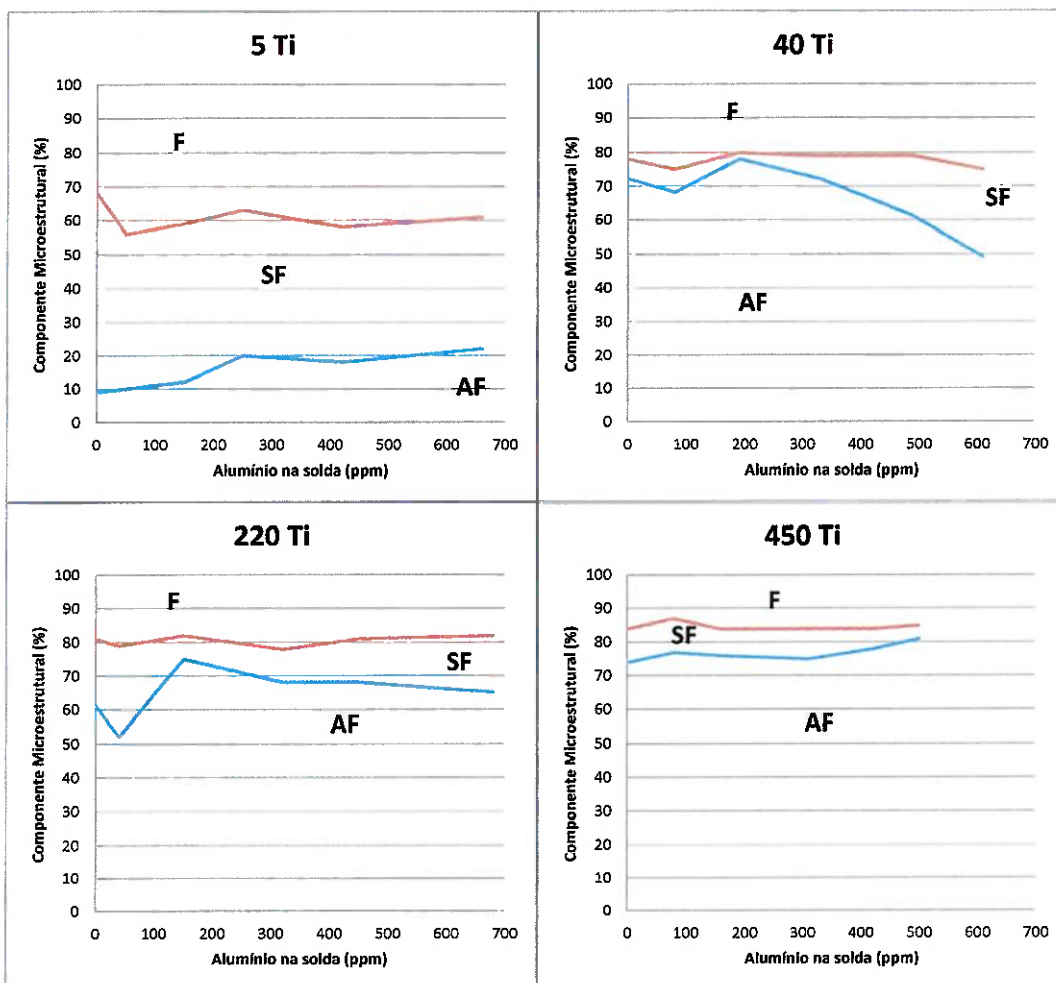


Figura 13 – Fração de formação microestrutural para diferentes proporções de titânio e alumínio no metal de solda. A sigla AF representa a fração de ferrita acicular, a sigla SF representa a fração da ferrita com segunda fase e a sigla F representa a fração de ferrita primária. [40]

2.3.3 INFLUÊNCIA DO CARBONO EQUIVALENTE NA SOLDABILIDADE

A fim de simplificar os efeitos das ligas nas transformações cinéticas que ocorrem na solidificação dos aços, expressões empíricas para o cálculo de carbono equivalente são utilizadas para avaliar a influência de diferentes elementos de liga na transformação dos aços. O cálculo de carbono equivalente pode ser interpretado como a medida da temperabilidade do aço, [16] que pode ser expressa pelo cálculo de carbono equivalente, dado pela fórmula abaixo:

$$CE = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Ni}{40} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{4} \quad [31]$$

Quanto maior for a temperabilidade de um aço, mais susceptível a ocorrência de trincas induzidas por hidrogênio ele é. [6]

Trincas induzidas por hidrogênio são um fenômeno primariamente associado à soldagem de aços baixa liga, os fatores que contribuem para sua ocorrência são a presença de hidrogênio, altas tensões, microestrutura susceptível e temperaturas de serviço entre -100°C e 200°C. [31]

O hidrogênio é um contaminante nos processos de soldagem que pode ser oriundo de umidade no metal, nos consumíveis, em impurezas sobre a região soldada e na umidade atmosférica. [31]

O hidrogênio possui uma solubilidade extremamente alta no ferro, cerca de 30 ppm, em peso, à 1500°C enquanto que à temperaturas de 400°C esta solubilidade cai para cerca de 1 ppm. Devido à alta taxa de resfriamento decorrente dos processos de soldagem, grande parte do hidrogênio que é

facilmente absorvido pelo metal líquido, fica aprisionado no metal solidificado. Por ser um átomo pequeno de grande mobilidade, o hidrogênio se movimenta com facilidade por entre a estrutura cristalina dos aços e, ao se encontrar com outros átomos de hidrogênio em locais favoráveis (descontinuidades, vacâncias, linhas de discordância, contornos de grão), se combinam em H_2 na forma gasosa e expandem seu volume consideravelmente expandindo as descontinuidades e gerando microtrincas. [31]

A estrutura martensítica, que ocorre mais facilmente em aços com alto teor de carbono (acima de 0,3%C) é a microestrutura mais susceptível a trincas induzidas por hidrogênio devido à sua alta tensão residual interna, entretanto este fenômeno pode também ocorrer em estruturas aciculares como as da bainita. [31]

Inclusões e precipitados grandes também são fatores que aumentam a possibilidade de formação de trincas induzidas por hidrogênio, pois atuam como sítios de concentração de hidrogênio. [31]

Portanto para obter boas propriedades em uma junta soldada é importante que se tomem todas as medidas necessárias para evitar as condições que viabilizam a trinca induzida por hidrogênio, eliminando as fontes de hidrogênio das proximidades da região soldada, evitando a formação de microestruturas de grande tensão residual, controlando a taxa de resfriamento para aumentar o tempo para o hidrogênio difundir para fora do metal de solda e realizando tratamentos térmicos de alívios de tensões após a soldagem. [31]

Uma maneira de controlar a taxa de resfriamento da junta soldada, provavelmente o mais empregado, é através da técnica de pré-aquecimento da

junta. Alterações relativamente pequenas na temperatura de pré-aquecimento da junta causam uma grande variação na taxa de resfriamento.

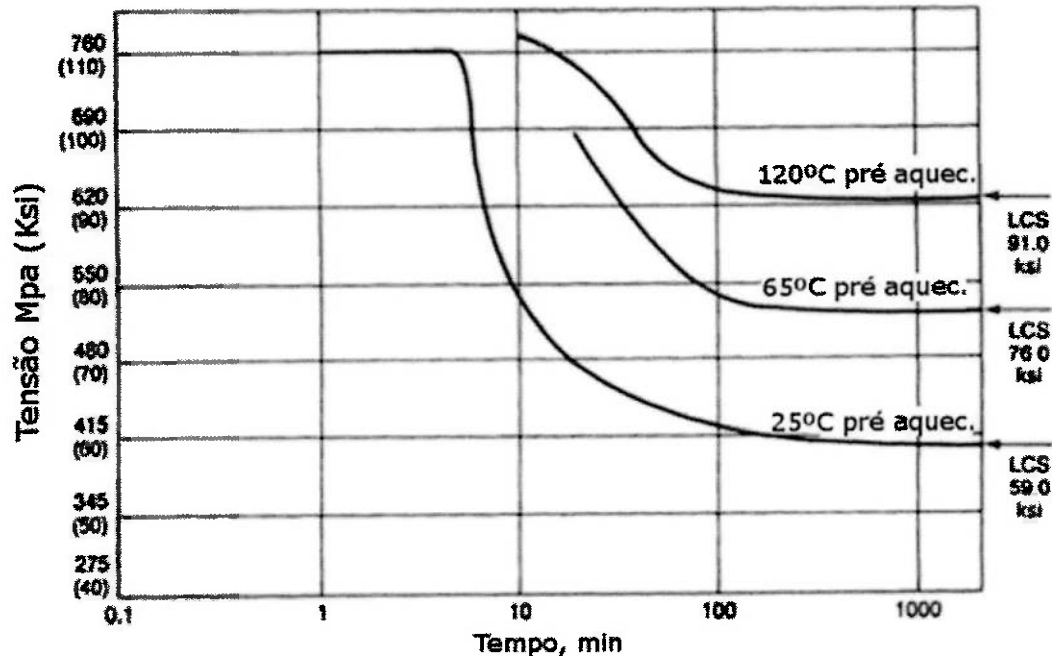


Figura 14 - Efeito do Pré-aquecimento na susceptibilidade à trincas induzidas por hidrogênio. [31]

Pode-se observar na Figura 14 que o pré-aquecimento aumenta a tensão crítica (LCS) necessária para induzir uma trinca por hidrogênio.

Uma maneira de calcular a temperatura ideal de pré-aquecimento para um determinado aço é através da temperabilidade do material. [31]

Uma aproximação da temperatura de pré-aquecimento em função do carbono equivalente pode ser observada na Figura 15.

2.4 PROCESSO DE SOLDAGEM

2.4.1 SOLDAGEM AO ARCO SUBMERSO

O processo de soldagem ao arco submerso é classificado como um processo de soldagem por fusão ao arco elétrico com proteção de escória.

Neste processo é estabelecido um arco elétrico entre um eletrodo, na forma de um arame de alimentação contínua, e a peça a ser soldada. O processo é denominado arco submerso por o arco elétrico formado permanecer submerso a uma camada de Fluxo, desta forma a soldagem ocorre sem a emissão de faíscas, luminosidade e respingos. [6]

O calor gerado pelo arco elétrico é responsável por aquecer e fundir o metal base, o eletrodo e parte do fluxo que entra em contato direto com o arco elétrico e a poça de fusão. [6]

O eletrodo na forma de arame é alimentado na poça de fusão mecanicamente por um tracionador, e vai sendo fundido pelo calor gerado pelo arco elétrico. O fluxo pode ser adicionado na região a ser soldada antes ou durante a execução da soldagem por gravidade ou fluxo de ar pressurizado. A movimentação relativa da soldagem em relação à peça pode ser realizada de maneira automática ou manual.

Durante a soldagem o calor gerado pelo arco elétrico funde parte do fluxo assim como a ponta do eletrodo em forma de arame. A ponta do eletrodo e a área de soldagem devem estar sempre encobertas e protegidas pelo fluxo fundido, encoberto ainda por uma camada de fluxo não fundido. [10]

Com o deslocamento relativo do eletrodo em relação à junta, o fluxo fundido sobrenada e se separa do metal de solda fundido, se solidificando e formando uma proteção cerâmica conhecida como escória, que possui a função de controlar a taxa de resfriamento do metal de solda e proteger a região da solda de entrar em contato com os gases atmosféricos, além de colaborar para o formato do cordão de solda. Cada um destes fatores influencia fortemente às propriedades da junta soldada. [6] A Figura 16 ilustra o processo.

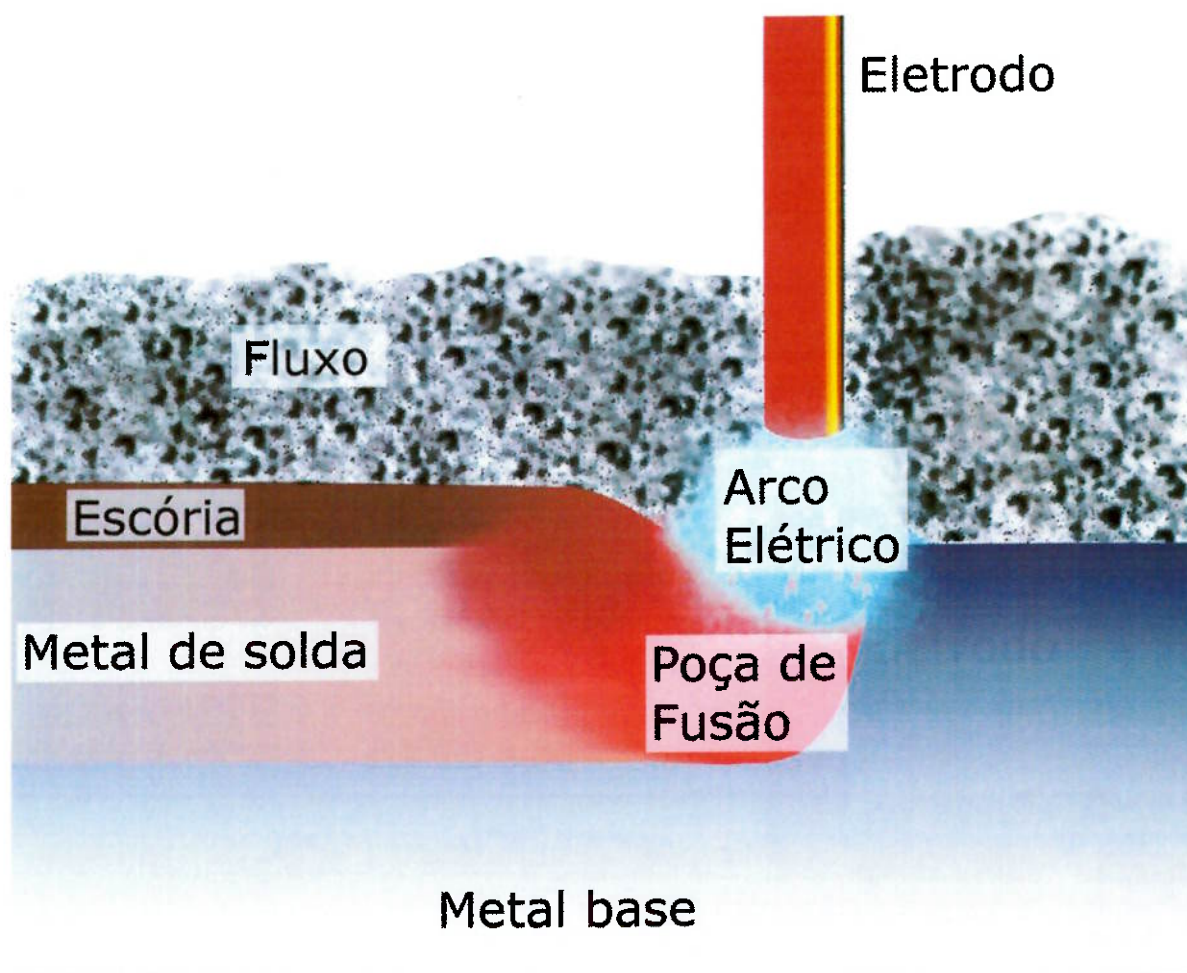


Figura 16 - Esquema de soldagem ao Arco Submerso. [Baseado em 23]

No processo de soldagem ao arco submerso podem ser utilizadas altas correntes de soldagem em eletrodos de diâmetro relativamente baixo, resultando em uma densidade de corrente extremamente alta, ocasionando uma taxa de fusão muito superior à de outros processos de soldagem. A camada de escória gerada no processo atua como isolante térmico, prevenido que o calor seja dissipado rapidamente, ajudando a mantê-lo na região da solda. A alta corrente promove também uma alta penetração de soldagem, tornando este processo ideal para soldagem de chapas de grande espessura.

[10]

Através do controle de corrente, tensão e velocidade de arame o operador de soldagem pode controlar a penetração, largura e perfil do cordão de solda. [10]

O processo de arco submerso permite também a utilização de múltiplos arames em configuração de Twin Arc ou Tandem Arc, permitindo maior taxa de deposição e produtividade ao processo. [10]

2.4.2 PARÂMETROS DE SOLDAGEM

2.4.2.1 Intensidade da Corrente de soldagem

Este parâmetro determina a taxa de fusão do eletrodo, a profundidade de penetração da poça de fusão no metal base e a quantidade de metal de base fundido. [11]

Mantendo-se todos os demais parâmetros constantes, uma elevação na corrente de soldagem promove um aumento da penetração e da taxa de deposição, enquanto que a redução da corrente de soldagem promove a diminuição da penetração e da taxa de deposição. [11]

Pode-se observar a influência da corrente de soldagem no perfil do cordão de solda, fixando-se os demais parâmetros, na Figura 17.



Figura 17- Influência da corrente de soldagem no perfil do cordão. [11]

Para soldagens de passe único, a corrente deve ser determinada a fim de proporcionar a penetração necessária, sem que haja a perfuração da junta. Para soldagens de múltiplos passes a corrente deve proporcionar a quantidade de enchimento desejada. [11]

É importante também que a corrente estipulada esteja compatível com a bitola de arame utilizada, quando se utiliza correntes baixas para determinado diâmetro de eletrodo o aspecto do cordão torna-se alto e estreito, com a possibilidade da formação de mordeduras, além de baixa estabilidade do arco elétrico. [11]

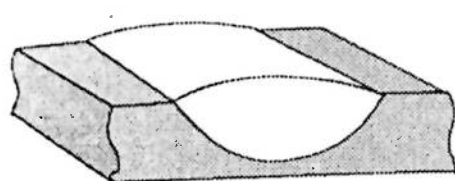
2.4.2.2 Tipo de corrente de soldagem

Para a maioria dos casos na soldagem a arco submerso utiliza-se corrente contínua polaridade positiva (CC+), no qual se garante maior penetração, melhor resistência à porosidade e melhor formato do cordão de solda. [11]

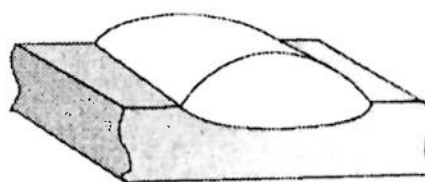
Com o uso da corrente contínua polaridade negativa (CC-) obtém-se maior taxa de deposição, entretanto com menor penetração. Esta configuração é comumente utilizada para soldagem de revestimento. Em geral, utiliza-se tensões aproximadamente 4 volts maiores do que a soldagem com corrente contínua em polaridade positiva. [11]

O uso de corrente alternada (CA) proporciona penetração e deposição intermediária. É utilizado para soldagem Tandem nas tochas auxiliares ou quando existem problemas de sopro magnético durante a soldagem. [11]

A Figura 18 ilustra a influência do tipo de polaridade no perfil do cordão de solda, fixando-se os demais parâmetros.



(a) Eletrodo positivo CC+



(b) Eletrodo negativo CC-

Figura 18 - Influência do tipo de corrente de soldagem no perfil do cordão. [11]

2.4.2.3 Tensão de arco

Esta variável é responsável pela variação da forma e a aparência externa do cordão de solda. [11]

Fixando-se todos os outros parâmetros, o aumento da tensão acarreta em um cordão mais plano e largo, com aumento do consumo de fluxo, aumento da resistência à porosidade e aumento no teor de liga proveniente do fluxo. [11]

A Figura 19 ilustra a influência da tensão de arco no perfil do cordão de solda, fixando-se os demais parâmetros.

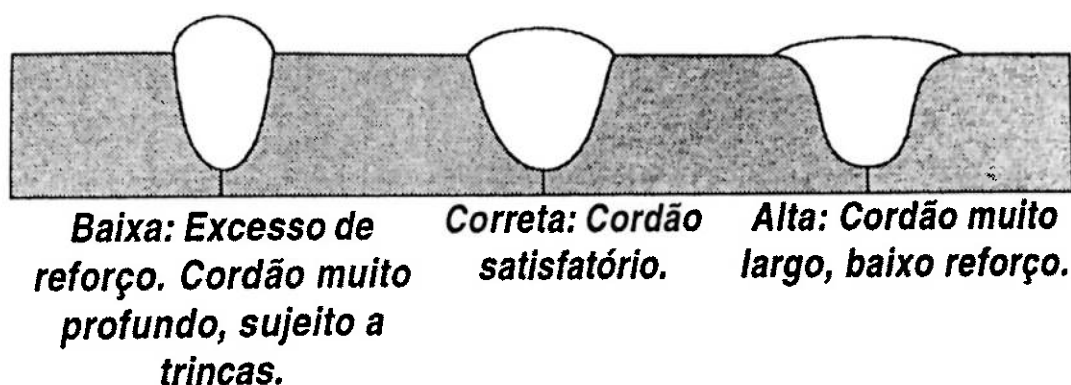


Figura 19 - Influência da tensão de arco no perfil do cordão. [11]

2.4.2.4 Diâmetro do eletrodo

Os eletrodos normalmente empregados no arco submerso têm o diâmetro entre 2,4 e 6,4 mm. Mantendo-se todos os parâmetros constantes e variando-se apenas o diâmetro do eletrodo ocorre uma modificação na aparência do cordão de solda, na densidade de corrente, na penetração e na taxa de deposição. Aumentando-se o diâmetro do eletrodo aumenta-se também a largura do cordão, reduz-se a densidade de corrente, a penetração e a taxa de deposição. [11]

A Figura 20 ilustra a influência do diâmetro do eletrodo no perfil do cordão de solda, fixando-se os demais parâmetros.

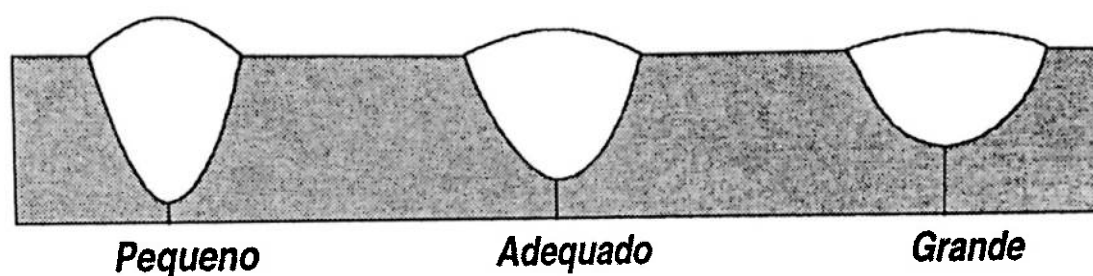


Figura 20 - Influência do diâmetro do eletrodo no perfil do cordão. [11]

2.4.2.5 Velocidade de avanço

A velocidade de soldagem controla o tamanho do cordão e a penetração. Fixando-se os demais parâmetros, quanto maior a velocidade, mais alto e mais estreito é o cordão. [11]

A Figura 21 ilustra a influência da velocidade de soldagem no perfil do cordão de solda, fixando-se os demais parâmetros.

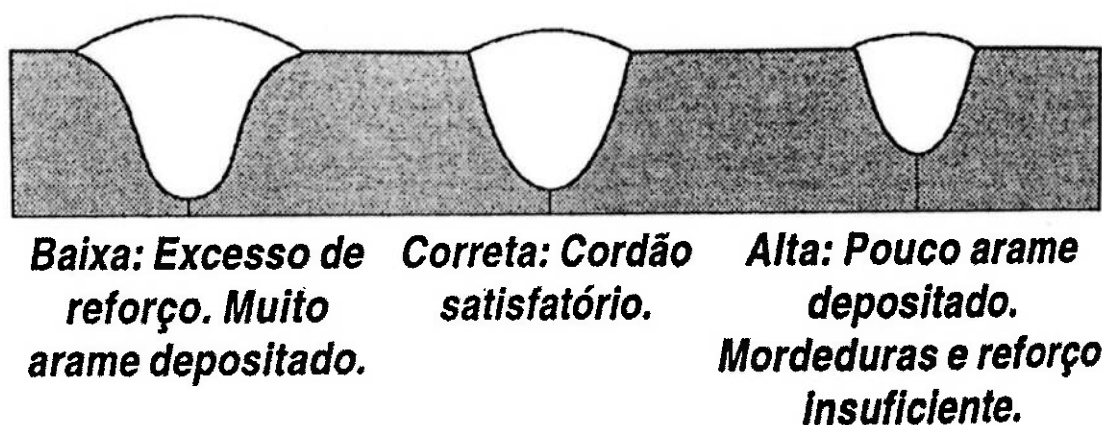


Figura 21 - Influência da velocidade de soldagem no perfil do cordão. [11]

2.4.2.6 Distância bico de contato/peça (*Stickout*)

É a distância entre o ponto de contato elétrico do arame no bico de contato à peça a ser soldada. O aumento da distância entre o bico de contato e a peça aumenta a taxa de deposição do metal de adição devido a efeitos de resistência elétrica e aquecimento por efeito Joule. Usualmente a distância bico de contato/peça é mantida entre 19 e 30 mm. [11]

2.4.2.7 Ângulo do eletrodo

O ângulo entre o eletrodo e a peça determina o ponto de aplicação e direção da força do arco, e tem um grande efeito na penetração e na formação de mordeduras. [11]

A Figura 22 ilustra a influência do ângulo de soldagem no perfil do cordão de solda, fixando-se os demais parâmetros.

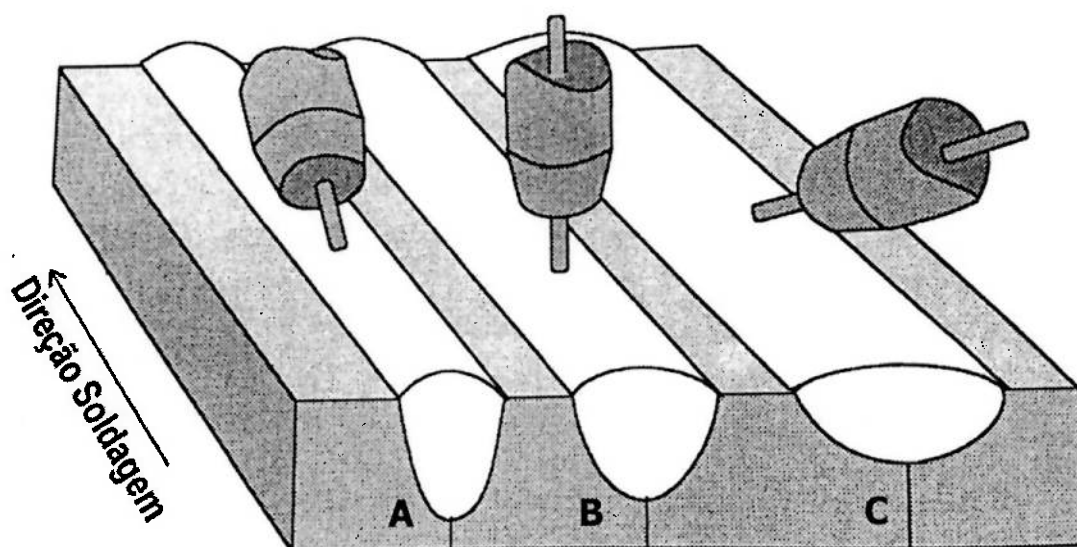


Figura 22 - Influência do ângulo de soldagem no perfil do cordão, A) Ângulo puxando; B) Ângulo neutro; C) Ângulo empurrando. [11]

Para ângulos puxando, atinge-se uma maior penetração de soldagem e maior altura de cordão. Para ângulos empurrando atinge-se uma baixa penetração e baixa altura de cordão. Para ângulos neutros atinge-se uma penetração e altura de cordão intermediária. [11]

2.4.2.8 Espessura da camada de fluxo

A quantidade de fluxo deve ser controlada de maneira que a altura seja apenas a necessária para cobrir o arco elétrico. Se a camada de fluxo for muito baixa, pode ocorrer a formação de porosidade na solda devido à má proteção da poça de fusão. Se a camada de fluxo for excessiva pode ocorrer uma má aparência do cordão de solda e a dificuldade na remoção de escória. [11]

2.4.3 SOLDAGEM AO ARCO SUBMERSO TANDEM ARC

A soldagem ao arco submerso Tandem Arc, é a técnica onde dois ou mais eletrodos na forma de arame são alimentados para gerar uma mesma poça de fusão. Cada eletrodo forma um arco elétrico, controlados separadamente por alimentadores e fontes de energia independentes. [11]

Durante o processo ocorre a abertura do primeiro arco elétrico formando uma poça de fusão, na sequência, os demais eletrodos estabelecem arcos elétricos sobre a camada de fluxo fundido formada na poça de fusão ainda não solidificada do primeiro arco, formando apenas uma poça de fusão estendida, gerando uma solidificação uniforme do metal de solda. [11]

A Figura 23 esquematiza a disposição típica para soldagem Tandem Arc com dois e três arames.

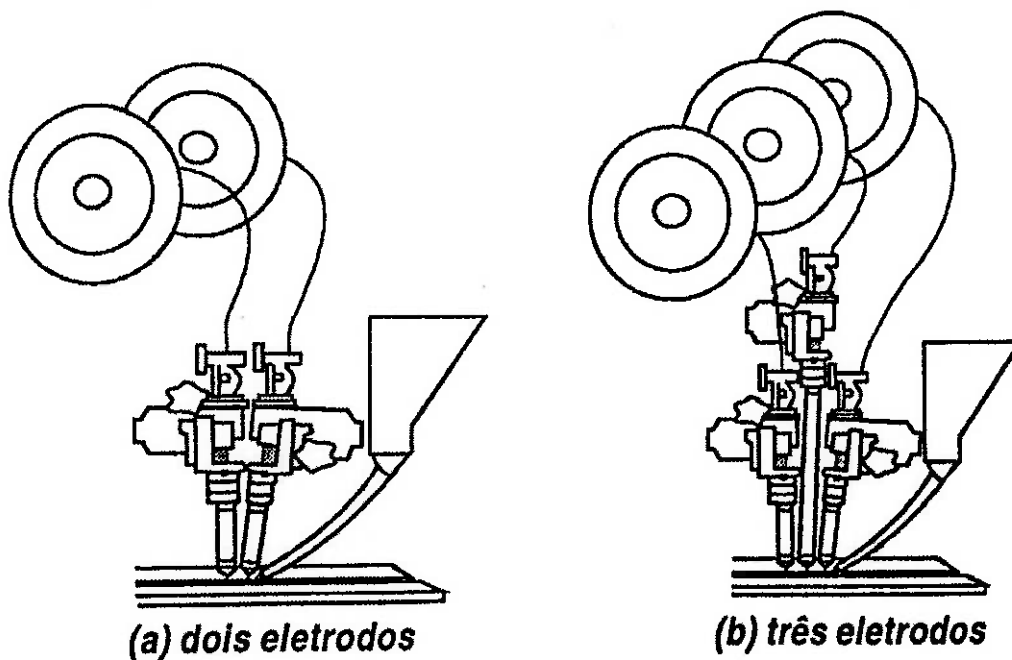


Figura 23 - a) Disposição típica para soldagem Tandem-Arc com dois arames.
b) Disposição típica para soldagem Tandem-Arc com 3 arames. [11]

A principal vantagem da soldagem Tandem Arc, comparada à convencional (com um único arame) é o expressivo aumento na taxa de deposição associado com alta velocidade de soldagem, além de um melhor controle da distorção das peças soldadas. [11]

Pode-se observar na Figura 24 o efeito de velocidade de soldagem necessária para soldagem de diferentes espessuras de junta para os processos de soldagem ao Arco Simples, Tandem Arc com dois e com três arames.

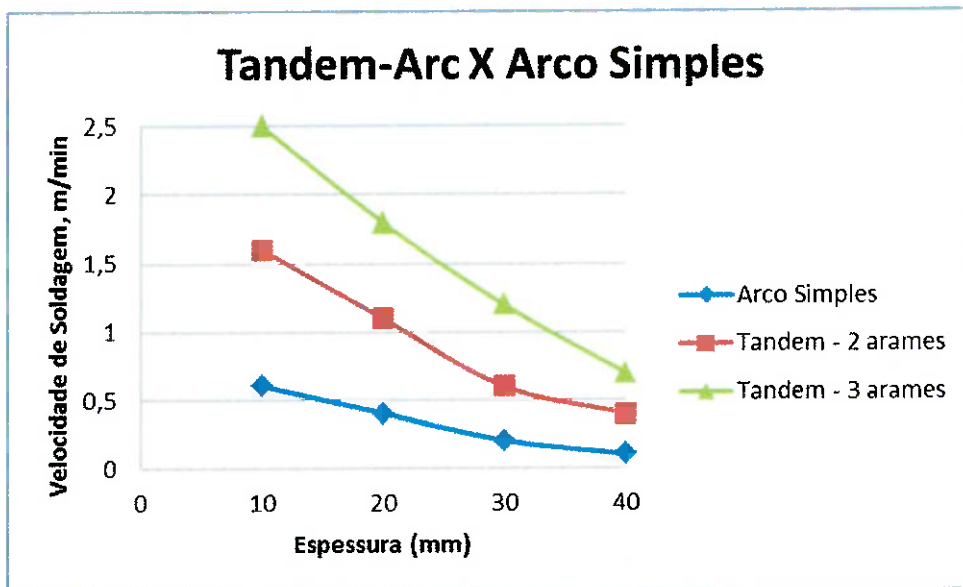


Figura 24 - Efeito do número de eletrodos na velocidade de soldagem de juntas de topo. [11]

2.4.3.1 Influência dos arcos sobre as características do cordão de solda

A formação do cordão de solda é resultado da distribuição da ação dos diferentes arcos elétricos constituintes do conjunto Tandem Arc. A influência de cada arco nas características do cordão de solda (como penetração e geometria) pode ser explicada através do exemplo do sistema Tandem Arc com três arames. [11]

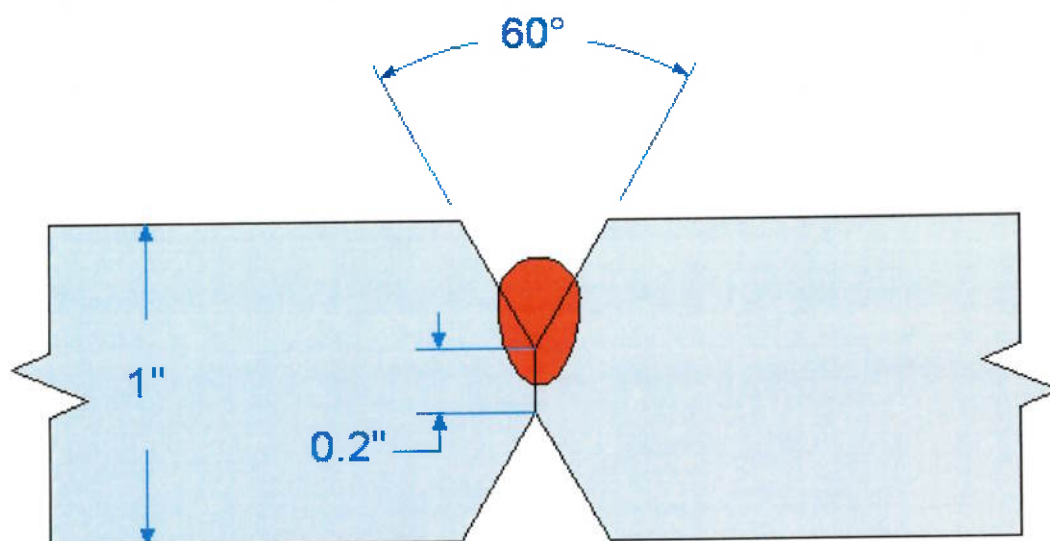


Figura 25 – Perfil do cordão de solda do primeiro arco. [12]

A função do primeiro arco, Figura 25, é de penetrar no metal de base, 80% da penetração do cordão de solda é proveniente do primeiro arco. A corrente contínua polaridade positiva (CC+) é tipicamente utilizada neste arco, mas a corrente alternada pode também ser utilizada. Este arco deve possuir a maior corrente de soldagem e a menor tensão de arco entre os arcos elétricos do sistema. [12]

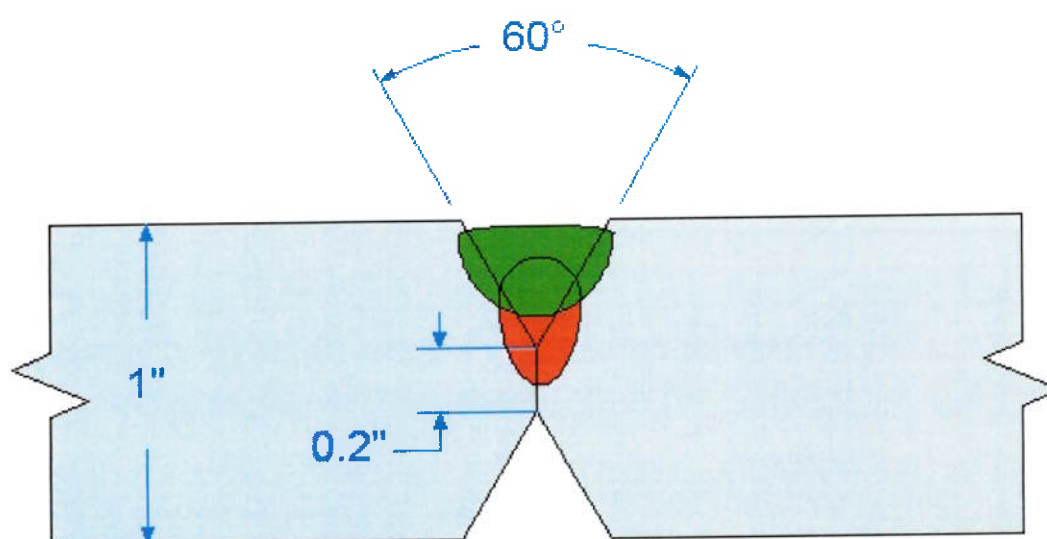


Figura 26 – Perfil do cordão de solda do segundo arco. [12]

O segundo arco, Figura 26, determina o formato da secção transversal do cordão de solda e o preenchimento da junta. Este arco pode aumentar a penetração do cordão de solda pela adição de mais energia sobre a poça de fusão. Em relação ao primeiro arco a corrente de soldagem deve ser inferior e a tensão de arco superior. A tensão de arco mais alta ajuda a alargar o cordão de solda reduzindo a relação de profundidade por largura do cordão, reduzindo a possibilidade de ocorrência de trincas de solidificação. [12]

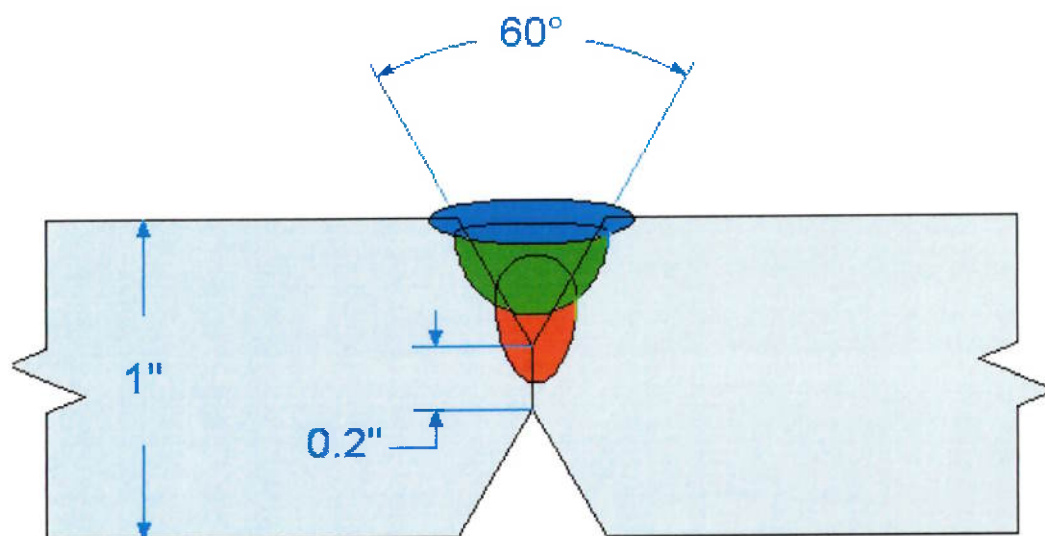


Figura 27 - Perfil do cordão de solda do terceiro arco. [12]

O terceiro arco, Figura 27, quando necessário, tem a função de preencher e dar acabamento ao cordão de solda. Este arco deve ter a menor corrente de soldagem e a maior tensão de arco entre os demais arcos. [12]

2.4.3.2 Arranjos típicos de fontes de energia

O sistema de soldagem Tandem Arc possibilita combinar diferentes tipos de fonte de energia para cada arame. [11] Corrente contínua polaridade positiva (CC+) e corrente alternada são os dois tipos de polaridade que usualmente são utilizadas na soldagem Tandem Arc. [12]

O primeiro arco pode ser configurado com ambas possibilidades, corrente contínua polaridade positiva (CC+) ou corrente alternada (CA), entretanto normalmente é utilizado no primeiro arco a corrente contínua polaridade positiva (CC+) devido ao seu maior poder de penetração em comparação com a corrente alternada. [12]

Os arcos seguintes devem obrigatoriamente serem configurados com corrente alternada para que o sistema seja eletromagneticamente estável. A corrente alternada é utilizada para reduzir o efeito de sopros magnéticos. O sopro magnético é uma deflexão do arco elétrico causado pela interação entre forças eletromagnéticas geradas ao redor do eletrodo de soldagem que podem gerar aproximação e afastamento dos arcos elétricos dependendo de sua polaridade, resultando em arcos elétricos instáveis e baixa qualidade na soldagem. [12]

A Figura 28 ilustra diferentes arranjos de polaridade de eletrodos e ilustra a vantagem em utilizar-se de arranjos de corrente contínua e corrente alternada.

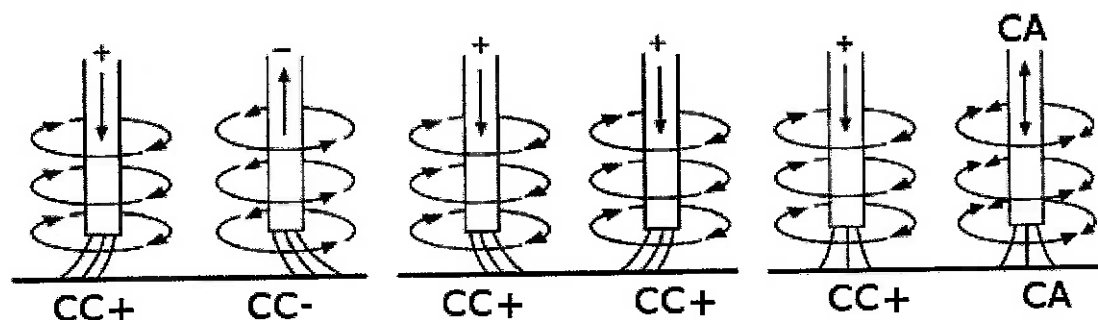


Figura 28 - Ilustração das forças sobre o arco elétrico para diferentes arranjos de polaridade de eletrodos. [12]

Na corrente alternada a polaridade irá alternar ciclicamente entre positivo e negativo reduzindo o efeito de aproximação e afastamento dos arcos elétricos.

[12]

Para sistemas Tandem Arc com três ou mais arcos faz-se necessário uma defasagem entre o ângulo de fase da corrente alternada para que seja minimizado o efeito de sopro magnético entre os arcos. [12]

2.4.3.3 Controle de parâmetros na soldagem Tandem Arc

Os controles de corrente e a tensão de arco seguem a mesma teoria da soldagem com arco simples. A corrente irá controlar a profundidade de penetração e a taxa de fusão do eletrodo, enquanto que a tensão irá controlar a largura e a altura do cordão. [12]

A velocidade de deslocamento irá determinar a quantidade de material que será depositado sobre a junta e a penetração. Para o caso de velocidades de soldagem muito baixas deve-se atentar para que a poça de fusão não avance

para a frente do primeiro arco elétrico, podendo causar inclusão de escória e instabilidade de arco. [12]

No caso da soldagem Tandem Arc existem dois ou mais eletrodos em uma mesma poça de fusão, os quais podem ser ajustados com diferentes ângulos de soldagem.

Cada ângulo independentemente irá propiciar características de perfil de cordão semelhantes aos de arco simples e podem ser ajustados de maneira a atingir os resultados necessários. É comum que o primeiro eletrodo trabalhe em ângulos neutros ou puxando para garantir a penetração desejada, já os eletrodos intermediários e o ultimo eletrodo trabalham em ângulos empurrando, para garantir um bom acabamento do cordão de solda. [12] A Figura 29 ilustra diferentes composições de ângulo de eletrodos.

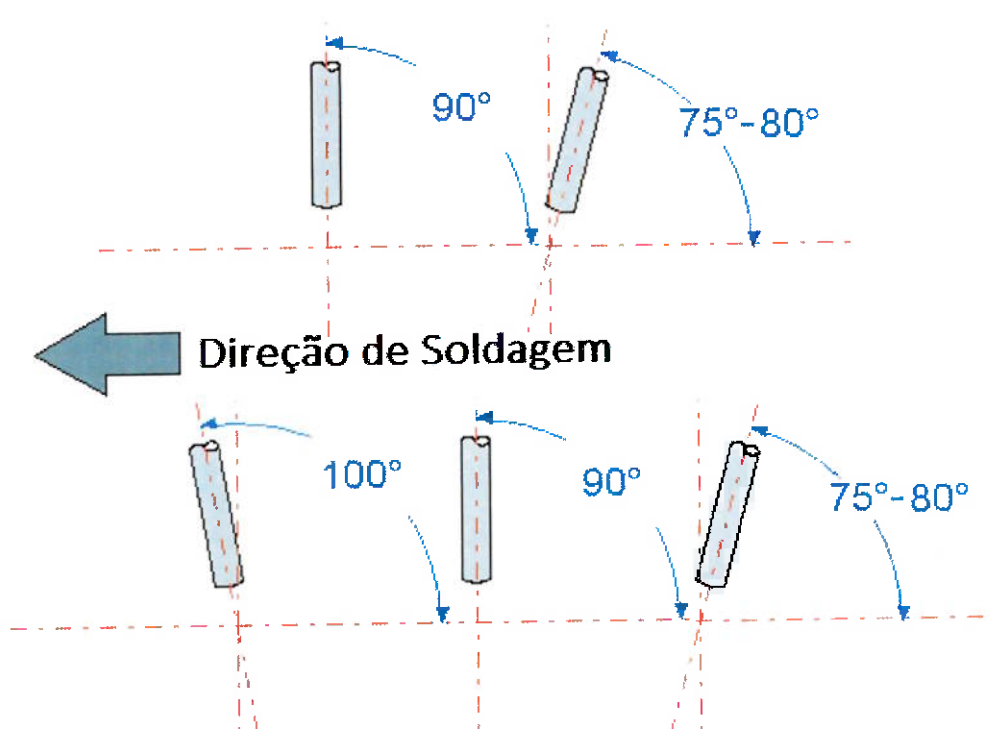


Figura 29 - Composições de ângulo de eletrodos para soldagem com Tandem Arc com dois e três eletrodos. [12]

A distância entre os eletrodos deve ser definida de tal maneira que estes não fiquem muito próximos para evitar interferência eletromagnética entre os arcos elétricos e não muito afastados para que não se inicie a solidificação da escória do primeiro arco e essa possa gerar uma inclusão no metal de solda. [12]

2.4.3.4 Controles de parâmetros avançados na soldagem ao arco submerso

As fontes de soldagem PowerWave AC/DC 1000 SD da Lincoln Electric podem produzir curvas de corrente de saída na forma de ondas quadradas em corrente alternada. [12]

Este equipamento apresenta alguns recursos que permitem manipular a forma desta onda de corrente de saída de modo a modificar as características de penetração, deposição e estabilidade de arco elétrico.

