



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA BAHIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MATERIAIS

LUCIANO DOS SANTOS BELO

**AVALIAÇÃO DA SOLDAGEM DE TUBOS API X65 COM PASSE DE
RAIZ COM ELETRODOS DE CLASSIFICAÇÃO E 6010**

Dissertação para Obtenção do Título de Mestre em Engenharia de Materiais

Salvador
2025

LUCIANO DOS SANTOS BELO

**AVALIAÇÃO DA SOLDAGEM DE TUBOS API X65 COM PASSE DE
RAIZ COM ELETRODOS DE CLASSIFICAÇÃO E 6010**

Dissertação apresentada ao
Programa de Pós-Graduação Stricto
Sensu – Mestrado Profissional em
Engenharia de Materiais (PPGEM) –
do Instituto Federal da Bahia (IFBA),
como parte dos requisitos necessários
à obtenção do título de Mestre em
Engenharia dos Materiais.

Área de Concentração: Engenharia de
Materiais / Soldagem

Orientador:
Prof. Dr. Ivan Costa da Silva

Coorientador: Prof. Dr. Carlos
Augusto de Souza

Salvador
2025

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELO SISTEMA DE BIBLIOTECAS DO IFBA, COM OS
DADOS FORNECIDOS PELO(A) AUTOR(A)

B452a Belo, Luciano dos Santos

Avaliação de soldagem de tubos API X65 com passe de raiz com eletrodos de classificação E 6010 / Luciano dos Santos Belo; orientador Ivan Costa da Silva; coorientador Carlos Augusto de Souza -- Salvador, 2025.

151 p.

Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais) -- Instituto Federal da Bahia, 2025.

1. Gasodutos. 2. Soldagem API X65. 3. Eletrodo revestido. 4. Normalização. I. Silva, Ivan Costa da, orient. II. Souza, Carlos Augusto de, coorient. III. TÍTULO.

CDU 622.691

**INSTITUTO FEDERAL DA BAHIA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO**

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MATERIAIS - PPGEM

**“Avaliação Da Soldagem De Tubos Api X65 Com Passe De Raiz
Com Eletrodos De Classificação E 6010”**

Luciano dos Santos Belo

Produto(s) Gerado(s): Dissertação e Relatório Técnico

Orientador: Prof. Dr. Ivan Costa da Silva – Orientador PPGEM/ IFBA

Coorientador: Prof. Dr. Carlos Augusto de Souza – TRANSPETRO/ CIMATEC

Comissão examinadora da Qualificação:

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado pela banca examinadora em 11/03/2025.



Documento assinado eletronicamente por **Carlos Augusto de Souza, Usuário Externo**, em 04/04/2025, às 13:43, conforme decreto nº 8.539/2015.



Documento assinado eletronicamente por **MANOEL CARREIRA NETO, Usuário Externo**, em 04/04/2025, às 13:59, conforme decreto nº 8.539/2015.



Documento assinado eletronicamente por **IVAN COSTA DA SILVA, Professor(a) do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico - EBTT**, em 07/04/2025, às 16:25, conforme decreto nº 8.539/2015.



Documento assinado eletronicamente por **Tiago Nunes Lima, Usuário Externo**, em 07/04/2025, às 16:52, conforme decreto nº 8.539/2015.



Documento assinado eletronicamente por **LUIZ GUSTAVO DA CRUZ DUARTE, Professor Efetivo**, em 15/04/2025, às 07:39, conforme decreto nº 8.539/2015.



A autenticidade do documento pode ser conferida no site http://sei.ifba.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&acao_origem=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0 informando o código verificador **4094478** e o código CRC **DE24B24E**.

Eternamente grato:

A Deus, pelo dom da vida e por todas as bênçãos concedidas. À minha mãe, por me dar a vida e por todo o seu amor incondicional.

Trabalho de Defesa avaliado pela banca examinadora em 11/03/2025.

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho só foi possível graças ao apoio inestimável de diversas pessoas e instituições que, com sua dedicação e expertise, contribuíram para enriquecer tanto o processo quanto o produto final desta pesquisa.

Primeiramente, gostaria de expressar minha profunda gratidão a Deus, cuja presença foi a luz orientadora em todos os momentos de dúvida e inspiração.

À minha mãe, Marisa dos Santos, por me dar a vida e por todo o seu amor incondicional e ao meu filho, Luiz Felipe Monteiro Belo, cuja existência me fortalece e inspira a cada dia.

Ao programa PPGEM do IFBA e aos estimados professores Ivan Costa da Silva, Luiz Pimentel, Cléa Albuquerque e André Martins, minha sincera gratidão por compartilharem seu vasto conhecimento e sabedoria, elementos que foram fundamentais para o meu crescimento acadêmico e profissional.

Meus sinceros agradecimentos ao Carlos Augusto de Souza, Gerente de Terminais de Dutos Bahia na TRANSPETRO – Petrobras Transporte S.A. e professor adjunto do SENAI CIMATEC, por aceitar ser meu coorientador. Sua orientação e expertise foram fundamentais para o desenvolvimento e sucesso deste trabalho.

Um agradecimento especial à Bahiagás, empresa na qual tenho a honra de atuar há 13 anos. A experiência adquirida e o apoio contínuo desempenharam um papel crucial neste percurso, especialmente nas figuras do Gerente de Obras Cristiano Stefanelli Silva, dos coordenadores Lucas Lopes e Roque Mario Barbosa, e da Diretora Técnica e Comercial Larisse Karina Stelitano, cujo apoio foi indispensável.

À Construtora Elevação, particularmente a Carlos Stefano Cerveira e Sérgio Alongi, bem como aos Engenheiros Cássio Silva e Raphael Lazzarini, por sua valiosa contribuição técnica e colaboração prática. Agradeço também aos Coordenadores de Qualidade Carlos Carlos Eduardo Bezerra Lopes e Reinaldo Antônio da Silva, cuja expertise foi essencial para o sucesso deste trabalho.

À minha amiga, Mestre e Doutoranda Cláudia Ferreira, cuja amizade e apoio foram fundamentais. Aos amigos Rodrigo Gusmão, Geison Igo, Engenheiro Mecânico

e SPIE da Petrobras, e Eng Tales Lessa por suas palavras de incentivo e apoio constante.

Um agradecimento ao Inspetor de Soldagem Nível 2 e Engenheiro Átalos Pacheco Savino Filó e Sérgio Costa, cuja perícia e atenção aos detalhes garantiram a excelência técnica que este trabalho demandava.

Por fim, mas não menos importante, agradeço profundamente aos representantes das empresas que apoiaram este projeto: à Jeldon L. F. Sant'Ana da UTW Inspeções Técnicas, por seu entusiasmo e suporte, à Willian Moreira Rodrigues da WMR Inspeções e consultoria em END e Wallace Moreira Rodrigues da Renaitre Construções, pelo comprometimento e colaboração técnica, e a Jailson da Cruz de Melo da JC Laboratórios, por seu apoio essencial e colaboração prática. Seu envolvimento foi vital para o desenvolvimento e sucesso desta pesquisa.

A colaboração de todos foi essencial para a conclusão deste trabalho, e sou profundamente grato por cada contribuição.

RESUMO

A infraestrutura de gasodutos é essencial para a distribuição de gás natural, desempenhando um papel estratégico nos setores de energia e na indústria que utiliza esses gases. A escolha dos procedimentos de soldagem desses gasodutos é tratada com rigor técnico, sendo crucial para garantir a segurança e a integridade estrutural. Um dos desafios enfrentados pelos profissionais é a normatização técnica, que, em muitos casos, carece de diretrizes nacionais claras, levando ao uso do código API 1104 americano. Este trabalho, investigou a prescrição do uso de eletrodos E 6010 no passe de raiz em tubos API X65, e no segundo passe, conhecido como passe quente ou passe de reforço da raiz, utilizando os critérios de qualificação de procedimentos estabelecidos na norma API 1104. Os ensaios realizados de tração, dobramento de face e raiz, nick-break, impacto Charpy-V e dureza Vickers, confirmaram as soluções técnicas e apontaram essa técnica como uma alternativa econômica ao uso do eletrodo E 8010-P1. As análises macrográficas foram realizadas para a visualização dos passes de soldagem e a precisão na identificação dos pontos de dureza. Os resultados finais apontaram que a utilização do E 6010 atendem a todos os requisitos técnicos e normativos aplicáveis, apresentaram eficiência, segurança e potencial significativo de redução de custos. Essa abordagem pode ser aplicada em diversos projetos no setor de petróleo e gás, contribuindo para a melhoria de processos e garantindo a sustentabilidade das operações.

Palavras-chave: Gasodutos, Soldagem API X65, Eletrodo Revestido, Normalização.

ABSTRACT

The pipeline infrastructure is essential for the distribution of natural gas, playing a strategic role in the energy sector and industries that use these gases. The choice of welding procedures for these pipelines is approached with technical rigor, as it is crucial to ensure safety and structural integrity. One of the challenges faced by professionals is technical standardization, which often lacks clear national guidelines, leading to the adoption of the American API 1104 code. This study investigated the use of E 6010 electrodes for the root pass in API X65 pipes and for the second pass, known as the hot pass or root reinforcement pass, using the procedure qualification criteria established in the API 1104 standard. The tensile, face and root bend, nick-break, Charpy-V impact, and Vickers hardness tests confirmed the technical solutions and highlighted this technique as a cost-effective alternative to the E 8010-P1 electrode. Macroscopic analyses were conducted to visualize the welding passes and ensure accuracy in identifying hardness points. The final results showed that the use of E 6010 meets all applicable technical and regulatory requirements, demonstrating efficiency, safety, and significant cost reduction potential. This approach can be applied to various projects in the oil and gas sector, contributing to process improvements and ensuring the sustainability of operations.

Keywords: Pipelines, API X65 Welding, Covered Electrode, Standardization.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquemático da penetração e reforço excessivo.....	30
Figura 2 - Esquemático da diluição.....	31
Figura 3 - Esquema do fluxo metodológico.....	47
Figura 4 - Soldagem realizada em MG nos CP's ELEV-010 e ELEV-014.....	50
Figura 5 - Soldagem realizada na Bahia nos corpos de prova LB-01 a LB-06.....	52
Figura 6 - Representação esquemática da configuração da junta soldada.....	57
Figura 7 - Esquema de Lei focal para 7,3 e 7,1 mm de espessura (16").....	59
Figura 8 - Esquema de Lei focal para 5,2 mm de espessura (10").....	60
Figura 9 - CP de Seção Completa para Ensaio de Resistência à Tração.....	62
Figura 10 - Posição de Retirada dos Corpos de Prova de Tração no Tubo.....	63
Figura 11 - a) Máquina de Tração EMIC; b) Máquina de Tração Tinius Olsen.....	63
Figura 12 - Corpos de Prova Antes da Fratura.....	64
Figura 13 - Corpo de Prova para Ensaio de Dobramento.....	65
Figura 14 - Corpo de Prova de Dobramento de Face e Raiz.....	66
Figura 15 - Máquina de Dobramento Utilizada em Minas Gerais.....	67
Figura 16 - Esquema do Corpo de Prova para Ensaio de Nick Break.....	68
Figura 17 - Amostra de CP de Nick Break no Equipamento de Ensaio.....	70
Figura 18 - Distribuição dos Pontos de Impressão de microdureza.....	71
Figura 19 - Esquemático de Remoção dos Corpos de Prova de Impacto.....	73
Figura 20 - Amostras de Corpos de Prova de Impacto Preparadas.....	74
Figura 21 - Máquina de Impacto Utilizada na Bahia.....	75
Figura 22 - Dispositivos para realização de teste em temperatura de 0°C.....	76
Figura 23 - Vistas Dos Ultrassom Phased Array.....	84
Figura 24 - Corpos de Prova de Tração com Ruptura Fora da Solda.....	86
Figura 25 - Corpos de Prova de Dobramento de Face e Raiz Após o Ensaio.....	92
Figura 26 - Fraturas dos Corpos de Prova Após Ensaio de Nick Break.....	95

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Requisitos de Propriedades Mecânicas para Tubos API X65 PSL 2.....	23
Tabela 2 - Requisitos de Propriedades Mecânicas para E 6010 e E 8010-P1.....	27
Tabela 3 - Esquemático de Schedules de certificados de consumíveis.....	39
Tabela 4 - Parâmetros de Soldagem para os CP's ELEV-010 e ELEV-014.....	51
Tabela 5 - Parâmetros de Soldagem para os CP's LB-01 a LB-04 na Bahia	54
Tabela 6 - Parâmetros de Soldagem para os Corpos de Prova LB-05 e LB-06 (Tubos de 16 polegadas) na Bahia.....	50
Tabela 7 - Resumo dos Parâmetros dos CP's Soldados em MG e BA	55
Tabela 8 - Descrição dos Corpos de Prova de Tração.....	64
Tabela 9 - Quantidade de Corpos de Prova de Dobramento por Diâmetro.....	67
Tabela 10 - Quantidade de Corpos de Prova para Ensaio de Nick Break por Diâmetro de Tubo	69
Tabela 11 - Distribuição dos Pontos de Microdureza por Corpo de Prova	72
Tabela 12 - Valores de Limite de Escoamento e Limite de Resistência dos Tubos API X65 conforme Certificados de Fabricação	78
Tabela 13 - Comparação dos Valores Médios de Limite de Escoamento e Limite de Resistência com os Limites Mínimos da Norma API 5L	78
Tabela 14 - Requisitos de Propriedades Mecânicas e Valores dos Certificados para Eletrodos E 6010 e E 8010-P1	80
Tabela 15 - Comparação dos Valores Médios de LE e LR dos Eletrodos E 6010 e E 8010-P1 com os Limites Mínimos da Norma.....	81
Tabela 16 - Resultados de Inspeção Visual dos Corpos de Prova.....	82
Tabela 17 - Resultados dos Ensaios de Ultrassom dos Corpos de Prova	83
Tabela 18 - Resultados de Tração - 1 Passe de E 6010.....	87
Tabela 19 - Resultados de Tração - 2 Passes de E 6010	87
Tabela 20 - Resumo dos Resultados de Tração e Laudo Final.....	88
Tabela 21 - Resultados dos Ensaios de Dobramento com 1 Passe de E 6010	90
Tabela 22 - Resultados dos Ensaios de Dobramento com 2 Passes de E 6010.....	91
Tabela 23 - Resultados dos Ensaios de Nick Break com 1 Passe de E 6010.....	94
Tabela 24 - Resultados dos Ensaios de Nick Break com 2 Passes de E 6010.....	94
Tabela 25 - Resultados de Dureza - Corpos de Prova com 1 Passe de E 6010	96

Tabela 26 - Resultados de Dureza - Corpos de Prova com 2 Passes de E 6010	97
Tabela 27 - Resultados Individuais do Ensaio Charpy-V para CPs com 1 Passe	99
Tabela 28 - Resultados Individuais do Ensaio Charpy-V por Ponto	100
Tabela 29 - Comparação das Médias Gerais de Energia Absorvida	101

ANEXOS

Anexo A – Certificados dos Tubos.....	109
Anexo B – Certificados dos Consumíveis.....	112
Anexo C – Orçamento e notas fiscais dos Consumíveis.....	115
Anexo D – Ensaaios Mecânicos na JC Laboratórios – BA.....	118
Anexo E – Ensaaios Mecânicos na Universidade de Itaúna – MG.....	130
Anexo F – Ensaaios Mecânicos no SENAI – MG.....	136
Anexo G – EPS + RQPS com 1 passe no E 6010.....	142
Anexo H – EPS + RQPS com 2 passe no E 6010.....	146

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
1.1	Objetivo geral.....	15
1.2	Objetivos específicos.....	16
1.3	Contribuições.....	16
1.4	Organização da dissertação.....	17
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	18
2.1	Energia e distribuição de gás	18
2.2	Materiais para a construção de dutos.....	26
2.3	Soldagem de dutos.....	39
2.3.1	Documentos de Soldagem.....	39
2.3.2	Soldagem com eletrodo revestido	41
2.3.3	Certificação de pessoas.....	39
2.3.4	Soldabilidade e Habilidade do soldador.....	41
2.3.5	Reforço da solda e Penetração Excessiva.....	41
2.3.6	Diluição.....	39
2.4	Consumíveis de soldagem.....	45
2.4.1	Especificação e Classificação AWS dos Eletrodos.....	46
2.4.2	Características dos Eletrodos E 6010 e E 8010-P1.....	48
2.4.3	Custos.....	48
2.4.4	Scheludes na certificação de consumíveis.....	46
2.5	Revisão normativa para construção de gasodutos.....	51
2.5.1	Hierarquias normativas na construção de gasodutos.....	53
3	METODOLOGIA.....	64
3.1	Análise dos relatórios dos tubos x65.....	64
3.2	Análise dos relatórios dos Eletrodos E 6010 e E 8010-P1.....	67
3.3	Execução da soldagem dos corpos de prova.....	77
3.4	Ensaio não destrutivos.....	64
3.4.1	Ensaio visual de soldagem	46
3.4.2	Ensaio de Ultrassom Phased Array.....	48
3.5	Ensaio mecânicos.....	67
3.5.1	Ensaio de tração.....	46

3.5.2	Ensaio de dobramento.....	48
3.5.3	Ensaio de Nick Break.....	46
3.5.4	Ensaio de dureza.....	46
3.5.5	Ensaio de impacto (Charpy-V).....	48
3.5.6	Ensaio de Nick Break.....	46
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	83
4.1	Resultados dos certificados dos tubos x65.....	83
4.2	Resultados dos certificados dos eletrodos E 6010 e E 8010-P1.....	84
4.3	Resultados do ensaio de inspeção visual de soldagem.....	86
4.4	Resultado do ensaio de ultrassom Phased Array.....	94
4.5	Resultado do ensaio de tração.....	98
4.6	Resultado do ensaio de dobramento.....	98
4.7	Resultado do ensaio de Nick Break.....	98
4.8	Resultado do ensaio de dureza.....	98
4.5	Resultado do ensaio de impacto Charpy-V.....	98
5	CONCLUSÕES.....	105
6	REFERÊNCIAS.....	109

1 INTRODUÇÃO

O crescimento do consumo de gás natural no Brasil tem impulsionado a expansão da infraestrutura de transporte e distribuição, tornando-se uma prioridade estratégica para o desenvolvimento energético do país. A Gasodutos desempenham papel central nessa cadeia logística, conectando fontes de produção aos centros consumidores. No entanto, a construção de dutos envolve desafios técnicos importantes, especialmente em relação à soldagem.

A soldagem dessas tubulações exige rigor técnico, regulatório e normativo. No Brasil, a ausência de normas específicas nacionais para soldagem de dutos resulta na aplicação de códigos internacionais, como o API 1104, que define requisitos gerais para qualificação de procedimentos e soldadores de soldagem. Entretanto, a API 1104 não fornece critérios determinantes para a escolha de consumíveis, gerando dúvidas sobre a compatibilidade entre a base metálica e os eletrodos utilizados. Isso é particularmente relevante para aços de alta resistência, como o API X65, amplamente empregado em gasodutos devido às suas propriedades mecânicas e resistência à corrosão.

No passe de raiz de soldas em tubos API X65, é esperado o uso de eletrodos revestidos da classe E 8010, como o E 8010-P1, devido às suas propriedades mecânicas compatíveis com o aço X65 e, em muitos casos, superiores em termos de resistência mecânica. Essa classe de eletrodos é amplamente utilizada em aplicações que exigem alta resistência e confiabilidade na solda, embora seu uso esteja associado a custos mais elevados e à necessidade de soldados com maior habilidade técnica. Por outro lado, o eletrodo E 6010, pertencente a uma classe de menor resistência, apresenta vantagens como menor custo, ampla disponibilidade no mercado e maior facilidade de venda. Apesar dessas características, o uso do E 6010 no passe de raiz em tubos API X65 ainda é objeto de discussão técnica, especialmente devido à sua menor resistência em comparação aos eletrodos da classe E 8010, o que justifica estudos que avaliam suas previsões técnicas para aplicação.

A soldagem do tubo de aço API 5L X70 utilizando o eletrodo celulósico E6010 no passe de raiz demonstrou resultados satisfatórios, atendendo aos critérios de desempenho mecânico e integridade estrutural estabelecidos pelas normas. A escolha do E6010, reconhecido por sua elevada capacidade de penetração e versatilidade em condições adversas, mostrou-se adequada para o processo, garantindo total fusão e penetração na solda circumferencial. Os ensaios realizados, como tração, dobramento e Nick Break, evidenciaram a conformidade das juntas soldadas, reforçando a viabilidade técnica e econômica dessa combinação para aplicações em dutos de alta pressão (CAVALHEIRO et al., 2007).

A execução da solda com o eletrodo E 8010-P1 exige maior habilidade técnica do soldador, em razão de suas características metalúrgicas e operacionais. O E 8010-P1 é um eletrodo de baixa liga, projetado para fornecer maiores limites de escoamento (LE) e resistência (LR) em comparação ao E 6010, que é um eletrodo de aço carbono. Esses atributos conferem maior resistência mecânica à junta soldada, mas também introduzem desafios adicionais. A composição química do E 8010-P1, com teores específicos de elementos de liga como cromo e molibdênio, aumenta sua sensibilidade ao resfriamento rápido, o que pode resultar em tensões residuais mais elevadas e maior suscetibilidade a trincas, especialmente em zonas críticas como a ZTA (Zona Termicamente Afetada). Além disso, o passe de raiz, por ser o primeiro passe aplicado na solda e não possuir suporte metálico abaixo, é intrinsecamente mais difícil de executar, independentemente do tipo de eletrodo. No caso do E 8010-P1, a necessidade de maior controle do arco, da penetração e da poça de fusão, aliada à menor tolerância às variações no calor de entrada, torna o processo mais exigente para o soldador. Em contrapartida, o E 6010, com composição de aço carbono e menor resistência mecânica, possui uma maior tolerância a variações operacionais e menor sensibilidade a trincas, além de ser mais adequado para passes de raiz em situações que não desativem alta resistência, o que o torna mais fácil de manusear e menos propenso a erros durante a soldagem.

Este trabalho investiga a possibilidade de adotar o eletrodo E 6010 no passe de raiz de soldas em tubos API X65, buscando validar o seu uso por meio de ensaios mecânicos. A pesquisa visa também superar lacunas normativas ao propor uma

metodologia para a qualificação de procedimentos de soldagem (EPS), considerando tanto os requisitos do código API 1104 quanto as demandas mais rigorosas de clientes como a Petrobras, que utiliza a norma interna e pública N 464 para estabelecer limites adicionais, como ensaios de microdureza e tenacidade.

A relevância deste estudo não se limita à análise técnica. Ele responde a uma necessidade prática de construtoras e operadoras de gasodutos, que buscam alternativas mais econômicas, logisticamente acessíveis e eficazes para a soldagem, sem comprometer a qualidade e a segurança das uniões. Ao explorar a aplicação do E 6010, o trabalho contribui para a redução de custos de construção, aumento da produtividade, com a redução de reparos na raiz da solda e simplificação logística, fatores cruciais para a competitividade do setor de infraestrutura energética.

1.1 Objetivo geral

Validar a técnica de uso do eletrodo E 6010 no passe de raiz de soldas em tubos API X65, por meio de ensaios complementares aos procedimentos tradicionais de qualificação, tanto para um passe quanto para 2 passes com material consumível de menor resistência que o material de base (tubo).

1.2 Objetivos específicos

Realizar ensaios destrutivos e não destrutivos para avaliar a qualidade das soldagens realizadas com E 6010 no passe de raiz (com 1 e 2 passes), incluindo:

- Ensaios de tração para verificar a resistência mecânica.
- Ensaios de dobramento (face e raiz) para avaliar a ductilidade e integridade.
- Ensaios de impacto Charpy-V para medir a tenacidade em diferentes zonas de solda.
- Ensaios de dureza Vickers (HV10) para avaliar a resistência superficial e a transição entre as zonas de solda.
- Ensaios Não destrutivos Visual de soldagem e ultrassom.
- Fornecer uma metodologia para a elaboração de Especificações de Procedimentos de Soldagem (EPS) e Relatórios de Qualificação de Procedimentos de Soldagem (RQPS), que contemple o uso de consumíveis de menor resistência que o metal de base, garantindo a conformidade com as exigências da norma API 1104 e requisitos mais criteriosos de normas internacionais, como a norma Petrobras N 464.
- Desenvolver uma EPS e um RQPS que atendam aos requisitos normativos da API 1104 e satisfaçam critérios mais específicos, como os estabelecidos pela norma Petrobras, assegurando a aplicabilidade técnica e a segurança estrutural das juntas soldadas.

1.3 Contribuições

Este estudo oferece uma contribuição significativa para o mercado de construção e montagem de gasodutos, ao propor uma alternativa técnica e economicamente viável para o passe de raiz e do reforço. A validação do uso do eletrodo E 6010 poderá não apenas reduzir custos operacionais, mas também aumentar a produtividade e eficiência em projetos de infraestrutura. Além disso, ao atender aos resultados com normas rigorosas, como a API 1104 e a Petrobras N 464, o trabalho atende às demandas de clientes mais exigentes, fornecendo uma base confiável para qualificação de procedimentos e melhoria das práticas de aplicação no setor.

1.4 Organização da dissertação

Esta dissertação de mestrado está dividida em capítulos, conforme descrito a seguir:

- O capítulo 2 refere-se a toda pesquisa bibliográfica realizada para o desenvolvimento da dissertação e fornece embasamento teórico para compreensão da pesquisa desenvolvida;
- O capítulo 3 descreve toda a metodologia utilizada para desenvolvimento da pesquisa;
- O capítulo 4 apresenta os resultados e discussões obtidas durante os testes e ensaios realizados nas amostras, bem como os resultados dos classificadores, em função da técnica de processamento escolhida;
- O capítulo 5 apresenta a conclusão dos resultados obtidos;
- Nos apêndices, estão listados todos os relatórios de inspeção e testes.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A fundamentação teórica deste trabalho aborda os conceitos essenciais para a compreensão dos processos de construção e avaliação de dutos de aço carbono. Este capítulo está organizado em cinco tópicos principais: energia e distribuição de gás, materiais para construção de dutos, materiais para construção, soldagem de dutos, consumíveis de soldagem e revisão normativa. Cada seção é dividida em subitens que tratam de aspectos específicos relacionados ao tema. A seguir, cada item em detalhes.

2.1 Energia e Distribuição de Gás

A energia é um dos pilares do desenvolvimento econômico e social. O gás natural desempenha um papel central na matriz energética, seja como combustível industrial, residencial ou como insumo para geração de energia elétrica. Com o avanço das energias renováveis e a transição energética global, novos combustíveis como o hidrogênio e as misturas com gás natural têm sido explorados, exigindo adaptações tecnológicas em sistemas de transporte e distribuição.

O gasoduto é o modo de transporte que emprega um sistema de dutos – tubos ou cilindros antecipadamente preparados para determinado tipo de transporte, formando uma linha chamada de dutovia, ou via composta por dutos, na qual se movimentam produtos de um ponto a outro (RODRIGUES, 2009)

Atualmente, a infraestrutura de gás natural no Brasil é limitada, com a maior parte da rede de equipamentos de gasodutos no litoral, especialmente nas regiões Sudeste e Nordeste. Essa configuração reflete o foco histórico em conectar áreas de produção offshore, como o pré-sal, às grandes cidades e polos industriais. A malha de gasodutos integrada possui mais de 9.400 km, enquanto sistemas isolados em regiões como Amazônia e Maranhão atendem demandas locais. Além disso, a dependência de gás importado via o gasoduto Bolívia-Brasil (GASBOL) e a integração limitada dos terminais de regaseificação de GNL à rede nacional dificultam a distribuição ampla de

gás natural para o interior do país, restringindo seu uso em setores industriais e termelétricos (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2021).

Para superar essas limitações, o Programa Novo Mercado de Gás foi implementado, promovendo um mercado mais dinâmico e competitivo. Com a entrada em vigor da Lei 14.134:2021, conhecida como Lei do Gás, o programa busca diversificar os fornecedores, facilitar o acesso de novos agentes à infraestrutura existente e reduzir os preços por meio de maior concorrência. Esse empreendimento inclui projetos de conexão de terminais de GNL ao sistema integrado e expansão de gasodutos para regiões ainda não atendidas. Além disso, estratégias como gasodutos virtuais e cabotagem são consideradas para integrar sistemas isolados e levar o gás a mercados mais distantes (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2021).

As perspectivas para o futuro são otimistas. Até 2031, a produção doméstica de gás natural deverá aumentar significativamente, impulsionada pelo pré-sal e pela exploração de gás não associado na Bacia de Sergipe-Alagoas. A malha de gasodutos poderá se expandir para o interior, promovendo maior alcance e competitividade. Terminais de GNL adicionais e novas infraestruturas de processamento também estão previstas, o que permitirão atender à crescente demanda industrial, à expansão de termelétricas e ao desenvolvimento de novos polos industriais em regiões ainda não conectadas. Essas iniciativas transformarão o gás natural em um elemento-chave para o crescimento econômico e a transição energética no Brasil (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2021).

2.2 Materiais para Construção de Dutos

A escolha do material para dutos é um dos fatores determinantes do projeto. Embora novos materiais, como polímeros e ligas não ferrosas, tenham ganhado espaço, o aço carbono permanece como a principal escolha.

No contexto da fabricação de tubos, PSL (Product Specification Level) se refere ao nível de requisitos técnicos definidos pela API 5L: Specification for Line Pipe, 2018. PSL 2 representa um nível mais alto em comparação com PSL 1, com requisitos de teste mais rigorosos, tolerâncias mais rígidas e especificações mais rigorosas para composição química e propriedades mecânicas. Ele é projetado para aplicações mais críticas, garantindo maior confiabilidade e desempenho sob condições exigentes. (API 5L, 2018)

O artigo "Qual é a diferença entre tubos PSL1 e PSL2?" publicado no site HardHat Engineer oferece uma análise das diferenças entre os níveis de concepção do produto PSL1 e PSL2 em conformidade com a norma API 5L. O autor, Varun Patel, explica que os tubos PSL1 atendem aos requisitos mínimos de qualidade, enquanto os tubos PSL2 possuem critérios mais rigorosos em termos de composição química, propriedades mecânicas e procedimentos de teste. Por exemplo, os tubos PSL2 definem limites máximos para resistência ao escoamento e à tração, além de testes de tenacidade à fratura, que não são obrigatórios para PSL1. Além disso, o artigo destaca que os tubos PSL2 requerem inspeções não destrutivas mais abrangentes e possuem restrições mais severas quanto à composição química, incluindo limites mais baixos para elementos como carbono, fósforo e enxofre. Essas diferenças tornam os tubos PSL2 mais adequados para aplicações em ambientes severos, como altas pressões e temperaturas extremas, onde a integridade estrutural é crucial. (VARUN, 2024)

Apesar das redes de distribuição interna de gás natural, dentro das cidades, utilizam comumente tubulações de materiais como PEAD (Polietileno de Alta Densidade), a maioria das redes estruturantes de transporte e infraestrutura são compostas por tubos de aço carbono, regulamentados pela API Spec 5L. Esta concepção abrange exclusivamente materiais de aço carbono, amplamente utilizados no transporte de petróleo, gás natural e outros fluidos pressurizados devido à sua alta resistência mecânica e durabilidade.

Para sistemas com pressão de operação mais moderada, é comum o uso de tubos de Grau B, amplamente adotados em condições menos exigentes. Contudo, à medida

que as pressões de operação aumentam, opte-se por materiais de maior resistência, como os graus X60, X70 e até X80, para evitar espessuras elevadas, como aquelas superiores a 25 mm. Esses materiais mais resistentes permitem reduzir a espessura da parede dos tubos em comparação ao Grau B, permitindo, conseqüentemente, a redução da quantidade de soldas nas juntas e, em muitos casos, eliminando a necessidade de tratamentos térmicos pós-soldagem.

Essa abordagem não apenas melhora a eficiência na construção, mas também reduz custos e tempos de execução em projetos mais complexos e de maior escala, mantendo a segurança e a confiabilidade oportunas para sistemas de transporte de alta capacidade.

A análise dos materiais recebidos constitui uma etapa para a avaliação das propriedades mecânicas reais dos tubos de aço API X65 a serem soldados. Todos os tubos adquiridos para os testes são classificados como API X65 PSL 2, conforme a norma de fabricação API 5L, edição 46, que foi adotada como referência para este estudo. Em linhas gerais, a especificação PSL 2 impõe requisitos mais rigorosos de controle de qualidade, composição química e desempenho mecânico, especialmente em comparação com o nível PSL 1, garantindo que os materiais suportem condições severas de operação. A escolha dos tubos utilizados nos experimentos, com diâmetros nominais de 10" e 16" e espessuras nominais de 5,2 mm e 7,1 mm, respectivamente, não foi baseada em critérios técnicos específicos, mas sim na disponibilidade desses materiais para a realização.

De acordo com a edição 46 da norma API 5L, espera-se que os certificados dos tubos indiquem propriedades mecânicas dentro dos limites especificados. Conforme descrito na Tabela 1, a norma define que a resistência ao escoamento para tubos com corpo soldado ou sem costura deve variar entre um mínimo de 415 MPa (60.200 psi) e um máximo de 565 MPa (81.900 psi), enquanto a resistência à tração deve estar entre 520 MPa (75.400 psi) e 760 MPa (110.200 psi).

