

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

Fernando de Oliveira Farizel

**SOLDAGEM EM OPERAÇÃO DE TUBULAÇÃO DE
AÇO CARBONO EM UNIDADES DE PROCESSOS
INDUSTRIAIS**

Taubaté – SP

2022

Fernando de Oliveira Farizel

**SOLDAGEM EM OPERAÇÃO DE TUBULAÇÃO DE
AÇO CARBONO EM UNIDADES DE PROCESSOS
INDUSTRIAIS**

Dissertação apresentada para obtenção do Título de Mestre pelo Curso de Engenharia Mecânica do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Taubaté.

Área de Concentração: Energia e Materiais

Orientador: Prof. Dr. José Rubens de Camargo

Taubaté – SP

2022

Ficha catalográfica elaborada por
Liliane Castro – Bibliotecária CRB-8/6748

- S729r Farizel, Fernando de Oliveira.
SOLDAGEM EM OPERAÇÃO DE TUBULAÇÃO DE AÇO CARBONO EM UNIDADES DE PROCESSOS INDUSTRIAIS: / Fernando de Oliveira Farizel - 2022.
108f.: il.
- Dissertação de Mestrado – Universidade de Taubaté, Departamento de Engenharia Mecânica, 2022.
Orientação: Prof. Dr. José Rubens de Camargo, Departamento de Engenharia Mecânica.
1. Soldagem de reforço. 2. Tubulação de aço carbono. 3. Soldagem em operação. 4. Eletrodo revestido. 5. Solda. I. Título.

Fernando de Oliveira Farizel

**SOLDAGEM EM OPERAÇÃO DE TUBULAÇÃO DE
AÇO CARBONO EM UNIDADES DE PROCESSOS
INDUSTRIAIS**

Dissertação apresentada para obtenção do Título de Mestre pelo Curso de Engenharia Mecânica do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Taubaté.

Área de Concentração: Energia e Materiais

Orientador: Prof. Dr. José Rubens de Camargo

Data: 22 de agosto de 2022.

Resultado: Aprovado

BANCA EXAMINADORA

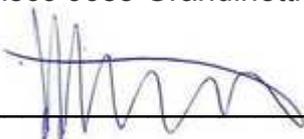
Prof. Dr. José Rubens de Camargo

Universidade de Taubaté

Assinatura  _____

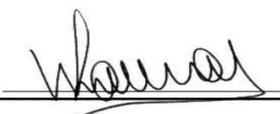
Prof. Dr. Francisco José Grandinetti

Universidade de Taubaté

Assinatura  _____

Prof. Dr. Wendell de Queiróz Lamas

EEL-USP

Assinatura  _____

DEDICATÓRIA

Dedico esta pesquisa a todas as pessoas que de uma forma ou de outra procuram encontrar os seus espaços para viverem e contribuírem para que os outros possam viver, caminhando na trilha do bem. Também a todos aqueles que anterior a mim, contribuíram disponibilizando tempo e dedicação para que a soldagem pudesse apresentar um desenvolvimento significativo e que de uma forma com as suas tecnologias permitir o desenvolvimento de projetos mais seguros.

A minha esposa Vanilde, por estar sempre presente comigo vibrando a cada conquista, aos meus filhos Engenheiros Ícaro e Ariadne que amo e tenho muito orgulho das vossas conquistas e por serem sempre parte da luz brilhante da nossa família.

Aos meus pais, pois sem os vossos cuidados e ensinamentos não teria alcançado nada.

AGRADECIMENTOS

A DEUS por sua imensa generosidade, a nossa Senhora por sempre deixar a sua luz acesa para que eu possa me guiar e aos Anjos que orientam esta caminhada.

Ao Prof. Dr. José Rubens de Camargo, meu orientador pela atenção prestada e apoio no processo de elaboração desta pesquisa.

Aos professores Doutores Miroslava Hamzagic Zaratín, Antônio Ricardo Mendrot, Filipe Wiltgen, Evandro Luís Nohara, Ana Beatriz Ramos Moreira, Francisco José Grandinetti e Wendell de Queiróz Lamas que compartilharam os vossos conhecimentos.

Aos alunos da turma 48 que juntos trilhamos nesta enriquecedora etapa de nossas vidas.

Ao Dr. Rafael G. Bonara, Engenheiro de materiais do laboratório LABMETAL Indústria, comércio e serviços de metalografia Ltda, pelos ensaios realizados e pelo suporte nas análises.

“Tudo que somos é resultado do que pensamos”

Buda (563 a.C – 483 a.C)

RESUMO

Para o desenvolvimento dessa pesquisa foi realizado a soldagem de um reforço e uma derivação em um corpo de prova de teste, com passagem de fluido interno, utilizando o processo de soldagem a arco elétrico com eletrodo revestido e TIG, representando uma tubulação em operação em unidades de processos industriais. Para a confecção do corpo de prova de teste, foi utilizado um tubo ASTM A 106 Gr. B, DN 8" x 1.400 mm, com 6 mm de espessura. As juntas soldas foram submetidas aos ensaios não destrutivos de visual, líquido penetrante e ultrassom, e aos ensaios destrutivos de tração, dobramento, fratura, macrografia, micrografia e dureza, para análise das suas propriedades e verificação dos atendimentos aos requisitos normativos. Todas as análises e ensaios realizados apresentaram resultados satisfatórios, sem nenhuma trinca, perfuração ou outro tipo de defeito que comprometesse a aplicação desta metodologia de soldagem onde necessário em unidades de processos industriais. Os dois tipos de soldas: de Penetração e em ângulo, atenderam aos requisitos normativos e as análises metalúrgicas. Com os resultados alcançados, verificou-se que é possível realizar uma soldagem em operação, com temperaturas de fluido na temperatura ambiente em torno de 25 °C, sem pressão e com uma vazão em torno de 8 m³/h é exequível.

Palavras-Chave: Soldagem de reforço. Tubulação de aço carbono. Soldagem em operação. Eletrodo revestido. Solda.

ABSTRACT

For the development of this research, the welding of a sleeves and a attachment was carried out in a test coupon, with internal fluid passage, using the electric arc welding process with coated electrode and TIG, representing a pipe in-service in industrial process units. For the preparation of the test coupon, an ASTM A 106 Gr. B, DN 8" x 1,400 mm tube, 6 mm thick, was used. The weld joints were submitted to non-destructive tests of visual, penetrating liquid and ultrasonic, and to destructive tests of traction, bend, fracture, macrography, micrography and hardness, to analyze their owners and verify compliance with normative requirements. All analyses and tests performed showed satisfactory results, without any crack, drilling or other type of defect that would compromise the application of this welding methodology where necessary in industrial process units. The two types of welds: Penetration and fillet, met the normative requirements and metallurgical analyses. With the results achieved, it was found that it is possible to perform a welding in operation, with fluid temperatures at room temperature around 25 °C, without pressure and with a flow of around 8 m³/h is feasible.

Key words: Reinforcement Welding. Carbon steel. Welding in operation. Electrode coated. Weld.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Tubulações de processos industriais	22
Figura 2 – Soldagem de reforço “tipo dois semicírculos”	24
Figura 3 – Soldagem de derivação.....	25
Figura 4 – Máquina de trepanação.....	26
Figura 5 – Diversas etapas do processo de trepanação.	26
Figura 6 – Alimentação o programa PRCI com dados de entrada (A) Detalhes da junta, (B) Composição química do metal base, (c) Parâmetros da soldagem (D) Dados operacionais.....	27
Figura 7 – Processo de soldagem eletrodo revestido.	34
Figura 8 – Proteção da poça de fusão	34
Figura 9 – Estufa de secagem de consumíveis.....	39
Figura 10 – Estufa de manutenção de consumíveis.....	40
Figura 11 – Estufa portátil para manutenção de eletrodos.....	40
Figura 12 – CCEN – comum para o processo TIG.....	42
Figura 13 – Processo de soldagem TIG.....	43
Figura 14 – Determinação da diluição pela geometria da solda.....	46
Figura 15 – Instrumentos de medição utilizados na medição de solda.	49
Figura 16 – Ensaio por líquido penetrante no passe de raiz de uma solda	50
Figura 17 – Inspeção por ultrassom	52
Figura 18 – Corpo de prova tubos ASTM A106 Gr. B nos diâmetros de 8” e 10”.....	53
Figura 19 – Fluxograma do planejamento experimental do estudo.....	54
Figura 20 – Controle do tempo de resfriamento na faixa de 250 °C a 100 °C:.....	55
Figura 21 – Soldagem do corpo de prova: (A) Soldagem do reforço “tipo dois semicírculos”; (B) Soldagem da derivação.....	56
Figura 22 – Configuração das juntas e sequencia de passes: (A) Longitudinais; (B) Circunferenciais e (C) Derivação.....	56
Figura 23 – Distribuição e tipo de passe / cordão de solda, na junta circunferencial.	59
Figura 24 – Ensaio por líquido penetrante: (A) Aplicação do LP; (B) Aplicação do revelador.	64

Figura 25 – Ensaio por ultrassom na solda longitudinal (A) e na Solda da derivação (B).	64
Figura 26 – Localização de retirada dos corpos de prova das soldas de ângulo das juntas sobrepostas	66
Figura 27 – Localização de retirada dos corpos de prova da solda da derivação	66
Figura 28 – Localização de retirada dos corpos de prova das soldas longitudinais ..	67
Figura 29 – Ensaio de macrografia da junta soldada circunferencial, da solda inferior (A) e da Solda da superior (B).....	73
Figura 30 – Ensaio de macrografia da junta soldada da derivação, da solda inferior (A) Ponto a 0°, (B) Ponto a 90°, (c) Ponto a 180° (B) Ponto a 270°.....	74
Figura 31 – Ensaio de dureza (HV10), distribuídos em cinco pontos.....	75
Figura 32 – Distribuição dos pontos dos ensaios micrográficos da junta soldada circunferencial do tubo de reforço	78
Figura 33 – Fotomicrografia com aumento de 200X (A) e 400X (B). Ponto 1.	78
Figura 34 – Fotomicrografia com aumento de 200X (A) e 400X (B). Ponto 2.	79
Figura 35 – Fotomicrografia com aumento de 200X (A) e 400X (B). Ponto 3.	79
Figura 36 – Fotomicrografia com aumento de 200X (A) e 400X (B). Ponto 4.	80
Figura 37 – Fotomicrografia com aumento de 200X (A) e 400X (B). Ponto 5.....	80
Figura 38 – Fotomicrografia com aumento de 200X (A) e 400X (B). Ponto 6.	81
Figura 39 – Fotomicrografia com aumento de 200X (A) e 400X (B). Ponto 7.	81
Figura 40 – Fotomicrografia com aumento de 200X (A) e 400X (B). Ponto 8... ..	82
Figura 41 – Distribuição dos pontos dos ensaios micrográficos da junta soldada da derivação.	83
Figura 42 – Fotomicrografia com aumento de 200X (A) e 400X (B). Ponto 1... ..	83
Figura 43 – Fotomicrografia com aumento de 200X (A) e 400X (B). Ponto 2... ..	84
Figura 44 – Fotomicrografia com aumento de 200X (A) e 400X (B). Ponto 3... ..	84
Figura 45 – Fotomicrografia com aumento de 200X (A) e 400X (B). Ponto 4... ..	85
Figura 46 – Fotomicrografia com aumento de 200X (A) e 400X (B). Ponto 5.	85
Figura 47 – Fotomicrografia com aumento de 200X (A) e 400X (B). Ponto 6... ..	86
Figura 48 – Fotomicrografia com aumento de 200X (A) e 400X (B). Ponto 7.	86
Figura 49 – Fotomicrografia com aumento de 200X (A) e 400X (B). Ponto 8.	87

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Agrupamento de materiais	30
Tabela 2 – P-Number de materiais ferrosos.....	32
Tabela 3 – Composição química % - Valores máximos	33
Tabela 4 – Requisitos de tração.....	33
Tabela 5 – Tipo de corrente, revestimento e posição de soldagem	35
Tabela 6 – Típica faixa de corrente	35
Tabela 7 – Classificação do Eletrodo	36
Tabela 8 – Propriedades mecânicas do metal de solda do eletrodo E7018.....	37
Tabela 9 – Ensaio requeridos da classificação do eletrodo E7018	37
Tabela 10 – Hidrogênio difusível do eletrodo E7018.....	38
Tabela 11 – Parâmetros de soldagem	57
Tabela 12 – Níveis reais e codificados para as variáveis potência * 0,06 e velocidade de soldagem segundo planejamento experimental	60
Tabela 13 – As variáveis de potência, velocidade de soldagem e as faixas estudadas para a soldagem.....	61
Tabela 14 – Matriz experimental.	62
Tabela 15 – Média dos valores obtida na medição do tempo de resfriamento de 250 °C a 100 °C.....	69
Tabela 16 – Resultado dos corpos de prova do ensaio de tração.....	70
Tabela 17 – Resultado do ensaio de dobramento dos corpos de prova da junta soldada longitudinal.	71
Tabela 18 – Resultado do ensaio de dobramento dos corpos de prova da junta soldada circunferencial.	71
Tabela 19 – Resultado do ensaio de dobramento dos corpos de prova da junta soldada da derivação.....	72
Tabela 20 – Resultado dos ensaios de fratura das juntas soldadas.	73
Tabela 21 – Valores dos ensaios de dureza Vickers (HV10).	75
Tabela 22 – Valores dos ensaios de dureza Vickers (HV10), da solda circunferencial	76
Tabela 23 – Valores dos ensaios de dureza Vickers (HV10), da solda derivação	77

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Estimativa da temperatura interna da tubulação durante a soldagem e profundidade de penetração.....	59
Gráfico 2 – De superfície gerado para os dados de entrada.....	63
Gráfico 3 – Resultados dos ensaios de tração.....	69
Gráfico 4 – Resultados dos ensaios de dureza Vickers (HV 10).....	75
Gráfico 5 – Resultados dos ensaios de dureza Vickers (HV 10).....	76
Gráfico 6 – Resultados dos ensaios de dureza Vickers (HV 10).....	77

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Exemplo de resultado do modelo PRCI <i>Thermal Analysis Model for Hot-Tapping Welding</i>	28
Quadro 2 – Condições típicas de armazenamento e secagem para eletrodos de soldagem por arco.....	41
Quadro 3 – Fluxograma da sequência padrão na soldagem de reparos.....	45
Quadro 4 – Quantidade de corpos de provas e de normas de referência	65

LISTA DE APÊNDICE

Apêndice I – Especificação de procedimento de soldagem (EPS).....	93
Apêndice II – Relatório de qualificação de procedimento de soldagem (RQP).....	97
Apêndice III – Relatório de registro de Soldagem (RRS)	103

LISTA DE SIGLAS

ASME	<i>The American Society of Mechanical Engineers</i>
AWS	<i>The American Welding Society</i>
ASTM	<i>The American Society for Testing and Materials</i>
ASM	<i>The American Society of Materials</i>
CP	Corpo de prova
CCEP	Corrente contínua (eletrodo positivo)
CCEN	Corrente contínua (eletrodo negativo)
DN	Diâmetro nominal
FEA	<i>Finite Element Analysis</i> (Análise por elementos finitos)
EPS	Especificação de procedimento de soldagem
GTAW	<i>Gas-Shielded Tungsten Arc Welding</i> (Soldagem a arco de gás tungstênio)
HV	<i>Hardness Vickers</i> (Dureza Vickers)
LE	Limite de escoamento
LF	Linha de fusão
LR	Limite de resistência a tração
MMA	<i>Manual Metal Arc</i> (Soldagem manual a arco elétrico)
MS	Metal de solda
MB	Metal base
PRCI	<i>Pipeline Research Council International</i> (conselho de pesquisa de duto internacional)
RQP	Registro de qualificação de procedimento

SMAW	<i>Shielded Metal Arc Welding</i> (Soldagem a arco elétrico com eletrodo revestido)
TIG	<i>Tungsten Inert Gas</i> (Soldagem por gás inerte de tungstênio)
ZAC	Zona afetada pelo calor

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
1.1	Objetivos	20
1.1.1	Objetivo geral	20
1.1.2	Objetivos específicos.....	20
1.2	Justificativa	20
1.3	Delimitação do Problema	21
1.4	Hipótese	21
1.5	Contribuição do trabalho	21
1.6	Organização do trabalho	21
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	22
2.1	Tubulações de processos industriais.....	22
2.2	Soldagem do tubo de reforço, tipo dois semicírculos (<i>full-encirclement welded steel sleeves</i>).....	23
2.3	Solda de derivação.....	24
2.4	Máquina para trepanação (<i>hot tapping machine</i>).....	25
2.5	Modelo computacional de análise térmica.....	27
2.6	Contextualização da atividade de soldagem em operação	29
2.7	Metal base	32
2.8	Tubo A106.....	32
2.9	Processo de soldagem a arco elétrico com eletrodo revestido	33
2.9.1	Fundamentos do processo	33
2.9.2	Equipamento para o processo de soldagem a arco elétrico com eletrodo revestido	34
2.9.3	Consumível de soldagem a arco elétrico com eletrodo revestido	36
2.9.4	Aplicação do processo com eletrodo revestido	41
2.10	Processo de soldagem TIG (GTAW).....	42
2.10.1	Fundamentos do processo	42
2.10.2	Equipamento para o processo de soldagem	43
2.10.3	Consumíveis de soldagem	44
2.10.4	Aplicação do processo de soldagem	44
2.11	Processos de soldagem de reparos em tubulações.....	44
2.11.1	Aplicação do processo de intervenção	44

2.11.2	Estudo de viabilidade de soldagem de reparos	44
2.12	Conceitos fundamentais de soldagem.....	45
2.12.1	Estrutura da zona fundida do metal de solda	45
2.12.2	Diluição.....	46
2.13	Trinca induzida pelo elemento hidrogênio	47
2.14	Carbono equivalente	47
2.15	Análise metalográfica	47
2.15.1	Macrografia	48
2.15.2	Micrografia.....	48
2.15.3	Ensaio não destrutivos	48
2.15.4	Ensaio visual	49
2.15.5	Ensaio por líquido penetrante.....	50
2.15.6	Ensaio por ultrassom.....	51
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	53
3.1	Materiais.....	53
3.2	Métodos.....	54
3.2.1	Planejamento experimental	54
3.2.2	Tempo de resfriamento	55
3.2.3	Desenvolvimento da soldagem	55
3.2.4	Estimativa da temperatura interna da tubulação durante a soldagem e profundidade de penetração.....	58
3.2.5	<i>Software Design Express</i>	60
3.2.5.1.	Planejamento experimental	61
3.3	Ensaio não destrutivos	63
3.4	Ensaio destrutivos	65
3.4.1	Desenvolvimento dos ensaios da pesquisa.....	65
3.4.2	Ensaio de tração.....	67
3.4.3	Ensaio de dobramento	67
3.4.4	Fratura (<i>Nick-Break</i>)	68
3.4.5	Ensaio Macrográfico.....	68
3.4.6	Ensaio de dureza.....	68
3.5	Ensaio metalográficos	68

Foi realizado o ensaio metalográfico por micrografia em oito pontos sendo oito na junta soldada circunferencial do tubo de reforço e oito na junta soldada para derivação, com

ataque com reagente químico nital 10% e aumento de 200 X e 400 X, na temperatura ambiente de 23 °C e com humidade relativa do ar de 55%.....	68
As amostras foram preparadas e analisadas conforme as normas ASTM E03-01 (ASTM, 2017a), ASTM E7-01 (ASTM, 2017b), ASTM E407-07 (ASTM, 2017c) e ASTM E883-11 (ASTM, 2017d).	68
4 RESULTADO E DISCUSSÕES.....	69
4.1 Tempo de resfriamento	69
4.2 Ensaios não destrutivos	69
4.3 Ensaios destrutivos	69
4.3.1 Ensaios de tração.....	69
4.3.2 Ensaios de dobramento.....	70
4.3.3 Ensaios de fratura	72
4.3.4 Ensaio Macrográfico.....	73
4.3.5 Ensaios de dureza.....	74
4.3.6 Ensaios de dureza (adicionais)	76
4.3.7 Ensaios metalográficos	78
4.3.7.1. Junta soldada circunferencial do tubo de reforço	78
4.3.7.2. Junta soldada da derivação.....	83
5 CONCLUSÕES	88
REFERÊNCIAS.....	89

1 INTRODUÇÃO

Para o processamento de produtos industriais com a propriedade de escoar, conhecidos como fluídos, sejam líquidos ou gasosos, assim como materiais pastosos e fluídos com sólidos em suspensão, são transportados através de tubulações que são constituídas por um conjunto de tubos e seus acessórios (TELLES, BARROS; 2001), que devem atender a diversas solicitações de temperaturas, de pressões e de diversos tipos de corrosões.

Essas tubulações industriais são utilizadas em diversas situações de plantas industriais, tais como de processo, de utilidades, de instrumentação, de transmissão hidráulica e de drenagem.

Nesse contexto o tubo de aço carbono é um material amplamente utilizado, devido à facilidade de conformação, à disponibilidade, ao custo, ao atendimento dos diversos requisitos dos projetos e à boa soldabilidade. Um exemplo desse grupo de materiais é o tubo de aço A106 Gr. B, conforme norma ASME II parte A (ASME, 2021) que foi utilizado para esta pesquisa, cujas propriedades atendem a diversas utilizações nas plantas de processos industriais.

O aço A106 é um tubo de aço carbono sem costura para serviços de altas temperaturas conforme norma ASME II parte A (ASME, 2021), fabricados comercialmente na faixa de diâmetros de 1/8" a 48" (DN 6 a 1200) e espessuras de 0,049" a 1,25" (1,24 a 31,75 mm), são amplamente utilizados em plantas de processo de produção de petróleo e gás natural de plataformas marítimas, de refinarias de petróleo, de plantas químicas, de indústrias farmacêuticas, de indústrias têxteis, de indústrias celulose e papel, de processamento de minério, de indústria alimentícia etc.

Constantemente se tem a necessidade de executar reparos de manutenção em função do desgaste do material, do modo de operação e / ou da instalação de uma derivação com um tubo novo para atender a alguma necessidade de melhoria operacional.

Um reparo é o trabalho realizado para restaurar uma parte de um tubo. Há trabalhos restaurativos que resultam em uma mudança na temperatura de projeto. O trabalho deve ser considerado uma alteração e os requisitos para uma reclassificação devem ser satisfeitos. Qualquer soldagem, operação de corte ou retificação em um

componente contendo pressão, que não seja considerada especificamente uma alteração, é considerado um reparo.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Esta pesquisa tem como proposta analisar a soldagem realizada em uma tubulação de aço carbono com passagem de água interna com uma determinada vazão e avaliar quanto a: 1. perfuração e 2. trinca.

1.1.2 Objetivos específicos

Relativo ao item 1. perfuração, que é causada pelo aporte térmico, após a realização da soldagem e registro dos parâmetros as soldas serão submetidas aos exames visual e de macrografia e analisado os resultados obtidos.

Relativo ao item 2. trinca, causada pela taxa de resfriamento por arraste de temperatura pelo fluxo interno do fluido, após a realização da soldagem as soldas serão submetidas aos ensaios não destrutivos, de líquido penetrante e de ultrassom, além de macrografia e micrografia e analisado os resultados obtidos.

1.2 Justificativa

Na indústria moderna, cada vez mais se considera a competitividade financeira associada a segurança. Esta pesquisa tem como fundamental a não parada para a realização de intervenções necessária aos processos industriais, seja para manutenção ou para alterações de projetos, sem perdas econômicas ao realizar tais trabalhos com confiabilidade e com segurança.

Em função da necessidade de uma intervenção de manutenção e / ou de melhorias operacionais de projeto, a proposição desta pesquisa será demonstrar a confiabilidade de execução de soldagem em operação e para tal, será realizada a soldagem de um corpo com um elemento estrutural soldado como reforço, constituído de dois semicírculos que se ajustam sobre toda a circunferência do tubo soldado pelo processo de eletrodo revestido (SMAW) nesse mesmo corpo de prova, será acrescida uma derivação soldada pelo processo TIG (GTAW). Esses pontos de solda serão submetidos a esforços mecânicos, a medição de dureza e a análises macrográfica e

micrográfica, além de ensaios não destrutivos, comparando e analisando os seus resultados.

1.3 Delimitação do Problema

Em unidades industriais que utilizam tubulações como meio de transporte para deslocamento de produtos processados, paradas de produção não programadas, para realização de manutenção ou montagem de novas derivações, utilizando processos de soldagem, geram perdas de faturamento e comprometimentos de cumprimento de prazos na entrega dos produtos, risco a pessoas e ao patrimônio.

1.4 Hipótese

Em caso de falha em intervenções com o processo de soldagem, o risco ao patrimônio, a pessoas pode ser enorme, gerado em função da dimensão do problema, causando até mesmo fechamento de unidades.

1.5 Contribuição do trabalho

Este trabalho detalha as etapas do processo de soldagem em operação para a execução de uma soldagem com segurança e mostra o caminho a ser seguido na elaboração de um procedimento suportado por normas técnicas.

1.6 Organização do trabalho

A organização do trabalho seguirá a metodologia. 1. seleção o material a ser utilizado; 2. definição dos consumíveis a serem utilizados para os processos de soldagem de eletrodo revestido e TIG; 3. montagem do corpo de prova; 4. soldagem do corpo de prova e registro dos parâmetros utilizados (corrente, tensão, velocidade de soldagem, número de passes e camadas de solda, temperatura inicial e de interpasses, vazão do fluído interno; 5. realização de ensaios não destrutivos (Visual, líquido penetrante e ultrassom); 6. realização de ensaios destrutivos (tração, dobramento fratura, dureza, macrografia e micrografia); 7. análise dos resultados, discussões e conclusão.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Tubulações de processos industriais

Tubulação é um conjunto de componentes de tubos utilizados em unidades de processos industriais para transportar, distribuir, misturar, separar, descarregar, medir ou controlar fluxos de produtos.

Componentes de tubulação, são elementos mecânicos adequados para realizar a junção ou a montagem de sistemas de tubulação contendo fluido sob pressão e apertados. Os componentes são acessórios como, flanges, juntas de vedação, parafusos, válvulas e dispositivos como juntas de expansão, mangueiras de pressão, filtros e instrumentos.

Elementos de tubulação são quaisquer materiais ou trabalho necessário para planejar e instalar um sistema de tubulação. Elementos da tubulação incluem especificações de projeto, materiais, componentes, suportes, fabricação, exame, inspeção e ensaios.

Instalação de tubulação, é composta de sistemas de tubulação projetados para os quais a seleção de uma edição de uma norma e o adendo é aplicável.

Submontagem de tubulação, é uma porção de um sistema de tubulação que consiste em um ou mais componentes de tubulação.

Sistema de tubulação relaciona tubulações interconectadas sujeitas ao mesmo conjunto ou conjuntos de condições de projeto, conforme norma ASME II parte A (ASME, 2021). A Figura 1 apresenta um conjunto de tubulações em uma unidade de processos industriais.

Figura 1 – Tubulações de processos industriais.



Fonte: O próprio autor.

2.2 Soldagem do tubo de reforço, tipo dois semicírculos (*full-encirclement welded steel sleeves*)

O reforço é um elemento estrutural soldado em um duto, ou tubulação, constituído de dois semicírculos que se ajustam sobre toda a circunferência do tubo, conforme norma N-2163 (PETROBRAS, 2016), projetados para atenderem solicitações de pressão. Ele é composto por dois elementos em forma de meio círculo, com duas soldas longitudinais e duas circunferenciais soldadas totalmente em seu contorno, conforme ilustra a Figura 2, soldadas pelo processo de soldagem a arco elétrico, normalmente pelo processo de eletrodo revestido (SMAW) por ser possível podermos controlar a penetração no metal base, trabalhando com uma corrente de baixa intensidade, utilizando um eletrodo de pequeno diâmetro.

A corrente de soldagem controla de forma bastante predominante todas as características operatórias do processo, o aspecto do cordão e as propriedades das juntas. Ela controla de modo direto a magnitude e a distribuição espacial da energia térmica disponível no arco elétrico, além da maior parte dos fenômenos que ali ocorrem (BRANDI, 2004), diminuindo o risco de perfuração durante a soldagem. Esse tipo de reparo é utilizado para reparar defeitos que podem eventualmente causar vazamentos ou para reforçar regiões que contém defeitos e reduzem a capacidade de carga axial do tubo, conforme norma ASME PPC-2 (ASME, 2018).

O critério que define os parâmetros seguros quanto ao risco de perfuração são os que produzem uma temperatura de superfície interna do tubo, abaixo da temperatura da superfície do cordão de solda. Usando eletrodo de baixo hidrogênio E7018, a temperatura limite da superfície interna para a qual a solda é considerada segura é de 982 °C, que está embasada, por uma série de experimentos realizados, onde se observou que a perfuração tende a ocorrer quando a temperatura da superfície interna excede o valor de 1.260 °C (BORING, 2012).

É necessário se observar na preparação da superfície a ser reparada, se há solda circunferencial ou longitudinal com reforço que possa interferir no acoplamento. Caso seja necessária à realização da remoção da mesma, a solda deve ser inspecionada por radiografia ou ultrassom antes da realização dessa tarefa, para assegurar a integridade da solda.

A dimensão é um fator importante, onde o comprimento mínimo deve ser de 100 mm e estendido no mínimo 50 mm além do defeito.

Nas soldas circunferenciais a margem da solda deve ter uma transição suave com o tubo de condução do produto de modo a minimizar o nível de tensão e o ângulo entre a solda e à margem do tubo de condução não deve haver nenhum entalhe ou defeito como mordedura.

Uma redução entre 50 e 80 % da pressão de operação da tubulação e de manutenção da vazão é recomendável enquanto o reparo estiver sendo executado. A Figura 2 ilustra uma soldagem de reforço.

Figura 2 – Soldagem de reforço “tipo dois semicírculos”.