Os parâmetros de soldagem que permitem estes ajustes são Balanço, Offset e Frequência. [12]

O Balanço irá determinar o percentual de tempo de um ciclo em que a corrente de soldagem permanecerá na polaridade positiva. Este parâmetro irá controlar o efeito da taxa de fusão do eletrodo. O balanço pode ser ajustado de 25% a 75%. [12]

Percentuais de balanço inferiores a 50% irão gerar maior deposição, pois a corrente permanecerá maior período na polaridade negativa, percentuais de balanço superiores a 50% irão aumentar a penetração, pois a corrente permanecerá por maior tempo na polaridade positiva. [12]

O Offset permite que sejam modificados os valores de corrente de pico da porção positiva ou negativa da corrente de saída. O Offset pode ser ajustado de -25 a +25 e representa o valor percentual de incremento ao pico de corrente. Offset positivo irá deslocar a onda para a porção positiva da corrente promovendo maior penetração, Offset negativo irá deslocar a onda para a porção negativa da corrente, promovendo maior deposição. [12]

A Frequência controla a quantidade de ciclos de alternância de corrente que o equipamento executa em 1 segundo. Pode ser ajustada de 20Hz a 100Hz. A frequência irá influenciar principalmente na estabilidade dos arcos elétricos quando há a interação de dois ou mais arcos elétricos em uma mesma poça de fusão como no caso do tandem arc. [12]

2.4.4 CONSUMÍVEIS DE SOLDAGEM

Para soldagem no processo Arco Submerso são necessários dois consumíveis, o Fluxo de soldagem e o Eletrodo na forma de um arame contínuo. [23]

Os fluxos são categorizados de acordo com seu método de fabricação, a maneira como ele pode afetar a composição química do depósito e seu efeito nas propriedades do metal depositado. [22]

Quanto ao método de fabricação os fluxos podem ser do tipo fundido ou do tipo aglomerado. [11, 22]

Os fluxos fundidos são compostos por matérias primas misturadas e fundidas a temperaturas entre 1300 a 1500°C em forno, essa mistura fundida é

rapidamente solidificada em jato de água, adquirindo um aspecto granular vítreo, moída, peneirada e embalada. Devido ao método de fabricação deste produto não é possível a adição de elementos de liga e de desoxidantes, pois os mesmos seriam oxidados devido a alta temperatura do processo. [11, 22]

Os fluxos aglomerados são compostos pela mistura de matérias primas, misturadas e agregadas com o auxílio de silicatos líquidos, granulados e sinterizados a temperaturas entre 600 e 900°C em forno. Por serem tratados a temperaturas mais baixas que os fluxos fundidos há a possibilidade em agregar elementos de liga e desoxidantes a este produto. [11, 22]

Os fluxos são classificados por sua neutralidade, em fluxos neutros, ativos e ligados. [11]

Os fluxos ativos são fluxos que contém em sua formulação quantidades significativas de manganês e silício, que agem como desoxidantes, dessulfurantes e desnitrificantes, melhorando a resistência à porosidade e a trincas causadas por contaminantes. São indicados para soldagem de passes únicos para evitar o depósito excessivo destes elementos no metal de solda. Teores altos de manganês e silício podem elevar a resistência mecânica do aço e reduzir sua tenacidade e ductilidade. [11, 22]

Os fluxos neutros contêm pouco ou nenhum desoxidante, e por definição, não produzem nenhuma mudança significativa na composição do metal de solda. Todas as propriedades serão decorrentes da mistura das composições químicas do metal de base e do eletrodo utilizado. São indicados para soldagem multipasse. Esse tipo de fluxo normalmente é sensível a porosidades e trincas causadas por contaminantes. [11, 22]

Os fluxos ligados são aqueles que contêm altos teores de elementos de liga que serão depositados no metal de solda e irão modificar a composição química e as propriedades do metal de solda, a principal aplicação para estes produtos é a soldagem de revestimento. [11, 22]

Os fluxos podem ser classificados também de acordo com sua basicidade, que representa a razão entre os óxidos metálicos de ligação forte e os óxidos metálicos de ligação fraca. O índice de basicidade é definido por Boniszewski pela seguinte equação: [22]

$$IB = \frac{CaO + CaF_2 + MgO + K_2O + Na_2O + Li_2O + BaO + SrO + \frac{1}{2} (MnO + FeO)}{SiO_2 + \frac{1}{2} (Al_2O_3 + TiO_2 + ZrO_2)}$$

Para $IB < 1,0$ o fluxo é considerado ácido, para $IB > 1,5$ o fluxo é considerado básico, e para IB entre 1,0 e 1,5 o fluxo é considerado semi-básico. [11]

Fluxos ácidos possuem melhor operabilidade, e melhores características de molhabilidade, usualmente possuem melhor resistência à porosidade causada por contaminantes no metal de base como carepas, óxidos e óleos, são tipicamente preferidos para soldagem de passe único e apresentam melhor aparência e perfil de penetração. [22, 41]

Fluxos básicos tendem a apresentar melhores resultados de tenacidade, são preferidos para soldagem multipasse. Apresentam aparência de cordão e perfil de penetração inferior aos fluxos ácidos. [22, 41]

O Eletrodo para soldagem pode ser de dois tipos, sólido ou tubular, com diâmetros que podem variar de 1,6mm a 6,4mm. [22]

Os eletrodos são classificados com base em sua composição química. Para os aços carbono sua nomenclatura é designada pela letra E, que significa eletrodo,

seguido pelas letras L ou M ou H que indicam a quantidade de manganês (L – baixo, M – médio e H – alto), um número que representa a quantidade aproximada de carbono em composição percentual multiplicado por 100, e pode ser finalizado pela letra K no caso de aços acalmados ao silício. [23]

Para os aços baixa liga a nomenclatura é dada pela letra E de eletrodo, seguida de um código que representa a composição química do arame segundo AWS. [22]

Para eletrodos tubulares de núcleo metálico após a letra E de eletrodo é inserida a letra C que representa eletrodo compósito. [24]

3. OBJETIVOS

O Objetivo do presente trabalho é avaliar o desempenho de três diferentes fluxos para soldagem dos aços TMCP da classe EH36/S355M.

Serão avaliados a combinação Fluxo DX (Básico, IB= 2,8) com arame EM12K, Fluxo 105 (Semi-Básico, IB= 1,32) com arame EM12K e Fluxo NAV (Semi-Básico micro-ligado com Titânio e Boro, IB= 1,46) com arame EM12K.

Será realizada a soldagem monitorada de um corpo de prova para cada combinação fluxo arame no processo de soldagem ao arco submerso Tandem Arc com dois arames. O procedimento de soldagem adotado será a soldagem bilateral para chapas de espessura de 25mm com chanfro em duplo V, objetivando atingir a Energia de soldagem de 5 kJ/mm no primeiro passe e 6 kJ/mm no segundo passe.

Serão avaliadas as características físicas do metal depositado como dimensões e perfil de penetração.

Será realizado o cálculo de diluição e análise química para avaliar a eficiência de deposição de alguns elementos químicos em função da alta energia utilizada.

Será avaliada a tenacidade (Ensaio Charpy com entalhe em V) dos corpos de prova para as temperaturas de 0°C, -20°C e -40°C à 2mm da face do segundo cordão, de acordo com especificações navais, e na intersecção dos cordões de solda (zona de refino de grão).

Será realizada análise metalográfica do cordão de solda e a relação entre as propriedades mecânicas e resultados químicos obtidos e a microestrutura resultante de cada soldagem realizada.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 METAL BASE

O metal base utilizado trata-se de um aço carbono baixa liga produzido pela Usiminas, pela rota de fabricação TMCP com resfriamento controlado CLC, classificado como EN-10025-4-04-S355-M / ASTM A131/A131M - EH36, de espessura nominal de 25,4 mm, corrida nº 57099.

A Figura 30 exibe a identificação do metal base utilizado.



Figura 30 - Identificação do metal base utilizado no trabalho.

4.1.1 COMPOSIÇÃO QUÍMICA

A Tabela 1 apresenta as faixas de composição química determinadas pelas normas EN 1027-1 S355M e ASTM A131/A131M EH36, e a composição química do metal base utilizado, conforme certificado de qualidade.

Tabela 1 - Composição química do metal base. [3, 25, 26]

	EN 1027-1	ASTM A131/A131M	Corrida
	S355M	EH36	576099
C	0,13	0,18	0,08
Si	0,5	0,1 - 0,5	0,24
Mn	1,6	0,9 - 1,6	1,54
P	0,03	0,035	0,016
S	0,025	0,04	0,001
Nb	0,05	0,05	0,017
V	0,1	0,1	0,004
Al	0,02(min)	0,015 (min)	0,037
Ti	0,05		0,016
Cr	0,3	0,25	0,03
Ni	0,5	0,4	0,03
Mo	0,1	0,08	0,01
Cu	0,55	0,35	0,03
N	0,015		0,0042

Cálculo do Carbono equivalente:

$$CE = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Ni}{40} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{4} \quad [5]$$

$$CE = 0,08 + (1,54/6) + (0,24/24) + (0,03/40) + (0,03/5) + (0,01/4)$$

$$CE = 0,356$$

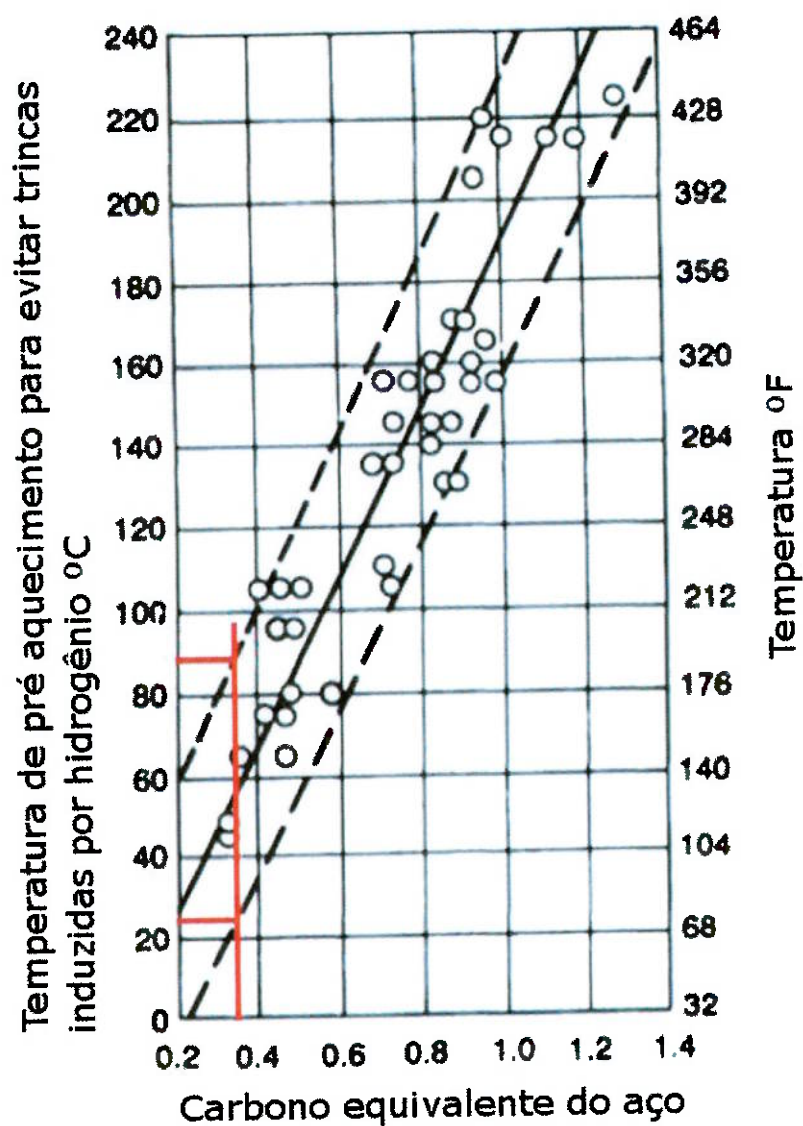


Figura 31 - Efeito do carbono equivalente no pré-aquecimento requerido. [5]

De acordo com o cálculo do Carbono Equivalente, plotando no gráfico da Figura 31, concluiu-se que a temperatura mínima de pré-aquecimento para o aço em questão é de aproximadamente 25°C, o que corresponde à temperatura ambiente, portanto não se faz necessário o pré-aquecimento.

4.1.2 MICROESTRUTURA TÍPICA

Os dados de Microestrutura do metal base utilizado representam o resultado típico, apresentado no relatório de aprovação do produto [3] e nos dados do certificado de qualidade emitido pelo fabricante (em anexo).

Tabela 2 - Tamanho de grão ferrítico, de acordo com ASTM-E112/1996. [3]

	Tamanho médio	Desvio padrão	Desvio padrão percentual relativo
Base	11,3	0,22	1,95
Topo	11,7	0,15	1,28

Tabela 3 - Avaliação de inclusões, de acordo com ASTM-E45/2005. [3]

	Sulfetos	Alumina	Silicatos	Óxidos globulares	Distribuição
Base	-	0.5F		1.0F	Regular
Topo	0.5F	0.5F		1.0F	Regular

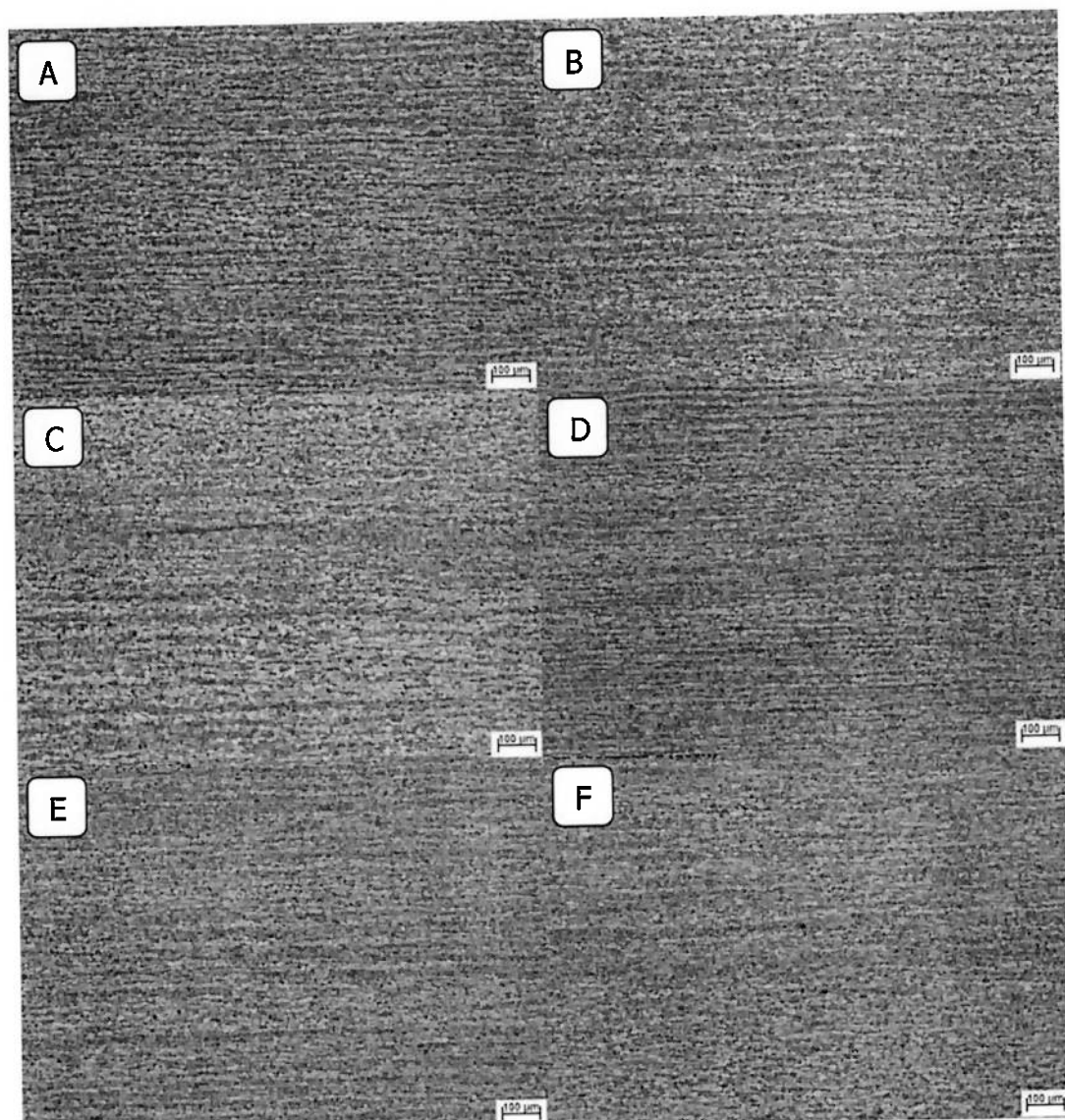


Figura 32 - Micrografias, Aumento de 100X; A - Superfície da base da chapa; B – 0,25 da espessura, a partir da base da chapa; C – 0,5 da espessura, a partir da base da chapa; D – Superfície do topo da chapa; E – 0,25 da espessura, a partir do topo da chapa; F – 0,5 da espessura, a partir do topo da chapa. [3]

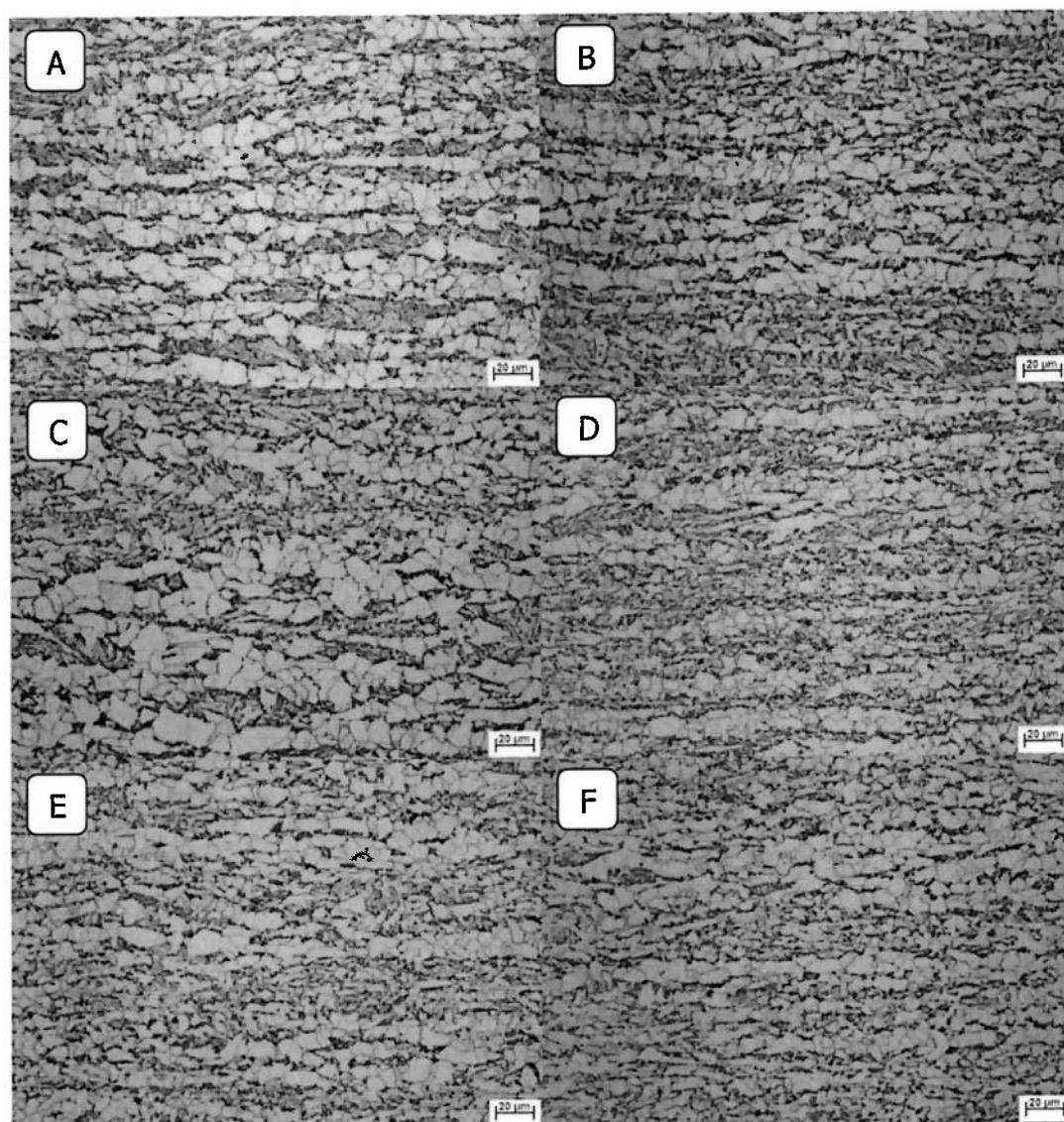


Figura 33 - Micrografias, Aumento de 500X; A - Superfície da base da chapa; B – 0,25 da espessura, a partir da base da chapa; C – 0,5 da espessura, a partir da base da chapa; D – Superfície do topo da chapa; E – 0,25 da espessura, a partir do topo da chapa; F – 0,5 da espessura, a partir do topo da chapa. [3]

4.1.3 PROPRIEDADES MECÂNICAS

Os dados de Propriedades mecânicas do metal base utilizado, Tabela 4 e Tabela 5 representam o resultado apresentado no certificado de qualidade emitido pelo fabricante (em anexo).

Tabela 4 - Propriedades Mecânicas (Resistência à Tração). [25, 26]

Especificação	EN 1027-1	ASTM A131/A131M		
Identificação	S355M	EH36	40026347	40026359
Posição			B4	T4
Direção			C	C
Limite de Escoamento (Mpa)	345	360	398	430
Limite de Ruptura (Mpa)	470 - 630	490 - 620	486	498
LE/LR (%)			82	86
AL (%)	22	22	35,5	32,5

Legendas: LE= Limite de escoamento
 LR = Limite de ruptura
 AL = Alongamento
 B4 = Base a um quarto da largura
 T4 = Topo a um quarto da largura
 C = Transversal

Tabela 5 - Propriedades Mecânicas (Tenacidade à fratura). [25, 26]

Especificação	EN 1027-1	ASTM A131/A131M		
Identificação	S355M	EH36	40026347	40026359
Posição			B4	T4
Direção			L	L
Temperatura (°C)	-30 / -20	-40	-50	-50
EA1 (J)			423	430
EA2 (J)			415	414
EA3 (J)			417	413
EAM (J)	27 / 40	34	418	420

Legendas: EA1 = Energia Absorvida 1
 EA2 = Energia Absorvida 2
 EA3 = Energia Absorvida 3
 EAM = Energia Absorvida Média
 B4 = Base a um quarto da largura
 T4 = Topo a um quarto da largura
 L = Longitudinal

Os dados apresentados na Figura 34 representam o resultado típico, apresentado no relatório de aprovação do produto [3]. Os pontos apresentados no gráfico representam 4 posições de retirada dos corpos de prova em diferentes orientações: lado da base da placa a um quarto da largura longitudinal ao sentido de laminação, lado da base da placa a um quarto da largura transversal ao sentido de laminação, lado do topo da placa a um quarto da largura longitudinal ao sentido de laminação e lado do topo da placa a um quarto da largura transversal ao sentido de laminação.

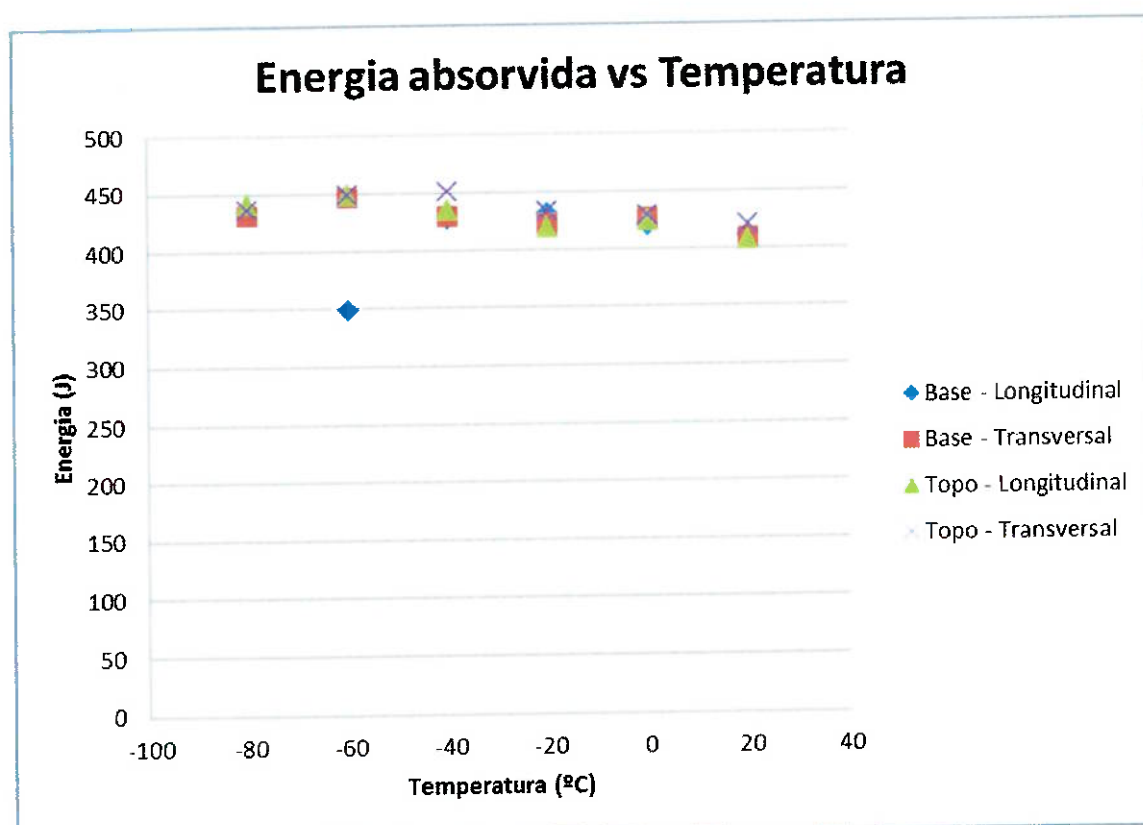


Figura 34 - Curva de Energia absorvida (J) por temperatura (°C), obtida a partir de ensaio de impacto Charpy com entalhe em V. (Resultado típico apresentado no relatório de aprovação do produto). [3]

4.2 CONSUMÍVEIS DE SOLDAGEM

4.2.1 ARAME PARA SOLDAGEM AO ARCO SUBMERSO

Para a soldagem no processo Arco Submerso foi utilizado um arame sólido AWS A5.17 EM12K de 4,0mm de diâmetro da Lincoln Electric, de marca comercial L-61. Cuja composição química de certificado (em anexo) está descrita na Tabela 6.

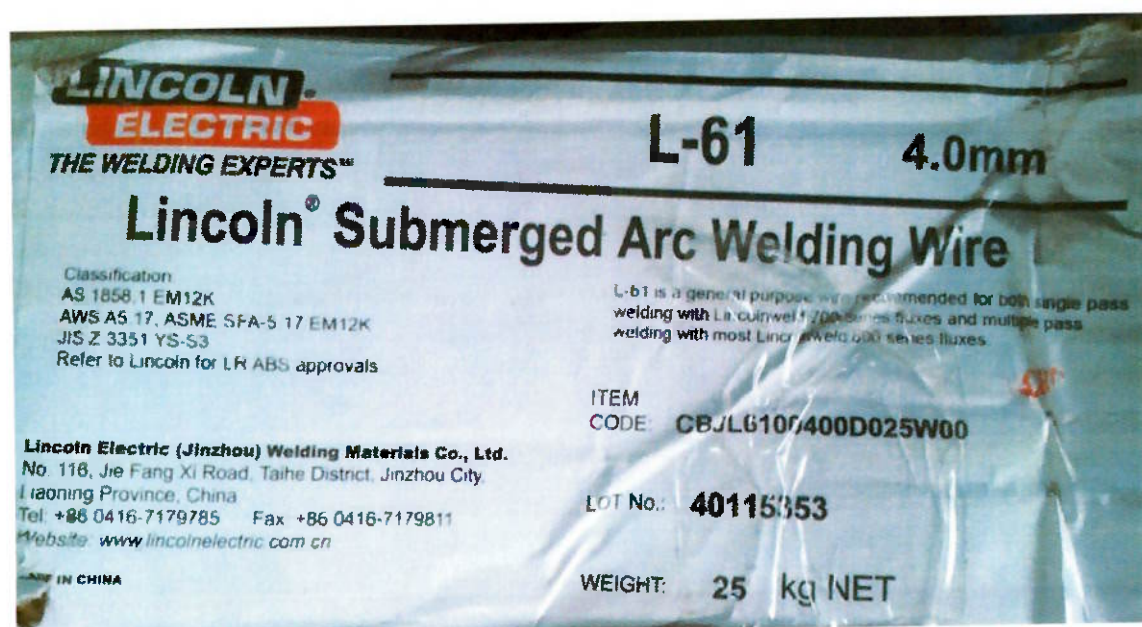


Figura 35 - Arame para soldagem ao arco submerso utilizado.

Tabela 6 - Composição Química do EM12-K. [30]

	C	Mn	Si	P	S	Cu	Ni
Espec.	0,10- 0,14	0,90- 1,15	0,15- 0,30	0,020 Max.	0,015 Max.	0,15 Max.	0,10 Max.
40109124	0,13	1,03	0,26	0,009	0,008	0,10	0,012

	Cr	Mo	V	Al	Nb	Sn	N
Espec.	0,07 Max.	0,02 Max.	0,01 Max.	0,01 Max.	0,01 Max.	0,01 Max.	0,007 Max.
40109124	0,011	0,005	0,002	0,0019	0,00034	0,0004	0,006

4.2.2 FLUXOS PARA SOLDAGEM AO ARCO SUBMERSO

Para soldagem dos corpos de prova foram utilizados um fluxo básico e dois fluxos semi-básicos, diferindo principalmente na utilização de elementos de microliga Titânio e Boro.

A Tabela 7 apresenta o Índice de basicidade, calculado pelo método de Boniszewski e a classificação quanto à basicidade.

Tabela 7 - Propriedades dos Fluxos utilizados no trabalho. [11, 12, 24]

Fluxo	Índice de Boniszewski	Classificação
Carbox 105	1,32	Semi-básico
Lincoln NAV-Y40	1,46	Semi-básico
Carbox DX	2,8	Básico

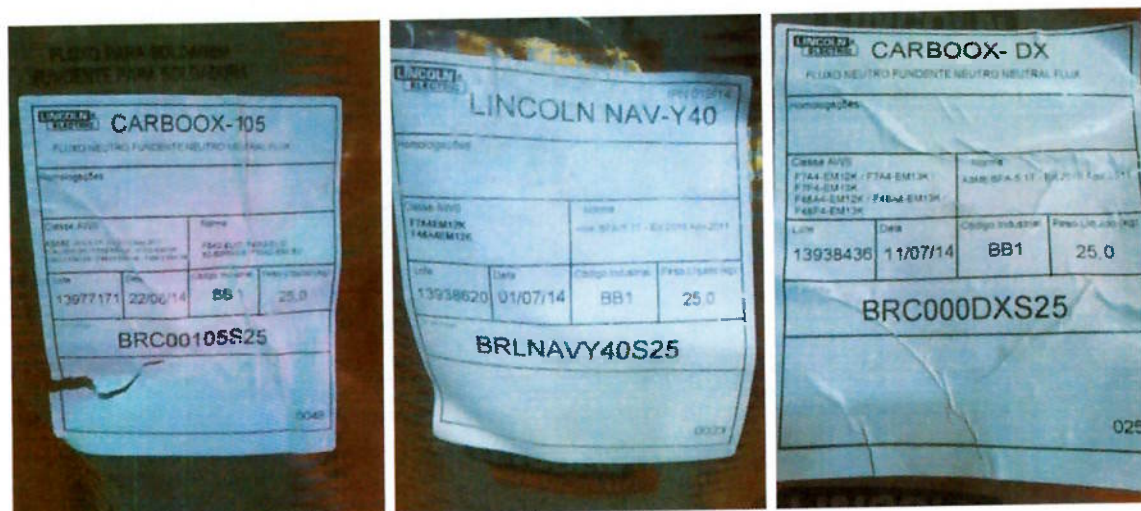


Figura 36 - Etiquetas de identificação dos fluxos utilizados.

Tabela 8- Composição química dos depósitos pelo método de avaliação descrito na AWS A5.17 para os fluxos utilizados.

	105 com EM12K	NAV com EM12K	DX com EM12K
Corrida	L-13977171	L-13938620	L-13938436
C	0,02562	0,04604	0,06697
Si	0,41639	0,51812	0,29778
Mn	1,26347	1,63897	1,51665
P	0,02424	0,0172	0,01969
S	0,01074	0,01281	0,01675
Nb	0,00082	0,00396	0,00009
V	0,01271	0,01413	0,01252
Al	0,00876	0,01459	0,00342
Ti	0,00136	0,02322	0,00181
Cr	0,02133	0,04024	0,32714
Ni	0,02566	0,04182	0,03545
Mo	0,00633	0,00886	0,00841
Cu	0,1292	0,0748	0,09063
Sn	0,0022	0,00753	0,00268

4.3 EQUIPAMENTO DE SOLDAGEM

Para soldagem ao Arco Submerso dos corpos de prova foi utilizado um sistema de soldagem Tandem Arc configurado com duas fontes de soldagem Lincoln Electric PowerWave AC/DC 1000 SD com controladores de arame MAXsa 10, monitorada pelo sistema de monitoramento de soldagem Lincoln Electric Production Monitoring 2.2 e Lincoln Observer.



Figura 37 - Fontes de Soldagem Lincoln Electric PowerWave AC/DC 1000 SD com controladores MAXsa 10.

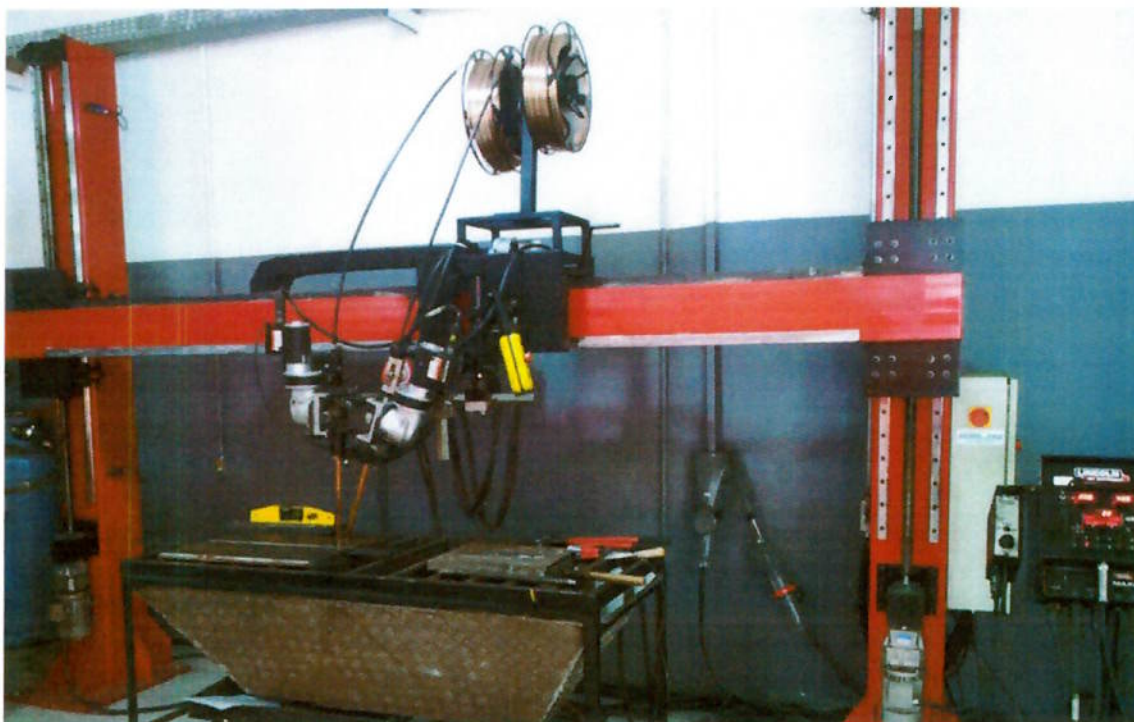


Figura 38 - Sistema de soldagem ao Arco Submerso Tandem Arc.

As tochas foram configuradas com o primeiro eletrodo com o ângulo de -5° (puxando) para atingir uma grande penetração e $+20^\circ$ (empurrando) para o segundo eletrodo para garantir um bom enchimento e acabamento do cordão de solda, de acordo com a Figura 39.

O *Stickout* adotado foi de 32mm, medido a partir do bico de contato do primeiro eletrodo, e a distância entre os eletrodos ajustada em 16mm medida a partir da ponta do primeiro eletrodo (com 32mm de comprimento) e o segundo eletrodo na mesma altura do primeiro, conforme ilustrado na Figura 39.

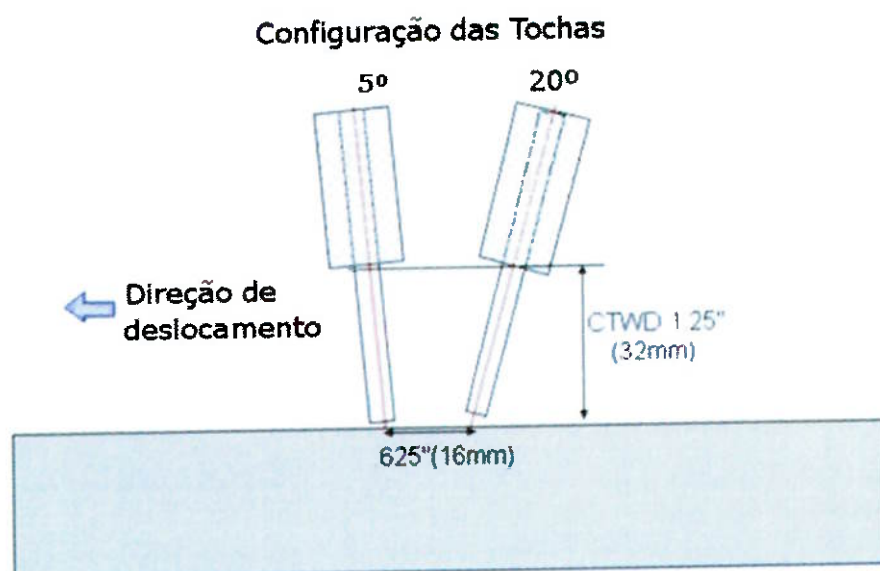


Figura 39 - Esquema de configuração das tochas de soldagem.

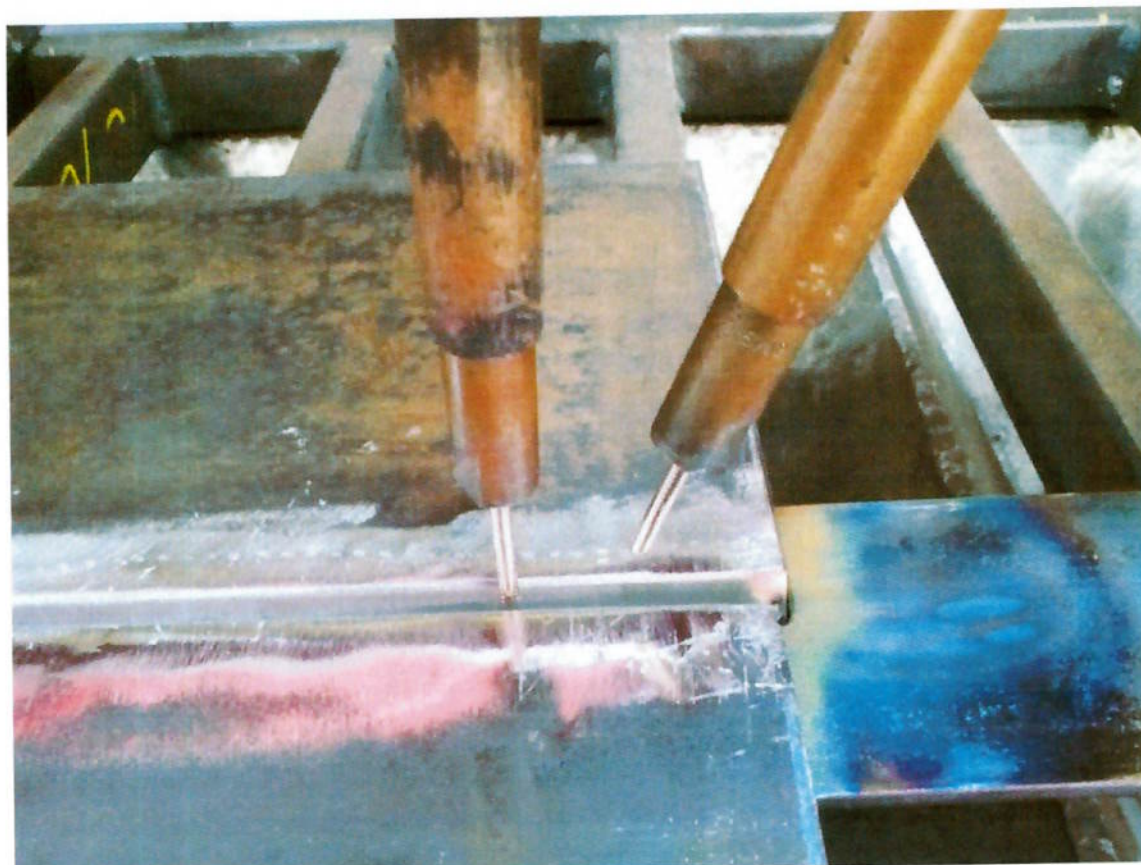


Figura 40 - Configuração das tochas de soldagem.

Foi utilizado sob o corpo de prova, na região da junta soldada, um cobre juntas de cobre com canal e cama de fluxo para evitar que, caso a penetração fosse excessiva e a ação do arco elétrico atravessasse o nariz da junta, não ocorresse o vazamento do metal de solda. A Figura 41 ilustra as dimensões do cobre junta utilizado e camada de fluxo adequada à aplicação.

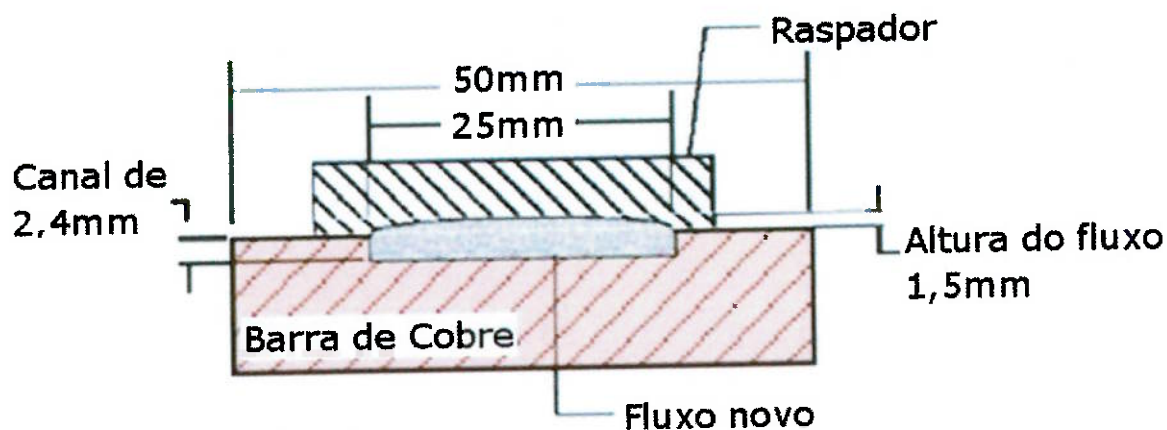


Figura 41 - Dimensões do cobre junta utilizado na soldagem dos corpos de prova.

O fluxo utilizado para o preenchimento do cobre juntas foi o mesmo utilizado na soldagem do corpo de provas.

4.4 PREPARAÇÃO DA JUNTA SOLDADA

Foi selecionada para soldagem uma junta típica na soldagem de juntas de topo com um passe de cada lado para homologação de procedimento naval para a espessura de 25,4mm. [32, 33]

A configuração da junta trata-se de uma junta de topo, com chanfro em x, nariz de 6 a 8 mm sem abertura, como pode-se visualizar na Figura 42.