Tabela 1 - Requisitos de Propriedades Mecânicas para Tubos API X65 PSL 2.

Propriedade Mecânica	Mínimo (PSI)	Máximo (PSI)
Resistência ao Escoamento	65.300 (450 MPa)	87.000 (600 MPa)
Resistência à Tração	77.600 (535 MPa)	110.200 (760 MPa)

Fonte: Adaptado da API 5 L.

2.3. Soldagem de Dutos

A soldagem é o método mais utilizado para unir os segmentos de dutos, garantindo a integridade estrutural e a segurança no transporte de fluidos. Este item aborda os principais aspectos técnicos, normativos e práticos do processo de construção e montagem de dutos.

No contexto de gasodutos, a soldagem é fundamental para assegurar a estanqueidade e a resistência estrutural das tubulações que transportam gases sob alta pressão. A aplicação de técnicas apropriadas, aliada a procedimentos rigorosos e mão de obra qualificada, garante que as juntas soldadas apresentem desempenho confiável durante a operação. A conformidade com as especificações técnicas e operacionais é essencial para prevenir falhas que possam comprometer a segurança, o meio ambiente e a eficiência do sistema (SGOBBI, 2015).

As variáveis de soldagem — como tensão do arco, corrente de soldagem, velocidade de avanço e tipo de eletrodo — influenciam diretamente os efeitos térmicos durante o processo. O aumento da tensão e da corrente eleva o calor de entrada, promovendo maior aporte térmico à junta. Esse aumento no calor tem implicações microestruturais importantes, como o favorecimento ao crescimento dos grãos no metal de solda e na Zona Termicamente Afetada (ZTA).

Sob o ponto de vista microestrutural, o crescimento de grão decorrente de um maior calor de entrada tende a reduzir a dureza do material. Essa condição também está associada à redução das propriedades mecânicas, como o limite de escoamento, a resistência à tração e a tenacidade ao impacto. Além disso, o excesso de calor pode gerar descontinuidades indesejadas — como porosidade, trincas a quente e fusão incompleta — que comprometem a integridade da junta soldada (TALABI et al., 2014).

Por outro lado, o aumento da velocidade de soldagem diminui o calor de entrada, resultando em microestruturas mais refinadas. A formação de grãos mais finos está diretamente relacionada ao aumento da resistência mecânica, com melhorias observadas no limite de escoamento e na resistência à tração. No entanto, mesmo com grãos mais finos, a tenacidade ao impacto costuma permanecer inferior à do metal de base, devido à heterogeneidade microestrutural e aos efeitos do ciclo térmico de soldagem, que introduz zonas mais frágeis na junta.

Do ponto de vista prático, a escolha de eletrodos de menor diâmetro (por exemplo, 3,5 mm), combinada com maiores velocidades de aplicação, tem se mostrado eficaz para alcançar um bom equilíbrio entre dureza e resistência mecânica. Essa estratégia permite minimizar os efeitos negativos do calor excessivo, promovendo soldas mais homogêneas e com melhores propriedades globais.

Esses resultados reforçam a importância de um controle rigoroso e criterioso das variáveis de soldagem. A seleção adequada de parâmetros como tensão, corrente, velocidade e tipo de eletrodo é essencial para evitar defeitos metalúrgicos, garantir a qualidade das juntas e adequar as propriedades da solda às exigências de projeto. Em síntese, o equilíbrio entre desempenho mecânico e integridade estrutural só é alcançado por meio de um planejamento técnico detalhado e da aplicação de boas práticas de soldagem, que considerem os efeitos térmicos, microestruturais e mecânicos envolvidos.

2.3.1. Documentação de Soldagem

No campo da soldagem, a elaboração e qualificação de procedimentos são fundamentais para garantir a integridade e a qualidade das juntas soldadas. Dois documentos essenciais nesse contexto são a Especificação de Procedimento de Soldagem (EPS) e o Registro de Qualificação de Procedimento de Soldagem (RQPS).

- Especificação de Procedimento de Soldagem (EPS): É um documento técnico que detalha minuciosamente as condições sob as quais uma solda deve ser realizada. Ela abrange variações críticas como o tipo de material base, os consumíveis a serem usados, as condições de operação (corrente, tensão, velocidade), a posição de operação, a preparação da junta e os tratamentos térmicos, entre outros. O EPS serve como um guia para os soldadores e inspetores, permitindo que o processo seja executado de maneira consistente e conforme os padrões estabelecidos. A conformidade com normas técnicas, como a ASME Seção IX, é frequentemente necessária para garantir a qualidade e a segurança das estruturas soldadas. (LEITE, 2013)
- Registro de Qualificação de Procedimento de Soldagem (RQPS): É o documento que registra os resultados dos testes realizados para qualificar um procedimento de soldagem especificado na EPS. Ele inclui detalhes dos ensaios destrutivos e não destrutivos aplicados às amostras soldadas, como testes de tração, dobramento, impacto e inspeções visuais. A aprovação no RQPS indica que o procedimento proposto é capaz de produzir soldas que atendam aos requisitos mecânicos e de qualidade estabelecidos pelas normas aplicáveis. (LEITE, 2013)

Sendo assim, a EPS define o "como" da soldagem, estabelecendo os parâmetros e métodos a serem seguidos. O RQPS, por sua vez, valida esse procedimento, demonstrando, por meio de testes, que a solda resultante atende aos critérios de qualidade e segurança exigidos. Essa relação garante que os procedimentos de aplicação não sejam apenas teóricos, mas comprovadamente eficazes na prática.

Os documentos de soldagem, como a Especificação de Procedimento de Soldagem (EPS) e o Registro de Qualificação de Procedimento de Soldagem (RQPS), desempenham um papel essencial na padronização e controle de qualidade dos processos de soldagem. O RQPS é o registro dos dados utilizados na soldagem de uma peça de teste, incluindo as variáveis essenciais, suplementares e não essenciais, além dos resultados de ensaios mecânicos, como tração e dobramento, conforme especificado no código ASME SECTION IX. A EPS, por sua vez, é desenvolvida a partir do RQPS e fornece todas as informações técnicas necessárias para a execução de soldagens em conformidade com as normas de fabricação e qualificação. Ambos os documentos garantem a repetibilidade das propriedades mecânicas e a integridade das juntas soldadas, sendo fundamentais para aplicações industriais que demandam alta confiabilidade e segurança, como tubulações de processo e equipamentos industriais (SILVA et al., 2019).

A correta elaboração e qualificação desses documentos são cruciais para a integridade estrutural de componentes soldados, especialmente em setores como petróleo e gás, construção naval e indústrias de alta responsabilidade. A negligência nesse processo pode resultar descumprimentos normativos que comprometem a confiabilidade e garantia do equipamento.

2.3.2. Soldagem com Eletrodos Revestidos

A sigla SMAW significa Soldagem a Arco de Metal revestido, que em português é conhecido como Soldagem a Arco Elétrico com Eletrodo Revestido (SAER) ou simplesmente Eletrodo Revestido (ER). Este processo de soldagem utiliza um eletrodo metálico consumível revestido por um fluxo que, ao ser fundido pelo calor do arco elétrico, protege a poça de fusão contra a poluição atmosférica, garantindo a qualidade da solda. O método é amplamente utilizado devido à sua simplicidade e simplicidade operacional, sendo adequado para diversos tipos de metais e aplicações industriais.

O processo de soldagem com eletrodo revestido (SMAW) é um processo no qual a fusão do metal é produzida pelo aquecimento de um arco elétrico, mantido entre a ponta de um eletrodo revestido e a superfície do metal de base a ser soldada. Em função da aplicação de grande quantidade de energia sob a forma de calor surgem alterações das propriedades do material, nem sempre benéficas às propriedades físicas e metalúrgicas da junta soldada, tais como excesso de fusão, deformações plásticas e geração de fases martensíticas e bainíticas que fragilizam o material. A soldagem a arco por eletrodo revestido é o mais utilizado, em função da sua versatilidade, principalmente para soldagem de aços. Embora seja amplamente utilizado, na maioria das vezes este processo é realizado por operadores que desconhecem os efeitos e transformações metalúrgicas que impõem à peça, podendo comprometer a qualidade da junta assim como o custo operacional (SILVA et al., 2010).

Conforme especificado na Tabela 2 apresenta os Requisitos de Propriedades Mecânicas para Eletrodos E 6010 e E 8010-P1, a resistência mínima à tração e ao escoamento para o eletrodo E 6010 deve atingir, respectivamente, 60 ksi (430 MPa) e 48 ksi (330 MPa). Para o eletrodo E 8010-P1, a resistência mínima à tração exigida é de 80 ksi (550 MPa), e a resistência ao escoamento deve ser de 67 ksi (460 MPa). Ambos os eletrodos foram revisados e certificados para garantir que atendem aos padrões rigorosos estabelecidos pela AWS A5.1 para o E 6010 e A5.5 para o E 8010-P1, assegurando consistência e desempenho elevado na aplicação prática.

Tabela 2: Requisitos de Propriedades Mecânicas para Eletrodos E 6010 e E 8010-P1.

Classificação do Eletrodo	Especificação AWS	Limite de Resistência à Tração Mínima (PSI)	Limite de Resistência ao Escoamento Mínima (PSI)
E 6010	A5.1	60.000 (430)	48.000 (330)
E 8010-P1	A5.5	80.000 (550)	67.000 (460)

Fonte: Adaptados da AWS 5.1 e 5.5.

2.3.3. Certificação de Pessoas

Os inspetores de soldagem desempenham um papel crucial no controle de qualidade dos processos de soldagem, sendo responsáveis pela elaboração, validação e supervisão de documentos como a Especificação de Procedimento de Soldagem (EPS) e o Registro de Qualificação de Procedimento de Soldagem (RQPS). Conforme a API 1104, esses profissionais devem assegurar que os processos atendam aos requisitos técnicos específicos para tubulações e instalações relacionadas, especialmente no que se refere à integridade estrutural e resistência das juntas soldadas. A ASME Section IX complementa esses critérios ao detalhar as exigências de qualificação de soldadores, operadores e procedimentos, assegurando que todas as variáveis de soldagem sejam documentadas e controladas. Já a AWS D1.1 estende essas responsabilidades para estruturas metálicas, enfatizando a necessidade de inspeção detalhada em conformidade com os padrões técnicos. Certificações internacionais, como AWS CWI e CSWIP, são amplamente reconhecidas para garantir que inspetores de soldagem estejam devidamente qualificados para atuar em contextos normativos rigorosos.

Os inspetores de Ensaios Não Destrutivos (END) são responsáveis pela identificação de descontinuidades e defeitos em materiais e soldas sem comprometer sua integridade. A ISO 9712 estabelece critérios para a qualificação desses profissionais, abrangendo métodos como ultrassom, radiografia e partículas magnéticas, enquanto a ASNT SNT-TC-1A define níveis de certificação para assegurar a competência técnica em diferentes metodologias de END. A API 1104 e a AWS D1.1 destacam a importância do uso de END em tubulações e estruturas metálicas, respectivamente, como ferramentas indispensáveis para garantir a conformidade e a segurança operacional.

2.3.4. Soldabilidade e Habilidade do Soldador

Soldabilidade refere-se à capacidade de um material ser soldado sem apresentar defeitos significativos na junta soldada, mantendo as propriedades mecânicas e estruturais desejadas. (CALLISTER JR, 2016)

A soldabilidade do aço carbono é amplamente influenciada pelo equivalente de carbono (CE), que serve como um indicador crítico para determinar temperaturas de pré-aquecimento necessárias para a integridade da solda. Além disso, a microestrutura na zona afetada pelo calor (ZAC) desempenha um papel vital nas propriedades mecânicas da junta soldada. A habilidade do soldador é crucial nesse contexto, especialmente para controlar a taxa de diluição e evitar problemas como trincas a frio e formação de martensita em aços de maior teor de carbono. Esses aspectos reforçam a importância da seleção apropriada de parâmetros de soldagem, como corrente, tensão e velocidade de soldagem, que devem ser ajustados para reduzir a taxa de resfriamento na ZAC, garantindo maior qualidade da solda e melhor desempenho em serviço (ODEBIYI et al., 2019).

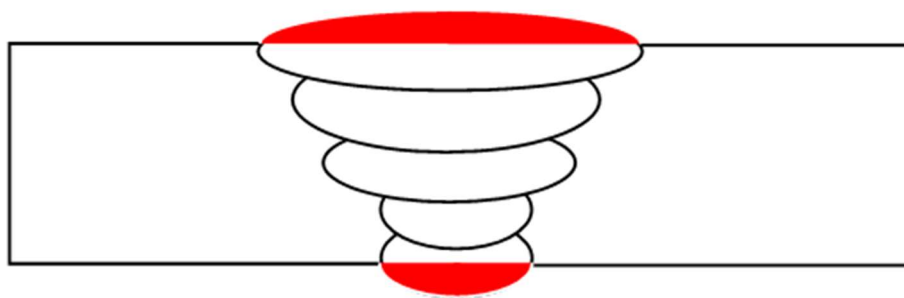
2.3.5. Reforço da Solda e Penetração Excessiva

A seção transversal da solda, conforme ilustrado na Figura 02, revela que o reforço adequado e a penetração controlada são essenciais para evitar falhas e garantir a integridade das juntas soldadas. A penetração da solda, embora não tenha finalidade estrutural, é crucial para garantir a fusão completa das bordas do metal base.

O reforço da solda não possui função estrutural e, ao contrário do que se pudesse supor, não assegura a durabilidade da junta soldada. Na verdade, um reforço excessivo pode atuar como ponto de concentração de tensão, comprometendo a resistência à fadiga da solda e aumentando a probabilidade de falhas em carregamentos cíclicos. Segundo Tremarin e Pravia (2017), a geometria do reforço de solda, quando inconveniente, gera descontinuidades geométricas que influenciam

diretamente na distribuição de transferência, contribuindo para a propagação de trincas e desvantagens a vida útil da estrutura. Para reforços na face da solda, recomenda-se um limite máximo de 1,6 mm em dutos (API 1104), enquanto na raiz, uma penetração excessiva deve ser avaliada de acordo com o fluido transportado. Em minerodutos, por exemplo, fluidos de maiores densidade podem gerar turbulências internas, acelerando processos de erosão e corrosão, o que reduz significativamente a vida útil do equipamento. Portanto, o controle adequado do perfil do reforço, tanto na face quanto na raiz, é essencial para minimizar a concentração de tensão e prolongar a durabilidade das juntas soldadas.

Figura 01 – Esquemático da penetração e reforço excessivo.



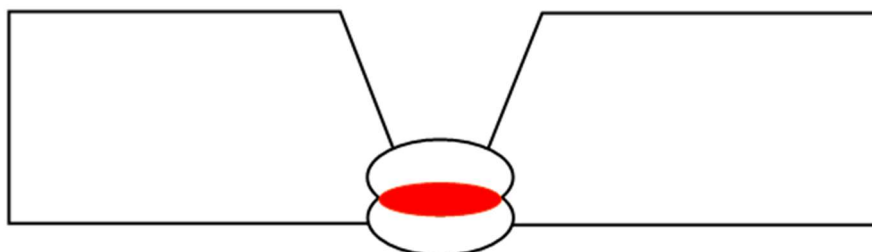
Fonte: Autor próprio.

2.3.6. Diluição na Soldagem

A taxa de diluição é um fator crítico na soldagem, influenciando a composição química e as propriedades mecânicas da junta soldada. Quando uma solda é feita, o metal de adição funde com o metal de base, formando uma poça de fusão que cria o metal de solda. Este processo se repete em passes subsequentes, onde o consumível utilizado no segundo passe se mistura com o metal do passe anterior, resultando em uma nova composição de metal de solda com propriedades intermediárias. Na Figura 3, a região em vermelho representa a parte do segundo passe que fundiu o passe anterior. Se os consumíveis utilizados tiverem resistências diferentes, essa região terá propriedades intermediárias entre os dois materiais. Esta diluição deve ser cuidadosamente

controlada para garantir que a junta soldada atenda às especificações de resistência e durabilidade requeridas pelos padrões normativos. (VILLANI, 2009).

Figura 2 – Esquemático da diluição.



Fonte: Autor próprio.

A taxa de diluição é uma variável essencial nos processos de soldagem, especialmente na qualificação de procedimentos descrita no RQPS e na EPS. Esse parâmetro mede a proporção de metal de base que se mistura com o metal de solda durante o processo e influencia diretamente a composição química e as propriedades mecânicas da junta soldada. No contexto da elaboração do RQPS, a taxa de diluição é controlada para garantir que as propriedades da solda, como dureza, resistência e tenacidade, atendam aos requisitos normativos. O controle desse parâmetro é particularmente importante em aplicações que envolvem materiais de alta resistência, como o aço API 5L X70, onde a integridade estrutural depende do equilíbrio entre penetração da solda e alterações microestruturais na ZTA (SILVA et al., 2019).

Embora a diluição seja um fator crítico na soldagem, influenciando diretamente a composição química e as propriedades mecânicas da junta soldada, ela não é avaliada nem calculada durante a qualificação do Procedimento de Soldagem (EPS) ou da qualificação do soldador (RQPS). Esses processos de qualificação avaliam o desempenho do procedimento e do soldador, focando na qualidade final da solda (o produto), e não nos cálculos relacionados à diluição. A diluição pode ser determinada pela proporção entre o metal de base e o metal de adição que foram fundidos durante o processo de soldagem. Ela considera a área do metal de base fundida em relação à soma da área do metal de base e do metal de adição fundidos. Esse cálculo é importante para analisar como a mistura desses metais afetará as propriedades do metal de solda resultante. Contudo, é uma análise técnica voltada ao controle de

processos e estudos metalúrgicos e não um requisito normativo aplicado em EPS ou RQPS, que se concentra na avaliação do produto final.

2.4 Consumíveis de Soldagem

Os consumíveis de soldagem desempenham um papel crucial na qualidade e eficácia do processo de soldagem, sendo definidos como materiais consumíveis utilizados para preencher a junta ou para proteger a poça de fusão e a zona termicamente afetada durante o processo de soldagem. De acordo com a norma A3.0M/A3.0:2020 *Standard Welding Terms And Definitions; Including Terms For Adhesive Bonding, Brazing, Soldering, Thermal Cutting, And Thermal Spraying*, que fornece uma terminologia e definições padrão para soldagem e processos associados, consumíveis de soldagem incluem eletrodos revestidos, arames sólidos e tubulares, varetas de enchimento, fluxos e gases de proteção.

Para soldagem de tubulações, utilizam-se eletrodos com revestimentos celulósicos para junta circunferencial devido às características de baixo custo e pela capacidade de garantir grande penetração da solda. No entanto, a solda depositada por esses eletrodos apresenta menores valores de tenacidade quando comparada a consumíveis com revestimento básico. (CAVALHEIRO et al., 2007)

De acordo com Rodrigues, et al (2022), os consumíveis de soldagem SMAW devem:

- Fornecer agentes para formação de gases de proteção da poça de fusão;
- Formar uma camada de escória protetora com elementos do metal de solda (desoxidação, dessulfuração, etc.);
- Possibilitar a soldagem nas diversas posições de soldagem;
- Reduzir o número de respingos e fumos metálicos;
- Possibilitar o uso de diferentes tipos de corrente e polaridade;
- Prover agentes que possibilitem o controle da taxa de deposição (quantidade de metal depositado por unidade de tempo);
- Controlar a temperatura do eletrodo;

- Proteger as gotas durante a transferência pelo arco elétrico;
- Moldar o cordão de solda;
- Dissolver óxidos e contaminações na superfície da poça;
- Controlar a velocidade de resfriamento da solda.

A AWS (*American Welding Society*), ou Associação americana de Soldagem em português, é uma organização sem fins lucrativos, fundada em 1919, dedicada ao avanço da ciência, tecnologia e aplicação da soldagem e processos relacionados. A AWS é extremamente especializada no desenvolvimento de normas técnicas, incluindo critérios específicos para a concepção e fabricação de consumíveis de soldagem, como eletrodos revestidos, arames sólidos e fluxos. Estas especificações são utilizadas globalmente como referência para garantir a qualidade, segurança e desempenho dos materiais. Além disso, a AWS também elabora códigos para soldagem estrutural, guias de melhores práticas, e oferece certificações profissionais, como o *Certified Welding Inspector* (CWI), que é referência internacional na qualificação de inspetores e profissionais da área de soldagem. A organização promove treinamentos, publicações técnicas e eventos para disseminar conhecimento e fomentar inovações no setor (AMERICAN WELDING SOCIETY, 2024).

Cada tipo de processo de soldagem requer consumíveis específicos, com características adaptadas às condições operacionais e aos materiais a serem unidos. Por exemplo, na soldagem a arco com Eletrodo revestido (SMAW), eletrodos revestidos como os especificados na A5.1/A5.1M:2012 *Specification For Carbon Steel Electrodes* são utilizados para soldagem de aço carbono, enquanto a A5.5/A5.5M:2022 *Specification For Low-Alloy Steel Electrodes For Shielded Metal Arc Welding* cobre eletrodos para soldagem de aço de baixa liga.

Segundo a norma “ABNT NBR 15280-2:2015 Versão Corrigida:2016 - Dutos terrestres Parte 2: Construção e montagem”, consumíveis de soldagem são definidos como materiais utilizados em processos de soldagem, corte e aspersão térmica que sofrem fusão ou desgaste. Estes consumíveis variam conforme o processo de soldagem e os materiais a serem soldados, garantindo que as propriedades mecânicas e metalúrgicas da junta atendam aos requisitos especificados. A norma também discute

a necessidade de critérios específicos para a seleção de consumíveis com base em suas propriedades de fusão, capacidade de deposição, e características de fluxo, destacando a importância da escolha correta dos consumíveis para a integridade da solda (ABNT NBR 15280-2, 2015).

Existem várias normas que especificam consumíveis de soldagem de acordo com suas aplicações e materiais. A ASME Seção II, Parte C, também fornece especificações detalhadas para materiais de soldagem, agrupando diversas normas da AWS. Por exemplo, a especificação para eletrodos de aço carbono para soldagem a arco metálico blindado é designada como SFA-5.1 na ASME, que é idêntica à especificação AWS A5.1/A5.1M:2012, e a SFA-5.5 na ASME, que é idêntica à especificação AWS A5.5/A5.5M:2022. A ASME Seção II, Parte C: 2023, intitulada "Specifications for Welding Rods, Electrodes, and Filler Metals" evoluiu em cooperação com a AWS desde a sua fundação em 1919. Esta seção contém especificações de materiais, a maioria das quais são idênticas às especificações correspondentes publicadas pela AWS. O comitê da ASME revisa todas as especificações de materiais submetidas a ele, adaptando-as conforme necessário para fins de uso no código, enquanto mantém uma colaboração contínua com a AWS para garantir que as especificações produzidas sejam idênticas.

As especificações, como as da AWS e ASME, determinam as características gerais dos consumíveis de soldagem, como a composição química, a resistência mecânica, e os métodos de teste. A classificação, por outro lado, refere-se a como os consumíveis são organizados com base em suas propriedades específicas, como tipo de corrente, tipo de revestimento, posição de soldagem, e propriedades mecânicas do metal de solda na condição soldada ou envelhecida. Por exemplo, as especificações AWS A5.1 e A5.5 são essenciais para o trabalho de soldagem em dutos, pois determinam os requisitos para eletrodos de aço carbono e de aço de baixa liga, respectivamente. A AWS A5.1 especifica eletrodos revestidos como o E6010 para soldagem de aço carbono, enquanto a AWS A5.5 aborda eletrodos como o E8010-G para soldagem de aço de baixa liga.

Para garantir a qualidade dos consumíveis de soldagem, normas como a ISO 544:2024 *Welding consumables — Technical delivery conditions for filler materials and fluxes — Type of product, dimensions, tolerances and markings* e a ISO 10474: 2013 *Steel and steel products — Inspection documents*, também são relevantes. A ISO 544 especifica condições técnicas de entrega para materiais de enchimento de soldagem, incluindo tipo de produto, dimensões, tolerâncias e marcações, enquanto a ISO 10474 estabelece documentos de inspeção para aço e produtos de aço, essencial para garantir a conformidade com os padrões de qualidade

O conceito de relatórios de teste de material (MTR) e relatórios de teste de material certificados (CMTR) também é vital para a qualidade e certificação dos consumíveis de soldagem. Um CMTR é um relatório de teste onde há uma referência específica aos testes realizados no material fornecido, garantindo que ele atende aos requisitos da especificação. O CMTR pode incluir resultados de análises químicas, testes de propriedades mecânicas e outros testes exigidos pela especificação ou acordados entre comprador e fornecedor (ISO 10474, 2013).

No Brasil, a Fundação Brasileira de Tecnologia da Soldagem (FBTS) oferece um sistema de qualificação e certificação de consumíveis de soldagem que garante a qualidade dos produtos de soldagem utilizados no país. Existem dois tipos de certificação: Tipo A, que é específica para um lote de produção, e Tipo B, que é aplicada a uma marca comercial específica com validade de três anos, vinculada às condições contratuais estabelecidas entre a FBTS e o fabricante. Os consumíveis são certificados conforme as normas ASME/AWS 5.1 a 5.39 e a Norma N-1859 para clientes como a Petrobrás, assegurando que atendem aos requisitos de qualidade e desempenho. (FBTS, 2024).

Além disso, a norma “Petrobras N-464: 2016 Construção, Montagem e Condicionamento de Duto Terrestre”, especifica que mesmo quando são utilizados consumíveis homologados por um Organismo Certificador de Produtos (OCP), é necessário emitir uma Especificação de Procedimento de Soldagem (EPS) específica para cada marca comercial aplicada, sem a necessidade de nova qualificação. Em casos onde as propriedades mecânicas nominais dos consumíveis de soldagem são

inferiores às do metal de base, a aquisição deve ser conforme o Schedule J da norma AWS A5.01: 2012 Specification for Carbon Steel Electrodes for Shielded Metal Arc Welding. Cada certificado de lote "Schedule J" deve comprovar que suas propriedades mecânicas atendem aos requisitos do metal de base do tubo a ser soldado, destacando a importância da conformidade com as especificações normativas. (N-464, 2016).

2.4.1 Especificação e Classificação AWS dos Eletrodos

A distinção entre especificação e classificação de consumíveis de soldagem, conforme as normas da American Welding Society (AWS), é fundamental para a correta seleção e aplicação desses materiais.

Especificação AWS trata-se de um conjunto de normas que estabelecem os requisitos mínimos que um consumível de soldagem deve atender. Esses requisitos abrangem aspectos como composição química, propriedades mecânicas, métodos de ensaio, critérios de aceitação, embalagem, identificação e certificação. A especificação assegura que o consumível seja fabricado de acordo com padrões rigorosos, garantindo sua consistência e desempenho esperado. Por exemplo, a especificação AWS A5.1 aborda eletrodos revestidos de aço carbono, definindo os parâmetros que esses consumíveis devem cumprir.

Já a classificação AWS é o sistema de designação que identifica as características específicas de um consumível de soldagem. Através de uma combinação de letras e números, a classificação fornece informações sobre propriedades mecânicas, composição química, tipo de revestimento, posição de soldagem e tipo de corrente elétrica adequada. Por exemplo, no eletrodo classificado como E 6010, a letra 'E' indica que é um eletrodo; '60' representa a resistência mínima à tração (60.000 psi); '1' indica que pode ser utilizado em todas as posições de soldagem; e '10' refere-se ao tipo de revestimento e corrente elétrica recomendada (AWS A 5.1, 2012).

Em resumo, enquanto a especificação AWS define os requisitos gerais e mínimos que um consumível deve atender para ser considerado conforme, a classificação AWS fornece uma identificação detalhada das características e capacidades específicas desse consumível, auxiliando na seleção adequada para cada aplicação de soldagem.

2.4.2 Características dos Eletrodos E 6010 e E 8010-P1

O eletrodo E6010 é amplamente utilizado na soldagem de aços carbono devido à sua capacidade de produzir soldas de alta qualidade em todas as posições. Caracteriza-se por um revestimento celulósico que proporciona um arco de soldagem forte e profundo, mesmo em materiais oxidados ou sujos. O eletrodo E6010 é conhecido por sua versatilidade e facilidade de uso, sendo especialmente eficaz em aplicações que requerem soldas verticais descendentes (ESAB, 2024).

O eletrodo E8010-P1 é amplamente utilizado na soldagem de tubulações de alta resistência, especialmente em aplicações de petróleo e gás. Este eletrodo celulósico é projetado para soldagem em todas as posições, com destaque para a soldagem vertical descendente, proporcionando alta penetração e uma poça de fusão limpa. É particularmente recomendado para soldagem de oleodutos, gasodutos e tubulações que atendem às especificações API 5L X60 a X70 (ESAB, 2024).

Além disso, para M. Mosallaei, 2013 o E8010-P1 possui uma composição química que contribui para a resistência mecânica e a tenacidade da solda, tornando-o adequado para ambientes exigentes. A escolha desse eletrodo deve considerar as propriedades específicas do material base e os requisitos do projeto, garantindo a integridade e a qualidade da junta soldada.

2.4.3 Custos

A análise de custos dos eletrodos utilizados no presente estudo é fundamental para compreender a viabilidade econômica da escolha entre o eletrodo E 6010 e o eletrodo E 8010-P1. A partir de cotações de fornecedores e notas fiscais analisadas, observou-se uma diferença significativa no custo de ambos os consumíveis, além da influência do volume adquirido nos valores unitários. Os valores obtidos nas cotações demonstram que o eletrodo E 6010 apresenta um custo menor por quilograma em comparação com o E 8010-P1. Para uma cotação de 20 kg, o preço unitário do E 6010 da marca HYD foi de R\$ 22,00 para 20 kg, enquanto o da marca ESAB alcançou R\$ 45,95. Já o eletrodo E 8010-P1 apresentou um custo inicial de R\$ 69,60 para 20kg.

No entanto, tanto o E 6010 quanto o E 8010-P1 possuem redução progressiva de custo conforme o aumento do volume adquirido. Para um pedido de 200 kg, o preço do E 8010-P1 caiu para R\$ 44,33/kg, e para um pedido de 1 tonelada, o valor foi reduzido ainda mais para R\$ 29,38/kg, resultando em uma redução de 58%. O mesmo comportamento foi observado para o E 6010, que também teve redução de preço proporcional conforme o volume do pedido aumentava.

O E 6010, além de ser mais barato, também apresenta uma melhor soldabilidade para o passe de raiz, o que impacta diretamente na redução de custos com retrabalho. O retrabalho em soldagem pode ser uma das principais fontes de aumento de custos em projetos industriais, afetando diretamente a produtividade e os prazos de execução. Assim, ao optar pelo E 6010 na raiz, há uma economia que vai além do custo do consumível, pois evita gastos adicionais com mão de obra e desperdício de materiais.

Mesmo com descontos progressivos, a escolha entre os eletrodos deve considerar o impacto financeiro global e não apenas o custo por quilograma. O E 6010 se apresenta como uma opção mais econômica não apenas pelo menor custo por quilograma, mas também pela redução do retrabalho e otimização do tempo. O uso do E 6010 na raiz não apenas reduz o custo direto do consumível, mas também contribui para minimizar custos indiretos associados ao retrabalho e à perda de produtividade, evidenciando sua vantagem econômica global em processos de soldagem.

2.4.4 Schedules na Certificação de Consumíveis

A norma AWS A5.01 define diferentes Schedules que determinam os níveis de teste e certificação exigidos para consumíveis de soldagem. Esses Schedules são classificados de 1 a 6, cada um com requisitos específicos para testes e documentação, garantindo que os consumíveis sejam adequados para suas aplicações pretendidas e que atendam aos padrões de qualidade esperados. A seguir, cada Schedule detalhadamente na tabela 3:

Tabela 3 – Esquemático de Schedules de certificados de consumíveis.

Schedule	Descrição
Schedule 1 ou F	Nível mais básico de teste. O fabricante realiza testes padrão conforme suas práticas internas de controle de qualidade. Exemplo: declaração de conformidade com resumo das propriedades típicas do material.
Schedule 2 ou G	Resultados de testes de classificação realizados em qualquer produto fabricado nos 12 meses anteriores à data do pedido. Inclui todos os testes necessários para classificação conforme AWS ou ISO.
Schedule 3 ou H	Análise química específica do lote de consumíveis fornecido. Inclui elementos necessários para classificação conforme norma AWS ou ISO.
Schedule 4 ou I	Resultados de testes especificados da norma para o lote específico de consumíveis. Representa um consenso de testes solicitados para certificação, mas pode não incluir todos os testes do Schedule 5 ou J.
Schedule 5 ou J	Teste mais abrangente. Todos os testes exigidos para classificação na norma AWS, ISO ou outra norma aplicável devem ser fornecidos para o lote específico de consumíveis.
Schedule 6 ou K	Inclui testes adicionais exigidos pelo comprador além da norma aplicável. Exemplo: ensaios após tratamentos térmicos específicos, conforme requisitos definidos no pedido.

Fonte: Adaptado da AWS A5.01.