Fonte: O próprio autor.

2.3 Solda de derivação

As conexões de derivações são projetadas e soldadas à linha principal para posteriormente serem perfuradas por uma máquina de trepanação (*hot tapping machine*) e ter acesso à linha de condução do produto.

A escolha da localização da instalação da derivação na linha principal de condução do produto é um dos fatores importantes neste processo e deve assegurar que a conexão posicionada permita a instalação, a operação e a remoção da máquina de trepanação. Na Figura 3 é mostrada uma soldagem de derivação.

Figura 3 – Soldagem de derivação.



Fonte: O próprio autor.

2.4 Máquina para trepanação (*hot tapping machine*)

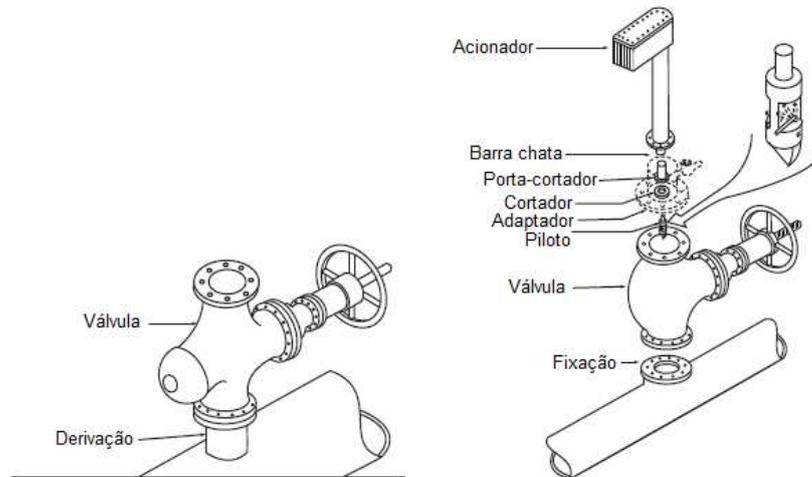
As máquinas de trepanação são dispositivos utilizados para executar perfuração em equipamentos, em tubulações industriais e em dutos em operação.

Essas máquinas de trepanação estão disponíveis comercialmente, embora algumas empresas prefiram construir suas próprias. Máquinas de trepanação podem ser alimentadas manualmente, por ar, por fluido hidráulico ou em eletricidade. Essas máquinas devem ser capazes de reter e remover todo material residual da perfuração. Os selos e os materiais da construção da máquina devem ser compatíveis com o conteúdo da tubulação.

O material da broca deve ser adequado para penetração efetiva do metal da tubulação e devem ser projetadas e construídas para suportarem as temperaturas, as pressões e as tensões mecânicas, que podem ser impostas durante a operação.

A Figura 4 mostra um tipo de máquina de trepanação.

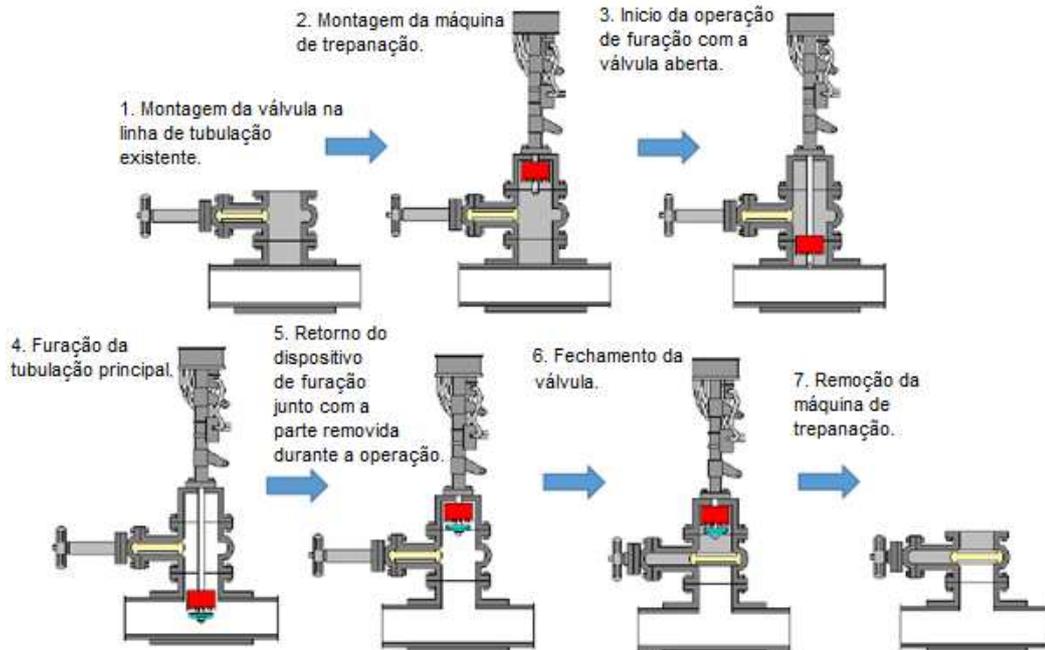
Figura 4 – Máquina de trepanação.



Fonte: Adaptado de API (2020).

O processo de trepanação é composto de diversas etapas, conforme mostrado na Figura 5, quais sejam a montagem da válvula na derivação da linha existente, a montagem da máquina de trepanação, o início da operação de furação, a furação da tubulação principal, o retorno do dispositivo de furação junto com a parte removida durante a operação, o fechamento da válvula e a remoção da máquina de trepanação.

Figura 5 – Diversas etapas do processo de trepanação.



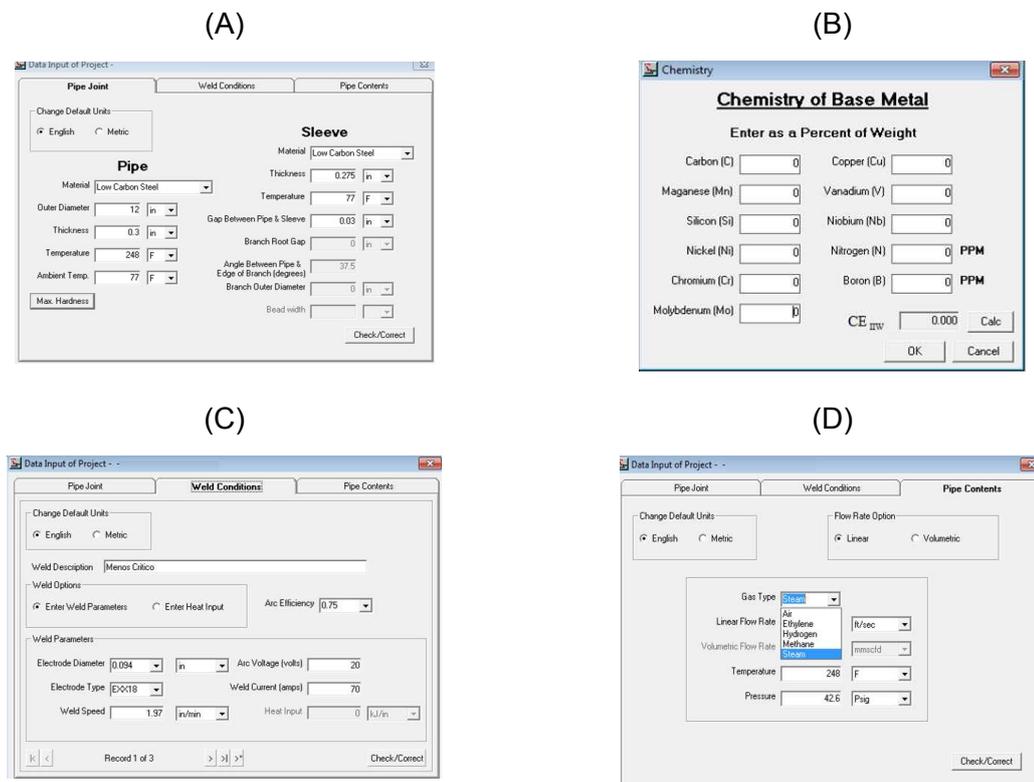
Fonte: Adaptado de Rosman (2017).

2.5 Modelo computacional de análise térmica

O modelo computacional mais utilizado para avaliar o risco de perfuração em soldagem em operação por deposição direta pelo processo de soldagem por eletrodo revestido é o PRCI *Thermal Analysis Model for Hot-Tap Welding - V 4.2*. Modelo de análise térmica, criado pelo *Edison Welding Institute (EWI)*, que utiliza uma solução numérica para prever a temperatura na superfície interna do tubo abaixo da região da poça de fusão.

Alimentando o programa com dados de entrada como, detalhes da junta: a) material, diâmetro externo, espessura, temperatura do fluido e temperatura ambiente do tubo existente; b) material, espessura, temperatura e abertura entre o ajuste do tubo e o reforço. Composição química do metal base, parâmetros da soldagem (diâmetro do eletrodo, tipo de eletrodo, tensão, corrente e velocidade de soldagem ou energia de soldagem) e dados operacionais (produto, vazão, temperatura e pressão), conforme mostrado na Figura 6.

Figura 6 – Alimentação do programa PRCI com dados de entrada: (A) Detalhes da junta; (B) Composição química do metal base; (c) Parâmetros da soldagem; (D) Dados operacionais.



Fonte: Adaptado do programa PRCI - (Edison Welding Institute, 2002).

Então se obtêm o resultado de viabilidade da realização da soldagem, conforme apresentado no Quadro 1.

A utilização do programa PRCI não substitui a qualificação do procedimento de soldagem, uma vez que depende dos dados obtidos na mesma para alimentar um dos itens dele.

Quadro 1 – Exemplo de resultado do modelo PRCI *Thermal Analysis Model for Hot-Tapping Welding*

Projeto: Qualificação de soldadores		Descrição:		Resultado F.E.A.	
Caso Número	Energia de sodagem [kj/pol]	Taxa de resfriamento máxima [°F / s] 1000 °F.	Tempo de resfriamento mínimo [t / s] (800-500°C).	Temperatura interna máxima [°C]	Dureza ZAC [HV]
1	8,23	393,2	0,55	383	419,34
2	12,86	158,3	1,34	461	369,40
3	22,50	68,2	3,46	581	281,67

Fonte: Adaptado do programa PRCI - (Edison Welding Institute, 2002).

O critério que define os parâmetros seguros quanto ao risco de perfuração são os que produzem uma temperatura de superfície interna do tubo, abaixo da poça de fusão, menor que um certo limite. Usando eletrodo de baixo hidrogênio, a temperatura limite da superfície interna para o qual a solda é considerada segura é 982 °C (1800 °F) e quando usando eletrodo celulósico o limite é 760 °C (1400 °F). Esses limites foram baseados em uma série de experimentos, no qual observou-se que a perfuração tendia a ocorrer quando a temperatura da superfície interna excedia o valor de 1260 °C (BORING, 2012).

A diferença de temperatura de 278 °C, para eletrodo de baixo hidrogênio, foi introduzida como uma margem de segurança. Este modelo de análise térmica tem previsto parâmetros de soldagem com segurança.

2.6 Contextualização da atividade de soldagem em operação

Em unidades de processos industriais, os sistemas de tubulações, que são um conjunto de tubos e acessórios utilizados para conduzir fluidos, interligadas entre si e/ou a equipamentos estáticos ou dinâmicos e sujeitos às mesmas condições de projeto (temperatura e pressão), conforme norma N-57 (PETROBRAS, 2017), são projetadas segundo os requisitos das normas de construção aplicáveis ao projeto.

Para a realização da atividade de soldagem em operação é utilizada como referência a norma de pós construção, conforme norma ASME B31.3 (ASME, 2018), reparo de tubulações e equipamentos, o qual pode ser temporário ou definitivo, conforme a circunstância aplicável.

Neste tipo de trabalho, para a execução de intervenções que necessitam de sobrepor a uma seção de um trecho da tubulação de condução de um fluido, ocasionada por uma redução de espessura devida algum tipo de corrosão gerada pelo desgaste durante a sua vida útil, o processo de soldagem por eletrodo revestido (SMAW) manual é preferencialmente utilizado, devido a seu mecanismo gerar uma menor penetração.

Para intervenções que necessitam realizar uma derivação da tubulação de condução de um fluido, devido ao projeto ter a necessidade de desviar o fluido para algum local desejado, o processo de soldagem preferencialmente utilizado é o TIG (GTAW), devido a configuração da junta ser para uma solda de penetração total e esse processo tem um controle melhor do passe de raiz.

Os procedimentos de soldagem, os soldadores e os operadores de soldagem devem ser qualificados de acordo com o código pós-construção. Se não for especificado de outra forma, conforme norma ASME IX (ASME, 2019b) será usada para a qualificação de procedimento e de soldadores. As orientações para tratamento térmico, preaquecimento, pós-aquecimento e para soldagem em operação, devem ser retiradas do código de construção aplicável ou do código de pós-construção.

Uma forma de otimizar os trabalhos, que o código ASME encontrou, é utilizar como metodologia o agrupamento dos diversos tipos de materiais com um mesmo número de *P-Number* de acordo com as características de cada metal, conforme mostrado na Tabela 1.

Conforme a definição da norma ASME IX (ASME, 2019b), *P-Numbers* são atribuídos aos metais base com o propósito de reduzir o número de procedimentos de soldagem. *P-Numbers* são designações alfanuméricas: Cada *P-Number* deverá ser considerado um *P-Number* separado (por exemplo, metais base atribuídos “P- No. 5A” são considerados um número “P” separado dos atribuídos “P -No. 5B” ou “P- No. 5C”).

Além disso, para metais base ferrosos têm sido criados números de grupo e subconjuntos de números P que são usados quando as EPSs necessitam ser qualificadas por testes de tenacidade exigidos por outras seções ou códigos. Essas atribuições baseiam-se essencialmente em metais base por comparações de características, tais como composição, soldabilidade e propriedades mecânicas, onde isso possa ser feito. Estas atribuições não implicam que metais de base possam ser indiscriminadamente substituídos por um metal de base que foi utilizado no teste de qualificação sem considerar a compatibilidade do ponto de vista das propriedades metalúrgicas, do tratamento térmico, do projeto, das propriedades mecânicas e dos requisitos de serviço.

Tabela 1: Agrupamento de materiais.

Metal base	Soldagem
Aço e aços ligas	P-Nº 1 a 15F
Alumínio e Ligas de alumínio	P-Nº 21 a 26
Cobre e ligas de cobre	P-Nº 31 a 35
Níquel e ligas de níquel	P-Nº 41 a 49
Titânio e ligas de titânio	P-Nº 51 a 53
Zircônio e ligas de zircônio	P-Nº 61 a 62

Fonte: ASME IX (ASME, 2019b).

Para a realização da soldagem os materiais seguirão as exigências da norma ASME PCC-2 (ASME, 2018) e os da norma ASME IX (ASME, 2019b), conforme a especificação de procedimento de soldagem e para os consumíveis de soldagem que

foram selecionados de acordo com as especificações, conforme a norma ASME II parte C (ASME, 2019a), referente aos consumíveis de soldagem.

A seção IX da norma ASME está relacionada à qualificação de soldadores, de operadores de soldagem, de brasagem, de operadores de solda, e de operadores de fusão, além dos procedimentos empregados na soldagem, na brasagem ou na fusão de plástico de acordo com o código de vasos de pressão e caldeira ASME e o código ASME B31 para tubulação de pressão. A Seção IX é um documento referenciado para a qualificação dos processos de materiais por diversas construções referenciadas por códigos tais como Seção I, III, IV, VIII, XII, etc. Esses códigos de construção específicos aplicam-se a tipos específicos de fabricação e pode impor requisitos adicionais ou isenções às qualificações da norma ASME IX (ASME, 2019b) e devem ser trabalhados em conjunto para a aprovação de procedimentos.

A norma ASME IX (ASME, 2019b) não contém regras para a fabricação de juntas, nem contém regras para cobrir todos os fatores que afetam as propriedades de materiais dessas juntas em todas as circunstâncias. Sendo que tais fatores são determinados pela organização para assegurar as propriedades de união desses materiais. A organização deve abordar esses fatores na especificação do procedimento para assegurar a garantia dessa união.

O objetivo da especificação do procedimento (EPS) e do registro de qualificação do procedimento de soldagem (RQPS) é garantir que o processo de soldagem proposto para determinado material seja capaz de produzir juntas com as propriedades mecânicas necessárias para a aplicação pretendida. O pessoal que realiza o teste de qualificação do procedimento de soldagem de material deve ser suficientemente especializado. O objetivo do teste de qualificação do procedimento é estabelecer as propriedades mecânicas da junta produzida pelo processo de soldagem dos materiais e não a verificar habilidade do pessoal que utiliza o processo de soldagem do material.

Cada processo de soldagem de material é avaliado e adotado pela Seção IX, é listado separadamente em variáveis essenciais e variáveis não essenciais, conforme se aplicam a esse processo específico. Em geral, as especificações do procedimento são obrigadas a listar todas as variáveis essenciais e não essenciais para cada processo incluídas nesse procedimento específico. Quando uma variável essencial

precisa ser alterada além da faixa qualificada, que não seja um editorial de revisão para corrigir um erro, é necessária a requalificação da especificação do procedimento de soldagem (EPS). Se uma alteração é feita em uma variável não essencial, o procedimento de soldagem (EPS) só precisa ser revisado ou corrigido para tratar dessa alteração. Quando o teste de tenacidade é necessário para a qualificação pelo código de construção, as variáveis essenciais tornam-se variáveis essenciais suplementares e uma mudança nessas variáveis requer requalificação da especificação do procedimento (EPS).

Essa pesquisa está baseada na norma ASME PCC-2 (ASME, 2018) que contém requisitos para soldagem, não sendo o objetivo desta pesquisa a qualificação do procedimento, mas sim a condução do processo e a utilização das suas diretrizes.

2.7 Metal base

Para garantir a qualidade e a confiabilidade dos procedimentos de soldagem envolvidos na união da solda de reforço e da derivação, foi realizada uma análise e interpretação dos materiais envolvidos e das normas.

Nesta pesquisa o metal base é o tubo A106 Gr. B e a sua classificação está descrita na Tabela 2.

Tabela 2 - P-Number de materiais ferrosos.

Especificação	Grau	UNS No.	Mínima resistência à tração especificada ksi (Mpa)	P-No.	Grupo No.	Produto forma
A106	B	K03006	70 (485)	1	1	Tubo, sem costura

Fonte: ASME II parte A (ASME,2021).

2.8 Tubo A106

Este tubo é especificado de acordo com a norma ASME II parte A (ASME, 2021), que sendo o classifica como tubo de aço carbono sem costura para serviço de alta temperatura, especificado como grau A, grau B e grau C. Nesta pesquisa será

utilizado o tubo grau B, na Tabela 3 estão especificadas as suas propriedades químicas.

Tabela 3 – Composição química [%] - valores máximos.

Elementos	C	Mn	P	S	Si	Cr	Mo	Ni	Va
	0,30	0,29-1,06	0,035	0,035	0,10	0,40	0,15	0,40	0,08

Fonte: ASME II parte A (ASME,2021).

Na Tabela 4 estão especificados os requisitos de ensaios mecânicos.

Tabela 4 – Requisitos de tração.

Exigências mecânicas	
Resistência à tração, min, MPa	415
Resistência ao escoamento, min, MPa	240
Alongamento em 50 mm, min, %	12

Fonte: ASME II parte A (ASME,2021).

2.9 Processo de soldagem a arco elétrico com eletrodo revestido

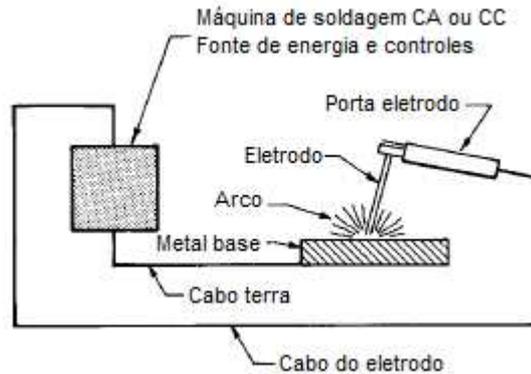
2.9.1 Fundamentos do processo

O Processo de soldagem a arco elétrico com eletrodo revestido (SMAW – *shielded metal arc welding*) também conhecida como soldagem manual a arco elétrico (MMA – *manual metal arc*) basicamente é composto de uma fonte de energia de corrente alternada ou contínua, equipada com dispositivos de controle necessários, tais como de corrente e de tensão, conectada por dois cabos de condução de energia, um sendo o cabo terra que faz a ligação entre o metal base e a fonte de energia e o outro o cabo do porta eletrodo, que faz a ligação entre a fonte de energia e o eletrodo, ligados nos polos positivo e negativo da máquina de solda, conforme ilustrado na Figura 7. Quando o circuito é energizado e o eletrodo faz contato com o metal base (peça de trabalho) aterrado e, criando um arco.

Esse arco tem a capacidade de produzir uma temperatura de aproximadamente 3.590 °C na ponta do eletrodo, sendo mais do que suficiente para fundir diversos

metais bases existentes. O calor produzido funde o metal base nas proximidades do arco e o metal de adição (eletrodo).

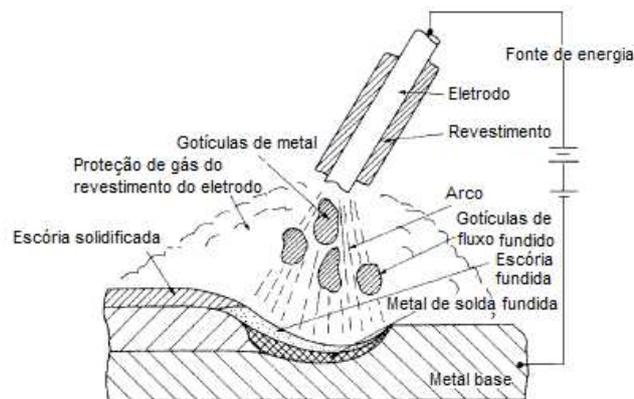
Figura 7 – Processo de soldagem eletrodo revestido.



Fonte: Adaptado de ASM (1993).

Uma proteção da soldagem da poça de fusão, conforme ilustrado na Figura 8, é gerada pelo revestimento do eletrodo que tem a função de proteger de gases provenientes do ar.

Figura 8 – Proteção da poça de fusão.



Fonte: Adaptado de ASM (1993).

2.9.2 Equipamento para o processo de soldagem a arco elétrico com eletrodo revestido

Para a realização da soldagem pelo processo de soldagem a arco elétrico com eletrodo revestido são utilizados três tipos de fontes: transformador, transformador-retificador e inversor.

Esta pesquisa está baseada na utilização de uma fonte inversora que trabalha com um transformador pequeno, o que é possível quando a frequência da corrente alternada é elevada, melhorando assim, a eficiência do transformador.

Essa fonte permite uma resposta rápida, uma saída variável e reproduzível, estabilidade, possibilidade de multi processos, além da vantagem de possuir uma dimensão compacta (MODENESI, 2005).

A seleção do tipo de corrente (corrente alternada ou corrente contínua) é baseada no tipo de solda a ser realizada e nos tipos de eletrodos que são adequados para uso, conforme mostrado na Tabela 5.

Tabela 5 – Tipo de corrente, revestimento e posição de soldagem.

Classificação	Tipo de revestimento	Posição de soldagem	Tipo de corrente
E7018	Baixo hidrogênio potássio, pó de ferro.	P, V, H e SC.	CCEP
P – Plana, V – Vertical, H – Horizontal, SC – Sobre cabeça CCEP – Corrente contínua eletrodo positivo			

Fonte: ASME II parte C (ASME, 2019a).

A Tabela 6 mostra a faixa de corrente de soldagem para soldagem do eletrodo E7018, que normalmente são utilizadas em função do diâmetro

Tabela 6 – Típica faixa de corrente.

Classificação	Diâmetro (mm)	Corrente (A)
E7018	2,4	70 a 110
	3,2	105 a 155

Fonte: ASME II parte C (ASME, 2019a).

2.9.3 Consumível de soldagem a arco elétrico com eletrodo revestido

As especificações dos eletrodos revestidos que atendem a soldagem de aço carbono estão descritas na norma ASME II parte C (ASME, 2019a). Essa especificação detalha os requisitos para a classificação dos eletrodos revestidos que atendem à soldagem.

O eletrodo revestido deve ser identificado de acordo com a sua especificação. Nesta pesquisa, o E7018, conforme mostrado na Tabela 7, à letra “E” tem como significado eletrodo. Os primeiros dois dígitos, “70” demonstra o valor da resistência mínima do metal de solda 70.000 psi (490 MPa), os dígitos subsequentes “18” o número 1 sozinho indica que é desenvolvido para realizar a soldagem em todas as posições (plana, horizontal, vertical e sobre cabeça), os dois dígitos quando unidos indica o tipo de revestimento e corrente devido ao tipo de revestimento com que ele é produzido.

Pode-se ainda aparecer uma designação opcional como, por exemplo, o H* que mostra que o eletrodo tem uma média de hidrogênio difusível em ml(H₂)/100 g do metal de solda testado.

É muito importante a análise do certificado em todos os seus requisitos, para assegurar uma aplicação do consumível com segurança.

Tabela 7 – Classificação do eletrodo revestido.

Identificação do eletrodo E7018	
E	Eletrodo revestido
70	Resistência à tração 70.000 psi (490 MPa)
18	Baixo hidrogênio, revestimento com pó de ferro, soldagem em todas as posições, corrente alternada ou corrente contínua, eletrodo positivo.

Fonte: ASME II parte C (ASME, 2019a).

São classificados com base em quatro requisitos:

(1) Tipo de corrente (Tabela 7);

- (2) Tipo de revestimento (Tabela 7);
- (3) Posição de soldagem (Tabela 7);
- (4) Propriedades mecânicas do metal de solda (Tabela 8).

Na Tabela 8 são mostrados os requisitos de propriedades mecânicas do metal de solda.

Tabela 8 – Propriedades mecânicas do metal de solda do eletrodo E7018.

Exigências do teste de tração			
Classificação	Resistência tração	Resistência escoamento	Alongamento
E7018	490 MPa	400 MPa	22 %

Fonte: ASME II parte C (ASME, 2019a).

São requeridos os ensaios da Tabela 9, que definidos, segundo a norma de classificação dos consumíveis e uma vez atingidos ou superando os valores definidos, estão certificados e aprovados para aplicação.

Tabela 9 – Ensaio requeridos da classificação do eletrodo E7018.

Testes requeridos						
Classificação	Tipo de corrente	Composição química	Teste de sanidade (Radiografia)	Teste de tração	Teste de solda em ângulo	Teste de umidade
E7018	CA e CCEP	R	R – (Grau 1)	R	R	R – (0.4%)

R – Requerido

Fonte: ASME II parte C (ASME, 2019a).

O único requisito de teste implícito nessa certificação é que o fabricante realmente tenha realizado os testes exigidos pela especificação em material que é representante do que está sendo enviado e que o material atendeu aos requisitos da especificação. Material representativo, neste caso, é qualquer execução de produção

dessa classificação usando a mesma formulação. Certificação não deve ser interpretada e, sim significar que testes de qualquer tipo foram necessariamente realizados em amostras do material específico enviado. Testes em tal material podem ou não ter sido feito. A base para a certificação exigida pela especificação é a classificação do teste do material representativo citado na Tabela 9 e o programa de garantia de qualidade do fabricante.

A trinca induzida por hidrogênio no metal de solda ou na zona afetada pelo calor geralmente não é um problema em aços carbono com percentual de até 0,30 % de carbono.

Uma vez que o nível de hidrogênio difusível disponível influencia fortemente a tendência à indução de trincas pelo hidrogênio, pode ser desejável medir o conteúdo de hidrogênio difusível resultante da soldagem com um eletrodo revestido. Essa especificação inclui, portanto, o uso de caracteres opcionais (por exemplo, H8) para hidrogênio difusível e indicar o valor médio máximo obtido sob uma condição de teste claramente definida e mostrado na Tabela 10.

Tabela 10 – Hidrogênio difusível do eletrodo E7018.

Classificação	Designação suplementar para o controle de hidrogênio difusível	Concentração máxima de hidrogênio difusível
E7018	H8	8 ml(H ₂)/100 g

Fonte: ASME II parte C (ASME, 2019a).

O uso de uma condição atmosférica de referência durante a soldagem é necessário porque o arco está sujeito à contaminação atmosférica devido a uma proteção imperfeita. A umidade do ar, distinta do que no eletrodo, pode entrar no arco e, posteriormente, na poça de fusão, contribuindo para uma resultante de hidrogênio difusível observada. Esse efeito pode ser minimizado mantendo um comprimento de arco tão curto quanto possível, consistente com um arco constante. A experiência mostrou que o efeito do comprimento do arco é menor no nível H16, mas pode ser muito significativo no nível H4. Um eletrodo que atende ao H4, requisitos sob as condições atmosféricas de referência, pode não o atender sob condições de umidade alta no momento da soldagem, especialmente se um comprimento de arco longo é mantido.

Eletrodos de baixo hidrogênio podem absorver uma quantidade de umidade significativa se armazenados em ambientes úmidos, embalagens abertas ou danificadas, ou especialmente se desprotegidos por longos períodos. Nos piores casos de alta umidade, mesmo exposição de eletrodos desprotegidos por apenas 2 horas, podem levar a um aumento significativo de hidrogênio difusível. No caso de eletrodos que foram expostos, o fabricante deve ser consultado sobre danos prováveis ao hidrogênio característico e possível condicionamento dos eletrodos.

Nem todas as classificações podem estar disponíveis nos níveis de hidrogênio difusível H16, H8 e H4. O fabricante de um determinado eletrodo deve ser consultado quanto à disponibilidade de produtos que atendam a esses limites.