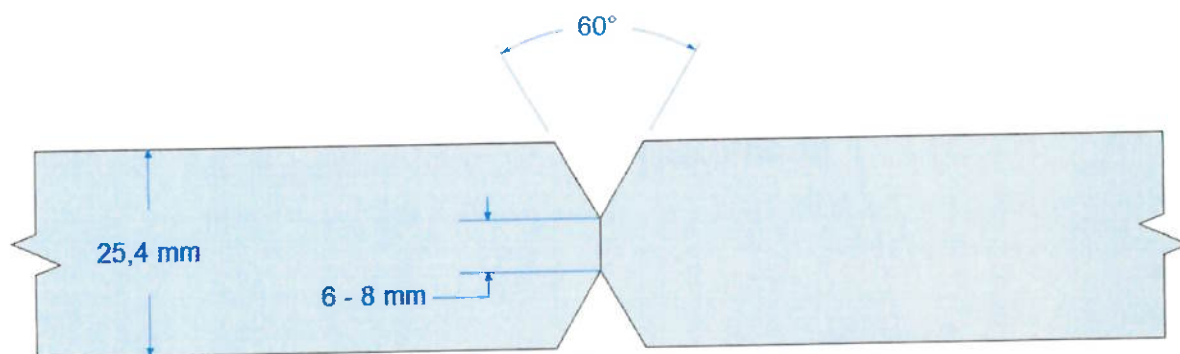


Figura 42 - Dimensões de preparação da junta.

Os corpos de prova foram dimensionados aproximadamente nas dimensões da Tabela 9.

Tabela 9 - Dimensões dos corpos de prova.

Espessura (mm)	25,4
Largura (mm)	250 (cada lado)
Comprimento (mm)	600 - 680

A Figura 43 ilustra as dimensões do corpo de prova montado.

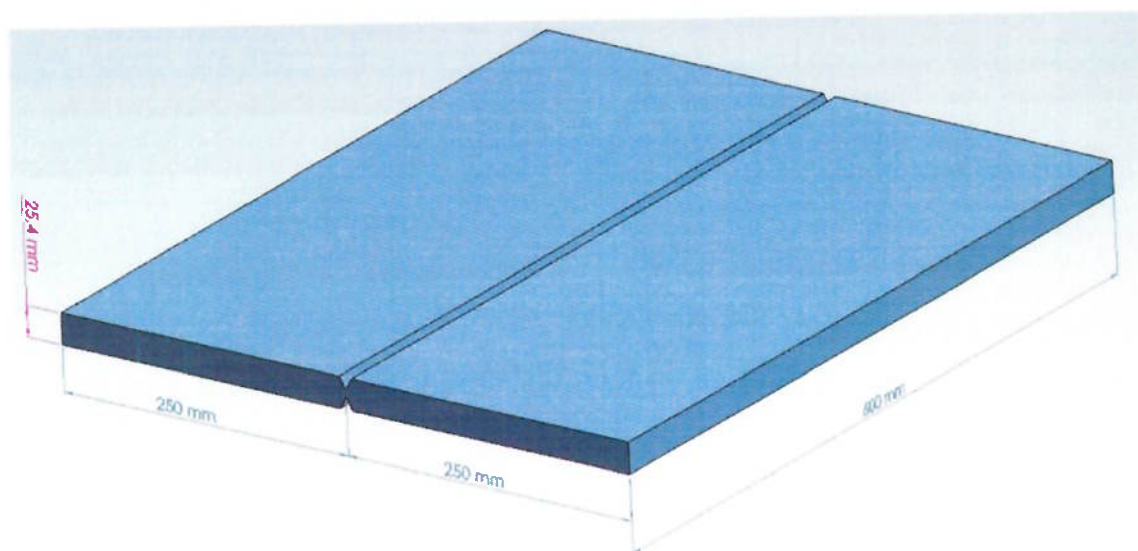


Figura 43 - Dimensões dos corpos de prova.

A preparação do chanfro foi realizada por fresagem, e posterior limpeza por esmerilhamento para remoção de oxidação e resíduos de óleos de usinagem.

Foram soldados nas duas extremidades do corpo de prova apêndices de 150mm x 250mm x 10mm (largura x comprimento x espessura) para início e encerramento da soldagem fora da região do corpo de prova. Segue abaixo a Figura 44 ilustrando a montagem de um dos corpos de prova.

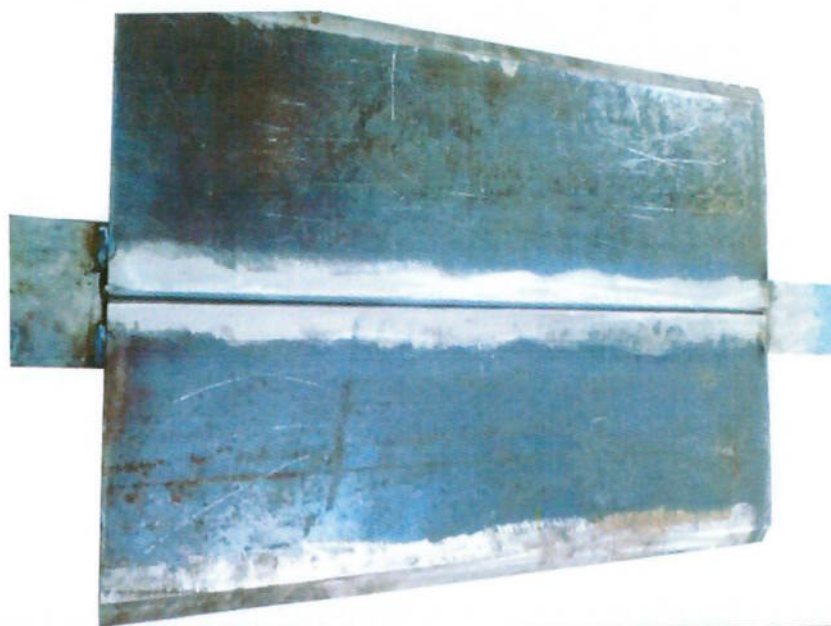


Figura 44 - Fotos com detalhes da montagem dos corpos de prova.

4.5 PROCEDIMENTO DE PREPARAÇÃO DOS CONSUMÍVEIS DE SOLDAGEM

Os fluxos utilizados para este estudo passaram por um processo de secagem antes da aplicação na soldagem dos corpos de prova.

A secagem do fluxo foi realizada em uma estufa apropriada por um período superior a 3 horas a uma temperatura de residência de 170°C.



Figura 45 - Controlador de temperatura da estufa de secagem de fluxo.

Os arames utilizados nos testes foram abertos no início das soldagens e foram mantidos em sala climatizada, com temperatura 10°C superior à temperatura ambiente e umidade controlada inferior a 30%.

4.6 PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM

O procedimento de soldagem foi previamente calculado para atingir uma energia de soldagem superior à 5 kJ/mm por passe, e foi ajustado na soldagem de chapas teste para obter o melhor desempenho de penetração e preenchimento da junta soldada, de acordo com o resultado de cordão de solda desejado.

Após o levantamento dos parâmetros foi definido o procedimento de soldagem descrito abaixo, Tabela 10.

Foi utilizado para o primeiro eletrodo Corrente Contínua Constante polaridade positiva para assegurar uma penetração uniforme ao longo do cordão de solda. Para o segundo eletrodo foi utilizado Corrente Alternada, com modulação de onda quadrada, a fim de minimizar os efeitos de sopro magnético e prover recursos de controle de deposição avançados como Balanço, ajustado em 65% para aumentar a taxa de deposição no passe de enchimento, e ajuste de frequência de alternância para ajustar a estabilidade do arco elétrico.

A Figura 46 demonstra a sequência dos passes de soldagem para o procedimento apresentado na Tabela 10.

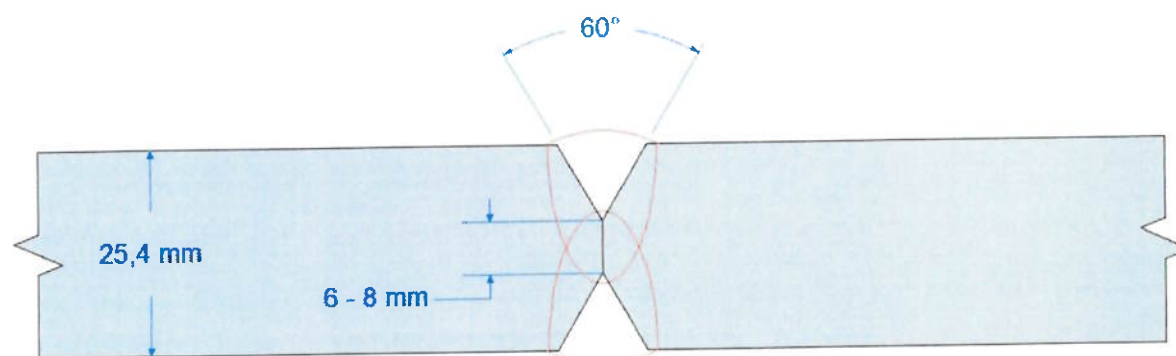


Figura 46 - Sequência de passes de soldagem para o procedimento de alta energia.

Tabela 10 - Procedimento de soldagem.

	Lado 1		Lado 2	
	1º Arame	2º Arame	1º Arame	2º Arame
Programa	48	49	48	49
Modo	CC ¹ DC+ ²	CC AC ³ Onda quadrada	CC DC+	CC AC Onda quadrada
Corrente (A)	850	680	950	760
Tensão (V)	31	36	32	37
Frequência (Hz)	-	70	-	70
Balanço (%)	-	65	-	65
Offset (%)	-	0	-	0
Ângulo de fase (°)	-	90	-	90
Ângulo Eletrodo (°)	- 5°	+20	- 5°	+20
Diâmetro Eletrodo (mm)	4	4	4	4
Stickout (mm)	32		32	
Espaçamento eletrodos (mm)	16		16	
Vel de Soldagem (mm/min)	575		575	

¹ CC: Corrente Constante² DC+: Polaridade positiva³ AC : Corrente Alternada

Cálculo da energia de soldagem teórica:

A energia de soldagem teórica foi calculada pela seguinte equação.

$$HI = (V \times I \times 60) / v \quad [6]$$

Onde: V = tensão de arco (V)

I = corrente de soldagem (A)

v = velocidade de soldagem (unidade de velocidade linear)

HI = Energia de soldagem (J / unidade de velocidade linear)

Lado 1

1º Arame

$$HI_1 = (31 \times 850 \times 60) / 575$$

$$HI_1 = 2749,56 \text{ J/mm}$$

$$HI_1 = 2,75 \text{ kJ/mm}$$

2º Arame

$$HI_2 = (36 \times 680 \times 60)/575$$

$$HI_2 = 2554,43 \text{ J/mm}$$

$$HI_2 = 2,55 \text{ kJ/mm}$$

Total do Lado 1

$$HI = HI_1 + HI_2$$

$$HI = 2749,56 + 2554,43$$

$$HI = 5303,99 \text{ J/mm}$$

$$HI = 5,30 \text{ kJ/mm}$$

Lado 2

1º Arame

$$HI_1 = (32 \times 950 \times 60)/575$$

$$HI_1 = 3172,17 \text{ J/mm}$$

$$HI_1 = 3,17 \text{ kJ/mm}$$

2º Arame

$$HI_2 = (37 \times 760 \times 60)/575$$

$$HI_2 = 2934,26 \text{ J/mm}$$

$$HI_2 = 2,93 \text{ kJ/mm}$$

Total do Lado 1

$$HI = HI_1 + HI_2$$

$$HI = 3172,17 + 2934,26$$

$$HI = 6106,43 \text{ J/mm}$$

$$HI = 6,10 \text{ kJ/mm}$$

4.7 MÉTODO DE AQUISIÇÃO DE DADOS DE SOLDAGEM

Durante a soldagem dos corpos de prova todos os parâmetros foram registrados com o auxílio de dois Softwares de monitoramento de processos da Lincoln Electric, disponível no equipamento de soldagem utilizado. O Lincoln Observer e o Production Monitoring 2.2.

O Lincoln Observer provê uma leitura em tempo real dos parâmetros de soldagem durante o processo, a uma taxa de captação de uma leitura a cada 0,2 segundos, apresentando os dados de Tensão, Corrente e Velocidade de Alimentação de Arame de forma gráfica e em dados de tabela. Abaixo pode-se observar a interface do software com os dados de soldagem, Figura 47.

A partir destes dados registrados foram criadas as curvas de tensão e corrente apresentadas no Anexo III deste trabalho.

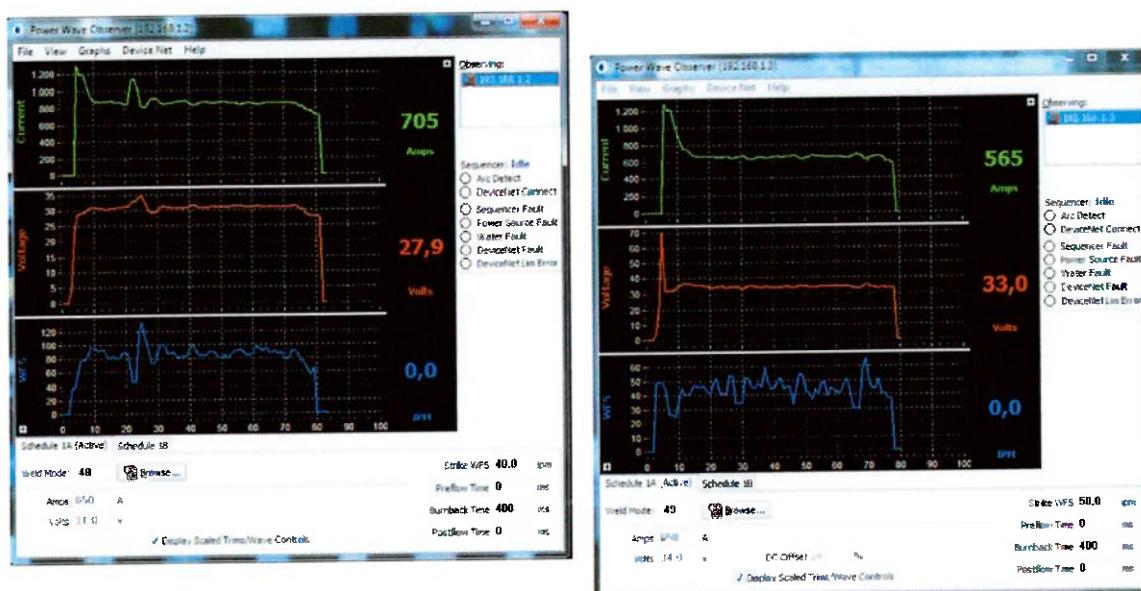


Figura 47 - Interface do Software Lincoln Observer.

O Production Monitoring 2.2 é um software de monitoramento de produção que registra as informações de cada cordão de solda realizado, como Tensão, Corrente e Velocidade de Alimentação de arame média, tempo de soldagem, energia de soldagem verdadeira aplicada a cada cordão de solda, dentre outras informações. A Figura 48 ilustra a interface do Software.

Production Monitoring 2.2

LINCOLN
ELECTRIC

SD1
SD2

Situação da Corrente	Produção	Lista de Soldagens	Detalhe da Soldagem	Redesenvolvimento	Tempo de Manutenção						
Detalhe de Falha											
WeldScore	Corrente / Tensão	Velocidade de alimentação de arame	Energia Verdadeira	Deposição do Fio							
ID da Soldagem	Início da soldagem	Soldador	Número do arco de porta	Tempo de arco (s)	Perfil	Situação	WeldScore™ (%)	Corrente (A) de méd.	Tensão (V) de méd.	H&A FSW (cm / mm)	Verdadeira energia (kJ)
4078522	26/09/2014 10:04:32	SC2	12	77,80	10	N /	667,00	34,10	40,00	1.715,02	
4078522	26/09/2014 10:04:48	SC1	12	77,80	1	N /	835,90	38,90	88,00	1.976,62	
4078526	26/09/2014 10:31:20	SC2	12	84,40	10	N /	616,90	33,10	37,00	1.616,90	
4078526	26/09/2014 10:31:33	SC1	12	24,90	1	N /	941,70	31,60	119,00	730,27	
4078527	26/09/2014 10:31:50	SC1	12	3,30	1	N /	798,80	32,20	124,00	59,33	
4078527	26/09/2014 10:32:00	SC1	12	87,10	1	N /	940,70	33,80	119,00	1.708,80	
4078527	26/09/2014 10:32:00	SC1	12	72,80	10	N /	685,82	33,30	51,00	703,49	
4078528	26/09/2014 10:55:06	SC1	12	4,10	1	N /	809,90	31,60	86,00	107,83	
4078528	26/09/2014 10:55:06	SC1	12	16,40	1	N /	814,90	31,20	97,00	654,16	
4078529	26/09/2014 13:55:10	SC1	12	23,06	10	N /	691,00	35,90	80,00	783,20	
4078531	26/09/2014 14:53:21	SC2	12	23,10	1	N /	831,20	31,00	96,00	836,54	
4078531	26/09/2014 14:53:37	SC1	12	4,30	10	N /	767,50	35,20	41,00	100,42	
4078532	26/09/2014 15:04:35	SC1	12	5,50	2	N /	914,90	31,10	97,00	90,21	
4078532	26/09/2014 15:06:15	SC2	12	99,20	10	N /	684,20	35,80	54,00	2.045,17	
4078533	26/09/2014 15:07:41	SC2	12	59,00	1	N /	861,80	31,00	92,40	2.491,98	
4078533	26/09/2014 15:07:41	SC2	12	93,80	10	N /	679,30	36,00	52,00	2.219,52	
4078533	26/09/2014 15:57:55	SC1	12	75,10	1	N /	801,20	31,60	95,00	1.969,17	
4078538	26/09/2014 15:59:12	SC1	12	5,90	1	N /	776,40	32,70	88,00	157,93	
4078539	26/09/2014 15:59:18	SC1	12	2,70	1	N /	614,80	32,10	90,00	237,70	
4078539	26/09/2014 15:59:21	SC1	12	3,60	1	N /	751,20	31,40	103,00	85,54	
4078540	26/09/2014 15:59:21	SC1	12	1.469,40	1	N /	1.740	8,70	2,00	897,15	
4078542	26/09/2014 16:23:09	SC2	12	30,20	10	N /	721,10	36,80	49,00	309,66	
4078543	26/09/2014 16:43:59	SC2	12	84,80	10	N /	754,40	34,90	58,00	2.207,75	
4078545	26/09/2014 16:44:14	SC4	12	1,80	1	N /	945,20	31,80	115,00	2.520,89	
4078546	26/09/2014 17:08:59	SC1	12	1,80	2	N /	782,30	29,80	59,00	35,28	
4078549	26/09/2014 17:08:59	SC2	12	92,30	10	N /	764,50	36,80	62,00	2.520,20	

Copyright © 2015 The Lincoln Electric Company. Enviar e Limpar esta Sessão Idiomas: por BR

Figura 48 - Interface do Software Production Monitoring 2.2.

Com este software foram adquiridos os valores de Tensão, Corrente e Velocidade de Alimentação de arame média, tempo de soldagem, energia de soldagem verdadeira apresentadas na seção de resultados deste trabalho.

4.8 MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO DE PERFIL DE CORDÃO E CÁLCULO DE DILUIÇÃO

Para dimensionamento dos cordões de solda foram utilizados três diferentes instrumentos e recursos computacionais. Para o comprimento do cordão foi utilizada uma trena, para determinação da largura foi utilizado paquímetro, para avaliação da altura do cordão foi utilizado um calibre específico para esta aplicação e para determinação da penetração foi utilizado um software de medição. A Figura 49 apresenta os instrumentos utilizados.



Figura 49 - Instrumentos utilizados para medir as dimensões dos cordões de solda.

A largura e altura dos cordões de solda foram medidas em 5 diferentes pontos do corpo de prova e foi calculada a média. Para determinação da profundidade de penetração foi utilizado um software de medição.

Para determinação da relação de áreas para o cálculo da diluição foi utilizado o Software ArcWorks WeldCAD 3.0.1 da Lincoln Electric. No qual, a partir de uma imagem de Macrografia pode-se delimitar as áreas do cordão de solda e do chanfro original e, a partir delas, calcular a proporção e estimar a diluição. A interface do Software pode ser vista na Figura 50.

A partir das áreas determinadas pelo Software pode-se calcular a diluição pela seguinte fórmula:

$$\text{Diluição} = \frac{(\text{Área do Metal Base})}{(\text{Área do Metal Base} + \text{Área do Metal de adição})}$$

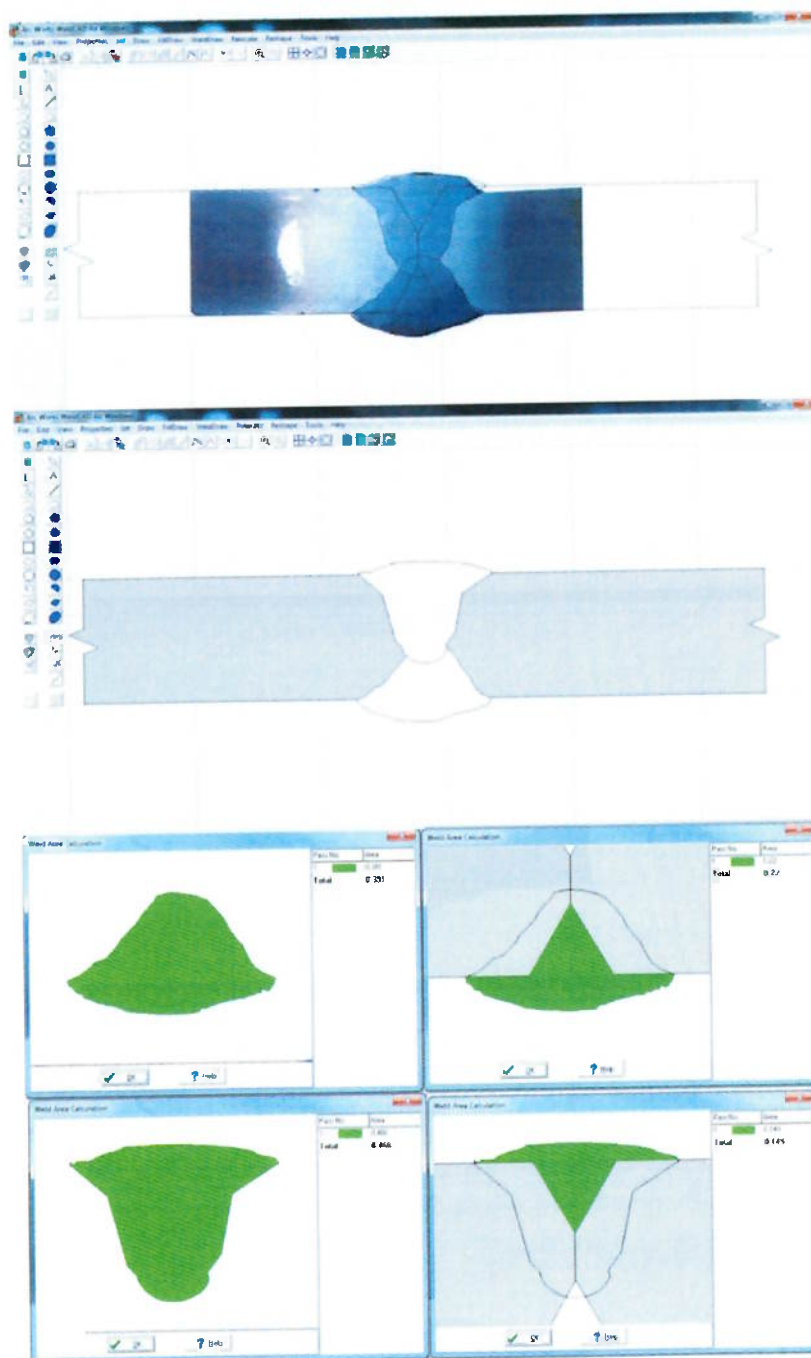


Figura 50 - Interface do Software ArcWorks WeldCAD.

4.9 ANÁLISE QUÍMICA DO CORDÃO DE SOLDA

As análises de composição química do metal de solda foram realizadas em um equipamento Espectrômetro de Emissão Óptica modelo ARL-Metal Analyser (ARL3460).

As análises foram realizadas na face dos cordões de solda, e na intersecção dos cordões de solda, que representam as regiões de extração dos corpos de prova de impacto.

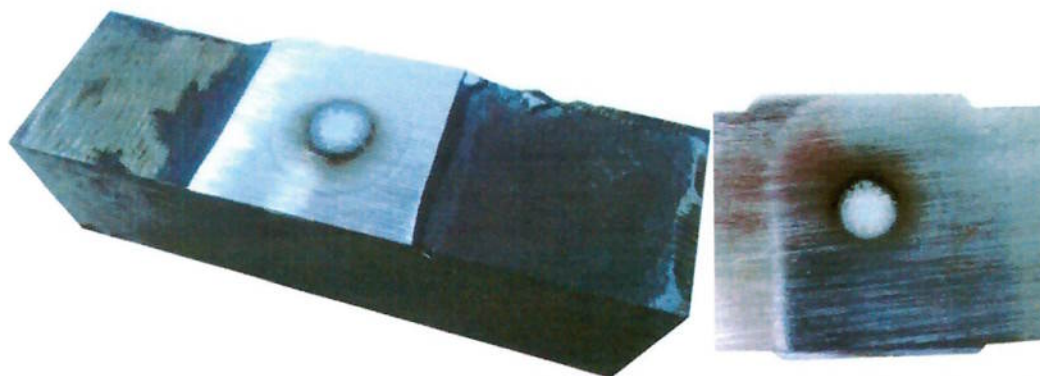


Figura 51 - Análise Química do metal de solda realizada na face do cordão de solda e na intersecção dos cordões.

A superfície do cordão de solda foi usinada e polida para realização da análise química.

4.10 MÉTODO DE AVALIAÇÃO DE TENACIDADE

A tenacidade foi avaliada pelo método de Impacto Charpy com entalhe em V, os corpos de prova foram preparados, Figura 52, e ensaiados conforme Norma ASTM A370:2011, em laboratório externo certificado.

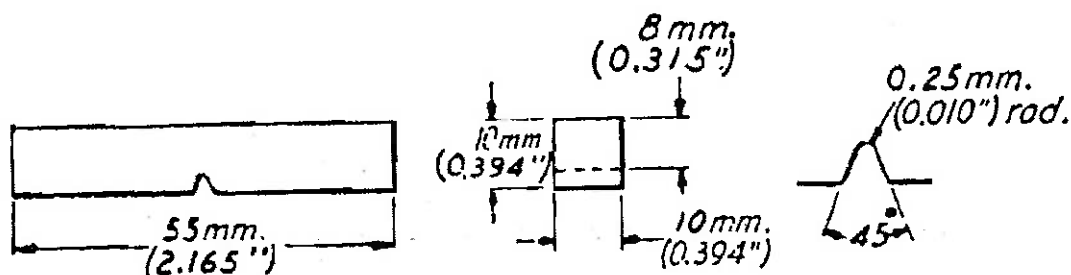


Figura 52 - Dimensões do corpo de prova de impacto Charpy com entalhe em V.

Os corpos de prova foram ensaiados em três diferentes temperaturas, 0°C, -20°C e -40°C.

Os corpos de prova foram extraídos de duas diferentes regiões da junta soldada: à 2mm da face do segundo cordão, com entalhe alinhado ao centro do cordão de solda, conforme as normas navais [32 e 33], e na região de intersecção dos cordões de solda para que seja avaliada a região de refino de grão causada pelo segundo passe. Conforme Figura 53.

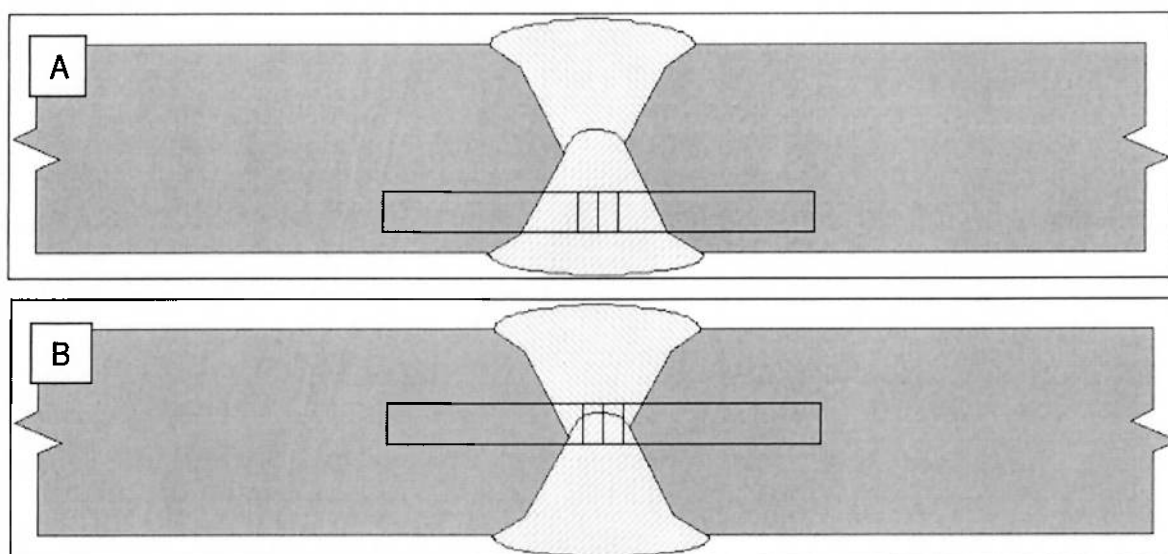


Figura 53 - Posição de retirada dos corpos de prova de Impacto: A) A 2 mm da face do segundo cordão; B) Intersecção dos cordões de solda.

Os corpos de prova de impacto foram retirados da mesma posição relativa dos três corpos de prova soldados conforme Figura 54.

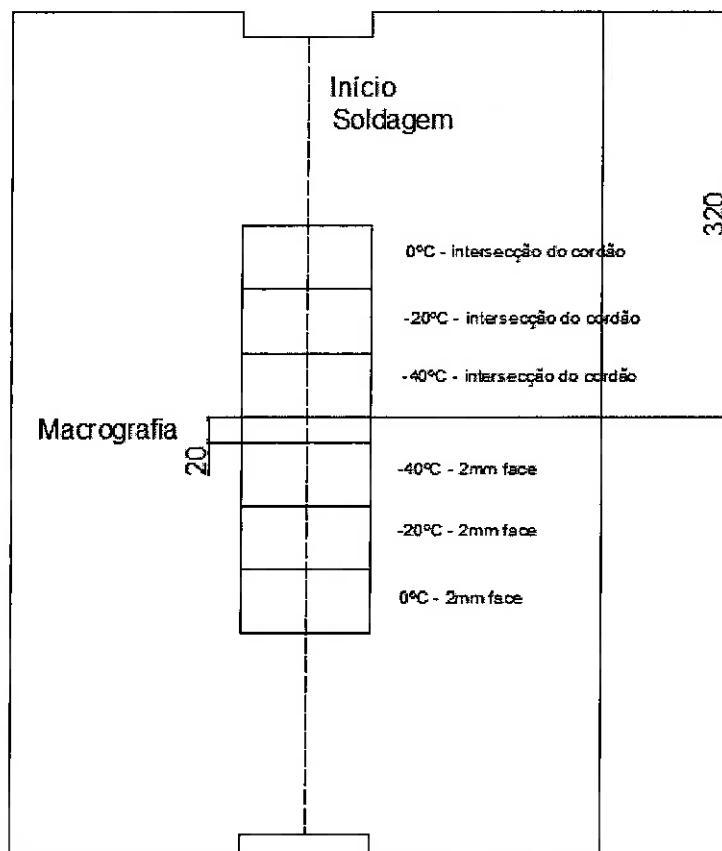


Figura 54 - Posição dos corpos de prova.

4.11 METALOGRAFIA

Foi realizado a Macrografia e Micrografia das seções transversais dos cordões de solda realizados em cada corpo de prova.

Os corpos de prova foram preparados de acordo com o seguinte procedimento:

Corte em serra fita para evitar aporte de calor à peça que poderia causar a modificação microestrutural da área de interesse; seguido do lixamento em lixa 100, um segundo lixamento em lixa 220, polimento com solução de 9 micros, polimento com solução de 3 micros e polimento com solução de 1 micro.

Foi realizada avaliação da junta soldada sem ataque químico para avaliar e quantificar as inclusões no metal de solda.

Para a avaliação micrográfica foi realizado um ataque com uma solução de Nital 2% por imersão.

Para avaliação foi utilizado um microscópio Olympus BX60M e para captação das imagens uma câmera digital Micrometrics.

A classificação dos constituintes foi realizada segundo a classificação sugerida pelo Instituto Internacional de Soldagem (IIW), apresentada no fascículo Soldagem ao Arco Submerso em aços Ferríticos, da coleção Microestruturas e Propriedades do Metal de Solda [37], e a classificação e método de identificação de microconstituintes sugerido por Giancarlo Chaves na Dissertação de Mestrado "Simulação física e caracterização de zonas afetadas pelo calor de aços API 5L grau X80" [35].

A classificação dos microconstituintes segue a nomenclatura adotada na Tabela 11, e o procedimento de identificação dos microconstituintes segue o fluxograma apresentado na Figura 55.

Foram avaliadas e registradas micrografias nos aumentos de 50X, 100X, 200X, 500X e 1000X, utilizando as técnicas de campo claro e campo escuro.

Com a técnica do campo claro foram identificados e classificados os microconstituintes. A técnica do campo escuro foi utilizada para determinar a fração volumétrica de fases do material e contagem de inclusões.

Para a avaliação macrográfica foi realizado um novo lixamento em lixa 220 e um subsequente ataque com uma solução de Nital 6%.

Para avaliação e captação das imagens foi utilizado uma lupa ZEISS com câmera digital.

Tabela 11– Classificação de microestrutura de metal de solda de aços ferríticos. [35]

Categoria principal do constituinte	Subcategoria do constituinte	Abreviatura
Ferrita primária		F
	Ferrita de contorno de grão	GF
	Ferrita intragranular poligonal	PF
Ferrita com segunda fase		SF
	Ferrita com segunda fase não alinhada	SF(NA)
	Ferrita com segunda fase alinhada	AC
	Placas laterais de ferrita (side plates)	SF(SP)
	Bainita	SF(B)
	Bainita superior	SF(UB)
	Bainita Inferior	SF(LB)
Ferrita acicular		AF
Agregado ferrita carboneto ou Perlita		FC ou P
Martensita		M
	Martensita em ripas	M(L)
	Martensita maclada	M(T)
	Constituinte martensita-austenita	MA

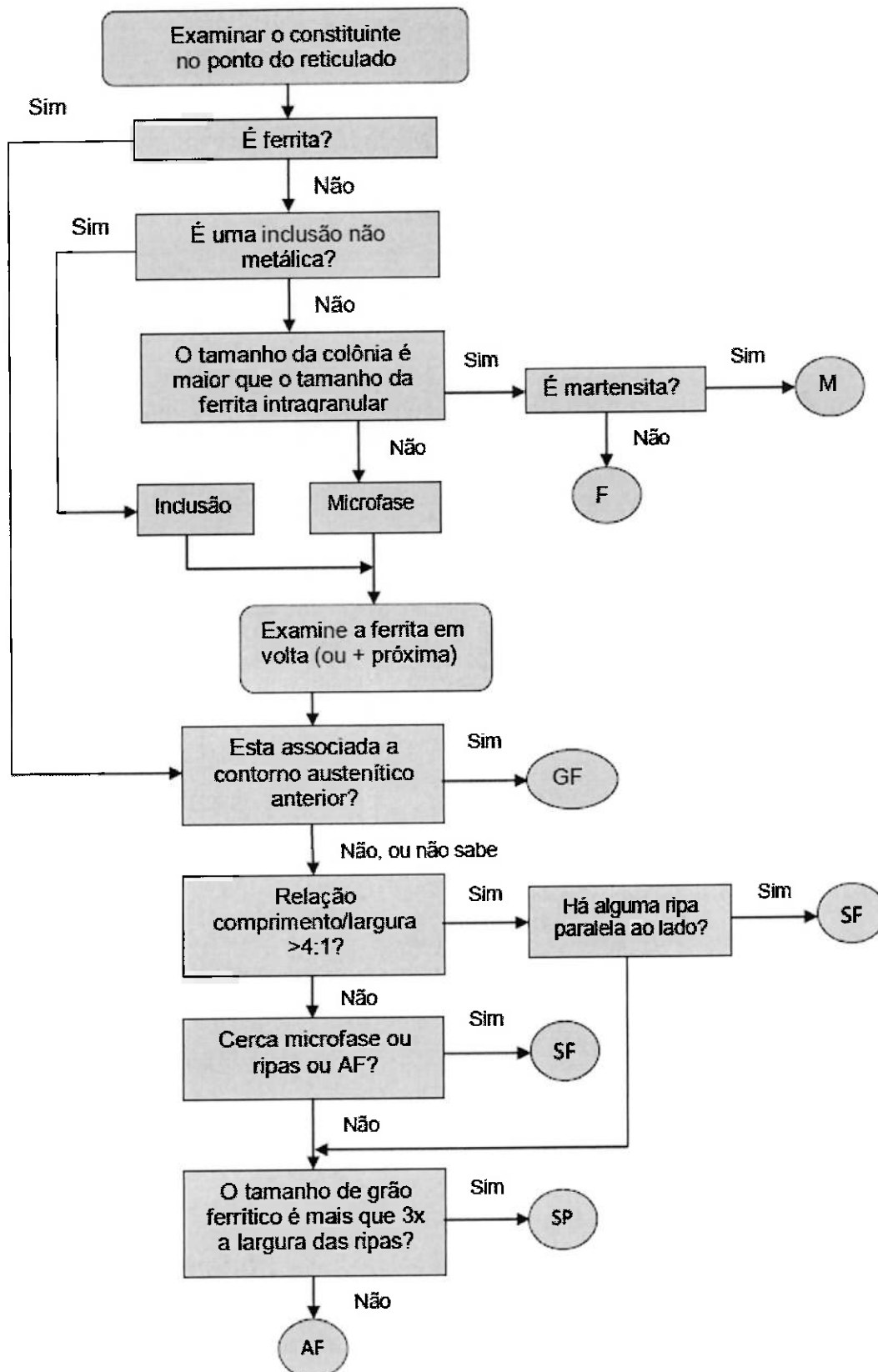


Figura 55 - Fluxograma para a identificação de microconstituintes no metal de solda. [35]

A contagem de fases foi realizada através do software AxioVision, utilizando-se a técnica de detecção de fração de área por contraste e tonalidade.

Para contagem foi utilizada a mesma imagem capturada pelas técnicas de campo claro e campo escuro, apresentando o valor médio das contagens.

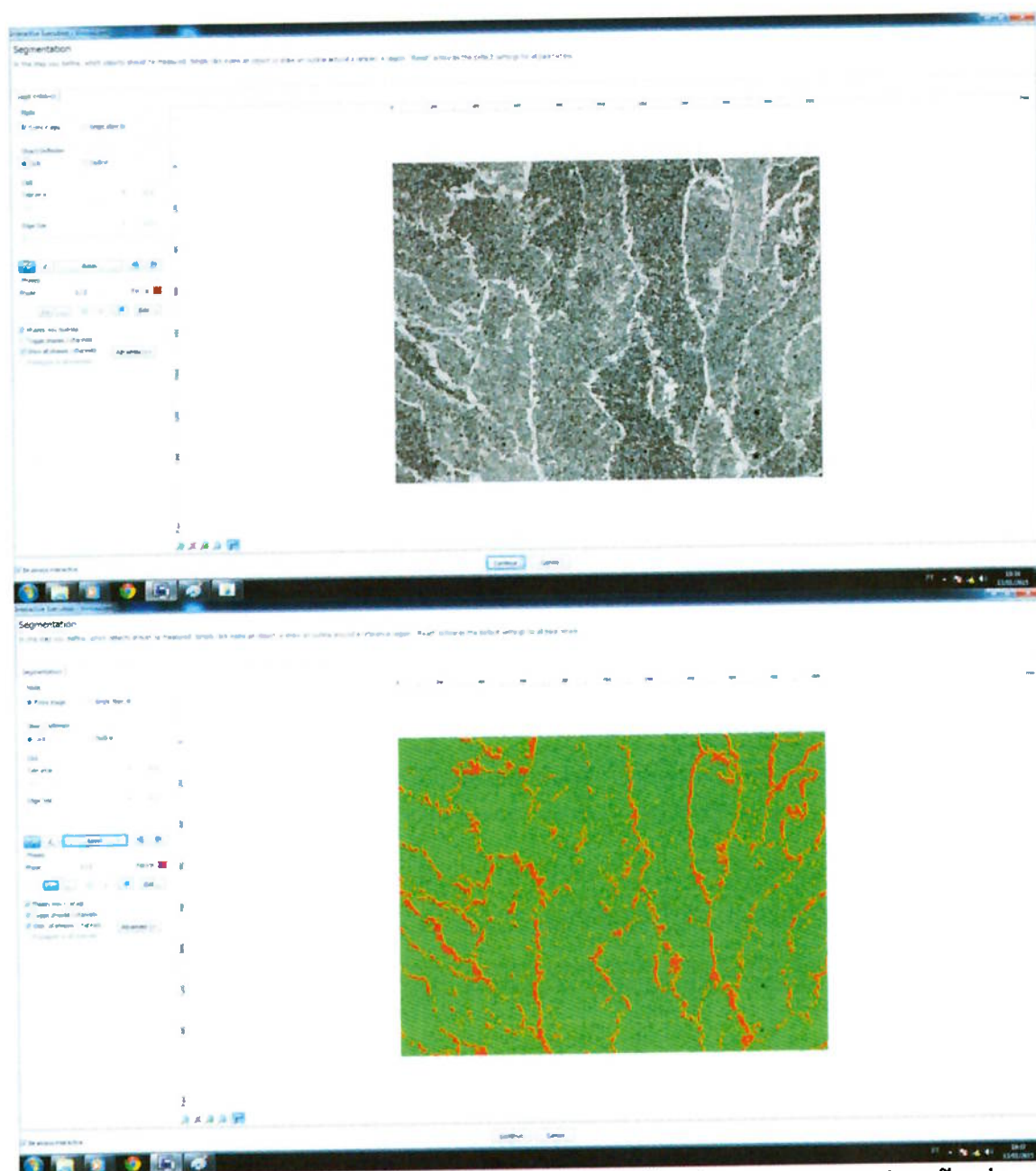


Figura 56 - Interface do Software AxioVision utilizado para determinação da fração de fases.

Para contagem das inclusões foi utilizado o Software Image J, utilizando apenas as micrografias realizadas com a técnica de campo escuro, por apresentarem melhor resolução de contraste para esta análise.



Figura 57 - Exemplo de Micrografia em Campo Escuro para detecção de inclusões (Aumento de 200X).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.

Para apresentação dos resultados os corpos de prova serão identificados de acordo com a nomenclatura CP – “Sigla do fluxo utilizado”, conforme a Tabela 12.

Tabela 12 – Código de identificação dos corpos de prova.

Identificação	Arame Utilizado	Fluxo Utilizado
CP - 105	EM12K	Carbox 105
CP - NAV	EM12K	Lincoln NAV-Y40
CP - DX	EM12K	Carbox DX

5.1 MONITORAMENTO DE SOLDAGEM

Os resultados do monitoramento de soldagem estão apresentados na forma de tabelas indicando: data e horário da soldagem; o equipamento utilizado; o tempo de arco aberto; Corrente de soldagem média; Tensão de arco média; Velocidade de alimentação de arame média; Energia de soldagem verdadeira total e Energia de soldagem verdadeira por comprimento linear do cordão de solda para cada eletrodo; e a Energia de Soldagem verdadeira por comprimento linear do cordão de solda por passe.

As linhas das tabelas estão identificadas por Lado 1 e Lado 2, que representam respectivamente o Primeiro e Segundo passe de solda, e por Arame 1 e Arame 2, que representam respectivamente o Primeiro e o Segundo eletrodo na configuração da tocha Tandem.

Pode-se observar do resultado da Tabela 13, Tabela 14 e Tabela 15 que os parâmetros de soldagem utilizados para cada corpo de prova são bastante semelhantes, o que valida a hipótese de que todos os corpos de prova foram soldados na mesma condição, permitindo que sejam feitas comparações dos resultados obtidos.

A energia de soldagem verdadeira apresentada utiliza o sistema de controle digital incorporado na fonte de soldagem para medir e calcular o montante de energia, através dos valores instantâneos de tensão e corrente de saída registrados a uma taxa de amostragem de 10kHz, ao longo do tempo de duração da soldagem.

Tabela 13 - Monitoramento de soldagem para o CP – 105.

	Início da soldagem	Soldador	Tempo de arco (s)	Corrente (A) de méd.	Tensão (V) de méd.	Méd WFS (m / min)	Verdadeira energia (kJ)	Verdadeira energia (kJ/mm)	Verdadeira energia (kJ/mm)
105 Lado 1 Arame 1	26/09/2014 15:57	SD1	87,3	836,03	31,17	95,38	2450,02	2,6923297	5,1214725
105 Lado 1 Arame 2	26/09/2014 15:57	SD2	93,8	679,3	36	52	2.210,52	2,4291429	
105 Lado 2 Arame 1	26/09/2014 16:44	SD1	83,9	945,2	31,9	115	2.530,89	3,07	5,84
105 Lado 2 Arame 2	26/09/2014 16:43	SD2	84,8	764,4	36,9	58	2.283,75	2,7681818	

Tabela 14 - Monitoramento de soldagem para o CP – NAV.

	Início da soldagem	Soldador	Tempo de arco (s)	Corrente (A) de méd.	Tensão (V) de méd.	Méd WFS (m / min)	Verdadeira energia (kJ)	Verdadeira energia (kJ/mm)	Verdadeira energia (kJ/mm)
NAV Lado 1 Arame 1	26/09/2014 15:05	SD1	99,4	841,8	31	92	2.595,39	2,7091754	5,1592484
NAV Lado 1 Arame 2	26/09/2014 15:05	SD2	99,2	684,2	35,9	54	2.347,17	2,4500731	
NAV Lado 2 Arame 1	26/09/2014 17:05	SD1	95,2	933,8	31,9	100,3	2857,89	3,1302191	5,8906791
NAV Lado 2 Arame 2	26/09/2014 17:05	SD2	92,5	764,5	36,9	62	2.520,30	2,76046	

Tabela 15 - Monitoramento de soldagem para o CP – DX.

	Início da soldagem	Soldador	Tempo de arco (s)	Corrente (A) de méd.	Tensão (V) de méd.	Méd WFS (m / min)	Verdadeira energia (kJ)	Verdadeira energia (kJ/mm)	Verdadeira energia (kJ/mm)
DX Lado1 Arame 1	29/09/2014 17:08	SD1	86,1	837,5739	31,03833	97,44715	2252,66	2,6658698	5,1231479
DX Lado1 Arame 2	29/09/2014 17:08	SD2	87,9	687,7	35,9	50	2.076,40	2,4572781	
DX Lado2 Arame1	29/09/2014 17:41	SD1	86,7	950,7	31,9	101	2621,09	3,1579398	5,9914819
DX Lado2 Arame2	29/09/2014 17:41	SD2	86	764,8	36,9	50	2.351,84	2,8335422	

A partir dos dados da Tabela 13, Tabela 14 e Tabela 15 foram montados os gráficos da Figura 58 e Figura 59 abaixo, comparando as energias de soldagem entre os diferentes corpos de prova.