Esses Schedules são uma ferramenta fundamental para garantir que os consumíveis de soldagem atendam aos requisitos de desempenho esperados e sejam seguros para uso em aplicações industriais críticas. Eles fornecem uma base para a certificação de qualidade e asseguram que os materiais utilizados na soldagem sejam de alta qualidade e consistência. (A5.01, 2021)

2.5 Revisão Normativa para Construção de Gasodutos

A utilização de normas técnicas é uma prática comum em diversos setores industriais, incluindo a construção de gasodutos. Tipicamente, essas normas são de uso voluntário, ou seja, não são obrigatórias por lei. Portanto, é possível fornecer um produto ou serviço que não siga a norma aplicável no mercado determinado. Em muitos países, contudo, há obrigatoriedade de seguir essas normas em algumas áreas, como é o caso do Brasil, conforme estabelecido pelo Código de Defesa do Consumidor. No entanto, oferecer um produto que não segue a norma aplicável no mercado-alvo implica em esforços adicionais para sua introdução nesse mercado, incluindo a necessidade de demonstrar que o produto atende às necessidades do cliente e garantir que questões como a intercambialidade de componentes e insumos não representem um impedimento ou dificuldade adicional (ABNT, 2024).

No Brasil, a obrigatoriedade de observância de normas técnicas em contratos de obras públicas é regulamentada pela Lei nº 4.150, de 21 de novembro de 1962. Esta lei institui o regime obrigatório de preparo e observância das normas técnicas nos contratos de obras e compras do serviço público de execução direta, concedida, autárquica ou de economia mista, através da Associação Brasileira de Normas Técnicas. A lei determina que, em todas as obras e serviços executados, dirigidos ou fiscalizados por repartições federais ou órgãos paraestatais, bem como em todas as compras de materiais, será obrigatória a exigência e aplicação dos requisitos mínimos de qualidade, utilidade, resistência e segurança, usualmente chamados "normas técnicas", elaboradas pela ABNT (BRASIL, 1962).

Além da Lei nº 4.150, a Lei nº 14.133, de 1º de abril de 2021 - Licitações e Contratos Administrativos, reforça a importância da conformidade com normas técnicas. Esta lei estabelece que a prova de qualidade de um produto apresentado como similar ao especificado em edital de licitação pode ser feita por meio de comprovação de que o produto está de acordo com as normas técnicas determinadas pelos órgãos oficiais competentes, pela ABNT, ou por outra entidade credenciada pelo Inmetro (BRASIL, 2021).

Adicionalmente, a Lei nº 13.303, de 30 de junho de 2016, conhecida como Lei das Estatais, estabelece normas específicas para a aquisição de bens por empresas públicas e sociedades de economia mista. Esta lei permite que, nas licitações para aquisição de bens, sejam indicadas marcas ou modelos em determinadas condições, e que seja exigida a certificação da qualidade do produto ou do processo de fabricação por instituição previamente credenciada. O edital pode exigir que a proposta seja adequada às normas da ABNT ou certificada por uma instituição credenciada pelo Sistema Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Sinmetro) (BRASIL, 2016).

Em relação à construção de gasodutos, a ABNT possui duas normas principais: a NBR 12717, 2002 – Projeto de sistemas de transmissão e distribuição de gás combustível, que trata do projeto de sistemas de transmissão e distribuição de gás combustível, e a NBR 15280-2, que aborda os requisitos para construção e montagem de dutos terrestres.

No entanto, é importante destacar que não existe uma norma brasileira específica amplamente reconhecida para a especificação de critérios de soldagem em gasodutos. As normas mencionadas fornecem diretrizes gerais, mas não detalham critérios específicos para procedimentos de soldagem, como parâmetros de solda, tipos de consumíveis, técnicas aplicáveis ou requisitos de qualificação de soldadores. De fato, tanto a ABNT NBR 12717 quanto a NBR 15280-2 fazem referência a normas de associações internacionais, como as normas do American Petroleum Institute (API) e da American Society of Mechanical Engineers (ASME), para fornecer diretrizes técnicas detalhadas sobre soldagem. (ABNT NBR 12717: 2002) (NBR 15280-2:2016)

A norma ABNT NBR 15280-2, por exemplo, cita a norma ASME B31.8 - *Gas Transmission and Distribution Piping Systems*, que cobre sistemas de tubulação para transmissão e distribuição de gás, incluindo gasodutos, estações de compressão de gás, estações de medição e regulação de gás, e dutos de armazenamento de gás. Embora a ASME B31.8 seja uma norma de projeto que abrange uma gama de sistemas de tubulação de gás, ela inclui seções específicas sobre soldagem, como a qualificação de procedimentos de soldagem e soldadores. A ASME B31.8 refere-se à API 1104 e ao Código ASME IX para a qualificação de soldadores e procedimentos de soldagem, destacando a interdependência e o alinhamento entre normas internacionais e nacionais (ASME B 31.8, 2022)

Na revisão de 2022 da ASME B31.8, por exemplo, vemos definições de termos de soldagem que seguem os padrões estabelecidos pela American Welding Society (AWS) na AWS A3.0. Além disso, a norma especifica que os procedimentos de soldagem e soldadores para novos gasodutos e gasodutos em serviço devem ser qualificados de acordo com o Código ASME BPV, Seção IX - *BPVC Section IX-Welding, Brazing, and Fusing Qualifications*, ou a API Std 1104 - *Welding Pipelines and Related Facilities*, sendo esta última uma norma amplamente reconhecida para soldagem de dutos de petróleo e gás. Essa norma também menciona que, no caso de tubulação de estações de compressão, os soldadores qualificados sob a API Std 1104 devem atender aos requisitos de testes mecânicos destrutivos da norma, reforçando a rigidez e a especificidade dos requisitos de qualificação para estações de compressão.

Apesar de a ASME B31.8 permitir o uso do Código ASME IX para a qualificação de procedimentos de soldagem, a norma brasileira ABNT NBR 15280-2 prioriza a referência à API 1104, usando o Código ASME IX apenas em casos excepcionais, como para complementos de gasodutos ou outras circunstâncias específicas. Isso reflete uma preferência normativa da API. (ABNT NBR 15280-2, 2016).

A soldagem circunferencial torna-se de grande importância, sendo associada à confiabilidade da integridade dos dutos. Razão pela qual deve ser de alta qualidade e

atender a requisitos como o uso de materiais adequados, qualificação do soldador e inspeção rigorosa conforme especificações da norma API Std 1104 (CAVALHEIRO et al., 2007).

Ainda temos o Regulamento Técnico de Dutos Terrestres para Movimentação de Petróleo, Derivados e Gás Natural (RTDT), instituído pela ANP através da Resolução nº 2/2011, estabelece critérios essenciais e mínimos padrões de segurança operacional para dutos terrestres. Este regulamento é alinhado a normas brasileiras, como a ABNT NBR 12712 para projeto e a ABNT NBR 15280-2 para construção, e a normas internacionais, como a ASME B31.8, que rege sistemas de transmissão e distribuição de gás. Essa base normativa visa garantir a integridade estrutural e a segurança ambiental das operações, promovendo práticas eficientes e conformidade com regulamentações nacionais e internacionais (ANP, 2011).

Portanto, a aplicação de normas como a API 1104 e o Código ASME IX na soldagem de gasodutos no Brasil é essencial para garantir que os procedimentos atendam aos critérios globais de segurança e desempenho. As normas ABNT, na ausência de uma norma de soldagem brasileira, referenciar normas internacionais, alinham-se aos padrões estabelecidos globalmente, ainda que não tenham uma norma própria que cubra todos os aspectos necessários para a soldagem de gasodutos.

2.5.1 Hierarquias Normativas na Construção de Gasodutos

Na construção de gasodutos, as normas técnicas e regulamentações se organizam em uma hierarquia normativa que reflete o alcance geográfico, político e econômico de seu envolvimento. Esta hierarquia pode ser representada por uma pirâmide, que inclui, na base, a normalização empresarial, seguida pela normalização nacional e regional, e culminando na normalização internacional no topo.

- Normalização Empresarial: A base da pirâmide é composta por normas elaboradas por uma empresa ou grupo de empresas, como forma de padronizar processos internos, orientar compras, fabricação, vendas e outras

operações. Um exemplo de norma empresarial é a norma N-464 da Petrobras, que é pública e acessível através do canal do fornecedor da empresa. Esta norma é específica para o ramo de dutos e incluem diretrizes técnicas detalhadas que devem ser seguidas por fornecedores e contratados da Petrobras (ABNT, 2024).

- **Normalização Nacional:** Acima da normalização empresarial, encontram-se as normas nacionais. Estas são elaboradas pelas partes interessadas de um país específico (governo, indústrias, consumidores, e comunidade científica) e emitidas por um Organismo Nacional de Normalização, reconhecido como autoridade para torná-las públicas. As normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), como a ABNT NBR 12717 e ABNT NBR 15280-2, são exemplos de normas nacionais aplicáveis no Brasil, especialmente relevantes na construção de gasodutos. Essas normas são usadas para garantir a segurança e eficácia dos sistemas de transmissão e distribuição de gás. No entanto, no Brasil, não há uma norma específica para a soldagem de gasodutos, o que leva à necessidade de referenciar normas de associações internacionais, como a API e a ASME, para cobrir esses aspectos técnicos. A ABNT NBR 10663:2016 é uma norma técnica brasileira que especifica os requisitos para a qualificação de procedimentos de soldagem pelo processo com eletrodo revestido, utilizado na construção e montagem de óleos e gasodutos terrestres e marítimos. Publicada em 26 de janeiro de 2016 e confirmada em 10 de agosto de 2020, a norma serve como uma diretriz para padronizar processos de soldagem nesse setor. No entanto, na prática, a ABNT NBR 10663:2016 é pouco utilizada pelas empresas brasileiras como referência. Isso ocorre porque ela apresenta várias semelhanças com versões mais antigas da norma API 1104, extremamente reconhecida e consolidada no mercado internacional (ABNT, 2024).
- **Normalização Regional:** Esta categoria inclui normas técnicas estabelecidas por organizações regionais ou sub-regionais de normalização, aplicáveis a um conjunto de países em uma determinada região, como a Europa ou o Mercosul. As normas da Associação Mercosul de Normalização (AMN) são um exemplo,

sendo identificadas pela sigla NM. Embora a AMN seja considerada um fórum para a normalização voluntária do Mercosul, não é uma organização regional de normalização no sentido tradicional, pois seu escopo é limitado ao bloco econômico (ABNT, 2024).

- **Normalização Internacional:** No topo da pirâmide normativa estão as normas internacionais, que possuem abrangência global e são estabelecidas por organizações de normalização internacional. Essas normas são aceitas pela Organização Mundial do Comércio (OMC) como base para o comércio internacional e são aplicadas globalmente para garantir a interoperabilidade e a segurança dos produtos e serviços (ABNT, 2024).
- **Normas de Associações e Setoriais:** Entre os níveis empresarial e nacional, encontram-se as normas setoriais ou de associações, que são desenvolvidas por entidades de classe representativas de setores produtivos e válidas para o conjunto de empresas a elas associadas. Normas como a ASME B31.8, que cobre sistemas de tubulação para transmissão e distribuição de gás, e a API Std 1104, que trata da soldagem de dutos e instalações relacionadas, são exemplos de normas de associação. Estas normas são amplamente reconhecidas e frequentemente adotadas em vários países para atender a requisitos específicos da indústria, como os padrões de segurança e qualidade na soldagem de gasodutos (ABNT, 2024).

Hierarquia das Normas e as Leis Brasileiras: Em termos de hierarquia normativa, é crucial reconhecer que as leis nacionais de um país, como o Brasil, estão acima de todas essas normas. A Constituição Federal de 1988, que estabelece o Brasil como um Estado soberano, é a lei suprema do ordenamento jurídico brasileiro, seguida por leis complementares, leis ordinárias, medidas provisórias, decretos legislativos e resoluções, que formam a base jurídica para todas as normas técnicas e regulamentações no país. As leis brasileiras, como a Lei nº 4.150 de 1962, a Lei nº 14.133 de 2021, e a Lei nº 13.874 de 2019, estabelecem a necessidade de conformidade com normas técnicas nacionais, como as da ABNT, em contratos públicos e outros contextos legais.

Portanto, na construção de gasodutos, as normas internacionais como a API Std 1104 e a ASME B31.8 são utilizadas para suplementar as normas nacionais da ABNT, especialmente na ausência de normas nacionais específicas para soldagem. Essa abordagem garante que os procedimentos de soldagem e construção atendam aos padrões globais de segurança e desempenho, conforme exigido pelas leis brasileiras que regem a utilização de normas técnicas no país.

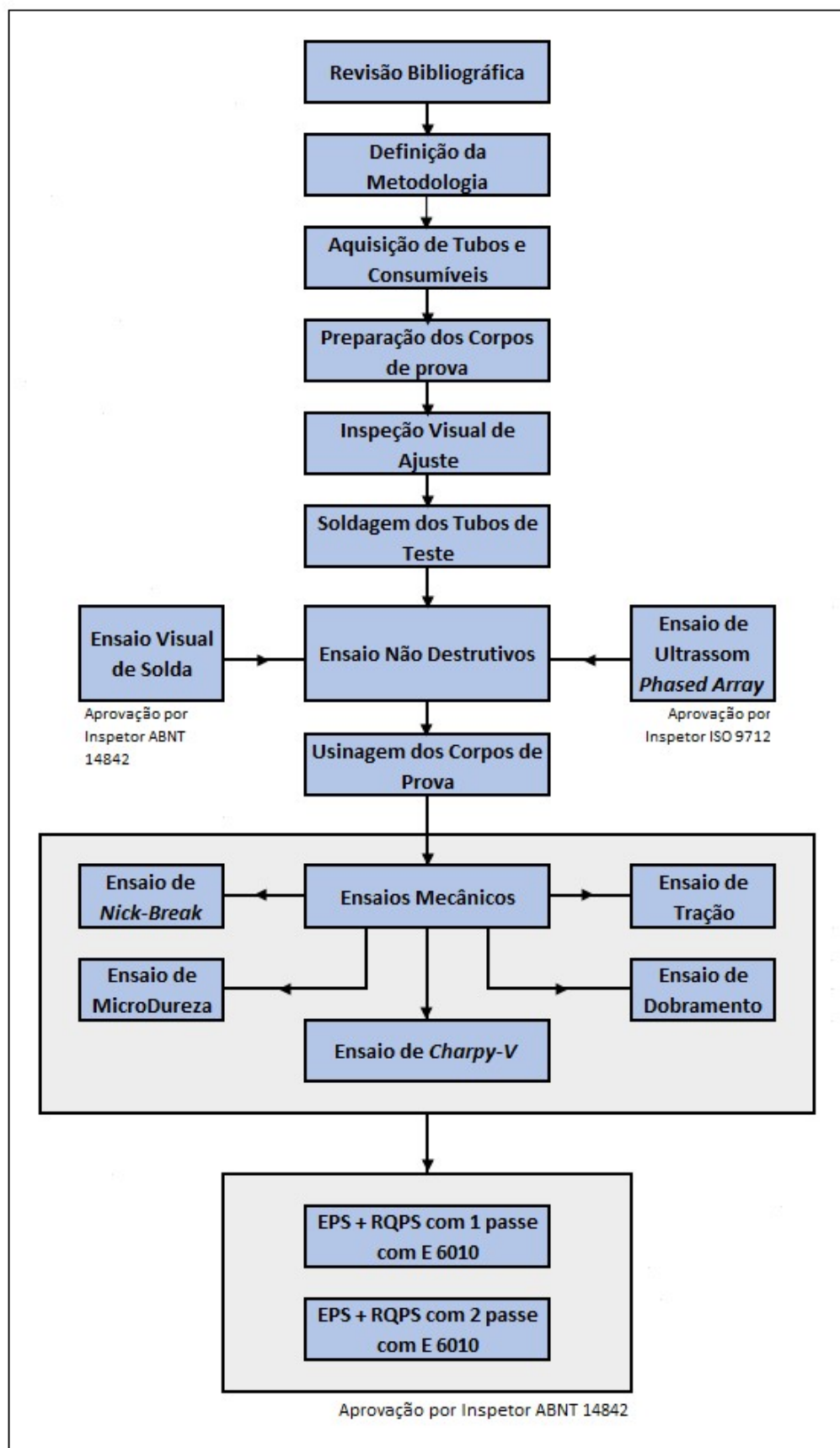
3 METODOLOGIA

Este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar o comportamento mecânico da soldagem em tubos de aço API X65 em duas condições distintas de soldagem, com foco em verificar a possibilidade de realização da soldagem seguindo essa sistemática. A metodologia abrangeu desde a análise inicial dos materiais, confecção dos corpos de prova soldados até a execução dos ensaios não destrutivos e mecânicos, assegurando a precisão dos resultados e a adequação dos consumíveis e procedimentos. As condições de soldagem aplicadas foram: (1) com um passe de raiz utilizando o eletrodo E 6010 e (2) com dois passes, sendo um passe de raiz e um segundo passe com o mesmo eletrodo E 6010, como reforço da raiz.

A condução desta pesquisa seguiu um fluxo estruturado para garantir a execução adequada das atividades experimentais, desde a revisão bibliográfica até a realização dos ensaios mecânicos e a qualificação dos procedimentos de soldagem. A Figura 3 apresenta o fluxograma metodológico adotado, destacando as etapas sequenciais que permitiram a avaliação do desempenho da soldagem em tubos API X65.

Além da análise dos resultados experimentais, a pesquisa também gerou como produto técnico a Especificação de Procedimento de Soldagem (EPS) e o Registro de Qualificação de Procedimento de Soldagem (RQPS) para a Construtora Elevação, garantindo a viabilidade da aplicação desse procedimento na prática industrial.

Figura 03 – Esquema do fluxo metodológico.



Fonte: Autor próprio.

3.1 Análise dos Relatórios dos Tubos API X65

No presente estudo, os tubos utilizados nos ensaios de soldagem foram fornecidos em três lotes distintos de fabricação, todos produzidos pela mesma empresa, TENARIS. A escolha por múltiplos lotes dentro de um único fabricante possibilitou observar eventuais variações nas propriedades mecânicas específicas de cada lote, ao mesmo tempo em que se manteve uma base de homogeneidade quanto ao processo de fabricação.

Para os tubos de 10 polegadas, os dados dos testes de qualidade realizados durante a fabricação estão registrados no certificado número 840/2020, o qual documenta as propriedades mecânicas e especificações técnicas requeridas para a categoria PSL 2. Em relação aos tubos de 16 polegadas, dois lotes diferentes foram incluídos na metodologia: os tubos destinados à soldagem na Bahia encontram-se registrados sob o certificado número 269/2024, enquanto aqueles utilizados nos ensaios em Minas Gerais possuem o certificado número 266/2024.

Ao utilizar tubos de diferentes lotes, mas de um mesmo fabricante, buscou-se uma avaliação das propriedades mecânicas reais dos materiais aplicados no estudo, em conformidade com as exigências da norma API 5L. Essa abordagem adiciona robustez aos dados obtidos, oferecendo uma visão mais detalhada sobre a resistência e a adequação dos tubos API X65 PSL 2 ao processo de soldagem, além de fornecer informações valiosas para futuras aplicações no setor de dutos.

3.2 Análise dos Relatórios dos Eletrodos E 6010 e E 8010 P1.

A análise dos eletrodos utilizados no processo de soldagem seguiu conforme especificações da norma ASME BPVC.II.C, Ed. 2023, que determina os critérios de classificação para eletrodos de soldagem por arco elétrico com eletrodo revestido. Todos os certificados dos consumíveis usados, incluindo os eletrodos E 6010 e E 8010-P1, foram desenvolvidos para garantir a conformidade com os requisitos normativos e as especificações técnicas do projeto. O eletrodo E 6010 está classificado sob a disposição SFA 5.1, que estabelece os requisitos para eletrodos de

aço carbono destinados a soldagens de alta qualidade em aços carbono. O lote VTX26E7000, com diâmetro de 3,25 mm, foi utilizado tanto no passe de raiz quanto no passe de reforço das soldas realizadas em Minas Gerais.

A escolha do diâmetro de 3,25 mm para o passe de raiz foi feita, considerando a configuração das juntas soldadas nos tubos de 10" e 16", cuja abertura de raiz varia de 2,5 mm a 4,5 mm. Entre os diâmetros comerciais disponíveis, optou-se pelo de 3,25 mm porque o diâmetro de 2,5 mm seria insuficiente para preencher a abertura da junta, enquanto o de 4,0 mm poderia dificultar a execução, prejudicando o alcance completo à raiz e a obtenção de uma cobertura total sem falhas. Essa escolha técnica visa minimizar riscos como falta de fusão e falta de penetração, garantindo a integridade da solda e proporcionando uma base sólida para os passes subsequentes. Assim, fica evidente que o diâmetro de 3,25 mm não foi escolhido por conveniência ou disponibilidade, mas sim para atender às necessidades específicas da geometria e das condições do processo.

Assim como ocorreu com os tubos, a escolha dos eletrodos usados neste estudo foi influenciada pela disponibilidade dos materiais. Apesar disso, os eletrodos selecionados enriqueceram o trabalho devido ao processo de soldagem com eletrodo revestido ser amplamente utilizados em aplicações industriais e além disso, o eletrodo E 6010, em particular, atendeu diretamente à motivação do estudo, permitindo a análise detalhada do desempenho em condições específicas de soldagem, alinhadas com os objetivos propostos.

Já o eletrodo E 8010-P1, classificado conforme a especificação SFA 5.5, é indicado para soldagem de aços de baixa liga. Esse eletrodo foi utilizado nos passes de enchimento e acabamento, sendo caracterizado pelo diâmetro de 4,00 mm e o lote VTX32E7558. A especificação SFA 5.5 abrange eletrodos de baixa liga em que nenhum elemento de liga individual ultrapassa 10,5%, adequando-se bem às exigências de resistência e ductilidade requeridas para aplicações de soldagem em estruturas sujeitas a condições mais severas.

Em ambos os locais de ensaio, tanto em Minas Gerais quanto na Bahia, o eletrodo E 8010-P1 com o lote VTX32E7558 foi empregado nos passes de enchimento e acabamento, enquanto na Bahia o E 6010 utilizado foi identificado pelo lote VTY03E9499. Esses consumíveis, conforme as normas pertinentes, asseguram que o processo de soldagem esteja alinhado com os requisitos técnicos e mecânicos específicos, permitindo que as propriedades mecânicas da solda final atendam às especificações de segurança e eficiência.

3.3 Execução da Soldagem dos Corpos de Prova

A soldagem dos corpos de prova seguiu uma sequência cronológica e procedimentos específicos. Em março de 2024, foram realizados ensaios em Minas Gerais, dois corpos de prova de tubos de aço API X65, com diâmetro de 16 polegadas e espessura nominal de 7,1 mm (0,280 polegadas), foram soldados utilizando o processo ER e os corpos de prova foram denominados ELEV-010 e ELEV-014.

No corpo de prova ELEV-010, foi utilizado um único passe de E 6010 para o passe de raiz. A escolha do eletrodo E 6010 com diâmetro de 3,25 mm para o passe de raiz. No corpo de prova ELEV-014, foram realizados dois passes com o E 6010 (um passe de raiz e um passe de reforço). A soldagem realizada em Minas Gerais é ilustrada na Figura 4.

Figura 4: Soldagem realizada em Minas Gerais nos corpos de prova ELEV-010 e ELEV-014.



Fonte: Autor próprio.

Os Parâmetros de Soldagem para os Corpos de Prova ELEV-010 e ELEV-014 em Minas Gerais, para cada passe desses corpos de prova estão detalhados na Tabela 4.

Tabela 4: Parâmetros de Soldagem para os Corpos de Prova ELEV-010 e ELEV-014.

Corpo de Prova	Passe	Processo	AWS	Diâmetro do Eletrodo (mm)	Corrente / Polaridade	Corrente (A)	Tensão (V)
ELEV-010	1º	ER	E 6010	3,25	CC -	79 a 100	26 a 33
ELEV-010	2º	ER	E 8010 P1	4,00	CC +	96 a 140	28 a 33
ELEV-010	3º	ER	E 8010 P1	4,00	CC +	97 a 132	22 a 34
ELEV-010	4º	ER	E 8010 P1	4,00	CC +	97 a 132	22 a 34
ELEV-010	5º	ER	E 8010 P1	4,00	CC +	101 a 130	23 a 31
ELEV-014	1º	ER	E 6010	3,25	CC -	97 a 115	26 a 36
ELEV-014	2º	ER	E 6010	3,25	CC -	98 a 112	27 a 37
ELEV-014	3º	ER	E 8010 P1	4,00	CC +	118 a 134	26 a 35
ELEV-014	4º	ER	E 8010 P1	4,00	CC +	118 a 134	26 a 35
ELEV-014	5º	ER	E 8010 P1	4,00	CC +	112 a 122	26 a 34

Fonte: Autor próprio.

Na utilização de arco elétrico com eletrodo revestido (SMAW), a polaridade da corrente elétrica exerce um papel crucial, afetando diretamente a penetração, a taxa de deposição e a estabilidade do arco. Na polaridade direta (CC-), o eletrodo é conectado ao polo negativo e a peça ao polo positivo. Nesta configuração, há maior concentração de calor no eletrodo, o que resulta em uma maior taxa de deposição e menor penetração na base metálica (MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, 2009). A polaridade direta é amplamente utilizada no passe de raiz em soldagens de dutos, pois a penetração controlada ajuda a evitar defeitos como a queima excessiva da raiz e falta de fusão, garantindo uma base sólida e uniforme para os passes subsequentes.

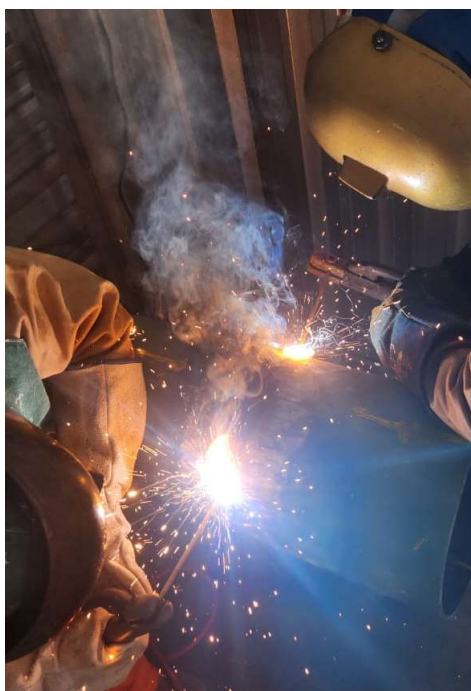
Por outro lado, na polaridade reversa (CC+), o eletrodo é conectado ao polo positivo e a peça ao polo negativo. Nessa configuração, há maior concentração de calor na peça, proporcionando maior aquecimento no metal de base, mas uma menor taxa de deposição (MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, 2009). Esta configuração é

ideal para os passes de enchimento e acabamento em soldagens de dutos, pois garante a fusão adequada das camadas adicionais e a integridade estrutural da junta soldada. A seleção entre CC- e CC+ é estratégica, considerando o equilíbrio necessário entre deposição, abrangência e os requisitos específicos do projeto.

Além disso, a progressão na mudança em posição vertical pode ser realizada de forma ascendente ou descendente, dependendo das características do material e da aplicação. A progressão vertical ascendente, onde o soldador começa na parte inferior da junta e progride para cima, é indicada para materiais mais espessos, pois permite maior controle do banho de fusão e melhor penetração (MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, 2009). Já a progressão descendente, que inicia no topo da junta e se move para baixo, é mais rápida e adequada para materiais mais finos, onde não é necessária uma alta penetração. No entanto, a progressão descendente exige maior habilidade do soldado para evitar erros como falta de fusão e respingos.

Adicionalmente, foram realizados seis corpos de prova na Bahia, denominados LB-01 a LB-06. A soldagem realizada na Bahia é ilustrada na Figura 5.

Figura 5: Soldagem realizada na Bahia nos corpos de prova LB-01 a LB-06.



Fonte: Autor próprio.

Os corpos de prova LB-01 a LB-04 foram de tubos com diâmetro de 10 polegadas e espessura nominal de 5,2 mm (0,203 polegadas), enquanto os corpos de prova LB-05 e LB-06 foram de tubos com diâmetro de 16 polegadas e espessura nominal de 7,3 mm (0,287 polegadas).

Os parâmetros de soldagem para os corpos de prova de 10 polegadas (LB-01 a LB-04) estão especificados na Tabela 5, enquanto os parâmetros para os corpos de prova de 16 polegadas (LB-05 e LB-06) estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 5: Parâmetros de Soldagem para os Corpos de Prova LB-01 a LB-04 (Tubos de 10 polegadas) na Bahia.

Corpo de Prova	Passe	Processo	AWS	Diâmetro do Eletrodo (mm)	Corrente / Polaridade	Corrente (A)	Tensão (V)
LB-01	1º	ER	E 6010	3,25	CC -	97 a 115	26 a 36
LB-01	2º	ER	E 6010	3,25	CC -	98 a 112	27 a 37
LB-01	3º	ER	E 8010 P1	4,00	CC +	118 a 134	26 a 35
LB-01	4º	ER	E 8010 P1	4,00	CC +	118 a 134	26 a 35
LB-01	5º	ER	E 8010 P1	4,00	CC +	112 a 122	26 a 34
LB-02	1º	ER	E 6010	3,25	CC -	79 a 100	26 a 33
LB-02	2º	ER	E 8010 P1	4,00	CC +	96 a 140	28 a 33
LB-02	3º	ER	E 8010 P1	4,00	CC +	97 a 132	22 a 34
LB-02	4º	ER	E 8010 P1	4,00	CC +	97 a 132	22 a 34
LB-03	1º	ER	E 6010	3,25	CC -	79 a 100	26 a 33
LB-03	2º	ER	E 8010 P1	4,00	CC +	96 a 140	28 a 33
LB-03	3º	ER	E 8010 P1	4,00	CC +	97 a 132	22 a 34
LB-03	4º	ER	E 8010 P1	4,00	CC +	97 a 132	22 a 34
LB-04	1º	ER	E 6010	3,25	CC -	97 a 115	26 a 36
LB-04	2º	ER	E 6010	3,25	CC -	98 a 112	27 a 37
LB-04	3º	ER	E 8010 P1	4,00	CC +	118 a 134	26 a 35
LB-04	4º	ER	E 8010 P1	4,00	CC +	118 a 134	26 a 35
LB-04	5º	ER	E 8010 P1	4,00	CC +	112 a 122	26 a 34

Fonte: Autor próprio.

Essas tabelas (Tabelas 3, 4 e 5) detalham os parâmetros de soldagem para cada corpo de prova, destacando as especificidades dos ensaios realizados tanto em Minas Gerais quanto na Bahia. A utilização de duas passagens de E 6010 nos corpos de prova ELEV-014, LB-05 e LB-06 teve como objetivo aumentar a espessura do metal

depositado com o consumível E 6010 na região da raiz. Quando realizado apenas um passe, a quantidade de material do E 6010 presente na raiz é mínima, não contribuindo significativamente para a composição estrutural dessa região. Por outro lado, com a aplicação de uma segunda passagem, é depositada uma espessura adicional de metal, que permanece na junta mesmo após uma diluição subsequente com as passagens de enchimento e acabamento realizado com o eletrodo E 8010-P1. Esse procedimento permite uma leve presença do E 6010 na composição final da raiz, sem comprometer a integridade mecânica da junta, atendendo às exigências do processo de soldagem.

Tabela 6: Parâmetros de Soldagem para os Corpos de Prova LB-05 e LB-06 (Tubos de 16 polegadas) na Bahia.

Corpo de Prova	Passe	Processo	AWS	Diâmetro do Eletrodo (mm)	Corrente / Polaridade	Corrente (A)	Tensão (V)
LB-05	1º	ER	E 6010	3,25	CC -	97 a 115	26 a 36
LB-05	2º	ER	E 6010	3,25	CC -	98 a 112	27 a 37
LB-05	3º	ER	E 8010 P1	4,00	CC +	118 a 134	26 a 35
LB-05	4º	ER	E 8010 P1	4,00	CC +	118 a 134	26 a 35
LB-05	5º	ER	E 8010 P1	4,00	CC +	112 a 122	26 a 34
LB-06	1º	ER	E 6010	3,25	CC -	97 a 115	26 a 36
LB-06	2º	ER	E 8010 P1	4,00	CC +	118 a 134	26 a 35
LB-06	3º	ER	E 8010 P1	4,00	CC +	118 a 134	26 a 35
LB-06	4º	ER	E 8010 P1	4,00	CC +	118 a 134	26 a 35
LB-06	5º	ER	E 8010 P1	4,00	CC +	112 a 122	26 a 34

Fonte: Autor próprio.

Para facilitar a compreensão das especificações dos corpos de prova utilizados, a Tabela 7 mostra um resumo dos parâmetros dos corpos de prova soldados em Minas Gerais e Bahia com um panorama simplificado dos principais parâmetros. Foram utilizados oito corpos de prova no total, sendo quatro de 16 polegadas e quatro de 10 polegadas. Destes, quatro foram soldados na condição de um único passe com o eletrodo E 6010, enquanto os outros quatro receberam dois passes com o mesmo eletrodo. Nessa tabela, são detalhados o diâmetro e a espessura nominais dos tubos, a quantidade de passes realizados com o E 6010 em cada corpo de prova, e o local

onde os testes foram conduzidos, fornecendo uma visão geral que permite rápida comparação entre as variáveis de soldagem e o ambiente de teste.