O hidrogênio pode ter efeitos adversos nas soldas de alguns aços sob certas condições. Uma fonte disso, o hidrogênio é a umidade no revestimento dos eletrodos. Por esse motivo, o armazenamento, o tratamento e o manuseio adequados dos eletrodos são necessários.

Os eletrodos são fabricados dentro dos limites de umidade aceitáveis, compatíveis com o tipo de revestimento e a resistência do metal de solda. Eles são normalmente embalados em caixas que foram projetadas para fornecer o grau de proteção contra umidade considerada necessária para o tipo de revestimento.

Após a abertura da embalagem os mesmos devem sofrer um tratamento em uma estufa de secagem de consumíveis mostrada na Figura 9, na faixa de temperatura entre 260 e 420 °C, de uma a duas horas, e, após, até a sua aplicação mantida na faixa de 30 a 170 °C nas estufas de manutenção de consumíveis e na estufa portátil para manutenção de eletrodos como mostrado nas Figuras 10 e 11. A maneira pela qual os eletrodos foram produzidos e a umidade relativa, assim com as condições de temperatura sob as quais os eletrodos são armazenados determinam o tempo apropriado e a temperatura utilizada para condicionamento, mostrado no Quadro 2.

Figura 9 – Estufa de secagem de consumíveis.



Fonte: SENAI-BA Cimatec (2012).

Após a secagem, os consumíveis devem passar para uma estufa de manutenção (Figura 10), que fará a conservação do consumível no estado "seco", pronto para utilização.

Figura 10 – Estufa para manutenção de consumíveis.



Fonte: SENAI-BA Cimatec (2012).

Os eletrodos que estão na estufa de manutenção devem ser entregues para utilização no campo em estufas portáteis, conhecidas como "cochichos" (Figura 11).

Essas estufas devem estar aquecidas a temperaturas entre 80 e 120 °C. A quantidade de eletrodos a ser colocada nessa estufa deve ser tal que atenda à utilização na jornada de trabalho, pois, mesmo nessa estufa, os eletrodos absorvem umidade e, após um tempo prolongado, não estarão mais em condições de uso.

Figura 11 – Estufa portátil para manutenção de eletrodos.



Fonte: SENAI-BA Cimatec (2012).

Quadro 2 – Condições típicas de armazenamento e secagem para eletrodos de soldagem a arco elétrico.

Condições típicas de armazenamento e secagem para eletrodos revestidos				
Classificação AWS		Condições de armazenamento a, b		
A5.1	A5.1M	Ambiente	Estufa de manutenção	Secagem c
E6010, E6011	E4310, E4311	Temperatura ambiente	Não recomendado	Não recomendado
E6012, E6013, E6019, E6020, E6022, E6027, E7014, E7024, E7027	E4312, E4313, E4319, E4320, E4322, E4327, E4914, E4924, E4927	80°F ± 20°F [30°C ± 10°C] 50% max. Humidade relativa	10°C a 20°C [20°F a 40°F] Acima da temperatura ambiente	135°C ± 15°C [275°F ± 25°F] 1 hora na temperatura
E6018, E7015, E7016, E7018, E7028, E7018M, E7048	E4318, E4915 E4916, E4918, E4928, E4918M, E4948	Não recomendado	30°C a 140°C [50°F a 250°F] Acima da temperatura ambiente	500°F to 800°F [260°C to 425°C] 1 a 2 horas na temperatura

^a Após abertura da embalagem do fabricante.
^b Algumas dessas classificações de eletrodos podem ser designadas para atender a requisitos de absorção de baixa umidade. Esta designação não implica que se recomenda armazenamento a temperatura ambiente.
^c Devido às diferenças inerentes na composição do revestimento, os fabricantes devem ser consultados para as condições exatas de secagem.

Fonte: Adaptado da norma ASME II parte C (ASME, 2019a).

2.9.4 Aplicação do processo com eletrodo revestido

O processo a arco com eletrodo revestido pode ser aplicado em uma variedade de metais e ligas metálicas. Procedimentos e eletrodos são eficazes na soldagem de aço carbono, aço baixa-liga, aço alta-liga e aços inoxidáveis, aços para ferramentas,

ferro fundido, cobres e ligas de cobre, níquel, ligas de cobalto e podem também ser utilizados em algumas aplicações de alumínio.

Esse processo encontra grande aplicação em soldas curtas, finalização de produtos, reparos e construção de campo. Existem as seguintes vantagens: equipamento relativamente simples e portátil, o eletrodo fornece o metal de adição e a proteção gasosa, a baixa sensibilidade a ventos e pode ser aplicado à área de acesso limitado.

2.10 Processo de soldagem TIG (GTAW)

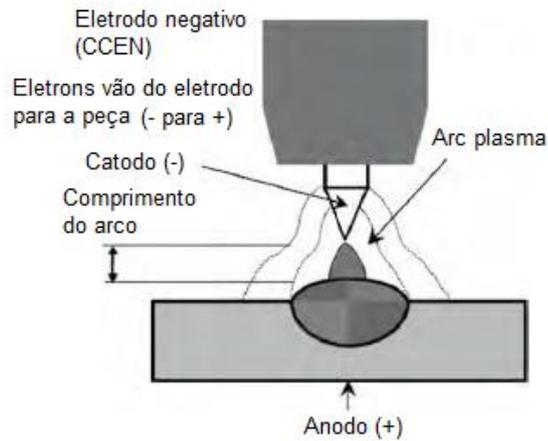
2.10.1 Fundamentos do processo

O processo de soldagem TIG (GTAW), *tungsten inert gas (gas shielded tungsten arc welding)* é executado através da formação de um arco de soldagem entre um eletrodo de tungstênio puro ou composto com outros metais, ou óxidos não consumíveis, e a peça de trabalho e é protegido da atmosfera por um gás inerte.

Geralmente é utilizada a corrente contínua direta, onde o eletrodo de tungstênio tem a polaridade negativa, sendo que o eletrodo de tungstênio se torna o catodo e a peça de trabalho torna-se o anodo. Essa polaridade é denominada de polaridade direta, ou corrente contínua eletrodo negativo (CCEN) como mostrado na Figura 12, onde a parte do anodo é a peça de trabalho que recebe mais calor, permitindo ao processo uma boa penetração onde desejável. Pode ser utilizado também na polaridade reversa, onde ocorre literalmente uma situação inversa à CCEN e a peça de trabalho passa a ser o catodo e o tungstênio o anodo tornando-se CCEP ou ainda em situações de corrente alternada (CA).

Em todos os casos a poça de fusão deve ser protegida por um gás inerte, normalmente o argônio é o mais utilizado. Esse processo de soldagem pode ser utilizado simplesmente para a fusão de peças, sem a utilização de vareta de adição, sendo denominada de solda autógena ou com a adição de vareta de adição realizando uma fusão entre duas ou mais peças.

Figura 12 – CCEN – comum para o processo TIG.

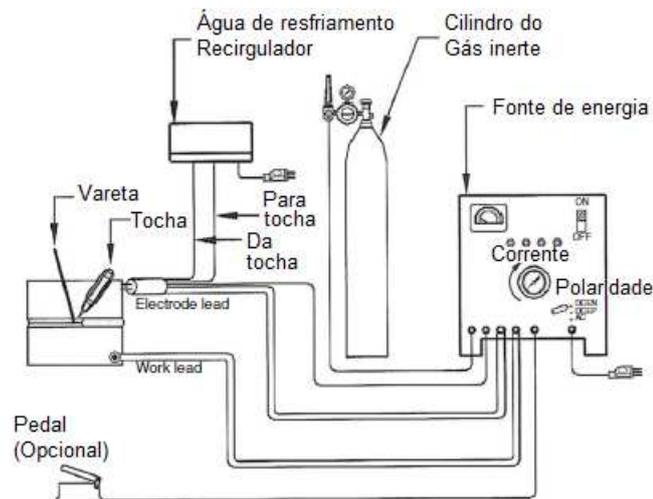


Fonte: Adaptado de Phillips (2016).

2.10.2 Equipamento para o processo de soldagem

Um equipamento típico de soldagem, Figura 13, inclui uma fonte de corrente e uma tocha, que pode ou não ser refrigerada. Água refrigerada é necessário em operações de soldagem onde há a utilização de correntes altas (200 A ou maiores) e operações cíclicas.

Figura 13 – Processo de soldagem TIG.



Fonte: Adaptado de Phillips (2016).

2.10.3 Consumíveis de soldagem

Nesta pesquisa se utilizou o consumível de classificação ER70S-3, conforme a norma ASME II parte C (ASME, 2019a), cujas propriedades mecânicas e composição química atendem aos requisitos especificados do tubo A106 Gr. B.

2.10.4 Aplicação do processo de soldagem

O processo de soldagem é frequentemente selecionado quando há exigência de soldagem crítica e de alta confiabilidade. Nesse processo, há um melhor controle de calor durante a soldagem.

Pode ser utilizado em quase todos os metais. É especialmente aplicado na soldagem de alumínio, magnésio, titânio e zircônio. É importante salientar que esse processo tem uma grande aplicação na soldagem de passe de raiz em tubulações industriais.

2.11 Processos de soldagem de reparos em tubulações

2.11.1 Aplicação do processo de intervenção

Esta pesquisa descreve as considerações de métodos para soldagem de tubulação industrial de aço carbono em operação em unidades de processos industriais, fornecendo subsídios a serem considerados no desenvolvimento de intervenções de manutenção e / ou melhorias operacionais de projeto pelos processos de soldagem por eletrodo revestido (SMAW) e TIG (GTAW).

2.11.2 Estudo de viabilidade de soldagem de reparos

O material de aço carbono pode ser reparado por soldagem desde que uma averiguação tenha sido realizada para determinar a causa do dano a ser reparado e que sejam utilizados procedimentos adequados de reparo de solda.

O seguinte deve ser avaliado antes da realização soldagem de reparo:

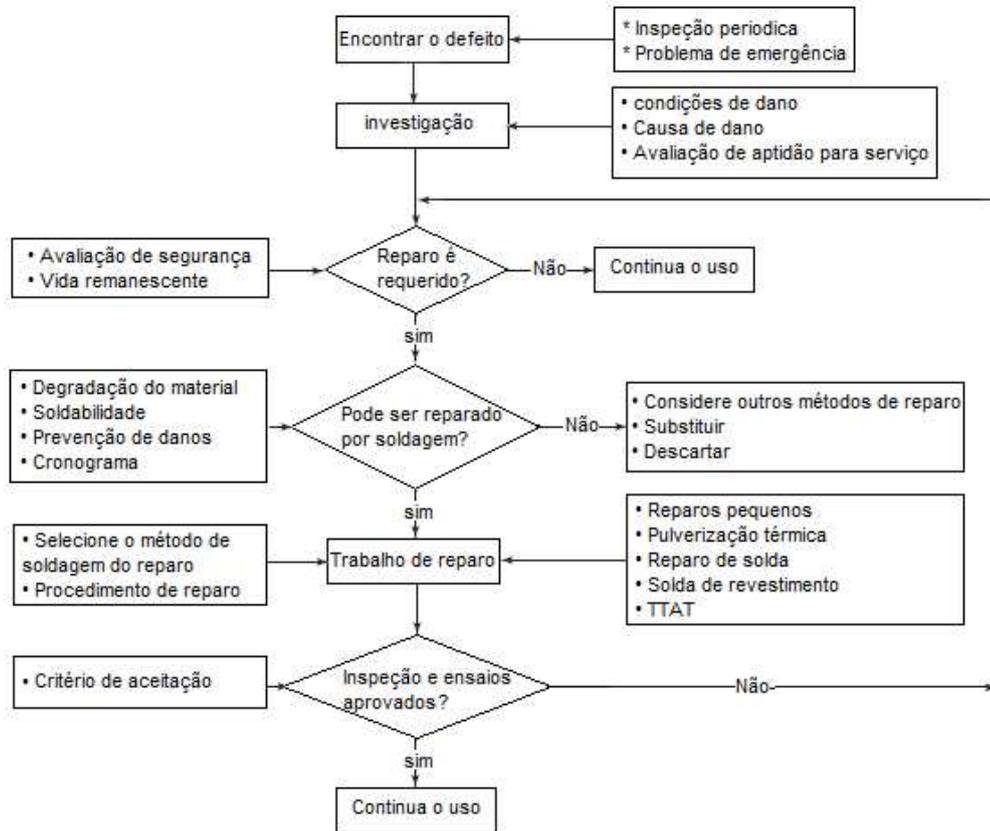
(1) a integridade estrutural da tubulação;

(2) a viabilidade dos reparos;

(3) a adequação do equipamento para o serviço pretendido após a conclusão dos reparos.

A capacidade de manutenção ou avaliação de adequação ao serviço deve ser na sequência padrão do ASME PCC-2 (ASME, 2018) como mostrado no Quadro 3.

Quadro 3 – Fluxograma da sequência padrão na soldagem de reparos.



Fonte: Adaptado de ASME PCC-2 (ASME, 2018).

2.12 Conceitos fundamentais de soldagem

2.12.1 Estrutura da zona fundida do metal de solda

A estrutura da zona fundida do metal de solda de aços de baixo carbono e de baixa liga depende de inúmeros fatores. Apresenta aspectos macroscópicos resultantes do crescimento epitaxial e colunar e dos padrões de segregação resultantes da solidificação da solda. Esses aspectos, juntamente com o estado inicial da austenita (composição, tamanho de grão, microsegregações e estado de deformações), as características da população de inclusões e precipitados existentes e as condições de aquecimento e resfriamento influenciarão a microestrutura do cordão de solda (MODENESI, 2004).

Em uma solda, em um só passe, a microestrutura da zona fundida será formada pelos produtos da decomposição da austenita em ferrita, em carbonetos e em martensita durante o resfriamento, sendo que a ferrita pode assumir diferentes morfologias, algumas de difícil distinção. Em soldas de vários passes, a microestrutura será ainda mais complexa, sendo formada por regiões reaquecidas e alteradas pelos ciclos térmicos dos passes seguintes e por regiões que permaneceram basicamente inalteradas. As características dessa microestrutura, tanto em escala microscópica como em escala sub-microscópica, são fundamentais na determinação das propriedades finais da zona fundida (MODENESI, 2004).

2.12.2 Diluição

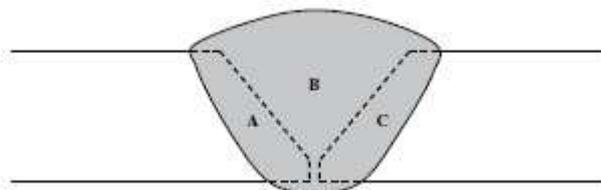
Segundo Lippold (2015), a diluição pode ser definida como uma mudança na composição de um metal de adição devido à sua mistura com o metal base durante o processo de fusão.

Matematicamente, diluição é a razão da quantidade de metal base fundido pela quantidade total de metal de adição fundido. Por exemplo, uma solda com diluição de 10 % conterà 10% de metal base e 90 % de metal de adição. Para a maioria dos processos de soldagem, a diluição é normalmente controlada abaixo de 50 %. A deve ser calculado utilizando a Equação (1)

$$\text{Diluição (\%)} = \frac{A + C}{A + B + C} \times 100 \quad (1)$$

Seções transversais de soldas obtidas em ensaios macrográficos e, como mostrado na Figura 14, pode ser utilizada para estimar a diluição com base na geometria original da solda, ou a composição real do metal de solda pode ser determinada por análise e a diluição calculada se as composições dos metais base e de adição são conhecidos.

Figura 14 – Determinação da diluição pela geometria da solda.



Fonte: Adaptado de Lippold (2015).

2.13 Trinca induzida pelo elemento hidrogênio

Trinca por hidrogênio ocorre em três condições: quando tensões estão agindo na solda, quando o hidrogênio está presente na solda ou quando, na solidificação da solda, a microestrutura resultante é suscetível à trinca. Se alguma das três condições for eliminada ou reduzida abaixo de um nível limite, essas trincas não devem ocorrer ASME PCC-2 (ASME, 2018).

Tensões sempre podem ser assumidas devido a taxa de resfriamento da solda. Hidrogênio, tipicamente, não pode ser eliminado, mas pode ser reduzido utilizando processo de soldagem por eletrodo revestido com eletrodos de baixo hidrogênio do tipo EXX18 ou EXX15.

Microestruturas suscetíveis a trincas, têm alta dureza na sua microestrutura e são controlados pelo carbono equivalente do material e a taxa de resfriamento da solda.

2.14 Carbono equivalente

Carbonos equivalentes devem ser especificados separadamente para os componentes do tubo principal e o segundo metal de base (por exemplo, tubo de reforço ou derivação) e podem ser utilizados para soldagem de materiais com carbono equivalente inferiores assumindo que os potenciais de resfriamento sejam os mesmos.

O carbono equivalente deve ser calculado utilizando a Equação (2), conforme a norma ASME PCC-2 (ASME, 2018).

$$CE = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15} \quad (2)$$

2.15 Análise metalográfica

A análise metalográfica é dividida em dois processos: macrografia e micrografia.

2.15.1 Macrografia

A macrografia consiste na preparação de uma superfície plana, por meio de lixamento sucessivo da amostra e do ataque dessa superfície por um reativo adequado, na interpretação dos resultados e na obtenção de documentos que reproduzam os resultados dos exames. O exame da superfície atacada é feito a olho nu, com o auxílio de uma lupa, com aumento de até cerca de 50 vezes, ou com o uso de estereoscópio.

As morfologias que podem ser observadas nesse exame são: formato do cordão de solda, formato da ZAC, falta de penetração, processo de fabricação etc.

2.15.2 Micrografia

O exame micrográfico da superfície da amostra é preparada de forma similar à da macrografia. Porém, o lixamento deverá ser conduzido com uma lixa mais fina (600 mesh). Em seguida, a amostra deverá ser polida de forma especular e, então, atacada pelo reativo. O exame micrográfico é realizado utilizando o microscópio metalográfico, cujas ampliações variam de 50 a 2.000 vezes. As morfologias que podem ser observadas nesse exame são: tamanho de grão da solda e do metal de base, fases e constituintes, inclusões não metálicas, microporosidades, micro trincas, precipitação, produtos de corrosão etc.

2.15.3 Ensaios não destrutivos

Embora informações valiosas sejam obtidas com a realização de um teste mecânico é o óbvio a desvantagem desta abordagem, que envolve destruir o material ou parte que está sendo ensaiada. Para evitar destruir a peça, técnicas de ensaios não destrutivos (END) são frequentemente utilizadas. Os ENDs referem-se a todos os métodos possíveis para avaliar o desempenho de materiais ou processos de fabricação sem afetar sua utilização. O objetivo principal de todos os métodos de END é prever e evitar falhas a partir da detecção de defeitos, sob a orientação das normas e dos procedimentos aplicáveis, podendo ser realizado durante a fabricação, a montagem e/ou a manutenção e as avaliações durante o ciclo de vida de operação.

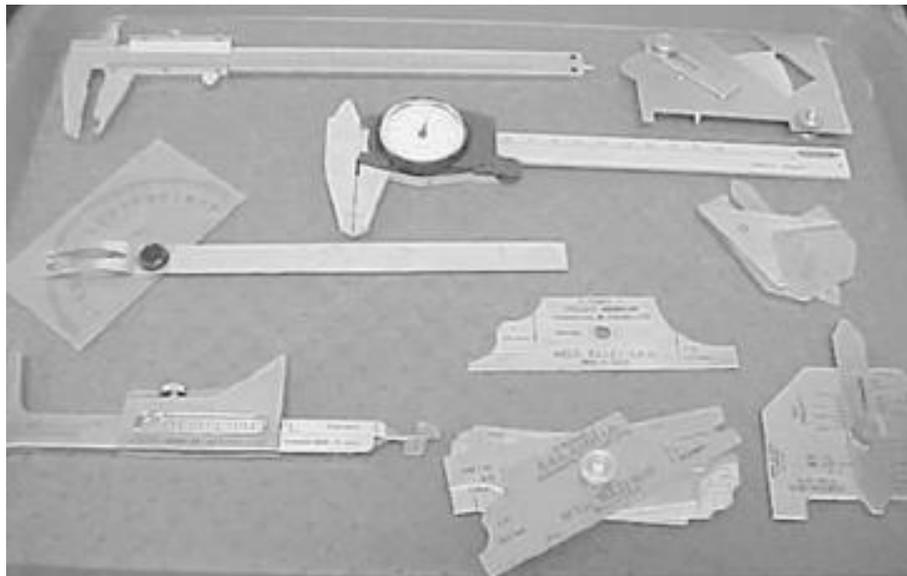
2.15.4 Ensaio visual

Ensaio visual é uma técnica de inspeção de ensaio não destrutivo que fornece um meio de verificar alterações dimensionais e uma variedade de detalhes de projeto e de falhas superficiais, como corrosão, padrão de acabamento superficial e descontinuidades superficiais em juntas soldadas. O exame visual de solda acompanha todo o processo seja na fabricação, na montagem ou na manutenção em tubulação de processo industrial, passando pelas etapas de visual de ajuste e no acabamento, para verificar se os atendimentos aos requisitos de projeto, aplicação da norma aplicada, instruções técnicas ou outro documento emitido estão de acordo com o especificado. É um ensaio com baixo custo operacional e de grande importância no processo, tendo como um dos seus pilares a disciplina na sua execução quanto aos procedimentos a serem seguidos para obter um bom resultado.

Existem diversos instrumentos, mostrados na Figura 15, que fazem parte do conjunto de acessórios de trabalho do inspetor, como calibres de solda.

O ensaio visual realizado nesta pesquisa foi o ensaio visual direto, utilizando os critérios de aceitação da norma ASME PCC-2 (ASME, 2018).

Figura 15 – Instrumentos de medição utilizados na medição de solda.



Fonte: Handbook (2004).

2.15.5 Ensaio por líquido penetrante

O ensaio de líquido penetrante é rápido, portátil, e tem um custo baixo, porém limita-se a detecção de apenas defeitos superficiais. Uma grande vantagem que ele oferece é ser muito bom para detectar trincas que podem ser difíceis de detectar visualmente.

Os procedimentos incluem algumas etapas a serem seguidas para obtenção do resultado desejado. O primeiro passo envolve limpar a peça para remover óleos, graxas, sujeira e outros elementos prejudiciais. Depois de secar a superfície, o líquido penetrante colorido é então aplicado. Isso é tipicamente feito com uma lata de aerosol, muito parecido com pintura em *spray*. Após o tempo de penetração, o excesso de penetrante é então removido da superfície da peça com água, o removedor, e seca-se com um pano. Depois dessa etapa, o único penetrante restante, será contido dentro de qualquer descontinuidade superficial, como trincas. A etapa final envolve a aplicação de um revelador branco, também utilizando um aerosol em lata de *spray*. O revelador retira o penetrante colorido da descontinuidade, claramente revelando sua presença contra o fundo branco do revelador. Outro uso apropriado é a utilização do penetrante fluorescente que é facilmente revelado por meio do uso de iluminação ultravioleta especial. A Figura 16 mostra ensaio de líquido penetrante em solda de tubulação.

Figura 16 – Ensaio por líquido penetrante no passe de raiz de uma solda.



Fonte: O próprio autor.

2.15.6 Ensaio por ultrassom

O ensaio por ultrassom, conforme mostrado na Figura 17, é um método de ensaio não destrutivo no qual feixes de ondas sonoras de alta frequência são introduzidos em diversos tipos de materiais com o objetivo de detectar possíveis defeitos ou descontinuidades internas. Essas ondas sonoras percorrem o material com alguma perda de energia (atenuação) e são refletidos em interfaces. O feixe refletido é exibido em um visor de um aparelho e analisado para definir a presença e localização de falhas ou descontinuidades.

O grau de reflexão depende em grande parte do estado físico dos materiais que formam a interface e, em menor medida, sobre as propriedades físicas específicas do material. Por exemplo, ondas sonoras são quase completamente refletidas em interfaces de metal/gás e ocorre parcialmente em interfaces metálicas/líquidas ou metálicas/sólidas, com a porcentagem específica de reflexão de energia dependendo principalmente das proporções de certas propriedades do material em lados opostos da interface (ASM, 1993).

Trinca, duplas laminações, falta de fusão e outras descontinuidades lineares que produzem interfaces reflexivas são facilmente detectadas. Inclusões e outras em homogeneidades também podem ser detectadas causando reflexão parcial ou dispersão das ondas ultrassônicas ou produzindo algum outro efeito detectável nas ondas ultrassônicas.

A maioria dos equipamentos, mostrada na Figura 17, para inspeção por ultrassom detectam falhas monitorando um ou mais dos seguintes itens abaixo:

- Reflexão do som a partir de interfaces que consistem em limites materiais ou descontinuidade interna do próprio material.
- Tempo de trânsito de uma onda sonora através da peça de teste do ponto de entrada no transdutor para o ponto de saída no transdutor.
- Atenuação de ondas sonoras por absorção e dispersão dentro da peça de teste.
- Características na resposta espectral para um sinal transmitido ou refletido.

Grande parte das inspeções por ultrassom é realizada em frequências de onda entre 0,1 e 25 MHz. Ondas ultrassônicas são vibrações mecânicas; as amplitudes dessas vibrações em partes metálicas geram tensões bem abaixo do limite elástico, evitando efeitos permanentes nas peças inspecionadas.

Figura 17 – Inspeção por ultrassom.



Fonte: Catálogo Olympus (2021).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais

Os materiais utilizados para o desenvolvimento desta pesquisa foram os tubos A106 Gr. B nos diâmetros de 8" e 10". Sendo utilizado um corpo de prova avaliando duas situações, uma com um tubo principal de 8" de diâmetro externo com espessura de 6,35 mm, inclinado a 45° em relação ao nível do piso, tamponado nas extremidades, apenas com orifícios na parte inferior e na parte superior para entrada e saída de água, sobrepondo esse tubo principal com duas semicircunferências fabricadas de um tubo de 10" com espessura de 6,35 mm que receberá duas soldas longitudinais e duas soldas circunferenciais. Nesse mesmo corpo de prova há uma derivação de um tubo de 8" de diâmetro soldado no tubo principal no qual se realiza uma soldagem de multipasses pelo processo de eletrodo revestido com eletrodo de baixo hidrogênio E7018 de 3,2 mm de diâmetro nas juntas do tubo sobreposto, utilizando o processo TIG para a realização da soldagem do tubo derivação, conforme mostrado na Figura 18.

Figura 18 – Corpo de prova tubos ASTM A106 Gr. B nos diâmetros de 8" e 10".



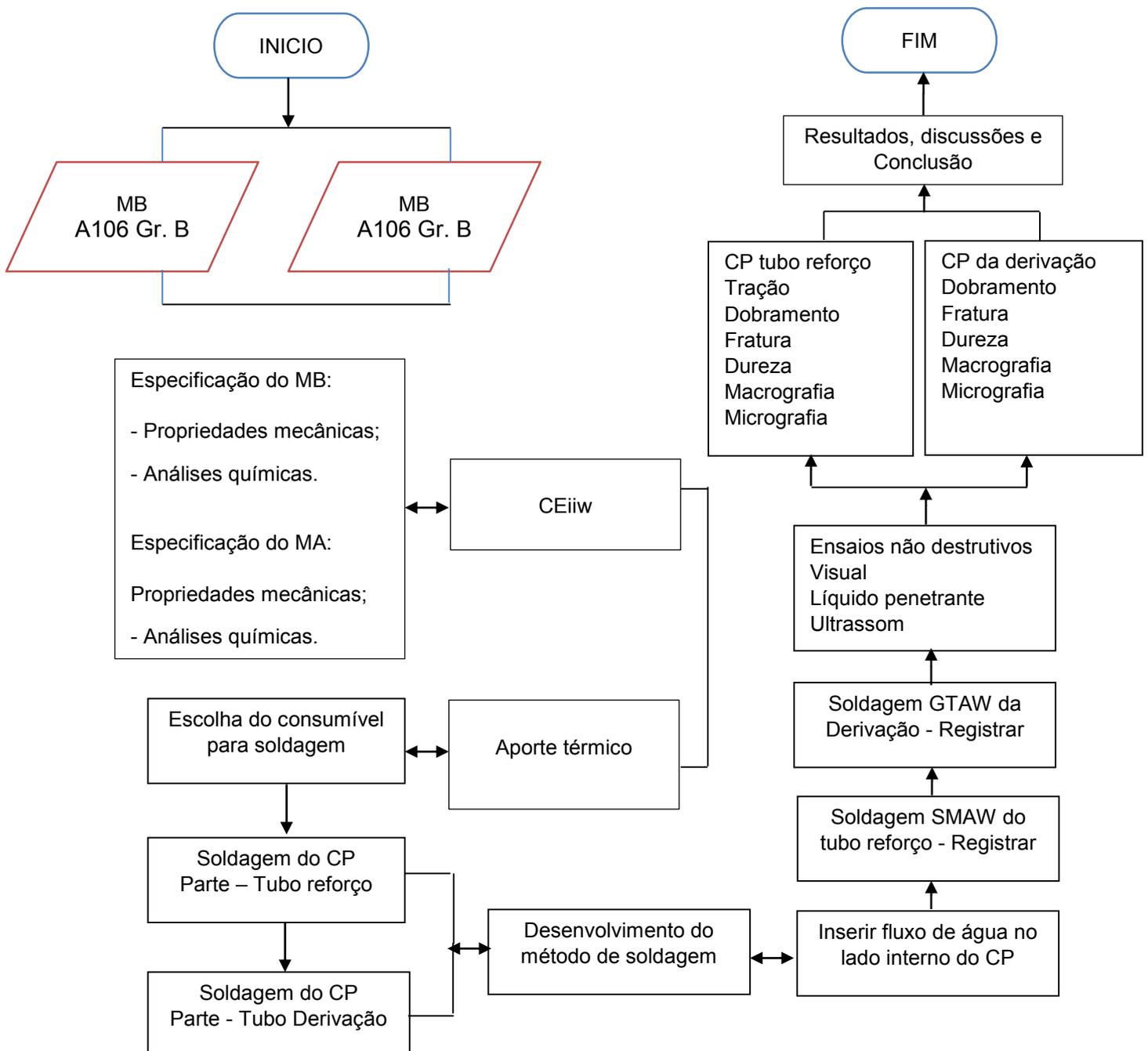
Fonte: O próprio autor.