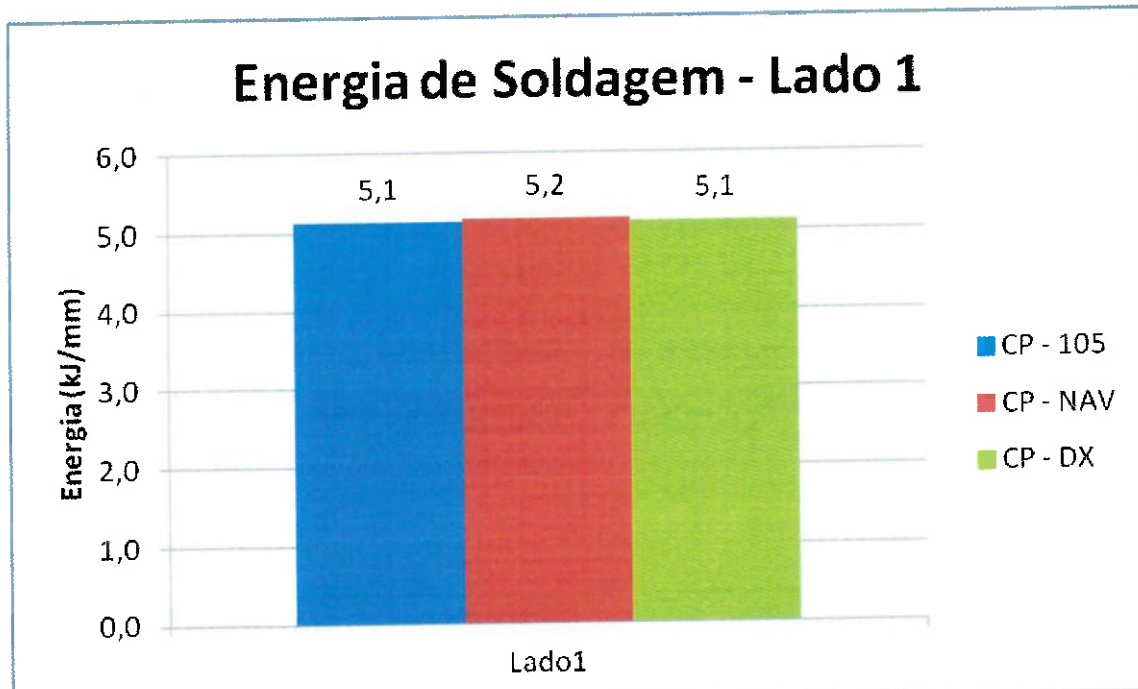


Figura 58 - Energia de soldagem aplicada ao Lado 1 do corpo de prova.

Para o lado 1 observa-se que a energia de soldagem do CP - 105 e CP - DX são iguais e a energia de soldagem do CP - NAV é levemente superior.

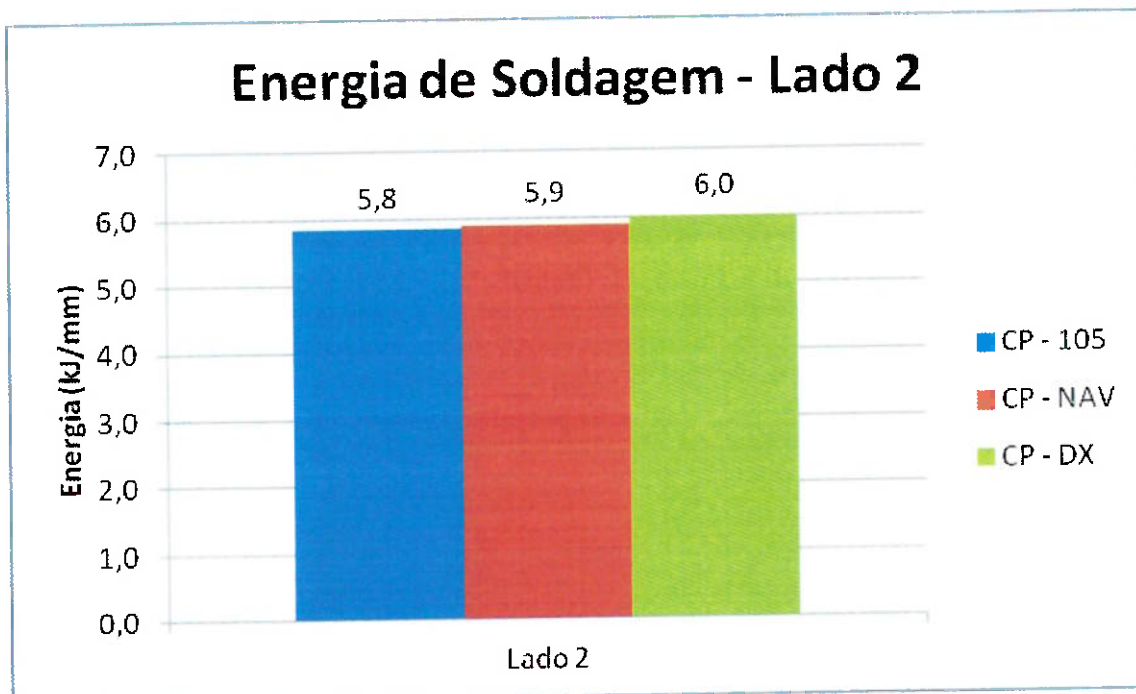


Figura 59 - Energia de soldagem aplicada ao Lado 2 do corpo de prova.

Para a energia de soldagem no lado 2 observa-se que o CP – DX obteve maior energia de soldagem, o CP – NAV vem na sequência enquanto que o CP – 105 obteve menor energia de soldagem.

Entretanto observa-se que a máxima variação de energia de soldagem encontrada entre os corpos de prova foi de 3%, o que não representa diferença significativa.

5.2 DIMENSIONAMENTO DE PERFIL DE CORDÃO

Para o dimensionamento dos cordões de solda os corpos de prova foram segmentados em três regiões, sendo A e C os apêndices, que não fazem parte da nossa área de interesse e a região B que representa a região de interesse para as análises. O esquema das regiões está apresentado na Figura 60.

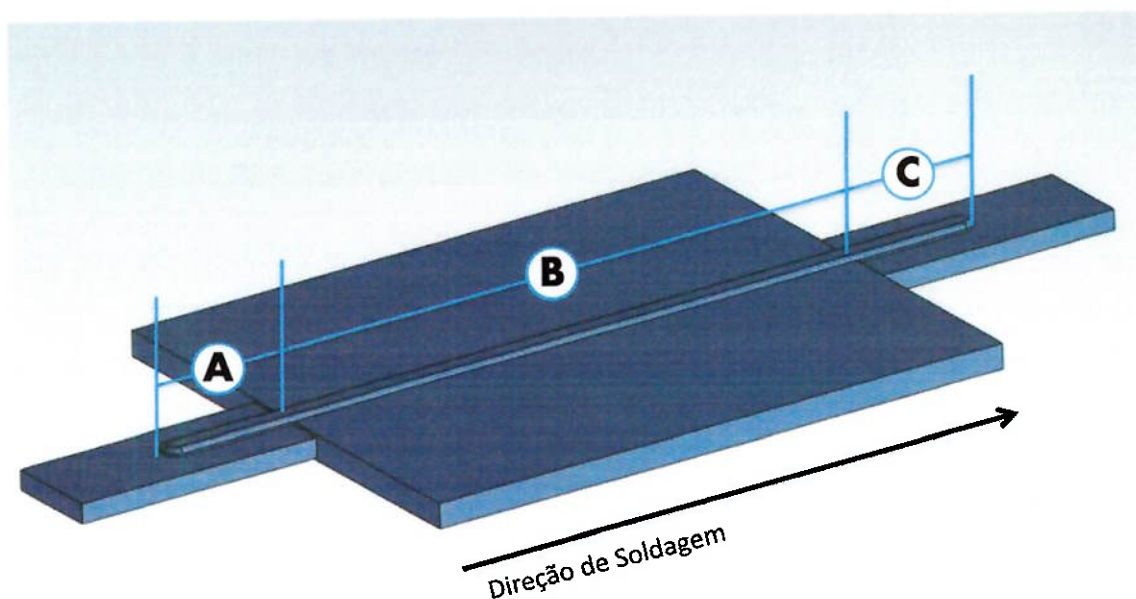


Figura 60 - Regiões de segmentação do corpo de prova soldado.

Na região B do corpo de prova foram realizadas as medidas de altura e largura do cordão de solda em 5 posições diferentes para cada corpo de prova e foi calculado o valor médio, os resultados estão apresentados na Tabela 16.

A Figura 61 demonstra a forma em que foram medidas as dimensões avaliadas. A morfologia do cordão de solda do CP – 105 e CP – NAV são bastante semelhantes, já o cordão de solda do CP – DX apresenta um perfil de cordão mais baixo e largo.

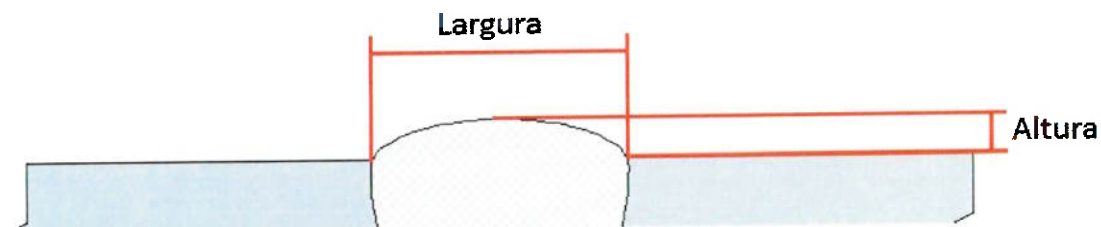


Figura 61 - Dimensões do cordão de solda.

As dimensões medidas estão apresentadas na Tabela 16.

Tabela 16 - Dimensões dos cordões de solda.

CP	Lado	Comprimento (mm)				Largura média (mm)	Altura média do reforço (mm)	Penetração (mm)
		A	B	C	Total			
CP - 105	Lado 1	170	600	140	910	24,6	4,4	-
	Lado 2	105	600	120	825	26,6	5,1	14,45
CP - NAV	Lado 1	90	678	190	958	24,5	4,0	-
	Lado 2	95	678	140	913	26,4	5,4	16,00
CP - DX	Lado 1	135	590	120	845	26,8	3,4	-
	Lado 2	100	590	140	830	28,5	3,7	15,55

5.3 CÁLCULO DE DILUIÇÃO

Para determinação da relação de áreas para o cálculo da diluição foi utilizado a macrografia dos cordões de solda e, através do Software ArcWorks WeldCAD 3.0.1 pôde-se delimitar as áreas do cordão de solda e do chanfro original e, a partir delas, calcular a proporção e estimar a diluição.

A partir das áreas determinadas pelo software calculou-se a diluição pela seguinte fórmula:

$$\text{Diluição} = \frac{(\text{Área do Metal Base})}{(\text{Área do Metal Base} + \text{Área do Metal de adição})}$$

Os resultados estão apresentados na Tabela 17.

Tabela 17 - Resultados de diluição calculados para os corpos de prova.

	1º Passe	2º Passe
CP - 105	50,8% Metal Base 49,2% Metal de Adição	52% Metal Base 5,3% Primeiro passe 42,8% Metal de adição
CP - NAV	52,6% Metal Base 47,4% Metal de Adição	47,8% Metal Base 9,2% Primeiro passe 43% Metal de adição
CP - DX	55,7% Metal Base 44,3% Metal de Adição	49,6% Metal Base 8,9% Primeiro passe 41,5% Metal de adição

A partir da composição química do Metal Base e a composição química do depósito das combinações Fluxo arame estimou-se a composição química dos passes de solda. Os resultados são apresentados na Tabela 18, Tabela 19 e Tabela 20.

Tabela 18 - Composição química da junta soldada do CP – 105, calculada por diluição.

	Metal Base	F-105 com EM12K	1º Passe	2º Passe
Corrida	576099	L-13977171	50,8% MB + 49,2% MA	52% MB + 5,3% 1º Passe + 42,8% MA
C	0,080	0,026	0,053	0,055
Si	0,240	0,416	0,327	0,320
Mn	1,540	1,263	1,404	1,416
P	0,016	0,024	0,020	0,020
S	0,001	0,011	0,006	0,005
Nb	0,017	0,001	0,009	0,010
V	0,004	0,013	0,008	0,008
Al	0,037	0,009	0,023	0,024
Ti	0,016	0,001	0,009	0,009
Cr	0,030	0,021	0,026	0,026
Ni	0,030	0,026	0,028	0,028
Mo	0,010	0,006	0,008	0,008
Cu	0,030	0,129	0,079	0,075
Sn	0,000	0,002	0,001	0,001

Tabela 19 - Composição química da junta soldada do CP – NAV, calculada por diluição.

	Metal Base	NAV com EM12K	1º Passe	2º Passe
Corrida	576099	L-13938620	52,6% MB + 47,4% MA	47,8% MB + 9,2% 1º Passe + 43% MA
C	0,080	0,046	0,064	0,064
Si	0,240	0,518	0,372	0,372
Mn	1,540	1,639	1,587	1,587
P	0,016	0,017	0,017	0,017
S	0,001	0,013	0,007	0,007
Nb	0,017	0,004	0,011	0,011
V	0,004	0,014	0,009	0,009
Al	0,037	0,015	0,026	0,026
Ti	0,016	0,023	0,019	0,019
Cr	0,030	0,040	0,035	0,035
Ni	0,030	0,042	0,036	0,036
Mo	0,010	0,009	0,009	0,009
Cu	0,030	0,075	0,051	0,051
Sn	0,000	0,008	0,004	0,004

Tabela 20 - Composição química da junta soldada do CP – DX, calculada por diluição.

	Metal Base	F-DX com EM12K	1º Passe	2º Passe
Corrida	576099	L-13938436	55,7% MB + 44,3% MA	49,6% MB + 8,9% 1º Passe + 41,5% MA
C	0,080	0,067	0,074	0,074
Si	0,240	0,298	0,266	0,266
Mn	1,540	1,517	1,530	1,529
P	0,016	0,020	0,018	0,018
S	0,001	0,017	0,008	0,008
Nb	0,017	0,000	0,010	0,009
V	0,004	0,013	0,008	0,008
Al	0,037	0,003	0,022	0,022
Ti	0,016	0,002	0,010	0,010
Cr	0,030	0,327	0,162	0,165
Ni	0,030	0,035	0,032	0,032
Mo	0,010	0,008	0,009	0,009
Cu	0,030	0,091	0,057	0,058
Sn	0,000	0,003	0,001	0,001

5.4 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO DEPÓSITO

Os resultados da análise química realizada pela técnica de Espectroscopia de Emissão Óptica das juntas soldadas estão apresentados na Tabela 21.

Tabela 21 - Composição química das juntas soldadas, medidas por espectroscopia de emissão ótica.

	CP-105			CP-NAV			CP-DX		
	1 PASSE	2 PASSE	Refino	1 PASSE	2 PASSE	Refino	1 PASSE	2 PASSE	Refino
C	0,081	0,083	0,078	0,080	0,085	0,082	0,096	0,095	0,094
Si	0,329	0,319	0,321	0,393	0,411	0,413	0,276	0,281	0,286
S	0,002	0,003	0,001	0,002	0,002	0,001	0,002	0,002	0,001
P	0,017	0,018	0,016	0,017	0,016	0,015	0,018	0,018	0,016
Mn	1,459	1,442	1,431	1,471	1,510	1,486	1,521	1,510	1,463
Ni	0,014	0,014	0,015	0,015	0,015	0,016	0,014	0,014	0,015
Cr	0,023	0,022	0,022	0,023	0,024	0,024	0,023	0,024	0,024
Mo	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,005
V	0,011	0,010	0,010	0,011	0,012	0,011	0,010	0,010	0,010
Cu	0,028	0,027	0,028	0,026	0,028	0,028	0,025	0,025	0,026
Ti	0,007	0,007	0,007	0,025	0,023	0,023	0,007	0,007	0,007
Sn	0,002	0,002	0,002	0,004	0,004	0,004	0,002	0,002	0,002
Al	0,020	0,019	0,020	0,020	0,020	0,022	0,013	0,014	0,016
Nb	0,005	0,005	0,004	0,006	0,006	0,006	0,004	0,004	0,004

A partir das composições químicas calculadas e analisadas montaram-se os gráficos da Figura 62 a Figura 68 para comparar a composição química prevista pelo cálculo baseado no cálculo de diluição e a composição química real avaliada via espectroscopia de emissão óptica.

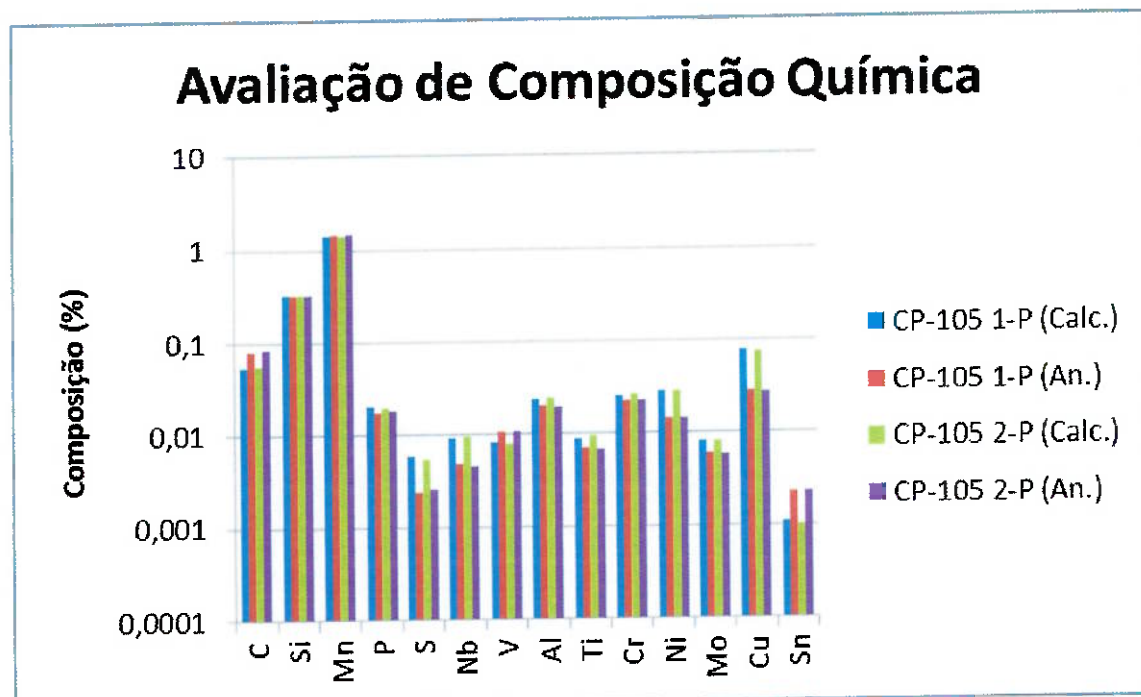


Figura 62 - Avaliação de composição química calculada versus analisada para o CP-105.

Para o CP - 105 os teores de carbono, manganês, vanádio e estanho foram superiores ao esperado, enquanto que os teores de fósforo, enxofre, nióbio, alumínio, titânio, cromo, níquel, molibdênio e cobre foram inferiores ao esperado, o teor de silício foi de acordo com o esperado.

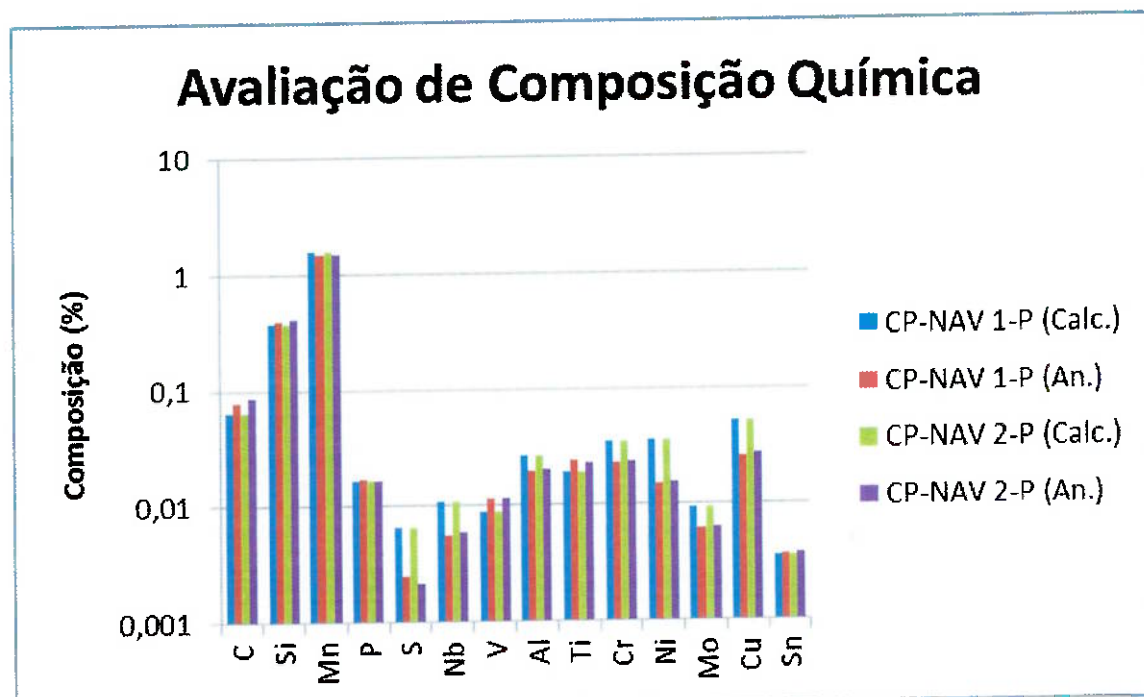


Figura 63 - Avaliação de composição química calculada versus analisada para o CP-NAV.

Para o CP – NAV os teores de carbono, silício, vanádio, titânio e estanho foram superiores ao esperado, enquanto os teores de manganês, enxofre, nióbio, alumínio, cromo, níquel, molibdênio e cobre foram inferiores ao esperado, o teor de fósforo foi de acordo com o esperado.

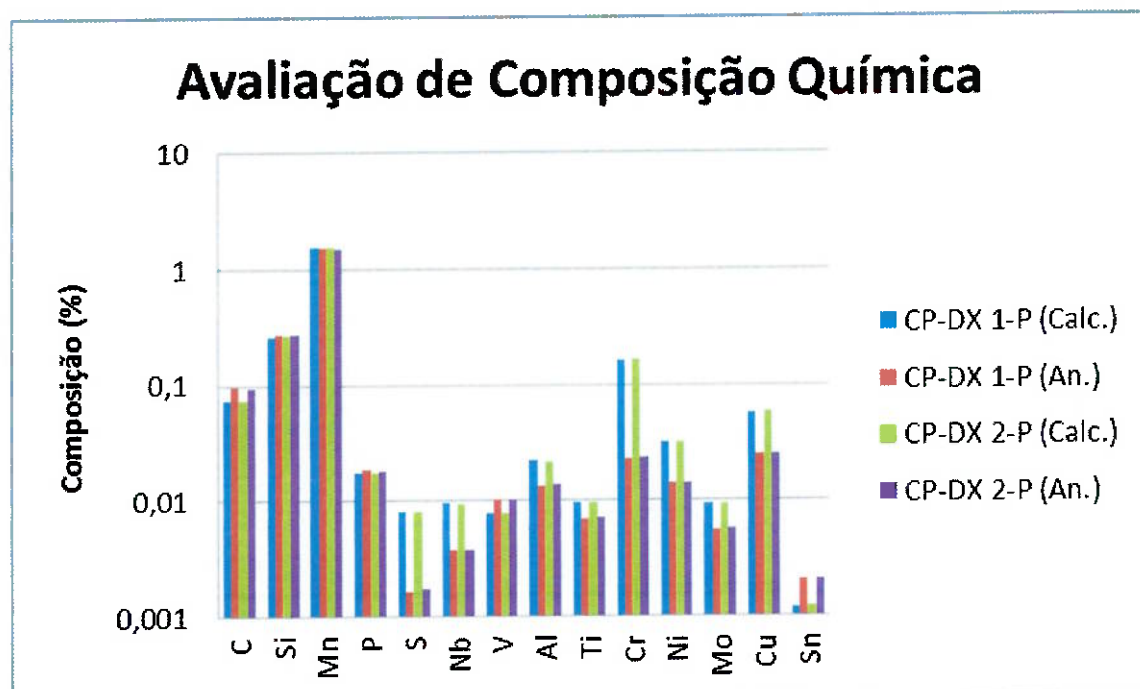


Figura 64 - Avaliação de composição química calculada versus analisada para o CP-DX.

Para o CP – DX, os teores de carbono, silício, fósforo, vanádio, e estanho foram superiores ao esperado, enquanto que os teores de enxofre, nióbio, alumínio, titânio, cromo, níquel, molibdênio e cobre foram inferiores ao esperado, o teor de manganês foi de acordo com o esperado.

A partir dos dados de composição química adquiridos pelo método de espectroscopia de emissão óptica foi realizado um estudo comparativo entre as composições químicas dos cordões de solda dos CPs soldados para avaliar a diferença entre os três fluxos utilizados.

Para discussão da análise química foi selecionada a face do segundo cordão e a intersecção dos cordões, que coincidem com as regiões de extração dos corpos de prova do ensaio de impacto.

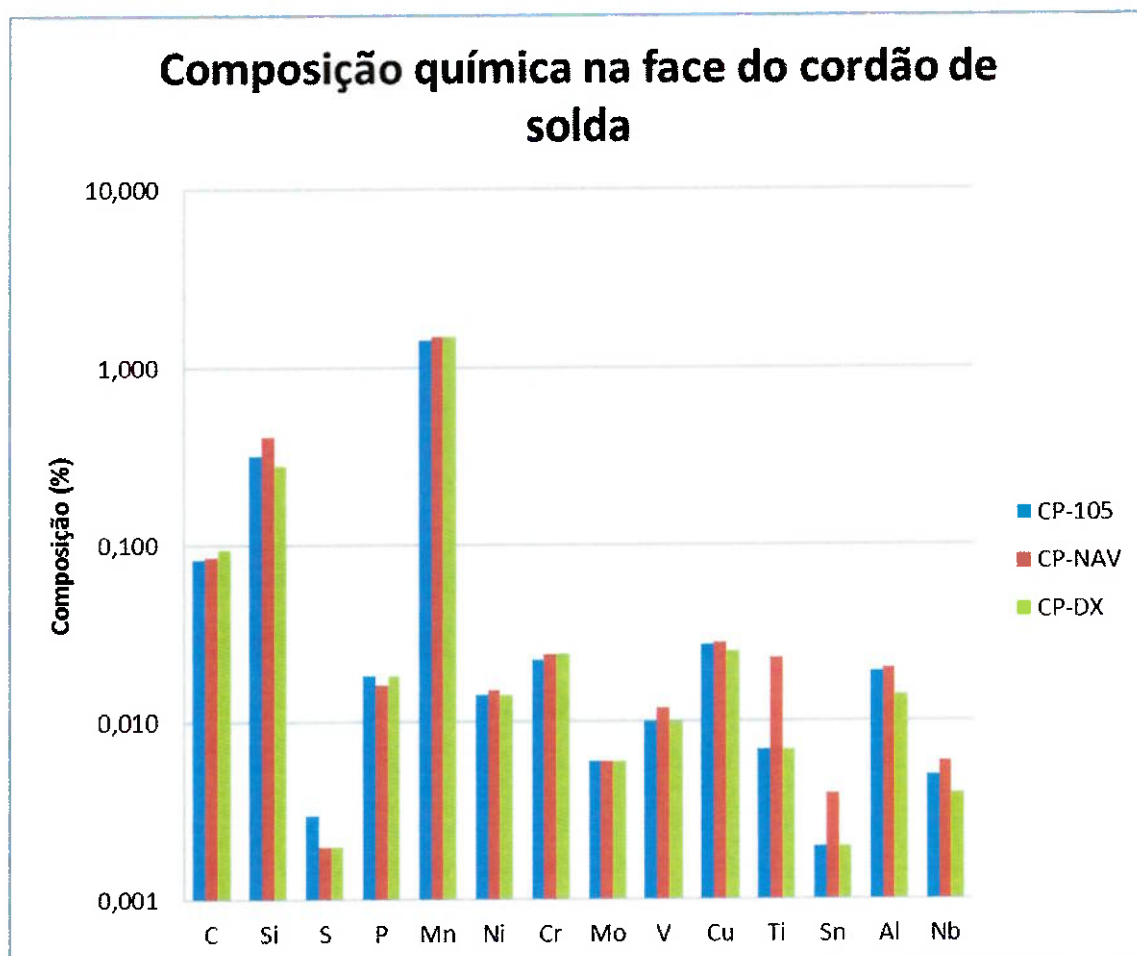


Figura 65 - Composição química comparativa entre os três CPs analisada na face do cordão de solda.

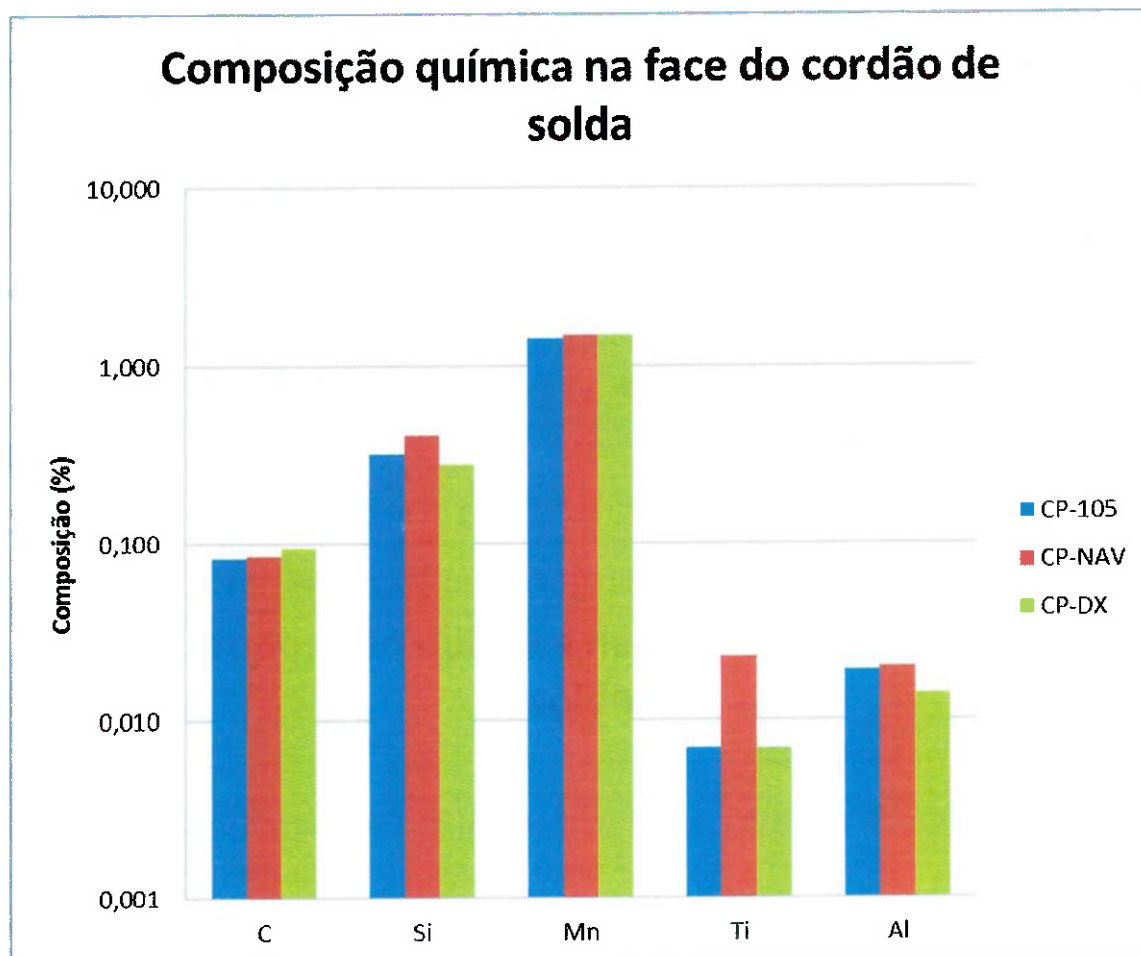


Figura 66 - Composição química comparativa entre os três CPs analisada na face do cordão de solda para os elementos químicos de interesse.

O gráfico da Figura 65 apresenta o resultado de todos os elementos avaliados. No gráfico da Figura 66 estão apresentados os elementos de interesse para esta discussão.

Pode-se observar que o teor de carbono é semelhante para o CP-105 e para o CP-NAV e mais elevado para o CP-DX.

O teor de silício é superior no CP-NAV, intermediário no CP-105 e mais baixo no CP-DX.

O teor de manganês é semelhante para os três CPs.

O teor de titânio é mais elevado no CP-NAV e possui o mesmo teor nos CP – 105 e CP-DX.

O teor de alumínio é semelhante no CP-105 e CP-NAV e inferior aos demais no CP-DX.

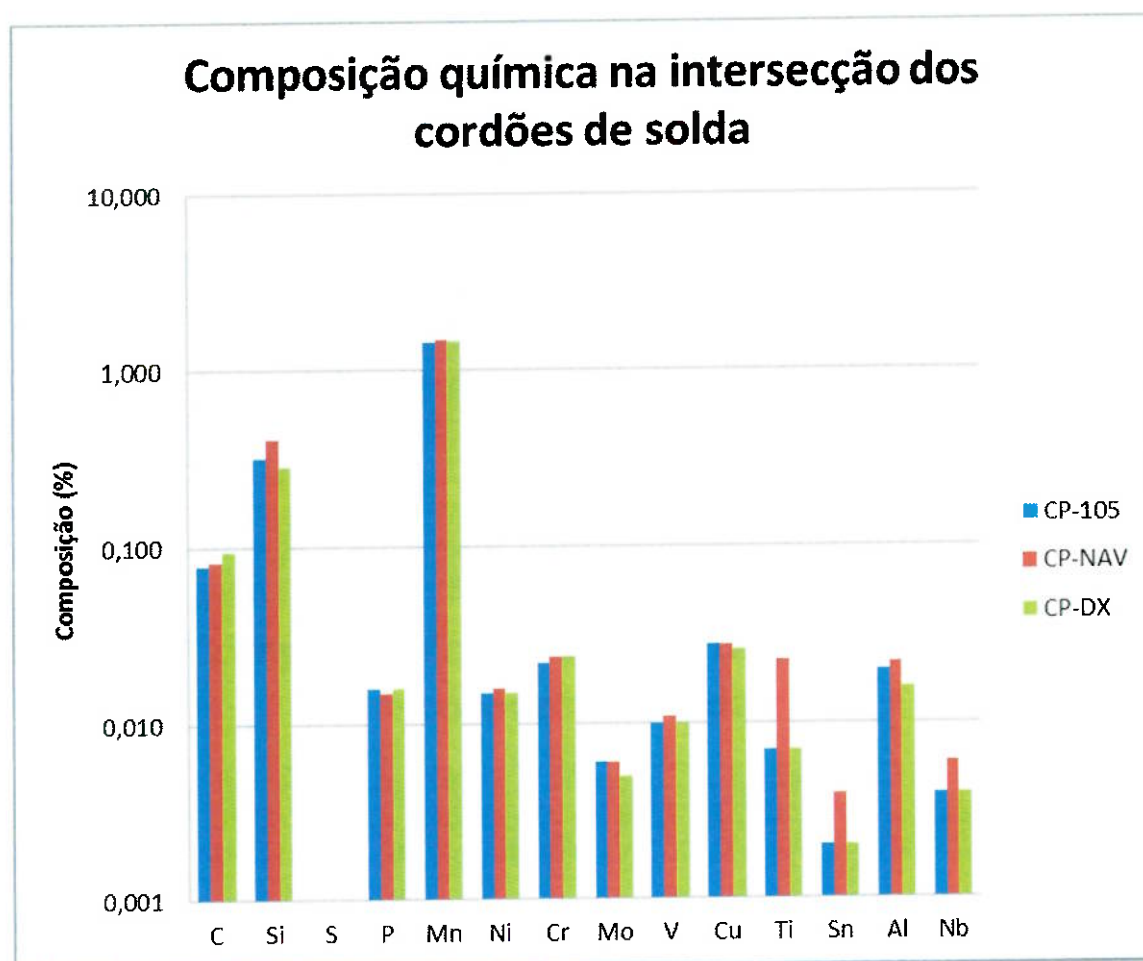


Figura 67 - Composição química comparativa entre os três CPs analisada na intersecção dos cordões de solda.

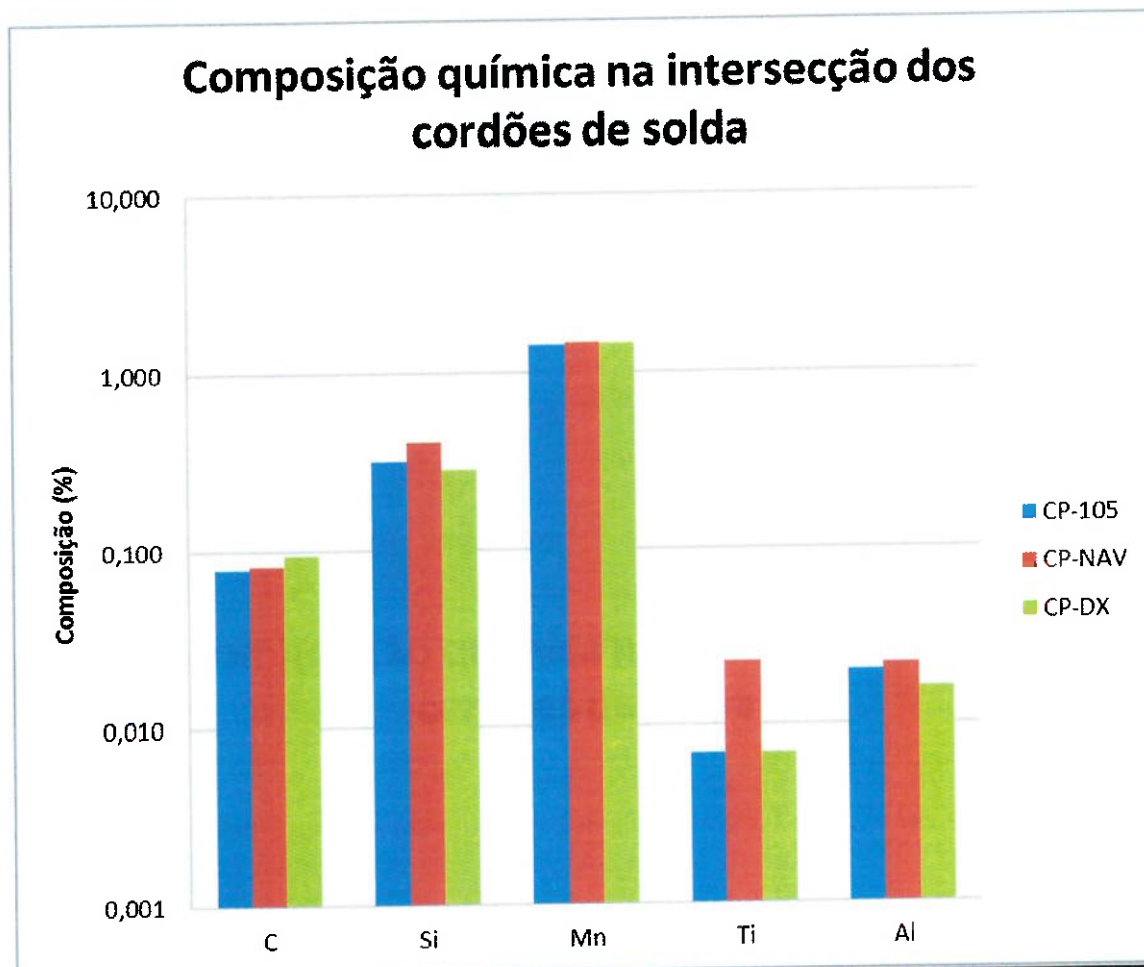


Figura 68 - Composição química comparativa entre os três CPs analisada na intersecção dos cordões de solda para os elementos químicos de interesse.

Os graficos da Figura 67 e da Figura 68 representam a análise química realizada na intersecção dos cordões de solda, na região que concide com a retirada dos corpos de prova de impacto.

Observa-se que as composições químicas seguem a mesma tendência daquela encontrada na superfície do cordão de solda.

5.5 AVALIAÇÃO DE TENACIDADE

A tenacidade dos corpos de prova foi avaliada pelo método de Ensaio de Impacto Charpy. Foram avaliadas duas regiões da junta soldada, à intersecção dos cordões de solda e no centro de solda à 2mm da face do segundo cordão, cada uma às temperaturas de 0°C, -20°C e -40°C.

Os resultados são apresentados na Tabela 22, na Figura 69 e na Figura 70.

Conforme apresentado, CP – NAV apresentou melhor resultado em todas as regiões e temperaturas avaliadas, seguido do CP – 105 e por último o CP – DX.

Tabela 22 - Resultados de Energia absorvida no ensaio de Impacto Charpy para as juntas soldadas.

	Intersecção		
	0°C	-20°C	-40°C
CP-105	182	40	22
	176	36	40
	68	54	30
Média	142	43	31

	2mm face		
	0°C	-20°C	-40°C
CP-105	122	108	21
	154	70	20
	94	88	28
Média	123	89	23

	Intersecção		
	0°C	-20°C	-40°C
CP-NAV	222	86	56
	148	68	66
	204	132	40
Média	191	95	54

	2mm face		
	0°C	-20°C	-40°C
CP-NAV	172	98	40
	134	122	28
	152	52	38
Média	153	91	35

	Intersecção		
	0°C	-20°C	-40°C
CP-DX	83	38	16
	69	37	17
	96	30	20
Média	83	35	18

	2mm face		
	0°C	-20°C	-40°C
CP-DX	46	25	13
	40	23	15
	43	33	11
Média	43	27	13

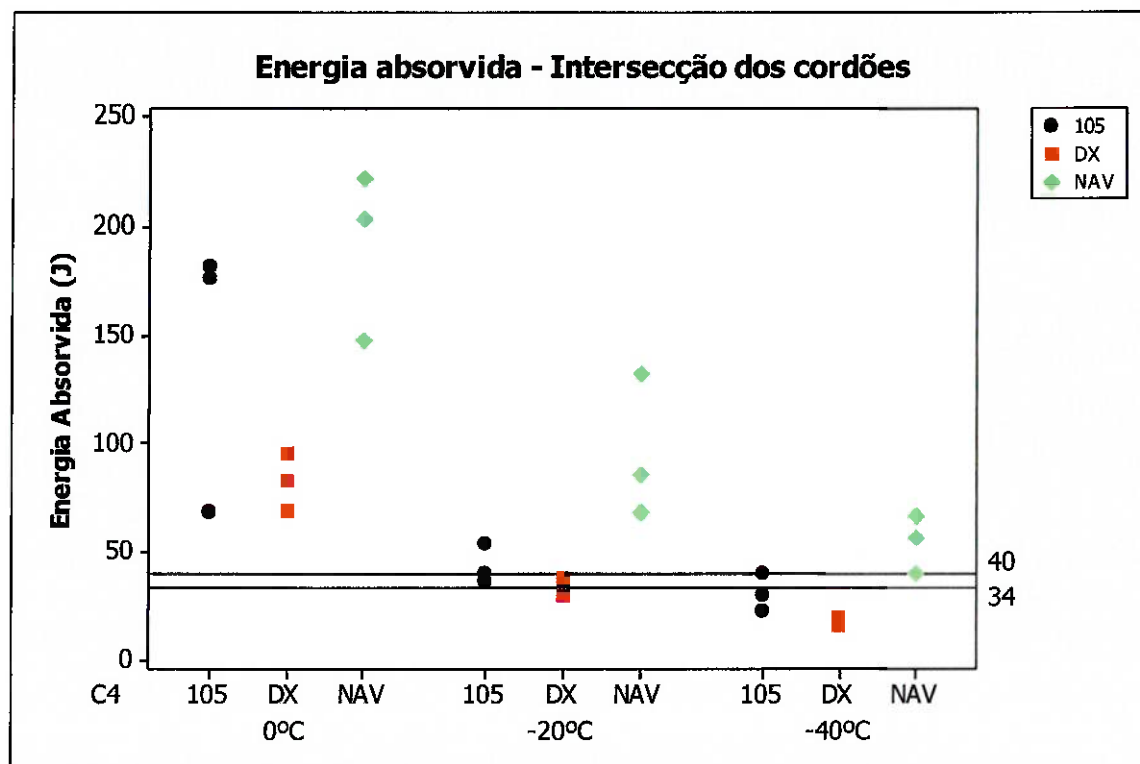


Figura 69 - Energia absorvida no ensaio de Impacto Charpy ensaiado na intersecção dos cordões de solda.