Tabela 7: Resumo dos Parâmetros dos Corpos de Prova Soldados em Minas Gerais e Bahia.

Qt de Passes com E 6010	Corpo de Prova	Diâmetro Nominal (pol)	Espessura Nominal (mm)	Local do Teste
1	LB-02	10	5,2	BA
1	LB-03	10	5,2	BA
1	LB-06	16	7,3	BA
1	ELEV-010	16	7,1	MG
2	LB-01	10	5,2	BA
2	LB-04	10	5,2	BA
2	LB-05	16	7,3	BA
2	ELEV-014	16	7,1	MG

Fonte: Autor próprio.

3.4 Ensaios Não Destrutivos.

Após a conclusão das soldagens, foi realizada uma inspeção visual das soldas acabadas com o objetivo de identificar possíveis descontinuidades que pudessem comprometer os testes subsequentes e inviabilizar o andamento do trabalho. Caso soldas apresentassem falhas visuais não, não seriam encaminhadas para a etapa de ensaios mecânicos. Esse procedimento foi adotado por duas razões principais. A primeira razão está relacionada a questões econômicas, já que realizar ensaios mecânicos em soldas que já apresentavam irregularidades visuais seria um desperdício de recursos. Isso ocorre devido ao alto risco de reprovação em virtude de problemas, muitas vezes associados à falta de habilidade. Além disso, a inspeção visual funciona como um filtro inicial, permitindo identificar e corrigir possíveis problemas antes de avançar para etapas mais personalizadas, garantindo que apenas soldas com qualidade adequada sejam submetidas às avaliações mecânicas. Essa abordagem contribuiu para a eficiência do processo e para a confiabilidade dos resultados obtidos nos ensaios; e, em segundo lugar, para garantir a integridade do

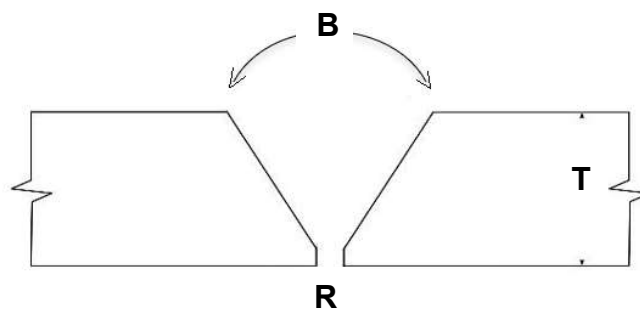
processo de qualificação, assegurando que apenas soldas com qualidade superficial aceitável fossem submetidas a avaliações mais aprofundadas.

Além da inspeção visual, foi conduzida uma inspeção adicional utilizando ultrassom, com o propósito de detectar descontinuidades internas e volumétricas. Esse exame ultrassônico permitiu identificar possíveis falhas internas que não seriam visíveis externamente, complementando a inspeção visual e garantindo a adequação dos corpos de prova para os ensaios mecânicos subsequentes. Como um dos objetivos centrais deste trabalho é viabilizar a emissão de uma EPS fundamentada nos resultados obtidos, algumas condições específicas foram atendidas para assegurar a conformidade com as normas relevantes. A inspeção visual foi conduzida com o intuito de atender aos requisitos estabelecidos pela norma API 1104, assegurando que a qualidade superficial das soldas correspondesse aos padrões aceitos para dutos. Complementando essa avaliação, o ensaio de ultrassom foi realizado para atender aos requisitos específicos de clientes, como a Petrobras, conforme descrito na norma pública N 464, que estabelece como ensaio que compõe requisitos mínimo para qualificação de procedimento.

3.4.1 Ensaio Visual de Soldagem

Antes do início do processo de soldagem, foi realizada uma inspeção visual preliminar da junta a ser soldada, conforme representado na Figura 6. Essa etapa teve como objetivo verificar as condições e configurações da junta, incluindo a abertura de raiz, indicada por **R**, que poderia variar entre 2,5 mm e 4,0 mm. Além disso, foram conferidas a espessura dos tubos, indicada por **T**, que poderia ser de 5,2 mm, 7,1 mm ou 7,3 mm, e o ângulo de bisel, representado por **B**, com variação de 35° a 40°. Essas verificações foram essenciais para garantir que as condições estivessem dentro das especificações exigidas antes da execução da soldagem.

Figura 6: Representação esquemática da configuração da junta soldada.



Fonte: Autor próprio.

A inspeção visual após a soldagem atendeu ao critério de aceitação da norma API 1104, que em relação às mordeduras, define que essa descontinuidade depende da profundidade e extensão em relação à espessura da parede do tubo. No contexto dos corpos de prova utilizados neste estudo, com espessuras de aproximadamente 5,2 mm; 7,1 mm e 7,3 mm, esse critério se traduz em tolerâncias extremamente pequenas, frequentemente inferiores a 1 mm. Para que medições precisas fossem realizadas, seria necessário o uso de instrumentos com precisão mínima de 0,01 mm, o que poderia introduzir variabilidade e complexidade adicionais ao processo de qualificação. Diante disso, decidiu-se adotar uma abordagem mais restritiva do que a especificada na norma, não tolerando a presença de qualquer mordedura, independentemente de sua profundidade ou comprimento. Esse critério mais rigoroso garante que apenas soldas com integridade superficial e estrutural ideal avancem para os ensaios mecânicos, reforçando a confiabilidade dos resultados e assegurando que as juntas soldadas atendam aos mais altos padrões de qualidade estrutural.

3.4.2 Ensaio de Ultrassom *Phased Array*

Para assegurar a qualidade e integridade das soldas realizadas nos tubos de aço API X65, foram adotadas técnicas avançadas de ensaios não destrutivos volumétrico, ultrassom *Phased Array*, atendendo aos requisitos da norma ASME Section V - *Nondestructive Examination*, configuradas especificamente para inspecionar regiões críticas das soldas, como a zona térmica afetada, áreas de raiz, enchimento e acabamento. A escolha desse método permite uma análise detalhada, capaz de

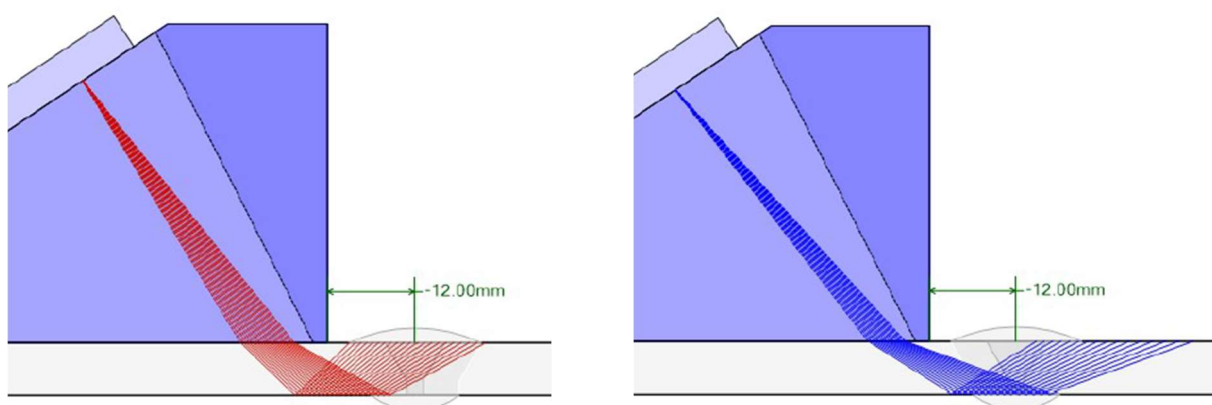
identificar descontinuidades lineares e volumétricas, essenciais para garantir que todo o volume da junta soldada estejam em conformidade com os rigorosos requisitos estruturais e de integridade exigidos para dutos de transporte e distribuição de gás.

A inspeção foi realizada utilizando o equipamento *OmniScan MX1*, número de série 100188, equipado com cabeçotes e sapatas *Phased Array* (modelos cabeçote 5L64-A2-IHC e sapata SA2N55S-5L64). O ensaio foi conduzido com um sistema de leitura automatizada, com scanner de avanço manual, com o apoio do software *TomoView*, configurado para operar com uma velocidade sônica de 3240 m/s (velocidade do aço carbono), assegurando precisão nas leituras e confiabilidade nos resultados através de um sistema de comparação em um bloco de referência com entalhes com dimensões conhecidas simulando indicações, para cobrir espessuras idênticas às dos tubos inspecionados, que variaram entre 5,2 mm, 7,1 mm e 7,3 mm. O critério de aceitação utilizado, foi adequado para o tipo de equipamento utilizado (tubulação pressurizada) e a espessura da peça inspecionada.

Para os tubos de 16 polegadas com espessura de 7,28 mm, foram configuradas duas leis focais setoriais: o primeiro feixe foi ajustado para operar em um ângulo de 58° a 70° com incremento de 0,8° direcionado para análise da região oposta do equipamento (Raiz, enchimento e zona térmica afetada), e o segundo feixe cobriu o intervalo de 46° a 61° direcionado para análise da região adjacente do equipamento (Acabamento, enchimento e zona térmica afetada) com incremento de 0,75°. Essa configuração configurada através do software específico para realização de plano de inspeção o Beamtool, este plano de inspeção é pensado para maximizar a penetração nas áreas de raiz, enchimento, acabamento e zona térmica afetada, assegurando uma cobertura abrangente de todo o volume da solda. A Figura 7 ilustra a configuração do feixe setorial em tubos de 16 polegadas com espessura de 7,28 mm, destacando a trajetória do feixe sônico gerado pelos cabeçotes de múltiplos cristais do ultrassom *Phased Array*. Essa técnica permite a varredura de diferentes ângulos em um único disparo, garantindo a cobertura completa das regiões de interesse, incluindo a raiz, o corpo da solda e a Zona Termicamente Afetada (ZTA). Na figura, os feixes representaram as linhas vermelhas e azuis, incluindo os ângulos estratégicos configurados para funcionar de maneira eficaz em toda a espessura do material. É

importante observar que a distância de 12,00 mm entre o cabeçote e a margem de solda foi rigorosamente respeitada para garantir a precisão da inspeção. Essa distância é essencial para centralizar o feixe na área de interesse, otimizando a penetração e a reflexão do som e garantindo que as descontinuidades sejam bloqueadas com maior confiabilidade. O ajuste da posição do cabeçote é especialmente relevante para evitar zonas mortas e garantir que o feixe cubra de forma consistente todas as regiões da venda. Dessa forma, a configuração demonstrada na Figura 7 garante um mapeamento preciso e confiável, contribuindo para a detecção de possíveis falhas e para a avaliação da integridade estrutural do material.

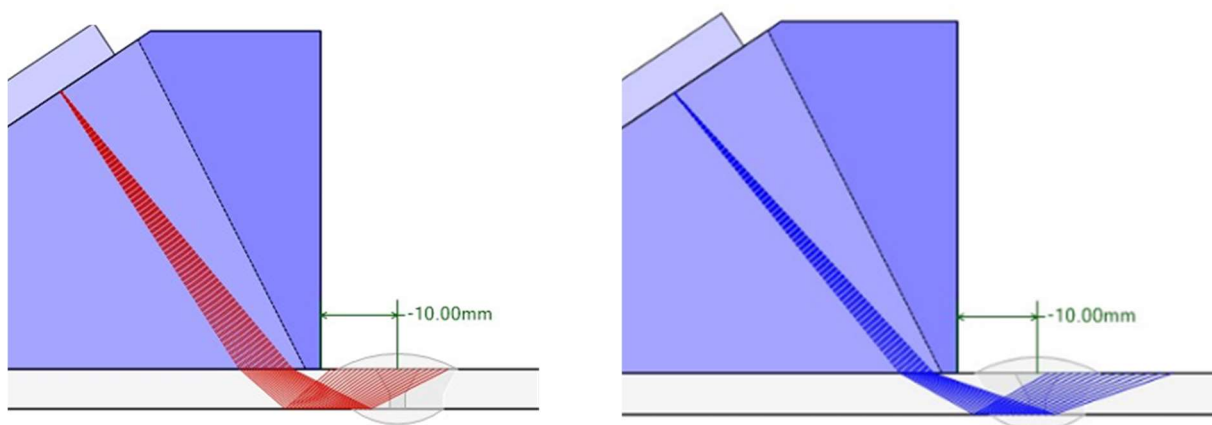
Figura 7: Esquema de Lei focal para 7,3 e 7,1 mm de espessura (16").



Fonte: Adaptado do software *TomoView*.

Para os tubos de 10 polegadas, com espessura de 5,2 mm, a configuração de feixe foi adaptada para a menor espessura. O primeiro feixe abrangeu o intervalo de 61° a 71° com incremento de 0,77°, enquanto o segundo cobriu de 49° a 63° com incremento de 0,7°. Essa adaptação assegura que a inspeção se concentre nas áreas críticas da solda, preservando a precisão na detecção de descontinuidades. Já a Figura 8, mostra a configuração setorial para tubos de 10 polegadas com Espessura de 5,2 mm representa graficamente essa configuração, evidenciando a orientação dos feixes para uma inspeção completa.

Figura 8: Esquema de Lei focal para 5,2 mm de espessura (10").



Fonte: Adaptado do software *TomoView*.

Os critérios de aceitação foram estabelecidos com base na norma API 1104 e adaptados às espessuras nominais dos tubos avaliados, proporcionando uma análise detalhada e precisa das descontinuidades relevantes. Foram classificadas indicações lineares, transversais e volumétricas. No caso de indicações transversais tais como trincas não devem ser permitidas independentemente do seu comprimento ou altura. Para a análise de descontinuidades verticais não poderiam exceder um quarto da espessura da parede, independentemente do tipo de defeito, o que resulta em um limite de aproximadamente 1,83 mm para os tubos de 7,3 mm e de cerca de 1,3 mm para os tubos de 5,2 mm. Para as indicações lineares, que correspondem a imperfeições como falta de fusão e penetração incompleta, deposição insuficiente, inclusão de escoria alongada, foi determinado que as dimensões horizontais na região superficial interna ou externa das indicações não poderiam exceder 25mm dentro de um espaço de 300mm de comprimento. Para indicações lineares internas a superfícies com imperfeições semelhantes a lineares superficiais, não poderia exceder 50mm dentro de um espaço de 300mm de comprimento da junta inspecionada. Para manter uma integridade de toda a junta soldada, não foi permitido indicações de qualquer formato um acúmulo maior que 8% do comprimento total inspecionado.

As indicações volumétricas, que incluem imperfeições como porosidades e inclusões, foram controladas com um limite de 3 mm para indicações individuais e de 13 mm para clusters volumétricos. Nas regiões de raiz da solda, descontinuidades abertas na

superfície interna foram limitadas a 6 mm ou à espessura nominal da parede, prevalecendo o menor valor. A soma das indicações na raiz, em qualquer trecho contínuo de 300 mm, não poderia ultrapassar 13 mm.

Todos os ensaios de ultrassom foram realizados por um inspetor certificado pela ABENDI no nível US-N2-PA, com especialização em *Phased Array*. Essa certificação atende aos requisitos internacionais de creditação para ensaios não destrutivo ISO 9712, cobrindo toda a circunferência da solda e registrando permanentemente os dados obtidos, criando um histórico completo de cada junta soldada para análises futuras, caso necessário.

A metodologia adotada, com configurações precisas de feixe e critérios de aceitação rigorosamente adaptados às especificações dos tubos, assegura que apenas soldas de alta integridade estrutural avancem para as próximas etapas dos ensaios mecânicos. A aplicação desses procedimentos, junto com o uso de equipamentos calibrados e certificados, reforça a confiabilidade dos resultados obtidos e confirma a adequação dos processos de soldagem aos padrões de qualidade exigidos para dutos de transporte e distribuição de gás.

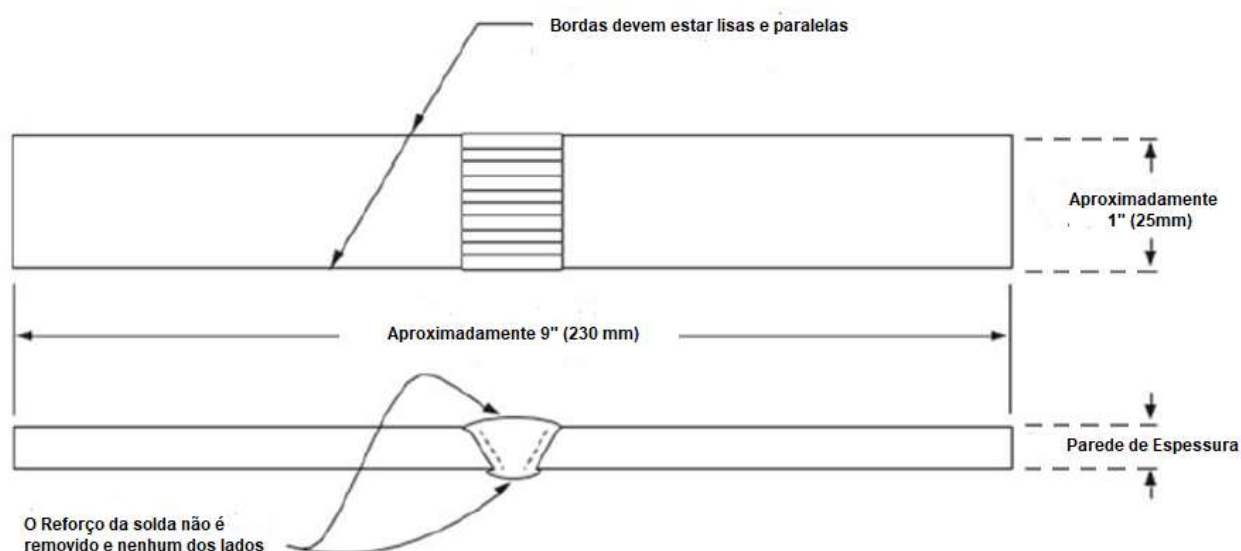
3.5 Ensaios Mecânicos

Neste estudo, foram conduzidos diversos ensaios mecânicos com o objetivo de avaliar a integridade e a qualidade das soldas aplicadas em tubos de aço API X65. Os ensaios foram realizados em três laboratórios distintos, dois localizados em Minas Gerais e um na Bahia. Entre os ensaios realizados, destaca-se o ensaio de tração, que determinou a resistência máxima das soldas; o ensaio de dobramento, que avaliou a ductilidade e a ausência de descontinuidades; o ensaio de *nick break*, que investigou a coesão interna da solda; o ensaio de dureza, que mede a resistência à deformação permanente; o ensaio de impacto *Charpy-V*, que avaliou a tenacidade das soldas sob condições de impacto; e a análise macroscópica que auxilia nos outros ensaios.

3.5.1 Ensaio de Tração

Os ensaios de tração realizados neste estudo foram desenvolvidos para avaliar a resistência mecânica das soldas em tubos de aço API X65, com base nos requisitos estabelecidos pela norma API 1104. Esta norma especifica que, para tubos com diâmetro nominal entre 4.500" e 12.750" (114,3 mm e 323,9 mm), deverão ser retiradas duas amostras para o ensaio de tração. Já para tubos com diâmetro superior a 12.750 mm (323,9 mm), é necessário que sejam retiradas quatro amostras. A Figura 9 ilustra o corpo de prova de seção completa para ensaio de resistência à tração, que apresenta cerca de 230 mm (9 polegadas) de comprimento e 25 mm (1 polegada) de largura nas extremidades. A espessura do corpo de prova é equivalente à parede do tubo.

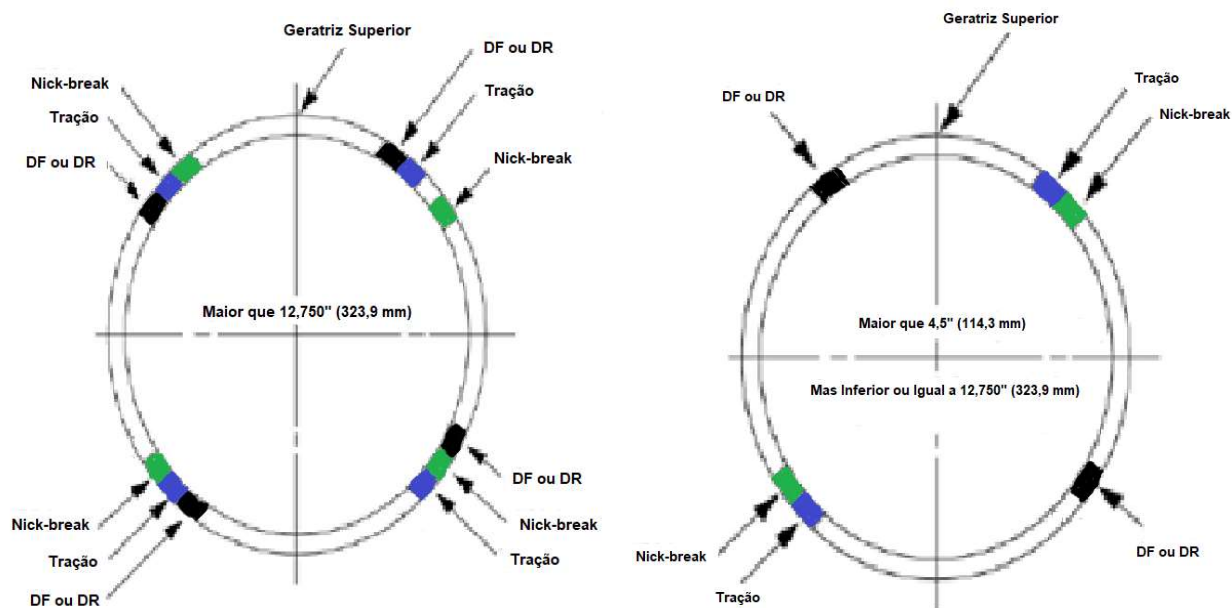
Figura 9: Corpo de Prova de Seção Completa para Ensaio de Resistência à Tração.



Fonte: Adaptado da API 1104.

A retirada das amostras foi realizada de forma a garantir a fidelidade aos padrões normativos. A figura 10 mostra a disposição das amostras, garantindo que os ensaios determinassem as propriedades mecânicas do material em diferentes pontos do tubo.

Figura 10: Posição de Retirada dos Corpos de Prova de Tração no Tubo.



Fonte: Adaptado da API 1104.

Os ensaios realizados em Minas Gerais utilizaram uma Máquina Universal de Ensaios Hidráulica da marca EMIC. Este equipamento, calibrado de acordo com a ABNT NBR ISO/IEC 17025, foi certificado com os números de detecção 1246961 e 1246962 pelo Laboratório Isaac Newton do Centro Tecnológico de Minas Gerais (CETEC), acreditado pela RBC-CAL-0045. A máquina EMIC, da figura 11 a) mostra a máquina usada não apenas em ensaios de tração, mas também em ensaios de dobramento. Os dados dos ensaios foram registrados no relatório número 264289.

Figura 11: a) Máquina de Tração EMIC; b) Máquina de Tração Tinius Olsen.



a)



b)

Fonte: Autor próprio.

A Figura 12, ilustra os corpos de prova de tração prontos para serem submetidos aos testes, destacando o cuidado na preparação e preservação das características estruturais originais. Essa etapa é fundamental para garantir que os ensaios capturem de forma fiel o desempenho das soldas sob carga.

Figura 12: Corpos de Prova Antes da Fratura.



Fonte: Autor próprio.

Além disso, a tabela 8 detalha a quantidade de corpos de prova. Os ensaios de tração foram feitos em duplicata totalizando 24 corpos de provas.

Tabela 8: Descrição dos Corpos de Prova de Tração.

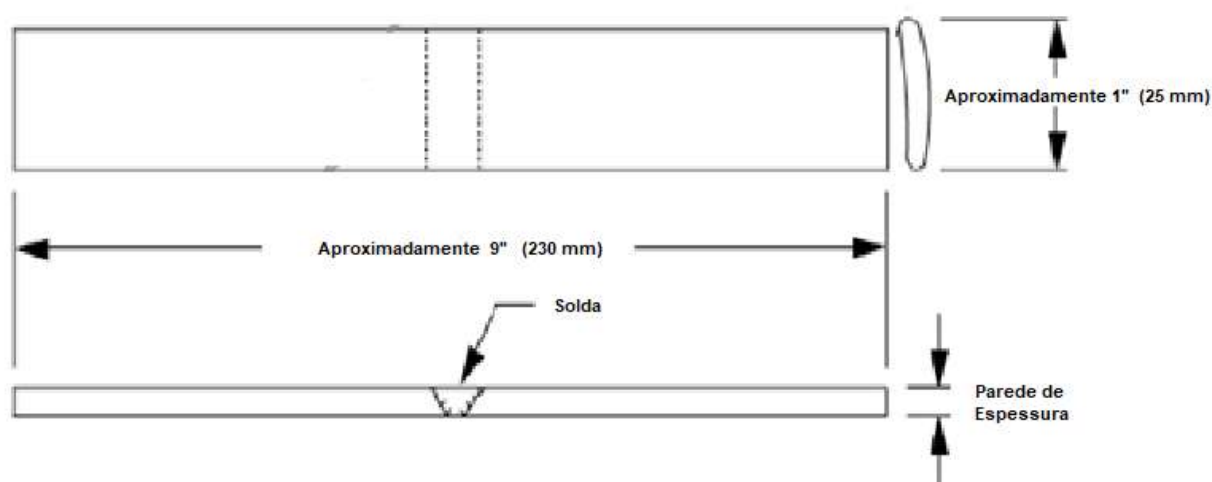
Corpo de Prova (CP)	DN (polegadas)	Espessura	Quantidade de Corpos de Prova	Total de Amostras de Tração
LB 01	10	5,2	2	2
LB 02	10	5,2	2	2
LB 03	10	5,2	2	2
LB 04	10	5,2	2	2
LB 05	16	7,3	4	4
LB 06	16	7,3	4	4
ELE 010	16	7,1	4	4
ELE 014	16	7,1	4	4
Total	-		-	24

Fonte: Autor próprio.

3.5.2 Ensaio de Dobramento

Os ensaios de dobramento são realizados para avaliar a ductilidade das soldas. Para este estudo, a metodologia de dobramento obedeceu aos critérios estabelecidos pela norma API 1104, que especifica os detalhes do preparo dos corpos de prova, conforme ilustrado na Figura 13: Corpo de Prova para Ensaio de Dobramento.

Figura 13: Corpo de Prova para Ensaio de Dobramento.



Fonte: API 1104.

No procedimento de dobramento, as amostras foram posicionadas de modo que a solda ficasse perpendicular ao eixo longitudinal do corpo de prova. Nos ensaios de dobramento de face (DF), a face da solda foi centralizada no raio de curvatura, formando a superfície convexa do corpo de prova durante a prova a flexão. Nos ensaios de dobramento de raiz (DR), a raiz da solda foi posicionada de forma semelhante, também compondo a superfície convexa. Os corpos de prova para dobramento estão ilustrados na figura 14.

Figura 14: Corpo de Prova de Dobramento de Face e Raiz.



Fonte: Autor próprio.

De acordo com os requisitos da API 1104, o ensaio de dobramento é considerado satisfatório se, após a realização do teste, não foram observadas fissuras ou imperfeições superiores a 3 mm (1/8 de polegada) ou metade da espessura da parede, o que por menor, na solda ou na zona de fusão. Fissuras que surjam na curvatura externa ao longo das bordas do corpo de prova, menores que 6 mm (1/4 de polegada), são desconsideradas, exceto se houver evidências de defeitos aparentes. Para tubos com diâmetro superior a 323,9 mm (12 3/4 polegadas), uma falha de apenas uma amostra permite decidir se o resultado é inválido ou se deve substituir a amostra por duas novas amostras adjacentes. Caso alguma dessas amostras de substituição falhe, a solda será considerada não conforme.

No presente estudo, os ensaios de dobramento realizados em tubos de 10 polegadas contaram com duas amostras para dobramento de face e duas para dobramento de raiz. Nos tubos de 16 polegadas, foram utilizados quatro corpos de prova para cada tipo de dobramento (DF e DR). A Tabela 9 resume a distribuição das amostras utilizadas nos ensaios, totalizando 24 corpos de prova para dobramento de face e 24 para dobramento de raiz, resultando em um total de 48 amostras. Essa distribuição prevê uma avaliação abrangente e criteriosa da integridade das soldas nos diferentes diâmetros de tubos testados.

Tabela 9: Quantidade de Corpos de Prova de Dobramento por Diâmetro de Tubo.

Corpo de Prova (CP)	DN (polegadas)	Diâmetro do Cutelo	Dobramento de Face	Dobramento de Raiz	Total de Amostras de Dobramento
LB 01	10	89	2	2	4
LB 02	10	89	2	2	4
LB 03	10	89	2	2	4
LB 04	10	89	2	2	4
LB 05	16	89	4	4	8
LB 06	16	89	4	4	8
ELE 010	16	28	4	4	8
ELE 014	16	28	4	4	8
Total	-		24	24	48

Fonte: Autor próprio.

Os ensaios de dobramento foram realizados utilizando a mesma Máquina Universal de Ensaio Hidráulica EMIC, que também foi utilizada nos ensaios de tração. A Figura 15 ilustra o equipamento empregado.

Figura 15: Máquina de Dobramento Utilizada em Minas Gerais.



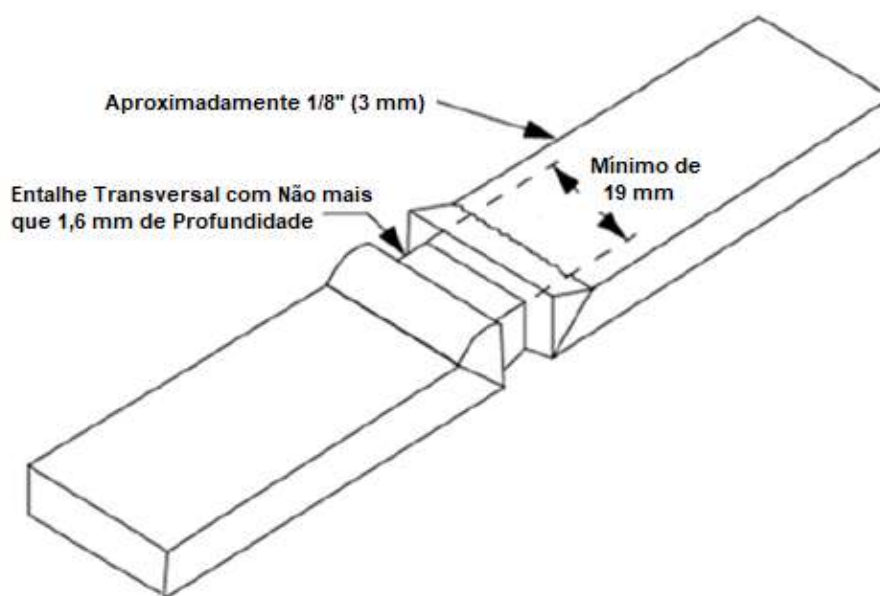
Fonte: Autor próprio.

Na Bahia, os ensaios de dobramento foram realizados com a máquina Tinius Olsen, modelo TAG-JC-TRA-01, seguindo a Instrução Técnica JCLAB: IT – 006 Rev 0.

3.5.3 Ensaio de Nick Break

No ensaio de *nick break*, os corpos de prova são preparados em conformidade com os requisitos da API 1104, visando a avaliação da integridade da solda e a detecção de eventuais descontinuidades internas. Os corpos de prova utilizados, conforme representado na Figura 16, possuem aproximadamente 230 mm de comprimento e 25 mm de largura. O corte pode ser realizado por qualquer método, e cada amostra é entalhada em ambos os lados, na região central do metal de solda, com uma profundidade de aproximadamente 3 mm. As bordas das amostras devem ser lisas e paralelas, garantindo uniformidade no teste.

Figura 16: Esquema do Corpo de Prova para Ensaio de Nick Break.



Fonte: Adaptado da API 1104.

O método de execução envolve ensaio de ruptura do corpo de prova na área de solda, que pode ser realizado por meio de tração, flexão ou impacto, entre outros métodos aplicáveis. A área exposta da fratura deve ter pelo menos 19 mm de largura, permitindo uma avaliação clara e detalhada da solda.

Em termos de requisitos, a superfície exposta após a fratura deve demonstrar completa profundidade e fusão. O maior tamanho de qualquer poro de gás não deve ultrapassar 1,6 mm, e a área combinada de todos os poros não deve ultrapassar 2% da superfície exposta. As inclusões de escória deverão ter no máximo 0,8 mm de profundidade e não mais que 3 mm ou metade da espessura especificada da parede em comprimento, prevalecendo o menor valor. A separação mínima entre inclusões adjacentes deverá ser de 13 mm. De acordo com a norma, pequenas imperfeições denominadas *fisheyes*, definidas pela AWS A3.0, não são motivo de reprovação.

Para soldas em tubos com diâmetro superior a 323,9 mm, se apenas uma amostra de falha de *nick break*, pode-se considerar uma solda inaceitável ou optar por substituir uma amostra falhada por duas retiradas adicionais de locais próximos. Caso uma das amostras substitutas também falhe, a solda é rejeitada.