3.2 Métodos

3.2.1 Planejamento experimental

Para o desenvolvimento operacional e o planejamento experimental, foi utilizado como rota o fluxograma representativo da Figura 19.

Figura 19 – Fluxograma do planejamento experimental do estudo.

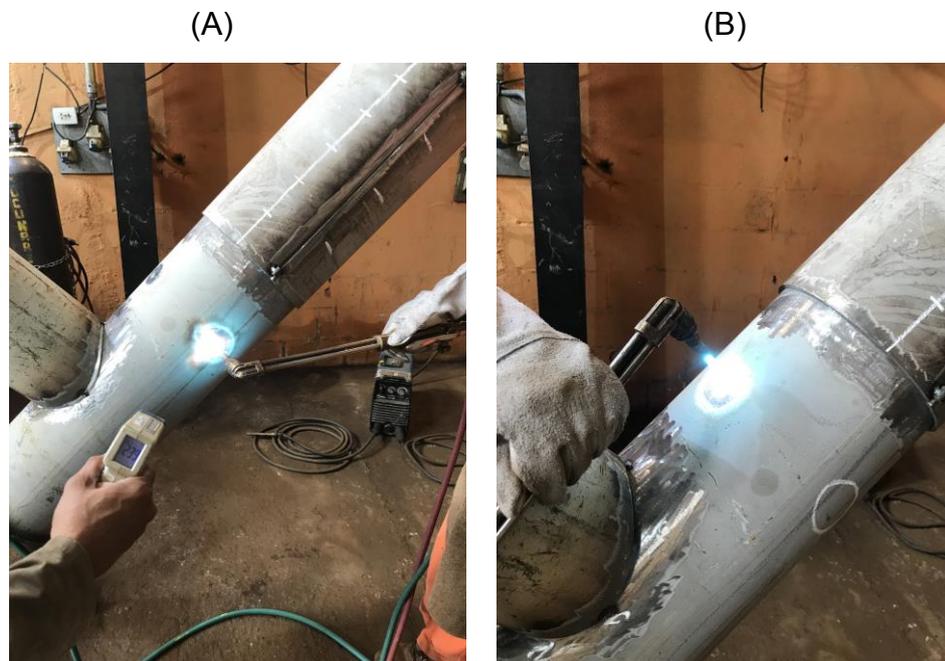


Fonte: O próprio autor.

3.2.2 Tempo de resfriamento

Foi considerado o controle do tempo de resfriamento, para avaliação da severidade térmica, a partir da marcação de três círculos, utilizando giz, de 50 mm de diâmetro na posição três horas ou nove horas e dois pontos na posição 12 horas, conforme mostrado na Figura 20. Um maçarico tipo chuva em movimento circular aquecendo o círculo, utilizando-se um termômetro para medir a temperatura, onde foi cronometrado o tempo de resfriamento de 250 a 100 °C duas vezes em cada círculo e calculada a média dos seis valores.

Figura 20 – Controle do tempo de resfriamento na faixa de 250 a 100 °C.

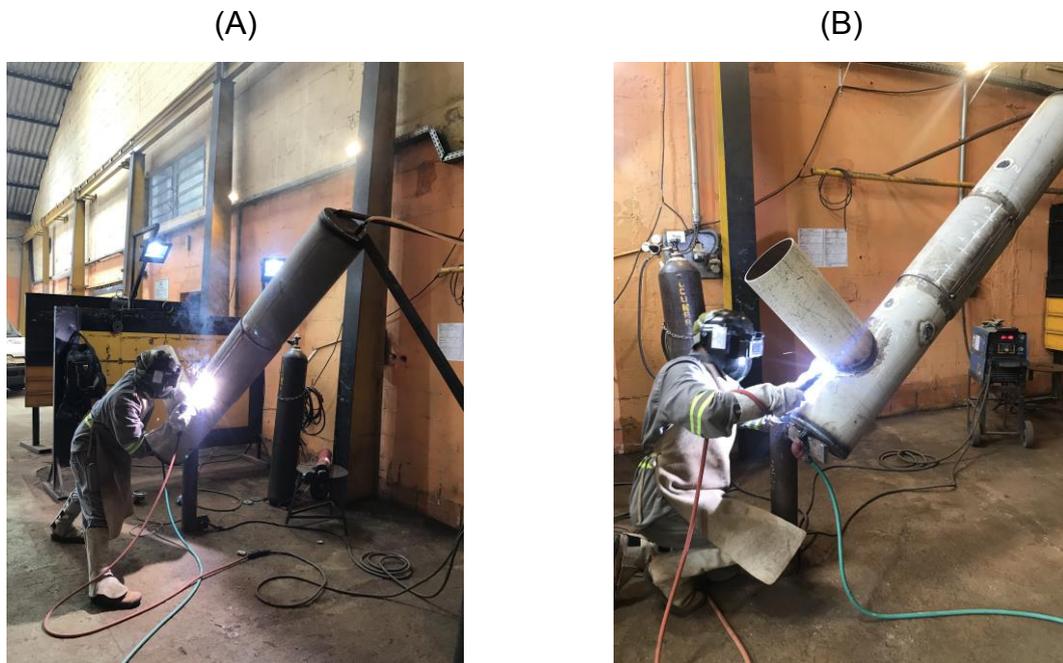


Fonte: O próprio autor.

3.2.3 Desenvolvimento da soldagem

Foi realizada a soldagem de um corpo de prova com duas condições: com um tubo sobreposto como reforço “tipo dois semicírculos” sobre o tubo principal soldado pelo processo de soldagem por eletrodo revestido (SMAW) e outro com um tubo acoplado como uma derivação do tubo principal soldado pelo processo de soldagem TIG (GTAW), conforme mostrado na Figura 21, com passagem de água no interior da mesma durante a soldagem.

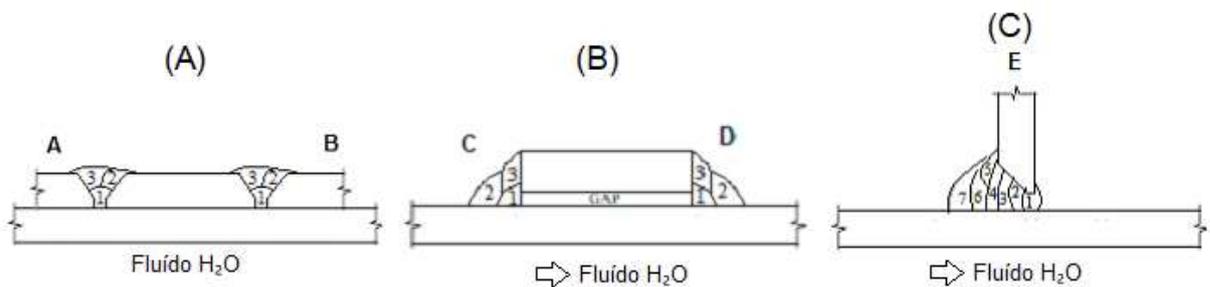
Figura 21 – Soldagem do corpo de prova: (A) Soldagem do reforço “tipo dois semicírculos”; (B) Soldagem da derivação.



Fonte: O próprio autor.

A Figura 22 apresenta a configuração final das juntas longitudinais e a sequência de passes das soldas longitudinais.

Figura 22 – Configuração das juntas e sequência de passes: (A) Longitudinais; (B) Circunferenciais e (C) Derivação.



Fonte: O próprio autor.

A Tabela 11 apresenta os parâmetros de soldagem utilizados na soldagem das juntas.

Tabela 11 - Parâmetros de soldagem.

Processo	Passes	Camada	Metal de adição			Preaquecimento °C	Interpasse °C	Característica Elétrica				Gás		Largura do passe mm	Espessura do passe	Velocidade de solda mm/min	Aporte de calor kJ/mm	
			Classificação	Diâmetro	Nome comercial			Corrente A	Tensão V	Proteção	Interna							
Solda longitudinal A																		
Elet. Revest.	1	1		3,25		32	36	CCEP	90	100	22	24	--	--	6,0	3,0	176	0,8
	2	2	E7018	3,25	OK 48.04	-	38	CCEP	90	100	22	24	--	--	7,0	3,0	290	0,5
	3	3		3,25		-	41	CCEP	90	100	22	24	--	--	7,0	3,0	267	0,5
Solda longitudinal B																		
Elet. Revest.	1	1		3,25		31	38	CCEP	90	100	22	24	--	--	6,0	--	198	0,7
	2	2	E7018	3,25	OK 48.04	-	40	CCEP	90	100	22	24	--	--	7,0	--	267	0,5
	3	3		3,25		-	41	CCEP	90	100	22	24	--	--	6,0	--	254	0,6
Solda circunferencial C																		
Elet. Revest.	1	1		3,25		32 Ambiente	36	CCEP	90	100	22	24	--	--	6,0	--	210	0,7
	2	2	E7018	3,25	OK 48.04	-	38	CCEP	90	100	22	24	--	--	7,0	--	220	0,7
	3	3		3,25		-	37	CCEP	90	100	22	24	--	--	7,0	--	258	0,6
Solda circunferencial D																		
Elet. Revest.	1	1		3,25	OK 48.04	32	38	CCEP	90	100	22	24	--	--	6,0	--	184	0,8
	2	2	E7018	3,25	OK 48.04	-	41	CCEP	90	100	22	24	--	--	7,0	--	207	0,7
	3	3		3,25	OK 48.04	-	40	CCEP	90	100	22	24	--	--	6,0	--	267	0,5
Solda da derivação E																		
TIG	1	1		3,2		35	--	CCEN	160	180	13	15	15	--	8,0	2,0	107	1,5
	2	2		3,2		--	38	CCEN	200	210	13	15	15	--	10,0	2,0	159	1,2
	3	3		3,2		--	42	CCEN	200	210	13	15	15	--	10,0	1,5	161	1,2
	4	4	ER70S-3	3,2	WI T 73	--	45	CCEN	200	210	13	15	15	--	10,0	0,5	187	1,0
	5	5		3,2		--	41	CCEN	180	190	11	14	15	--	6,0	--	179	0,9
	6	5		3,2		--	35	CCEN	180	190	11	14	15	--	8,0	--	156	1,0
	7	5		3,2		--	38	CCEN	180	190	11	14	15	--	7,0	--	265	0,6

Fonte: O próprio autor.

3.2.4 Estimativa da temperatura interna da tubulação durante a soldagem e profundidade de penetração

Uma estimativa da máxima temperatura na parte interna da espessura da tubulação durante a soldagem pode ser obtida, utilizando a espessura real da parede do tubo e a energia de soldagem (*heat input*) obtida dos parâmetros de soldagem utilizados para a qualificação da EPS, conforme a Tabela 14, acrescido de um fator líquido “k”, conforme mostrado na Equação (3), (SHELL, 2011).

$$HI = k \times \frac{V \times I}{v} \text{ [J/mm]} \quad (3)$$

Sendo:

HI = Energia de soldagem “*heat input*” (Joules por mm)

k = 0.57 (= 2/3 x 0.85) para soldas de filete (eletrodo revestido).

V = tensão [Volts];

I = corrente [Amperes];

v = velocidade de soldagem [mm/s].

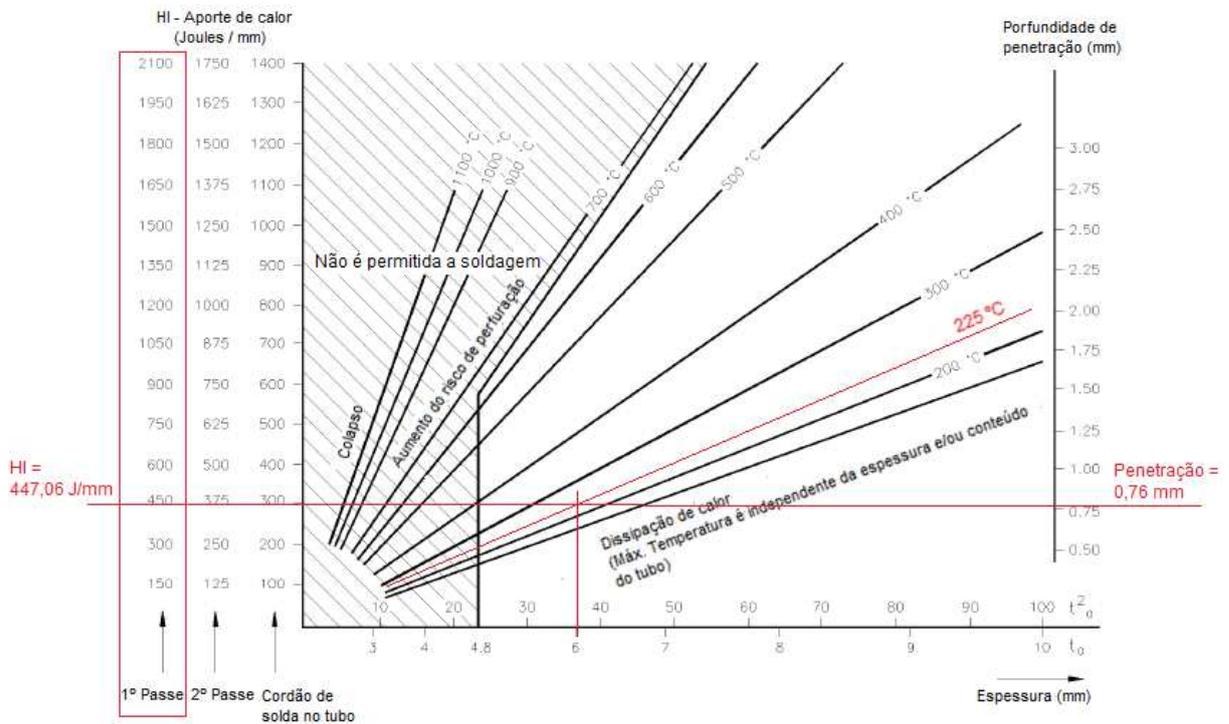
Cálculo do aporte de calor máximo do primeiro passe para solda da junta circunferencial:

$$HI = 0,57 \times \frac{24 \times 100}{3,06} \text{ [J/mm]} = 447,06 \text{ J/mm.}$$

Para efeito da estimativa conforme mostrada no Gráfico 1, a temperatura máxima na parte interna do tubo inicial a partir de 25 °C, com a realização da soldagem pelo processo de eletrodo revestido.

A espessura do tubo abaixo da poça de fusão, exposta a elevadas temperaturas, associadas ao fenômeno de soldagem, tem sua resistência mecânica muito reduzida, possibilitando assim ocorrer a perfuração (BORING, 2012).

Gráfico 1 – Estimativa da temperatura interna da tubulação durante a soldagem e profundidade de penetração.



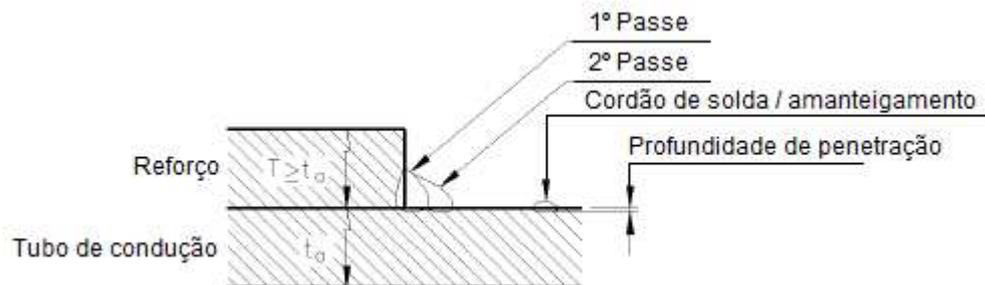
Fonte: Adaptado (SHELL, 2011).

Temperatura interna durante a soldagem foi estimada em 225 °C com uma profundidade de penetração de 0,76 mm.

Com os dados coletados e estimados, não há perfuração e a temperatura de 225 °C ficou bem abaixo da temperatura de 980 °C, considerada pelo ASME PCC-2 (ASME, 2018) como máxima temperatura para prevenir perfuração.

A Figura 23 representa a distribuição e o tipo de passe / cordão de solda.

Figura 23 – Distribuição e tipo de passe / cordão de solda na junta circunferencial.



Fonte: Adaptado de SHELL (2011).

3.2.5 Software Design Express

Para a determinação dos melhores parâmetros para a soldagem pelo processo de eletrodo revestido da solda circunferencial, foi utilizado o fator k ($k = 2 =$ potência de soldagem e velocidade de soldagem) que é uma matriz formada por dois grupos distintos de elementos experimentais: um fatorial completo 12, um *design* com quatro réplicas no ponto central e, adicionalmente apresenta um grupo de níveis extras denominados de pontos axiais, sendo esse igual ao dobro do número de fatores envolvidos no experimento.

Os resultados obtidos da Tabela 11 (solda circunferencial “C” e solda circunferencial “D”) serão analisados com auxílio dos *softwares* Estatística Design-Expert 6.0, conforme listado na Tabela 12.

Tabela 12 - Níveis reais e codificados para as variáveis potência * 0,06 e velocidade de soldagem segundo planejamento experimental.

Variáveis		Níveis				
Reais	Codificado	$-\alpha$	-1	0	+1	$+\alpha$
Potência * 0,06 [W]	A	118,00	118,00	131,00	144,00	144,00
Velocidade de soldagem [mm/min.]	B	184,00	184,00	2225,50	267,00	267,00

Fonte: O próprio autor.

Com os dados coletados da corrente (I) e tensão (V) que uma vez otimizados com a multiplicação pelo fator de tempo 0,06, dá o valor da potência otimizada que se utiliza como variável de entrada “A”. Para a determinação da variável “B”, utiliza-se os dados coletados dos tempos que multiplicado pelo comprimento da solda, resulta na velocidade de soldagem (v). Desta forma, os primeiros parâmetros definidos como dados para a matriz experimental encontram-se especificados na Tabela 13.

A Equação (4) é a adaptação da Equação (3) para $k = 0,06$

$$HI = \frac{V \times I \times 0,06}{v} \text{ [J/mm]} \quad (4)$$

Sendo:

HI = Energia de soldagem “*heat input*” (Joules por mm)

V = tensão (volts); I = corrente [Ampères];

v = velocidade de soldagem [mm/s].

Tabela 13 - As variáveis de potência, velocidade de soldagem e as faixas estudadas para a soldagem.

Variáveis	Faixas estudadas para a soldagem					
Potência *	118,8	144,0	118,8	144,0	118,8	144,0
0,06 [W]	118,8	144,0	118,8	144,0	118,8	144,0
Velocidade de soldagem [mm/min.]	210,0	210,0	220,0	220,0	258,0	258,0
	258,0	184,0	184,0	207,0	207,0	267,0

Fonte: O próprio autor.

De acordo com as faixas das variáveis adquiridas com a análise do processo, foram obtidos os dados para a matriz experimental, definindo o valor mínimo com potência otimizada de 118,8 [W] e velocidade de soldagem 184 mm/min, bem como o valor máximo, apresentando “potência * 0,06” de 144 W e velocidade de soldagem 267 mm/min.

3.2.5.1. Planejamento experimental

Para a determinação dos melhores parâmetros para o processo de soldagem pelo método de eletrodo revestido, foi utilizado o planejamento experimental para k fatores ($k = 2 =$ potência otimizada e velocidade de soldagem) que é uma matriz

formada por dois grupos distintos de elementos experimentais: fatorial completo 2^2 (neste trabalho, foram feitas quatro réplicas no ponto central), que adicionalmente, apresenta um grupo de níveis extras denominados de pontos axiais, sendo esse igual ao dobro do número de fatores envolvidos no experimento ($2^2 = 4$). Os resultados obtidos serão analisados com auxílio do *software* Design-Expert 6.0. A matriz experimental e os resultados obtidos são listados na Tabela 14.

Tabela 14 - Matriz experimental.

Análises	Potência * 0.06 [W]	Velocidade de soldagem [mm/min.]	Energia de soldagem [kJ/mm]
1	118.80	210,00	0,6
2	144.00	210,00	0,7
3	118.80	220,00	0,5
4	144.00	220,00	0,7
5	118.80	258,00	0,5
6	144.00	258,00	0,6
7	118.80	184,00	0,6
8	144.00	184,00	0,8
9	118.80	207,00	0,6
10	144.00	207,00	0,7
11	118.80	267,00	0,4
12	144.00	267,00	0,5

Fonte: O próprio autor.

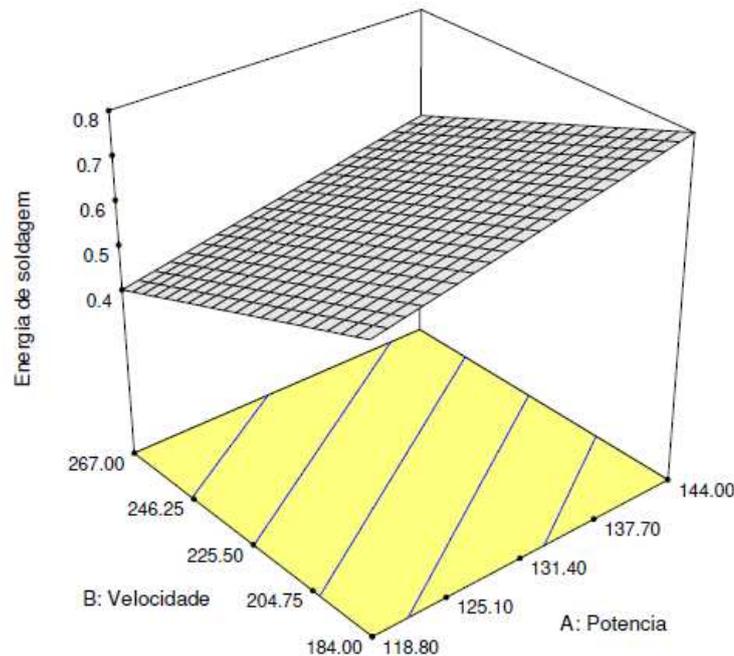
Como foi apresentado o planejamento experimental denominado *Central Composite Design* (CCD) para $k = 2$ fatores, é uma matriz formada por dois grupos distintos de elementos experimentais: um *design* com quatro réplicas no ponto central,

que adicionalmente apresenta um grupo de níveis extras denominados de pontos axiais. O número de pontos axiais em um CCD é igual ao dobro do número de fatores envolvidos no experimento. Para este estudo foram avaliadas duas réplicas do fatorial completo e quatro réplicas dos pontos axiais. Os valores obtidos dos resultados da energia de soldagem (*heat input*), encontram-se na faixa de 0,4 a 0,8 kJ/mm.

O programa gera uma fórmula matemática final nos termos dos fatores atuais, como é mostrado na Equação 5, demonstrando o resultado no Gráfico 2 de superfície que o programa fornece, onde pode-se analisar os resultados da energia de soldagem em função das variáveis de entrada.

$$\begin{aligned} \text{Energia de soldagem} = & 0,50675 + 5.29101\text{E-}003 \times \text{Potência} \\ & -2.68347\text{E-}003 \times \text{Velocidade [kJ/mm]}. \end{aligned} \quad (5)$$

Gráfico 2 – Gráfico de superfície gerado para os dados de entrada

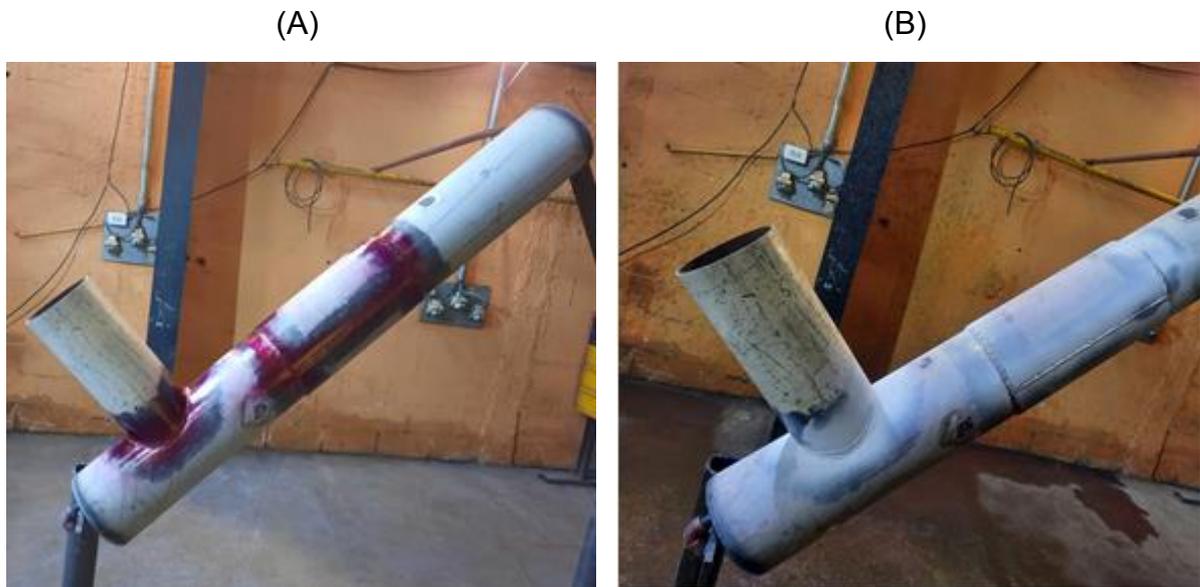


Fonte: O próprio autor.

3.3 Ensaios não destrutivos

As juntas soldadas e inspecionadas pelos ensaios visual e por líquido penetrante são mostrados na Figura 24.

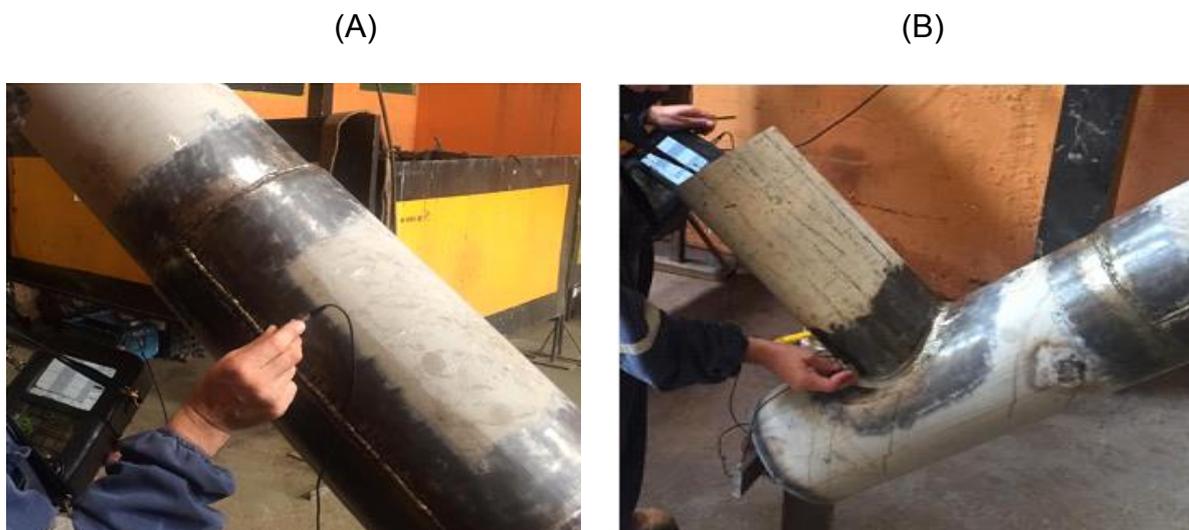
Figura 24 – Ensaio por Líquido penetrante: (A) Aplicação do LP; (B) Aplicação do revelador.



Fonte: O próprio autor.

As juntas soldadas e inspecionadas pelos ensaios de ultrassom são mostradas na Figura 25.

Figura 25 – Ensaio por ultrassom na solda longitudinal (A) e na solda da derivação (B).



Fonte: O próprio autor.

3.4 Ensaios destrutivos

3.4.1 Desenvolvimento dos ensaios da pesquisa

Para o desenvolvimento dos ensaios da pesquisa no Quadro 4, tem-se a quantidade de corpos de provas e as normas de referência.

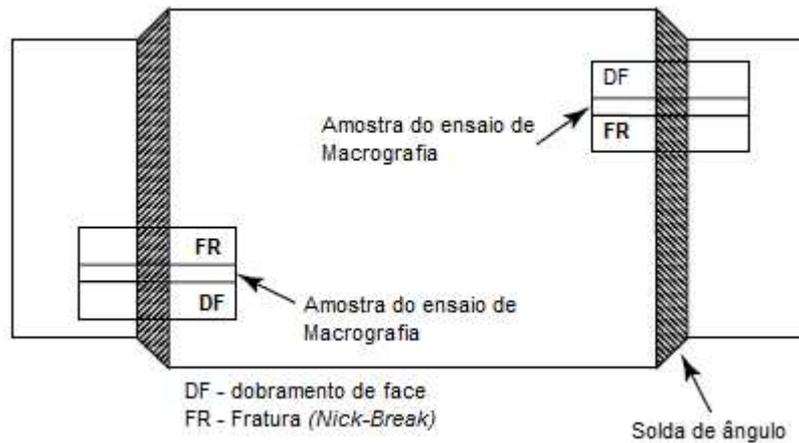
Quadro 4 – Quantidade de corpos de provas e de normas de referência.