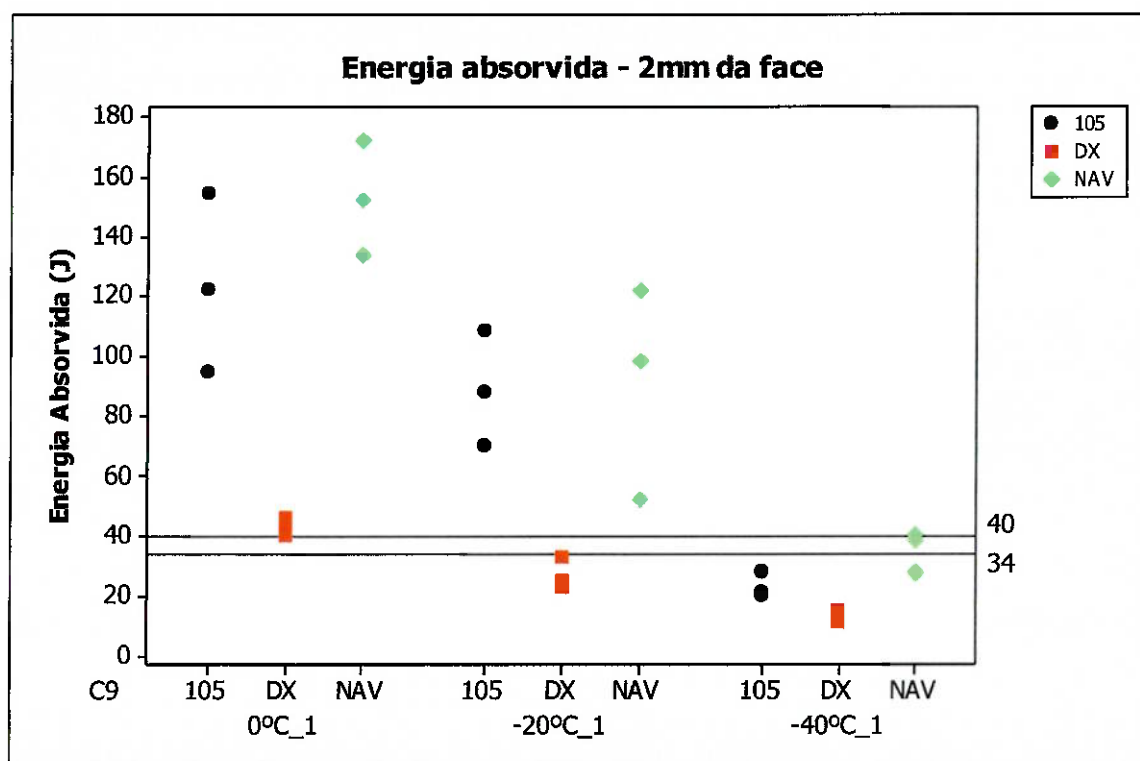


Figura 70 - Energia absorvida no ensaio de Impacto Charpy ensaiado à 2mm da face da placa no lado do segundo cordão de solda.

As linhas de referência nos gráficos de 34J e 40J representam os valores limite de tenacidade média, determinados pelas especificações do metal de base: para a classificação EN 1027-1 – S355M o valor médio deve ser igual ou superior à 40J a -20°C e para a classificação ASTM A131/131M EH36 o valor médio deve ser igual ou superior à 34J a -40°C.

Na condição de soldagem em alta energia, conforme descrito acima, para o caso da classificação EN – 1027-1 – 355M tanto o fluxo 105 quanto o Fluxo NAV atenderam os requisitos de tenacidade, sendo que o Fluxo NAV apresentou um desempenho superior; para o caso da classificação ASTM A131/131M EH36 apenas o Fluxo NAV apresentou um resultado satisfatório; e o Fluxo DX não atendeu nenhum requisito.

5.6 AVALIAÇÃO METALOGRÁFICA

A avaliação metalográfica foi realizada pela técnica de microscopia ótica. A junta soldada foi avaliada em duas regiões distintas, a Região 1 é a região do centro do segundo passe de solda; a Região 2 é a região de intersecção dos cordões de solda, também conhecida por região de refino.

As Regiões 1 e 2 coincidem com as regiões das quais foram realizados os ensaios de tenacidade apresentados anteriormente.

5.6.1 CP – 105

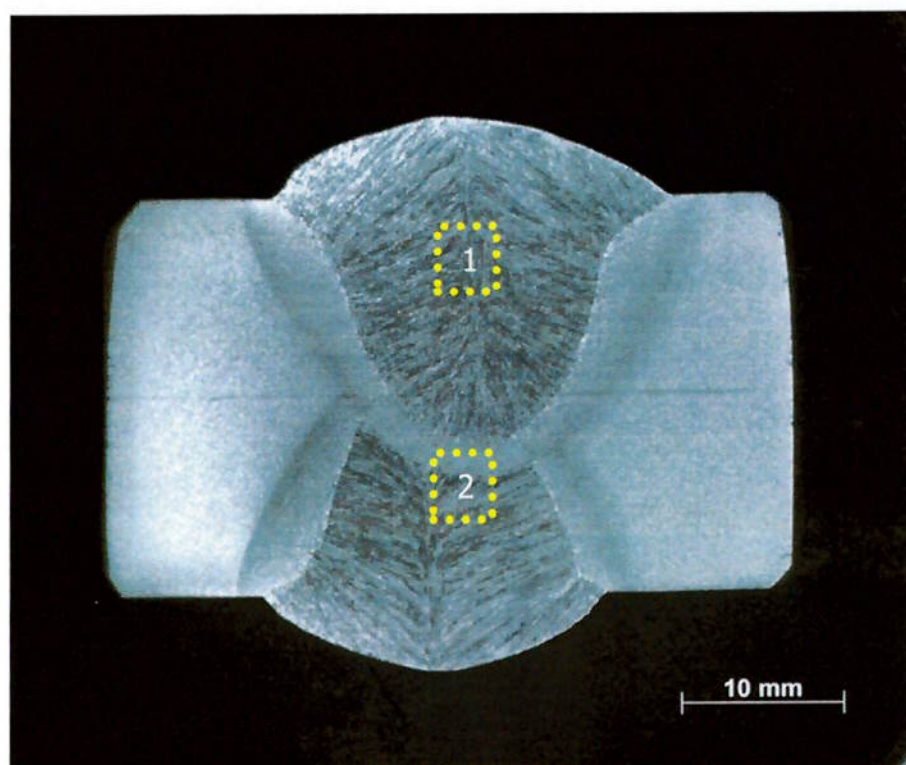


Figura 71 - Macrografia da junta soldada do CP - 105, indicando as regiões de avaliação micrográfica; Região 1 – Centro do segundo passe de solda, Região 2 – Região de Refino. Ataque Nital 6%.

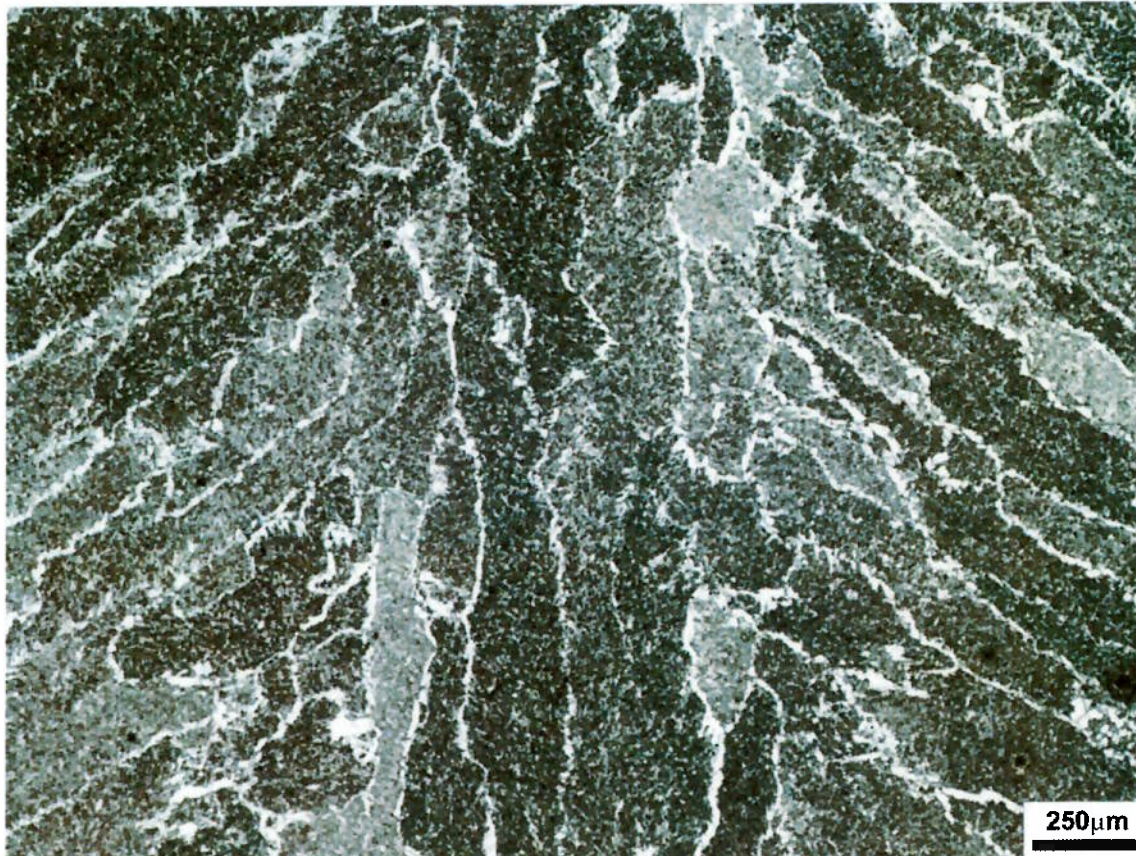


Figura 72 - Micrografia da Região 1 - Centro do segundo passe de solda do CP - 105. Aumento de 50X. Ataque Nital 2%.

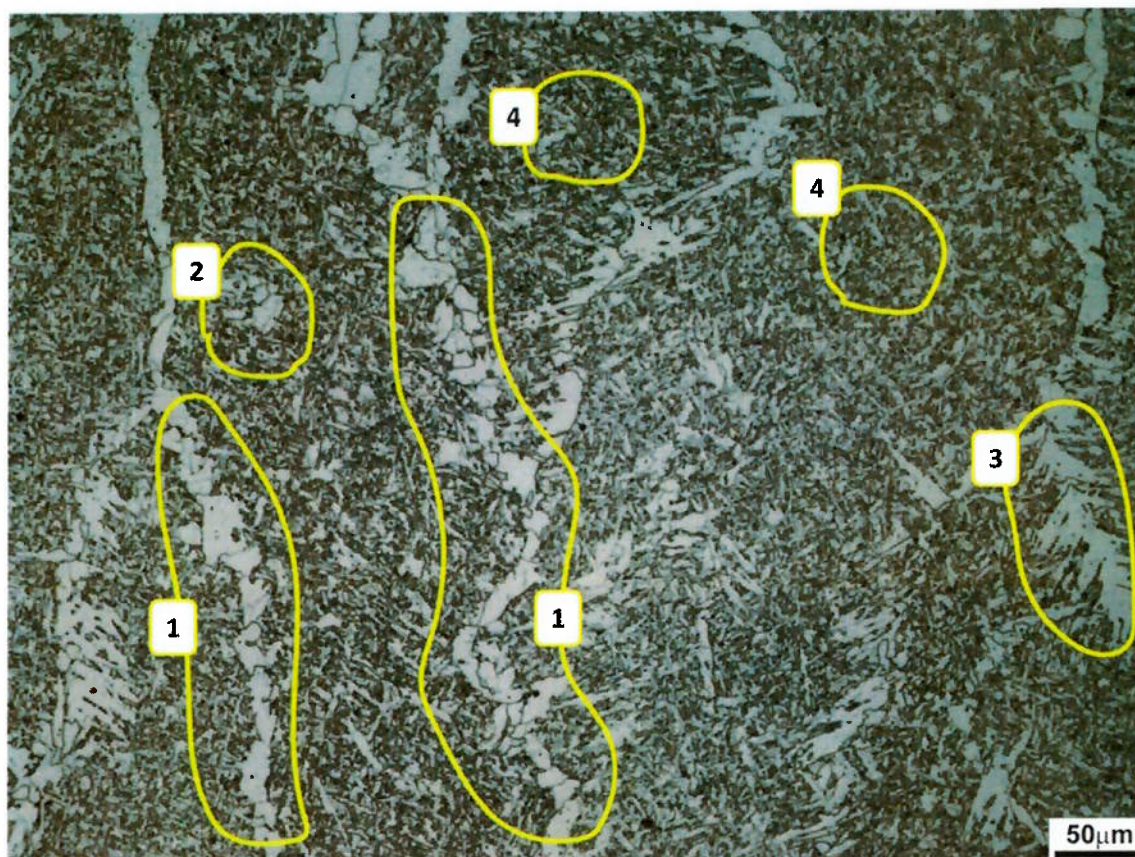


Figura 73 - Micrografia da Região 1 - Centro do segundo passe de solda do CP - 105. Aumento de 200X. Ataque Nital 2%. 1 - Ferrita de contorno de grão (GF); 2 - Ferrita intragranular poligonal (PF); 3 - Ferrita com segunda fase alinhada (AC); e 4 - Ferrita acicular (AF).

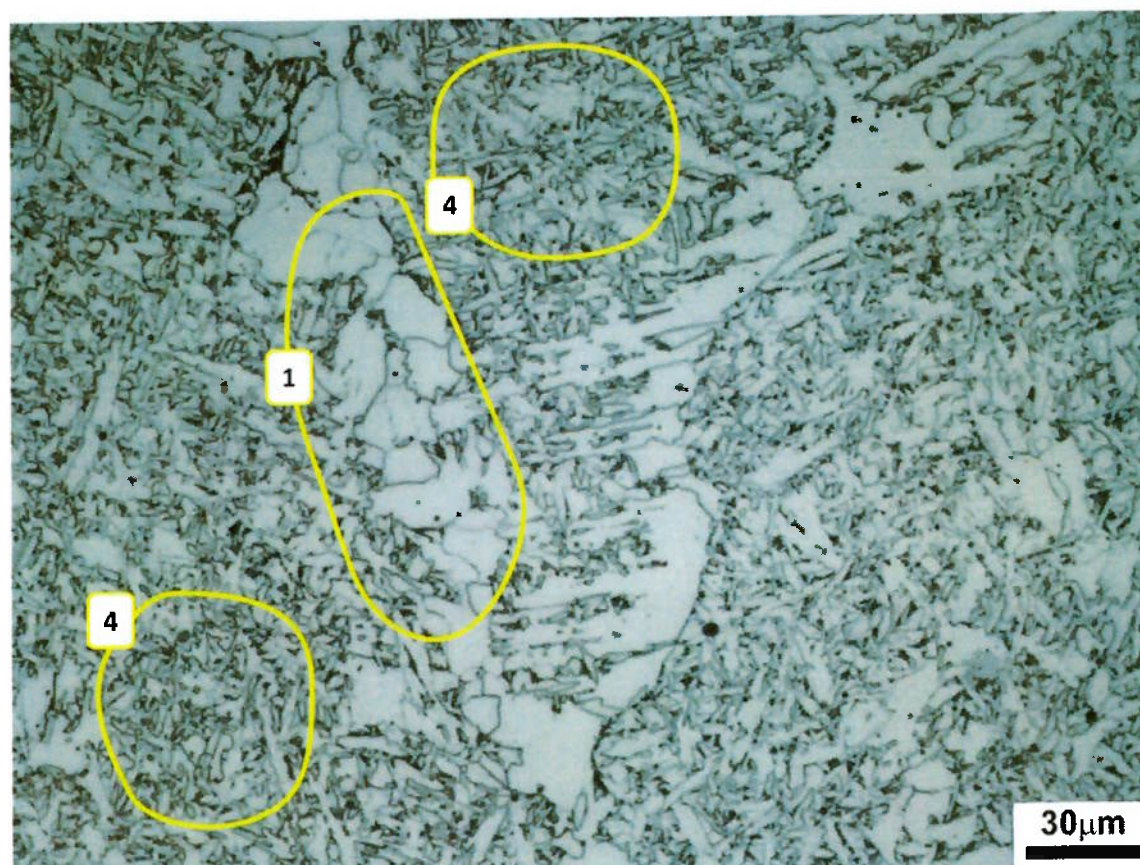


Figura 74 - Micrografia da Região 1 - Centro do segundo passe de solda do CP - 105. Aumento de 500X. Ataque Nital 2%. 1 - Ferrita de contorno de grão (GF); e 4 - Ferrita acicular (AF).

Observa-se na Figura 72, com aumento de 50x, a ocorrência de grãos estreitos e alongados na direção de resfriamento do cordão de solda com a formação de fases distintas no interior e no contorno dos grãos de austenita anterior.

Na Figura 73, com aumento de 200X, e na Figura 74, com aumento de 500X, pôde-se caracterizar os microconstituintes da estrutura. As regiões identificadas com o número 1 indicam o constituinte Ferrita de contorno de grão (GF); a região identificada com o número 2 indica o constituinte Ferrita intragranular poligonal (PF); a região identificada com o número 3 indica o constituinte Ferrita com segunda fase alinhada (AC); e as regiões identificadas com o número 4 indicam o constituinte Ferrita acicular (AF).

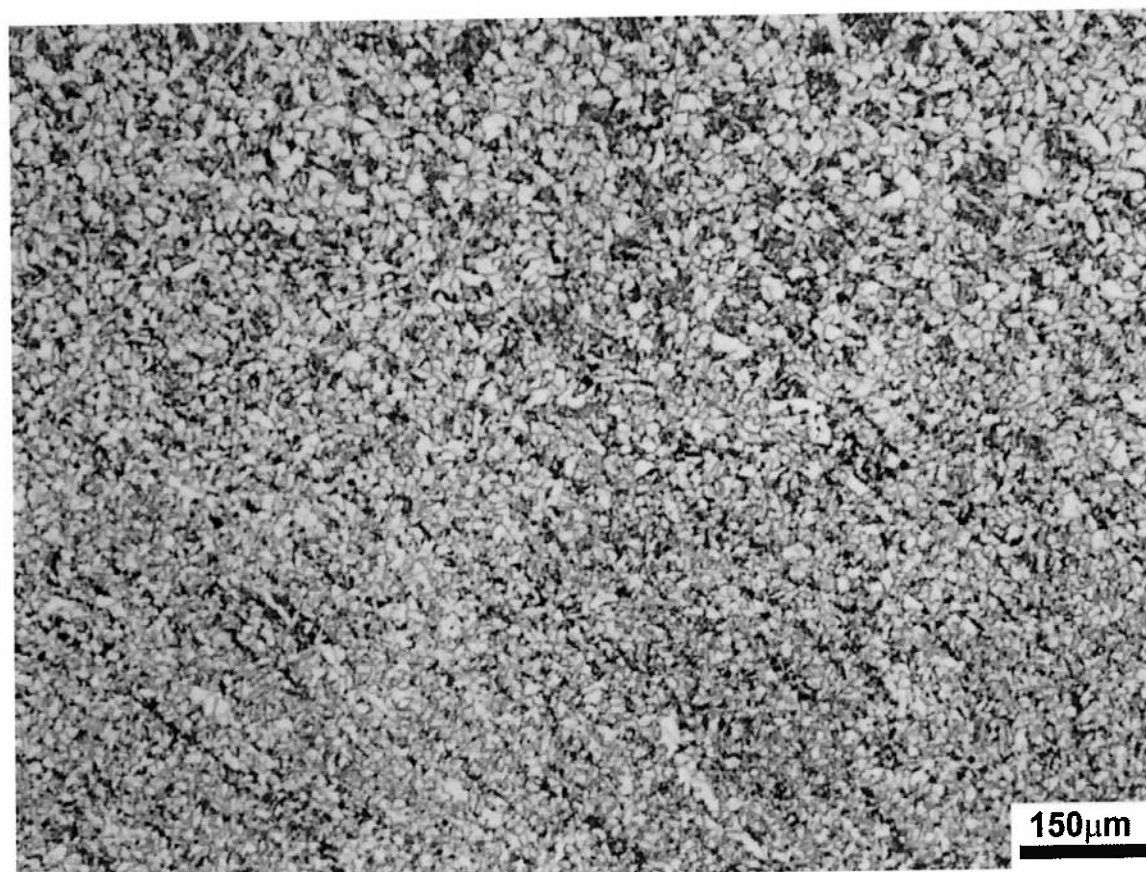


Figura 75 - Micrografia da Região 2 – Região de refino do CP - 105. Aumento de 100X. Ataque Nital 2%.

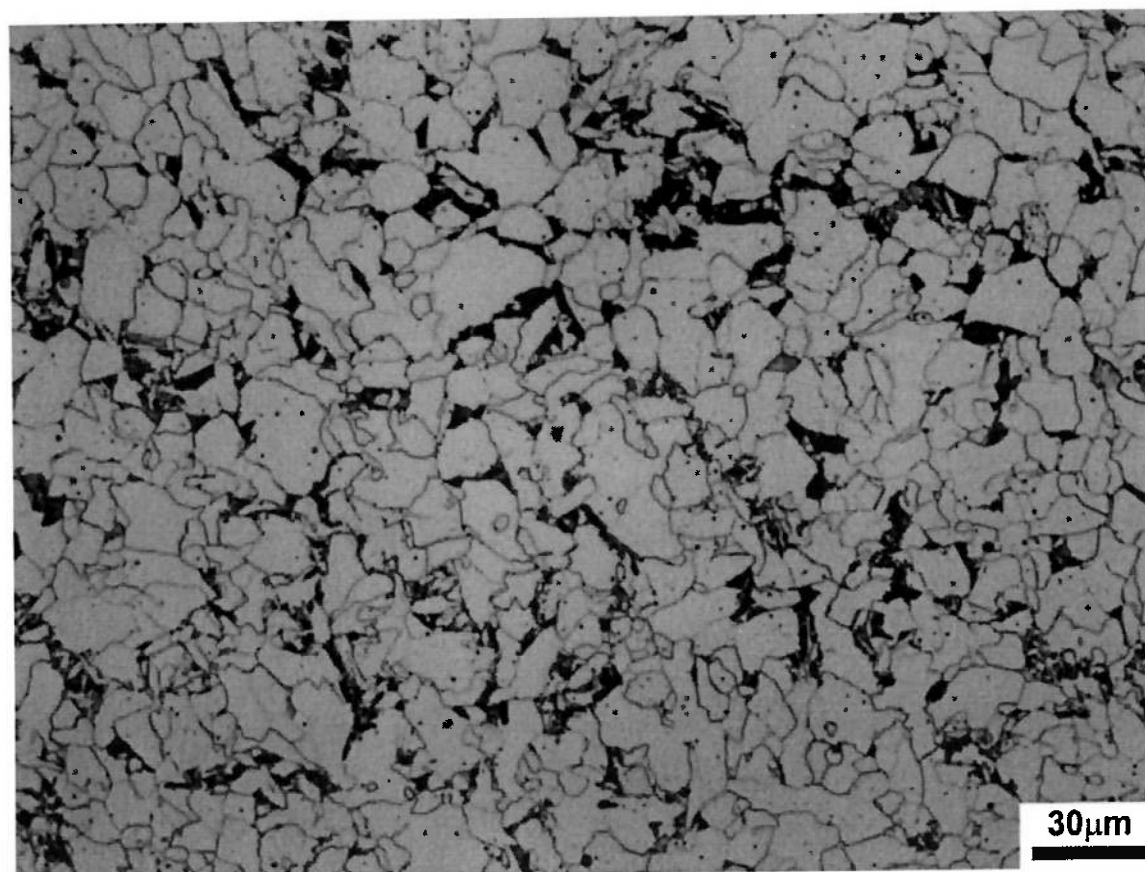


Figura 76 - Micrografia da Região 2 – Região de refino do CP - 105. Aumento de 500X. Ataque Nital 2%.

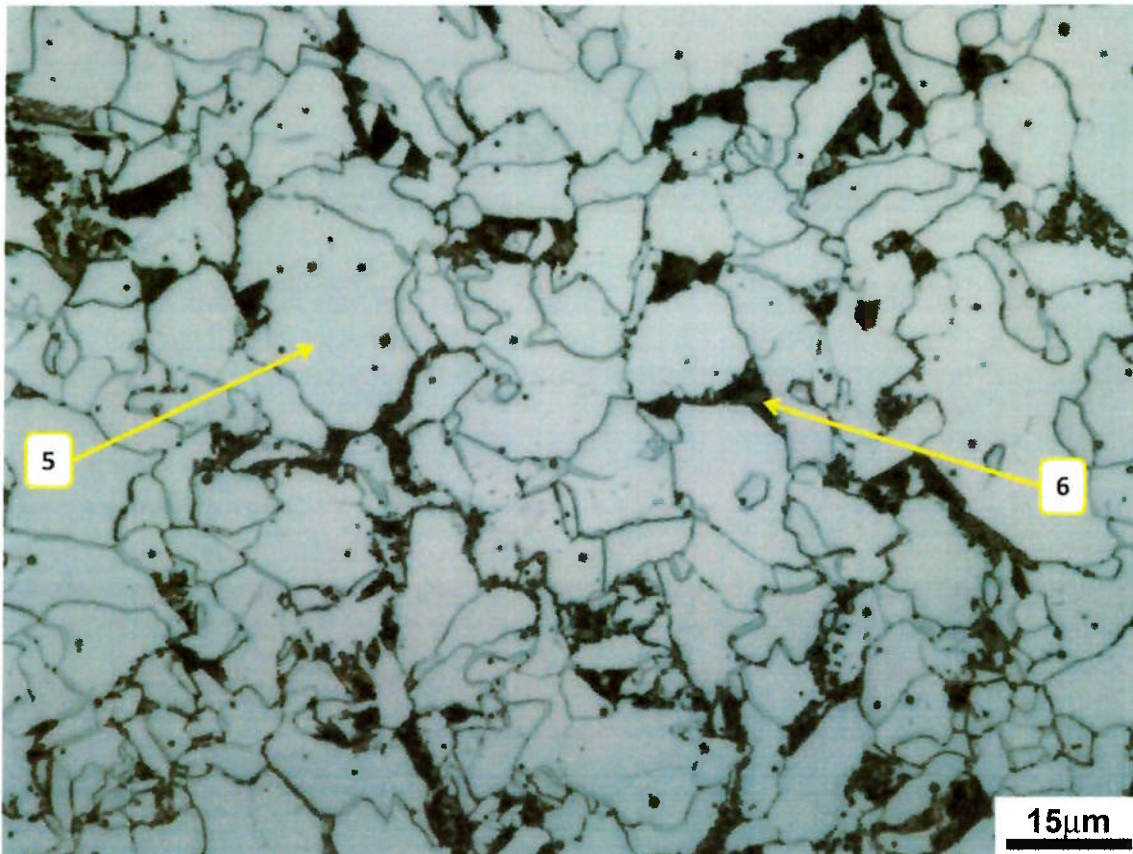


Figura 77 - Micrografia da Região 2 – Região de refino do CP - 105. Aumento de 1000X. Ataque Nital 2%. 5 - Ferrita primária (F); e 6 - Agregado ferrita carboneto ou Perlita (FC ou P).

Observa-se na Figura 75, com aumento de 100x, e Figura 76, com aumento de 200X que a região de refino foi completamente recristalizada.

Na Figura 77, com aumento de 1000X, pôde-se caracterizar os microconstituintes da estrutura. As regiões identificadas com o número 5 indicam o constituinte Ferrita primária (F); e a região identificada com o número 6 indica o constituinte Agregado ferrita carboneto ou Perlita (FC ou P).

5.6.2 CP – NAV

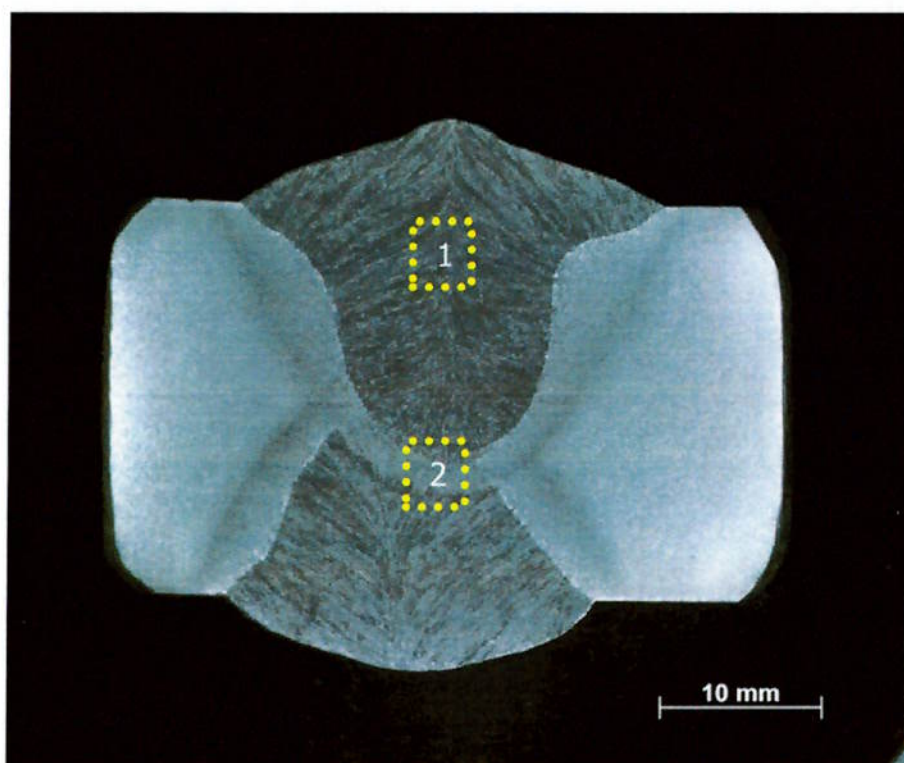


Figura 78 - Macrografia da junta soldada do CP - NAV, indicando as regiões de avaliação micrográfica; Região 1 – Centro do segundo passe de solda, Região 2 – Região de Refino. Ataque Nital 6%.

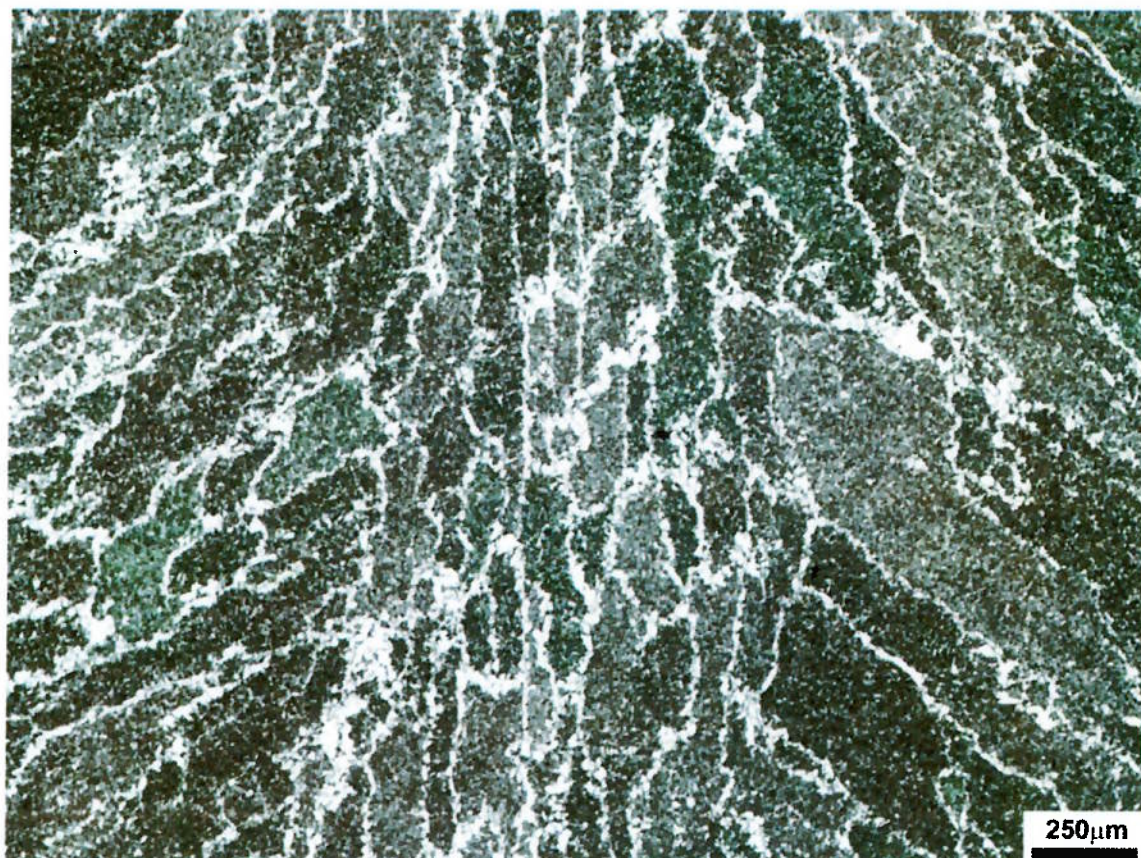


Figura 79 - Micrografia da Região 1 - Centro do segundo passe de solda do CP
- NAV. Aumento de 50X. Ataque Nital 2%.

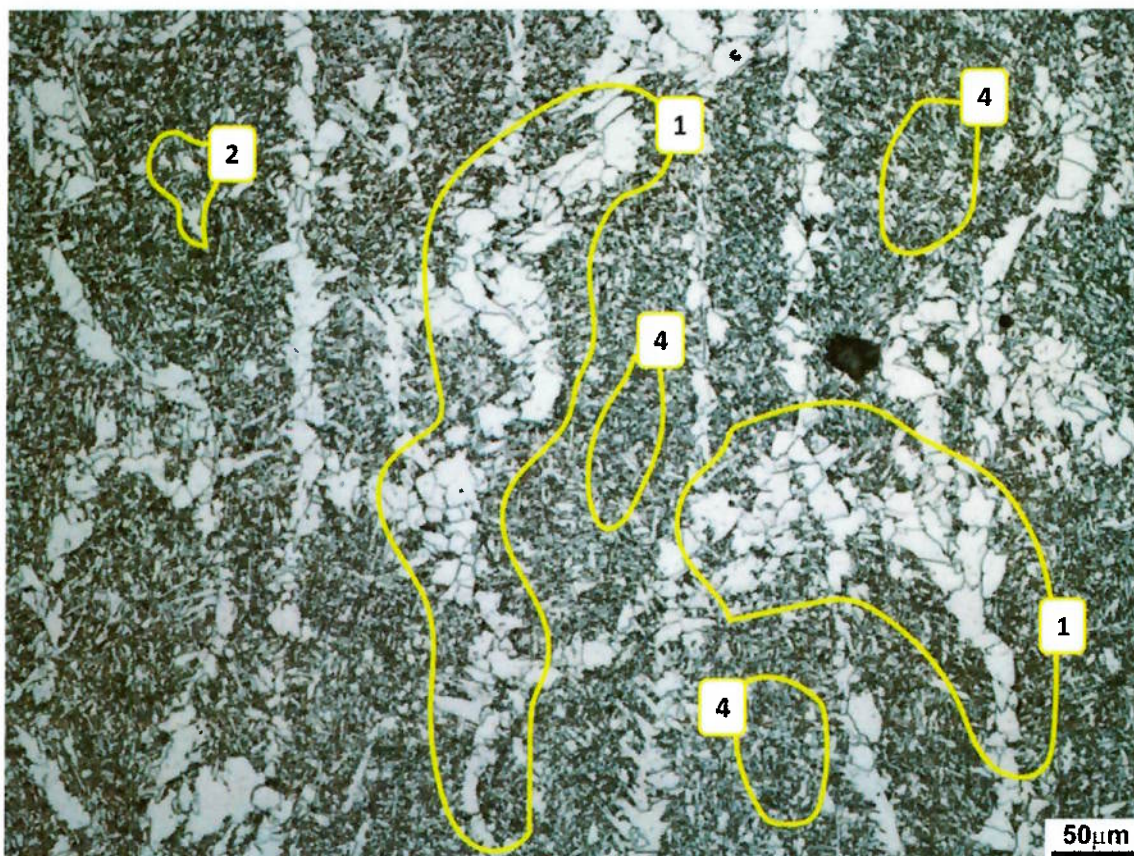


Figura 80 - Micrografia da Região 1 - Centro do segundo passe de solda do CP - NAV. Aumento de 200X. Ataque Nital 2%. 1 - Ferrita de contorno de grão (GF); 2 - Ferrita intragranular poligonal (PF); e 4 - Ferrita acicular (AF).

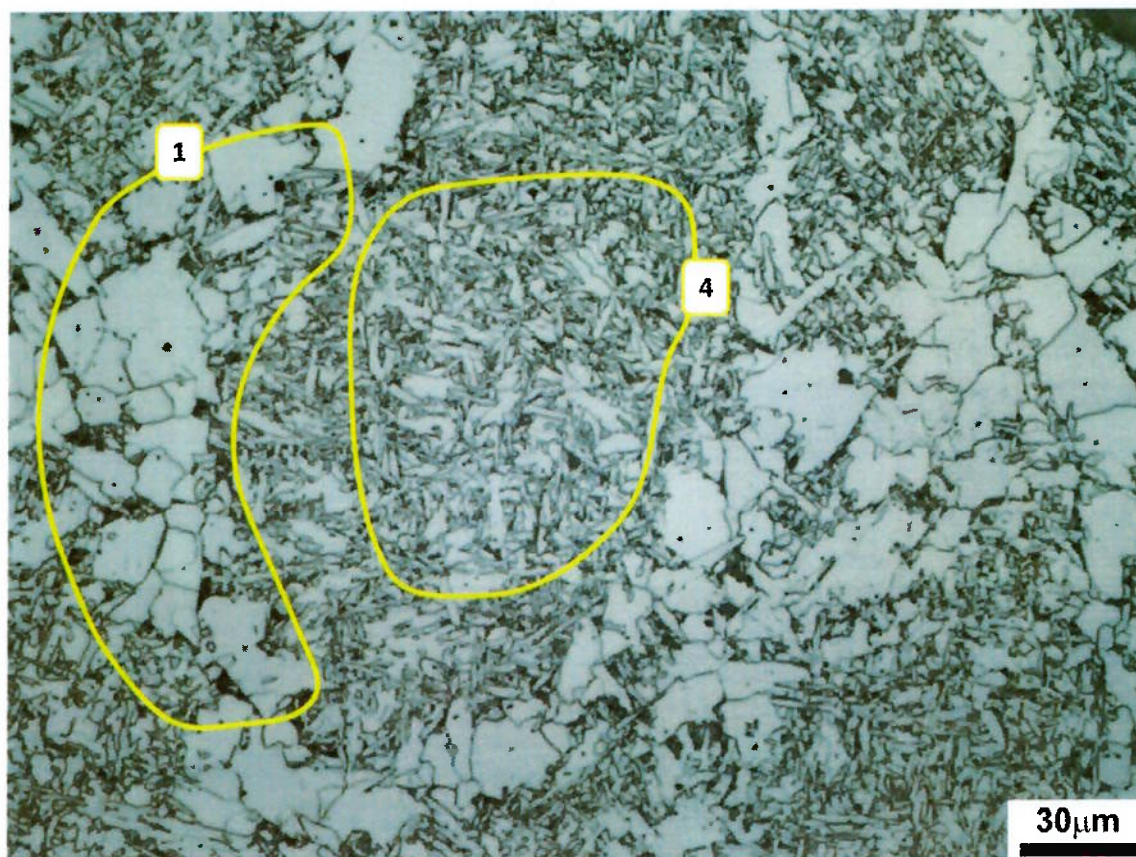


Figura 81 - Micrografia da Região 1 - Centro do segundo passe de solda do CP - NAV. Aumento de 500X. Ataque Nital 2%. 1 - Ferrita de contorno de grão (GF); e 4 - Ferrita acicular (AF).

Observa-se na Figura 79, com aumento de 50x, a ocorrência de, nas laterais da imagem, grãos orientados na direção de resfriamento do cordão de solda levemente alongados, e no centro da imagem, grãos orientados na direção de resfriamento do cordão de solda equiaxiais, com a formação de fases distintas no interior e no contorno dos grãos de austenita anterior.

Na Figura 80, com aumento de 200X, e na Figura 81, com aumento de 500X, pôde-se caracterizar os microconstituintes da estrutura. As regiões identificadas com o número 1 indicam o constituinte Ferrita de contorno de grão (GF); a região identificada com o número 2 indica o constituinte Ferrita intragranular poligonal (PF); e as regiões identificadas com o número 4 indicam o constituinte Ferrita acicular (AF).



Figura 82 - Micrografia da Região 2 – Região de refino do CP - NAV. Aumento de 100X. Ataque Nital 2%.

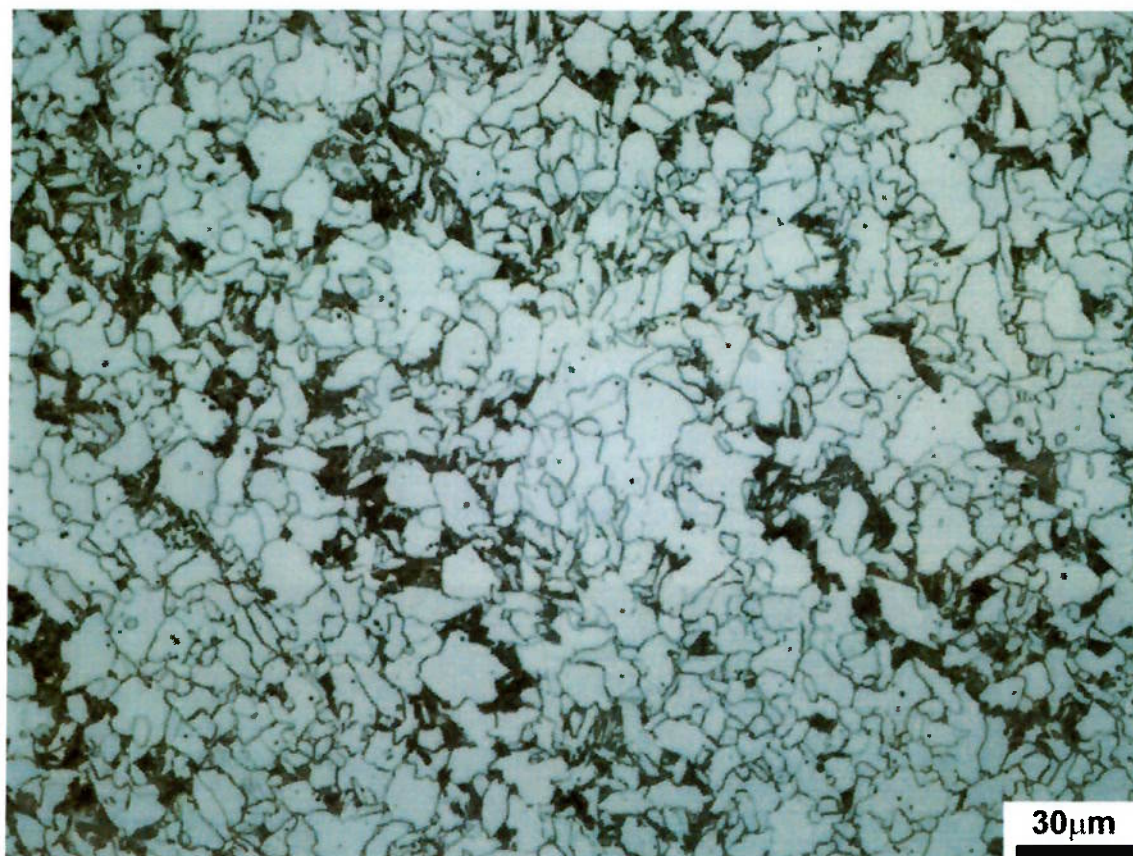


Figura 83 - Micrografia da Região 2 – Região de refino do CP - NAV. Aumento de 500X. Ataque Nital 2%.

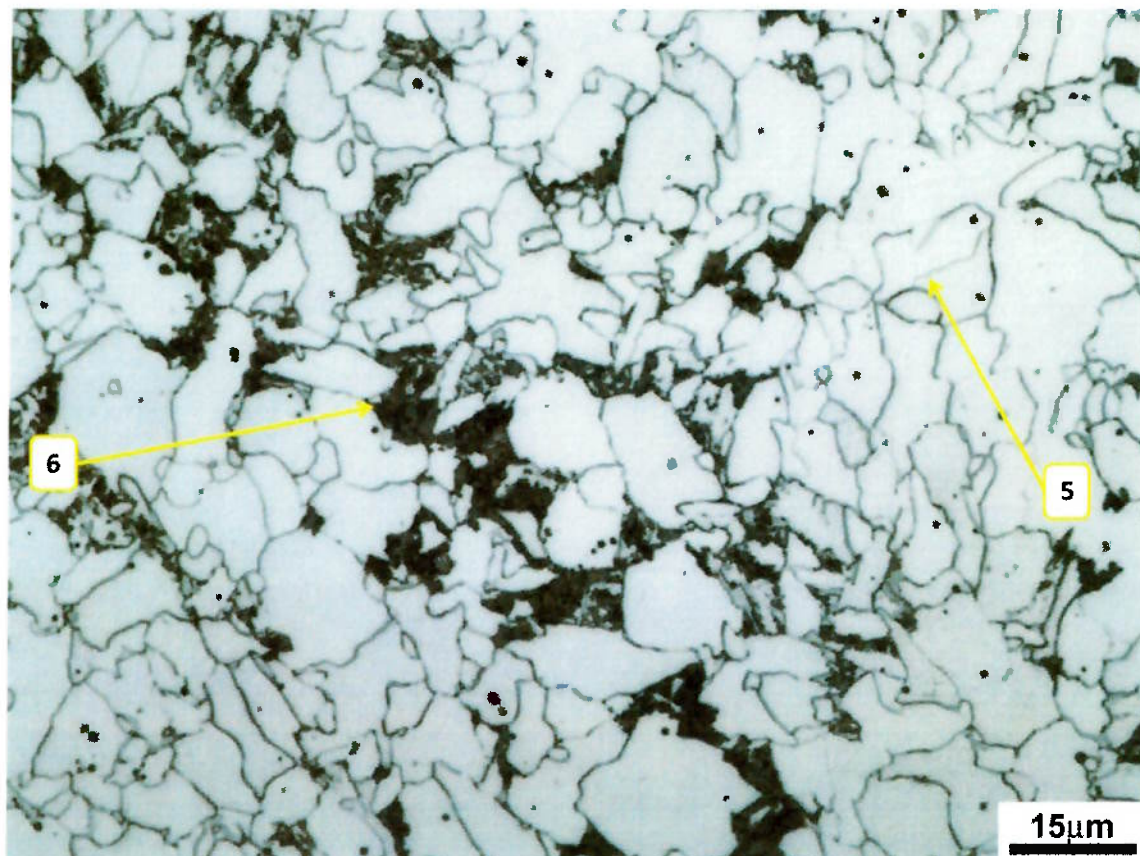


Figura 84 - Micrografia da Região 2 – Região de refino do CP - NAV. Aumento de 1000X. Ataque Nital 2%. 5 - Ferrita primária (F); e 6 - Agregado ferrita carboneto ou Perlita (FC ou P).

Observa-se nas Figura 82, com aumento de 100x, e Figura 83, com aumento de 200X que a região de refino foi completamente recristalizada.