A Tabela 10 resume a distribuição das amostras utilizadas nos ensaios. Esses testes foram realizados com os mesmos equipamentos utilizados nos ensaios de tração e dobramento, garantindo a uniformidade das condições de ensaio.

Tabela 10: Quantidade de Corpos de Prova para Ensaio de Nick Break por Diâmetro. de Tubo.

Corpo de Prova (CP)	DN (polegadas)	Quantidade de Amostras de Nick Break
LB 01	10	2
LB 02	10	2
LB 03	10	2
LB 04	10	2
LB 05	16	4
LB 06	16	4
ELE 010	16	4
ELE 014	16	4
Total	-	24

Fonte: Autor próprio.

A Figura 17 ilustra uma amostra de *nick break* posicionada no equipamento de teste para ruptura por flexão.

Figura 17: Amostra de Corpo de Prova de Nick Break no Equipamento de Ensaio.



Fonte: Autor próprio.

Esses procedimentos garantiram que os ensaios realizados atendessem aos critérios de qualidade e segurança necessários para a avaliação da resistência das soldas em dutos de aço API X65, fornecendo dados confiáveis para a validação dos processos de soldagem usados.

3.5.4 Ensaio de Microdureza

Na metodologia adotada, foram realizados ensaios de microdureza, abrangendo as regiões do metal de solda, da zona termicamente afetada (ZTA) e do metal de base. Os corpos-de-prova foram cuidadosamente retirados de dois quadrantes do tubo, um superior e outro inferior, garantindo uma análise representativa e detalhada da solda e suas áreas adjacentes.

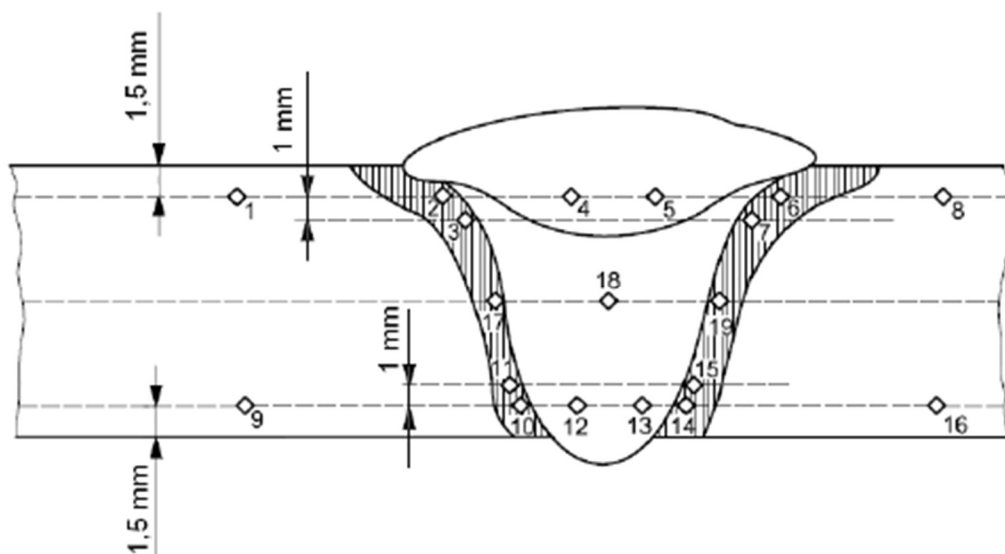
O ensaio de microdureza foi conduzido utilizando o método Vickers, com carga de 10 kgf (98.040 N), em conformidade com a norma ABNT NBR NM ISO 6507-1:2019. A análise foi realizada em duas localidades distintas: em Minas Gerais e na Bahia, ambas, seguindo a mesma metodologia, com objetivos comuns de controle de qualidade.

Em Minas Gerais, o ensaio foi realizado utilizando o microdurômetro Ótico Wolpert nº 62279. O penetrador de pirâmide de diamante com base quadrada foi empregado, e a carga aplicada foi de 10.000 g. O ensaio foi realizado à temperatura ambiente de

22,9°C e a análise foi feita com aumento de 400x, utilizando reativo Nital 10% para evidenciar as microestruturas. Na Bahia, os procedimentos seguiram a Instrução Técnica JCLAB: IT – 010 Rev 0, utilizando a máquina Dur.Reicherster – TAG-JC-DUR-02, com certificação de aferição CAVMAN nº 118C/24 (22/02/2024).

Os perfis de microdureza foram levantados de acordo com a Figura 13, de Distribuição dos Pontos de Impressão de Microdureza, posicionando os pontos de medição de forma que ponto 2, 3, 6, 7, 10, 11, 14, 15, 17 e 19 localizados na ZTA, o mais próximo possível da linha de fusão. A primeira linha de avaliação foi ajustada para que os pontos 2 e 6 coincidisse com a ZTA do último passe de solda. Os pontos 1, 8, 9 e 16 foram medidos no metal de base, enquanto os pontos 4, 5, 12, 13 e 18 representaram a zona fundida na figura 18.

Figura 18: Distribuição dos Pontos de Impressão de Microdureza.



Fonte: Norma Petrobras N 464.

Nenhum valor medido deve exceder o limite de 250 HV10, garantindo que o procedimento de fabricação estivesse dentro dos padrões estabelecidos para evitar fragilização e garantir a integridade estrutural do material.

A figura 17 destaca a importância de manter distâncias mínimas, como os 1,5 mm das bordas e 1 mm entre os pontos de medição, para garantir que os resultados de dureza

não sejam influenciados pelas transformações microestruturais causadas pela usinagem. O espaçamento de 1,5 mm evita que os resíduos gerados durante o corte ou o acabamento superficial interfiram nas raízes, enquanto a distância de 1 mm entre os pontos garante que os relevos deixados pelo penetrador não afetem as próximas subsequentes. Essas margens também minimizam os efeitos do calor gerado na preparação dos corpos de prova, garantindo que as leituras de dureza reflitam com precisão as propriedades reais da solda e da Zona Termicamente Afetada (ZTA), sem influência de alterações superficiais ou de borda.

A metodologia para análise de microdureza incluiu a avaliação em diferentes regiões dos corpos de prova (CPs), conforme detalhado na Tabela 11. Cada CP foi submetido a orientação em 4 pontos no metal de base, 10 pontos na zona termicamente afetada (ZTA) e 5 pontos no metal de solda.

Tabela 11: Distribuição da quantidade de pontos de Microdureza por Corpo de Prova.

Corpo de Prova	Pontos no Metal de Base	Pontos na ZTA	Pontos no Metal de Solda	Total de Pontos
ELEV-010	4	10	5	19
ELEV-014	4	10	5	19
LB-01	4	10	5	19
LB-02	4	10	5	19
LB-03	4	10	5	19
LB-04	4	10	5	19
LB-05	4	10	5	19
LB-06	4	10	5	19
Total	32	80	40	152

Fonte: Autor próprio.

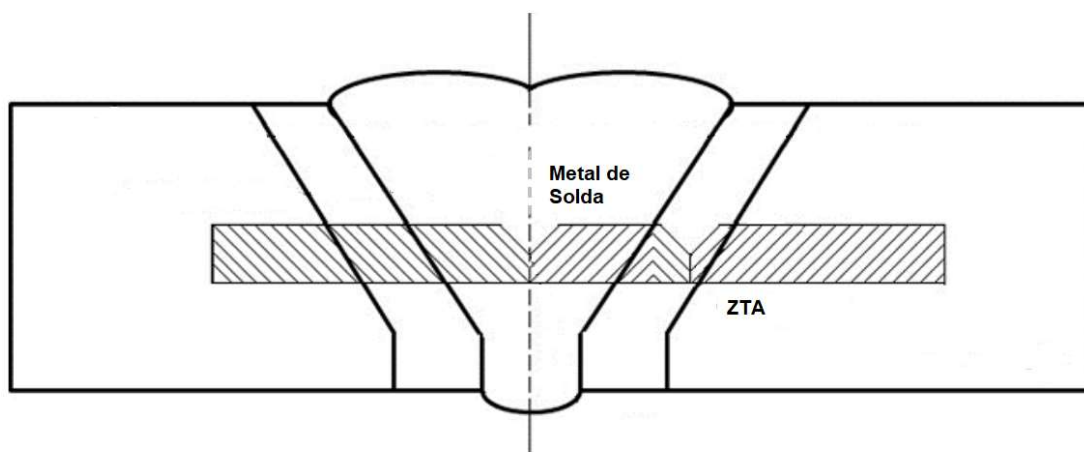
O total de pontos de medição para os corpos de prova foi de 152, distribuídos em 32 pontos no metal de base, 80 na ZTA e 40 no metal de solda.

3.5.5 Ensaio de Impacto (*Charpy-V*)

A metodologia dos ensaios *Charpy-V* foi desenvolvida para qualificar o procedimento em tubos de aço API X65, com foco na avaliação da tenacidade tanto do metal de solda quanto da zona termicamente afetada (ZTA). Os corpos de prova foram extraídos de um quadrante superior e de um quadrante inferior do tubo, posicionados a 2 mm abaixo da superfície. Em cada quadrante, três corpos de prova foram retirados com entalhe localizado no centro do metal de solda, e outros três com o entalhe na linha de centro da ZTA. O eixo longitudinal de cada corpo de prova foi disposto perpendicularmente ao cordão de solda, com o eixo da introdução orientado pela espessura do material, permitindo que uma fratura ocorresse paralelamente à solda. Para garantir o posicionamento preciso, as amostras passaram por um ataque químico, em conformidade com a norma ASTM A370, que regula tanto a preparação quanto a execução dos ensaios de impacto. Os corpos de prova foram ensaiados a uma temperatura de 0 °C.

O critério de aceitação adotado para os ensaios de Charpy-V foi o da norma N 464 da Petrobras, a qual estabelece os limites mínimos de energia consumidos para diferentes graus de tubos. No caso do tubo grau X65 utilizado neste estudo, a média de três corpos de prova deve ser no mínimo de 36 J, com um valor individual mínimo de 29 J. A Figura 19 ilustra a metodologia de extração das amostras, garantindo a representatividade dos resultados.

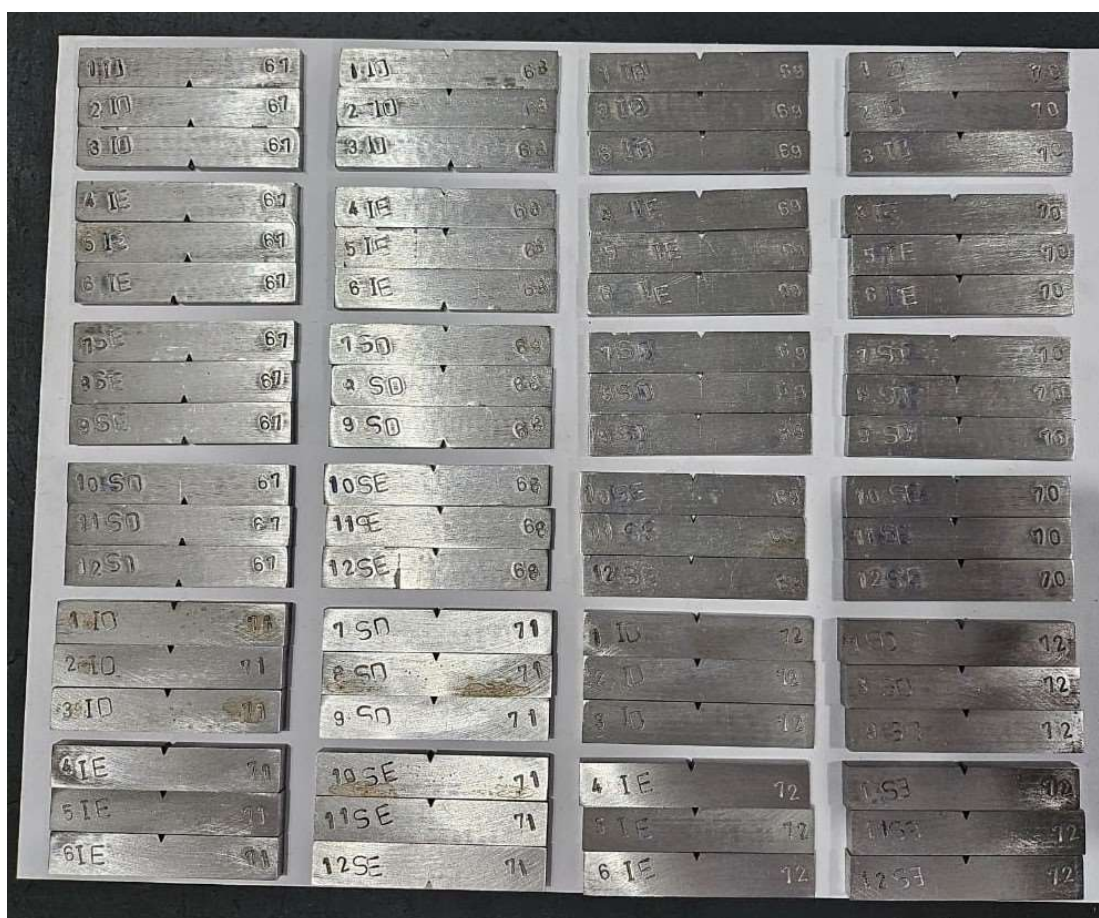
Figura 19: Esquemático de Remoção dos Corpos de Prova de Impacto.



Fonte: Autor próprio.

Os ensaios Charpy-V foram realizados em duas localidades distintas, com os resultados documentados nos respectivos relatórios. Em Minas Gerais, os ensaios foram conduzidos no Laboratório de Ensaios e Análise de Materiais (LAMAT) do SENAI Itaúna, e gerou os relatórios 4515, 4522, 4525, 4516, 4523, 4524 e 4526, datados de 27 de maio de 2024. Bahia, os ensaios seguiram a metodologia descrita na Instrução Técnica JCLAB: IT – 007 Rev 0. Os dados obtidos nesses relatórios fundamentaram a análise das propriedades de impacto das juntas soldadas, garantindo uma avaliação técnica e consistente dos resultados. Em Minas Gerais, os ensaios foram realizados com uma máquina de impacto PW 30/15, da Wolpert/Amsler, com identificação 41431 e calibradas pela Rede Brasileira de Calibração (RBC). A capacidade de energia de impacto foi de 300 J a 0 °C, seguindo a norma DIN EN ISO 148-1:2017. A Figura 20 ilustra as amostras prontas para os testes de fratura.

Figura 20: Amostras de Corpos de Prova de Impacto Preparadas.



Fonte: Autor próprio.

Para os corpos de prova de impacto, os ensaios Charpy-V foram realizados com a máquina de impacto Tinius Olsen, modelo TAG JC-IMP-01, certificada com os certificados CAVMAN nº 105C/24, de 22 de fevereiro de 2024. A temperatura foi monitorada com termômetro digital Minipa MT-450 (TAG JC-TMD-02), com certificação de aferição. A Figura 21 apresenta o equipamento utilizado no teste de impacto realizado na Bahia.

A Figura 21: Máquina de Impacto Utilizada na Bahia.



Fonte: Autor próprio.

Essa metodologia, com rigor técnico nos ensaios Charpy-V, garantiu uma análise confiável da tenacidade das soldas. A aplicação dessa metodologia e o uso de equipamentos calibrados garantem a validade dos resultados e a conformidade dos procedimentos de ensaio com os padrões normativos adotados. Para garantir que os

corpos de prova fossem mantidos a uma temperatura de 0 °C durante os ensaios, foi utilizado um recipiente de aço inoxidável específico para armazenamento e controle térmico das amostras, um termômetro de contato para monitoramento da temperatura e um botijão criogênico que proporcionou a refrigeração necessária. A Figura 22 ilustra os dispositivos utilizados: a) o recipiente de aço inoxidável, b) a frequência de contato e c) o botijão criogênico, destacando o cuidado e a precisão na manutenção das condições de teste.

Figura 22: Dispositivos usados no para realização de teste em temperatura de 0°C.

a) o recipiente de aço inoxidável b) o termômetro de contato c) o botijão criogênico



Fonte: Autor próprio.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esta seção apresenta os resultados obtidos a partir dos ensaios realizados com tubos de aço API X65, com foco nas propriedades mecânicas e na qualidade da soldagem. Cada subitem detalha diferentes aspectos da análise, desde a avaliação inicial dos materiais até os ensaios destrutivos e não destrutivos. A partir dos dados coletados, busca-se verificar a conformidade dos materiais com os requisitos da norma API 5L, bem como identificar variações nas propriedades mecânicas entre os diferentes lotes e diâmetros dos tubos utilizados. A análise apresentada a seguir visa garantir que os tubos API X65 atendam aos padrões exigidos para suportar as condições de operação projetadas.

4.1 Análise dos Relatórios dos Tubos API X65

A análise dos materiais recebidos foi fundamental para avaliar as propriedades mecânicas reais dos tubos API X65 destinados aos ensaios de soldagem. Os tubos utilizados neste estudo pertencem à categoria API X65 PSL 2, conforme especificado pela norma API 5L, edição 46, que estabelece requisitos mais rígidos de controle de qualidade, composição química e desempenho mecânico, em comparação com a concepção PSL 1.

De acordo com a norma API 5L, os certificados dos tubos devem apresentar propriedades mecânicas que atendem aos limites definidos, especialmente em termos de limite de escoamento (LE) e limite de resistência (LR). A Tabela 12 apresenta os valores de limite de escoamento e limite de resistência dos tubos API X65 conforme os certificados de fabricação, comparando-os com os limites mínimos estabelecidos pelas suas respectivas normas.

O normativo define que o limite de escoamento deve variar entre 450 MPa (65.300 psi) e 600 MPa (87.000 psi), enquanto o limite de resistência deve estar entre 535 MPa (77.600 psi) e 760 MPa (110.200 psi).

Tabela 12 - Valores de Limite de Escoamento e Limite de Resistência dos Tubos API X65 conforme Certificados de Fabricação.

Propriedade Mecânica	Limite Mínimo da Norma API 5L (PSL 2)	Certificado 266/2024	Certificado 840/2020	Certificado 269/2024
Limite de Escoamento (LE)	450 MPa (65.300 psi)	467 Mpa (67.747 psi)	504 MPa (73.137 psi)	493 MPa (71.503 psi)
Limite de Resistência (LR)	535 MPa (77.600 psi)	606 MPa (87.869 psi)	659 MPa (95.573 psi)	621 MPa (90.061 psi)

Fonte: Autor próprio.

A partir dos dados apresentados na Tabela 11, observa-se que todos os valores de limite de escoamento (LE) dos lotes estão acima do valor mínimo normativo de 450 MPa. Da mesma forma, os valores de limite de resistência (LR) também estão acima do limite mínimo normativo de 535 MPa. Essa conformidade indica que os tubos API X65 utilizados neste estudo apresentam as propriedades possíveis para suportar condições operacionais projetadas.

Além da comparação com os limites individuais dos certificados, foi realizada uma análise estatística dos valores médios para avaliar a consistência dos lotes em relação ao mínimo exigido. Na Tabela 13 temos a comparação dos valores médios de limite de escoamento e limite de resistência com os limites mínimos da norma API 5L que sintetizam essa análise, incluindo a diferença entre a média dos valores obtidos e o limite mínimo da norma, bem como o percentual de incremento.

Tabela 13 - Comparação dos Valores Médios de Limite de Escoamento e Limite de Resistência com os Limites Mínimos da Norma API 5L.

Propriedade Mecânica	Limite Mínimo da Norma API 5L (PSL 2)	Média dos Valores Obtidos	Diferença	Porcentagem da Diferença entre os Valores
Limite de Escoamento (LE)	450 MPa (65.300 psi)	488 MPa (70.129 psi)	+38 MPa (4.829 psi)	+8,4%
Limite de Resistência (LR)	535 MPa (77.600 psi)	629 MPa (91.168 psi)	+94 MPa (13.568 psi)	+17,6%

Fonte: Autor próprio.

Como indicado na Tabela 12, a média do limite de escoamento para os lotes analisados é de 488 MPa representando um incremento de 38 MPa ou 8,4% acima do limite mínimo normativo. Para o limite de resistência, a média é de 629 MPa o que ultrapassa o mínimo exigido pela norma em 94 Mpa, correspondendo a um aumento de 17,6%.

Esses resultados confirmam que os testes API X65 desenvolvidos não apenas atendem aos requisitos mínimos da norma API 5L, como também apresentam uma margem de segurança adicional. Essa característica é especialmente relevante para aplicações que desativam alta confiabilidade estrutural, pois garantem que os tubos suportem condições de carga elevadas e variações operacionais com segurança.

4.2 Análise dos Relatórios dos Eletrodos E 6010 e E 8010-P1

Foi feita a análise dos eletrodos utilizados no processo de soldagem conforme as especificações da norma ASME BPVC.II.C, que determina os critérios de classificação para eletrodos de soldagem por arco elétrico com eletrodo revestido. O eletrodo E 6010 está classificado sob a disposição SFA 5.1, que estabelece os requisitos para eletrodos de aço carbono destinados a soldagens de alta qualidade em aços carbono. O eletrodo E 6010 P, com diâmetro de 3,25 mm e identificado pelo lote VTX26E7000, foi empregado tanto no passe de raiz quanto no passe de reforço das soldas realizadas em Minas Gerais.

O eletrodo E 8010-P1, classificado conforme a concepção SFA 5.5, é indicado para soldagem de aços de baixa liga e foi utilizado em passagens de enchimento e acabamento. Esse eletrodo, caracterizado pelo diâmetro de 4,00 mm e pelo lote VTX32E7558, apresenta propriedades que o tornam adequado para aplicações de aplicação em estruturas sujeitas a condições severas.

Conforme especificado na Tabela 14: Requisitos de Propriedades Mecânicas e Valores dos Certificados para Eletrodos E 6010 e E 8010-P1, a resistência mínima à

tração e ao escoamento para o eletrodo E 6010 deve atingir, respectivamente, 430 MPa e 330 MPa. Para o eletrodo E 8010-P1, a resistência mínima a tração geralmente é de 550 MPa, e a resistência ao escoamento deve ser de 460 MPa. A tabela também apresenta os valores reais obtidos nos certificados dos lotes utilizados, permitindo uma comparação direta com os requisitos mínimos estabelecidos.

Tabela 14 - Requisitos de Propriedades Mecânicas e Valores dos Certificados para Eletrodos E 6010 e E 8010-P1.

Classificação do Eletrodo	LR (Mínimo) ASME BPVC.II.C	LE (Mínimo) ASME BPVC.II.C	Certificado/Lote	Limite de Escoamento (LE)	Limite de Resistência (LR)
E 6010	60.000 psi (430 MPa)	48.000 psi (330 MPa)	VTY03E9499	(55.114 psi) 380 Mpa	(69.572 psi) 480 Mpa
E 6010	60.000 psi (430 MPa)	48.000 psi (330 MPa)	VTX26E7000	(55.114 psi) 380 Mpa	(69.572 psi) 480 Mpa
E 8010-P1	80.000 psi (550 MPa)	67.000 psi (460 MPa)	VTX32E7558	(81.214 psi) 560 Mpa	(91.374 psi) 630 Mpa

Fonte: Autor próprio.

A partir dos dados apresentados na Tabela 14, observa-se que todos os eletrodos utilizados atendem aos requisitos mínimos de resistência mecânica exigidos pela norma ASME. Em particular, o eletrodo E 8010-P1 do lote VTX32E7558 supera os limites mínimos normativos, apresentando um limite de escoamento de 560 MPa (81.214 psi) e um limite de resistência de 630 MPa (91.374 psi), valores que ultrapassam os requisitos de 460 MPa (67.000 psi) e 550 MPa (80.000 psi), respectivamente.

Além da comparação com os limites normativos, foi realizada uma análise da média dos valores de cada propriedade mecânica para verificar o desempenho geral dos eletrodos em relação aos requisitos mínimos. A Tabela 15 apresenta a comparação dos valores médios de LE e LR dos Eletrodos E 6010 e E 8010-P1, com os Limites mínimos da norma apresenta esta análise, incluindo a diferença entre a média dos valores obtidos e o limite mínimo, bem como o percentual de incremento.

Tabela 15 - Comparação dos Valores Médios de Limite de Escoamento e Limite de Resistência dos Eletrodos E 6010 e E 8010-P1 com os Limites Mínimos da Norma.

Propriedade Mecânica	Limite Mínimo ASME BPVC.II.C	Média dos Valores Obtidos	Diferença	Porcentagem da Diferença entre os Valores
Limite de Escoamento (LE)	(48.000 psi) 330 Mpa	(63.814 psi) 440 Mpa	(15.814 psi) +110 MPa	+33,3%
Limite de Resistência (LR)	(60.000 psi) 430 Mpa	(76.839 psi) 530 Mpa	(16.839 psi) +100 Mpa	+23,3%

Fonte: Autor próprio.

Os valores médios apresentados na Tabela 14 reforçam que os eletrodos usados estão em conformidade com os padrões normativos e apresentam uma margem de segurança adicional, garantindo a qualidade do processo de soldagem e contribuindo para o fornecimento de uma solda com alta resistência mecânica e confiabilidade.

4.3 Resultados dos Ensaios de Inspeção Visual de Soldagem

Os corpos de prova foram submetidos a uma limpeza final para remoção de respingos, e todas as soldas foram aprovadas na inspeção visual. A Tabela 16 apresenta os resultados da inspeção visual e o status de aprovação dos corpos de prova (CPs) utilizados neste estudo.

Tabela 16 - Resultados de Inspeção Visual dos Corpos de Prova.

CP	Diâmetro Nominal (pol)	Espessura Nominal (mm)	Local do Teste	Qt de Passes com E 6010	Descontinuidades
LB-01	10	5,2	BA	2	Isento
LB-02	10	5,2	BA	1	Isento
LB-03	10	5,2	BA	1	Isento
LB-04	10	5,2	BA	2	Isento
LB-05	16	7,3	BA	2	Isento
LB-06	16	7,3	BA	1	Isento
ELEV-010	16	7,1	MG	1	Isento
ELEV-014	16	7,1	MG	2	Isento

Fonte: Autor próprio.

A inspeção visual revelou que todos os corpos de prova atenderam aos critérios de qualidade superficial exigidos, sendo aprovados para a continuidade dos ensaios mecânicos. A realização desse processo garantiu a integridade das soldas para os testes subsequentes, garantindo que a análise dos resultados seja conduzida apenas em juntas soldadas que atendam aos mais altos padrões de qualidade estrutural.

4.4 Resultados dos Ensaios de Ultrassom

Para assegurar a qualidade e integridade das soldas realizadas nos tubos de aço API X65, foi realizada uma inspeção ultrassônica avançada utilizando técnicas de Phased Array, configuradas para identificar descontinuidades internas e volumétricas em regiões críticas das soldas, tais como as áreas de raiz, enchimento e acabamento. A inspeção por ultrassom foi dividida em duas abordagens distintas, de acordo com as características dos corpos de prova (CPs).

Para os CPs LB-01, LB-02, LB-03, LB-04, LB-05 e LB-06, foi adotada a técnica de inspeção setorial, ideal para a análise detalhada de soldas em tubos de diferentes espessuras e condições. Essa abordagem permitiu cobrir amplamente as áreas de

interesse com alta precisão, garantindo uma avaliação completa e detalhada. Para os CPs ELEV-010 e ELEV-014, a técnica utilizada foi a de discriminação por zona, que permite uma análise específica e focada em regiões previamente definidas, assegurando a identificação de descontinuidades pontuais em locais críticos.

Para ambas as técnicas de ultrassom — tanto a setorial quanto a de discriminação por zona — o critério de aceitação aplicado foi o mesmo, garantindo uniformidade na avaliação das descontinuidades detectadas. Esse critério inclui limites rigorosos para indicações lineares, transversais e volumétricas, conforme detalhado na metodologia, assegurando que qualquer descontinuidade significativa, independentemente da técnica utilizada, fosse identificada e avaliada com base nos mesmos padrões de exigência. Essa abordagem homogênea de aceitação reforça a confiabilidade dos resultados, proporcionando consistência na qualificação das soldas para todas as áreas inspecionadas.

A Tabela 17 mostra os resultados da inspeção por ultrassom e apresenta o resumo dos CPs inspecionados, indicando a técnica de ultrassom utilizada, o diâmetro e espessura dos tubos, o local do teste, e o laudo obtido para cada um deles.

Tabela 17 - Resultados dos Ensaios de Ultrassom dos Corpos de Prova.

CP	Técnica de Inspeção	Diâmetro Nominal (pol)	Espessura Nominal (mm)	Local do Teste	Laudo
LB-01	Setorial	10	5,2	BA	Aprovado
LB-02	Setorial	10	5,2	BA	Aprovado
LB-03	Setorial	10	5,2	BA	Aprovado
LB-04	Setorial	10	5,2	BA	Aprovado
LB-05	Setorial	16	7,3	BA	Aprovado
LB-06	Setorial	16	7,3	BA	Aprovado
ELEV-010	Discriminação por Zona	16	7,1	MG	Aprovado
ELEV-014	Discriminação por Zona	16	7,1	MG	Aprovado

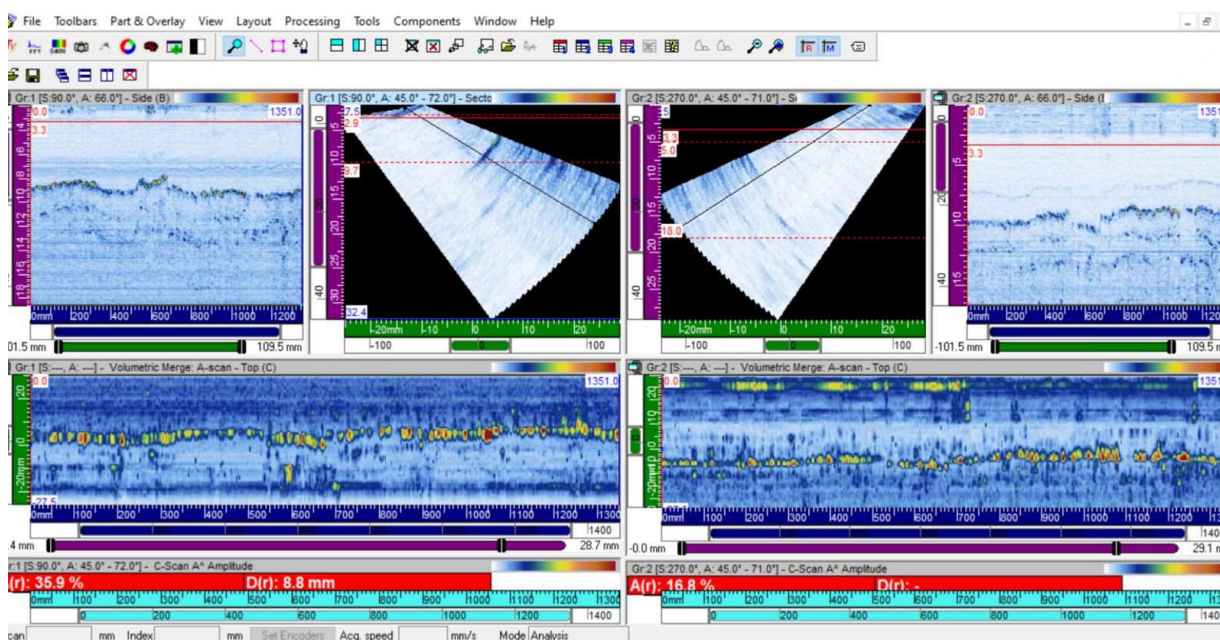
Fonte: Autor próprio.

Os resultados indicam que todos os corpos de prova inspecionados foram aprovados nas respectivas técnicas de ultrassom aplicadas. A técnica setorial, empregada para os CP's de 10 e 16 polegadas na Bahia, demonstrou ser eficaz para a identificação

de descontinuidades potenciais, cobrindo as áreas de raiz e enchimento das soldas com precisão. Já a técnica de discriminação por zona, utilizada para os CP's de 16 polegadas em Minas Gerais, permitiu uma avaliação detalhada das regiões de interesse, garantindo a conformidade dos tubos com os requisitos de qualidade estrutural.

Esses resultados reforçam a confiabilidade do processo de soldagem, assegurando que as soldas realizadas atendem aos padrões normativos e possuem integridade suficiente para avançar para os ensaios mecânicos subsequentes. A inspeção ultrassônica confirma a ausência de descontinuidades significativas que possam comprometer a qualidade final das juntas soldadas. Abaixo na figura 23, a imagem dos equipamentos de uma das juntas inspecionada.

Figura 23- Vistas Dos Ultrassom Phased Array.



Fonte: Autor próprio, (do equipamento de US).

4.5 Resultados dos Ensaios de Tração

No ensaio de tração das soldas em tubos de aço API X65, o critério de aceitação foi estabelecido conforme as propriedades mecânicas mínimas especificadas na norma

API 5L. Para o aço X65, o limite de resistência ao escoamento é de 65.300 psi (450 MPa), e o limite de resistência à tração (SMTS - Specified Minimum Tensile Strength) é de 77.600 psi (535 MPa).