Tipo de solda	Ensaio	Quantidade de corpos de provas	Descrição
De ângulo (Sobreposta)	Dobramento de face	4	Preparação dos corpos de prova conforme a norma ASME PPC-2 (ASME, 2018), Item 210-4.2.1.4, Figura 210-4.2.1.4-1.
	Fratura (<i>Nick-Break</i>)	4	Preparação dos corpos de prova conforme a norma ASME PCC-2 (ASME, 2018), Item 210-4.2.1.3.
	Macrografia	2	Preparação conforme a norma ASTM E3-01 (ASTM, 2017a).
	Dureza	2	Preparação dos corpos de prova conforme a norma ASME PCC-2 (ASME, 2018), Item 210-4.2.1.2, Figura 210-4.2.1.2-1.
Em ângulo (Derivação)	Dobramento de face	4	Preparação dos corpos de prova conforme a norma ASME PCC-2 (ASME, 2018), Item 210-4.2.1.4, Figura 210-4.2.1.4-1.
	Fratura (<i>Nick-Break</i>)	4	Preparação dos corpos de prova conforme a norma ASME PCC-2 (ASME, 2018), Item 210-4.2.1.3.
	Macrografia	4	Preparação conforme a norma ASTM E3-01 (ASTM, 2017a).
	Dureza	2	Preparação dos corpos de prova conforme a norma ASME PCC-2 (ASME, 2018), Item 210-4.2.1.2, Figura 210-4.2.1.2-1.
Topo (Longitudinal)	Tração	2	Preparação dos corpos de prova conforme a norma ASME IX (ASME, 2019b), Figura QW-462.1(b).
	Dobramento	4	Preparação dos corpos de prova conforme a norma ASME IX (ASME, 2019b), Figura QW-462.3(b).
	Fratura (<i>Nick-Break</i>)	2	Preparação dos corpos de prova conforme a norma ASME PCC-2 (ASME, 2018).

Fonte: O próprio autor.

A Figura 26 apresenta o esquema de localização de retirada dos corpos de prova de dobramento de face, de fratura e de amostras para macrografia das soldas de ângulo das juntas circunferenciais.

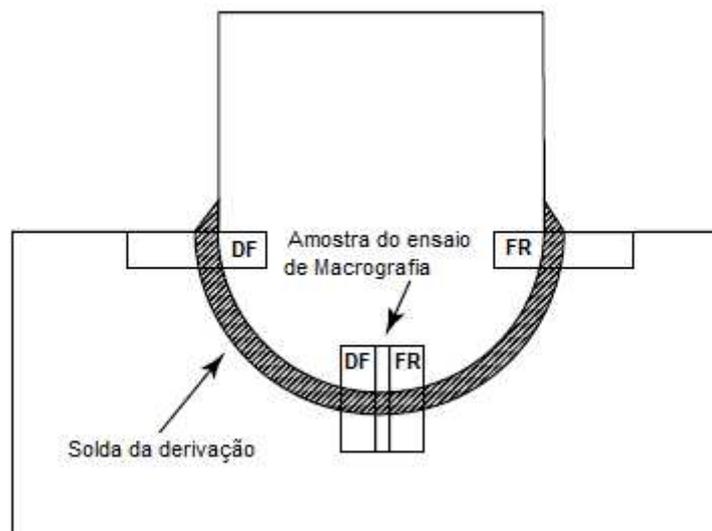
Figura 26 – Localização de retirada dos corpos de prova das soldas de ângulo das juntas sobrepostas.



Fonte: Adaptado do ASME PC-2 (ASME, 2018).

A Figura 27 apresenta o esquema de localização de retirada dos corpos de prova de dobramento de face, de fratura e de amostras para macrografia das soldas da derivação.

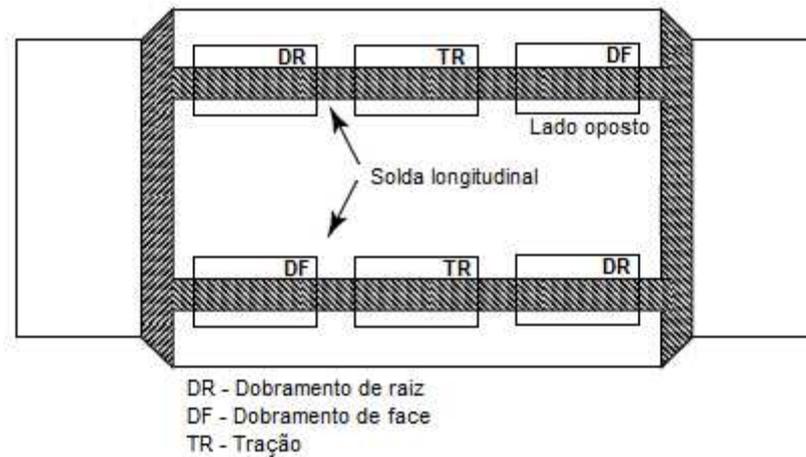
Figura 27 – Localização de retirada dos corpos de prova da solda da derivação.



Fonte: Adaptado do ASME PCC-2 (ASME, 2018).

A Figura 28 apresenta o esquema de localização de retirada dos corpos de prova de dobramento de face e de dobramento de raiz das soldas longitudinais.

Figura 28 – Localização de retirada dos corpos de prova das soldas longitudinais.



Fonte: O próprio autor.

3.4.2 Ensaio de tração

Os ensaios de tração da junta soldada de topo longitudinal foram realizados em dois corpos de provas prismáticos com dimensões nominais de 5 mm x 19 mm na máquina de ensaio universal modelo MT-04, na temperatura ambiente de 23 °C e com humidade relativa do ar de 55 %.

3.4.3 Ensaio de dobramento

Os ensaios de dobramento da junta soldada de topo longitudinal foram realizados em dois corpos de dobramento de face e em dois corpos de provas de dobramento de raiz.

Os ensaios de dobramento da junta soldada circunferencial, foram realizados em quatro corpos de dobramento de face.

Os ensaios de dobramento da junta soldada da derivação foram realizados em quatro corpos de dobramento de face.

Todos ensaios realizados na máquina de ensaio universal modelo MT-04, na temperatura ambiente de 23 °C e com humidade relativa do ar de 55%.

3.4.4 Fratura (*Nick-Break*)

Os ensaios de fratura (*Nick-Break*) foram realizados em quatro corpos de prova da junta soldada circunferencial e em quatro corpos de prova da junta soldada da derivação na máquina de ensaio universal modelo MT-04, na temperatura ambiente de 23 °C e com umidade relativa do ar de 55%.

3.4.5 Ensaio Macrográfico

Os ensaios de macrografia foram realizados em dois corpos de prova da junta soldada circunferencial e em dois corpos de prova da junta soldada da derivação, com ataque com reagente químico nital 10% e aumento de 10 X, na temperatura ambiente de 23 °C e com umidade relativa do ar de 55%.

3.4.6 Ensaio de dureza

Os ensaios de dureza Vickers foram realizados em dois corpos de prova da junta soldada circunferencial e dois corpos de prova da junta soldada da derivação. Desses corpos de prova foram realizados cinco pontos de medição, obtendo-se a média e o desvio padrão desses pontos. As medições foram realizadas com o aparelho microdurômetro Vickers modelo MD-01, na temperatura ambiente de 23 °C e com umidade relativa do ar de 55 %.

3.5 Ensaios metalográficos

Foi realizado o ensaio metalográfico por micrografia em oito pontos sendo oito na junta soldada circunferencial do tubo de reforço e oito na junta soldada para derivação, com ataque com reagente químico nital 10% e aumento de 200 X e 400 X, na temperatura ambiente de 23 °C e com umidade relativa do ar de 55%.

As amostras foram preparadas e analisadas conforme as normas ASTM E03-01 (ASTM, 2017a), ASTM E7-01 (ASTM, 2017b), ASTM E407-07 (ASTM, 2017c) e ASTM E883-11 (ASTM, 2017d).

4 RESULTADO E DISCUSSÕES

4.1 Tempo de resfriamento

A tempo de resfriamento ou potencial de resfriamento que é uma variação de temperatura por unidade de tempo, é necessário à sua medição para que seja mitigado o risco de trinca a frio na aplicação do procedimento de soldagem onde necessário, evitando um resfriamento mais rápido do que foi avaliado do valor tempo médio de 9 s conforme Tabela 15.

Tabela 15 - Média dos valores obtida no controle do tempo de resfriamento de 250 °C a 100 °C.

Localização	Temperatura	Tempo (s)	
		Medição 1	Medição 2
Ponto 1 – 3 horas	250 °C a 100 °C	9	10
Ponto 2 – 12 horas	250 °C a 100 °C	8	9
Ponto 3 – 12 horas	250 °C a 100 °C	8	10
Valor médio		9	

Fonte: O próprio autor.

4.2 Ensaios não destrutivos

Os ensaios não destrutivos realizados de visual de solda, por líquido penetrante e por ultrassom, apresentaram resultados satisfatórios.

4.3 Ensaios destrutivos

4.3.1 Ensaios de tração

Foram realizados ensaios de tração em dois corpos de prova da junta soldada de topo longitudinal, de acordo com a norma ASME IX (ASME, 2019b), conforme apresentado na Tabela 16.

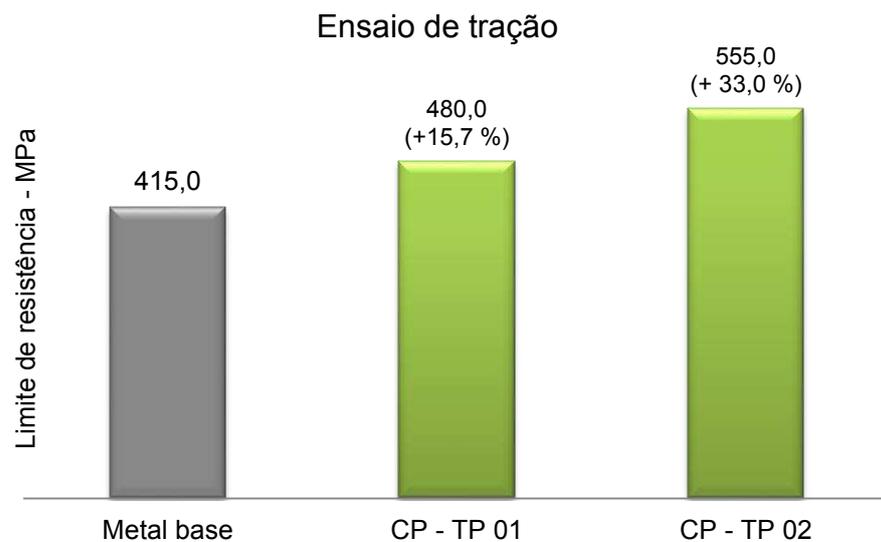
Tabela 16 – Resultado dos corpos de prova do ensaio de tração.

CP	Dimensões [mm]			Limite de resistência		Local da ruptura
	Espessura	Largura	Secção [mm ²]	kgf	MPa	
TP 01	5,16	19,43	100,26	4.907,3	480,0	Metal base
TP 02	5,01	19,48	97,59	5.523,3	555,0	Metal base

Fonte: O próprio autor.

Da tabela 16 observa-se os dois corpos de prova da junta soldada romperam fora da solda, com resistência superior ao metal base A106 Gr. B (415 MPa), sendo considerados satisfatórios como mostrado no Gráfico 3.

Gráfico 3 – Resultados dos ensaios de tração.



Fonte: O próprio autor.

4.3.2 Ensaio de dobramento

Foram realizados quatro ensaios de dobramento da junta soldada de topo longitudinal, sendo dois dobramentos de face e dois dobramentos de raiz a 180°, utilizando um cutelo de diâmetro de 25,4 mm e abertura entre os roletes de 41,3 mm, de acordo com a norma ASME IX (ASME 2019b), conforme apresentado na Tabela 17.

Tabela 17 – Resultado do ensaio de dobramento dos corpos de prova da junta soldada longitudinal.

CP	Dimensões [mm]			Resultado
	Espessura	Largura	Comprimento	
DF 01	6,35	25,0	200,0	Isento de descontinuidades
DF 02	6,35	25,0	200,0	Isento de descontinuidades
DR 01	6,35	25,0	200,0	Abertura de 1,1 mm na solda
DR 02	6,35	25,0	200,0	Isento de descontinuidades

Fonte: O próprio autor.

Os quatro corpos de prova (DF e DR) da junta soldada, apresentaram resultados satisfatórios, uma vez que não apresentaram descontinuidades abertas na solda ou na ZAC com dimensão maior que 3,2 mm em qualquer direção na parte convexa após a realização do ensaio e não apresentou nenhuma evidência de descontinuidades internas, falta de fusão ou inclusão de escória.

Foram realizados quatro ensaios de dobramento de face da junta soldada circunferencial, utilizando um cutelo de diâmetro de 25,4 mm e abertura entre os roletes de 41,3 mm, de acordo com a norma ASME PCC-2 (ASME, 2018), conforme apresentado na Tabela 18.

Tabela 18 – Resultado do ensaio de dobramento dos corpos de prova da junta soldada circunferencial.

CP	Dimensões [mm]			Resultado
	Espessura	Largura	Comprimento	
DF 01	6,35	25,0	200,0	Isento de descontinuidades
DF 02	6,35	25,0	200,0	Isento de descontinuidades
DF 03	6,35	25,0	200,0	Isento de descontinuidades
DF 04	6,35	25,0	200,0	Isento de descontinuidades

Fonte: O próprio autor.

Os corpos de prova DF 01 a DF 04 da junta soldada apresentaram resultados satisfatórios, uma vez que não apresentaram nenhuma evidência de trincas ou outras imperfeições maiores que 3,2 mm (ou metade da espessura nominal do tubo, a menor) na solda ou zona fundida e não apresentou nenhuma trinca na borda do corpo de prova maior que 6,4 mm e nenhuma imperfeição em qualquer direção.

Foram realizados quatro ensaios de dobramento de face da junta soldada da derivação, utilizando um cutelo de diâmetro de 25,4 mm e abertura entre os roletes de 41,3 mm, de acordo com a norma ASME PCC-2 (ASME, 2018), conforme apresentado na Tabela 19.

Tabela 19 – Resultado do ensaio de dobramento dos corpos de prova da junta soldada da derivação.

CP	Dimensões (mm)			Resultado
	Espessura	Largura	Comprimento	
DF 01	6,35	25,0	200,0	Isento de descontinuidades
DF 02	6,35	25,0	200,0	Isento de descontinuidades
DF 03	6,35	25,0	200,0	Isento de descontinuidades
DF 04	6,35	25,0	200,0	Isento de descontinuidades

Fonte: O próprio autor.

Os corpos de prova DF 01 a DF 04 da junta soldada, apresentaram resultados satisfatórios, uma vez que não apresentaram nenhuma evidência de trincas ou outras imperfeições maiores que 3,2 mm (ou metade da espessura nominal do tubo, a menor) na solda ou zona fundida e não apresentou nenhuma trinca na borda do corpo de prova maior que 6,4 mm e nenhuma imperfeição em qualquer direção.

4.3.3 Ensaios de fratura

Foram realizados dois ensaios de fratura da junta soldada longitudinal, quatro ensaios de fratura da junta soldada circunferencial e quatro ensaios da junta soldada da derivação, de acordo com a norma ASME PCC-2 (ASME, 2018), conforme apresentado na Tabela 20.

Tabela 20 – Resultado dos ensaios de fratura das juntas soldadas.

Corpo de prova	Resultado
❖ Solda longitudinal - NB1 e NB2	Isento de descontinuidades
❖ Solda circunferencial - NB3, NB4, NB5 e NB6	Isento de descontinuidades
❖ Solda da derivação - NB1, NB2, NB3 e NB4	Isento de descontinuidades

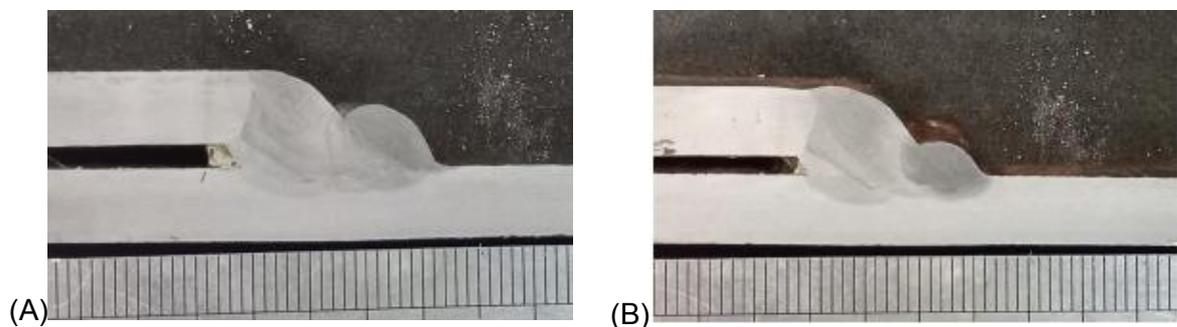
Fonte: O próprio autor.

Os dez corpos de prova apresentaram resultados satisfatórios, uma vez que não apresentaram falta de fusão, nenhum poro isolado com dimensão maior que 1,6 mm ou excedendo a 2 % da área exposta da fratura, nenhuma inclusão de escória maior que 0,8 mm de profundidade e com comprimento maior que 3,2 mm (ou metade da espessura nominal, a menor) e nem com distâncias entre elas menor que 12,7 mm

4.3.4 Ensaio Macrográfico

Foram realizados dois ensaios de macrografia da junta soldada circunferencial, de acordo com a norma ASME PCC-2 (ASME, 2018), conforme mostrado nas Figuras 29 (A e B).

Figura 29 – Ensaios de macrografia da junta soldada circunferencial, da solda inferior (A) e da solda da superior (B).



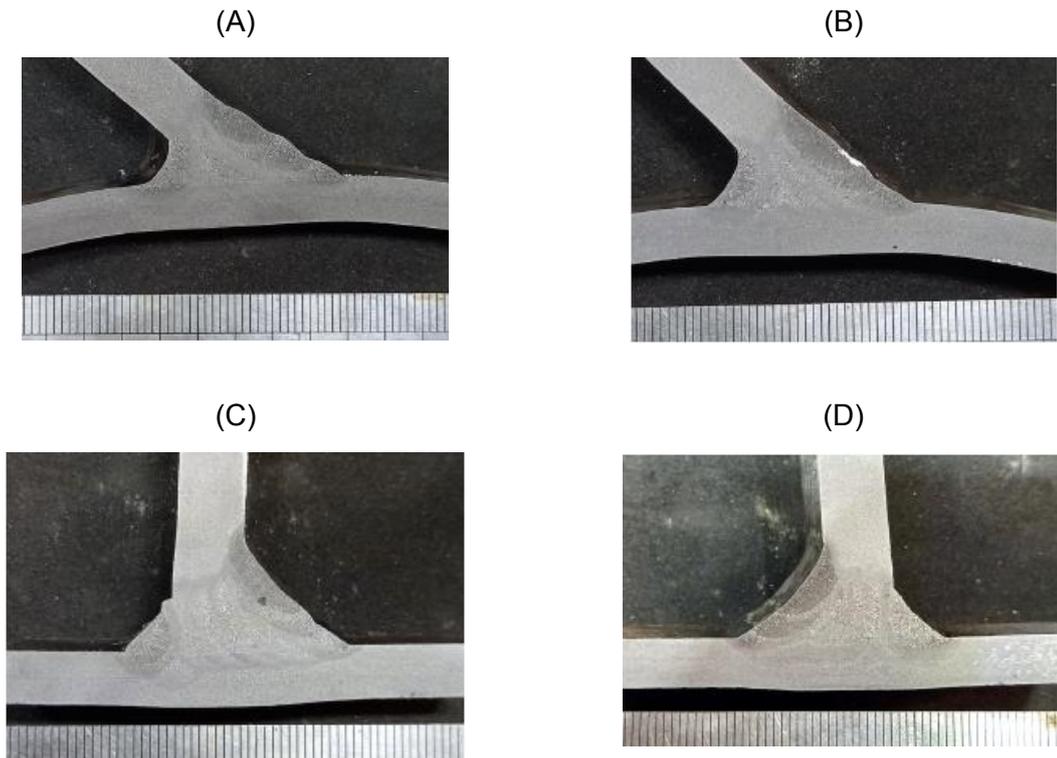
Fonte: O próprio autor.

Os dois corpos de prova da junta soldada das Figuras 29 (A e B), apresentaram resultados satisfatórios, uma vez que não apresentaram nenhuma evidência de falta

de fusão, trinca, mordedura maior 10 % ($6,4 \text{ mm} = 0,6 \text{ mm}$) da espessura do tubo (excedendo a 0,8 mm, a menor).

Foram realizados quatro ensaios de macrografia da junta soldada da derivação, conforme mostrado nas Figuras 30 (A a D).

Figura 30 – Ensaios de macrografia da junta soldada da derivação, da solda inferior (A) ponto a 0° , (B) ponto a 90° , (C) ponto a 180° (D) ponto a 270° .



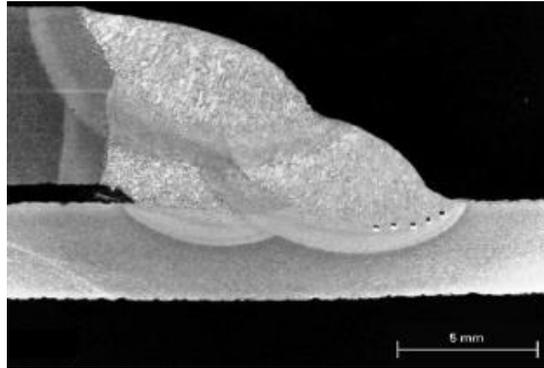
Fonte: O próprio autor.

Os quatro corpos de prova da junta soldada das Figuras 30 (A a D), apresentaram resultados satisfatórios, uma vez que não apresentaram nenhuma evidência de falta de fusão, trinca, mordedura maior 10 % ($6,4 \text{ mm} = 0,6 \text{ mm}$) da espessura do tubo (excedendo a 0,8 mm, a menor).

4.3.5 Ensaios de dureza

Foram realizados ensaio de dureza Vickers (HV10), medindo cinco pontos na ZAC distribuídos conforme Figura 31 em dois corpos de provas da junta soldada circunferencial e dois corpos de provas da junta soldada da derivação, de acordo com a norma ASME PCC-2 (ASME, 2018), conforme apresentado na Tabela 21.

Figura 31 – Ensaio de dureza (HV10), distribuídos em cinco pontos.



Fonte: O próprio autor.

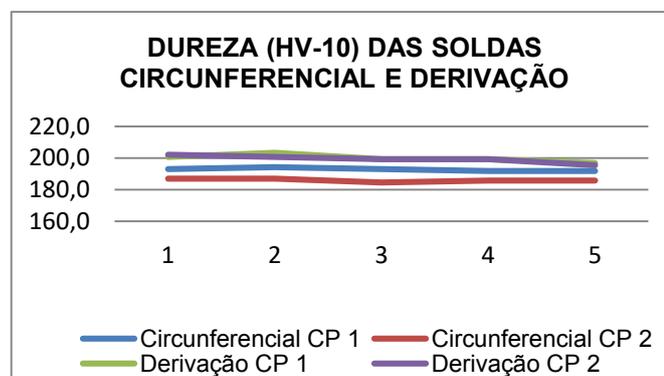
Tabela 21 – Valores dos ensaios de dureza Vickers (HV10).

Localização Solda	Pontos					Média	Desvio Padrão
	1	2	3	4	5		
Circunferencial CP 1	193,0	194,2	193,0	191,7	191,7	192,7	0,9
Circunferencial CP 2	186,9	186,9	184,5	185,7	185,7	185,9	0,9
Derivação CP 1	200,7	203,3	199,3	199,3	196,8	199,9	2,1
Derivação CP 2	202,0	200,7	199,3	199,3	195,5	199,4	2,2

Fonte: O próprio autor.

Os quatro corpos de prova da junta soldada, apresentam resultados satisfatórios, como mostrado no Gráfico 4.

Gráfico 4 – Resultados dos ensaios de dureza Vickers (HV10).



Fonte: O próprio autor.

4.3.6 Ensaios de dureza (adicionais)

Foram realizados ensaios de dureza Vickers (HV10) adicionais ao especificados pela norma, para uma maior abrangência da análise metalográfica, realizando três medidas em cada ponto nas juntas da solda circunferencial (Figura 32) e da derivação (Figura 41) apresentado nas Tabelas 22 e 23.

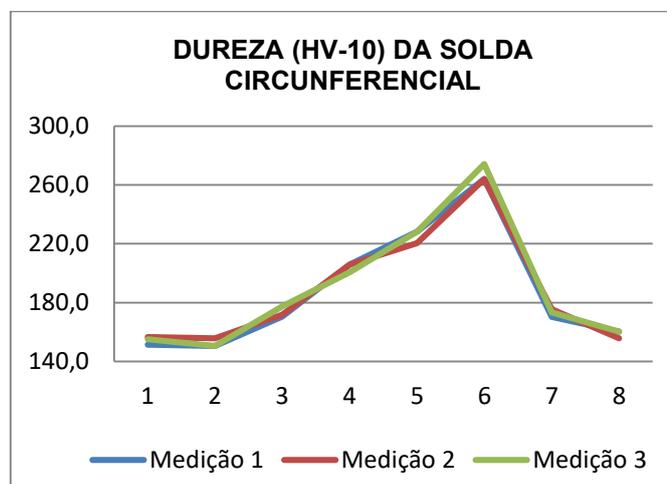
Tabela 22 – Ensaios de dureza Vickers (HV10), da solda circunferencial.

Localização		Pontos							
		1	2	3	4	5	6	7	8
		Metal Base	Metal Base	ZAC	Solda, Passe 1.	Solda, Passe 2.	Solda, Passe 3.	ZAC	Metal Base
Solda Circunferencial	Medida 1	151,4	150,5	170,5	206,0	228,3	264,1	170,3	160,4
	Medida 2	156,7	155,8	171,9	206,0	220,5	264,1	175,6	155,8
	Medida 3	155,2	150,5	177,4	200,7	228,3	274,3	173,4	160,4
	Média	154,4	152,3	173,3	204,2	225,7	267,5	173,1	158,9
	Desvio Padrão	2,2	2,5	3,0	2,5	3,7	4,8	2,2	2,2

Fonte: O próprio autor.

Observa-se que o ponto 6, terceiro e último passe de solda apresentou um valor de maior dureza, demonstrando que os passes anteriores foram revenidos pelos passes posteriores pelo aporte térmico da soldagem como mostrado no Gráfico 5.

Gráfico 5 – Resultados dos ensaios de dureza Vickers (HV10).



Fonte: O próprio autor.

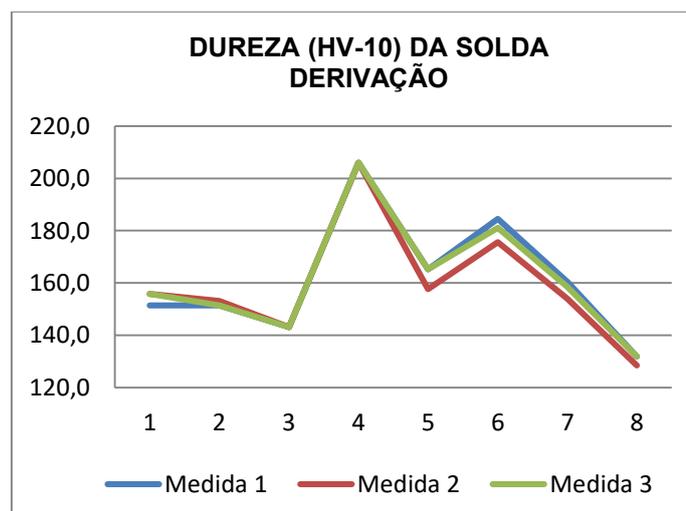
Tabela 23 – Ensaio de dureza Vickers (HV10), da solda derivação.

Localização		1	2	3	4	5	6	7	8
		MB	MB	ZAC	Solda, Passe 3.	Solda, Passe 1.	Solda, Passe 2.	ZAC	MB
Solda da Derivação	Medida 1	151,4	151,4	143,1	206,0	165,2	184,5	160,4	131,9
	Medida 2	155,8	153,1	143,1	206,0	157,6	175,6	154,0	128,4
	Medida 3	155,8	151,4	143,1	206,0	165,2	181,1	158,5	131,9
Média		154,3	152,0	143,1	206,0	162,7	180,4	157,6	130,7
Desvio Padrão		2,1	0,8	0,0	0,0	3,6	3,7	2,7	1,6

Fonte: O próprio autor.

Observa-se que o ponto 5, primeiro passe de solda passe de solda apresentou um valor de menor que os demais passes de solda, demonstrando que os passes posteriores realizaram um revenimento pelo aporte térmico da soldagem como mostrado no Gráfico 6.

Gráfico 6 Resultados dos ensaios de dureza Vickers



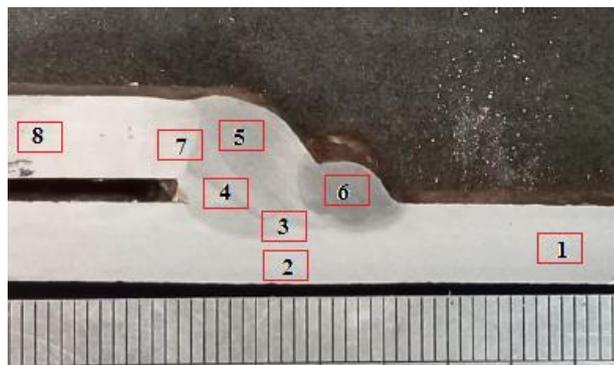
Fonte: O próprio autor.

4.3.7 Ensaios metalográficos

4.3.7.1. Junta soldada circunferencial do tubo de reforço

Foi realizado o ensaio metalográfico por micrografia em oito pontos na junta soldada circunferencial do tubo de reforço, conforme apresentado e distribuído na Figura 32.