Na Figura 84, com aumento de 1000X, pôde-se caracterizar os microconstituintes da estrutura. As regiões identificadas com o número 5 indicam o constituinte Ferrita primária (F); e a região identificada com o número 6 indica o constituinte Agregado ferrita carboneto ou Perlita (FC ou P).

5.6.3 CP – DX

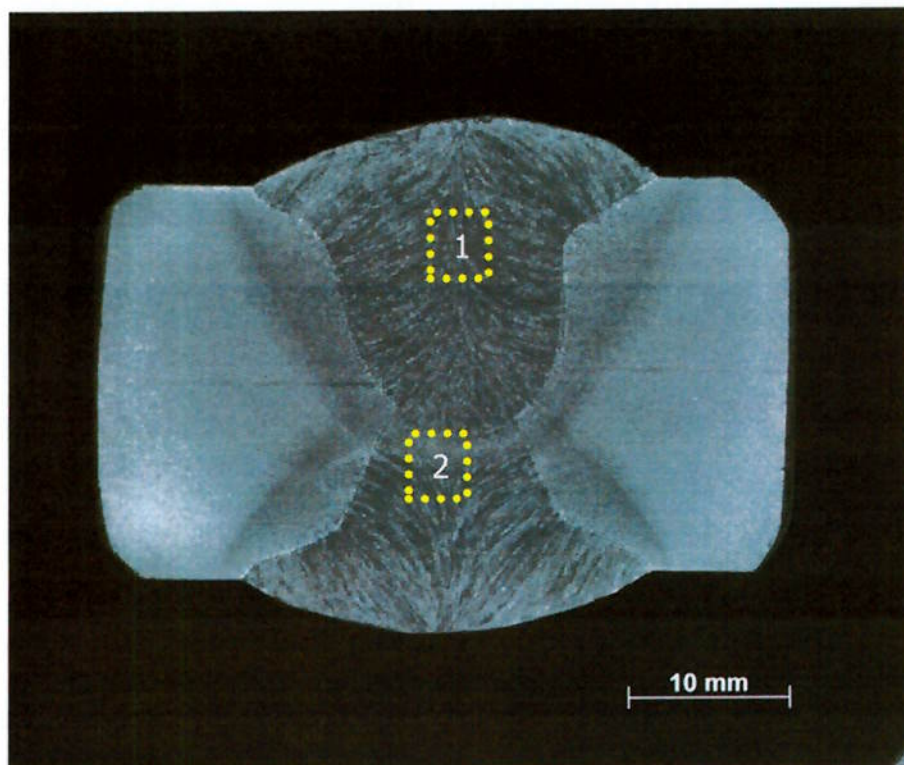


Figura 85 - Macrografia da junta soldada do CP - DX, indicando as regiões de avaliação micrográfica; Região 1 – Centro do segundo passe de solda, Região 2 – Região de Refino. Ataque Nital 6%.



Figura 86 - Micrografia da Região 1 - Centro do segundo passe de solda do CP - DX. Aumento de 50X. Ataque Nital 2%.

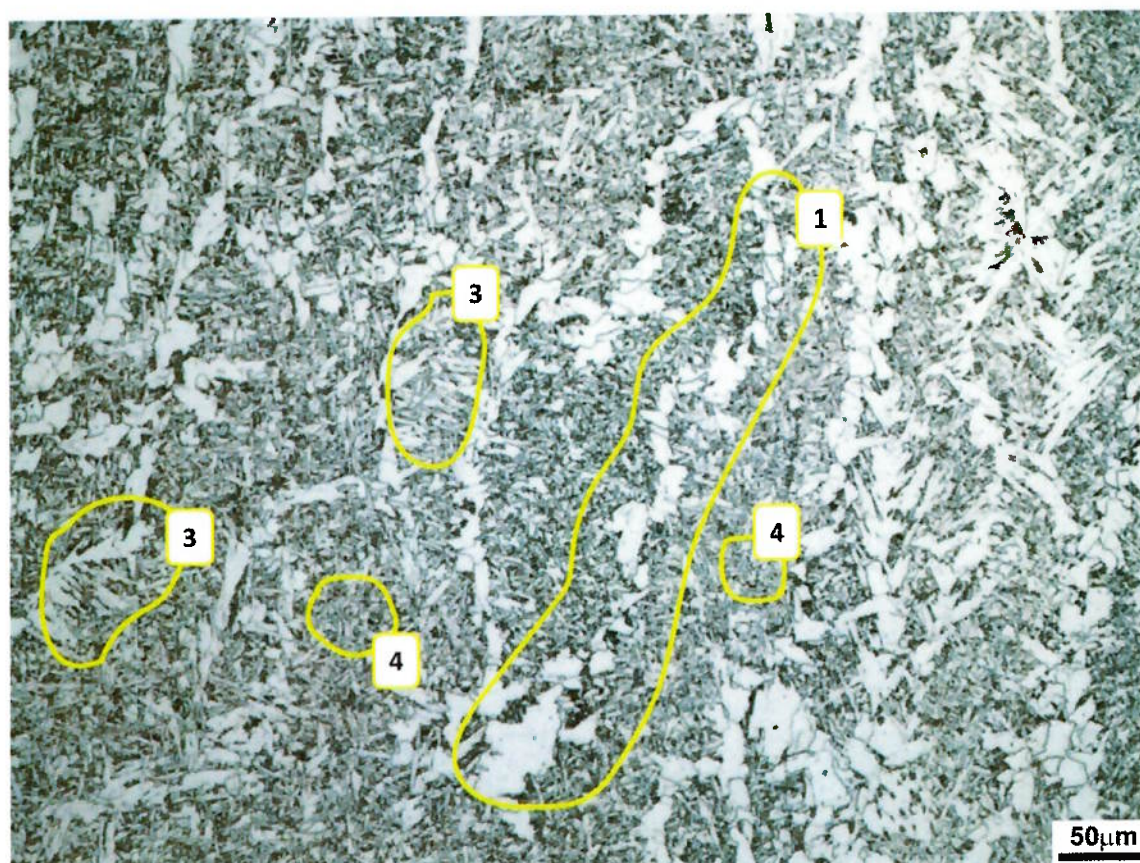


Figura 87 - Micrografia da Região 1 - Centro do segundo passe de solda do CP - DX. Aumento de 200X. Ataque Nital 2%. 1 - Ferrita de contorno de grão (GF); 3 - Ferrita com segunda fase alinhada (AC); e 4 - Ferrita acicular (AF).

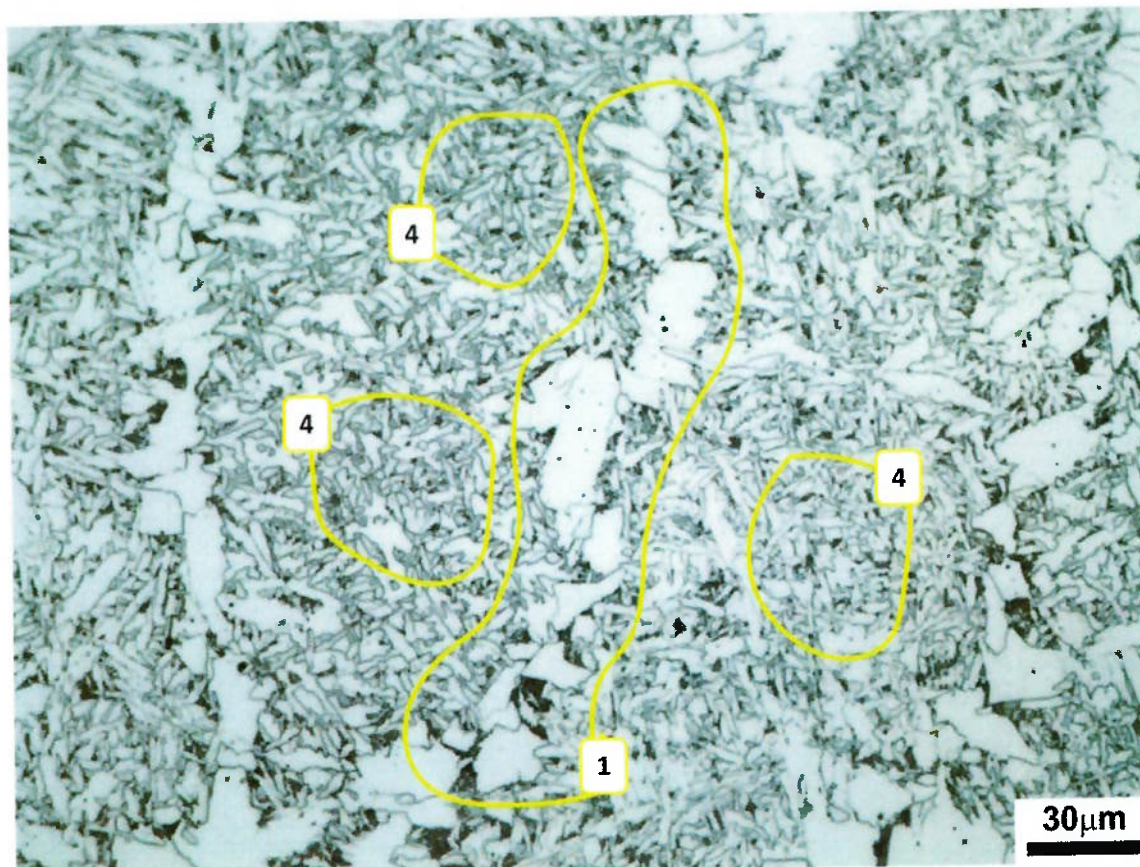


Figura 88 - Micrografia da Região 1 - Centro do segundo passe de solda do CP - DX. Aumento de 500X. Ataque Nital 2%. 1 - Ferrita de contorno de grão (GF); e 4 - Ferrita acicular (AF).

Observa-se na Figura 86, com aumento de 50x, a ocorrência de grãos bastante estreitos e muito alongados na direção de resfriamento do cordão de solda com a formação de fases distintas no interior e no contorno dos grãos de austenita. Na Figura 87, com aumento de 200X, e na Figura 88, com aumento de 500X, pôde-se caracterizar os microconstituintes da estrutura. As regiões identificadas com o número 1 indicam o constituinte Ferrita de contorno de grão (GF); as regiões identificadas com o número 3 indica o constituinte Ferrita com segunda fase alinhada (AC); e as regiões identificadas com o número 4 indicam o constituinte Ferrita acicular (AF).

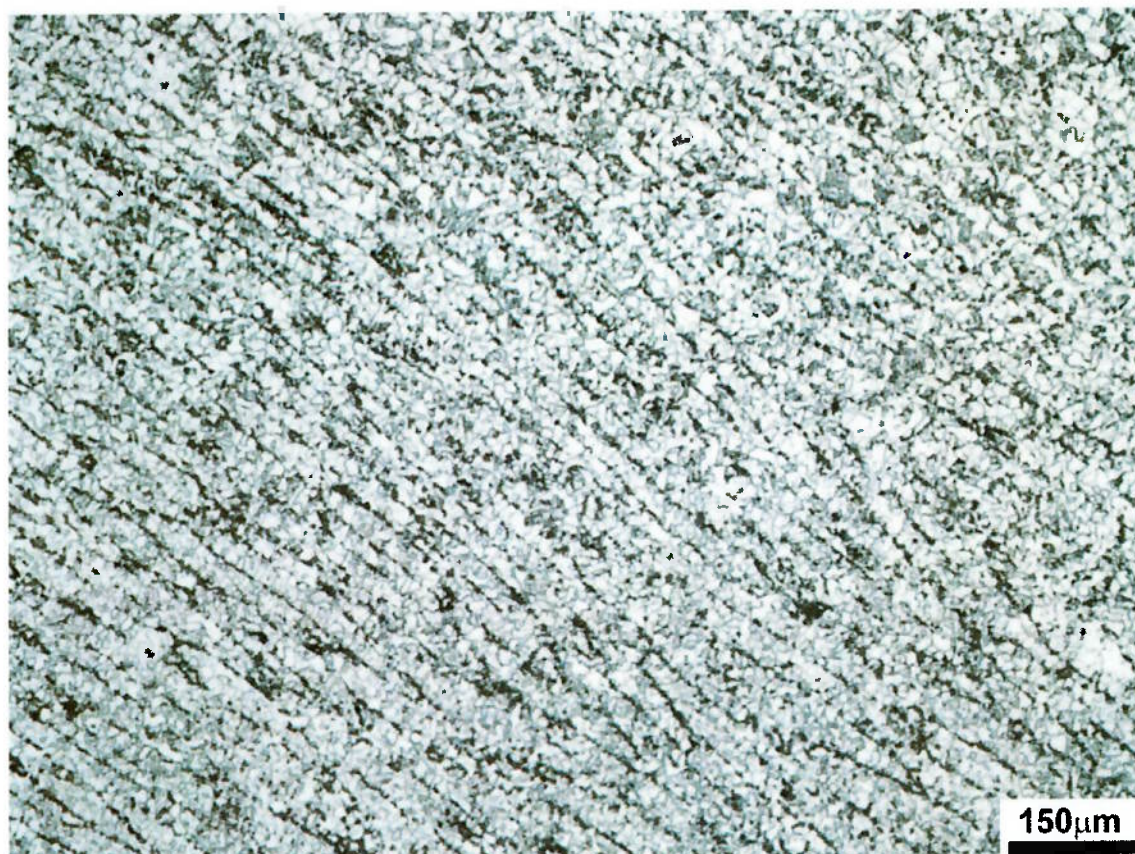


Figura 89 - Micrografia da Região 2 – Região de refino do CP - DX. Aumento de 100X. Ataque Nital 2%.

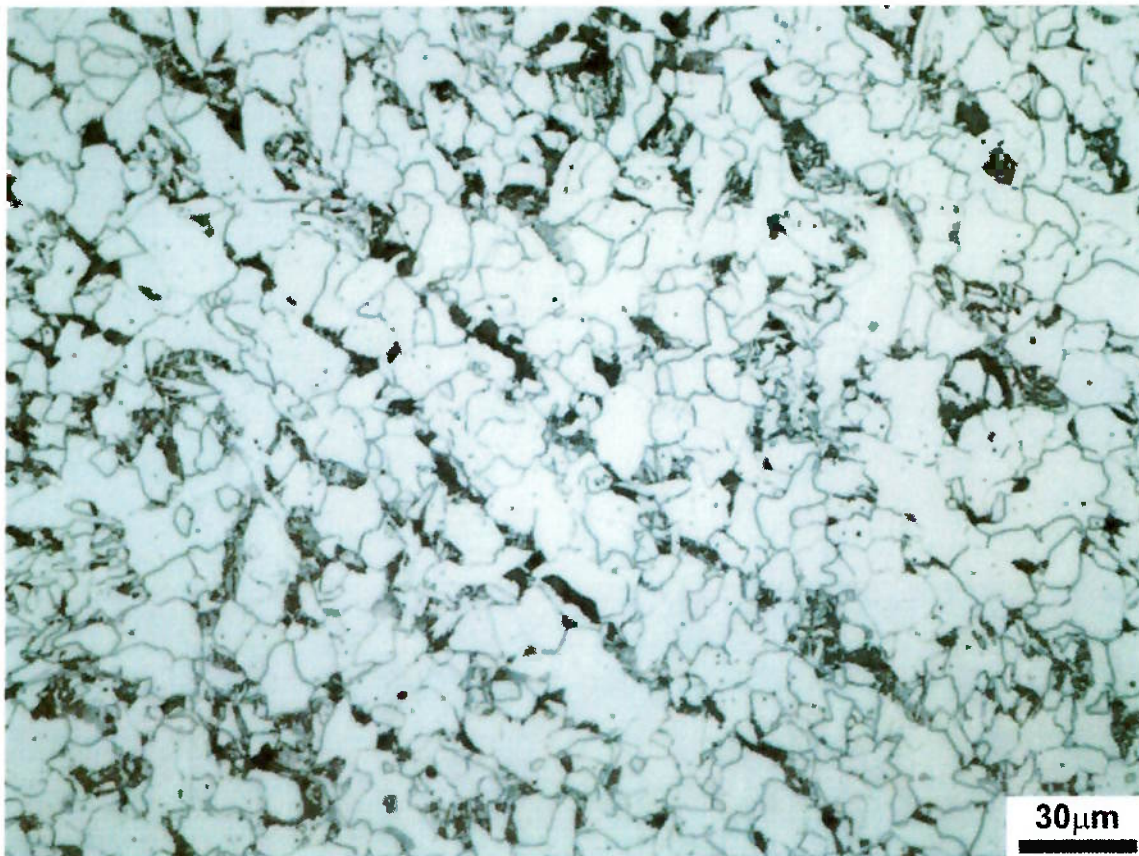


Figura 90 - Micrografia da Região 2 – Região de refino do CP - DX. Aumento de 500X. Ataque Nital 2%.

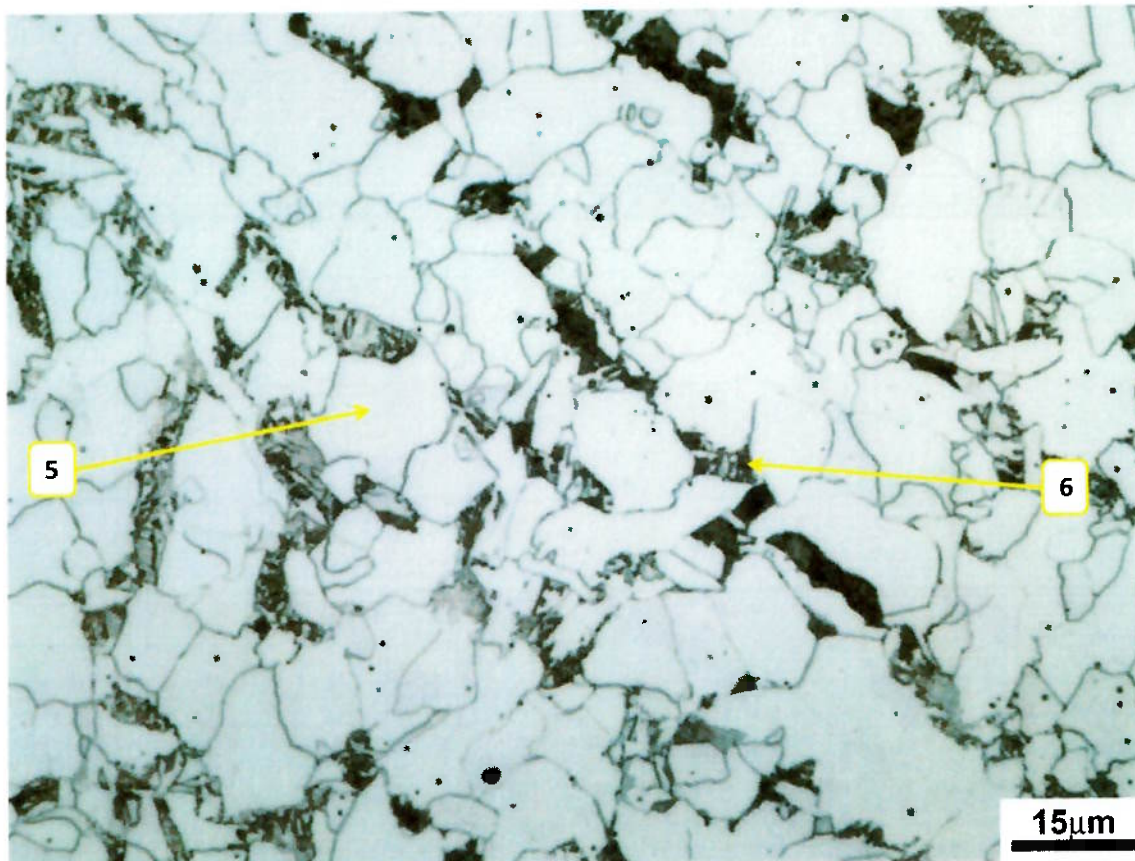


Figura 91 - Micrografia da Região 2 – Região de refino do CP - DX. Aumento de 1000X. Ataque Nital 2%. 5 - Ferrita primária (F); e 6 - Agregado ferrita carboneto ou Perlita (FC ou P).

Observa-se nas Figura 89, com aumento de 100x, e Figura 90, com aumento de 200X que a região de refino foi completamente recristalizada.

Na Figura 91, com aumento de 1000X, pôde-se caracterizar os microconstituintes da estrutura. As regiões identificadas com o número 5 indicam o constituinte Ferrita primária (F); e a região identificada com o número 6 indica o constituinte Agregado ferrita carboneto ou Perlita (FC ou P).

Comparando-se a Região 1 dos três corpos de prova observa-se que a microestrutura típica é bastante semelhante, sendo composta de grãos com interior predominantemente ocupado por ferrita acicular e contornos de grão circundados por ferritas de contorno de grão, diferindo principalmente quanto à

morfologia dos grãos da austenita anterior. A partir da avaliação visual observou-se que o CP – 105 apresenta grãos alongados e estreitos orientados na direção de resfriamento com ferrita de contorno de grão nos contornos, o CP – NAV apresentou grãos menores e de características mais equiaxiais com ferrita de contorno de grão nos contornos de grão, o CP – DX apresentou grãos extremamente alongados e orientados na direção de resfriamento com grande quantidade de formação de ferrita de contorno de grão nos contornos dos grãos. No CP – 105 e CP – DX pode-se observar também a formação de ferrita com segunda fase alinhada que, devido a sua morfologia, prejudica a tenacidade ao impacto, favorecendo a propagação de trincas intergranulares. Essa diferença de morfologia pode explicar a diferença de resultados de tenacidade ao impacto, pois se pressupõe que as trincas no ensaio de impacto tendem a se propagar pelos contornos de grão, compostos de ferritas de contorno de grão, mais frágeis em relação à estrutura da ferrita acicular. E, conforme a morfologia e quantidade de ferritas de contorno de grão, a microestrutura do CP – NAV apresenta maiores obstáculos à propagação de trincas no contorno de grão, seguido do CP – 105 e do CP – DX.

5.6.4 Fração volumétrica de fases

A fração de área de fases analisadas a partir da técnica de contraste e tonalidade está apresentada na Tabela 23 abaixo.

Tabela 23- Fração de fases.

	Região 1 – Centro do Cordão		Região 2 - Refino	
	Ferrita GF	Outras Fases	Ferrita F	Outras Fases
CP - 105	24,38	75,62	84,89	15,11
CP - NAV	22,64	77,36	85,08	14,92
CP - DX	26,59	73,41	86,97	13,03

A partir dos dados da Tabela 23 construiu-se os seguintes gráficos.

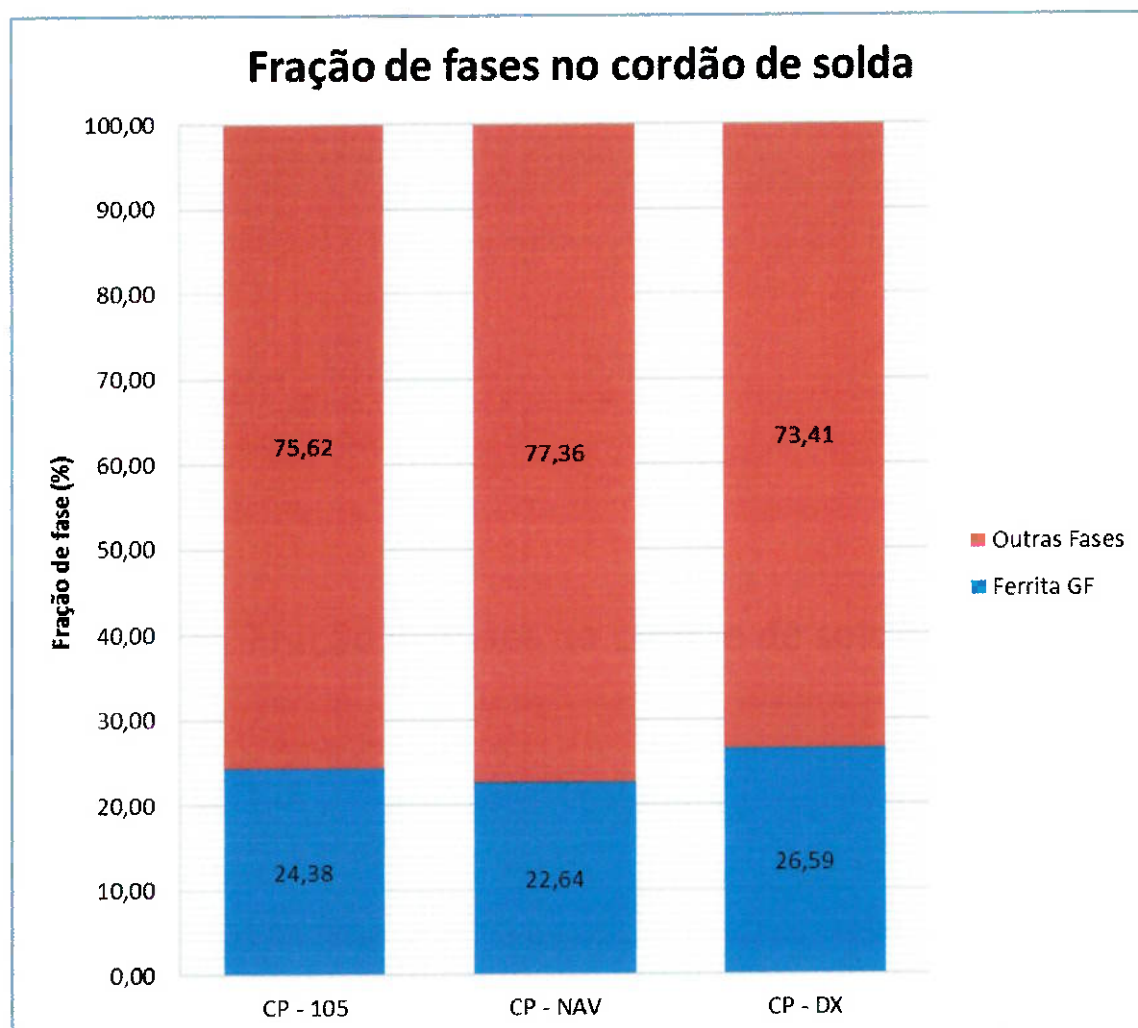


Figura 92 - Fração de fases no cordão de solda.

A fase identificada como Ferrita GF trata-se da ferrita de contorno de grão. As regiões de outras fases é principalmente composta por ferrita acicular.

Observa-se maior fração de fase ferrita de contorno de grão no CP – DX, seguido do CP – 105 e CP – NAV.

Para o caso do ensaio de impacto realizado à 2 mm da face da chapa, no centro do cordão de solda, acredita-se que, para as condições deste teste, as trincas durante o ensaio de impacto se propagam pelo contorno de grão. A partir das micrografias observou-se que o contorno de grão é predominantemente ocupado pela fase Ferrita GF, portanto supõe-se que a trinca irá se propagar pela fase Ferrita GF.

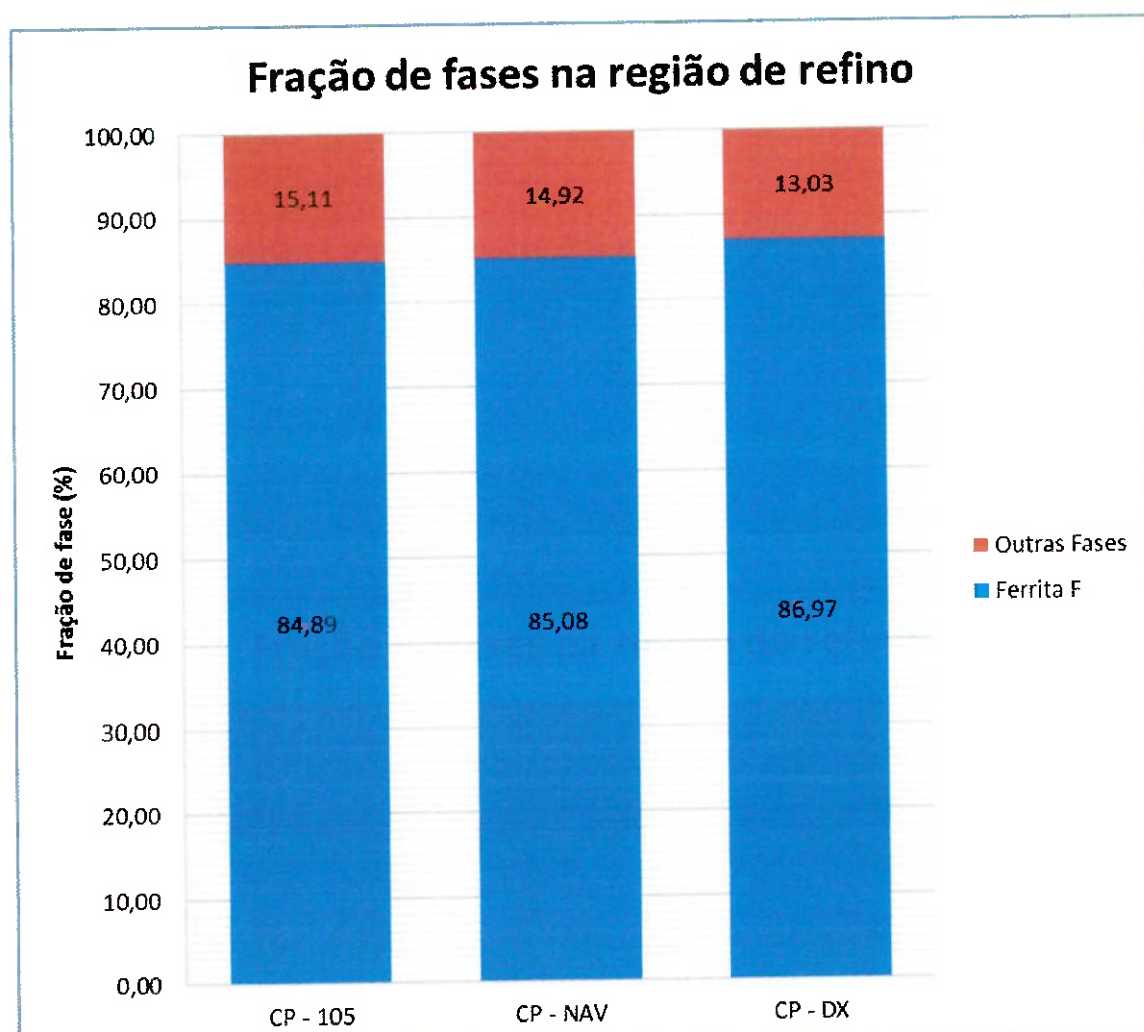


Figura 93 - Fração de fases na região de refino.

A fase identificada como Ferrita F trata-se da ferrita primária.

Para o caso do ensaio de impacto realizado na intersecção dos cordões de solda, o resultado de tenacidade a baixas temperaturas está diretamente relacionado à fração de outras fases, que podem ser constituídas de fases de agregados ferrita carboneto ou perlita, constituintes martensita-austenita ou carbeto complexos localizados nos contornos de grão. A caracterização precisa das fases não pode ser realizada pelo método micrográfico utilizado neste trabalho.

5.6.5 Avaliação das inclusões

A fração de área de inclusões analisadas a partir da técnica de contraste e tonalidade está apresentada na Tabela 24 abaixo.

Tabela 24 - Fração de inclusões em área %.

Metal Base	0,577	
	Região 1 - Centro do Cordão	Região 2 - Refino
CP-105	3,284	4,773
CP-NAV	1,9732	2,78
CP-DX	2,2225	4,354

A partir dos dados da Tabela 25 construiu-se o seguinte gráfico.

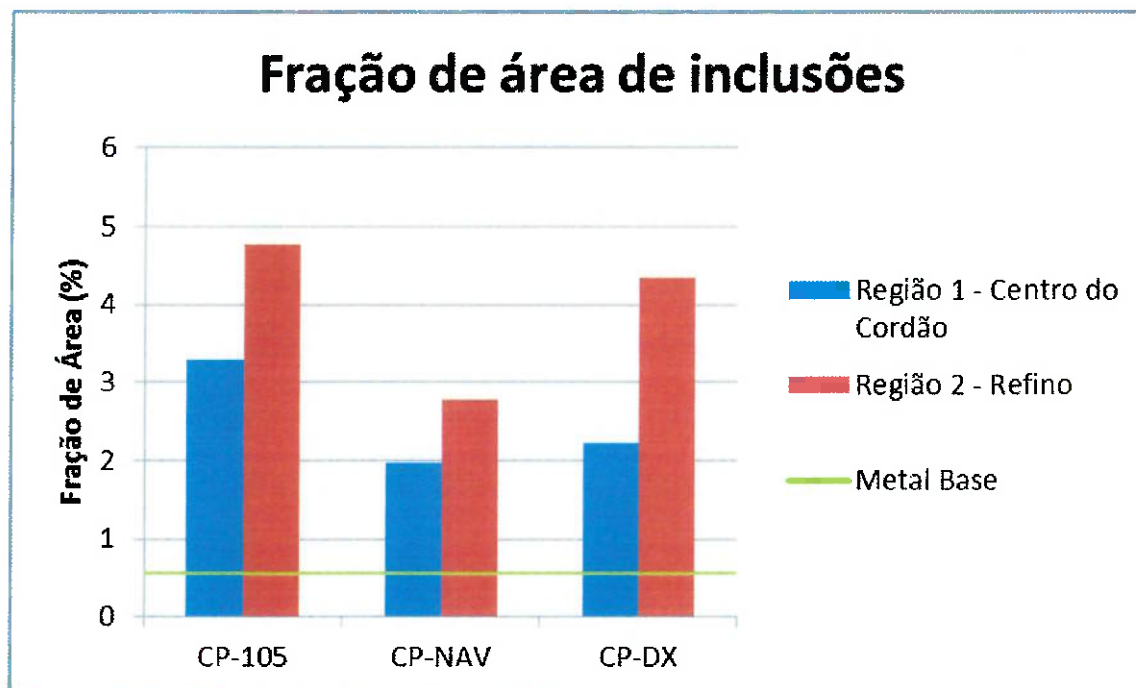


Figura 94 - Fração de área de inclusões.

Observa-se que o CP-NAV apresentou menor quantidade de inclusões, seguido pelo CP-DX e por último o CP-105. Foi observado na caracterização metalográfica que além da diferença de quantidade houve uma diferença no tamanho e distribuição das inclusões dos diferentes corpos de prova, entretanto para este estudo não foi caracterizado o tamanho e distribuição das inclusões.

6. CONCLUSÕES

- 1- As energias de soldagem aplicadas aos três corpos de prova são equivalentes e consideradas elevadas para o processo Tandem Arc dois arames.
- 2- As características de molhabilidade e perfil de cordão de solda são semelhantes entre os fluxos 105 e NAV e são diferentes do fluxo DX, devido à diferença na basicidade.
- 3- O Fluxo NAV apresentou melhor desempenho quanto à tenacidade a baixas temperaturas para a soldagem com Tandem Arc de aços TMCP utilizando altas energias de soldagem, seguido do fluxo 105 e com o pior desempenho o Fluxo DX.
- 4- O Melhor desempenho do fluxo NAV é atribuído à microestrutura mais favorável à tenacidade, composta de grãos mais regulares, de menor tamanho, observado via análise visual, dificultando o caminhar das trincas por entre os contornos.
- 5- O melhor desempenho também pode ser atribuído à menor fração de ferrita de contorno de grão, aumentando a dificuldade da trinca se propagar por entre os contornos quando comparado aos outros fluxos.
- 6- A microestrutura mais refinada é decorrente da adição de boro pelo fluxo, que estabiliza o contorno de grão da austenita, impedindo que esta cresça durante o processo de solidificação e resfriamento do cordão de solda.

- 7- O maior teor de titânio no depósito do fluxo NAV proporcionou uma maior formação de ferrita acicular e conseqüentemente menor formação de ferrita de contorno de grão e poligonal intergranular.
- 8- No caso da ausência de boro e na baixa concentração de titânio nos depósitos dos fluxos 105 e DX, o maior teor de alumínio, de aproximadamente 200 ppm, no fluxo 105 proporcionou um depósito com maior formação de ferrita acicular e conseqüentemente melhor resultado de tenacidade a baixas temperaturas.
- 9- As regiões de refino de todos os CPs possuem microestruturas semelhantes. Sendo que as diferenças de propriedades de tenacidade ao impacto devem ser atribuídas às diferenças de composição química e da natureza das "outras fases" que não foram avaliadas neste trabalho.
- 10- O cálculo de diluição para predição de composição química na condição de aplicação em Tandem Arc com dois arames em alta energia não é preciso.

7. SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS.

- 1- Avaliar a distribuição e tamanhos das inclusões no metal de solda.
- 2- Caracterizar via microscopia eletrônica as fases presentes nos contornos de grão da área de refino.
- 3- Estudar o mecanismo de fratura ocorrido nos corpos de prova de impacto para confirmar a hipótese de que a fratura se propaga intergranularmente.
- 4- Caracterizar as inclusões via microscopia eletrônica.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- 1 - USIMINAS. **SINCRON**. Belo Horizonte: Lápis Raro Agência de Comunicação, fev. 2013. 45p.
- 2 - MACHADO, M. L. P.; MARQUES SOBRINHO, V. P.; ARRIVABENE, L. F. **Siderurgia para não siderurgistas**. Vitória: ABM, 2003. 128p.
- 3 - USIMINAS. **The approval test results of hull structural steel plates manufactured by CLC (continuous on line control) process**. Belo Horizonte: [s.n.], mai. 2011. 136p.
- 4 - CALLISTER, J. W. D. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. 5ª ed. Rio de Janeiro: LTC. 2002.
- 5 - SOMERS, B. R. **Introduction to the Selection of Carbon and Low-Alloy Steels**. ASM Metals Handbook - Welding, Brazing and Soldering, Estados Unidos, v. 6, p. 1059-1065.
- 6 - BRANDI, S. D.; WAINER, E.; MELLO, F. D. **Soldagem : processos e metalurgia**. 6ª ed. São Paulo: Edgard Blücher LTDA., 1992. 494p.
- 7 - EVANS, G. M. **Microstructure and properties of ferritic steel welds containing Ti and B**. Welding Journal, Zurich, 75 (8), p. 251s-260s, agosto 1996.
- 8 - BABU, S. S. **The mechanism of acicular ferrite in weld deposits**. Current Opinion in Solid State and Materials Science, Oak Ridge, v. 8, p. 267-278, 2004.
- 9 - FARRAR, R. A.; HARRISON, P. L. **Acicular ferrite in carbon-manganese weld metals: an overview**. Journal of Materials Science,[S.I.], v. 22, p. 3812-3820, novembro 1987.
- 10 - THE LINCOLN ELECTRIC COMPANY. **The procedure handbook of arc welding**. 20º ed. Cleveland: 1973. Paginação irregular.
- 11 - PARANHOS, R.; SOUZA, A. C. **Soldagem a arco submerso**. Rio de Janeiro: Editora Valença S.A., 1999. 77p.
- 12 - BARRETT, M.; LATESSA, M. **Multiple Arc Submerged Arc Welding Guide**. Cleveland: The Lincoln Electric Company, set. 2009. 48p.

- 13 - SCHWINN, V.; BAUER, J.; FLÜSS, P.; KIRSCH, H.-J.; AMORIS E. **Recent developments and applications of TMCP steel plates.** Revue de Métallurgie, França, v. 108, p. 283-294, 2011.
- 14 – KITANI, Y. et al. **Improving HAZ Toughness of high heat input welded joints by using Boron Diffusion from weld metal.** International Institute of Welding (IIW), [S.I.], n. II-1565-05 (II-A-152-04).
- 15 – BHADSHIA, H. K. D. H.; SVENSSON, L.-E. **Modelling the evolution of microstructure in steel weld metal.** Mathematical Modelling of Weld Phenomena, Londres, p. 109-182, 1993.
- 16 – GRONG, O.; MATLOCK, D. K. **Microstructural development in mild and low-alloy steel weld metals.** International Metals Reviews, [S.I.], v. 31, n. 1, p. 27-48, 1986.
- 17 – MURAKAMI, T.; TAKEDA, H.; NANBA, S. **Acicular ferrite transformation behavior and modeling in 490MPa grade steel weld metals.** R&D Kobelco, Japão, v. 54, n. 2, p. 11-14, agosto 2004.
- 18 – DOWLING, J. M.; CORBETT, J. M.; KERR, H. W. **Inclusion phases and the nucleation of acicular ferrite in submerged arc welds in high strength low alloy steels.** Metallurgical Transactions A, [S. I.], v. 17A, p. 1611-1623, setembro 1986.
- 19 – LEE, C.-H.; SHIN, H.-S.; PARK, K.-T. **Evaluation of high strength TMCP steel weld for use in cold regions.** Journal of Constructional Steel Research, [S. I.], v. 74, p. 134-139, 2012.
- 20 – KOU, S. **Welding Metallurgy.** 2nd ed. Estados Unidos: Wiley Interscience, 2003. 461 p.
- 21 – CHEN, C. C.; POLLACK, A. **Influence of Welding on Steel Weldment Properties.** ASM Metals Handbook - Welding, Brazing and Soldering, Estados Unidos, v. 6, p. 1097-1108.
- 22 – OGBORN, J. S. **Submerged Arc Welding.** ASM Metals Handbook - Welding, Brazing and Soldering, Estados Unidos, v. 6, p. 622-641.
- 23 – THE JAMES F. LINCOLN ARC WELDING FOUNDATION. **Principles of industrial welding.** Nova Iorque: 1993. Paginação irregular.
- 24 – ASME II PART C – SPECIFICATIONS FOR WELDING RODS, ELECTRODES, AND FILLER METALS. **SFA-5.23: Specification for low-alloy steel electrodes and fluxes for submerged arc welding .** Nova Iorque, 2004. p. 521-554.

25 - EUROPEAN STANDARD. **EN 10025: Hot rolled products of structural steels. Part 4: Technical delivery conditions for thermomechanical rolled weldable fine grain structural steels.** Londres, 2004. 26 p.

26 – ASTM. **A 131/A131M: Standard Specification for Structural Steel for Ships.** Estados Unidos, 1994. 5p.

27 – EUROPEAN STANDARD. **EN 10025: Hot rolled products of structural steels. Part 1: General technical delivery conditions.** Londres, 2004. 34 p.

28 – EUROPEAN STANDARD. **EN 10025: Hot rolled products of structural steels. Part 2: Technical delivery conditions for non-alloy structural steels.** Londres, 2004. 36 p.

29 – WU, K. M. **Three-dimensional analysis of acicular ferrite in a low-carbon steel containing titanium.** Scripta Materialia, [S. I.], v. 54, p. 569-574, 2006.

30 – ASME II PART C – SPECIFICATIONS FOR WELDING RODS, ELECTRODES, AND FILLER METALS. **SFA-5.18: Specification for carbon steel electrodes and rods for gas shielded arc welding .** Nova Iorque, 2004. p. 401-428.

31 – LESNEWICH, A. **Influence of Welding on Steel Weldment Soundness: Hydrogen-Induced Cracking.** ASM Metals Handbook - Welding, Brazing and Soldering, Estados Unidos, v. 6, p. 1070-1083.

32 – DET NORSKE VERITAS. **TAP 1-401.1: Welding Consumables – Standard for Certification nº 2.9.** Noruega, 2012. 44p.

33 – BUREAU VERITAS. **NR 216 DT R06 E: Rules on Materials and Welding for the Classification of Marine Units.** França, 2013, 242p.

34 – ASTM. **A 370 – 77: Standard Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products.** Estados Unidos, 1977, 58p.

35 – CHAVEZ, G. F. S. **Simulação física e caracterização de zonas afetadas pelo calor de aços API 5L Grau X80,** São Paulo, 2011, 247p. Dissertação de Mestrado – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

36 – MURPHY, D. B. **Fundamentals Of Light Microscopy And Electronic Imaging.** Estados Unidos: Wiley-Liss, Inc, 2001. 357p.

37 – IIW The international Institute of Welding. **Compendium of Weld Metal Microstructures and Properties: Submerged-arc welds in ferritic steel.** The welding Institute Abington, Cambridge UK. 1995.

- 38 – Baptista, A. L. B.; Soares, A. R.; Nascimento, A. A. **O Ensaio Metalográfico no controle da qualidade.** Apostila – Escola de Engenharia de Volta Redonda, Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, 2002, 47p.
- 39 – EVANS, G. M. **The effect of aluminium on the microstructure and properties of C-Mn all-weld metal deposits.** Welding Journal, Zurich, p. 32s–39s, janeiro 1991.
- 40 – EVANS, G. M. **Microstructure and Properties of Ferritic Steel Welds Containing Al and Ti.** Welding Journal, Zurich, p. 249s–261s, Agosto 1995.
- 41 – OLSON, D. L.; LIU, S.; FROST, R.H.; EDWARDS, G.R.; e FLEMING, D.A. **Nature and Behavior of Fluxes Used for Welding.** ASM Metals Handbook - Welding, Brazing and Soldering, Estados Unidos, v. 6, p. 137-151.

ANEXO I – Certificados de qualidade

A Usiminas certifica que os produtos discriminados foram fabricados pelo processo de oxigênio básico (LD), ensaiados e analisados de acordo com as especificações técnicas aplicáveis. A Usiminas disponibiliza, através do endereço eletrônico "<http://certificado.usiminas.com.br-98080/clientes/certificado/RequisicaoCertificado.jsp>", uma ferramenta de verificação da autenticidade dos certificados de seus produtos. Para sua segurança, recomenda-se a utilização desse recurso. Usiminas certifica que the products herein described have been produced by using the basic oxygen process (LD), tested and analyzed according to the applicable technical specifications. Usiminas makes available, by using the following website: "<http://certificado.usiminas.com.br-98080/clientes/certificado/RequisicaoCertificado.jsp>", a tool to be used by the customer to verify (check) product certificate authenticity. Usiminas duly recommends the use of such tool for customer's safety.