O critério de aceitação para a solda exige que sua resistência à tração atinja, no mínimo, o SMTS do material do tubo. Caso a ruptura ocorra fora da zona de solda, ou seja, sem base metálica, e a resistência à tração atinja pelo menos 95% do valor mínimo de resistência à tração especificado (SMTS) — equivalente a 73.720 psi (508,25 MPa) —, a solda é considerada aprovada. Essa aprovação ocorre porque a falha em uma região fora da solda indica que a junta soldada possui resistência igual ou superior à do metal base, demonstrando que a solda não é o ponto mais fraco da estrutura. Essa condição atende às orientações de instruções previstas nas normas regulamentares, que visa garantir que a junta soldada tenha integridade estrutural suficiente para suportar as disposições adicionais em serviço. A Figura 24 ilustra essa situação, apresentando corpos de prova que se rompem na base metálica em vez da zona de solda, evidenciando que as juntas soldadas possuem desempenho mecânico adequado e estão em conformidade com os padrões de resistência exigidos.

No ensaio de tração, como o reforço da solda, tanto na face quanto na raiz, não é removido, a probabilidade de ruptura ocorrer diretamente na zona de solda é extremamente baixa. Isso deve ao fato de a solda apresentar resistência equivalente ou superior à base metálica, salvo a presença de descontinuidades internas ou concentrações de tensão oriundas de reforços excessivos. Entretanto, essas condições foram previamente avaliadas e descartadas durante as etapas de inspeção visual, ultrassom e nos ensaios de Nick Break, que confirmaram a ausência de descontinuidades significativas e garantiram a integridade da junta soldada. Assim, os critérios normativos que consideram a aprovação da solda em casos de ruptura no metal base reforçam a confiabilidade do processo, demonstrando que a solda não é o ponto crítico de falha estrutural, mas sim uma região desenvolvida e realizada para suportar as tensões aplicadas.

Figura 24: Corpos de Prova de Tração com Ruptura Fora da Solda.



Fonte: Autor próprio.

Se a ruptura ocorrer na zona de solda, a resistência observada deve ser igual ou superior ao SMTS do material do tubo, além de a solda não apresentar imperfeições significativas. Caso a ruptura ocorra na solda com resistência inferior ao SMTS, a solda será reprovada e um novo ensaio deverá ser realizado.

Em cinco dos 24 corpos de prova ensaiados, as rupturas ocorreram muito próximas à região de pega das garras, sugerindo uma possível influência de tensões adicionais geradas pela fixação durante o ensaio de tração. Essas tensões podem desviar a fratura do ponto de menor resistência do material, comprometendo parcialmente a representatividade dos resultados. Contudo, não foram realizadas análises detalhadas das superfícies de fratura ou repetição dos ensaios para descartar completamente essa interferência, o que exige cautela na interpretação desses dados no contexto geral do estudo.

Os ensaios de tração foram realizados em duas condições distintas: soldas com 1 passe de E 6010 e soldas com 2 passes de E 6010, conforme demonstrado nas tabelas a seguir. A Tabela 18 apresenta os valores de espessura, largura, área, carga, resistência e local de ruptura para os corpos de prova com 1 passe de E 6010.

Tabela 18 - Resultados de Tração - 1 Passe de E 6010.

CP	Tubo	Espessura (mm)	Largura (mm)	Área (mm ²)	Carga (Kgf)	Local de Ruptura	Relatórios
LB 02 - T1	10"	5,2	25,2	131,04	8725	Fora da Solda	468/24
LB 02 - T2	10"	5,3	25,3	133,56	8775	Fora da Solda	468/24
LB 03 - T1	10"	5,2	25,2	131,04	8725	Fora da Solda	469/24
LB 03 - T2	10"	5,3	25,3	134,09	8775	Fora da Solda	469/24
LB 06 - T1	16"	7,8	25,3	197,34	12900	Fora da Solda	472/24
LB 06 - T2	16"	7,9	25,2	199,08	12850	Fora da Solda	472/24
LB 06 - T3	16"	7,9	25,2	199,5	12950	Fora da Solda	472/24
LB 06 - T4	16"	7,8	25,3	197,34	12775	Fora da Solda	472/24
ELEV 10 - 1	16"	7,11	24,33	172,99	10678	Fora da Solda	264322
ELEV 10 - 2	16"	7,09	25,26	179,09	10808	Fora da Solda	264322
ELEV 10 - 3	16"	7,14	27,09	193,42	12203	Fora da Solda	264322
ELEV 10 - 4	16"	7,11	27,6	196,24	12314	Fora da Solda	264322

Fonte: Autor próprio.

Para os corpos de prova com 2 passes de E 6010, a Tabela 19 exibe as mesmas características de espessura, largura, área, carga, resistência e local de ruptura.

Tabela 19 - Resultados de Tração - 2 Passes de E 6010.

CP	Tubo	Espessura (mm)	Largura (mm)	Área (mm ²)	Carga (Kgf)	Local de Ruptura	Relatório
LB 01 - T1	10"	5,4	25,3	136,62	8750	Fora da Solda	467/24
LB 01 - T2	10"	5,3	25,2	133,56	8725	Fora da Solda	467/24
LB 04 - T1	10"	5,3	25	132,5	8750	Fora da Solda	469/24
LB 04 - T2	10"	5,2	25,3	131,56	8700	Fora da Solda	469/24
LB 05 - T1	16"	8	25,2	201,6	13025	Fora da Solda	471/24
LB 05 - T2	16"	7,9	25,2	199,08	12900	Fora da Solda	471/24
LB 05 - T3	16"	7,9	25,6	202,24	13250	Fora da Solda	471/24
LB 05 - T4	16"	8	25,3	202,4	13100	Fora da Solda	471/24
ELEV 14 - 1	16"	7,11	25,59	182,71	11561	Fora da Solda	264289
ELEV 14 - 2	16"	7,21	24,63	177,58	10716	Fora da Solda	264289
ELEV 14 - 3	16"	7,13	25,87	184,45	11618	Fora da Solda	264289
ELEV 14 - 4	16"	7,15	25,26	180,61	10823	Fora da Solda	264289

Fonte: Autor próprio.

Finalmente, a Tabela 20 consolida os resultados dos ensaios de tração. A norma API 1104 exige uma resistência mínima de 95% do SMTS, equivalente a 73.720 psi (508,25 MPa), para que a solda seja aprovada.

Tabela 20 - Resumo dos Resultados de Tração e Laudo Final.

CP	Tubo	Resistência Observada (psi) (MPa)	Limite de Resistência do Tubo (psi) (MPa)	Diferença para o Limite (psi) (MPa)	Local de Ruptura	Laudo
LB 01 - T1	10"	92,931 (641,08)	77,600 (535)	+15,331 (+106,08)	Fora da Solda	Aprovado
LB 01 - T2	10"	91,817 (633,01)	77,600 (535)	+14,217 (+98,01)	Fora da Solda	Aprovado
LB 02 - T1	10"	92,931 (641,08)	77,600 (535)	+15,331 (+106,08)	Fora da Solda	Aprovado
LB 02 - T2	10"	91,817 (633,01)	77,600 (535)	+14,217 (+98,01)	Fora da Solda	Aprovado
LB 03 - T1	10"	92,517 (637,94)	77,600 (535)	+14,917 (+102,94)	Fora da Solda	Aprovado
LB 03 - T2	10"	92,091 (634,87)	77,600 (535)	+14,491 (+99,87)	Fora da Solda	Aprovado
LB 04 - T1	10"	92,517 (637,94)	77,600 (535)	+14,917 (+102,94)	Fora da Solda	Aprovado
LB 04 - T2	10"	92,091 (634,87)	77,600 (535)	+14,491 (+99,87)	Fora da Solda	Aprovado
LB 05 - T1	16"	92,931 (641,08)	77,600 (535)	+15,331 (+106,08)	Fora da Solda	Aprovado
LB 05 - T2	16"	91,817 (633,01)	77,600 (535)	+14,217 (+98,01)	Fora da Solda	Aprovado
LB 06 - T1	16"	92,931 (641,08)	77,600 (535)	+15,331 (+106,08)	Fora da Solda	Aprovado
LB 06 - T2	16"	91,817 (633,01)	77,600 (535)	+14,217 (+98,01)	Fora da Solda	Aprovado
ELEV 10 - 1	16"	87,773 (605,5)	77,600 (535)	+10,173 (+70,5)	Fora da Solda	Aprovado
ELEV 10 - 2	16"	85,891 (592)	77,600 (535)	+8,291 (+57)	Fora da Solda	Aprovado
ELEV 14 - 1	16"	89,982 (620,7)	77,600 (535)	+12,382 (+85,7)	Fora da Solda	Aprovado
ELEV 14 - 2	16"	85,891 (592)	77,600 (535)	+8,291 (+57)	Fora da Solda	Aprovado

Fonte: Autor próprio.

Esses resultados confirmam que todos os corpos de prova atenderam aos critérios de resistência estabelecidos pela norma API 1104, demonstrando que as soldas possuem a robustez necessária para suportar as tensões operacionais exigidas em projeto para o X65. Todas as rupturas ocorreram fora da zona de solda, o que indica que a resistência da solda é adequada e que as falhas, quando ocorreram, ocorreram no metal base. Dessa forma, todos os corpos de prova foram aprovados, validando a integridade estrutural das soldas e confirmando sua conformidade para condições operacionais rigorosas.

4.6 Resultados dos Ensaios de Dobramento

Os ensaios de dobramento foram realizados para avaliar a ductilidade e a integridade das soldas realizadas nos tubos de aço API X65. A resistência das juntas soldadas ao dobramento é crucial para garantir que não apresentem descontinuidades ou falhas que possam comprometer seu desempenho sob pressão operacional. O ensaio foi aplicado a corpos de prova de face e raiz, garantindo que ambas as zonas de solda estivessem em conformidade com os requisitos normativos.

Para aprovação, em conformidade com a norma API 1104, as soldas devem estar isentas de descontinuidades superiores a 3 mm, sendo aceitas trincas menores apenas nas bordas, com o limite de 6 mm. No caso de tubos com diâmetro maior que 323,9 mm, uma falha em qualquer amostra permite a realização de dois novos testes adicionais para confirmação.

Os resultados dos ensaios de dobramento realizados em amostras com 1 passe de eletrodo E 6010 são apresentados na Tabela 21. Todas as amostras, tanto de face quanto de raiz, passaram nos critérios de aprovação, mostrando-se isentas de descontinuidades acima do limite de 3 mm. Apenas duas amostras apresentaram descontinuidades (ELEV 10 - DR3 e ELEV 10 - DR4), com valores de 2,4 mm e 2,8 mm, respectivamente. Essas descontinuidades, embora aparentemente visíveis, permanecem dentro dos limites aceitáveis e não comprometem a qualidade geral da solda, que foi aprovada.

Tabela 21: Resultados dos Ensaio de Dobramento com 1 Passe de E 6010.

CP	Espessura (mm)	Posição	Descontinuidades	Laudo	Relatório
LB 06 - DF1-SD	7,6	Face	Isento	Aprovado	472/24
LB 06 - DR1-SD	7,6	Raiz	Isento	Aprovado	472/24
LB 06 - DF2-ID	7,6	Face	Isento	Aprovado	472/24
LB 06 - DR2-ID	7,6	Raiz	Isento	Aprovado	472/24
LB 06 - DF3-IE	7,5	Face	Isento	Aprovado	472/24
LB 06 - DR3-IE	7,5	Raiz	Isento	Aprovado	472/24
LB 06 - DF4-SE	7,8	Face	Isento	Aprovado	472/24
LB 06 - DR4-SE	7,8	Raiz	Isento	Aprovado	472/24
ELEV 10 - DF1-SD	7,1	Face	Isento	Aprovado	264323
ELEV 10 - DR1-SD	7,1	Raiz	Isento	Aprovado	264323
ELEV 10 - DF2-ID	7,1	Face	Isento	Aprovado	264323
ELEV 10 - DR2-ID	7,1	Raiz	Isento	Aprovado	264323
ELEV 10 - DF3-IE	7,1	Face	Isento	Aprovado	264323
ELEV 10 - DR3-IE	7,1	Raiz	2,4 mm	Aprovado	264323
ELEV 10 - DF4-SE	7,1	Face	Isento	Aprovado	264323
ELEV 10 - DR4-SE	7,1	Raiz	2,8 mm	Aprovado	264323
LB 02 - DF1	5,2	Face	Isento	Aprovado	468/24
LB 02 - DR1	5,2	Raiz	Isento	Aprovado	468/24
LB 02 - DF2	5,3	Face	Isento	Aprovado	468/24
LB 02 - DR2	5,3	Raiz	Isento	Aprovado	468/24
LB 03 - DF1	5,2	Face	Isento	Aprovado	469/24
LB 03 - DR1	5,2	Raiz	Isento	Aprovado	469/24
LB 03 - DF2	5,3	Face	Isento	Aprovado	469/24
LB 03 - DR2	5,3	Raiz	Isento	Aprovado	469/24

Fonte: Autor próprio.

Para os ensaios de dobramento com 2 passes de eletrodo E 6010, apresentados na Tabela 22, a maioria dos corpos de prova mostraram-se conforme, sem apresentar descontinuidade acima do limite normativo. Contudo, o corpo de prova ELEV 14 - T1, ao ser testado, apresentou ruptura na raiz e foi reprovado. Esse resultado representa uma taxa de falha de aproximadamente 4,17% para as amostras testadas com 2 passagens. Em conformidade com a norma, duas amostras adicionais foram retiradas para reteste, ambas aprovadas, indicando que a falha inicial foi um evento isolado e não indicativo de um problema no processo.

Tabela 22: Resultados dos Ensaio de Dobramento com 2 Passes de E 6010.

CP	Espessura (mm)	Posição	Descontinuidades	Laudo	Relatório
LB 05 - DF1-SD	7,8	Face	Isento	Aprovado	471/24
LB 05 - DR1-SD	7,8	Raiz	Isento	Aprovado	471/24
LB 05 - DF2-ID	7,5	Face	Isento	Aprovado	471/24
LB 05 - DR2-ID	7,5	Raiz	Isento	Aprovado	471/24
LB 05 - DF3-IE	7,6	Face	Isento	Aprovado	471/24
LB 05 - DR3-IE	7,6	Raiz	2,4 mm	Aprovado	471/24
LB 05 - DF4-SE	7,7	Face	Isento	Aprovado	471/24
LB 05 - DR4-SE	7,7	Raiz	2,8 mm	Aprovado	471/24
ELEV 14 - T1	7,1	Raiz	Rompeu	Reprovado	264290
ELEV 14 - T2	7,1	Face	Isento	Aprovado	264290
ELEV 14 - T3	7,1	Raiz	Isento	Aprovado	264290
ELEV 14 - T4	7,1	Face	Isento	Aprovado	264290
ELEV 14 - T5	7,1	Raiz	Isento	Aprovado	264290
ELEV 14 - T6	7,1	Face	Isento	Aprovado	264290
ELEV 14 - T7	7,1	Raiz	Isento	Aprovado	264290
ELEV 14 - T8	7,1	Face	Isento	Aprovado	264290
LB 01 - DF1	5,2	Face	Isento	Aprovado	467/24
LB 01 - DR1	5,2	Raiz	Isento	Aprovado	467/24
LB 01 - DF2	5,2	Face	Isento	Aprovado	467/24
LB 01 - DR2	5,3	Raiz	1,8 mm	Aprovado	467/24
LB 04 - DF1	5,2	Face	Isento	Aprovado	467/24
LB 04 - DR1	5,2	Raiz	Isento	Aprovado	467/24
LB 04 - DF2	5,2	Face	Isento	Aprovado	467/24
LB 04 - DR2	5,3	Raiz	1,5 mm	Aprovado	467/24
Reteste	7,1	Raiz	Isento	Aprovado	264313
Reteste	7,1	Raiz	Isento	Aprovado	264313

Fonte: Autor próprio.

Os resultados dos ensaios de dobramento indicam que ambos os procedimentos de soldagem (com 1 e 2 passagens de E 6010) são práticos em fornecer a resistência e ductilidade necessária para as soldas em dutos de alta pressão. A maioria das amostras apresentadas atende aos critérios estabelecidos pela API 1104, e a incidência de descontinuidades foi mínima e dentro dos limites aceitáveis.

A reprovação do corpo de prova ELEV 14 - T1 no ensaio de dobramento de raiz pode ser atribuída a fatores internos ou localizados, não detectados durante as inspeções preliminares, como ultrassom e visual. Uma explicação possível seria a presença de

microdescontinuidades internas, como inclusões ou segregações, que não foram bloqueadas, mas se gerou críticas sob as condições de deformação impostas pelo ensaio. Outra possibilidade seria uma variação pontual no comportamento mecânico do material base ou na interface metal de base/solda, que, em situações isoladas, poderia levar a uma redução localizada na resistência à deformação. É importante destacar que, conforme as diretrizes da API 1104, a realização de dois retestes adicionais após uma falha inicial é fundamental para avaliar se a reprovação foi um evento isolado ou reflexo de um problema sistemático. O sucesso dos retestes confirma que a falha foi um caso pontual e não compromete a confiabilidade geral do processo de soldagem.

A Figura 25 ilustra o aspecto visual dos corpos de prova após o ensaio de dobramento de face e raiz, evidenciando a ausência de trincas ou falhas nas amostras aprovadas. Essa imagem visual serve para confirmar a qualidade das soldas e a conformidade com os requisitos de segurança e integridade estrutural necessários para aplicações em dutos de alta pressão.

Figura 25: Corpos de Prova de Dobramento de Face e Raiz Após o Ensaio.



Fonte: Autor próprio.

Os ensaios de dobramento validaram a confiabilidade do processo de soldagem com eletrodo E 6010, seja com 1 ou 2 passadas, mostrando que as soldas possuem a robustez necessária para garantir a segurança operacional dos dutos. Esses resultados reforçam as diretrizes do processo para atender às demandas de projetos

que alteram a elevação da integridade estrutural, confirmando que o procedimento é adequado.

4.7 Resultados dos Ensaios de Nick Break

O ensaio de Nick Break foi realizado com o objetivo de avaliar a qualidade e integridade interna das soldas nos tubos de aço API X65, com uma abordagem particular na identificação de descontinuidades como falta de fusão, inclusão de escória e porosidade, complementar ao ensaio de ultrassom. A metodologia foi aplicada tanto para soldas realizadas com 1 passe de eletrodo E 6010, quanto para aquelas realizadas com 2 passes, e os resultados foram cuidadosamente registrados.

O critério de aceitação dos ensaios foi baseado nos critérios da norma API 1104, que determina que as fraturas resultantes devem ser isentas de descontinuidades críticas, garantindo a integridade estrutural das soldas. As tabelas a seguir apresentam um resumo detalhado dos resultados dos ensaios de Nick Break para cada condição de soldagem.

A Tabela 23 apresenta os resultados dos ensaios de Nick Break realizados em corpos de prova com 1 passe de eletrodo E 6010. Todas as amostras foram aprovadas, com inspeção visual, ausência de descontinuidades ou porosidade significativa nas áreas fraturadas.

Tabela 23: Resultados dos Ensaio de Nick Break com 1 Passe de E 6010.

CP Nº	Espessura (mm)	Largura (mm)	Descontinuidades	Laudo	Relatório Nº
LB 02 - NB1	5	25	Isento	Aprovado	467/24
LB 02 - NB2	5	25	Isento	Aprovado	467/24
LB 03 - NB1	5	25	Isento	Aprovado	469/24
LB 03 - NB2	5	25	Isento	Aprovado	469/24
LB 06 - NB1-SD	7	25	Isento	Aprovado	471/24
LB 06 - NB2-ID	7	25	Isento	Aprovado	471/24
LB 06 - NB3-IE	7	25	Isento	Aprovado	471/24
LB 06 - NB4-SE	7	25	Isento	Aprovado	471/24
ELEV 10 - 1	7	25	Isento	Aprovado	264324
ELEV 10 - 2	7	25	Isento	Aprovado	264324
ELEV 10 - 3	7	25	Isento	Aprovado	264324
ELEV 10 - 4	7	25	Isento	Aprovado	264324

Fonte: Autor próprio.

A Tabela 24 apresenta os resultados dos ensaios de Nick Break para soldas realizadas com 2 passes de eletrodo E 6010. A análise visual mostrou que, embora algumas amostras apresentem porosidade leve, todas atendem aos requisitos estabelecidos na API 1104.

Tabela 24: Resultados dos Ensaio de Nick Break com 2 Passes de E 6010.

CP Nº	Espessura (mm)	Largura (mm)	Descontinuidades	Laudo	Relatório Nº
LB 01 - NB1	5	25	Isento	Aprovado	467/24
LB 01 - NB2	5	25	Isento	Aprovado	467/24
LB 04 - NB1	5	25	Isento	Aprovado	469/24
LB 04 - NB2	5	25	Isento	Aprovado	469/24
LB 05 - NB1-SD	7	25	Isento	Aprovado	471/24
LB 05 - NB2-ID	7	25	Isento	Aprovado	471/24
LB 05 - NB3-IE	7	25	Isento	Aprovado	471/24
LB 05 - NB4-SE	7	25	Isento	Aprovado	471/24
ELEV 14 - 1	7	25	Poros de 0,2 x 0,2 mm	Aprovado	264313
ELEV 14 - 2	7	25	Poros de 0,1 x 0,2 mm	Aprovado	264313
ELEV 14 - 3	7	25	Isento	Aprovado	264313
ELEV 14 - 4	7	25	Poros de 0,3 x 0,2 mm	Aprovado	264313

Fonte: Autor próprio.

Os ensaios de Nick Break realizados com 1 e 2 passagens do eletrodo E 6010 indicaram que as soldas apresentam excelente integridade estrutural. A realização dos ensaios de Nick Break é fundamental para confirmar que as soldas possuem a robustez necessária para suportar as condições de alta pressão e de operação a que serão aplicadas. Esses resultados reforçam a confiabilidade do processo de soldagem adotada e validam a adequação das soldas para aplicações em dutos de alta pressão.

A Figura 26 ilustra o aspecto visual das fraturas nos corpos de provas aprovados no teste de Nick Break, evidenciando a ausência de falhas críticas na estrutura interna das soldas.

Figura 26: Fraturas dos Corpos de Prova Após Ensaio de Nick Break.



Fonte: Autor próprio.

Em resumo, os ensaios de Nick Break mostraram que tanto o procedimento de operação com 1 passe quanto o com 2 passes de eletrodo E 6010 são práticos em produzir soldas de alta qualidade, capazes de atender aos rigorosos requisitos da API 1104 para integridade estrutural.

4.8 Resultados dos Ensaios de Microdureza

Os ensaios de dureza realizados no presente estudo tiveram como objetivo avaliar a resistência superficial das regiões do metal de solda, da zona termicamente afetada (ZTA) e do metal de base, garantindo que os valores obtidos encontrados dentro do limite máximo de 250 HV10, conforme especificações normativas. Esses ensaios foram fundamentais para validar a integridade estrutural das soldas realizadas, bem como para identificar possíveis fragilizações ou inconsistências no processo de soldagem. Abaixo são apresentados os resultados para os ensaios de dureza, distribuídos em duas tabelas. A Tabela 25 apresenta os valores obtidos para os corpos de prova com 1 passe de E 6010, enquanto a Tabela 26 apresenta os resultados para os CPs com 2 passes de E 6010.

Tabela 25: Resultados de Microdureza - Corpos de Prova com 1 Passe de E 6010.

Ponto	LB 02 (468/24)	LB 03 (469/24)	LB 06 (472/24)	ELEV 10 (4511/2024)
1	191	219	238	228,87
2	210	205	216	196,3
3	213	235	209	205,35
4	232	196	199	203,46
5	201	209	196	225,1
6	191	198	235	230,27
7	187	202	228	224,47
8	194	203	222	207,9
9	192	222	228	196,76
10	199	228	210	187
11	209	219	203	223,45
12	187	181	215	230,99
13	185	192	209	180,13
14	222	179	222	189,59
15	219	171	209	189,59
16	233	216	219	158,85
17	179	209	228	161,06
18	189	207	230	171,14
19	184	204	232	164,32
Mínimo (HV)	179	171	196	158,85
Médio (HV)	197,68	201,74	218,32	199,31
Máximo (HV)	233	235	238	230,99

Fonte: Autor próprio.

Tabela 26: Resultados de Microdureza - Corpos de Prova com 2 Passes de E 6010.

Ponto	LB 01 (467/24)	LB 04 (470/24)	LB 05 (471/24)	ELEV 14 (4527/2024)
1	203	222	228	208,15
2	199	228	172	183,49
3	196	233	192	193,85
4	218	243	203	201,72
5	194	253	209	179,42
6	180	213	212	179,32
7	201	205	194	186,84
8	193	212	182	195,61
9	209	203	202	199,75
10	205	194	194	194,8
11	191	203	203	205,31
12	173	210	199	212,69
13	203	202	187	202,92
14	171	213	175	198,53
15	168	209	196	201,67
16	219	194	203	167,45
17	187	238	228	198,53
18	184	230	220	197,19
19	189	227	222	197,41
Mínimo (HV)	168	194	172	167,45
Médio (HV)	192,31	219,16	201,11	195,13
Máximo (HV)	219	253	228	212,69

Fonte: Autor próprio.

Esses valores, obtidos diretamente dos ensaios de dureza, são inferiores às médias do respectivo metal de base, o que é esperado devido à presença de metal de adição E 6010, que possui menor resistência em comparação com o metal base. Apesar dessa diferença, os resultados não apresentaram discrepâncias significativas. Isso reforça a confiabilidade das juntas soldadas em aplicações de alta pressão.

A análise permite concluir que a raiz da solda atende aos requisitos normativos de dureza, reforçando a integridade estrutural e a confiabilidade das juntas soldadas para os desafios impostos pelo transporte de hidrocarbonetos.

4.9 Resultados do Ensaio de Impacto Charpy-V

O ensaio Charpy-V foi realizado com o objetivo de avaliar a tenacidade ao impacto nas regiões de solda e da zona termicamente afetada (ZTA) dos corpos de prova (CPs) soldados com 1 passe utilizando o eletrodo E 6010.

Os resultados obtidos para os CPs LB 02, LB 03, LB 06 e Elev 10 são apresentados na Tabela 27. Para cada corpo de prova, foram realizados ensaios nas tanto na região da solda quanto na ZTA, com três amostras em cada local. A energia absorvida foi calculada tanto em valores absolutos (Joules) quanto em termos de energia específica (J/mm^2), considerando a dimensão padronizada dos CPs de 3,3 x 10 x 55 mm.

Os valores obtidos evidenciam diferenças importantes entre as regiões da solda e da ZTA, como esperado. Na região da ZTA, os valores de energia absorvida foram consistentemente mais elevados em comparação com a solda.

Tabela 27: Resultados Individuais do Ensaio Charpy-V para CPs com 1 Passe.

PC	Local	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Espessura (mm)	Energia Absorvida J	Relatório
LB 02	Solda	55	10	3,3	29,44	468/24
LB 02	Solda	55	10	3,3	29,44	468/24
LB 02	Solda	55	10	3,3	33,36	468/24
LB 02	ZTA	55	10	3,3	30,42	468/24
LB 02	ZTA	55	10	3,3	34,34	468/24
LB 02	ZTA	55	10	3,3	29,44	468/24
LB 03	Solda	55	10	3,3	31,40	469/24
LB 03	Solda	55	10	3,3	34,34	469/24
LB 03	Solda	55	10	3,3	30,42	469/24
LB 03	ZTA	55	10	3,3	33,36	469/24
LB 03	ZTA	55	10	3,3	29,44	469/24
LB 03	ZTA	55	10	3,3	29,44	469/24
LB 06	Solda	55	10	3,3	25,51	472/24
LB 06	Solda	55	10	3,3	27,47	472/24
LB 06	Solda	55	10	3,3	29,44	472/24
LB 06	ZTA	55	10	3,3	21,59	472/24
LB 06	ZTA	55	10	3,3	33,36	472/24
LB 06	ZTA	55	10	3,3	38,27	472/24
Elevação 10	Solda	55,02	10,04	4,97	40 J	4497/2024
Elevação 10	Solda	54,98	10,04	4,98	37 J	4497/2024
Elevação 10	Solda	55,07	10,04	4,97	38 J	4497/2024
Elevação 10	ZTA	55,01	9,99	4,99	90 J	4505/2024
Elevação 10	ZTA	55,04	10,02	4,98	94 J	4505/2024
Elevação 10	ZTA	54,98	9,99	4,95	96 J	4505/2024

Fonte: Autor próprio.

Os resultados apresentados nesta seção envolvendo os corpos de prova (CPs) com 2 passes de soldagem realizados com o eletrodo E6010, tabela 28. A análise foi realizada para identificar as diferenças de energia absorvida entre a solda e a ZTA, considerando o comportamento mecânico das juntas soldadas. Os CPs analisados incluem LB 01, LB 04, LB 05 e Elev 14.

Os dados detalhados incluem dimensões dos corpos de prova (comprimento, largura e espessura), além da energia absorvida medida pelo meio do ensaio Charpy-V. Como nos CPs de 1 passe, uma análise foi conduzida de maneira sistemática, considerando as regiões de solda e ZTA.

Tabela 28: Resultados Individuais do Ensaio Charpy-V por Ponto (CPs com 2 Passes).

PC	Local	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Espessura (mm)	Energia Absorvida J	Relatório
LB 01	Solda	55	10	3,3	39,34	467/24
LB 01	Solda	55	10	3,3	29,44	467/24
LB 01	Solda	55	10	3,3	30,42	467/24
LB 01	ZTA	55	10	3,3	43,17	467/24
LB 01	ZTA	55	10	3,3	39,25	467/24
LB 01	ZTA	55	10	3,3	34,34	467/24
LB 04	Solda	55	10	3,3	30,42	470/24
LB 04	Solda	55	10	3,3	29,44	470/24
LB 04	Solda	55	10	3,3	34,34	470/24
LB 04	ZTA	55	10	3,3	39,25	470/24
LB 04	ZTA	55	10	3,3	27,47	470/24
LB 04	ZTA	55	10	3,3	36,29	470/24
LB 05	Solda	55	10	3,3	33,36	471/24
LB 05	Solda	55	10	3,3	39,25	471/24
LB 05	Solda	55	10	3,3	29,45	471/24
LB 05	ZTA	55	10	3,3	22,57	471/24
LB 05	ZTA	55	10	3,3	21,59	471/24
LB 05	ZTA	55	10	3,3	19,62	471/24
Elevação 14	Solda	55,03	10,04	4,97	44 J	4515/2024
Elevação 14	Solda	54,92	10,04	4,98	44 J	4515/2024
Elevação 14	Solda	54,88	10,03	4,98	47 J	4515/2024
Elevação 14	ZTA	55,21	10,04	4,97	78 J	4516/2024
Elevação 14	ZTA	55,15	10,04	4,98	85 J	4516/2024
Elevação 14	ZTA	55,07	10,04	4,99	96 J	4516/2024

Fonte: Autor próprio.

A análise das médias gerais de energia absorvida nos ensaios Charpy-V permite comparar o desempenho das juntas soldadas realizadas com 1 passagem e 2 passagens de soldagem utilizando o eletrodo E6010. A Tabela 29 consolida os valores médios de energia consumida, tanto na região da solda quanto na ZTA, para os CPs analisados. Essa abordagem permite avaliar a influência do número de passes sobre as propriedades mecânicas da solda e sua região adjacente.

Tabela 29: Comparação das Médias Gerais de Energia Absorvida (1 Passe vs. 2 Passes).

PC	Número de passes	Local	Energia Média Absorvida
LB 02	1 Passe	Solda	30,74 J
LB 02	1 Passe	ZTA	31,40 J
LB 03	1 Passe	Solda	32,05 J
LB 03	1 Passe	ZTA	30,74 J
LB 06	1 Passe	Solda	27,47 J
LB 06	1 Passe	ZTA	31,07 J
Elevação 10	1 Passe	Solda	38 J
Elevação 10	1 Passe	ZTA	93,33 J
LB 01	2 passes	Solda	31,40 J
LB 01	2 passes	ZTA	38,92 J
LB 04	2 passes	Solda	31,40 J
LB 04	2 passes	ZTA	34,34 J
LB 05	2 passes	Solda	33,69 J
LB 05	2 passes	ZTA	21,26 J
Elevação 14	2 passes	Solda	45 J
Elevação 14	2 passes	ZTA	86,33 J

Fonte: Autor próprio.

A diferença na energia absorvida entre a solda e a Zona Termicamente Afetada (ZTA) pode ser atribuída às características microestruturais e às transformações metalúrgicas decorrentes do ciclo térmico da soldagem. A região da solda, formada pelo metal de adição e solidificado rapidamente, geralmente apresenta uma microestrutura mais grosseira e heterogênea, composta por fases como bainita ou martensita, dependendo das taxas de resfriamento. Essas características conferem à solda uma tenacidade menor, já que a capacidade de absorção de energia sob impacto é limitada pela presença de estruturas mais frágeis e menos dúcteis.