Figura 32 – Distribuição dos pontos dos ensaios micrográficos da junta soldada circunferencial do tubo de reforço.

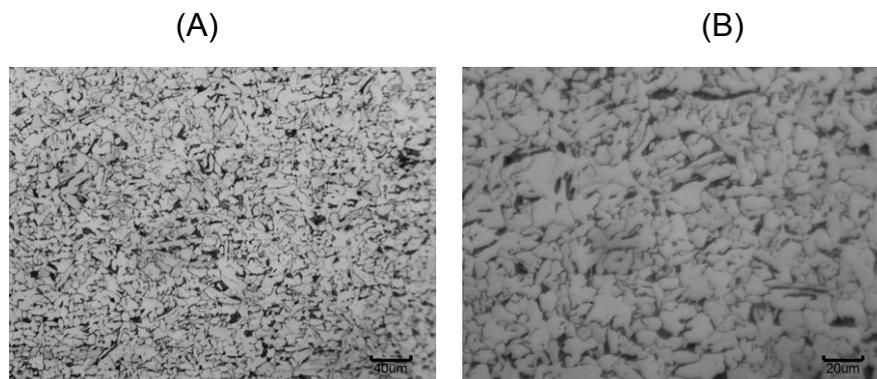


Fonte: O próprio autor.

Observa-se que os pontos seleccionados abordam as regiões dos metais de base, zona de ligação e zona de fusão da solda circunferencial do tubo de reforço, respectivamente.

A Figura 33, ilustra a microestrutura do metal de base do tubo principal.

Figura 33 – Fotomicrografia com aumento de 200X (A) e 400X (B). Ponto 1.



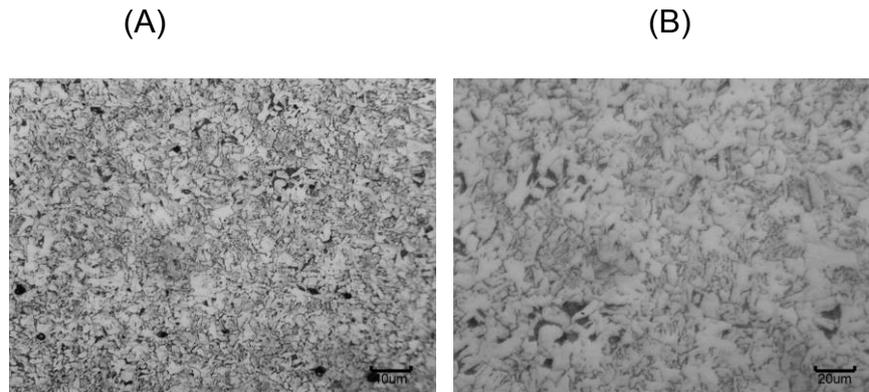
Fonte: O próprio autor.

Observa-se uma microestrutura, no ponto 1 do tubo principal constituída de grãos equiaxiais de ferrita (grãos claros) e grãos equiaxiais de perlita (grãos cinzas)

distribuídos uniformemente no metal base, característico de aço A106 grau B, hipoeutetóide, ou seja, de baixo carbono.

A Figura 34, ilustra a microestrutura do metal de base do tubo principal no ponto abaixo da solda.

Figura 34 – Fotomicrografia com aumento de 200X (A) e 400X (B). Ponto 2.

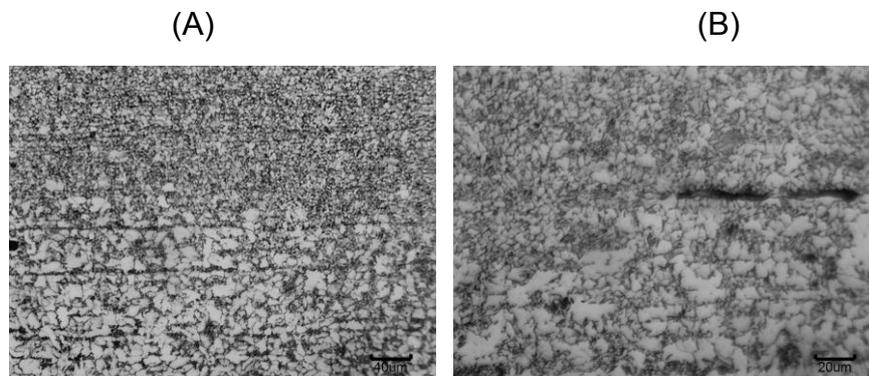


Fonte: O próprio autor.

Observa-se uma microestrutura, no ponto 2 do tubo principal, constituída de grãos equiaxiais de ferrita (grãos claros) e grãos equiaxiais de perlita (grãos cinzas), distribuídos uniformemente no metal base, característico de aço A106 grau B hipoeutetóide, ou seja, de baixo carbono. Essa microestrutura sofreu alteração em sua morfologia da formação e nos contornos dos grãos em função da troca térmica, ou seja, devido à energia de soldagem.

A Figura 35, ilustra a microestrutura da ZAC com o tubo principal.

Figura 35 – Fotomicrografia com aumento de 200X (A) e 400X (B). Ponto 3.

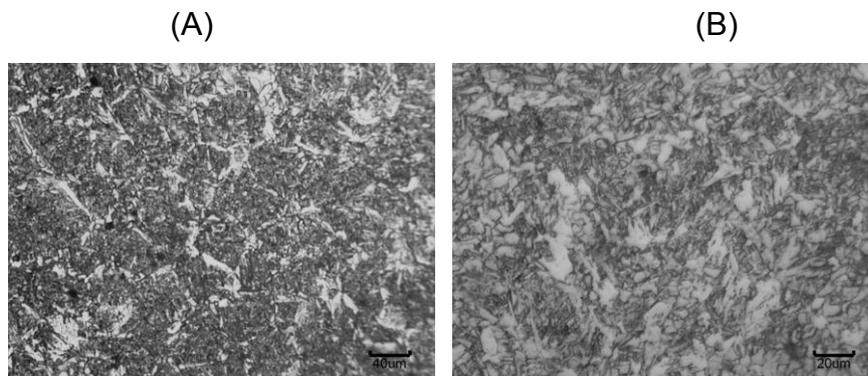


Fonte: O próprio autor.

Observa-se uma microestrutura, no ponto 3, na ZAC com o tubo principal constituída de grãos equiaxiais de ferrita (grãos claros) e grãos equiaxiais de perlita (grãos cinzas) não distribuídos uniformemente, ou seja, grãos mais finos na parte superior e maiores na região inferior onde observa-se as linhas de laminação do tubo. Essa microestrutura sofreu alteração em sua morfologia dos grãos em função da troca térmica, ou seja, devido à energia de soldagem.

A Figura 36, ilustra a microestrutura do primeiro passe de solda.

Figura 36 – Fotomicrografia com aumento de 200X (A) e 400X (B). Ponto 4.

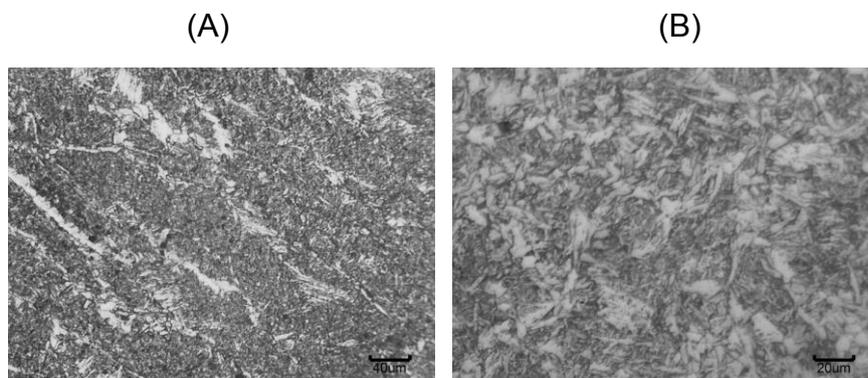


Fonte: O próprio autor.

Observa-se uma microestrutura, no ponto 4 no primeiro passe da solda com o tubo principal constituída de grãos direcionais de ferrita (grãos claros) e grãos direcionais de perlita (grãos cinzas) não distribuídos uniformemente. Essa microestrutura sofreu alteração em sua morfologia dos grãos em função da troca térmica, ou seja, devido à energia de soldagem.

A Figura 37, ilustra a microestrutura do segundo passe de solda.

Figura 37 – Fotomicrografia com aumento de 200X (A) e 400X (B). Ponto 5.

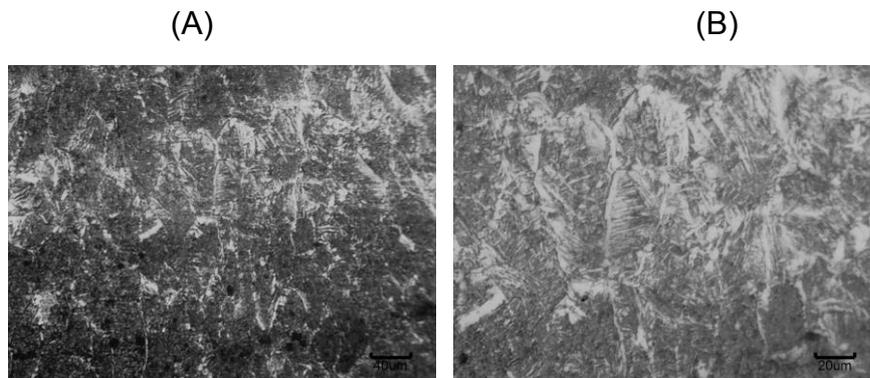


Fonte: O próprio autor.

Observa-se uma microestrutura, no ponto 5 no segundo passe da solda com o tubo principal, constituída de grãos direcionais de ferrita (grãos claros) e grãos direcionais de perlita (grãos cinzas) não distribuídos uniformemente. Essa microestrutura sofreu alteração em sua morfologia dos grãos em função da troca térmica, ou seja, devido à energia de soldagem.

A Figura 38, ilustra a microestrutura da zona fundida do terceiro passe de solda.

Figura 38 – Fotomicrografia com aumento de 200X (A) e 400X (B). Ponto 6.

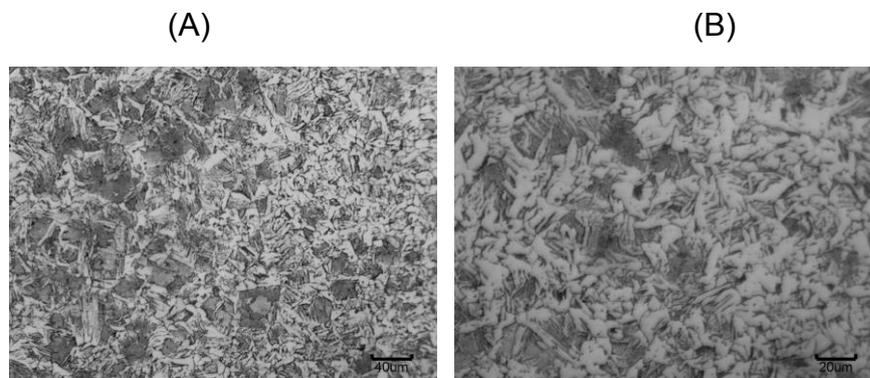


Fonte: O próprio autor.

Observa-se uma microestrutura, no ponto 6 no terceiro passe da solda com o tubo principal constituída de grãos direcionais de ferrita (grãos claros) e grãos direcionais de perlita (grãos cinzas) não distribuídos uniformemente. Essa microestrutura sofreu alteração em sua morfologia dos grãos em função da troca térmica, ou seja, devido a energia de soldagem.

A Figura 39, ilustra a microestrutura da zona afetada pelo calor com o reforço.

Figura 39 – Fotomicrografia com aumento de 200X (A) e 400X (B). Ponto 7.

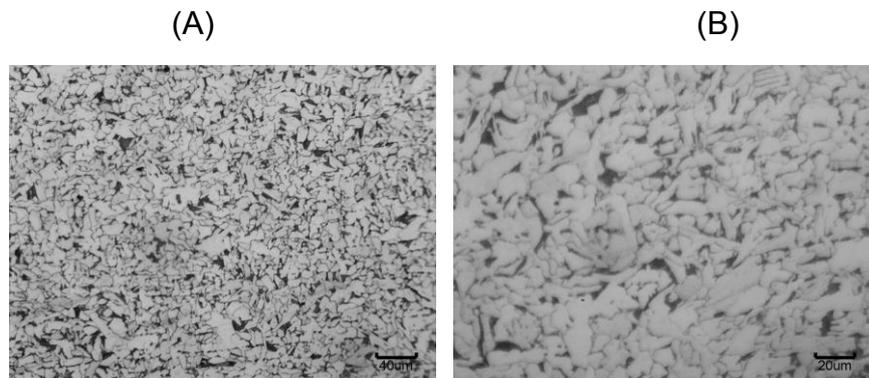


Fonte: O próprio autor.

Observa-se uma microestrutura, no ponto 7, na linha de fusão da solda com o reforço (ZAC), constituída de grãos direcionais de ferrita (grãos claros) e grãos direcionais de perlita (grãos cinzas) não distribuídos uniformemente. Essa microestrutura sofreu alteração em sua morfologia dos grãos em função da troca térmica, ou seja, devido à energia de soldagem.

A Figura 40, ilustra a microestrutura do metal de base com o reforço.

Figura 40 – Fotomicrografia com aumento de 200X (A) e 400X (B). Ponto 8.



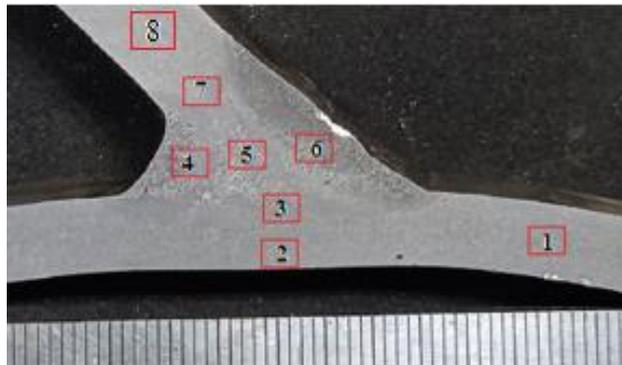
Fonte: O próprio autor.

Observa-se uma microestrutura, no ponto 8 do metal base do tubo de reforço, constituída de grãos equiaxiais de ferrita (grãos claros) e grãos equiaxiais de perlita (grãos cinzas) distribuídos uniformemente no metal base, característico de aço hipoeutetóide, ou seja, de baixo carbono. Essa microestrutura sofreu alteração em sua morfologia da formação e nos contornos dos grãos em função da troca térmica.

4.3.7.2. Junta soldada da derivação

Foi realizado o ensaio metalográfico por micrografia em oito pontos na junta soldada da derivação A106 grau B, conforme apresentado e distribuído na Figura 41.

Figura 41 – Distribuição dos pontos dos ensaios micrográficos da junta soldada da derivação.

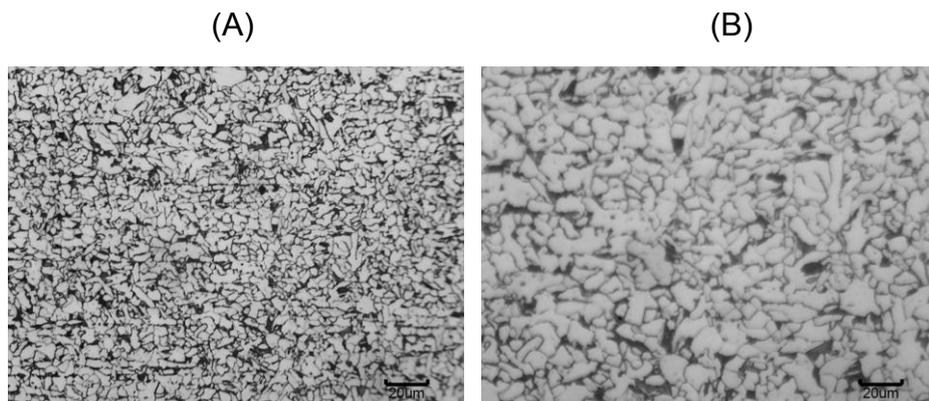


Fonte: O próprio autor.

Observa-se que os pontos selecionados abordam as regiões dos metais de base, da zona de ligação e da zona de fusão da solda da derivação.

A Figura 42, ilustra a microestrutura do metal de base do tubo principal.

Figura 42 – Fotomicrografia com aumento de 200X (A) e 400X (B). Ponto 1.

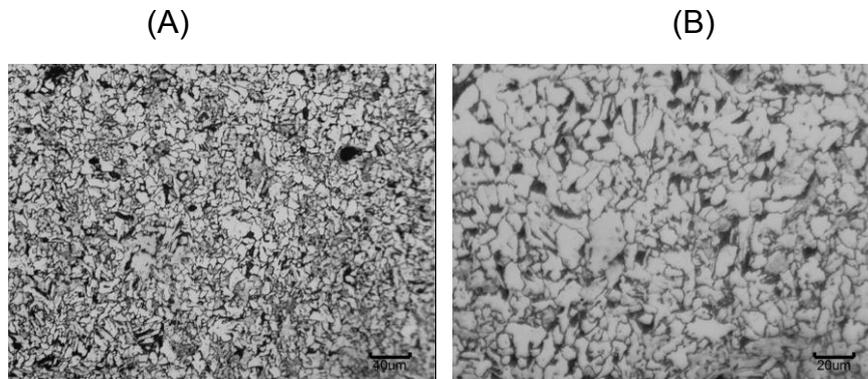


Fonte: O próprio autor.

Observa-se uma microestrutura constituída de grãos equiaxiais de ferrita (grãos claros) e grãos equiaxiais de perlita (grãos cinzas) distribuídos uniformemente no metal base, característico de aço A106 grau B hipoeutetóide, ou seja, de baixo carbono.

A Figura 43, ilustra a microestrutura do metal base do tubo principal.

Figura 43 – Fotomicrografia com aumento de 200X (A) e 400X (B). Ponto 2.

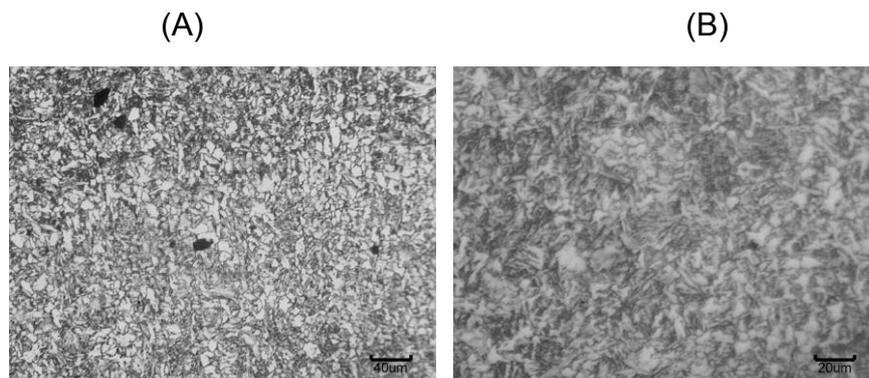


Fonte: O próprio autor.

Observa-se uma microestrutura, no ponto 2 do tubo principal constituída de grãos equiaxiais de ferrita (grãos claros) e grãos equiaxiais de perlita (grãos cinzas) distribuídos uniformemente no metal base, característico de aço A106 grau B hipoeutetóide, ou seja, de baixo carbono. Essa microestrutura sofreu alteração em sua morfologia da formação e nos contornos dos grãos em função da troca térmica.

A Figura 44, ilustra a microestrutura da ZAC com o tubo principal.

Figura 44 – Fotomicrografia com aumento de 200X (A) e 400X (B). Ponto 3.

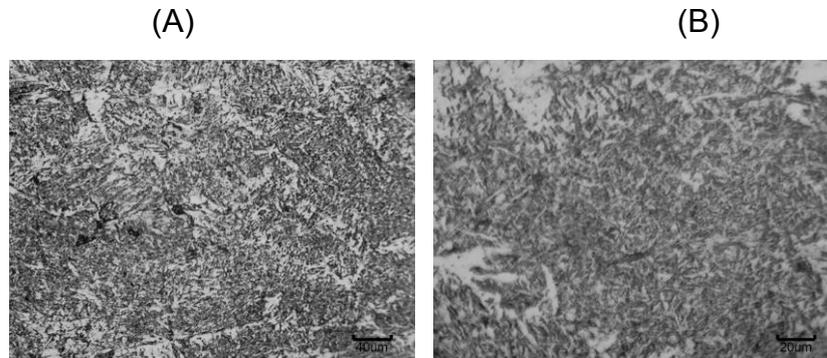


Fonte: O próprio autor.

Observa-se uma microestrutura, no ponto 3 da ZAC com o tubo principal constituída de grãos equiaxiais de ferrita (grãos claros) e grãos equiaxiais de perlita (grãos cinzas) não distribuídos uniformemente, ou seja, grãos mais escurecidos na parte superior e mais claros na região inferior. Essa microestrutura sofreu alteração em sua morfologia dos grãos em função da troca térmica.

A Figura 45, ilustra a microestrutura da zona fundida do terceiro passe de solda.

Figura 45 – Fotomicrografia com aumento de 200X (A) e 400X (B). Ponto 4.

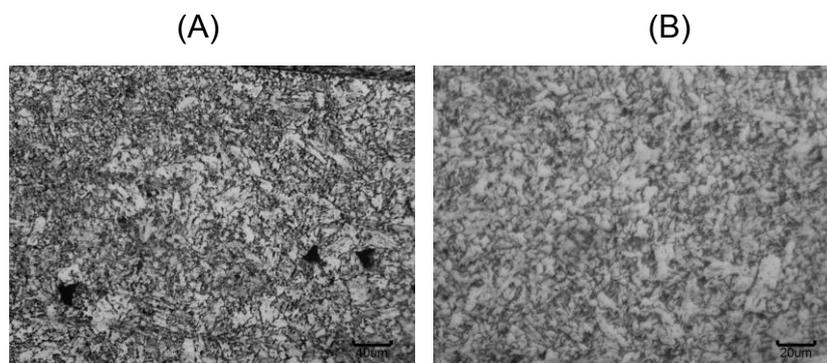


Fonte: O próprio autor.

Observa-se uma microestrutura, no ponto 4, no terceiro passe da solda com o tubo principal, constituída de grãos direcionais de ferrita (grãos claros) e grãos direcionais de perlita (grãos cinzas) não distribuídos uniformemente, característico de estrutura *Widmanstätten*. Essa microestrutura sofreu alteração em sua morfologia dos grãos em função da troca térmica, ou seja, devido à energia de soldagem.

A Figura 46, ilustra a microestrutura do primeiro passe de solda.

Figura 46 – Fotomicrografia com aumento de 200X (A) e 400X (B). Ponto 5.

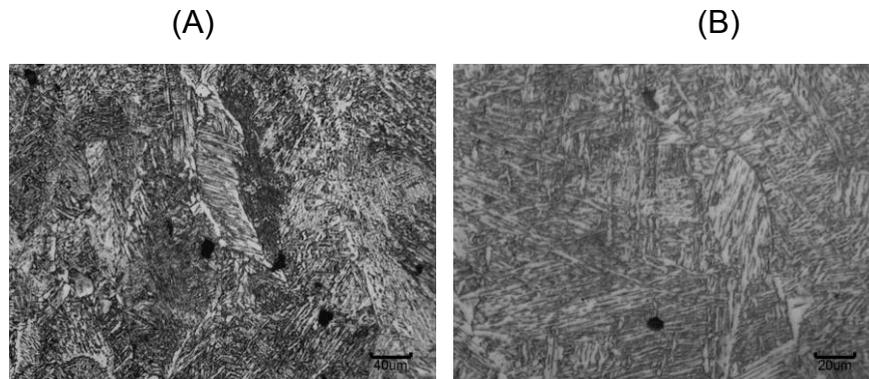


Fonte: O próprio autor.

Observa-se uma microestrutura, no ponto 5, no primeiro passe da solda com o tubo principal, constituída de grãos direcionais de ferrita (grãos claros) e grãos direcionais de perlita (grãos cinzas) não distribuídos uniformemente. Essa microestrutura foi refinada nos grãos, pois sofreu alteração em sua morfologia dos grãos em função da troca térmica, ou seja, devido a energia de soldagem.

A Figura 47, ilustra a microestrutura do terceiro passe de solda.

Figura 47 – Fotomicrografia com aumento de 200X (A) e 400X (B). Ponto 6.

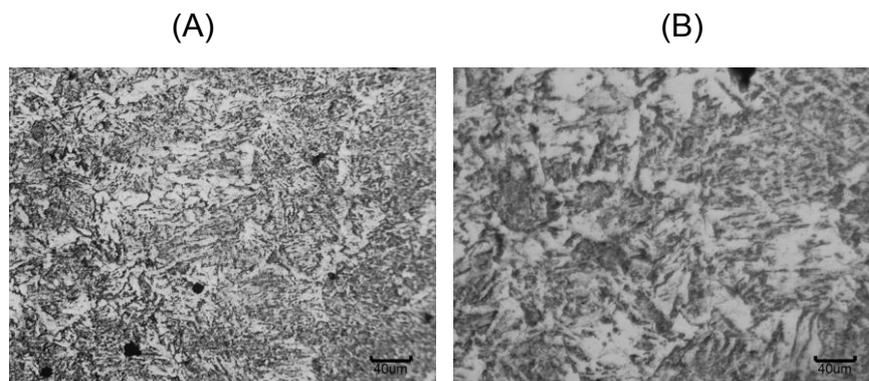


Fonte: O próprio autor.

Observa-se uma microestrutura, no ponto 6, no terceiro passe da solda com o tubo principal constituída de grãos direcionais de ferrita (grãos claros) e grãos direcionais de perlita (grãos cinzas) não distribuídos uniformemente, característico de estrutura *Widmanstätten*. Essa microestrutura sofreu alteração em sua morfologia dos grãos em função da troca térmica, ou seja, devido à energia de soldagem.

A Figura 48, ilustra a microestrutura da ZAC com a derivação.

Figura 48 – Fotomicrografia com aumento de 200X (A) e 400X (B). Ponto 7.

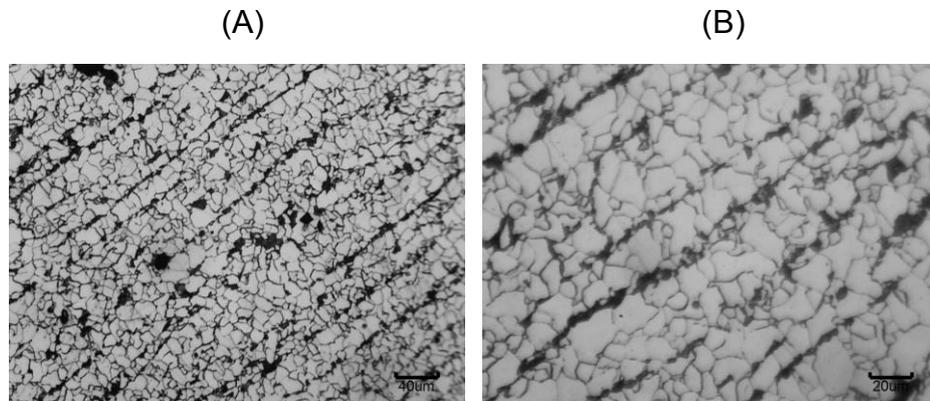


Fonte: O próprio autor.

Observa-se uma microestrutura, no ponto 7, na linha de fusão da solda com o reforço (ZAC) constituída de grãos direcionais de ferrita (grãos claros) e grãos direcionais de perlita (grãos cinzas) não distribuídos uniformemente. Essa microestrutura sofreu alteração em sua morfologia dos grãos em função da troca térmica, ou seja, devido à energia de soldagem.

A Figura 49, ilustra a microestrutura do metal de base da derivação.

Figura 49 – Fotomicrografia com aumento de 200X (A) e 400X (B). Ponto 8.



Fonte: O próprio autor.

Observa-se uma microestrutura, alinhada dos grãos no ponto 8, do metal base da derivação constituída de grãos equiaxiais de ferrita (grãos claros) e grãos equiaxiais de perlita (grãos cinzas) distribuídos uniformemente no metal base, característico de aço A106 grau B hipoeutetóide laminado, ou seja, de baixo carbono. Essa microestrutura não sofreu alteração em sua morfologia da formação e nos contornos dos grãos em função da troca térmica, ou seja, devido à energia de soldagem.

5 CONCLUSÕES

A pesquisa proposta definiu que a soldagem em operação de tubulações de aço carbono em unidades de processos industriais é possível de ser realizada, pelos processos de soldagem TIG (GTAW) e eletrodo revestido (SMAW), pois atendeu a todos os requisitos dos ensaios não destrutivos e a todas as solicitações dos ensaios mecânicos e metalúrgicos.

Os ensaios não destrutivos e metalúrgicos realizados apresentaram resultados isentos de trincas, que é um fator que poderia ocorrer pelo resfriamento rápido pela passagem de fluxo interno na tubulação principal.

Pela energia de soldagem (Gráfico 1) aplicada durante o processo de soldagem de eletrodo revestido (SMAW) não houve perfuração, que é outro fator que poderia ocorrer. Foi possível realizar o planejamento dos parâmetros de soldagem por meio de uma estimativa da temperatura interna da tubulação durante a soldagem e a penetração de profundidade da poça de fusão. Durante a soldagem, foi obtida uma temperatura interna de 225 °C, ou seja, 23 % da temperatura crítica de perfuração que é 980 °C e uma penetração de 0,76 mm, sendo 12 % da espessura do tubo que é 6,4 mm.

Nos ensaios de dureza realizados, tanto na solda circunferencial (Tabela 22 e Gráfico 5) quanto na solda da derivação (Tabela 23 e Gráfico 6), observa-se que o passe de raiz tem dureza menor que os demais passes devido ao revenimento aplicado pelos passes de soldas posteriores.