Qualidade - Steel

EN-10025-4-04-S355-M

Dimensões Nominais - Nominal Dimensions

25 X 2440 X 6000 mm

Borda - Edge / Oleamento - Oiled

NAO APARADA E NAO OLEADA
MILL EDGE AND DRY

Folha - Sheet = 2

Surface Appearance

**SUPERFICIE COMERCIAL
COMERCIAL SURFACE**

Abreviaturas - Abbreviations

LE = Limite de Escoamento - Y_S = Yield Strength
 EL = Alongamento - E_L = Elongation
 Dir = Direção-Direction
 T4 = Topo a um quarto da largura-Top at a quarter
 B4 = Base a um quarto da largura-Bottom at a quarter
 Larg = Largura-Width Diam = Diâmetro-Diameter
 Temp = Temperatura-Temperature
 Ck = Check Análise-Check Analysis
 Al = Alumínio Solúvel em Ácido-Aluminum Soluble

Abreviaturas - Abreviations

LR = Limite de Resistência - TS = Tensile Strength
C = Transversal-Transverse
L = Longitudinal
Pos = Posição-Position
BM = Base Medida-Gauge Length
S = Seção Transversal-Cross Transverse
P = Panela-Ladle
EA = Energia Absorvida - AE = Absorbed Energy



Sincron: Marca registrada da Usiminas para as chapas grossas TMCP produzidas pelo processo CLC (Laminação Controlada + Resfriamento Acelerado);
Sincron: Brand name of Usiminas TMCP Plates produced by CLC process (Controlled Rolling + Accelerated Cooling)
Certificamos que este material foi inspecionado e possui nível de radiação abaixo de 0.5uSv/h. We certify that this material has been inspected

Observações - Remarks

CCG DE AMOSTRA - S355 M.

FDS - Ficha de Dados de Segurança do Produto número 04, disponível na Extranet da Usiminas
MSDS - Material Safety Data Sheet N° 04 available at Usiminas Extranet

Helber Luiz Oliveira Ribeiro

SUPERINTENDÊNCIA DE GARANTIA DA QUALIDADE

VISTORIADOR

Customer 客户:

Commodity 品名		Size 规格	Lot No. 批号		Specification 规范		Date of Issue 发行日期										
L-61		Φ4.0 mm	40115353		AWS A5.17M/IEW1804-A F48A2-EM12K		2014-02-17										
CHEMICAL COMPOSITION 化学成分 (%)																	
Elements 成分	C	Mn	Si	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V	Al	Nb	Sn	N			
Requirement 标准	0.10~ 0.14	0.90~ 1.15	0.15~ 0.30	MAX 0.020	MAX 0.015	MAX 0.15	MAX 0.10	MAX 0.07	MAX 0.02	MAX 0.01	MAX 0.01	MAX 0.01	MAX 0.01	MAX 0.007			
Welding wire 焊丝	0.13	1.03	0.26	0.009	0.008	0.10	0.012	0.011	0.005	0.002	0.0019	0.00034	0.0004	0.006			
			Tensile Test of Deposited Metal 熔金拉伸试验			Impact Test of Deposited Metal 熔金冲击试验			Radiographic Test 射线检测		Welding Condition 焊接条件						
Requirement 标准	Yield Point 屈服强度 MPa	Tensile Strength 抗拉强度 MPa		Elongation 延伸率 %		Test Temp. 试验温度 ℃		Impact Value 冲击功 J		Type of Current 电流种类		Amperage 焊接电流		Arc. Voltage 电弧电压		Shielding Gas Or Flux 保护气体或焊剂	
	MIN 400	480 ~660		MIN 22		-20		MIN 27									
Actual Result 实测值	450	540		30		-20		100,98,96		2-2T						Flux 860	
Bend Test 弯曲试验	Fillet Weld Test 角焊试验		Hardness Test 硬度试验 (HRC)		Moisture 含水率(%)		Core Wire Heat No. 原线号码		Remarks 备注								
	Face 面弯	Root 背弯					9681535										
Certificate 产品认证		Quality System Certificate 质量体系认证 ISO9001 质量管理体系认证				WE HEREBY CERTIFY THAT THIS REPORT IS CORRECT AND THAT ALL TEST RESULTS ARE IN COMPLIANCE WITH THE SPECIFICATION DESCRIBED HEREIN. 兹证明此报告上记载之所有测试结果皆正确并符合适用规范之要求。 QUALITY ASSURANCE DEPARTMENT 品质部 shandy zhang											

Address: NO.116 JieFang West Rd., Taihe Dist., Jinzhou, Liaoning, P.R.China
地址: 中国辽宁省锦州市太和区解放西路 116 号

ZIP code: 121016 Tel: (86)-(0416)-7179785 Fax: (86)-(0416)-7179813

CERTIFICADO DE QUALIDADE DE FLUXO PARA SOLDAGEM

Produto: Fluxo 105

Lote: 13977171

Data de Emissão: 22/08/14

1 - Características

Fluxo Aglomerado - Tipo Neutro.

2 - Classificação

AWS A5. 17 / ASME II Part C SFA A5.17 Edição 2010 ADD. 2011: F7A2-EM12K; F7A2-EM13K; F7P2-EM13K
AWS A5. 17(M)/ ASMEII Part C SFA A5.17M-97 (R2007) Ed. 2010 ADD2011: F48A3-EM12K; F48A3-EM13K; F48P3-EM13K
AWS A5. 17 / ASME II Part C SFA A5.17 Edição 2010 ADD. 2011: F6A2-EL12
AWS A5. 17(M)/ ASMEII Part C SFA A5.17M-97 (R2007) Ed. 2010 ADD2011: F43A3-EL12
AWS A5. 23 / ASME II Part C SFA A5.23 Edição 2010 ADD. 2011: F8A0-EB2-B2
AWS A5. 23(M)/ ASMEII Part C SFA A5.23M:2007 Ed. 2010 ADD2011: F55A2-EB2-B2

3 - Análise Química

	C %	Mn %	Si %	S %	P %	Cu %	Cr %	Mo %
EM12K	0,09	1,12	0,24	0,010	0,008	*	*	*
Depósito	0,02	1,26	0,41	0,010	0,024	*	*	*
EM13K	0,10	1,23	0,61	0,009	0,013	*	*	*
Depósito	0,04	1,10	0,54	0,008	0,018	*	*	*
EB 2*	0,08	0,60	0,30	0,010	0,009	0,10	1,24	0,45
Depósito	0,06	1,14	0,25	0,005	0,014	0,14	1,00	0,41
EL12	0,06	0,42	0,02	0,009	0,012	*	*	*
Depósito	0,04	0,90	1,15	0,013	0,021	*	*	*

4 - Ensaaios Mecânicos

		EM 12K	EM 13K	EM 13K	EB-2	EL12
Condição		CS	CS	PWHT	CS	CS
Limite de Resistência	(MPa)	505	505	515	631	477
Limite de Escoamento	(MPa)	415	420	421	551	387
Alongamento	(%)	27	32	30	21	31
Temperatura Impacto	(J)	(-30°C)	(-30°C)	(-30°C)	(0°C)	(-30°C)
Ensaio de Impacto	(J)	103; 105; 103	75; 40; 78	117; 85; 109	77; 78; 98	122; 89; 29
Média - Impacto	(J)	104	64	104	84	80

CS - Como Soldado

PWHT - Tratamento térmico de alívio de tensões.

5 - Radiografia - Atende padrão radiográfico Grau 1 (SFA 5.17).

Este Produto é fabricado de acordo com o Sistema de Qualidade ISO 9001-2008 e AWS A5.01 Class F2 Schedule H.

Emitente

Isaque Silva do Nascimento.

Inspetor da Qualidade

LINCOLN ELECTRIC DO BRASIL Indústria e Comércio Ltda.

Av. Papa João Paulo I, 1818

CEP 07170-350 - Cumbica - Guarulhos SP - Brasil

Fone: 55 11 2432 5600 - Fax: 55 11 2432 5335

E-mail: qualidade@lincolnelectric.com.br

CERTIFICADO DE QUALIDADE DE FLUXO PARA SOLDAGEM**Produto:** Fluxo NAV-Y40**Lote:** 13938620**Data de Emissão:** 17/12/14**1 - Características**

Fluxo Aglomerado - Tipo Neutro.

2 - Classificação

AWS A5. 17 / ASME II Part C SFA A5.17 Edição 2010 ADD. 2011: F7A4-EM12K; F7P4-EM13K

3 - Análise Química

	C %	Mn %	Si %	S %	P %	Cu %
EM12K	0,05	0,81	0,10	0,014	0,026	0,09
Depósito	0,05	1,64	0,52	0,013	0,017	0,07

4. Ensaaios Mecânicos

EM 12K		
Condição	CS	
Limite de Resistência (MPa)	650	
Limite de Escoamento (MPa)	590	
Alongamento (%)	28	
Ensaio de Impacto (-40° C) (J)	36,82,90,84,98	
Média – Impacto (J)	85	

CS – Como Soldado

5- Radiografia - Laudo Aprovado.

Este Produto é fabricado de acordo com o Sistema de Qualidade ISO 9001-2008 e AWS A5.01 Class F2 Schedule H.

Emitente:
Pesquisa e Desenvolvimento**LINCOLN ELECTRIC DO BRASIL Indústria e Comércio Ltda.**Av. Papa João Paulo I, 1818
CEP 07170-350 – Cumbica – Guarulhos SP – Brasil
Fone: 55 11 2432 5600 - Fax: 55 11 2432 5335
E-mail: qualidade@lincolnelectric.com.br

CERTIFICADO DE QUALIDADE DE FLUXO PARA SOLDAGEM

Produto: Fluxo DX

Lote: 13938436

Data de Emissão: 13/08/14

1 - Características

Fluxo Aglomerado - Tipo Neutro.

2 - Classificação

AWS A5. 17 / ASME II Part C SFA A5.17 Edição 2010 ADD. 2011: F7A4-EM12K; F7A4-EM13K; F7P4-EM12K; F7P4-EM13K

AWS A5. 17(M) / ASME II Part C SFA A5.17M-97(R2007) Ed. 2010 ADD2011: F48A4-EM12K; F48A4-EM13K; F48P4-EM13K

3 - Análise Química

	C %	Mn %	Si %	S %	P %	Cu %
EM13K	0,06	1,07	0,59	0,010	0,015	0,08
Depósito	0,03	1,60	0,65	0,008	0,024	0,12
EM12K	0,05	0,81	0,10	0,014	0,026	0,09
Depósito	0,06	1,51	0,29	0,016	0,019	0,09

4. Ensaaios Mecânicos

		EM 12K	EM 13K	EM 13K	EM 12K
Condição		CS	CS	PWHT	PWHT
Limite de Resistência (MPa)		588	545	519	500
Limite de Escoamento (MPa)		493	434	405	383
Alongamento (%)		25	31	36	31
Ensaio de Impacto (-40° C) (J)		79,80,95,88,100	151,142,142,145,117	175,157,117,179,149	142,134,160,132,94
Média - Impacto (J)		88	143	160	136

PWHT - Após tratamento térmico de alívio de tensões de 1 hora a 620° C.

CS - Como Soldado

4.1 Requisito Especial de Fornecimento (Resultado Típico)

		EM 12K
Condição		CS
Ensaio de Impacto (-46° C) (J)		98,87,93,97,60
Média - Impacto (J)		81

5- Radiografia - Laudo Aprovado.

Este Produto é fabricado de acordo com o Sistema de Qualidade ISO 9001-2008 e AWS A5.01 Class F2 Schedule H.

Emitente:
Danilo Fernandes de Souza.
Gestão da Qualidade.

LINCOLN ELECTRIC DO BRASIL Indústria e Comércio Ltda.

Av. Papa João Paulo I, 1818
CEP 07170-350 - Cumbica - Guarulhos SP - Brasil
Fone: 55 11 2432 5600 - Fax: 55 11 2432 5335
E-mail: qualidade@lincolnelectric.com.br

ANEXO II – Laudos de ensaios laboratoriais

Empresa Solicitante: LINCOLN ELECTRIC DO BRASIL IND. E COM. LTDA.
AVENIDA PAPA JOAO PAULO I 1818, CUMBICA – CEP: 07170-350 – GUARULHOS/SP

Informações fornecidas pelo solicitante:

Material.....: ND
Amostra.....: CP - 105
Documento.....: LEB
Fornecedor Declarado.....: ---
Natureza do ensaio/análise.....: Mecânico

RESULTADOS DO ENSAIO

1. Ensaio de impacto:

Temperatura -40,0°C
Centro de solda a 2mm superfície

Corpo de prova	Resultados Obtidos em Joules	*U (Joules)
CP1	21	± 2,6
CP2	20	± 2,6
CP3	28	± 2,6
Média	23	---

Temperatura -40,0°C
Centro de solda na intersecção

Corpo de prova	Resultados Obtidos em Joules	*U (Joules)
CP1	22	± 2,6
CP2	40	± 2,6
CP3	30	± 2,6
Média	31	---

Temperatura -20,0°C
Centro de solda a 2mm superfície

Corpo de prova	Resultados Obtidos em Joules	*U (Joules)
CP1	108	± 2,6
CP2	70	± 2,6
CP3	88	± 2,6
Média	89	---

SGS LABMAT ANÁLISES E ENSAIOS DE MATERIAIS LTDA.

MATRIZ: Rua João Leonardo Fustalino, 201 – Distrito Industrial Uninorte – Piracicaba/SP – CEP: 13413-102 Tel./ Fax: (19) 3917-1670/ 3433-1091
UNIDADE GRANDE SÃO PAULO: Rua Águia, 208 – Itapegica – Guarulhos/SP – CEP: 07043-040 – Tel./Fax: (11) 2086-9090
www.grupolabmat.com.br sac@grupolabmat.com.br

Temperatura -20,0°C
Centro de solda na intersecção

Corpo de prova	Resultados Obtidos em Joules	*U (Joules)
CP1	40	± 2,6
CP2	36	± 2,6
CP3	54	± 2,6
Média	43	---

Temperatura 0,0°C
Centro de solda a 2mm superfície

Corpo de prova	Resultados Obtidos em Joules	*U (Joules)
CP1	122	± 2,6
CP2	154	± 2,6
CP3	94	± 2,6
Média	123	---

Temperatura 0,0°C
Centro de solda na intersecção

Corpo de prova	Resultados Obtidos em Joules	*U (Joules)
CP1	182	± 2,6
CP2	176	± 2,6
CP3	68	± 2,6
Média	142	---

Preparação: Conforme Norma ASTM A370:2011.

Ensaio: Norma ASTM A370:2011.

Condições Ambientais: Temperatura: 23,0°C

Dimensões: Largura CP: 10,0 mm Espessura CP: 10,0mm Comprimento: 55,0 mm Entalhe em V

Equipamento: LBM-034-4-SP - Indicador e Controlador de Temperatura - Certificado de calibração nº2964/13 - Novus - Validade: 30/09/15

LBM-153-SP - Máquina de Ensaio de Impacto - Certificado de Calibração nº 138625/ 138626-101-IPT - Validade: 31/07/15

Procedimento de análises/ensaios: PT-06-SP Ensaio de Impacto em Materiais Metálicos rev.G

Local do ensaio: SGS Labmat - Guarulhos - SP

*A incerteza expandida de medição relatada é declarada como a incerteza padrão da medição multiplicada pelo fator de abrangência k , o qual para uma distribuição t com graus de liberdade efetivos ($veff$) corresponde a uma probabilidade de abrangência de aproximadamente 95%. A incerteza padrão da medição foi determinada de acordo com a publicação EA-4/02.

Data do recebimento da amostra: 13/10/2014

Data da conclusão do ensaio/análise: 23/10/2014

SGS LABMAT ANÁLISES E ENSAIOS DE MATERIAIS LTDA.

MATRIZ: Rua João Leonardo Fustaino, 201 – Distrito Industrial Uninorte – Piracicaba/SP – CEP: 13413-102 Tel./ Fax: (19) 3917-1670/ 3433-1091

UNIDADE GRANDE SÃO PAULO: Rua Águia, 208 – Itapegica – Guarulhos/SP – CEP: 07043-040 – Tel./Fax: (11) 2086-9090

www.grupolabmat.com.br

sac@grupolabmat.com.br

SGS**LABMAT****RELATÓRIO DE ENSAIO/ANÁLISE****Nº 002304-23804-14G-I-001****VIA ORIGINAL***"Laboratório pertencente à Rede Brasileira de Laboratórios de Ensaios"*

GUARULHOS - SP, 23 de Outubro de 2014

Eng. Gustavo Santoro Ceccatto
Coordenador de Laboratório - Unidade Guarulhos
CREA 5069047976

Signatário Autorizado
Carimbo e Assinatura

Leandro Gusmão da Silva
Técnico de Laboratório

Carimbo e Assinatura

Os resultados apresentados no presente relatório têm significação restrita e se aplicam apenas às amostras ensaiadas/analizadas.

As amostragens enviadas para análise são realizadas pelo próprio cliente.

Este documento tem sua marca de autenticidade gravada. Este Relatório de Ensaio/Análise só deve ser reproduzido completo. Reprodução de partes requer aprovação escrita do Laboratório.

Este Relatório atende aos requisitos de Acreditação pela Cgcre/Inmetro, a qual avaliou a competência do laboratório.

A Cgcre é signatária do Acordo de Reconhecimento Mútuo da ILAC - International Laboratory Accreditation Cooperation e de Acordo Bilateral de Reconhecimento Mútuo com a EA - European Cooperation for Accreditation.

The results presented in this report are limited, and apply only to the samples tested / analyzed.

The samples sent for analysis are responsibility by the customer.

This document is authentic. This Test Report / Analysis can only be reproduced completely. Reproduction of parts requires written approval of the laboratory.

This report meets the requirements of the Accreditation Cgcre / INMETRO, which assessed the competence of the laboratory.

Cgcre is a signatory to the ILAC Mutual Recognition Agreement - International Laboratory Accreditation Cooperation and Bilateral Mutual Recognition Agreement with EA - European Cooperation for Accreditation.

As informações contidas no presente relatório (ou certificado) são obtidas a partir dos resultados de procedimentos de inspeção ou teste ou calibrações ou ensaios realizados em conformidade com as instruções do nosso cliente, e/ou a nossa avaliação de tais resultados com base em quaisquer normas técnicas, práticas comerciais ou aduaneiras, ou outras circunstâncias que deveriam, em nossa opinião profissional, serem consideradas. Os resultados acima refletem aquilo que foi encontrado no local e na data da inspeção, teste ou calibração. Este relatório não libera os compradores e vendedores das suas responsabilidades contratuais, nem prejudica o direito de reclamação do comprador contra o fornecedor ou vendedor para compensação de qualquer defeito não detectado durante nossa verificação ou ocorrido depois, seja aparente ou oculto.

Este documento é emitido pela Companhia sob suas condições gerais de serviços acessível em http://www.sgs.com/terms_and_conditions.htm. Chamamos atenção para os itens de limitação de responsabilidade, indenização e jurisdição ali definidos. Qualquer alteração não autorizada, rasura ou falsificação do conteúdo ou aparência deste documento é ilegal e os responsáveis poderão ser processados na extensão total da lei.

The information stated in this report (or certificate) is derived from the results of inspection or testing or calibration or essay procedures carried out in accordance with the instructions of our Client, and/or our assessment of such results on the basis of any technical standards, trade custom or practice, or other circumstances which should in our professional opinion be taken into account. The above reflects our findings at time and place of inspection, testing or calibration. This report does not release buyers or sellers from their contractual responsibilities nor does it prejudice buyer's right of claim toward sellers/suppliers for compensation for any apparent and/or hidden defects not detected during our inspection or occurring thereafter

This document is issued by the Company under its General Conditions of Service accessible at http://www.sgs.com/terms_and_conditions.htm. Attention is drawn to the limitation of liability, indemnification and jurisdiction issues defined therein. Any unauthorized alteration, forgery or falsification of the content or appearance of this document is unlawful and offenders may be prosecuted to the fullest extent of the law.

Fim do Relatório**SGS LABMAT ANÁLISES E ENSAIOS DE MATERIAIS LTDA.**

MATRIZ: Rua João Leonardo Fustaino, 201 - Distrito Industrial Uninorte - Piracicaba/SP - CEP: 13413-102 Tel./ Fax: (19) 3917-1670/ 3433-1091

UNIDADE GRANDE SÃO PAULO: Rua Águia, 208 - Itapegica - Guarulhos/SP - CEP: 07043-040 - Tel./Fax: (11) 2086-9090

www.grupolabmat.com.br

sac@grupolabmat.com.br

Empresa Solicitante: LINCOLN ELECTRIC DO BRASIL IND. E COM. LTDA.
AVENIDA PAPA JOAO PAULO I 1818, CUMBICA – CEP: 07170-350 – GUARULHOS/SP

Informações fornecidas pelo solicitante:

Material.....: ND
Amostra.....: CP - 105
Documento.....: --
Fornecedor Declarado.....: ---
Natureza do ensaio/análise.....: Metalográfico.

RESULTADOS DO ENSAIO

1. Análise macrográfica

Objetivo: Realizar análise da macroestrutura do cordão de solda.

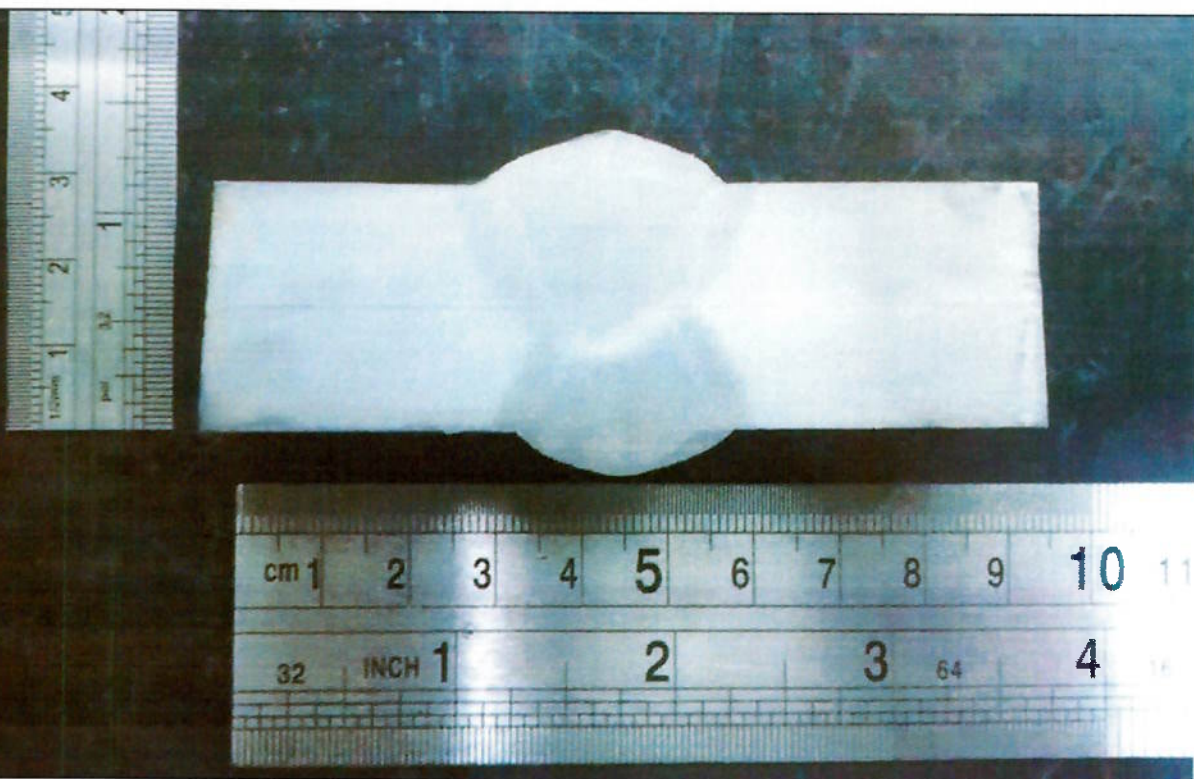


Figura 1

Macrografia: Foi realizada a análise macrográfica na seção transversal à solda, segue avaliação:

- Não foram evidenciadas trincas e indicações lineares;
- Não foram evidenciadas mordeduras;
- Não foram evidenciadas porosidades.
- Não foi evidenciada falta de penetração / fusão.

Ensaio / Análises realizados conforme descrições abaixo:

Ataque macrográfico: Nital 5%.

Análise: Referência na AWS D1.1.

Procedimento de Ensaios/Análises: PT 09 – SP-Ver. H – Análise Macrográfica em Materiais Metálicos.

Local do Ensaio/Análise: SGS Labmat Guarulhos.

SGS LABMAT ANÁLISES E ENSAIOS DE MATERIAIS LTDA.

MATRIZ: Rua João Leonardo Fustaino, 201 – Distrito Industrial Uninorte – Piracicaba/SP – CEP: 13413-102 Tel./ Fax: (19) 3917-1670/ 3433-1091

UNIDADE GRANDE SÃO PAULO: Rua Águia, 208 – Itapegica – Guarulhos/SP – CEP: 07043-040 – Tel./Fax: (11) 2086-9090

www.grupolapmat.com.br

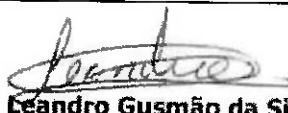
sac@grupolapmat.com.br

Data do recebimento da amostra:

13/10/2014

Data da conclusão do ensaio/análise: 22/10/2014

GUARULHOS - SP, 22 de Outubro de 2014

 Eng. Gustavo Santoro Ceccatto Coordenador de Laboratório - Unidade Guarulhos CREA 5069047976	 Leandro Gusmão da Silva Técnico de Laboratório
--	--

Signatário Autorizado

Carimbo e Assinatura

Carimbo e Assinatura

Os resultados apresentados no presente relatório têm significação restrita e se aplicam apenas às amostras ensaiadas/analizadas.

As amostragens enviadas para análise são realizadas pelo próprio cliente.

Este documento tem sua marca de autenticidade gravada. Este Relatório de Ensaio/Análise só deve ser reproduzido completo. Reprodução de partes requer aprovação escrita do Laboratório.

Este Relatório atende aos requisitos de Acreditação pela Cgcre/Inmetro, a qual avaliou a competência do laboratório.

A Cgcre é signatário do Acordo de Reconhecimento Mútuo da ILAC - International Laboratory Accreditation Cooperation e de Acordo Bilateral de Reconhecimento Mútuo com a EA - European Cooperation for Accreditation.

The results presented in this report are limited, and apply only to the samples tested / analyzed.

The samples sent for analysis are responsibility by the customer.

This document is authentic. This Test Report / Analysis can only be reproduced completely. Reproduction of parts requires written approval of the laboratory.

This report meets the requirements of the Accreditation Cgcre / INMETRO, which assessed the competence of the laboratory.

Cgcre is a signatory to the ILAC Mutual Recognition Agreement - International Laboratory Accreditation Cooperation and Bilateral Mutual Recognition Agreement with EA - European Cooperation for Accreditation.

As informações contidas no presente relatório (ou certificado) são obtidas a partir dos resultados de procedimentos de inspeção ou teste ou calibrações ou ensaios realizados em conformidade com as instruções do nosso cliente, e/ou a nossa avaliação de tais resultados com base em quaisquer normas técnicas, práticas comerciais ou usuais, ou outras circunstâncias que deveriam, em nossa opinião profissional, serem consideradas. Os resultados acima refletem aquilo que foi encontrado no local e na data da inspeção, teste ou calibração. Este relatório não libera os compradores e vendedores das suas responsabilidades contratuais, nem prejudica o direito de reclamação do comprador contra o fornecedor ou vendedor para compensação de qualquer defeito não detectado durante nossa verificação ou ocorrido depois, seja aparente ou oculto. Este documento é emitido pela Companhia sob suas condições gerais de serviços acessível em http://www.sgs.com/terms_and_conditions.htm. Chamamos atenção para os itens de limitação de responsabilidade, indenização e jurisdição ali definidos. Qualquer alteração não autorizada, rasura ou falsificação do conteúdo ou aparência deste documento é ilegal e os responsáveis poderão ser processados na extensão total da lei.

The information stated in this report (or certificate) is derived from the results of inspection or testing or calibration or essay procedures carried out in accordance with the instructions of our Client, and/or our assessment of such results on the basis of any technical standards, trade custom or practice, or other circumstances which should in our professional opinion be taken into account. The above reflects our findings at time and place of inspection, testing or calibration. This report does not release buyers or sellers from their contractual responsibilities nor does it prejudice buyer's right of claim toward sellers/suppliers for compensation for any apparent and/or hidden defects not detected during our inspection or occurring thereafter.

This document is issued by the Company under its General Conditions of Service accessible at http://www.sgs.com/terms_and_conditions.htm. Attention is drawn to the limitation of liability, indemnification and jurisdiction issues defined therein. Any unauthorized alteration, forgery or falsification of the content or appearance of this document is unlawful and offenders may be prosecuted to the fullest extent of the law.

Fim do Relatório

SGS LABMAT ANÁLISES E ENSAIOS DE MATERIAIS LTDA.

MATRIZ: Rua João Leonardo Fustalino, 201 - Distrito Industrial Uninorte - Piracicaba/SP - CEP: 13413-102 Tel./ Fax: (19) 3917-1670/ 3433-1091

UNIDADE GRANDE SÃO PAULO: Rua Águia, 208 - Itapegica - Guarulhos/SP - CEP: 07043-040 - Tel./Fax: (11) 2086-9090

www.grupolabmat.com.br

sac@grupolabmat.com.br

Empresa Solicitante: LINCOLN ELECTRIC DO BRASIL IND. E COM. LTDA.
AVENIDA PAPA JOAO PAULO I 1818, CUMBICA – CEP: 07170-350 – GUARULHOS/SP

Informações fornecidas pelo solicitante:

Material.....: ND
Amostra.....: CP - NAV
Documento.....: LEB
Fornecedor Declarado.....: ---
Natureza do ensaio/análise.....: Mecânico

RESULTADOS DO ENSAIO

1. Ensaio de impacto:

Temperatura -40,0°C
Centro de solda a 2mm superfície

Corpo de prova	Resultados Obtidos em Joules	*U (Joules)
CP1	40	± 2,6
CP2	28	± 2,6
CP3	38	± 2,6
Média	35	---

Temperatura -40,0°C
Centro de solda na intersecção

Corpo de prova	Resultados Obtidos em Joules	*U (Joules)
CP1	56	± 2,6
CP2	66	± 2,6
CP3	40	± 2,6
Média	54	---

Temperatura -20,0°C
Centro de solda a 2mm superfície

Corpo de prova	Resultados Obtidos em Joules	*U (Joules)
CP1	98	± 2,6
CP2	122	± 2,6
CP3	52	± 2,6
Média	91	---

SGS LABMAT ANÁLISES E ENSAIOS DE MATERIAIS LTDA.

MATRIZ: Rua João Leonardo Fustaino, 201 – Distrito Industrial Uninorte – Piracicaba/SP – CEP: 13413-102 Tel./ Fax: (19) 3917-1670/ 3433-1091
UNIDADE GRANDE SÃO PAULO: Rua Águia, 208 – Itapegica – Guarulhos/SP – CEP: 07043-040 – Tel./Fax: (11) 2086-9090

www.grupolabmat.com.br

sac@grupolabmat.com.br

Temperatura -20,0°C
Centro de solda na intersecção

Corpo de prova	Resultados Obtidos em Joules	*U (Joules)
CP1	86	± 2,6
CP2	68	± 2,6
CP3	132	± 2,6
Média	95	---

Temperatura 0,0°C
Centro de solda a 2mm superfície

Corpo de prova	Resultados Obtidos em Joules	*U (Joules)
CP1	172	± 2,6
CP2	134	± 2,6
CP3	152	± 2,6
Média	153	---

Temperatura 0,0°C
Centro de solda na intersecção

Corpo de prova	Resultados Obtidos em Joules	*U (Joules)
CP1	222	± 2,6
CP2	148	± 2,6
CP3	204	± 2,6
Média	191	---

Preparação: Conforme Norma ASTM A370:2011.

Ensaio: Norma ASTM A370:2011.

Condições Ambientais: Temperatura: 23,0°C

Dimensões: Largura CP: 10,0 mm Espessura CP: 10,0mm Comprimento: 55,0 mm Entalhe em V

Equipamento: LBM-034-4-SP - Indicador e Controlador de Temperatura - Certificado de calibração nº2964/13 - Novus - Validade: 30/09/15

LBM-153-SP - Máquina de Ensaio de Impacto - Certificado de Calibração nº 138625/ 138626-101-IPT - Validade: 31/07/15

Procedimento de análises/ensaios: PT-06-SP Ensaio de Impacto em Materiais Metálicos rev.G

Local do ensaio: SGS Labmat - Guarulhos - SP

*A incerteza expandida de medição relatada é declarada como a incerteza padrão da medição multiplicada pelo fator de abrangência k , o qual para uma distribuição t com graus de liberdade efetivos (ν_{eff}) corresponde a uma probabilidade de abrangência de aproximadamente 95%. A incerteza padrão da medição foi determinada de acordo com a publicação EA-4/02.

Data do recebimento da amostra: 13/10/2014

Data da conclusão do ensaio/análise: 23/10/2014

SGS LABMAT ANÁLISES E ENSAIOS DE MATERIAIS LTDA.

MATRIZ: Rua João Leonardo Fustaino, 201 - Distrito Industrial Uninorte - Piracicaba/SP - CEP: 13413-102 Tel./ Fax: (19) 3917-1670/ 3433-1091

UNIDADE GRANDE SÃO PAULO: Rua Águia, 208 - Itapegica - Guarulhos/SP - CEP: 07043-040 - Tel./Fax: (11) 2086-9090

www.grupolabmat.com.br

sac@grupolabmat.com.br

SGS**LABMAT****RELATÓRIO DE ENSAIO/ANÁLISE****Nº 002304-23805-14G-I-001****VIA ORIGINAL***"Laboratório pertencente à Rede Brasileira de Laboratórios de Ensaios"***Data do recebimento da amostra:**

13/10/2014

Data da conclusão do ensaio/análise: 22/10/2014

GUARULHOS - SP, 22 de Outubro de 2014

 Eng. Gustavo Santoro Ceccatto Coordenador de Laboratório - Unidade Guarulhos CREA 5069047976.	 Leandro Gusmão da Silva Técnico de Laboratório
--	--

Signatário Autorizado
Carimbo e Assinatura**Carimbo e Assinatura**

Os resultados apresentados no presente relatório têm significação restrita e se aplicam apenas às amostras ensaiadas/analizadas.

As amostragens enviadas para análise são realizadas pelo próprio cliente.

Este documento tem sua marca de autenticidade gravada. Este Relatório de Ensaio/Análise só deve ser reproduzido completo. Reprodução de partes requer aprovação escrita do Laboratório.

Este Relatório atende aos requisitos de Acreditação pela Cgcre/Inmetro, a qual avaliou a competência do laboratório.

A Cgcre é signatária do Acordo de Reconhecimento Mútuo da ILAC - International Laboratory Accreditation Cooperation e de Acordo Bilateral de Reconhecimento Mútuo com a EA - European Cooperation for Accreditation.

The results presented in this report are limited, and apply only to the samples tested / analyzed.

The samples sent for analysis are responsibility by the customer.

This document is authentic. This Test Report / Analysis can only be reproduced completely. Reproduction of parts requires written approval of the laboratory.

This report meets the requirements of the Accreditation Cgcre / INMETRO, which assessed the competence of the laboratory.

Cgcre is a signatory to the ILAC Mutual Recognition Agreement - International Laboratory Accreditation Cooperation and Bilateral Mutual Recognition Agreement with EA - European Cooperation for Accreditation.

As informações contidas no presente relatório (ou certificado) são obtidas a partir dos resultados de procedimentos de inspeção ou teste ou calibrações ou ensaios realizados em conformidade com as instruções do nosso cliente, e/ou a nossa avaliação de tais resultados com base em quaisquer normas técnicas, práticas comerciais ou aduaneiras, ou outras circunstâncias que deveriam, em nossa opinião profissional, serem consideradas. Os resultados acima refletem aquilo que foi encontrado no local e na data da inspeção, teste ou calibração. Este relatório não libera os compradores e vendedores das suas responsabilidades contratuais, nem prejudica o direito de reclamação do comprador contra o fornecedor ou vendedor para compensação de qualquer defeito não detectado durante nossa verificação ou ocorrido depois, seja aparente ou oculto.

Este documento é emitido pela Companhia sob suas condições gerais de serviços acessível em http://www.sgs.com/terms_and_conditions.htm. Chamamos atenção para os itens de limitação de responsabilidade, indenização e jurisdição ali definidos. Qualquer alteração não autorizada, rasura ou falsificação do conteúdo ou aparência deste documento é ilegal e os responsáveis poderão ser processados na extensão total da lei.

The information stated in this report (or certificate) is derived from the results of inspection or testing or calibration or essay procedures carried out in accordance with the instructions of our Client, and/or our assessment of such results on the basis of any technical standards, trade custom or practice, or other circumstances which should in our professional opinion be taken into account. The above reflects our findings at time and place of inspection, testing or calibration. This report does not release buyers or sellers from their contractual responsibilities nor does it prejudice buyer's right of claim toward sellers/suppliers for compensation for any apparent and/or hidden defects not detected during our inspection or occurring thereafter.

This document is issued by the Company under its General Conditions of Service accessible at http://www.sgs.com/terms_and_conditions.htm. Attention is drawn to the limitation of liability, indemnification and jurisdiction issues defined therein. Any unauthorized alteration, forgery or falsification of the content or appearance of this document is unlawful and offenders may be prosecuted to the fullest extent of the law.

Fim do Relatório**SGS LABMAT ANÁLISES E ENSAIOS DE MATERIAIS LTDA.****MATRIZ:** Rua João Leonardo Fustaino, 201 - Distrito Industrial Uninorte - Piracicaba/SP - CEP: 13413-102 Tel./ Fax: (19) 3917-1670/ 3433-1091**UNIDADE GRANDE SÃO PAULO:** Rua Águia, 208 - Itapegica - Guarulhos/SP - CEP: 07043-040 - Tel./Fax: (11) 2086-9090www.grupolabmat.com.brsac@grupolabmat.com.br

Empresa Solicitante: LINCOLN ELECTRIC DO BRASIL IND. E COM. LTDA.
AVENIDA PAPA JOAO PAULO I 1818, CUMBICA – CEP: 07170-350 – GUARULHOS/SP

Informações fornecidas pelo solicitante:

Material.....: ND
Amostra.....: CP - NAV
Documento.....: --
Fornecedor Declarado.....: --
Natureza do ensaio/análise.....: Metalográfico.

RESULTADOS DO ENSAIO

1. Análise macrográfica

Objetivo: Realizar análise da macroestrutura do cordão de solda.

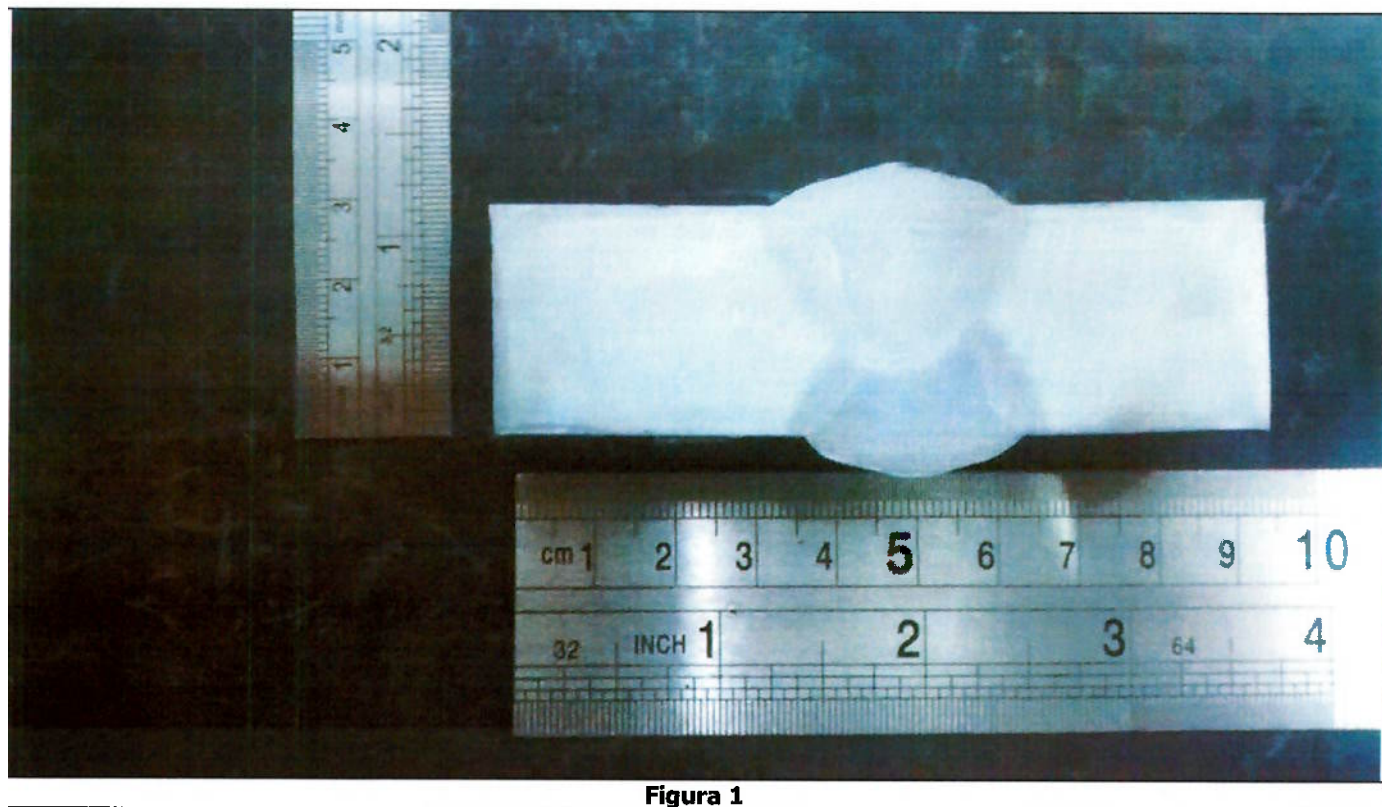


Figura 1

Macrografia: Foi realizada a análise macrográfica na seção transversal à solda, segue avaliação:

- Não foram evidenciadas trincas e indicações lineares;
- Não foram evidenciadas mordeduras;
- Não foram evidenciadas porosidades.
- Não foi evidenciada falta de penetração / fusão.

Ensaio / Análises realizados conforme descrições abaixo:

Ataque macrográfico: Nital 5%.

Análise: Referência na AWS D1.1.

Procedimento de Ensaios/Análises: PT 09 – SP-Ver. H – Análise Macrográfica em Materiais Metálicos.

Local do Ensaio/Análise: SGS Labmat Guarulhos.

SGS LABMAT ANÁLISES E ENSAIOS DE MATERIAIS LTDA.

MATRIZ: Rua João Leonardo Fustaino, 201 – Distrito Industrial Uninorte – Piracicaba/SP – CEP: 13413-102 Tel./ Fax: (19) 3917-1670/ 3433-1091
UNIDADE GRANDE SÃO PAULO: Rua Águia, 208 – Itapegica – Guarulhos/SP – CEP: 07043-040 – Tel./Fax: (11) 2086-9090

www.grupolabmat.com.br

sac@grupolabmat.com.br

SGS**LABMAT****RELATÓRIO DE ENSAIO/ANÁLISE****Nº 002304-23805-14G-I-001****VIA ORIGINAL***"Laboratório pertencente à Rede Brasileira de Laboratórios de Ensaios"*

GUARULHOS - SP, 23 de Outubro de 2014


Eng. Gustavo Santoro Ceccatto
Coordenador de Laboratório - Unidade Guarulhos
CREA 5069047976.

Signatário Autorizado
Carimbo e Assinatura


Leandro Gusmão da Silva
Técnico de Laboratório

Carimbo e Assinatura

Os resultados apresentados no presente relatório têm significação restrita e se aplicam apenas às amostras ensaiadas/analizadas.

As amostragens enviadas para análise são realizadas pelo próprio cliente.

Este documento tem sua marca de autenticidade gravada. Este Relatório de Ensaio/Análise só deve ser reproduzido completo. Reprodução de partes requer aprovação escrita do Laboratório.

Este Relatório atende aos requisitos de Acreditação pela Cgcre/INMETRO, a qual avaliou a competência do laboratório.

A Cgcre é signatário do Acordo de Reconhecimento Mútuo da ILAC - International Laboratory Accreditation Cooperation e de Acordo Bilateral de Reconhecimento Mútuo com a EA - European Cooperation for Accreditation.

The results presented in this report are limited, and apply only to the samples tested / analyzed.

The samples sent for analysis are responsibility by the customer.

This document is authentic. This Test Report / Analysis can only be reproduced completely. Reproduction of parts requires written approval of the laboratory.

This report meets the requirements of the Accreditation Cgcre / INMETRO, which assessed the competence of the laboratory.

Cgcre is a signatory to the ILAC Mutual Recognition Agreement - International Laboratory Accreditation Cooperation and Bilateral Mutual Recognition Agreement with EA - European Cooperation for Accreditation.

As informações contidas no presente relatório (ou certificado) são obtidas a partir dos resultados de procedimentos de inspeção ou teste ou calibrações ou ensaios realizados em conformidade com as instruções do nosso cliente, e/ou a nossa avaliação de tais resultados com base em quaisquer normas técnicas, práticas comerciais ou aduaneiras, ou outras circunstâncias que deveriam, em nossa opinião profissional, serem consideradas. Os resultados acima refletem aquilo que foi encontrado no local e na data da inspeção, teste ou calibração. Este relatório não libera os compradores e vendedores das suas responsabilidades contratuais, nem prejudica o direito de reclamação do comprador contra o fornecedor ou vendedor para compensação de qualquer defeito não detectado durante nossa verificação ou ocorrido depois, seja aparente ou oculto.

Este documento é emitido pela Companhia sob suas condições gerais de serviços acessível em http://www.sgs.com/terms_and_conditions.htm. Chamamos atenção para os itens de limitação de responsabilidade, indenização e jurisdição ali definidos. Qualquer alteração não autorizada, rasura ou falsificação do conteúdo ou aparência deste documento é ilegal e os responsáveis poderão ser processados na extensão total da lei.

The information stated in this report (or certificate) is derived from the results of inspection or testing or calibration or essay procedures carried out in accordance with the instructions of our Client, and/or our assessment of such results on the basis of any technical standards, trade custom or practice, or other circumstances which should in our professional opinion be taken into account. The above reflects our findings at time and place of inspection, testing or calibration. This report does not release buyers or sellers from their contractual responsibilities nor does it prejudice buyer's right of claim toward sellers/suppliers for compensation for any apparent and/or hidden defects not detected during our inspection or occurring thereafter.

This document is issued by the Company under its General Conditions of Service accessible at http://www.sgs.com/terms_and_conditions.htm. Attention is drawn to the limitation of liability, indemnification and jurisdiction issues defined therein. Any unauthorized alteration, forgery or falsification of the content or appearance of this document is unlawful and offenders may be prosecuted to the fullest extent of the law.