Por outro lado, a ZTA, por ser aquecida sem atingir a fusão, experimenta ciclos térmicos que resultam em microestruturas parcialmente recristalizadas ou refinadas em suas subzonas, dependendo das temperaturas alcançadas. Essas subzonas tendem a apresentar menores tamanhos de grãos e uma maior homogeneidade estrutural em comparação à solda, o que favorece uma maior capacidade de

consumo de energia. A ausência de descontinuidades internas, como porosidade ou inclusões, que são mais comuns na solda, também contribui para a superioridade mecânica da ZTA. Em casos como as amostras Elevação 10 e Elevação 14, os resultados com especificações altas na ZTA podem ser explicados por variações microestruturais localizadas, como a formação de grãos muito refinados ou a predominância de fases mais tenazes, como ferrita acicular ou bainita de alta tenacidade.

Além disso, o comportamento atípico de energia absorvida pode ser influenciado por fatores operacionais durante a soldagem e o ensaio Charpy-V. A precisão no posicionamento dos corpos de prova e no ponto de impacto pode alterar a forma como a energia é distribuída durante o ensaio, especialmente se o impacto incidir em subzonas mais refinadas ou em regiões da ZTA com características mecânicas superiores. Outra possibilidade está relacionada à interação entre o metal base e a diluição com o metal de adição, que pode ter gerado condições mais específicas na ZTA dessas amostras específicas. Essa diluição pode criar gradientes de composição química que afetam as propriedades locais, promovendo o fortalecimento localizado em pontos específicos da ZTA.

Por fim, é importante destacar que, embora os valores de energia absorvidos na ZTA sejam significativamente maiores em alguns casos, esses refletem a complexidade das interações metalúrgicas na soldagem. Eles indicam que a ZTA não é apenas uma região de transição, mas pode, em determinadas condições, apresentar propriedades superiores à própria solda, devido às transformações térmicas e estruturais que ocorrem durante o processo de soldagem. Os valores apresentados na tabela evidenciam que a energia absorvida nas regiões de ZTA foi consistentemente maior em comparação com as regiões de solda, tanto para CPs com 1 passe quanto para aqueles com 2 passes. No entanto, os CPs com 2 passes exibiram valores médios de energia absorvida superiores aos CPs com 1 passe, diminuindo uma possível melhoria na distribuição e homogeneidade das propriedades mecânicas devido ao maior número de passes. Essa comparação reforça a importância de se avaliar a quantidade de passes em aplicações que exigem maior tenacidade e resistência à fratura.

5 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos no presente estudo demonstram que é tecnicamente viável realizar a soldagem de tubos API X65 utilizando o eletrodo E 6010, tanto com 1 quanto com 2 passes no passe de raiz, seguido por passes subsequentes com materiais de maior resistência, como o E 8010-P1. Essa abordagem utiliza consumíveis de resistência inferior à do material do tubo, mas que, na prática, demonstraram atender aos requisitos normativos. Isso se deve, em parte, ao fato de que tubos e consumíveis são geralmente fabricados com propriedades mecânicas levemente superiores aos mínimos normativos, proporcionando uma margem de segurança adicional.

O passe de raiz, devido à sua pequena espessura, possui um papel limitado em termos de resistência estrutural. Em muitos casos, ele apresenta penetração excessiva que não tem função estrutural. Essa característica foi confirmada nos ensaios de tração, que mostraram que a resistência mecânica das soldas está essencialmente relacionada aos passes de enchimento e acabamento. Complementarmente, os ensaios de dobramento de raiz destacaram a ductilidade do passe inicial, indicando que, mesmo sob condições críticas, a solda manteve sua integridade sem apresentar descontinuidades significativas.

Os ensaios de dureza demonstraram valores controlados, dentro do limite normativo de 250 HV10, confirmando a ausência de fragilização nas regiões soldadas. Os valores obtidos não foram excessivamente baixos, o que permite estabelecer uma relação satisfatória entre dureza e limite de resistência a tração. Esses resultados reforçam a qualidade e a confiabilidade do processo de soldagem adotado.

Embora este estudo não tenha incluído uma análise detalhada da diluição, que exigiria uma comparação com outros processos de soldagem e consumíveis, essa é uma oportunidade para futuras pesquisas. Estudos adicionais poderiam explorar as interações metalúrgicas, particularmente a diluição do passe subsequente, ao utilizar o E 8010-P1 sobre o passe de raiz com E 6010, considerando possíveis variações nas propriedades mecânicas e metalúrgicas em diferentes condições de soldagem.

Conclui-se que a utilização do eletrodo E 6010 no passe de raiz, seguido por um ou mais passes com E 8010-P1, é uma solução técnica e economicamente viável para soldagem de tubos API X65, desde que os consumíveis sejam devidamente certificados e que os critérios normativos sejam rigorosamente seguidos. Além disso, recomenda-se a utilização de consumíveis com certificados tipo J, não apenas para assegurar a conformidade normativa, mas também para promover maior controle e rastreabilidade durante a execução em obra. Essas descobertas oferecem uma base para futuras análises comparativas envolvendo diferentes consumíveis e processos, contribuindo para avanços tecnológicos e operacionais no setor de petróleo e gás.

6 REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Disponível em: <https://www.abnt.org.br>. Acesso em: 2 dez. 2024.

ABNT. *NBR 15280-2: Construção e montagem de gasodutos*. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). *Regulamento Técnico de Dutos Terrestres para Movimentação de Petróleo, Derivados e Gás Natural (RTDT)*. Resolução ANP nº 2, de 02 fev. 2011. Rio de Janeiro: ANP, 2011.

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. *API 1104: Welding of Pipelines and Related Facilities*. 22. ed. Washington, DC: American Petroleum Institute, 2021.

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. *API 5L: Specification for Line Pipe*. Washington, DC: API, 2018.

AMERICAN SOCIETY FOR MECHANICAL ENGINEERING. *B31.8: Gas Transmission and Distribution Piping Systems*. New York: ASME, 2022.

AMERICAN SOCIETY FOR MECHANICAL ENGINEERING. *Boiler and Pressure Vessel Code, Section II, Part C – Specifications for Welding Rods, Electrodes, and Filler Metals*. New York: ASME, 2021.

AMERICAN SOCIETY FOR MECHANICAL ENGINEERING. *Boiler and Pressure Vessel Code, Section IX – Welding, Brazing and Fusing Qualifications*. New York: ASME, 2021.

AMERICAN WELDING SOCIETY. *AWS A5.01M/A5.01: Welding Consumables – Procurement of Filler Metals and Fluxes*. Miami, FL: AWS, 2021.

AMERICAN WELDING SOCIETY. *AWS A5.1: Specification for Carbon Steel Electrodes for Shielded Metal Arc Welding*. Miami: AWS, 2012.

AMERICAN WELDING SOCIETY. *AWS A5.3: Standard Welding Terms And Definitions – Including Terms for Adhesive Bonding, Brazing, Soldering, Thermal Cutting, and Thermal Spraying*. Miami: AWS, 2020.

AMERICAN WELDING SOCIETY. *AWS A5.5: Specification for Low-Alloy Steel Electrodes for Shielded Metal Arc Welding*. Miami: AWS, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). Sobre a normalização. Disponível em: <https://abnt.org.br/normalizacao/sobre-a-normalizacao/>. Acesso em: 2 dez. 2024.

ASTM INTERNATIONAL. *ASTM E23-16b: Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials*. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2016.

AWS. American World Society. Disponível em: <https://www.aws.org>. Acesso em: 02 dez. 2024.

BRASIL. Lei nº 13.303, de 30 jun. 2016. Dispõe sobre o estatuto jurídico da empresa pública, da sociedade de economia mista e de suas subsidiárias, no âmbito da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios. *Diário Oficial da União*: Seção 1, Brasília, DF, 30 jun. 2016.

BRASIL. Lei nº 14.133, de 1º abr. 2021. Estabelece normas gerais de licitação e contratação para as administrações públicas direta, autárquica e fundacional da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios, e dá outras providências. *Diário Oficial da União*: Seção 1, Brasília, DF, 1 abr. 2021.

BRASIL. Lei nº 14.134, de 9 abr. 2021. Dispõe sobre as atividades relativas ao transporte de gás natural e sobre as atividades de estocagem de gás natural em infraestruturas, dentre outras exceções. *Diário Oficial da União*: Seção 1, Brasília, DF, 9 abr. 2021. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil/_UM-2022//2021/Lei/eu.htm. Acesso em: 2 dez. 2024.

BRASIL. Lei nº 4.150, de 21 nov. 1962. Institui o regime obrigatório de preparo e observância das normas técnicas nos contratos de obras e compras do serviço público de execução direta, concedida, autárquica ou de economia mista, através da Associação Brasileira de Normas Técnicas, e dá outras providências. *Diário Oficial da União*: Seção 1, Brasília, DF, 21 nov. 1962. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/1950-1969/L4150.htm.

CALLISTER JR., William D.; RETHWISCH, David G. *Ciência e engenharia de materiais: uma introdução*. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

CAVALHEIRO, B.; MATUDA, F.; CONSTANTINO, J. G.; KOJIMA, S. S. *Performance de tubo soldado de alta resistência da classe API 5L grau X70 utilizados para pipelines em aplicação onshore*. In: 62º Congresso Anual da ABM – Internacional, 23 a 27 de julho de 2007, Vitória – ES, Brasil. Vitória: ABM, 2007.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). *Plano decenal de expansão de energia 2031*. Brasília: EPE, 2021. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-529/PDE%202031.pdf>. Acesso em: 2 dez. 2024.

ESAB. *Consumíveis de soldagem*. ESAB, 2024. Disponível em: https://esab.com/br/sam_pt/products-solutions/filler-metals-pdf/?filename=mdm-productfamily-11954&siteid=sam_pt&countryname=BRA&countrylocale=pt-br. Acesso em: 2 dez. 2024.

FBTS – Fundação Brasileira de Tecnologia da Soldagem. Disponível em: <https://www.fbts.org.br>. Acesso em: 2 dez. 2024.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *ISO 10474:2013 – Steel and steel products — Inspection documents*. 2. ed. Geneva: ISO, 2013.

LEITE, Antônio Carlos. *Interpretação das normas de qualificação de procedimento de fabricação para o processo de eletrodo revestido, conforme as normas: ASME IX, API 1104 e AWS D1.1*. 2013. 62 f. Monografia (Graduação em Engenharia de Soldagem) – Instituto Mauá de Tecnologia, Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, 2013.

MARQUES, P. V.; MODENESI, P. J.; BRACARENSE, A. Q. *Soldagem: Fundamentos e Tecnologia*. 3. ed. atual. São Paulo: Edgard Blücher, 2009.

MOSALLAEE, M.; HYDARI, J.; GHASSEMY, S.; MASHREGHEE, A. Effect of E8010-P1 electrode composition on the weld metal properties. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, v. 111–112, p. 75–81, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijpvp.2013.05.004>.

ODEBIYI, Oluwasegun S.; ADEDAYO, Segun M.; TUNJI, Lawal A.; ONUORAH, Martins O. A review of weldability of carbon steel in arc-based welding processes. *Cogent Engineering*, v. 6, n. 1, p. 1–32, 2019. DOI: 10.1080/23311916.2019.1609180.

PETROBRAS. *N 464 – Construção, Montagem e Condicionamento de Duto Terrestre*. Rev. K, 2. ed. 2016.

PATEL, Varun. *Qual é a diferença entre tubos PSL1 e PSL2?* HardHat Engineer. Disponível em: <https://hardhatengineer.com/difference-between-psl1-vs-psl2-pipes/>. Acesso em: 2 dez. 2024.

RODRIGUES, A. C. M. *Aplicação de processo hierárquico na escolha de traçados de dutovias*. Paraná: Instituto de Engenharia de Tecnologia, Departamento de Engenharia, 2009.

RODRIGUES, Clóvis Ribeiro; CERSOSIMO, Arno Giuseppe. *Soldagem na Indústria do Petróleo*. Rio de Janeiro: Eadtech, 2022.

SGOBBI, Alexandre Amaral. *Caracterização mecânica e microestrutural de juntas tubulares soldadas em aço API 5L Grau B com base na norma Petrobrás N-2301*. 2015. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear – Materiais) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015. DOI: 10.11606/D.85.2015.tde-21072015-104725.

SILVA, Ana Carla S.; ARAÚJO, Helen R.; MACENA, Vagner A.; MORENO, João R. S.; VICENTE, André A.; HERMENEGILDO, Tahiana F. C.; SANTOS, Tiago F. A. *Aplicação da metodologia para qualificação de procedimentos de soldagem de tubulações industriais conforme parâmetros dos códigos ASME B31.3 e ASME SECTION IX*. *Soldagem & Inspeção*, v. 24, p. e2423, 2019. DOI: 10.1590/0104-9224/SI24.23.

SILVA, Bruno Eduardo Souza; PEREIRA, Wanderley Xavier. *Estudo da influência de eletrodos revestidos nas características geométricas e metalúrgicas das juntas soldadas pelo processo SMAW*. In: VI Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, Campina Grande, 18–21 ago. 2010. Anais [...]. Campina Grande: [s.n.], 2010. p. 1–12.

TALABI, S. I.; OWOLABI, O. B.; ADEBISI, J. A.; YAHAYA, T. Effect of welding variables on mechanical properties of low carbon steel welded joint. *Advances in Production Engineering & Management*, Maribor, v. 9, n. 4, p. 181–186, 2014. DOI: 10.14743/apem2014.4.186.

TREMARIN, R. C.; PRAVIA, Z. M. C. *Previsões de vida fadiga segundo normas técnicas: uma revisão crítica*. Revista Soldagem & Inspeção, v. 3, p. 281–299, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/0104-9224/SI2203.06>. Acesso em: 22 jan. 2025.

VILLANI, Paulo; JOSÉ, Paulo; QUEIROZ, Alexandre. *Soldagem: fundamentos e tecnologia*. 3. ed. atual. Belo Horizonte: UFMG, 2009.

APÊNDICE A



Confab Industrial S/A
Av. Gasão Vidigal Neto, 475
(12414-900) Cidade Nova
Pindamonhangaba SP, Brasil
+55 12 3844-8040 tel
+55 12 3844-9384 fax

MILL TEST CERTIFICATE

EN 10204 3.1 - ISO 10474 3.1

Customer / Cliente: BAHIAGAS	Customer's Order / Ordem Cliente 3000002992 Item:1	Customer's Reference / Referência do cliente N/A	Manufacturer's Works Order Nº / Ordem de Fornecimento Nº 50029 01 001
Manufacture Process / Processo de fabricação: HFW	Product Type / Tipo de produto: TUBO BISELADO COM REV. EXTERNO		Surface / Superfície: Coated
Standard or Specification / Normas ou especificações: API 5L-2018	Steel Grade / Grau do aço: X65M-PSL2		Revestido BISELADO
Dimensions / Dimensões: 16.000 X 0.287 in 406.4 X 7.3 mm	Schedule / Schedule: N/A	Quantity / Quantidade: 1995 Pcs/pes 79 477.67 ft 24 223.55 m	Nominal Weight / Peso Nominal: 50.26 lb/ft 74.80 kg/m

DELIVERY NOTES / NOTAS DE ENTREGA

Delivery Notes

Packing List(s): 20240079 / 0, 20240080 / 0,

TENSILE TEST / ENSAIO DE TRACÇÃO

Heat Nº Corrida Nº	Sample Nº Amostra Nº	Zone Zona	Lot Nº Lote Nº	Specimen condition Condição corpo de prova			Specimen dimensions Dimensões corpo de prova			Test Temp do teste	Y.S. Offset % Min: 450 Max: 600	UTS. Min: 535 Max: 760	Y.5.UTS. Req. Max: 0.93	Elongation / Alongamento						
				Pipe Nº Tubo Nº	Ls	Sc	Type Tipo	Ori	Size Tamanho					Area Seção	mm2	°C	MPa	mm	%	%
27183332J	312715	1	1 - 100	23.1.097104	E.M.	A.M.	Ss	T	39.022 x 7,82	306,3	RT	651	0.79	50,8	21,0	26,0				
27183337J	304747	1	1 - 100	23.1.067504	E.M.	A.M.	Ss	T	38,87 x 7,80	303,2	RT	503	0.79	50,8	21,0	25,0				
27183337J	304764	1	1 - 100	23.1.083810	E.M.	A.M.	Ss	T	38,88 x 7,71	299,8	RT	511	0.78	50,8	21,0	25,0				
27183339J	304766	1	1 - 100	23.1.067404	E.M.	A.M.	Ss	T	38,86 x 7,79	302,7	RT	524	0.80	50,8	21,0	25,0				
27183339J	305621	1	1 - 100	23.1.083911	E.M.	A.M.	Ss	T	38,86 x 7,72	301,2	RT	510	0.78	50,8	21,0	25,0				
27183340J	305665	1	1 - 100	23.1.083904	E.M.	A.M.	Ss	T	38,87 x 7,79	302,8	RT	514	0.78	50,8	21,0	26,0				
27183340J	313611	1	1 - 100	23.1.102204	E.M.	A.M.	Ss	T	38,97 x 7,93	309,0	RT	493	0.79	50,8	21,0	26,0				
27183341J	304744	1	1 - 100	23.1.067804	E.M.	A.M.	Ss	T	38,85 x 7,78	302,3	RT	496	0.81	50,8	21,0	27,0				
27183341J	313614	1	1 - 100	23.1.103104	E.M.	A.M.	Ss	T	38,89 x 7,93	308,4	RT	509	0.82	50,8	21,0	25,0				
27183906J	313601	1	1 - 100	23.1.100604	E.M.	A.M.	Ss	T	38,89 x 7,97	310,0	RT	510	0.79	50,8	21,0	24,0				
27183906J	313606	1	1 - 100	23.1.102110	E.M.	A.M.	Ss	T	38,91 x 7,99	310,9	RT	481	0.77	50,8	21,0	27,0				
27183907J	313597	1	1 - 100	23.1.100204	E.M.	A.M.	Ss	T	38,90 x 7,98	310,4	RT	530	0.84	50,8	21,0	26,0				
27183908J	313438	1	1 - 100	23.1.109812	E.M.	A.M.	Ss	T	38,91 x 7,92	309,3	RT	522	0.81	50,8	21,0	22,0				
27183908J	313593	1	1 - 100	23.1.099904	E.M.	A.M.	Ss	T	38,98 x 7,98	311,1	RT	507	0.79	50,8	21,0	26,0				

This certificate is issued by a computerized system and it is valid with electronic signature. On the original certificate the trade-mark green colored "Tenaris" is stamped. In case the owner of the original certificate would release a copy of it, he must attest its conformity to the original one taking upon himself the responsibility for any unlawful or not allowed use. Any alteration and/or falsification will be subjected to the law.

Este certificado é emitido mediante sistema computadorizado e é validado com assinatura eletrônica. O certificado possui impresso o logo Tenaris na cor verde. No caso em que o possuidor do certificado entregar uma cópia, deverá garantir a conformidade com o original tornando-se responsável por qualquer uso ilegal ou indesejado. Qualquer alteração e/ou falsificação estará sujeita a sanção da lei.



Confab Industrial S/A
Av. Gaudêncio Vidal Neto, 475
(12414-000) Cidade Nova
Piedade Mogiana SP, Brasil
+55 12 3644-9040 tel
+55 12 3644-9384 fax

MILL TEST CERTIFICATE

EN 10204 3.1 - ISO 10474 3.1

Customer / Cliente: COMPANHIA DE GAS DE MINAS GERAISGSMIG		Customer's Order / Ordem Cliente: 4500046829 Item: 4		Customer's Reference / Referência do cliente: N/A		Manufacturer's Works Order N° / Ordem de Fornecimento N°: 50003 04 001	
Manufacture Process / Processo de fabricação: ERW HFC		Product Type / Tipo de produto: TUBO NU (BISELADO)		Surface / Superfície: Bare Pipe		Surface / Superfície: Tubo Nu	
Standard or Specification / Normas ou especificações: API 5L-2018		Steel Grade / Grau do aço: X65M-PSL2		Ends / Extremidades: BVL 37,5 D. (B16.25 4)			
Dimensions / Dimensões: 16.000 X 0.280 in 406.4 X 7.1 mm		Length / Comprimento: 39.37 ft 12.00 m		Quantity / Quantidade: 13 Pcs/pes 520.43 ft 158.62 m		Nominal Weight / Peso Nominal: 46.98 lb/ft 69.91 kg/m	
Schedule / Schedule: N/A							

DELIVERY NOTES / NOTAS DE ENTREGA

Delivery Notes	
Notas de Entrega	
Packing List(s): 202-40074 / 0.	

TENSILE TEST / ENSAIO DE TRAÇÃO

Heat N° Corrida N°	Sample N° Amostra N°	Zone Zona	Lot N° Lote N°	Pipe N° Tubo N°	Specimen condition Condição corpo de prova		Specimen dimensions Dimensões corpo de prova		Test Temp. do teste	Y.S. Offset 0.5% Min: 450 Max: 600		U.T.S. Req. Min: 535 Max: 760		Y.S./U.T.S. Req. Max. 0.93		Elongation / Alongamento Lo mm		Obt. % %	
					Ls	Sc	Type	Size Tamanho	Area Seção										
553893 U	301179	1	1 - 100	23 1 074304	B.M.	AM	Ss	T	39.00 x 7.10	276.9	R.T	490	640	0.77	50.8	21.0	23.0		
556055 U	302835	1	1 - 100	23 1 086005	B.M.	AM	Ss	T	38.88 x 7.02	272.9	R.T	517	681	0.76	50.8	21.0	25.0		
556058 U	302840	1	1 - 100	23 1 085812	B.M.	AM	Ss	T	38.80 x 7.51	291.4	R.T	467	606	0.77	50.8	21.0	28.0		
556228 U	302024	1	1 - 100	23 1 078704	B.M.	AM	Ss	T	38.95 x 7.09	276.2	R.T	498	661	0.75	50.8	21.0	28.0		

AM: As manufactured / Como fabricado	Min: Minimum / Mínimo	RT: Room Temperature / Temperatura ambiente	resistência
B.M.: Base metal / Metal base	Obt: Obtained / Obtido	Sc: Specimen condition / Condição corpo de prova	Y.S: Yield Strength / Limite de escoamento
Lo: Initial length / Comprimento inicial	Ori: Orientation / Orientação	Ss: Strip specimen / Corpo de prova retangular	
Ls: Location of sample / Localização da amostra	Req. Max: Required maximum / Máximo requerido	T: Transversal / Transversal	
Max: Maximum / Máximo	Req: Required / Requerido	U.T.S: Ultimate Tensile Strength / Limite de	

This certificate is issued by a computerized system and it is valid with electronic signature. On the original certificate the trade-mark green colored "Tenaris" is stamped. In case the owner of the original certificate would release a copy of it, he must attest its conformity to the original one taking upon himself the responsibility for any unlawful or not allowed use. Any alteration and/or falsification will be subjected to the law.

Este certificado é emitido mediante sistema computadorizado e é validado com assinatura eletrônica. O certificado possui impresso o logo Tenaris na cor verde. No caso em que o possuidor do certificado entregasse uma cópia, deverá garantir a conformidade com o original tornando-se responsável por qualquer uso ilegal ou não autorizado. Qualquer alteração e/ou falsificação estará sujeita a aplicação da lei.



Cordoba Industrial S/A
Av. Gasão Vidigal Neto, 475
(12114-000) Cidreira, SP, Brazil
+55 12 3644-0040 tel
+55 12 3644-0284 fax

MILL TEST CERTIFICATE

EN 10204 3.1 - ISO 10474 3.1

Customer / Cliente: BAHAGAS		Product Type / Tipo de produto: External Coated Carbon Steel Pipes		Customer's Order / Referência do cliente: 3000002992 Item:1		Manufacturer's Works Order N° / Ordem de Fornecedor N°: 50029 01 001	
Manufacture Process / Processo de fabricação: HPW		Surface / Superfície: Coated		Revestimento BISELADO		Ends / Extremidades BISELADO	
Standard or Specification / Normas ou especificações: API 5L 2018		Steel Grade / Grau do aço: X65 - PS12		Quantity / Quantidade: 1061 Pcs/pes		Nominal Weight / Peso Nominal: 48.28 lb/ft 71.85 kg/m	
Dimensions / Dimensões: 16.000 X 0.287 in 406.4 X 7.3 mm		Length / Comprimento: 39.37 ft 12.00 m		Schedule / Schedule: N/A			

DELIVERY NOTES / NOTAS DE ENTREGA

Delivery Notes	
Notas de Entrega	

Delivery Lists / Avisos de Liberação: 202020383 / 1

TENSILE TEST / ENSAIO DE TRAÇÃO

Heat Nº Corrida Nº	Sample Nº Amostra Nº	Zone Zona	Lot Nº Lote Nº	Pipe Nº Tubo Nº	Specimen condition		Specimen dimensions		Test temp do teste °C	Y.S.		U.T.S.		Elongation / Alongamento					
					L5	Sc	Type Tipo	Ori		Size Tamanho	Area Seção	Offset %	Min: 450 Max: 600	Req. MPa	Min: 535 Max: 760	0.93	Lo mm	Min. %	Obt. %
27136332J	312715	1	1-100	231.097104	E.M.	AM	Ss	T	39.02 x 7.85	306.3	512	631	0.79	50.8	21.0	26.0			
27136337J	304747	1	1-100	231.087504	E.M.	AM	Ss	T	38.87 x 7.80	303.2	RT	637	0.79	50.8	21.0	23.0			
27136337J	304764	1	1-100	231.088810	E.M.	AM	Ss	T	38.88 x 7.71	299.8	RT	511	0.78	50.8	21.0	23.0			
27136339J	304756	1	1-100	231.087404	E.M.	AM	Ss	T	38.86 x 7.79	302.7	RT	524	0.80	50.8	21.0	23.0			
27136339J	306621	1	1-100	231.089411	E.M.	AM	Ss	T	38.86 x 7.75	301.2	RT	510	0.77	50.8	21.0	23.0			
27136340J	306665	1	1-100	231.089904	E.M.	AM	Ss	T	38.87 x 7.79	302.8	RT	514	0.78	50.8	21.0	26.0			
27136340J	313611	1	1-100	231.102504	E.M.	AM	Ss	T	38.97 x 7.93	309.0	RT	493	0.79	50.8	21.0	26.0			
27136341J	304744	1	1-100	231.087804	E.M.	AM	Ss	T	38.85 x 7.78	302.3	RT	496	0.77	50.8	21.0	27.0			
27136341J	313614	1	1-100	231.103104	E.M.	AM	Ss	T	38.89 x 7.93	308.4	RT	509	0.81	50.8	21.0	23.0			
27136360J	313601	1	1-100	231.100604	E.M.	AM	Ss	T	38.89 x 7.97	310.0	RT	510	0.81	50.8	21.0	23.0			
27136360J	313608	1	1-100	231.102110	E.M.	AM	Ss	T	38.91 x 7.99	310.9	RT	481	0.77	50.8	21.0	27.0			
27136360J	313397	1	1-100	231.100204	E.M.	AM	Ss	T	38.90 x 7.98	310.4	RT	530	0.84	50.8	21.0	26.0			
27136360J	313348	1	1-100	231.109812	E.M.	AM	Ss	T	38.91 x 7.95	309.3	RT	522	0.81	50.8	21.0	22.0			
27136360J	313393	1	1-100	231.099904	E.M.	AM	Ss	T	38.93 x 7.98	311.1	RT	507	0.79	50.8	21.0	26.0			

This certificate is issued by a computerized system and it is valid with electronic signature. On the original certificate the trade-mark green colored "Tenaris" is stamped. In case the owner of the original certificate would release a copy of it, he must attest its conformity to the original one taking upon himself the responsibility for any unlawful or not allowed use. Any alteration and/or falsification will be subjected to the law.

Este certificado é emitido mediante sistema computadorizado e é validado com assinatura eletrônica. O certificado possui impresso o logo Tenaris na cor verde. No caso em que o possuidor do certificado entregasse uma cópia, deverá garantir a conformidade com o original tornando-se responsável por qualquer uso ilegal ou indevido. Qualquer alteração e/ou falsificação estará sujeita a aplicação da lei.

APÊNDICE B



CERTIFICADO DA QUALIDADE
 Quality Certificate / Certificado de Calidad
 Conforme ASMESFA5.01/2021 Programa(Schedule) F

Produto : PIPEWELD 8010 PLUS 4,00 350,00 LT 20KG <i>Product/Producto</i>		Lote : VTX32E7558 <i>Heat Number/Produccion</i>		Data de Produção : 18.09.2023 <i>Date/Fecha de Production</i>	
Classificação : AWS A5.5-06 ASME SFA5.5/ 2021 E8010-P1 <i>Classification/Clasificación</i> 2021					
Corpos de Prova de Metal Depositado <i>All-Weld Metal Test Assemblies/Cuerpos de Prueba del Metal Depositado</i>					
Análise Química (%) <i>Chemical Analysis/Análisis Químico</i>					
C	Si	Mn	P	S	
0,100	0,074	0,490	0,011	0,007	
Cr	Ni	Mo	V	Nb	
0,021	0,960	0,480	0,005	0,002	
		Cu			
		0,015			
Propriedades Mecânicas Típicas <i>Typical Mechanical Properties / Propiedades Mecánicas Típicas</i>					
Resistência a Tração (MPa)/Tensile Strength/Resistencia a la Traccion			630		
Limite de Escoamento (MPa)/Yield Strength/Limite de Fluencia			560		
Alongamento (%) /Elongation/Alargamiento			25		
Teste de Impacto CHARPY-V (J)/Impact Test/Ensayo de Impacto			50		
Temperatura (°C)/Temperature/Temperatura			-30		
Teste de Filete <i>Filet Weld Test / Ensayo de Filete</i>					
ATENDE AOS REQUISITOS SATISFY THE REQUIREMENTS ATIENDE A LOS REQUISITOS					
Qualidade Radiográfica <i>Radiographic Test/Calidad Radiográfica</i>					
GRAU 2	GRADE 2	GRADO 2			
Observações <i>Observations/Observaciones</i>					
GIN NUMBER 2P80403B40					

RONALD REQUEJO
 ESAB Indústria e Comércio Ltda.
 Controle de Qualidade Consumíveis
Quality Control / Control de la Calidad



CERTIFICADO DA QUALIDADE
Quality Certificate / Certificado de Calidad
Conforme ASMESFA5.01/2021 Programa(Schedule) G

Produto : OK 22.45P 3,25 350,00 LT 20KG <i>Product/Producto</i> Lote : VTX26E7000 <i>Heat Number/Produccion</i> Classificação : <i>Classification/Clasificación</i> AWS A5.1-04 ASME SFA5.1/ 2021 E6010 2021		Data de Produção : 29.06.2023 <i>Date/Fecha de Produccion</i>
Corpos de Prova de Metal Depositado <i>All-Weld Metal Test Assemblies/Cuerpos de Prueba del Metal Depositado</i>		
Análise Química (%) <i>Chemical Analysis/Análisis Químico</i>		
C	Si	Mn
0,074	0,140	0,280
Cr	Ni	Mo
0,022	0,020	0,005
P	S	V
0,012	0,009	0,016
Propriedades Mecânicas Típicas <i>Typical Mechanical Properties / Propiedades Mecánicas Típicas</i>		
Resistência a Tração (MPa)/Tensile Strength/Resistência a la Traccion	480	
Limite de Escoamento (MPa)/Yield Strength/Limite de Fluencia	380	
Alongamento (%) /Elongation/Alargamiento	30	
Teste de Impacto CHARPY-V (J)/Impact Test/Ensayo de Impacto	60	
Temperatura (°C)/Temperature/Temperatura	-30	
Teste de Filete <i>Filler Weld Test / Ensayo de Filete</i>		
ATENDE AOS REQUISITOS SATISFY THE REQUIREMENTS ATIENDE A LOS REQUISITOS		
Qualidade Radiográfica <i>Radiographic Test/Calidad Radiográfica</i>		
GRAU 2	GRADE 2	GRADO 2


RONALD REQUEJO
ESAB Indústria e Comércio Ltda.
 Controle de Qualidade Consumíveis
Quality Control / Control de la Calidad



CERTIFICADO DA QUALIDADE
Quality Certificate / Certificado de Calidad
Conforme ASMESFA5.01/2023 Programa(Schedule) G

Produto : OK 22.45P 3,25 350,00 LT 20KG

Product/Producto

Lote : VTY03E9499

Batch Number/Produccion

Classificação :

Classification/Clasificación

AWS A5.1-04 ASME SFA5.1/ 2023 E6010

2021

Data de Produção : 16.01.2024

Date/Fecha de Produccion

Corpos de Prova de Metal Depositado
All-Weld Metal Test Assemblies/Cuerpos de Prueba del Metal Depositado

Análise Química (%)
Chemical Analysis/Análisis Químico

C	Si	Mn	P	S
0,074	0,140	0,280	0,012	0,009
Cr	Ni	Mo	V	
0,022	0,020	0,005	0,016	

Propriedades Mecânicas Típicas
Typical Mechanical Properties / Propiedades Mecánicas Típicas

Resistência a Tração (MPa)/Tensile Strength/Resistencia a la Traccion	480
Limite de Escoamento (MPa)/Yield Strength/Limite de Fluencia	380
Alongamento (%) /Elongation/Alargamiento	30
Teste de Impacto CHARPY-V (J)/Impact Test/Ensayo de Impacto	60
Temperatura (°C)/Temperature/Temperatura	-30

Teste de Filete
Fillet Weld Test / Ensayo de Filete

ATENDE AOS REQUISITOS SATISFY THE REQUIREMENTS ATIENDE A LOS REQUISITOS

Qualidade Radiográfica
Radiographic Test/Calidad Radiográfica

GRAU 2

GRADE 2

GRADO 2

RONALD REQUEJO
ESAB Indústria e Comércio Ltda.
Controle de Qualidade Consumíveis
Quality Control / Control de la Calidad



CONSTRUTORA ELEVACAO LTDA

CNPJ: 77.167.203/0011-73

A/C. PEDRO SILVA

Telefone(s):

Celular:

e-Mail:

Ref.: Seu Pedido/Cotação

Conforme solicitado, estamos apresentando nossa proposta comercial.