Nas macrografias e micrografias realizadas nas soldas circunferenciais e de derivação, observa-se que as microestruturas sofreram diversas transformações micro estruturais ocorridas pelas alterações em suas morfologias dos grãos em função da troca térmica, ou seja, devido à energia de soldagem.

REFERÊNCIAS

- BAILEY N.; COE, F.R.; GOOCH, T.G.; HART, P.H.M.; JENKINS, N.; PARGETER, R.J. **Welding Steels without Hydrogen Cracking**. 2 ed. Cambridge, US-MA: Abington Publishing, 1973. 150p.
- BORING, M.A. **Burn through Prediction for In-Service Welding: Past, Present, and Future**. Columbus, US-OH: EWI, 2012.
- BRAVIM, H.J.; GALDINO, A.G. de S.; LUZ, T. de S. **Avaliação do conservadorismo do método de análise térmica do PRCI quanto ao risco de perfuração no reparo com Soldagem em operação de oleoduto com baixa espessura**. SODEBRAS, v.14, n159, p. 120-125, 2019. DOI: 10.29367/issn.1809_3957.14.2019, 159.120.
- COLPAERT, Hubertus; COSTA E SILVA, André Luiz V. da. **Metalografia dos Produtos Siderúrgicos Comuns**. 4 ed. São Paulo, BR-SP: Blucher, 2008. ISBN 9788521204497 652p.
- IKAWA, H.; NAKAO, Y.; NISHIMOTO, K. **Study on weld decay in SUS 304 – Precipitation phenomenon of M//2//3C//6 during thermal cycles –** Technology Reports of the Osaka University, v.29, n. 1648, 1979.
- KOU, S. **Welding Metallurgy**. 3 ed. Hoboken, US-NI: Johns Wiley & Sons, 2020. 688p. ISBN 9781119524816.
- LIPPOLD, J.C. **Welding Metallurgy and Weldability**. Hoboken, US-NI; John Wiley & Sons, 2015. 421p. DOI 10.1002/9781118960332.
- MODENESI, P.J.; MARQUES, P.V.; SANTOS, D.B. **Introdução à Metalurgia da Soldagem**. Belo Horizonte, BR-MG: UFMG/DEMET, 2012. 209p.
- MONTGOMERY, D.C. **Introdução ao Controle Estatístico da Qualidade**. Rio de Janeiro, BR-RJ; LTC, 2017. 856p.
- OZARPA, C.; ELHAN, M.S. **Risk in the Hot-Tap Operation**, In: The 26th World Gas Conference, June 2015, Paris. Proceedings... Paris; WGE, 2015. 18p.
- PETRÓLEO BRASILEIRO (PETROBRAS). **Norma N-57 Revisão H: Projeto Mecânico de Tubulações Industriais**. Rio de Janeiro, BR-RJ: PETROBRAS, 2017. 92P.
- PETRÓLEO BRASILEIRO (PETROBRAS). **Norma N-133 Revisão N: Soldagem**. Rio de Janeiro, BR-RJ: PETROBRAS, 2017. 41P.
- PETRÓLEO BRASILEIRO (PETROBRAS). **Norma N-2163 Revisão F: Soldagem e Trepanação em Equipamentos, Tubulações Industriais e Dutos em Operação**. Rio de Janeiro, BR-RJ: PETROBRAS, 2016. 42P.

PHILLIPS, D.H. **Welding Engineering: An Introduction**. Chichester, West Sussex, GB: John Wiley & Sons, 2016. 292p. ISBN 9781118766446.

ROSMAN, M.A.B. **Temperature Prediction in Hot Tapping Process for High Pressure Pipeline**. Dissertação (Eng. Mecânica), Universiti Teknologi PETRONAS, Malaysia, 2017. 42p.

SENAI-BA Cimatec **Inspetor de Soldagem** / SENAI-BA/SENAI-MG/SENAI-RJ Rio de Janeiro: 2012. 440 p.

THE AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. 2019 **ASME Boiler and Pressure Vessel Code. Section IX: Welding, Brazing, and Fusing Qualifications**. New York, US-NY: ASME, 2019. 421p.

THE AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. 2019 (ASME) 2021. **ASME Boiler and Pressure Vessel Code. Section II: Materials – Part A: Ferrous Material Specifications** (Beginning to SA-450). New York, US-NY: ASME, 2021. 755p.

THE AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. 2019 (ASME) 2021. **ASME Boiler and Pressure Vessel Code. Section II: Materials – Part C: Specifications for Welding Rods, Electrodes, and Filler Metals**. New York, US-NY: ASME, 2019. 1010p.

THE AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. (ASME) 2021. **ASME PCC-2-2018. Repair of Pressure Equipment and Piping**. New York, US-NY: ASME, 2018. 292p. ISBN 9780791872208.

THE AMERICAN SOCIETY FOR MATERIALS (ASM). **ASM Handbook Volume 6: Welding, Brazing, and Soldering**. In Olson, D.L., Siewert, T.A., Luy, S., EDWARAS, G.R. ASM Handbook. Materials Part, US-OH: ASM International, 1993. 1299p. ISBN 978.0-87170-382-8.

THE AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). **ASTM E3-95, Standard Practice for Preparation of Metallographic Specimens**. West Conshohocken, US-PA: ASTM International, 2017.

THE AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). ASTM E7-01, Standard Terminology Relating to Metallography. West Conshohocken, US-PA: ASTM International, 2017.

THE AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). **ASTM E407-07, Standard Practice for Microteaching Metals and Alloys**. West Conshohocken, US-PA: ASTM International, 2017.

THE AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). **ASTM E883-11, Standard Guide for Reflected-Light Photomicrography**. West Conshohocken, US-PA: ASTM International, 2017.

THE AMERICAN WELDING SOCIETY (AWS). **AWS B4.0: 2016 Standard Methods for Mechanical Testing of Welds**. 8 ed. Danvers, US-MA: AWS, 2016. ISBN 978-0-87171-889-1.

TELLES, P.C.S.; BARROS, D.G.P. **Tabelas e Gráficos para Projetos de Tubulação**. Rio de Janeiro, BR-RJ: LTC, 2001. 248p.

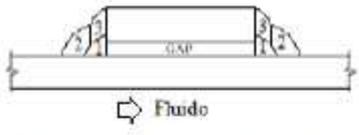
WAINER, E.; BRANDI, S.D.; MELLO, F.D.H. **Soldagem: Processos e Metalurgia**. São Paulo, BR-SP; Blucher, 1992. 494p.

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial desta obra, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada à fonte.

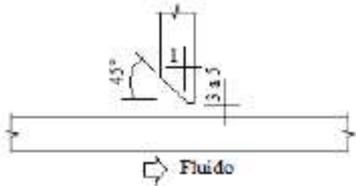
Fernando de Oliveira Farizel

Taubaté-SP, 24 de agosto de 2022.

Apêndice I – Especificação do Procedimento de Soldagem (EPS)

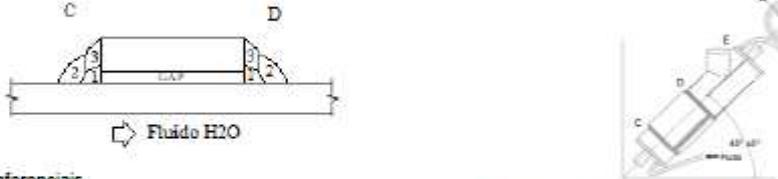
 		ESPECIFICAÇÃO DO PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM - EPS WELDING PROCEDURE SPECIFICATION - WPS		Data (Date) 20/04/2021 Folha (Sheet) 1 de 2 (front)				
Empresa (Organization) DROP ENGENHARIA LTDA		Norma (Code) ASME IX-2019 e ASME PCC-2-2018						
Especificação do procedimento de soldagem Nº (Welding Procedure Specification No.) LCD-008		Rev.0		Suportado pela RQP Nº (Supporting PQR No.) LCD-008				
Processos de Soldagem (Welding Processes) Eletrodo revestido (SMAW)		Tipo (Type)		Manual				
JUNTA - (QW-402) (JOINTS)		Detalhe (Details)						
Projeto da junta (Joint Design) Sobreposta		 <p>↻ Fluido</p> <p>Ou conforme projeto, EPS especifica para soldagem de solda em Ângulo.</p>						
Abertura da raiz (Root Spacing) GAP máximo de 1,6 mm								
Cobre junta (Backing) Sim (yes) -- Não (No) X								
Material do cobre junta (Tipo) (Backing Material (Type)) --								
<table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%;"><input type="checkbox"/> Metal (Metal)</td> <td style="width: 50%;"><input type="checkbox"/> Não Fundido (Nonfusing Metal)</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Não metálico (Nonmetallic)</td> <td><input type="checkbox"/> Outro (Other)</td> </tr> </table>		<input type="checkbox"/> Metal (Metal)	<input type="checkbox"/> Não Fundido (Nonfusing Metal)	<input type="checkbox"/> Não metálico (Nonmetallic)	<input type="checkbox"/> Outro (Other)			
<input type="checkbox"/> Metal (Metal)	<input type="checkbox"/> Não Fundido (Nonfusing Metal)							
<input type="checkbox"/> Não metálico (Nonmetallic)	<input type="checkbox"/> Outro (Other)							
METAIS BASE (QW-403) (BASE METALS)								
P N°: 1		Grupo N° (Group No.) 1		Com P N° (with P-No) 1				
Grupo N° (Group No.) 1		Grupo N° (Group No.) 1						
Ou (Or)		Especificação e tipo/grau ou número UNS (Specification and type, grade, or UNS Number) A/SA 106 Gr. B						
Com Especificação e tipo/grau ou número UNS (to Specification and type, grade, or UNS Number)		A/SA 106 Gr. B						
Ou (Or)		Com Análise química (nominal) e propriedades mecânicas (to Chemical analysis (nominal) and mechanical properties) C-Mn e 415 Mpa						
Com Análise química (nominal) e propriedades mecânicas (to Chemical analysis (nominal) and mechanical properties)		C-Mn e 415 Mpa						
Faixa de espessuras: (Thickness Range:)								
Metal de base: (Base Metal) Chanfro (Groove) -- Filete (Filet) Perna qualquer								
Máxima espessura do passe ≤ 13 mm para Elet. rev. (Maximum Pass Thickness ≤ 1/2 in. (13 mm) for SMAW) -- Sim (yes) X Não (No)								
Outros (Other) Todos os diâmetros (All diameters)								
METAIS DE ADIÇÃO (QW-404) FILLER METALS								
		1		2				
Especificação Nº (SFA) [Spec. No. (SFA)]		SFA 5.1		--				
Classificação AWS Nº [AWS No. (Class)]		E7018 (H8)		--				
F Nº		4		--				
A Nº		1		--				
Diâm. da vareta/eletrodo (Diam. of Filler Metals)		2,0, 2,5 ou 3,2 mm		--				
Forma do produto (Filler Metal Product Form)		--		--				
Consumível suplementar (Supplemental Filler Metal)		--		--				
Metal de Solda (Weld Metal)								
Espessura do depósito: (Deposited Thickness:)								
Chanfro (Groove)		--		--				
Filete (Filet)		Qualquer		--				
Classificação do Fluxo [Electrode-Flux (Class)]		--		--				
Tipo de Fluxo (Flux Type)		A) Para soldagem em espessuras entre "maior que 3,2 mm e menor que 6,35 mm", deve-se, utilizar somente eletrodos de diâmetro 2,4 mm ou 2,0 mm;						
Nome Comercial do Fluxo (Flux Trade Name)		b) Para soldagem em espessuras entre 6,35 mm e 12,7 mm, deve-se utilizar somente eletrodos com diâmetro igual ou inferior a 3,2 mm.						
Inseto consumível (Consumable Insert)								
Outros (Other)								

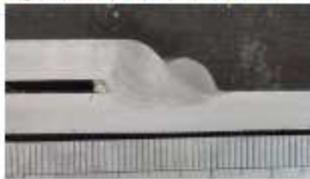
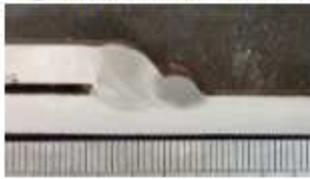
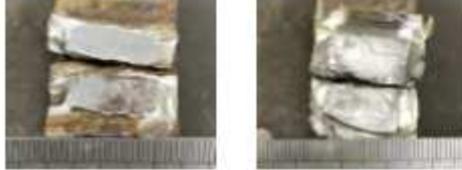
 		ESPECIFICAÇÃO DO PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM - EPS WELDING PROCEDURE SPECIFICATION - WPS		Data (Date) 20/04/2021 Folha (sheet) 2 de 2 (Back) LCD-006													
POSIÇÃO (QW-405) (POSITIONS) Posição(es) do chanfro (Position(s) of Groove) _____ Progressão de soldagem: (Welding Progression): Ascendente (Up) _____ X _____ Descendente (Down) _____ -- _____ Posição(es) do Filete (Position(s) of Fillet) _____ Qualquer _____ Outros (Other) _____ Qualquer _____			TRATAMENTO TÉRMICO (QW-407) (POSTWELD HEAT TREATMENT) Faixa de Temperatura (Temperature Range) _____ -- _____ Tempo de tratamento (mínimo) (Minimum Holding Time) _____ Temperatura de Controle (Control Temperature) início (Start) _____ Fim (End) _____ Taxa de Aquecimento (heating rate) _____ Taxa de Resfriamento (cooling rate) _____														
PREAQUECIMENTO (QW-406) (PREHEAT) Temperatura de preaquecimento, Mínima (Preheat Temperature, Minimum) _____ 10°C Temperatura de Interpasse, Máxima (Interpass Temperature, Maximum) _____ 50°C Manutenção do preaquecimento (Preheat Maintenance) _____ -- _____ Outros (Other) _____ -- _____			GAS (QW-408) (GAS) <table border="1"> <thead> <tr> <th>Gás(es) [Gas(es)]</th> <th>Composição % (Mistura) [% Composition (Mixture)]</th> <th>Vazão do fluxo - l/min (Flow Rate)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Proteção (Shielding) _____</td> <td>_____</td> <td>_____</td> </tr> <tr> <td>Interna (Backing) _____</td> <td>_____</td> <td>_____</td> </tr> <tr> <td>Outros (Other) _____</td> <td>_____</td> <td>_____</td> </tr> </tbody> </table>			Gás(es) [Gas(es)]	Composição % (Mistura) [% Composition (Mixture)]	Vazão do fluxo - l/min (Flow Rate)	Proteção (Shielding) _____	_____	_____	Interna (Backing) _____	_____	_____	Outros (Other) _____	_____	_____
Gás(es) [Gas(es)]	Composição % (Mistura) [% Composition (Mixture)]	Vazão do fluxo - l/min (Flow Rate)															
Proteção (Shielding) _____	_____	_____															
Interna (Backing) _____	_____	_____															
Outros (Other) _____	_____	_____															
CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS (QW-409) (ELECTRICAL CHARACTERISTICS)																	
Passe(s) de solda [Pass(es)]	Processo (Process)	Metal de Adição Filler Metal		Corrente Tipo e Polaridade (Current Type and Polarity)	Corrente (Faixa) [Amps (Range)]	Energia (kJ/mm) [Heat Input (Max)]	Potência (faixa) watts [Power (Range)]	Tensão (faixa) [Volts (Range)]	Velocidade (faixa) mm/min. [Travel Speed (Range)]	Outros (Other)							
		Classificação (Classification)	Diâmetro mm (Diameter)														
Raiz 1 - 2 (Root)	Eletrodo revestido	E7018 (H8)	2,0, 2,4 ou 3,2	CCEP	90 a 100	0,6	2200 a 4500	22 a 24	180 a 250	--							
Demais	Eletrodo revestido	E7018 (H8)	2,0, 2,4 ou 3,2	CCEP	90 a 100	0,6	2200 a 4500	22 a 24	180 a 250	--							
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--							
Corrente Pulsada (Pulsing Current) _____				Energia de soldagem (max.) [Heat Input (max.)] _____		Faixa: 0,5 a 0,8 kJ/mm											
Eletrodo de Tungstênio diâmetro e Tipo (Tungsten Electrode Diameter and Type) _____																	
Modo de transferência do metal para GMAW (Mode of Metal Transfer for GMAW) _____																	
Outros (Other) O risco de perfuração deve ser avaliado antes do início da soldagem conforme fluido.																	
TECNICA (QW-410) (TECHNIQUE)																	
Passes retilíneos ou oscilantes (String or Weave Bead) Retilíneos																	
Dimensão do bocal (Orifice, Nozzle, or Gas Cup Size) _____																	
Limpeza inicial e interpasse (Initial and Interpass Cleaning) Escovamento ou esmerilhamento com disco abrasivo																	
Método de Goivagem (Method of Back Gouging) _____																	
Oscilação (Oscillation) Máxima 3 vezes o diâmetro do eletrodo.																	
Distância tubo contato ao trabalho (Contact Tube to Work Distance) _____																	
Passe único ou múltiplo (Single or multiple pass) Múltiplo																	
Eletrodos: único ou múltiplos (Electrodes: Single or multiple) Único																	
Carbono equivalente (equivalent carbon) Máximo 0,32%																	
Severidade térmica Tempo de resfriamento de 250 °C à 100 °C mínimo 9,0 Seg.																	
DISCENTE - MESTRADO					PROFESSOR ORIENTADOR												
Fernando Farizel Eng.º esp. em Soldagem Inspetor de Soldagem N2					Dr. José Rubens de Camargo												

 		ESPECIFICAÇÃO DO PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM - EPS WELDING PROCEDURE SPECIFICATION - WPS		Data (Date)	20/04/2021
				Folha (Sheet)	1 de 2 (Front)
Empresa (Organization)	DROP ENGENHARIA LTDA			Norma (Code)	ASME IX-2019 e ASME PCC-2-2018
Especificação do procedimento de soldagem N° (Welding Procedure Specification No.)	LCD-006A		Rev.0	Suportado pela RQP N° (Supporting PQR No.)	LCD-006
Processos de Soldagem (Welding Processes)	TIG (GTAW)		Tipo (Type)	Manual	
JUNTA - (QW-402) (JOINTS)			Detalhe (Details)		
Projeto da junta (Joint Design)	Derivação				
Abertura da raiz (Root Spacing)	3 a 5 mm				
Cobre junta (Backing) (yes/no)	Sim (yes) <input type="checkbox"/>	Não (No) <input checked="" type="checkbox"/>			
Material do cobre junta (Tipo) (Backing Material (Type))	-				
<input type="checkbox"/> Metal (Metal) <input type="checkbox"/> Não metálico (Nonmetallic)	<input type="checkbox"/> Não Fundido (Nonfusing Metal) <input type="checkbox"/> Outro (Other)				
Ou conforme projeto, EPS específica para soldagem em junta de Ângulo.					
METAIS BASE (QW-403) (BASE METALS)					
P N°:	1	Grupo N° (Group No.)	1	Com P N° (with P-No)	1
Grupo N° (Group No.)				Grupo N° (Group No.)	1
Ou (Or)	Especificação e tipo/grau ou número UNS (Specification and type, grade, or UNS Number)		A/SA 106 Gr. B		
Ou (Or)	Com Especificação e tipo/grau ou número UNS (to Specification and type, grade, or UNS Number)		A/SA 106 Gr. B		
Ou (Or)	Com Análise química (nominal) e propriedades mecânicas (to Chemical analysis (nominal) and mechanical properties)		C-Mn e 415 Mpa		
Ou (Or)	Com Análise química (nominal) e propriedades mecânicas (to Chemical analysis (nominal) and mechanical properties)		C-Mn e 415 Mpa		
Faixa de espessuras: (Thickness Range:)					
Metal de base: (Base Metal:)	Chanfro (Groove)	1,5 a 12,7 mm	Filete (Fillet)	Perna qualquer	
Máxima espessura do passe ≤ 13 mm para Elet. rev. (Maximum Pass Thickness ≤ 1/2 in. (13 mm) for SMAW)	<input type="checkbox"/>	Sim (yes)	<input checked="" type="checkbox"/>	Não (No)	
Outros (Other)	Todos os diâmetros (All diameters)				
METAIS DE ADIÇÃO (QW-404) (FILLER METALS)					
Especificação N° (SFA) [Spec. No. (SFA)]	1		2		
Classificação AWS N° [AWS No. (Class)]	SFA 5.18		ER70S-3		
F N°	8		-		
A N°	1		-		
Diâm. da vareta/eletrodo (Diam. of Filler Metals)	2,4 ou 3,2 mm		-		
Forma do produto (Filler Metal Product Form)	-		-		
Consumível suplementar (Supplemental Filler Metal)	-		-		
Metal de Solda (Weld Metal)	-		-		
Espessura do depósito: (Deposited Thickness:)	-		-		
Chanfro (Groove)	-		-		
Filete (Fillet)	Qualquer		-		
Classificação do Fluxo [Electrode-Flux (Class)]	-		-		
Tipo de Fluxo (Flux Type)	-		-		
Nome Comercial do Fluxo (Flux Trade Name)	-		-		
Inserto consumível (Consumable Insert)	-		-		
Outros (Other)	-		-		

 		ESPECIFICAÇÃO DO PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM - EPS WELDING PROCEDURE SPECIFICATION - WPS		Data (Date) 20/04/2021 Folha (sheet) 2 de 2 (Back) LCD-006A													
POSIÇÃO (QW-405) (POSITIONS) Posição(es) do chanfro (Position(s) of Groove) Qualquer Progressão de soldagem: (Welding Progression): Ascendente (Up) X Descendente (Down) -- Posição(es) do Filete (Position(s) of Fillet) -- Outros (Other) --			TRATAMENTO TÉRMICO (QW-407) (POSTWELD HEAT TREATMENT) Faixa de Temperatura (Temperature Range) -- Tempo de tratamento (mínimo) (Minimum Holding Time) -- Temperatura de Controle (Control Temperature) início (Start) -- Fim (End) -- Taxa de Aquecimento (heating rate) -- Taxa de Resfriamento (cooling rate) --														
PREAQUECIMENTO (QW-406) (PREHEAT) Temperatura de preaquecimento, Mínima (Preheat Temperature, Minimum) 10°C Temperatura de Interpasse, Máxima (Interpass Temperature, Maximum) 50°C Manutenção do preaquecimento (Preheat Maintenance) -- Outros (Other) --			GÁS (QW-408) (GAS) <table border="1"> <thead> <tr> <th>Gás(es) [Gas(es)]</th> <th>Composição % (Mistura) [% Composition (Mixture)]</th> <th>Vazão do fluxo - l/min (Flow Rate)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Argônio</td> <td>100</td> <td>10 a 15</td> </tr> <tr> <td>Interna</td> <td>--</td> <td>--</td> </tr> <tr> <td>Outros (Other)</td> <td>--</td> <td>--</td> </tr> </tbody> </table>			Gás(es) [Gas(es)]	Composição % (Mistura) [% Composition (Mixture)]	Vazão do fluxo - l/min (Flow Rate)	Argônio	100	10 a 15	Interna	--	--	Outros (Other)	--	--
Gás(es) [Gas(es)]	Composição % (Mistura) [% Composition (Mixture)]	Vazão do fluxo - l/min (Flow Rate)															
Argônio	100	10 a 15															
Interna	--	--															
Outros (Other)	--	--															
CARACTERÍSTICAS ELETRICAS (QW-409) (ELECTRICAL CHARACTERISTICS)																	
Passe(s) de solda (Pass(es))	Processo (Process)	Metal de Adição (Filler Metal)		Corrente Tipo e Polaridade (Current Type and Polarity)	Corrente (Faixa) [Amps (Range)]	Energia (kJ/mm) (Heat Input (Me X))	Potência (faixa) watts [Power (Range)]	Tensão (faixa) [Volts (Range)]	Velocidade (faixa) mm/min. (Travel Speed (Range))	Outros (Other)							
		Classificação (Classification)	Diâmetro mm (Diameter)														
Raiz 1 - 2 (Root)	TIG	ER70S-3	2,4 ou 3,2	CCEN	160 a 210	0,7	2200 a 4500	11 a 15	110 a 260	--							
Demais	TIG	ER70S-3	2,4 ou 3,2	CCEN	160 a 210	0,7	2200 a 4500	11 a 15	110 a 260	--							
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--							
Corrente Pulsada (Pulsing Current) --		Energia de soldagem (max.) (Heat Input (max.)) Faixa: 0,6 a 1,5 kJ/mm															
Eletrodo de Tungstênio diâmetro e Tipo (Tungsten Electrode Diameter and Type) --																	
Modo de transferência do metal para GMAW (Mode of Metal Transfer for GMAW) --																	
Outros (other) O risco de perfuração deve ser avaliado antes do início da soldagem conforme fluido.																	
TECNICA (QW-410) (TECHNIQUE)																	
Passes retíneos ou oscilantes (String or Weave Bead) Retíneos																	
Dimensão do bocal (Orifice, Nozzle, or Gas Cup Size) --																	
Limpeza inicial e interpasse (Initial and Interpass Cleaning) Escovamento ou esmerilhamento com disco abrasivo																	
Método de Goivagem (Method of Back Gouging) --																	
Oscilação (Oscillation) Máxima 3 vezes o diâmetro do eletrodo.																	
Distância tubo contato ao trabalho (Contact Tube to Work Distance) --																	
Passe único ou múltiplo (Single or multiple pass) Múltiplo																	
Eletrodos: único ou múltiplos (Electrodes: Single or multiple) Único																	
Carbono equivalente (equivalent carbon) Máximo 0,32%																	
Severidade térmica Tempo de resfriamento de 250 °C à 100 °C mínimo 9,0 Seg.																	
DISCENTE - MESTRADO					PROFESSOR ORIENTADOR												
Fernando Farizel Eng.º esp. em Soldagem Inspetor de Soldagem N2					Dr. José Rubens de Camargo												

Apêndice II - Registro de Qualificação do Procedimento de Soldagem (RQPS)

 		REGISTRO DE QUALIFICAÇÃO DO PROCEDIMENTO - RQP PROCEDURE QUALIFICATION RECORDS - PQR		Data Date 18/04/2021	
				Folha Sheet 1 de 6 front	
Empresa Organization	DROP ENGENHARIA LTDA			Norma Code	ASME IX_2019 e ASME PCC-2_2018.
Registro de qualificação do procedim. N° Procedure Qualification Record No.	LCD-006			Específic. do procedim. de soldagem N° Welding Procedure Specification No.	LCD-006
Processos de Soldagem Welding Processes	Eletrodo revestido (SMAW)			Tipo Type	Manual
JUNTA (QW-402) JOINT					
					
Soldas circunferenciais					
METAIS BASE (QW-403) BASE METALS			TRATAMENTO TERMICO (QW-407) POSTWELD HEAT TREATMENT		
Material especificação Material Spec.	A/SA 106 X A/SA 106			Temperatura Temperature	--
Tipo, grau ou número UNS Type, Grade, or UNS Number	Gr. B X Gr. B			Tempo Time	--
P N°: 1 Grupo N°: 1 Group No. Group No.	com P N°: 1 to P-No	Grupo N°: 1 Group No.	Grupo N°: 1 Group No.	Temperatura de Controle Control Temperature	Início Start -- Fim End --
Espessura do corpo de prova Thickness of Test Coupon	6,35 mm			Taxa de Aquecimento heating rate	--
Diâmetro do corpo de prova Diameter of Test Coupon	279 mm			Taxa de Resfriamento cooling rate	--
Máxima espessura do passe Maximum Pass Thickness	--			GAS (QW-408) GAS	
Outros Other	CP n° 1				
	Carbono Equivalente = 0,32%				
METAIS DE ADIÇÃO (QW-404) FILLER METAL			PROTEÇÃO (QW-409) SHIELDING		
Especificação N° (SFA) SFA Specification	1 SFA 5.1			Proteção Shielding	--
Classificação AWS N° AWS Classification	E7018			Interna Backing	--
F N° F-No.	4			Outros Other	--
A N° A-No.	1			CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS (QW-409) ELECTRICAL CHARACTERISTICS	
Diâmetro da Vareta e eletrodo Diameter of Filler Metal	3,25 mm			Tipo de corrente Current Type	Contínua
Forma do produto do metal adição Filler Metal Product Form	--			Polaridade Polarity	Positiva
Metal de adição suplementar Supplemental Filler Metal	--			Corrente Amps.	90 a 100 Tensão Volts 22 a 24
Classificação do fluxo-eletrodo Electrode Flux Classification	--			Potência Power	--
Tipo de Fluxo Flux Type	--			Tempo de arco Arc Time	--
Marca do fluxo Flux Trade Name	--			Comprimento do cordão de solda Weld Bead Length	--
Espessura depósito solda(mm) Weld Metal Thickness	--			Eletrodo de Tungstênio dimensão Tungsten Electrode Size	--
Outros Other	--			Modo de transferência do metal para GMAW (FCAW) Mode of Metal Transfer for GMAW (FCAW)	--
POSIÇÃO (QW-405) POSITION			Energia de soldagem Heat Input		
Posição Position(s)	Vertical e sobre cabeça			Outros Other	--
Progressão de soldagem Weld Progression	Ascendente			TECNICA (QW-410) TECHNIQUE	
Outros Other	--			Velocidade de solda weld Speed	184 a 254 mm/min
PREAQUECIMENTO (QW-406) PREHEAT			Passes retílineos ou oscilantes String or Weave Bead		
Temperatura de preaquecimento Preheat Temperature	31°C Mínima (Ambiente)			Retílineos e oscilantes	
Temperatura de Interpasse Interpass Temperature	41°C Máxima			Oscilação Oscillation	7,0 mm máxima
Outros Other	Tempo de resfriamento de 250°C a 100°C = 9,0 s.			Passo único ou múltiplo Multipass or Single	Múltiplos
				Eletrodo único ou Múltiplo Single or Multiple Electrodes	Único
				Outros Other	--

 		REGISTRO DE QUALIFICAÇÃO DO PROCEDIMENTO - RQP PROCEDURE QUALIFICATION RECORDS - PQR			Date	19/04/2021
					Folha	2 de 6 Back
					Sheet	LCD-006
Ensaio de Dureza Vickers – HV10 (ASME PCC-2 Ed.2018, Item:210-4.2.1.2, Figura 210-4.2.1.2-1)						
Região - ZAC	1	2	3	4	5	
CP-1	193,0	194,2	193,0	191,7	191,7	
CP-2	188,9	188,9	184,5	185,7	185,7	
Ensaio de dobramento guiado (ASME PCC-2 Ed.2018 Item 210-4.2.1.4, Figura 210-4.2.1.4-1.)						
Tipo e figura nº Type and figure nº			Resultado Result			
DF 01 [QW-462.3 (b)]			Aprovado (Approved)			
DF 02 [QW-462.3 (b)]			Aprovado (Approved)			
DF 03 [QW-462.3 (b)]			Aprovado (Approved)			
DF 04 [QW-462.3 (b)]			Aprovado (Approved)			
Macrografia (ASME PCC-2 Ed.2018, Item:210-4.2.1.2, Figura 210-4.2.1.2-1)						
Figura 1 - Isento de descontinuidades 			Figura 1 - Isento de descontinuidades 			
Nick Break (ASME PCC-2 Ed.2018, Item 210-4.2.1.3)						
NB 3 e NB 4 - Isentos de descontinuidades 			NB 5 e NB 6 - Isentos de descontinuidades 			
Comentário Comments —						
Outros ensaios - Other Tests						
Outros Other	Ensaio de líquido penetrante aprovado,, relatório nº 001 / 2021.					