Fim do Relatório**SGS LABMAT ANÁLISES E ENSAIOS DE MATERIAIS LTDA.**

MATRIZ: Rua João Leonardo Fustalino, 201 - Distrito Industrial Uninorte - Piracicaba/SP - CEP: 13413-102 Tel./ Fax: (19) 3917-1670/ 3433-1091

UNIDADE GRANDE SÃO PAULO: Rua Águia, 208 - Itapegica - Guarulhos/SP - CEP: 07043-040 - Tel./Fax: (11) 2086-9090

www.grupolabmat.com.br

sac@grupolabmat.com.br

Empresa Solicitante: LINCOLN ELECTRIC DO BRASIL IND. E COM. LTDA.
AVENIDA PAPA JOAO PAULO I 1818, CUMBICA – CEP: 07170-350 – GUARULHOS/SP

Informações fornecidas pelo solicitante:

Material.....: ND
Amostra.....: CP - DX
Documento.....: ND
Fornecedor Declarado.....: ---
Natureza do ensaio/análise.....: Mecânico

RESULTADOS DO ENSAIO

1. Ensaio de impacto:

Temperatura 0°C
Centro de solda a 2mm da superfície

Corpo de prova A	Resultados Obtidos em Joules	*U (Joules)
CP1	46	± 2,6
CP2	40	± 2,6
CP3	43	± 2,6
Média	43	---

Temperatura -20°C
Centro de solda a 2mm da superfície

Corpo de prova B	Resultados Obtidos em Joules	*U (Joules)
CP1	25	± 2,6
CP2	23	± 2,6
CP3	33	± 2,6
Média	27	---

Temperatura -40°C
Centro de solda a 2mm da superfície

Corpo de prova C	Resultados Obtidos em Joules	*U (Joules)
CP1	13	± 2,6
CP2	15	± 2,6
CP3	11	± 2,6
Média	13	---

SGS LABMAT ANÁLISES E ENSAIOS DE MATERIAIS LTDA.

MATRIZ: Rua João Leonardo Fustaino, 201 – Distrito Industrial Uninorte – Piracicaba/SP – CEP: 13413-102 Tel./ Fax: (19) 3917-1670/ 3433-1091
UNIDADE GRANDE SÃO PAULO: Rua Águia, 208 – Itapegica – Guarulhos/SP – CEP: 07043-040 – Tel./Fax: (11) 2086-9090
www.grupolabmat.com.br sac@grupolabmat.com.br

Temperatura 0°C
Centro de solda na intersecção

Corpo de prova D	Resultados Obtidos em Joules	*U (Joules)
CP1	83	± 2,6
CP2	69	± 2,6
CP3	96	± 2,6
Média	83	---

Temperatura -20°C
Centro de solda na intersecção

Corpo de prova E	Resultados Obtidos em Joules	*U (Joules)
CP1	38	± 2,6
CP2	37	± 2,6
CP3	30	± 2,6
Média	35	---

Temperatura -40°C
Centro de solda na intersecção

Corpo de prova F	Resultados Obtidos em Joules	*U (Joules)
CP1	16	± 2,6
CP2	17	± 2,6
CP3	20	± 2,6
Média	18	---

Preparação: Conforme Norma ASTM A370:2011.

Ensaio: Norma ASTM A370:2011.

Condições Ambientais: Temperatura: 23,0°C

Dimensões: Largura CPA: 10,0 mm Espessura CPA: 10,0mm

Dimensões: Largura CPB: 10,0 mm Espessura CPB: 10,0mm

Dimensões: Largura CPC: 10,0 mm Espessura CPC: 10,0mm

Dimensões: Largura CPD: 10,0 mm Espessura CPD: 10,0mm

Dimensões: Largura CPE: 10,0 mm Espessura CPE: 10,0mm

Dimensões: Largura CPF: 10,0 mm Espessura CPF: 10,0mm

Comprimento: 55,0 mm **Entalhe em V**

Equipamento: LBM-034-4-SP - Indicador e Controlador de Temperatura - Certificado de calibração nº2964/13 - Novus - Validade: 30/09/2015

LBM-040-1-SP - Projetor de Perfil - Certificado de Calibração nº LMC 5701-13 - Contemp - Validade: 30/12/2014

LBM-153-SP - Máquina de Ensaio de Impacto - Certificado de Calibração nº 138625/ 138626-101-IPT - Validade: 31/07/2015

Procedimento de análises/ensaios: PT-06-SP Ensaio de Impacto em Materiais Metálicos rev.G

Local do ensaio: LABORATORIO - GUARULHOS

*A incerteza expandida de medição relatada é declarada como a incerteza padrão da medição multiplicada pelo fator de abrangência k , o qual para uma distribuição t com graus de liberdade efetivos ($veff$) corresponde a uma probabilidade de abrangência de aproximadamente 95%. A incerteza padrão da medição foi determinada de acordo com a publicação EA-4/02.

Data do recebimento da amostra: 24/10/2014

Data da conclusão do ensaio/análise: 29/10/2014

SGS LABMAT ANÁLISES E ENSAIOS DE MATERIAIS LTDA.

MATRIZ: Rua João Leonardo Fustalino, 201 - Distrito Industrial Uninorte - Piracicaba/SP - CEP: 13413-102 Tel./ Fax: (19) 3917-1670/ 3433-1091

UNIDADE GRANDE SÃO PAULO: Rua Águia, 208 - Itapegica - Guarulhos/SP - CEP: 07043-040 - Tel./Fax: (11) 2086-9090

www.grupolabmat.com.br

sac@grupolabmat.com.br

RELATÓRIO DE ENSAIO/ANÁLISE
Nº 002304-25121-14G-I-001-(S)

VIA ORIGINAL

"Laboratório pertencente à Rede Brasileira de Laboratórios de Ensaios"

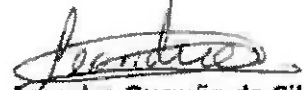
SGS

LABMAT



Nota: Este relatório cancela e substitui o relatório nº002304-25121-14G-I-001.

GUARULHOS - SP, 29 de Outubro de 2014

 Eng. Gustavo Santoro Ceccatto Coordenador de Laboratório - Unidade Guarulhos CREA 5069047976	 Leandro Gusmão da Silva Técnico de Laboratório
Signatário Autorizado Carimbo e Assinatura	Carimbo e Assinatura

Os resultados apresentados no presente relatório têm significação restrita e se aplicam apenas às amostras ensaiadas/analísadas.
As amostragens enviadas para análise são realizadas pelo próprio cliente.

Este documento tem sua marca de autenticidade gravada. Este Relatório de Ensaio/Análise só deve ser reproduzido completo. Reprodução de partes requer aprovação escrita do Laboratório.

Este Relatório atende aos requisitos de Acreditação pela Cgcre/Inmetro, a qual avaliou a competência do laboratório.

A Cgcre é signatário do Acordo de Reconhecimento Mútuo da ILAC - International Laboratory Accreditation Cooperation e de Acordo Bilateral de Reconhecimento Mútuo com a EA - European Cooperation for Accreditation.

The results presented in this report are limited, and apply only to the samples tested / analyzed.

The samples sent for analysis are responsibility by the customer.

This document is authentic. This Test Report / Analysis can only be reproduced completely. Reproduction of parts requires written approval of the laboratory.

This report meets the requirements of the Accreditation Cgcre / INMETRO, which assessed the competence of the laboratory.

Cgcre is a signatory to the ILAC Mutual Recognition Agreement - International Laboratory Accreditation Cooperation and Bilateral Mutual Recognition Agreement with EA - European Cooperation for Accreditation.

As informações contidas no presente relatório (ou certificado) são obtidas a partir dos resultados de procedimentos de inspeção ou teste ou calibrações ou ensaios realizados em conformidade com as instruções do nosso cliente, e/ou a nossa avaliação de tais resultados com base em quaisquer normas técnicas, práticas comerciais ou aduaneiras, ou outras circunstâncias que deveriam, em nossa opinião profissional, serem consideradas. Os resultados acima refletem aquilo que foi encontrado no local e na data da inspeção, teste ou calibração. Este relatório não libera os compradores e vendedores das suas responsabilidades contratuais, nem prejudica o direito de reclamação do comprador contra o fornecedor ou vendedor para compensação de qualquer defeito não detectado durante nossa verificação ou ocorrido depois, seja aparente ou oculto.

Este documento é emitido pela Companhia sob suas condições gerais de serviços acessível em http://www.sgs.com/terms_and_conditions.htm. Chamamos atenção para os itens de limitação de responsabilidade, indenização e jurisdição ali definidos. Qualquer alteração não autorizada, rasura ou falsificação do conteúdo ou aparência deste documento é ilegal e os responsáveis poderão ser processados na extensão total da lei. The information stated in this report (or certificate) is derived from the results of inspection or testing or calibration or essay procedures carried out in accordance with the instructions of our Client, and/or our assessment of such results on the basis of any technical standards, trade custom or practice, or other circumstances which should in our professional opinion be taken into account. The above reflects our findings at time and place of inspection, testing or calibration. This report does not release buyers or sellers from their contractual responsibilities nor does it prejudice buyer's right of claim toward sellers/suppliers for compensation for any apparent and/or hidden defects not detected during our inspection or occurring thereafter.

This document is issued by the Company under its General Conditions of Service accessible at http://www.sgs.com/terms_and_conditions.htm. Attention is drawn to the limitation of liability, indemnification and jurisdiction issues defined therein. Any unauthorized alteration, forgery or falsification of the content or appearance of this document is unlawful and offenders may be prosecuted to the fullest extent of the law.

Fim do Relatório

SGS LABMAT ANÁLISES E ENSAIOS DE MATERIAIS LTDA.

MATRIZ: Rua João Leonardo Fustalino, 201 - Distrito Industrial Uninorte - Piracicaba/SP - CEP: 13413-102 Tel./ Fax: (19) 3917-1670/ 3433-1091

UNIDADE GRANDE SÃO PAULO: Rua Águia, 208 - Itapegica - Guarulhos/SP - CEP: 07043-040 - Tel./Fax: (11) 2086-9090

www.grupolabmat.com.br

sac@grupolabmat.com.br

Empresa Solicitante: LINCOLN ELECTRIC DO BRASIL IND. E COM. LTDA.
AVENIDA PAPA JOAO PAULO I 1818, CUMBICA – CEP: 07170-350 – GUARULHOS/SP

Informações fornecidas pelo solicitante:

Material.....: ND
Amostra.....: CP-DX
Documento.....: ND
Fornecedor Declarado.....: ---
Natureza do ensaio/análise.....: Metalográfico.

RESULTADOS DO ENSAIO

1. Análise macrográfica

Objetivo: Realizar análise da macroestrutura do cordão de solda.

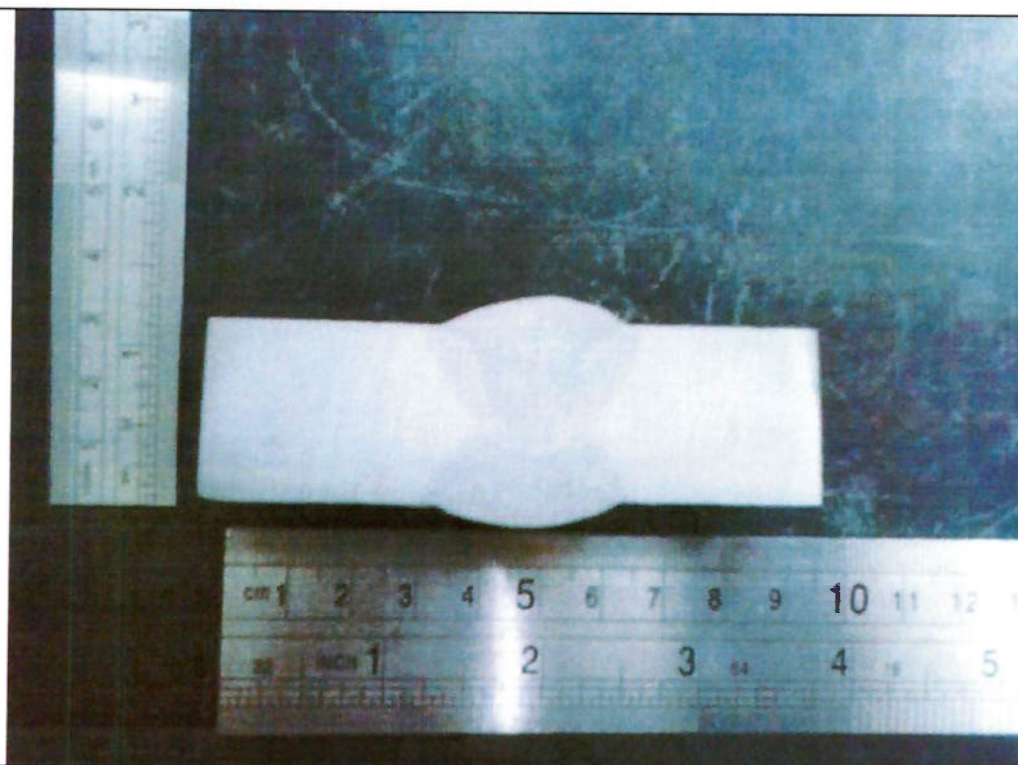


Figura 1

Macrografia: Foi realizada a análise macrográfica na seção transversal à solda, segue avaliação:

- Não foram evidenciadas trincas e indicações lineares;
- Não foram evidenciadas mordeduras;
- Não foram evidenciadas porosidades.
- Não foi evidenciada falta de penetração / fusão.

Ensaios / Análises realizados conforme descrições abaixo:

Ataque macrográfico: Nital 5%.

Análise: Referência na AWS D1.1.

Procedimento de Ensaios/Análises: PT 09 – SP- Rev. H – Análise Macrográfica em Materiais Metálicos.

Local do Ensaio/Análise: SGS Labmat Guarulhos.

SGS LABMAT ANÁLISES E ENSAIOS DE MATERIAIS LTDA.

MATRIZ: Rua João Leonardo Fustaino, 201 – Distrito Industrial Uninorte – Piracicaba/SP – CEP: 13413-102 Tel./ Fax: (19) 3917-1670/ 3433-1091
UNIDADE GRANDE SÃO PAULO: Rua Águia, 208 – Itapegica – Guarulhos/SP – CEP: 07043-040 – Tel./Fax: (11) 2086-9090

www.grupolabmat.com.br

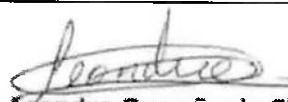
sac@grupolabmat.com.br

SGS**LABMAT****RELATÓRIO DE ENSAIO/ANÁLISE****Nº 002304-25121-14G-I-002****VIA ORIGINAL***"Laboratório pertencente à Rede Brasileira de Laboratórios de Ensaios"***Data do recebimento da amostra:**

24/10/2014

Data da conclusão do ensaio/análise: 27/10/2014

GUARULHOS - SP, 27 de Outubro de 2014

 Eng. Gustavo Santoro Ceccatto Coordenador de Laboratório - Unidade Guarulhos CREA 5069047976.	 Leandro Gusmão da Silva Técnico de Laboratório
---	--

Signatário Autorizado**Carimbo e Assinatura****Carimbo e Assinatura**

Os resultados apresentados no presente relatório têm significação restrita e se aplicam apenas às amostras ensaiadas/analizadas.

As amostragens enviadas para análise são realizadas pelo próprio cliente.

Este documento tem sua marca de autenticidade gravada. Este Relatório de Ensaio/Análise só deve ser reproduzido completo. Reprodução de partes requer aprovação escrita do Laboratório.

Este Relatório atende aos requisitos de Acreditação pela Cgcre/Inmetro, a qual avaliou a competência do laboratório.

A Cgcre é signatário do Acordo de Reconhecimento Mútuo da ILAC - International Laboratory Accreditation Cooperation e de Acordo Bilateral de Reconhecimento Mútuo com a EA - European Cooperation for Accreditation.

The results presented in this report are limited, and apply only to the samples tested / analyzed.

The samples sent for analysis are responsibility by the customer.

This document is authentic. This Test Report / Analysis can only be reproduced completely. Reproduction of parts requires written approval of the laboratory.

This report meets the requirements of the Accreditation Cgcre / INMETRO, which assessed the competence of the laboratory.

Cgcre is a signatory to the ILAC Mutual Recognition Agreement - International Laboratory Accreditation Cooperation and Bilateral Mutual Recognition Agreement with EA - European Cooperation for Accreditation.

As informações contidas no presente relatório (ou certificado) são obtidas a partir dos resultados de procedimentos de inspeção ou teste ou calibrações ou ensaios realizados em conformidade com as instruções do nosso cliente, e/ou a nossa avaliação de tais resultados com base em quaisquer normas técnicas, práticas comerciais ou aduaneiras, ou outras circunstâncias que deveriam, em nossa opinião profissional, serem consideradas. Os resultados acima refletem aquilo que foi encontrado no local e na data da inspeção, teste ou calibração. Este relatório não libera os compradores e vendedores das suas responsabilidades contratuais, nem prejudica o direito de reclamação do comprador contra o fornecedor ou vendedor para compensação de qualquer defeito não detectado durante nossa verificação ou ocorrido depois, seja aparente ou oculto.

Este documento é emitido pela Companhia sob suas condições gerais de serviços acessível em http://www.sgs.com/terms_and_conditions.htm. Chamamos atenção para os itens de limitação de responsabilidade, indenização e jurisdição ali definidos. Qualquer alteração não autorizada, rasura ou falsificação do conteúdo ou aparência deste documento é ilegal e os responsáveis poderão ser processados na extensão total da lei.

The information stated in this report (or certificate) is derived from the results of inspection or testing or calibration or essay procedures carried out in accordance with the instructions of our Client, and/or our assessment of such results on the basis of any technical standards, trade custom or practice, or other circumstances which should in our professional opinion be taken into account. The above reflects our findings at time and place of inspection, testing or calibration. This report does not release buyers or sellers from their contractual responsibilities nor does it prejudice buyer's right of claim toward sellers/suppliers for compensation for any apparent and/or hidden defects not detected during our inspection or occurring thereafter.

This document is issued by the Company under its General Conditions of Service accessible at http://www.sgs.com/terms_and_conditions.htm. Attention is drawn to the limitation of liability, indemnification and jurisdiction issues defined therein. Any unauthorized alteration, forgery or falsification of the content or appearance of this document is unlawful and offenders may be prosecuted to the fullest extent of the law.

Fim do Relatório**SGS LABMAT ANÁLISES E ENSAIOS DE MATERIAIS LTDA.****MATRIZ:** Rua João Leonardo Fustalino, 201 - Distrito Industrial Uninorte - Piracicaba/SP - CEP: 13413-102 Tel./ Fax: (19) 3917-1670/ 3433-1091**UNIDADE GRANDE SÃO PAULO:** Rua Águia, 208 - Itapegica - Guarulhos/SP - CEP: 07043-040 - Tel./Fax: (11) 2086-9090www.grupolabmat.com.brsac@grupolabmat.com.br

ANEXO III – Gráficos de Monitoramento de Soldagem

Os gráficos estão identificados por Lado 1 e Lado 2, que representam respectivamente o Primeiro e Segundo passe de solda, e por Arame 1 e Arame 2, que representam respectivamente o Primeiro e o Segundo eletrodo na configuração da tocha Tandem.

Estão apresentados de maneira gráfica a corrente de soldagem verdadeira em função do tempo e a tensão de arco verdadeira em função do tempo para cada passe de soldagem. Pode-se observar no gráfico que as regiões de início e final das curvas estão em branco, pois representam a área dos apêndices do corpo de provas e não devem ser consideradas para avaliação de estabilidade do arco elétrico.

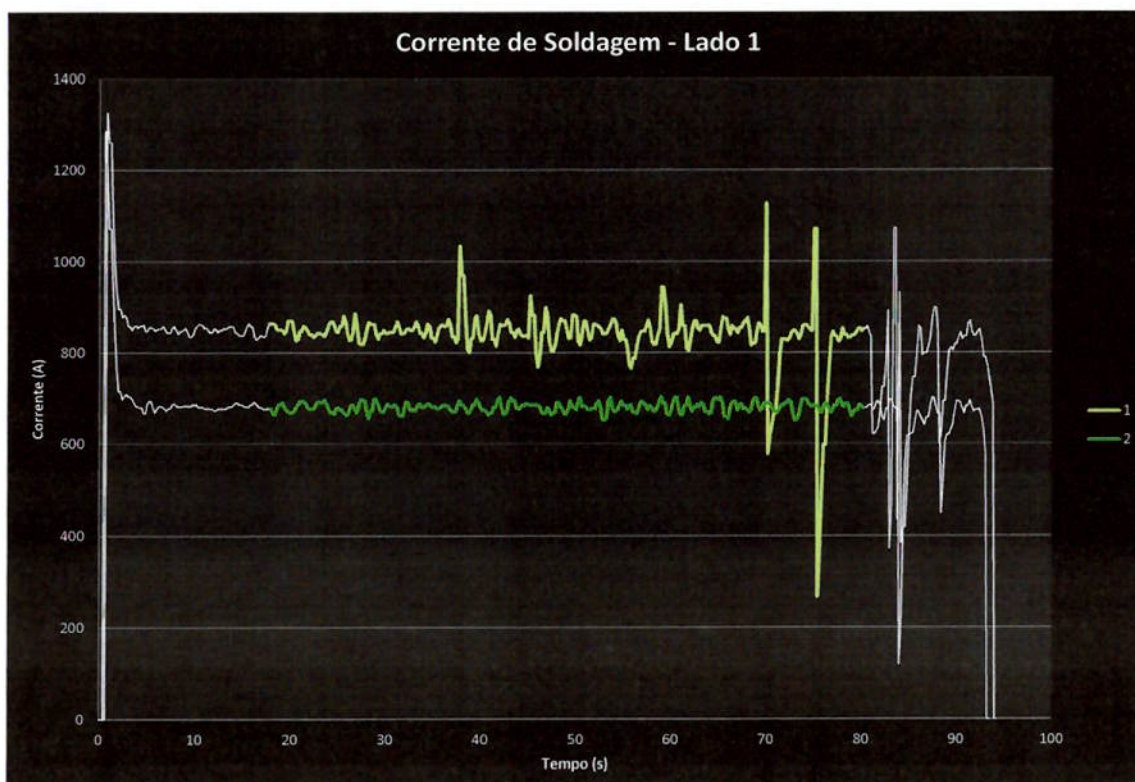


Figura 1 - Gráfico de monitoramento de corrente de soldagem para o CP-105 – Lado 1.

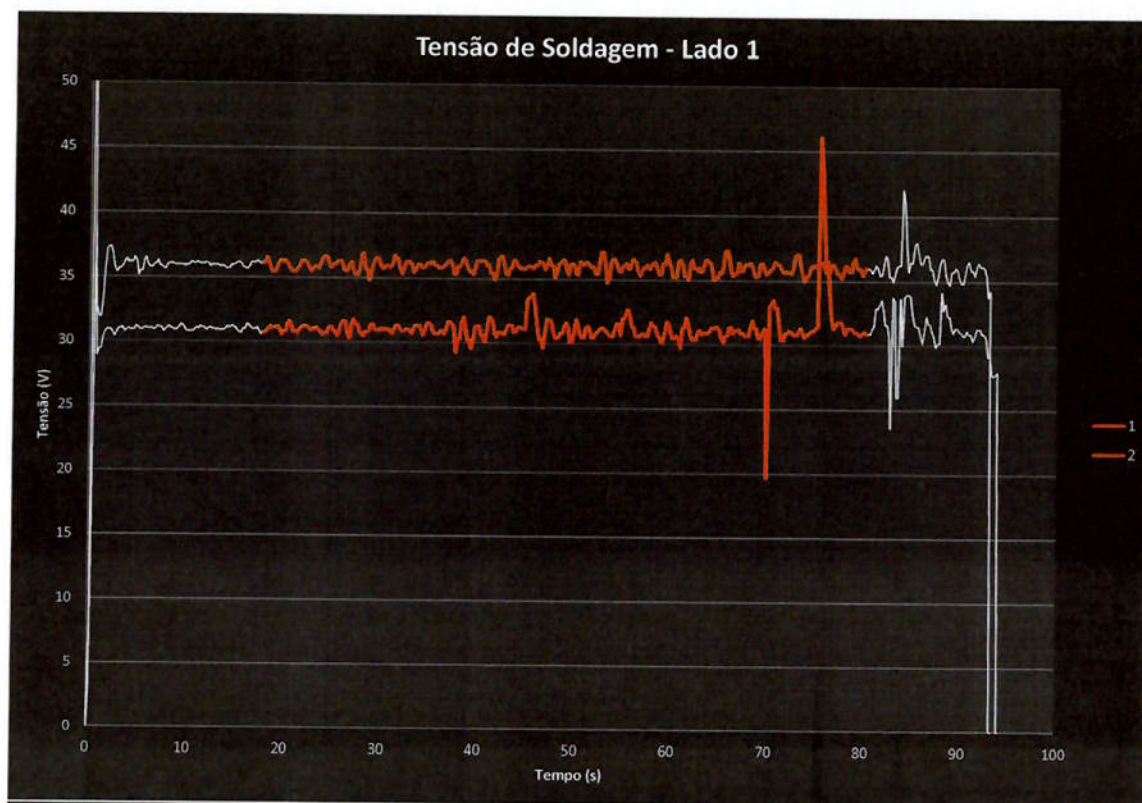


Figura 2 - Gráfico de monitoramento de tensão de arco para o CP-105 – Lado 1.



Figura 3 - Gráfico de monitoramento de corrente de soldagem para o CP-105 – Lado 2.

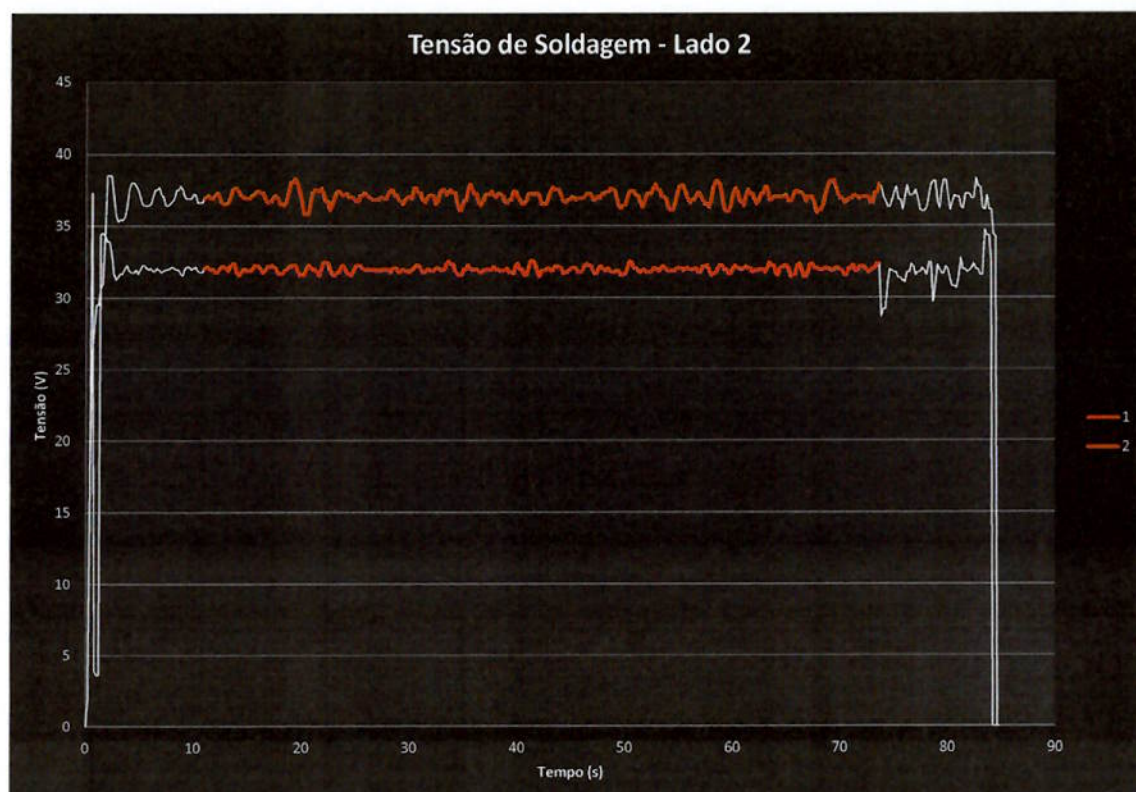


Figura 4 - Gráfico de monitoramento de tensão de arco para o CP-105 – Lado 2.



Figura 5 - Gráfico de monitoramento de corrente de soldagem para o CP-NAV – Lado 1.

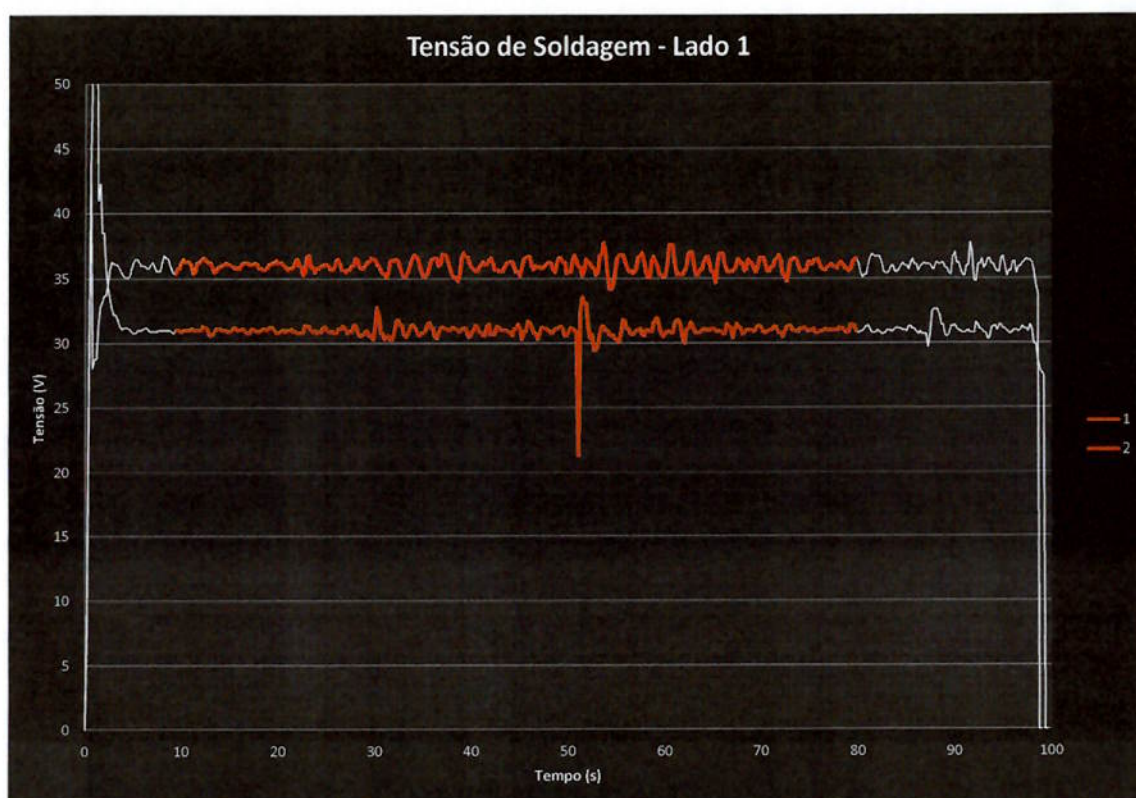


Figura 6 - Gráfico de monitoramento de tensão de arco para o CP-NAV – Lado 1.

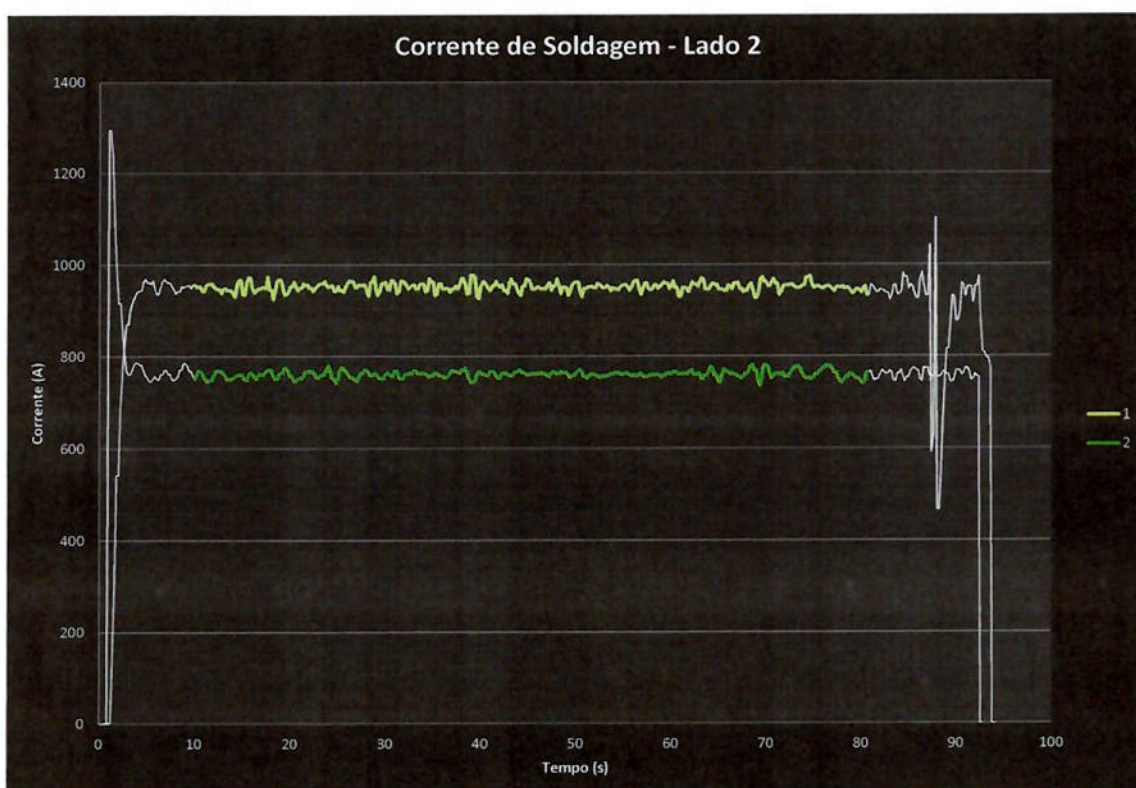


Figura 7 - Gráfico de monitoramento de corrente de soldagem para o CP-NAV – Lado 2.

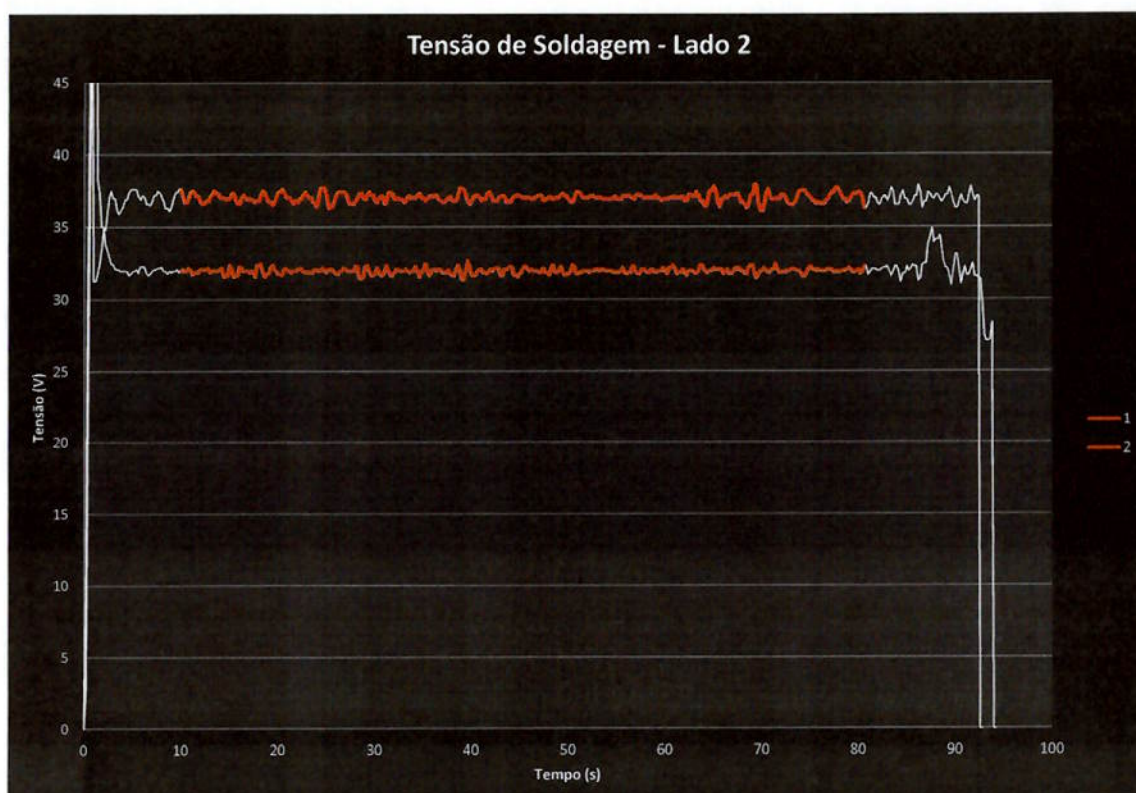


Figura 8 - Gráfico de monitoramento de tensão de arco para o CP-NAV – Lado 2.



Figura 9 - Gráfico de monitoramento de corrente de soldagem para o CP-DX – Lado 1.

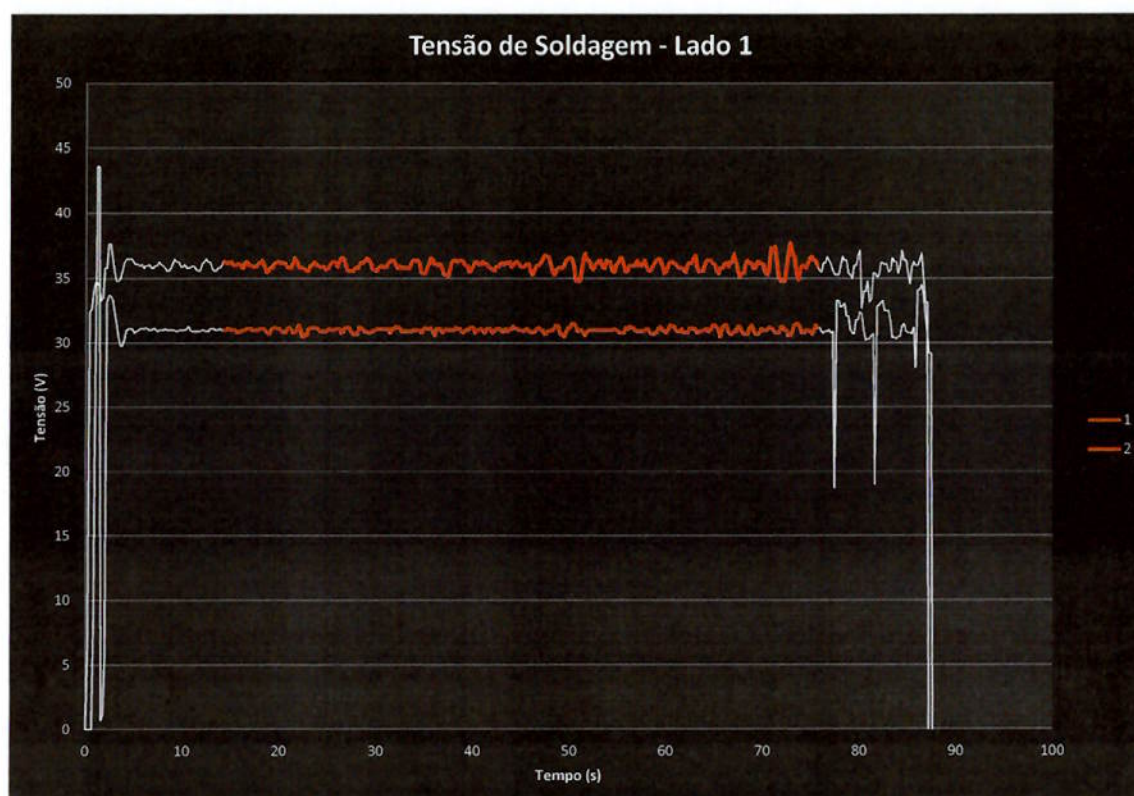


Figura 10 - Gráfico de monitoramento de tensão de arco para o CP-DX – Lado 1.

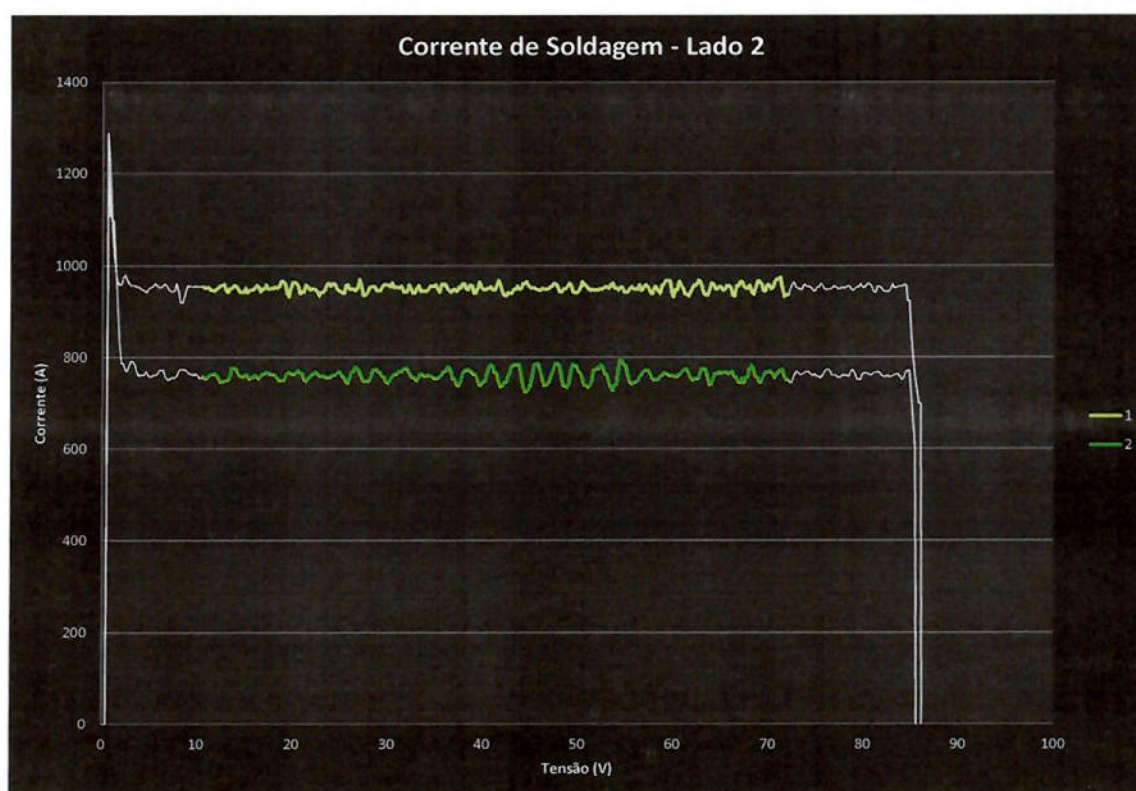


Figura 11 - Gráfico de monitoramento de corrente de soldagem para o CP-DX – Lado 2.

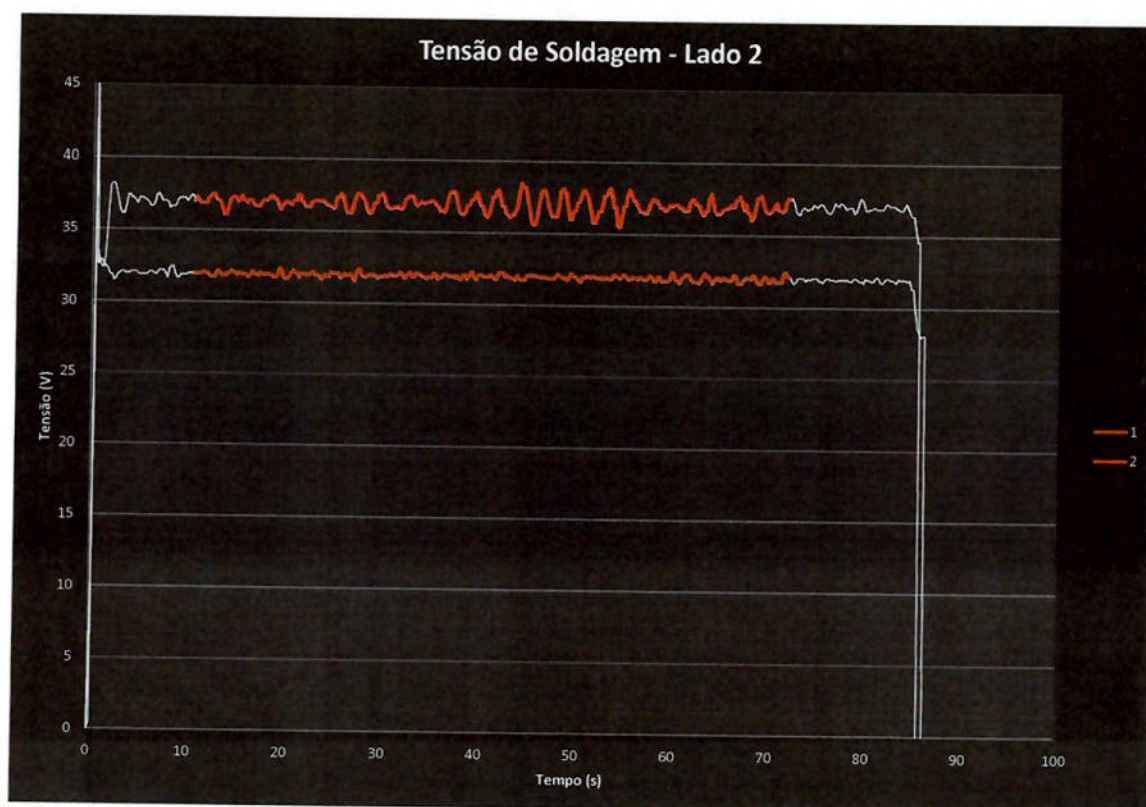


Figura 12 - Gráfico de monitoramento de tensão de arco para o CP-DX – Lado 2.