Nome do Soldador Welder's Name	Edison Pinho de Oliveira				Sinete Nº Stamp No.	01
Teste Conduzido Por Tests Conducted by	Eng. Fernando de Oliveira Farizel			Teste Laboratório Nº Laboratory Test No	Nº 22618 / 21.	
Relatório de registro de soldagem nº LCD-006.						
Certificamos que as declarações neste registro estão corretos e que as soldas de teste foram preparados , soldados, e testados de acordo com o exigências do ASME PCC-2-2018. We certify that the statements in this record are correct and that the test welds were prepared, welded, and tested in accordance with the requirements of ASME PCC-2-2018.						
DISCENTE - MESTRADO			PROFESSOR ORIENTADOR			
Fernando Farizel Eng.º esp. em Soldagem Inspetor de Soldagem N2			Dr. José Rubens de Camargo			

 		REGISTRO DE QUALIFICAÇÃO DO PROCEDIMENTO - RQP PROCEDURE QUALIFICATION RECORDS - PQR		Data Date 19/04/2021 Folha Sheet 3 de 6 front													
Empresa Organization DROP ENGENHARIA LTDA		Norma Code ASME IX_2019 e ASME PCC-2_2018.															
Registro de qualificação do procedim. N° Procedure Qualification Record No. LCD-006		Especific. do procedim. de soldagem N° Welding Procedure Specification No. LCD-006A															
Processos de Soldagem Welding Processes TIG (GTAW)		Tipo Type Manual															
JUNTA (QW-402) JOINT																	
																	
METAIS BASE (QW-403) BASE METALS			TRATAMENTO TERMICO (QW-407) POSTWELD HEAT TREATMENT														
Material especificação Material Spec. A/SA 106 X A/SA 106			Temperatura Temperature --														
Tipo, grau ou número UNS Type, Grade, or UNS Number Gr. B X Gr. B			Tempo Time --														
P N°: 1 Grupo N°: 1 com P N°: 1 Grupo N°: 1 Group No. to P-No. Group No.			Temperatura de Controle Control Temperature Início -- Fim -- Start End														
Espessura do corpo de prova Thickness of Test Coupon 6,35 mm			Taxa de Aquecimento heating rate --														
Diâmetro do corpo de prova Diameter of Test Coupon 219 x 219 mm			Taxa de Resfriamento cooling rate --														
Máxima espessura do passe Maximum Pass Thickness --			GAS (QW-408) GAS														
Outros Other CP n° 1			<table border="1"> <thead> <tr> <th>Gás(es) Gas(es)</th> <th>Composição % (Mistura) % Composition (Mixture)</th> <th>Vazão do fluxo Flow Rate</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Argônio</td> <td>100%</td> <td>12 l/min</td> </tr> <tr> <td>--</td> <td>--</td> <td>--</td> </tr> <tr> <td>--</td> <td>--</td> <td>--</td> </tr> </tbody> </table>			Gás(es) Gas(es)	Composição % (Mistura) % Composition (Mixture)	Vazão do fluxo Flow Rate	Argônio	100%	12 l/min	--	--	--	--	--	--
Gás(es) Gas(es)	Composição % (Mistura) % Composition (Mixture)	Vazão do fluxo Flow Rate															
Argônio	100%	12 l/min															
--	--	--															
--	--	--															
Carbono Equivalente = 0,32%			Proteção Shielding Argônio														
METAIS DE ADIÇÃO (QW-404) FILLER METAL			Interna Backing --														
Especificação N° (SFA) SFA Specification SFA 5.18			Outros Other --														
Classificação AWS N° AWS Classification ER70S-3			CARACTERÍSTICAS ELETRICAS (QW-409) ELECTRICAL CHARACTERISTICS														
F N° F-No. 6			Tipo de corrente Current Type Continua														
A N° A-No. 1			Polaridade Polarity Positiva														
Diâmetro da Vareta e eletrodo Diameter of Filler Metal 3,25 mm			Corrente Amps. 160 a 210														
Forma do produto do metal adição Filler Metal Product Form --			Tensão volts 11 a 15														
Metal de adição suplementar Supplemental Filler Metal --			Potência Power --														
Classificação do fluxo-eletrodo Electrode Flux Classification --			Tempo de arco Arc Time --														
Tipo de Fluxo Flux Type --			Comprimento do cordão de solda Weld Bead Length --														
Marca do fluxo Flux Trade Name --			Eletrodo de Tungstênio dimensão Tungsten --														
Espessura depósito solda(mm) Weld Metal Thickness --			Modo de transferência do metal para GMAW [FCAW] Mode of Metal Transfer for GMAW (FCAW) --														
Outros Other --			Energia de soldagem Heat Input Faixa: 0,6 a 1,5 kJ/mm														
POSIÇÃO (QW-405) POSITION			Outros Other --														
Posição Position(s) Vertical			TECNICA (QW-410) TECHNIQUE														
Progressão de soldagem Weld Progression Ascendente			Velocidade de solda weld Speed 107 a 265 mm/min														
Outros Other --			Passes retilíneos ou oscilantes String or Weave Bead Retilíneos e oscilantes														
PREAQUECIMENTO (QW-406) PREHEAT			Oscilação Oscillation 10,0 mm máxima														
Temperatura de preaquecimento Preheat Temperature 35°C Mínima (Ambiente)			Passe único ou múltiplo Multipass or Single Múltiplos														
Temperatura de Interpasse Interpass Temperature 45°C Máxima			Eletrodo único ou Múltiplo Single or Multiple Electrodes Único														
Outros Other --			Outros Other --														

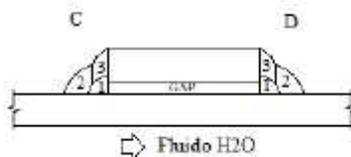
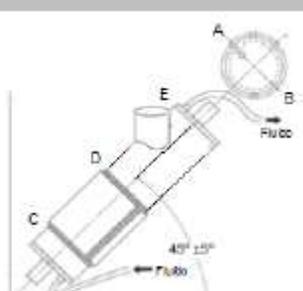
 		REGISTRO DE QUALIFICAÇÃO DO PROCEDIMENTO - RQP				Date	
		PROCEDURE QUALIFICATION RECORDS - PQR				Date	
						19/04/2021	
						Folha	
						4 de 6 Back	
						Sheet	
						LCD-006	
Ensaio de Dureza Vickers – HV10 (ASME PCC-2 Ed.2018, Item:210-4.2.1.2, Figura 210-4.2.1.2-1)							
Região - ZAC	1	2	3	4	5		
CP-1	200,7	203,3	199,3	199,3	198,8		
CP-2	202,0	200,7	199,3	199,3	195,5		
Ensaio de dobramento guiado (ASME PCC-2 Ed.2018 Item 210-4.2.1.4, Figura 210-4.2.1.4-1)							
Tipo e figura nº Type and figure nº				Resultado Result			
DF 01 [QW-462.3 (b)]				Aprovado (Approved)			
DF 02 [QW-462.3 (b)]				Aprovado (Approved)			
DF 03 [QW-462.3 (b)]				Aprovado (Approved)			
DF 04 [QW-462.3 (b)]				Aprovado (Approved)			
Macrografia (ASME PCC-2 Ed.2018, Item:210-4.2.1.2, Figura 210-4.2.1.2-1)							
Figura 1 - Isento de descontinuidades				Figura 1 - Isento de descontinuidades			
							
Nick Break (ASME PCC-2 Ed.2018, Item 210-4.2.1.3)							
NB 1 e NB 2 - Isentos de descontinuidades				NB 3 e NB 4 - Isentos de descontinuidades			
							
Comentário Comments							
-							
Outros ensaios - Other Tests							
Outros							
Other							
Ensaio de líquido penetrante aprovado,, relatório nº 001/2021							
Ensaio de ultrassom aprovado,, relatório nº 002/2021							
Relatório de registro de soldagem nº LCD-006.							
Nome do Soldador Welder's Name				Edison Pinho de Oliveira		Sinete Nº Stamp No.	
Teste Conduzido Por Tests Conducted by				Eng. Fernando de Oliveira Farizel		Teste Laboratório Nº Laboratory Test No	
						01	
						Nº 22708 / 21.	
DISCENTE - MESTRADO				PROFESSOR ORIENTADOR			
Fernando Farizel Eng.º esp. em Soldagem Inspetor de Soldagem N2				Dr. José Rubens de Camargo			

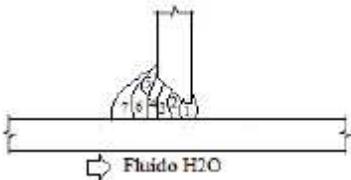
Certificamos que as declarações neste registro estão corretas e que as soldas de teste foram preparadas, soldadas, e testadas de acordo com o exigências do ASME PCC-2-2018. We certify that the statements in this record are correct and that the test welds were prepared, welded, and tested in accordance with the requirements of ASME PCC-2-2018.

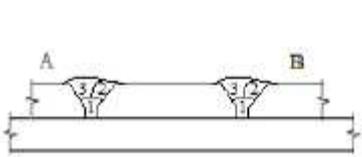
 		REGISTRO DE QUALIFICAÇÃO DO PROCEDIMENTO - RQP PROCEDURE QUALIFICATION RECORDS - PQR		Data Date 19/04/2021													
Empresa Organization DROP ENGENHARIA LTDA		Norma Code ASME BPVC.IX-2019		Folha Sheet 5 de 6 front													
Registro de qualificação do procedim. N° Procedure Qualification Record No. LCD-008		Especific. do procedim. de soldagem N° Welding Procedure Specification No. LCD-008B															
Processos de Soldagem Welding Processes Eletrodo revestido (SMAW)		Tipo Type Manual															
JUNTA (QW-402) JOINT																	
																	
Soldas Longitudinais METAIS BASE (QW-403) BASE METALS																	
Material especificação Material Spec. A/SA 106 X A/SA 106		TRATAMENTO TERMICO (QW-407) POSTWELD HEAT TREATMENT															
Tipo, grau ou número UNS Type, Grade, or UNS Number Gr. B X Gr. B		Temperatura Temperature --		Tempo Time --													
P N°: 1 Grupo N°: Group No. 1 com P N°: to P-No 1 Grupo N°: Group No. 1		Temperatura de Controle Control Temperature Início -- Fim -- Start End		Taxa de Aquecimento heating rate --													
Espessura do corpo de prova Thickness of Test Coupon 6,35 mm		Taxa de Resfriamento cooling rate --		GAS (QW-408) GAS													
Diâmetro do corpo de prova Diameter of Test Coupon 279 mm		Máxima espessura do passe Maximum Pass Thickness --		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Gas(es) Gas(es)</th> <th>Composição % (Mistura) % Composition (Mixture)</th> <th>Vazão do fluxo Flow Rate</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>--</td> <td>--</td> <td>--</td> </tr> <tr> <td>--</td> <td>--</td> <td>--</td> </tr> <tr> <td>--</td> <td>--</td> <td>--</td> </tr> </tbody> </table>		Gas(es) Gas(es)	Composição % (Mistura) % Composition (Mixture)	Vazão do fluxo Flow Rate	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Gas(es) Gas(es)	Composição % (Mistura) % Composition (Mixture)	Vazão do fluxo Flow Rate															
--	--	--															
--	--	--															
--	--	--															
Outros Other CP n° 1		Carbono Equivalente = 0,32%															
METAIS DE ADIÇÃO (QW-404) FILLER METAL																	
Especificação N° (SFA) SFA Specification SFA 5.1		Proteção Shielding --		Interna Backing --													
Classificação AWS N° AWS Classification E7018		Outros Other --		CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS (QW-409) ELECTRICAL CHARACTERISTICS													
F N° F-No. 4		Tipo de corrente Current Type Continua		Polaridade Polarity Positiva													
A N° A-No. 1		Corrente Amps. 90 a 100		Tensão Volts 22 a 24													
Diâmetro da Vareta e eletrodo Diameter of Filler Metal 3,25 mm		Potência Power --		Tempo de arco Arc Time --													
Forma do produto do metal adição Filler Metal Product Form --		Comprimento do cordão de solda Weld Bead Length --		Eletrodo de Tungstênio dimensão Tungsten Electrode Size --													
Metal de adição suplementar supplemental Filler Metal --		Modo de transferência do metal para GMAW [FCAW] Mode of Metal Transfer for GMAW (FCAW) --		Energia de soldagem Heat Input Faixa: 0,5 a 0,8 kJ/mm													
Classificação do fluxo-eletrodo Electrode Flux Classification --		Outros Other --		TECNICA (QW-410) TECHNIQUE													
Tipo de Fluxo Flux Type --		Velocidade de solda weld Speed 245 a 290 mm/min		Passes retilíneos ou oscilantes String or Weave Bead Retilíneos e oscilantes													
Marca do fluxo Flux Trade Name --		Oscilação Oscillation 7,0 mm máxima		Passe único ou múltiplo Multipass or Single Múltiplos													
Espessura depósito solda(mm) Weld Metal Thickness --		Eletrodo único ou múltiplo Single or Multiple Electrodes Único		Outros Other --													
Outros Other Tempo de resfriamento de 250°C a 100°C = 9,0 s.																	
POSICÃO (QW-405) POSITION																	
Posição Position(s) Vertical																	
Progressão de soldagem Weld Progression Ascendente																	
Outros Other --																	
PREAQUECIMENTO (QW-406) PREHEAT																	
Temperatura de preaquecimento Preheat Temperature 31°C Mínima (Ambiente)																	
Temperatura de interpasse interpass Temperature 41°C Máxima																	
Outros Other Tempo de resfriamento de 250°C a 100°C = 9,0 s.																	

 		REGISTRO DE QUALIFICAÇÃO DO PROCEDIMENTO - RQP PROCEDURE QUALIFICATION RECORDS - PQR				Data Date	19/04/2021
						Folha Sheet	6 de 8 Back LCD-006
Ensaio de tração (QW-150) - Tensile Test							
Corpo de Prova No. Specimen No.	Largura - mm Width	Espessura - mm Thickness	Área - mm ² Area	Carga de Ruptura kgf Ultimate Total Load	Tensão - Mpa Ultimate Unit Stress	Tipo de falha e localização Type of Failure and Location	
TP 01	19,43	5,16	100,26	4.907,3	480,0	Fratura Dúctil Metal base	
TP 02	19,48	5,01	97,59	5.523,3	555,0	Fratura Dúctil Metal base	
Corpo de prova de de tração alternativo (QW-462) Alternative Tension Specimen Specification							
Ensaio de dobramento guiado (QW-160)							
Tipo e figura n° Type and figure n°				Resultado Result			
DF 01 [QW-462.3 (b)]				Aprovado (Approved)			
DF 02 [QW-462.3 (b)]				Aprovado (Approved)			
DR 01 [QW-462.3 (b)]				Aprovado (Approved)			
DR 02 [QW-462.3 (b)]				Aprovado (Approved)			
Ensaio de tenacidade (QW-170) - Toughness Tests							
Corpo de Prova No. Specimen No.	Local do Entalhe Notch Location	Dimensão do Corpo de Prova Specimen Size	Temperatura do teste Test Temperature	Valores de tenacidade Toughness Values			Drope Weight Break (S/N) Drop Weight Break (Y/N)
				J	% cisalhamento % Shear	mm	
--	--	--	--	--	--	--	--
--	--	--	--	--	--	--	--
--	--	--	--	--	--	--	--
--	--	--	--	--	--	--	--
--	--	--	--	--	--	--	--
--	--	--	--	--	--	--	--
Comentário Comments							
Teste de filete (QW-180) - Fillet-Weld Test							
Resultado — Satisfatório: Result — Satisfactory:		Sim Yes	--	Não No	--	Penetração metal base: Penetration into Parent Metal:	
Macro — Resultado:		--				Sim Yes	--
						Não No	--
Outros ensaios - Other Tests							
Outros Other	Ensaio de líquido penetrante aprovado, relatório n° 001 /2021.						
Outros Other	Ensaio de ultrassom aprovado, relatório n° 002 \ 2021.						
Outros Other	Ensaio de Nick break, CP's NB1 e NB2, isentos de descontinuidades.						
Nome do Soldador Welder's Name	Edison Pinho de Oliveira					Sinete N° Stamp No.	01
Teste Conduzido Por Tests Conducted by	Eng. Fernando de Oliveira Farizel			Teste Laboratório N° Laboratory Test No		N° 22618 / 21.	
Relatório de registro de soldagem n° LCD-006.							
Certificamos que as declarações neste registro estão corretas e que as soldas de teste foram preparadas, soldadas, e testadas de acordo com o exigências da Seção IX da caldeira e pressão de vasos de ASME. We certify that the statements in this record are correct and that the test welds were prepared, welded, and tested in accordance with the requirements of Section IX of the ASME Boiler and Pressure Vessel Code.							
DISCENTE - MESTRADO				PROFESSOR ORIENTADOR			
Fernando Farizel Eng.º esp. em Soldagem Inspetor de Soldagem N2				Dr. José Rubens de Camargo			

Apêndice III – Relatório de Registro de soldagem (RRS)

 		RELATÓRIO DE REGISTRO DE SOLDAGEM - RRS WELDING RECORD - WR - nº LCD-006		Data Date	11/03/2021													
				Folha sheet	2 de 3													
Empresa Organization		DROP ENGENHARIA LTDA		Norma Code		ASME IX_2018 e ASME PCC-2_2018.												
Especifico do proced. de soldagem Nº Welding Procedure Specification No.		LCD-006		Registro de qual. do procedim. Nº Procedure Qualification Record No.		LCD-006												
Processos de Soldagem Welding Processes		Eletrodo revestido (SMAW)		Tipo Type		Manual												
METAIS BASE - BASE METALS					POSIÇÃO - POSITIONS													
Peça	Especificação Specification	Espessura Thickness (mm)	Diâmetro Diameter (mm)	Comprimento Length (mm)	Posição do corpo de prova Position of specimen		Progressão Progression											
1	A/SA 106 Gr. B	6,35	273	857	45°		Ascendente											
2	A/SA 106 Gr. B	6,35	219	688	Outros Other		Limpeza: Escovamento e esmerilhamento											
Detalhes - Details																		
																		
Fluido: Água - Vazão 8,3 m³/h - Tempo de resfriamento: 9,0 s.																		
Parâmetros da soldagem - Welding parametrs																		
Processo Process	Passos Pass	Camada - Layer	Metal de adição metals			Filtro	Preaquecimento °C Preheat	Interpasse °C Interpass	Característica Eletrica Electrical characteristics				Gás		Largura do passe mm pass width	Espessura do passe Pass thickness	Velocidade de solda weld Speed (mm/ min)	Energia de soldagem Heat-input (kJ/mm)
			Classificação Classification	Diâmetro Diameter	Nome comercial trade name				Preaquecimento °C Preheat	Interpasse °C Interpass	Tipo e Polaridade Type and Polarity	Corrente A Amps	Tensão V Volts	Proteção Shielding				
C																		
Elet. Revest.	1	1	E7018	3,25	OK 48.04	32 Ambiente	36	CCEP	90	100	22	24	-	-	6,0	-	210	0,7
Elet. Revest.	2	2	E7018	3,25	OK 48.04	-	38	CCEP	90	100	22	24	-	-	7,0	-	220	0,7
Elet. Revest.	3	3	E7018	3,25	OK 48.04	-	37	CCEP	90	100	22	24	-	-	7,0	-	258	0,6
D																		
Elet. Revest.	1	1	E7018	3,25	OK 48.04	32 Ambiente	38	CCEP	90	100	22	24	-	-	6,0	-	184	0,8
Elet. Revest.	2	2	E7018	3,25	OK 48.04	-	41	CCEP	90	100	22	24	-	-	7,0	-	207	0,7
Elet. Revest.	3	3	E7018	3,25	OK 48.04	-	40	CCEP	90	100	22	24	-	-	6,0	-	267	0,5
Outros - Other								Metal de adição: Eletrodo E7018 ESAB Lote VTD49E5670; Tubo D.E. 279 mm Corrida 70762D1208 e Tubo D.E. 219 mm Corrida 219100; Instrumentos utilizados: Alicete Amperímetro ALA-02 Valid. 08/2022; Cronômetro Digital CR-01 Valid. 07/2022; Trena TR-02 Valid. 08/2022; Paquímetro PQ-001 Valid. 11/2021; Calibre de solda CS-00584 Valid. 11/2021 e Termômetro digital TD-001 Valid. 11/2021.										
Nome do Soldador Welder's Name		Edison Pinho de Oliveira						Sinete Nº Stamp No.		01								
Inspeção visual Visual examination		<input checked="" type="checkbox"/> X		Aprovado Approved		<input type="checkbox"/>		Rejeitado Rejected										
DISCENTE - MESTRADO								PROFESSOR ORIENTADOR										
Fernando Farizel Eng.º esp. em Soldagem Inspetor de Soldagem N2								Dr. José Rubens de Camargo										

 		RELATÓRIO DE REGISTRO DE SOLDAGEM - RRS WELDING RECORD - WR - nº LCD-008			Data Date: 11/03/2021 Folha sheet: 3 de 3													
Empresa Organization: DROP ENGENHARIA LTDA		Norma Code: ASME IX_2019 e ASME PCC-2_2018.																
Especifico do proced. de soldagem Nº Welding Procedure Specification No.: LCD-006A		Registro de qual. do procedim. Nº Procedure Qualification Record No.: LCD-006																
Processos de Soldagem Welding Processes: TIG (GTAW)		Tipo Type: Manual																
METAIS BASE - BASE METALS					POSIÇÃO - POSITIONS													
Peça	Especificação Specification	Espessura Thickness	Diâmetro Diameter	Comprimento Length	Posição do corpo de prova Position of specimen	Progressão Progression												
1	A/SA 106 Gr. B	6,35	219	688	45°	Ascendente												
2	A/SA 106 Gr. B	6,35	219	688	Outros Other	Limpeza: Escovamento e esmerilhamento												
Detalhes - Details																		
																		
Parâmetros da soldagem - Welding parameters																		
Processo Process	Passes Pass	Camada - Layer	Metal de adição metals		Filer	Preaquecimento °C Preheat	Interpasse °C Interpass	Característica Elétrica Electrical characteristics				Gás		Largura do passe mm pass width	Espessura do passe Pass Thickness	Velocidade de solda weld Speed (mm/ min)	Energia de soldagem Heat-input (kJ/mm)	
			Classificação Classification	Diâmetro Diameter				Nome comercial trade name	Proteção Type and polarity	Corrente A Amps	Tensão V Volts	Proteção Shielding	Íntima Backing					
TIG	1	1	ER70S-3	3,2	WI T 73	35 Amb.	-	CCEN	160	180	13	15	15	-	8,0	2,0	107	1,5
TIG	2	2	ER70S-3	3,2	WI T 73	-	38	CCEN	200	210	13	15	15	-	10,0	2,0	159	1,2
TIG	3	3	ER70S-3	3,2	WI T 73	-	42	CCEN	200	210	13	15	15	-	10,0	1,5	161	1,2
TIG	4	4	ER70S-3	3,2	WI T 73	-	45	CCEN	200	210	13	15	15	-	10,0	0,5	197	1,0
TIG	5	5	ER70S-3	3,2	WI T 73	-	41	CCEN	180	190	11	14	15	-	6,0	-	179	0,9
TIG	6	5	ER70S-3	3,2	WI T 73	-	35	CCEN	180	190	11	14	15	-	8,0	-	156	1,0
TIG	7	5	ER70S-3	3,2	WI T 73	-	38	CCEN	180	190	11	14	15	-	7,0	-	265	0,8
Outros - Other																		
Metal de adição: Vareta ER70S-3 Weld-inox Corrida 314475; Tubo D.E. 279 mm Corrida 70762D1208 e Tubo D.E. 219 mm Corrida 219100; Instrumentos utilizados: Alicete Amperímetro ALA-02 Valid. 08/2022; Cronômetro Digital CR-01 Valid. 07/2022; Trena TR-02 Valid. 08/2022; Paquímetro PQ-001 Valid. 11/2021; Calibre de solda CS-00584 Valid. 11/2021 e Termômetro digital TD-001 Valid. 11/2021.																		
Nome do Soldador Welder's Name: Edison Pinho de Oliveira				Sinete Nº Stamp No.: 01														
Inspeção visual Visual examination: <input checked="" type="checkbox"/>		Aprovado Approved: <input type="checkbox"/>		Rejeitado Rejected: <input type="checkbox"/>														
DISCENTE - MESTRADO				PROFESSOR ORIENTADOR														
Fernando Farizel Eng.º esp. em Soldagem Inspetor de Soldagem N2				Dr. José Rubens de Camargo														

 		RELATÓRIO DE REGISTRO DE SOLDAGEM - RRS WELDING RECORD - WR - nº LCD-006				Data Date 11/03/2021												
Empresa Organization DROP ENGENHARIA LTDA		Norma Code ASME IX_2019 e ASME PCC-2_2018.		Folha sheet 1 de 3														
Especificação do proced. de soldagem Nº Welding Procedure Specification No. LCD-006B		Registro de qual. do procedim. Nº Procedure Qualification Record No. LCD-006																
Processos de Soldagem Welding Processes Eletrodo revestido (SMAW)		Tipo Type Manual																
METAL BASE - BASE METALS					POSIÇÃO - POSITIONS													
Peça	Especificação	Espessura	Diâmetro	Comprimento	Posição do corpo de prova	Progressão												
1	A/SA 106 Gr. B	6,35	273	857	45°	Ascendente												
2	A/SA 106 Gr. B	6,35	273	857	Outros	Limpeza: Escovamento e esmerilhamento												
Detalhes - Details																		
 																		
Fluido: Água - Vazão 8,3 m³/h - Tempo de resfriamento: 9,0 s.																		
Parâmetros da soldagem - Welding parametrs																		
Processo	Passes	Camada - Layer	Metal de adição			Preaquecimento °C	Interpasso °C	Característica Elétrica				Gás		Largura do passe mm	Espessura do passe	Velocidade de solda	Energia de soldagem	
			Classificação	Diâmetro	Nome comercial			Fluxo	Corrente A	Tensão V	Proteção	Íntima						
A																		
Elet. Revest.	1	1	E7018	3,25	OK 48.04	32 Ambiente	36	OCEP	90	100	22	24	-	-	6,0	3,0	176	0,8
Elet. Revest.	2	2	E7018	3,25	OK 48.04	-	38	OCEP	90	100	22	24	-	-	7,0	3,0	290	0,5
Elet. Revest.	3	3	E7018	3,25	OK 48.04	-	41	OCEP	90	100	22	24	-	-	7,0	3,0	267	0,5
B																		
Elet. Revest.	1	1	E7018	3,25	OK 48.04	31 Ambiente	38	OCEP	90	100	22	24	-	-	6,0	-	198	0,7
Elet. Revest.	2	2	E7018	3,25	OK 48.04	-	40	OCEP	90	100	22	24	-	-	7,0	-	267	0,5
Elet. Revest.	3	3	E7018	3,25	OK 48.04	-	41	OCEP	90	100	22	24	-	-	6,0	-	254	0,6
Outros - Other Metal de adição: Eletrodo E7018 ESAB Lote VT049E5670; Tubo D.E. 279 mm Corrida 70762D1208 e Tubo D.E. 219 mm Corrida 219100; Instrumentos utilizados: Alicete Amperímetro ALA-02 Valid. 08/2022; Cronômetro Digital CR-01 Valid. 07/2022; Trena TR-02 Valid. 08/2022; Paquímetro PQ-001 Valid. 11/2021; Calibre de solda CS-00584 Valid. 11/2021 e Termômetro digital TD-001 Valid. 11/2021.																		
Nome do Soldador Welder's Name Edison Pinho de Oliveira		Sinete Nº Stamp No. 01																
Inspeção visual Visual examination		<input checked="" type="checkbox"/> Aprovado Approved		<input type="checkbox"/> Rejeitado Rejected														
DISCENTE - MESTRADO									PROFESSOR ORIENTADOR									
Fernando Farizel Eng.º esp. em Soldagem Inspetor de Soldagem N2									Dr. José Rubens de Camargo									