COTAÇÃO DE VENDA CORPORATE

0638972

CAMPINAS, 28 de janeiro de 2025

Endereço: ROD BA 420 KM 04 SN TERRENO 03, S/N

Bairro: NOVA POJUCA

CEP 48120-000 - POJUCA - BA

Item	Qtde	Solic	Qtde	Atend	Código	Descrição	Produto	UN	N.C.M.	Entrega	Preço	Unit.	%Red	BC	ICMS	%	IPI	%	Valor	IPI	Valor	ICMS	ST	FCP	ST	Valor	Total	
1	20,000		20,000		19372	HYD - ELETRODO	E6010 3,2MM S-6010.D 5KG -	KG	8311.10.00		22,00		0,00		0,00		4,00		6,50		28,60		0,00		0,00		468,60	
2	20,000		20,000		12084	ESB - ELETRODO	PIPEWELD 8010 PLUS 4,00X350MM LT 20KG - 0304549 -	KG	8311.10.00		69,60		0,00		0,00		7,00		6,50		90,48		0,00		0,00		1.482,48	

Notas:

FATURAMENTO MINIMO: ACIMA DE R\$ 250,00 (MEDIANTE APROVAÇÃO CADASTRAL).

VALIDADE DESTA: 03 DIAS

A PREVISÃO DE ENTREGA CONTA A PARTIR DA DATA DE RECEBIMENTO DO PEDIDO

PREVISÃO DE ENTREGA: IMEDIATO (SALVO VENDA PRÉVIA)

PREÇO SUJEITO A ALTERAÇÃO ATÉ A DATA DO FATURAMENTO

VL DIFAL DEVIDO BA R\$: 277,45

Observações Simples

Condições Comerciais:

Validade desta proposta: 31/01/2025

Previsão de Entrega:

Frete:

Forma de Pag: 30 DIAS

Destinatário

Resumo dos Valores:

Total Mercadorias	R\$	1.832,00
Total Serviços	R\$	0,00
BASE ICMS	R\$	1.951,08
ICMS	R\$	122,51
IPI	R\$	119,08
ICMS ST	R\$	0,00
FCP ST	R\$	0,00
Frete/Transporte	R\$	0,00
TOTAL	R\$	1.951,08

Cancelamento

"Fica estabelecido entre as partes, dadas as características especiais deste pedido de compra, que este, uma vez aceito, não pode em nenhuma hipótese ser cancelado, nos termos do artigo 492, parágrafo 2º, do Código Civil."

ANGELICA MAXIELY

Depto. Vendas

angelica.maxiely@alumaq.com.br

ALUMAQ LOCAÇÃO E COMÉRCIO DE MÁQUINAS DE SOLD A LTDA

RUA TEN CEL WALDOMIRO V. FERREIRA, 334 - SP - CEP: 13082-730 - CNPJ: 46.991.618/0001-61 - TEL: (19) 3754-8600

		Identificação do emitente CONSTRUTORA ELEVACAO LTD A AV MUNHOZ DA ROCHA, 213 JUVENIL, Cep:80030-475 CURITIBA/PR Fone: 554121069900		DANFE DOCUMENTO AUXILIAR DA NOTA FISCAL ELETRÔNICA 0-ENTRADA 1-SAÍDA N. 000008413 SÉRIE 1 FOLHA 01/01		 CHAVE DE ACESSO DA NF-E 4124 0277 1672 0300 0100 5500 1000 0084 1313 8030 4126 Consulta de autenticidade no portal nacional da NF-e www.nfe.fazenda.gov.br/portal ou no site da SEFAZ Autorizada																													
NATUREZA DA OPERAÇÃO TRANSFERENCIA DE MATERIAL DE USO OU CONSUMO						PROTOCOLO DE AUTORIZAÇÃO DE USO 141240661173679 28/02/2024 17:33:46-03:00																													
INSCRIÇÃO ESTADUAL 1013738943		INSC. ESTADUAL DO SUBST. TRIB.		CNPJ/CPF 77.167.203/0001-00																															
DESTINATÁRIO/REMETENTE NOME/RAZÃO SOCIAL CONSTRUTORA ELEVACAO LTDA		CNPJ/CPF 77.167.203/0001-00		DATA DE EMISSÃO 28/02/2024																															
ENDEREÇO AV MUNHOZ DA ROCHA, 213		BAIRRO/DISTRITO JUVENIL		CEP 80030-475		DATA ENTRADA/SAÍDA 28/02/2024																													
MUNICÍPIO CURITIBA		FONE/FAX 21069900		UF PR		HORA ENTRADA/SAÍDA 17:31:00																													
INSCRIÇÃO ESTADUAL 1013738943																																			
<table border="1"> <tr> <td>VALOR DO ICMS</td> <td>0,00</td> <td>BASE DE CÁLCULO DO ICMS SUBSTITUIÇÃO</td> <td>0,00</td> <td>VALOR DO ICMS SUBSTITUIÇÃO</td> <td>0,00</td> <td>VALOR TOTAL DOS PRODUTOS</td> <td>8.866,00</td> </tr> <tr> <td>VALOR DO FRETE</td> <td>0,00</td> <td>VALOR DO SEGURO</td> <td>0,00</td> <td>DESKONTO</td> <td>0,00</td> <td>OUTRAS DESPESAS ACESSÓRIAS</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td>VALOR DO IPI</td> <td>0,00</td> <td>VALOR TOTAL DA NOTA</td> <td colspan="5">8.866,00</td> </tr> </table>								VALOR DO ICMS	0,00	BASE DE CÁLCULO DO ICMS SUBSTITUIÇÃO	0,00	VALOR DO ICMS SUBSTITUIÇÃO	0,00	VALOR TOTAL DOS PRODUTOS	8.866,00	VALOR DO FRETE	0,00	VALOR DO SEGURO	0,00	DESKONTO	0,00	OUTRAS DESPESAS ACESSÓRIAS	0,00	VALOR DO IPI	0,00	VALOR TOTAL DA NOTA	8.866,00								
VALOR DO ICMS	0,00	BASE DE CÁLCULO DO ICMS SUBSTITUIÇÃO	0,00	VALOR DO ICMS SUBSTITUIÇÃO	0,00	VALOR TOTAL DOS PRODUTOS	8.866,00																												
VALOR DO FRETE	0,00	VALOR DO SEGURO	0,00	DESKONTO	0,00	OUTRAS DESPESAS ACESSÓRIAS	0,00																												
VALOR DO IPI	0,00	VALOR TOTAL DA NOTA	8.866,00																																
TRANSPORTADOR/VOLUMES TRANSPORTADOS RAZÃO SOCIAL TP TRANS LTDA ENDEREÇO AV SVO JOSO 59 QUANTIDADE 1 ESPÉCIE VOLUME 1																																			
FRETE POR CONTA 1-DESTINATÁRIO		CÓDIGO ANTT		PLACA DO VEÍCULO		UF																													
MUNICÍPIO CONTAGEM		UF MG		INSCRIÇÃO ESTADUAL 1863279610055		CNPJ/CPF 22.742.043/0001-85																													
MARCA		NUMERAÇÃO		PESO BRUTO 212,000		PESO LÍQUIDO 212,000																													
<table border="1"> <tr> <th>COD. PROD</th> <th>DESCRIÇÃO DO PROD/SERV.</th> <th>NCM/SH</th> <th>CST</th> <th>CFOP</th> <th>UN</th> <th>QUANT.</th> <th>V.UNITARIO</th> <th>V.TOTAL</th> <th>BC.ICMS</th> <th>V.ICMS</th> <th>V.IPI</th> <th>A.ICMS</th> <th>A.IPI</th> </tr> <tr> <td>EL001104</td> <td>ELETRODO SOLDA, CELULOSICO, E8010, 5MM</td> <td>83111000</td> <td>041</td> <td>5557</td> <td>KG</td> <td>200,0000</td> <td>44,3300</td> <td>8.866,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00%</td> <td>0,00%</td> </tr> </table>								COD. PROD	DESCRIÇÃO DO PROD/SERV.	NCM/SH	CST	CFOP	UN	QUANT.	V.UNITARIO	V.TOTAL	BC.ICMS	V.ICMS	V.IPI	A.ICMS	A.IPI	EL001104	ELETRODO SOLDA, CELULOSICO, E8010, 5MM	83111000	041	5557	KG	200,0000	44,3300	8.866,00	0,00	0,00	0,00	0,00%	0,00%
COD. PROD	DESCRIÇÃO DO PROD/SERV.	NCM/SH	CST	CFOP	UN	QUANT.	V.UNITARIO	V.TOTAL	BC.ICMS	V.ICMS	V.IPI	A.ICMS	A.IPI																						
EL001104	ELETRODO SOLDA, CELULOSICO, E8010, 5MM	83111000	041	5557	KG	200,0000	44,3300	8.866,00	0,00	0,00	0,00	0,00%	0,00%																						

		Identificação do emitente CONSTRUTORA ELEVACAO LTD A AV MUNHOZ DA ROCHA, 213 JUVENIL, Cep:80030-475 CURITIBA/PR Fone: 554121069900		DANFE DOCUMENTO AUXILIAR DA NOTA FISCAL ELETRÔNICA 0-ENTRADA 1-SAÍDA N. 000008774 SÉRIE 1 FOLHA 01/01		 CHAVE DE ACESSO DA NF-E 4124 0677 1672 0300 0100 5500 1000 0087 7414 2814 8656 Consulta de autenticidade no portal nacional da NF-e www.nfe.fazenda.gov.br/portal ou no site da SEFAZ Autorizada																													
NATUREZA DA OPERAÇÃO TRANSFERENCIA DE MATERIAL DE USO OU CONSUMO						PROTOCOLO DE AUTORIZAÇÃO DE USO 141240163607967 04/06/2024 11:50:30-03:00																													
INSCRIÇÃO ESTADUAL 1013738943		INSC. ESTADUAL DO SUBST. TRIB.		CNPJ/CPF 77.167.203/0001-00																															
DESTINATÁRIO/REMETENTE NOME/RAZÃO SOCIAL CONSTRUTORA ELEVACAO LTDA		CNPJ/CPF 77.167.203/0001-00		DATA DE EMISSÃO 04/06/2024																															
ENDEREÇO AV MUNHOZ DA ROCHA, 213		BAIRRO/DISTRITO JUVENIL		CEP 80030-475		DATA ENTRADA/SAÍDA 04/06/2024																													
MUNICÍPIO CURITIBA		FONE/FAX 21069900		UF PR		HORA ENTRADA/SAÍDA 11:49:00																													
INSCRIÇÃO ESTADUAL 1013738943																																			
<table border="1"> <tr> <td>VALOR DO ICMS</td> <td>0,00</td> <td>BASE DE CÁLCULO DO ICMS SUBSTITUIÇÃO</td> <td>0,00</td> <td>VALOR DO ICMS SUBSTITUIÇÃO</td> <td>0,00</td> <td>VALOR TOTAL DOS PRODUTOS</td> <td>29.380,00</td> </tr> <tr> <td>VALOR DO FRETE</td> <td>0,00</td> <td>VALOR DO SEGURO</td> <td>0,00</td> <td>DESKONTO</td> <td>0,00</td> <td>OUTRAS DESPESAS ACESSÓRIAS</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td>VALOR DO IPI</td> <td>0,00</td> <td>VALOR TOTAL DA NOTA</td> <td colspan="5">29.380,00</td> </tr> </table>								VALOR DO ICMS	0,00	BASE DE CÁLCULO DO ICMS SUBSTITUIÇÃO	0,00	VALOR DO ICMS SUBSTITUIÇÃO	0,00	VALOR TOTAL DOS PRODUTOS	29.380,00	VALOR DO FRETE	0,00	VALOR DO SEGURO	0,00	DESKONTO	0,00	OUTRAS DESPESAS ACESSÓRIAS	0,00	VALOR DO IPI	0,00	VALOR TOTAL DA NOTA	29.380,00								
VALOR DO ICMS	0,00	BASE DE CÁLCULO DO ICMS SUBSTITUIÇÃO	0,00	VALOR DO ICMS SUBSTITUIÇÃO	0,00	VALOR TOTAL DOS PRODUTOS	29.380,00																												
VALOR DO FRETE	0,00	VALOR DO SEGURO	0,00	DESKONTO	0,00	OUTRAS DESPESAS ACESSÓRIAS	0,00																												
VALOR DO IPI	0,00	VALOR TOTAL DA NOTA	29.380,00																																
TRANSPORTADOR/VOLUMES TRANSPORTADOS RAZÃO SOCIAL EMIOLOG - EMPRESA MINEIRA DE LOGISTICA LT ENDEREÇO R TOYOTA, 709 QUANTIDADE 1 ESPÉCIE PALLET																																			
FRETE POR CONTA 1-DESTINATÁRIO		CÓDIGO ANTT		PLACA DO VEÍCULO		UF																													
MUNICÍPIO BETIM		UF MG		INSCRIÇÃO ESTADUAL 0027382840077		CNPJ/CPF 08.215.472/0001-73																													
MARCA		NUMERAÇÃO		PESO BRUTO 1030,000		PESO LÍQUIDO 1000,000																													
<table border="1"> <tr> <th>COD. PROD</th> <th>DESCRIÇÃO DO PROD/SERV.</th> <th>NCM/SH</th> <th>CST</th> <th>CFOP</th> <th>UN</th> <th>QUANT.</th> <th>V.UNITARIO</th> <th>V.TOTAL</th> <th>BC.ICMS</th> <th>V.ICMS</th> <th>V.IPI</th> <th>A.ICMS</th> <th>A.IPI</th> </tr> <tr> <td>EL0011403</td> <td>ELETRODO SOLDA, BASICO, E8010, 4MM</td> <td>83111000</td> <td>041</td> <td>5557</td> <td>KG</td> <td>1.000,000</td> <td>29,3800</td> <td>29.380,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00%</td> <td>0,00%</td> </tr> </table>								COD. PROD	DESCRIÇÃO DO PROD/SERV.	NCM/SH	CST	CFOP	UN	QUANT.	V.UNITARIO	V.TOTAL	BC.ICMS	V.ICMS	V.IPI	A.ICMS	A.IPI	EL0011403	ELETRODO SOLDA, BASICO, E8010, 4MM	83111000	041	5557	KG	1.000,000	29,3800	29.380,00	0,00	0,00	0,00	0,00%	0,00%
COD. PROD	DESCRIÇÃO DO PROD/SERV.	NCM/SH	CST	CFOP	UN	QUANT.	V.UNITARIO	V.TOTAL	BC.ICMS	V.ICMS	V.IPI	A.ICMS	A.IPI																						
EL0011403	ELETRODO SOLDA, BASICO, E8010, 4MM	83111000	041	5557	KG	1.000,000	29,3800	29.380,00	0,00	0,00	0,00	0,00%	0,00%																						

Identificação do Emittente FERIMPORT COMERCIO, REP. IMPORTACAO L AV JORGE AMADO - S/N - NOVA VITORIA - CAMACARI - BA - 42802373 Telefone: 71 3621-6400 Fax: E-mail: ferimport@ferimport.com.br		DANF-e Documento Auxiliar da Nota Fiscal Eletrônica 0 - ENTRADA 1 - SAÍDA Nº. 652476 SÉRIE 0 FL. 1 of 1		 CHAVE DE ACESSO 2924 0301 7913 2400 0158 5500 0000 6524 7613 1107 1420 Consulta de autenticidade no portal nacional da NF-e www.nfe.fazenda.gov.br/portal									
NATURA DA OPERAÇÃO VENDA DE MERCADORIAS SUJEITA AO REGIME DE S.T. - SUBSTITUIDO			Protocolo de Autorização (Data e Hora) 129240749734061 20/03/2024 08:26:18										
INSCRIÇÃO ESTADUAL 46259833		INSC. EST. DO SUBST. TRIBUTÁRIO		CNPJ 01791324000158									
DESTINATÁRIO/REMETENTE													
NOME/RAZÃO SOCIAL CONSTRUTORA ELEVACAO LTDA				CNPJ/CPF 77167203001173									
ENDEREÇO ROD BA 420 KM 04 SN TERRENO 03 PQE DE 1 S/N				BAIRRO/DISTRITO NOVA POJUCA									
MUNICÍPIO POJUCA		FONE / FAX 41) 2106-9900		CEP 48120000									
INSCRIÇÃO ESTADUAL ISENTA				DATA DA EMISSÃO 20/03/2024									
Fatura Nº 1 Valor 919,00				DATA DA ENTRADA/SAÍDA 20/03/2024									
CÁLCULO DO IMPOSTO													
BASE DE CÁLCULO DO ICMS 0,00		VALOR DO ICMS 0,00		VALOR TOTAL DOS PRODUTOS 919,00									
VALOR DO FRETE 0,00		VALOR DO SEGURO 0,00		VALOR TOTAL DA NOTA 919,00									
VALOR DO DESCONTO 0,00		OUTRAS DESPESAS ACESSÓRIAS 0,00		VALOR DO IPI 0,00									
TRANSPORTADOR/VOLUMES TRANSPORTADOS													
RAZÃO SOCIAL LOGRADOURO		FRETE POR CONTA 0 - Remetente(CIF)		CNPJ/CPF 77.167.203/0011-73									
QUANTIDADE 1		ESPECIE MARCA		INSCRIÇÃO ESTADUAL									
MUNICÍPIO POJUCA		BAIRRO/DISTRITO NOVA POJUCA		CEP 48120000									
FONE / FAX		UF BA											
INFORMAÇÕES DO LOCAL DE ENTREGA													
RAZÃO SOCIAL		CNPJ/CPF 77.167.203/0011-73		INSCRIÇÃO ESTADUAL									
ENDEREÇO ROD BA 420 KM 04 SN TERRENO 03 PQE DE 1 S/N		BAIRRO/DISTRITO NOVA POJUCA		CEP 48120000									
MUNICÍPIO POJUCA		UF BA		FONE / FAX									
DADOS DO PRODUTO/SERVIÇOS													
Código	DESCRIÇÃO DO PRODUTO/SERVIÇO	NCM/SH	CST	CFOP	UND	QTD	V. UN.	V. TOTAL	BC. ICMS	V. ICMS	V. IPI	AL. ICMS	AL. IPI
5520300	ELÉTRICO OK 2245P 3,25 MM 20KG 6010	83111000	060	5405	KG	20	45,95	919,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FIM DOS PRODUTOS													

APÊNDICE D



JC Laboratórios Ltda.

1. IDENTIFICAÇÃO

Via das Torres, 646, G-07A, CIA-Sul, Simões Filho-Ba. CEP 43700-000, Telefax: (71)3594-9017/9192
CNPJ nº 05.119.189/0001-50, Inscrição Municipal nº 0006388.

Site: www.jclaboratorios.com.br

e-mail: jailson@jclaboratorios.com.br

Página 1 de 2

RELATÓRIO DE ENSAIOS Nº 467/24 Rev: 00

Empresa interessada	CONSTRUTORA ELEVAÇÃO
Natureza do trabalho	ENSAIO DE DOBRAMENTO, TRAÇÃO, NICK BREAK, MACROGRAFIA, DUREZA E IMPACTO
Contato / Solicitação	Carlos Lopes / Orçamento JCLAB nº 190/24 Rev.03
Orçamento JCLAB nº	190/24 Rev.03
Amostra / Identificação	Tubo soldado Ø 10" x 5,5 mm / LB-01
Quantidade	1,0 CP
Data de recebimento	23/04/2024

Informações fornecidas pelo interessado sobre o material ensaiado:

Descrição / Identificação	Tubo soldado Ø 10" x 5,5 mm / LB-01
Processo de soldagem	ER
Consumível	E 8010- P1 (Enchimento e acabamento) + E 6010 (Raiz)
Material de base	API L Gr. X65
Posição de soldagem	Tubo a 45°
Soldador /sinete	Sem ref
Metodologia	Norma utilizada para retirada, usinagens e ensaios dos cp's: API 1104-2021 / N464
Obs.:	Ensaio foram testemunhados e aprovados pelo Sr. Luciano dos Santos Belo

2. RESULTADOS

2.1- ENSAIO DE DOBRAMENTO - De acordo com a Instrução Técnica JCLAB: IT - 006 Rev 0.

Maq.utilizada no ensaio: Tinius Olsen - TAG-JC-TRA-01

Paquímetro utilizado: JC-PQ-001

Data dos ensaios: 04/06/2024

Diâmetro do cutelo (mm): 89,0

Distância entre roletes (mm): 110,0

Cert.de aferição (Data): CAVMAN nº 106C/24 (01/02/2024)

Cert.de aferição (Data): CAVMAN nº 111C/24 (23/02/2024)

Metodologia: AAPI 1104-2021

Ângulo (Grau) = 180°

Temperatura: Ambiente

CP Nº	Espessura (mm)	Largura (mm)	Posição	Resultados	Laudo
DF1	5,2	25,2	Face	Isento de descontinuidade	Aprovado
DR1	5,0	25,2	Raiz	Isento de descontinuidade	Aprovado
DF2	5,2	25,3	Face	Isento de descontinuidade	Aprovado
DR2	5,3	25,3	Raiz	Apresentou descontinuidade de 1,8 mm	Aprovado

2.2- ENSAIOS DE TRAÇÃO - De acordo com a Instrução Técnica JCLAB: IT - 005 Rev 0.

Maq.utilizada no ensaio: Tinius Olsen - TAG-JC-TRA-01

Paquímetro utilizado: JC-PQ-001

Data dos ensaios: 04/06/2024

Cert.de aferição (Data): CAVMAN nº 106C/24 (01/02/2024)

Cert.de aferição (Data): CAVMAN nº 111C/24 (23/02/2024)

Metodologia: API 1104-2021 Temperatura: Ambiente

CP nº	Espessura (mm)	Largura (mm)	Area (mm²)	CR Kgf	LR Kgf/mm²	LR MPa	Local de Ruptura
T1	5,40	25,30	136,62	8750	64,05	628,10	42,9 mm FS
T2	5,30	25,20	133,56	8725	65,33	640,66	55,8 mm FS

Obs.:
CR = Carga de ruptura
LR = Limite de resistência
FS = Fora da solda

2.3- ENSAIO DE NICK-BREAK (FRATURA) - De acordo com a Instrução Técnica JCLAB: IT - 011 Rev 0.

Maq.utilizada no ensaio: Tinius Olsen - TAG-JC-TRA-01

Paquímetro utilizado: JC-PQ-007

Data dos ensaios: 04/06/2024

Cert.de aferição (Data): CAVMAN nº 0241/23 (09/02/2023)

Cert.de aferição (Data): CAVMAN nº 0265/22 (10/02/2023)

Metodologia: API 1104 -2021

CP Nº	Espessura (mm)	Largura (mm)	Resultados	Laudo
NB1	5,0	25,0	Isento de descontinuidade	Aprovado
NB2	5,0	25,0	Isento de descontinuidade	Aprovado

Este laudo refere-se apenas às amostras apresentadas em nossos laboratórios, e somente pode ser reproduzido em sua totalidade.
As amostras serão arquivadas por um período de no máximo 15 dias.



Via das Torres, 646, G-07A, CIA-Sul, Simões Filho-Ba. CEP 43700-000, Telefax: (71)3594-9017/9192
CNPJ nº 05.119.189/0001-50, Inscrição Municipal nº 0006388.
Site: www.jclaboratorios.com.br e-mail: jailson@jclaboratorios.com.br

Página 2 de 2

JCLaboratórios Ltda.

RELATÓRIO DE ENSAIOS Nº467/24 Rev: 00

2.4 – ENSAIO MACROGRAFICO - De acordo com a Instrução Técnica JCLAB: IT – 008 Rev 0.

Inspeção visual: Microscópio Estereoscópio Binocular até 10x
Data dos ensaios: 04/06/2024

Ataque químico: Iodo 10%

Metodologia: ASME IX-2023 Temperatura: Ambiente

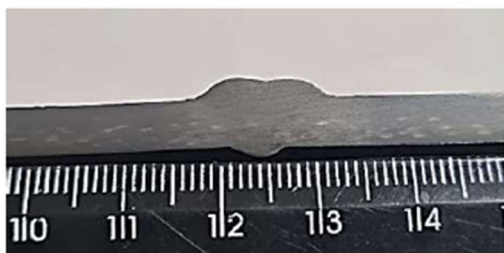


Foto nº01 (Macro nºSD)

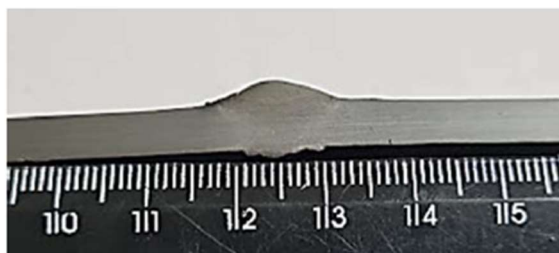


Foto nº02 (Macro nºSE)

2.4.1 – LAUDO DA MACROGRAFIA (visual com até 10x de aumento) - Não foi encontrado descontinuidades (poros, trincas e falta de fusão) na solda, ZTA e no MB.

2.5 – ENSAIO DE DUREZA VICKERS (HV-10) – De acordo com a Instrução Técnica JCLAB: IT – 010 Rev 0.

Maq. utilizada no ensaio: Dur.Reicherster – TAG-JC-DUR-02

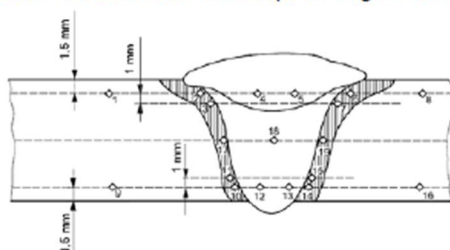
Cert.de aferição (Data): CAVMAN nº118C/24 (22/02/2024)

Data dos ensaios: 04/06/2024

Metodologia: ASTM E 92/82

Temperatura: Ambiente

2.5.1- CROQUI DE DUREZA (N-464 Figura C.11)



2.5.2 - TABELA DE RESULTADOS (HV-10)

Ponto	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
SD	159	187	192	189	186	203	222	186	162	186	188	181	218	196	199	188	210	207	204
SE	203	199	196	218	194	180	201	193	209	205	191	173	203	171	168	219	187	184	189

2.6 – ENSAIO DE IMPACTO “V” (CHARPY) – De acordo com a Instrução Técnica JCLAB: IT – 007 Rev 0.

Maq. de impacto: Tinius Olsen, TAG JC-IMP-01

Cert.aferição(Data): Cavman nº 105C/24 (22/02/2024)

Termômetro digital: Minipa MT-450 TAG JC-TMD-02

Cert.aferição (Data): Cavman nº 115C/24 (26/02/2024)

Paquímetro utilizado: JC-PQ-001

Cert.de aferição (Data): CAVMAN nº 111C/24 (23/02/2024)

Dimensão dos cp's: 3,3 x 10 x 55 mm

Metodologia: ASTM A370

Data dos ensaios: 04/06/2024

Temp. do ensaio: 0°C (Zero grau célsius)

Obs.: CPS nº01 a nº06 = Quadrante inferior

CPS nº07 a nº12 = Quadrante superior

CP	Entalhe	EA	EA	CP	Entalhe	EA	EA	CP	Entalhe	EA	EA	CP	Entalhe	EA	EA
Nº		(Kgm)	(Joules)	Nº		(Kgm)	(Joules)	Nº		(Kgm)	(Joules)	Nº		(Kgm)	(Joules)
1	Solda	3,50	34,34	4	ZTA	4,40	43,17	7	Solda	3,00	29,44	10	ZTA	3,10	30,42
2	Solda	3,00	29,44	5	ZTA	4,00	39,25	8	Solda	3,30	32,38	11	ZTA	3,30	32,38
3	Solda	3,10	30,42	6	ZTA	3,50	34,34	9	Solda	3,00	29,44	12	ZTA	5,00	49,06
	Média	3,20	31,40		Média	3,97	38,92		Média	3,10	30,42		Média	3,80	37,28

Simões Filho, 05 de junho de 2024

Luís Fernando Santos
Técnico Químico
Técnico em Metalurgia
CRQ 074615/11 CFT 0067836579

Jailson Melo
Engenheiro de produção CREA 0522652417
Técnico em Metalurgia CFT 3630670559
Técnico Químico CRQ 07402692
Inspetor de Equipamentos
Administrador CREA 339003

**JAILSON DA
CRUZ DE
MELO:3630
6070559**
Assinado de forma
digital por JAILSON
DA CRUZ DE
MELO:36306070559
Dados: 2024.10.21
19:01:35 -03'00'

Este laudo refere-se apenas às amostras apresentadas em nossos laboratórios, e somente pode ser reproduzido em sua totalidade.
As amostras serão arquivadas por um período de no máximo 15 dias.



JC Laboratórios Ltda.

Via das Torres, 646, G-07A, CIA-Sul, Simões Filho-Ba. CEP 43700-000, Telefax: (71)3594-9017/9192
 CNPJ nº 05.119.189/0001-50, Inscrição Municipal nº 0006388.
 Site: www.jclaboratorios.com.br e-mail: jailson@jclaboratorios.com.br

Página 1 de 2

RELATÓRIO DE ENSAIOS Nº468/24 Rev: 00**1. IDENTIFICAÇÃO**

Empresa interessada	CONSTRUTORA ELEVAÇÃO
Natureza do trabalho	ENSAIO DE DOBRAMENTO, TRAÇÃO, NICK BREAK, MACROGRAFIA, DUREZA E IMPACTO
Contato / Solicitação	Carlos Lopes / Orçamento JCLAB nº190/24 Rev.03
Orçamento JCLAB nº	190/24 Rev.03
Amostra / Identificação	Tubo soldado Ø 10" x 5,5 mm / LB-02
Quantidade	1,0 CP
Data de recebimento	23/04/2024

Informações fornecidas pelo interessado sobre o material ensaiado:

Descrição / Identificação	Tubo soldado Ø 10" x 5,5 mm / LB-02
Processo de soldagem	ER
Consumível	E 8010- P1 (Enchimento e acabamento) + E 6010 (Raiz)
Material de base	API L Gr. X65
Posição de soldagem	Tubo a 45°
Soldador /sinete	Sem ref
Metodologia	Norma utilizada para retirada, usinagens e ensaios dos cp's: API 1104-2021 / N464
Obs.:	Ensaio foram testemunhados e aprovados pelo Sr. Luciano dos Santos Belo

2. RESULTADOS**2.1- ENSAIO DE DOBRAMENTO** - De acordo com a Instrução Técnica JCLAB: IT – 006 Rev 0.

Maq.utilizada no ensaio: Tinius Olsen - TAG-JC-TRA-01 Cert.de aferição (Data): CAVMAN nº 106C/24 (01/02/2024)
 Paquímetro utilizado: JC-PQ-001 Cert.de aferição (Data): CAVMAN nº 111C/24 (23/02/2024)
 Data dos ensaios: 04/06/2024 Metodologia: AAPI 1104-2021
 Diâmetro do cutelo (mm): 89,0 Ângulo (Grau) = 180°
 Distância entre roletes (mm): 110,0 Temperatura: Ambiente

CP Nº	Espessura (mm)	Largura (mm)	Posição	Resultados	Laudo
DF1	5,3	25,0	Face	Isento de descontinuidade	Aprovado
DR1	5,3	25,2	Raiz	Isento de descontinuidade	Aprovado
DF2	5,2	25,2	Face	Isento de descontinuidade	Aprovado
DR2	5,2	25,2	Raiz	Isento de descontinuidade	Aprovado

2.2- ENSAIOS DE TRAÇÃO - De acordo com a Instrução Técnica JCLAB: IT – 005 Rev 0.

Maq.utilizada no ensaio: Tinius Olsen - TAG-JC-TRA-01 Cert.de aferição (Data): CAVMAN nº 106C/24 (01/02/2024)
 Paquímetro utilizado: JC-PQ-001 Cert.de aferição (Data): CAVMAN nº 111C/24 (23/02/2024)
 Data dos ensaios: 04/06/2024 Metodologia: API 1104-2021 Temperatura: Ambiente

CP nº	Espessura (mm)	Largura (mm)	Area (mm²)	CR Kgf	LR Kgf/mm²	LR MPA	Local de Ruptura
T1	5,20	25,20	131,04	8725	66,58	652,98	70,3 mm FS
T2	5,30	25,30	134,09	8775	65,44	641,78	57,4 mm FS

Obs.:
 CR = Carga de ruptura
 LR = Limite de resistência
 FS = Fora da solda

2.3- ENSAIO DE NICK- BREAK (FRATURA) - De acordo com a Instrução Técnica JCLAB: IT – 011 Rev 0.

Maq.utilizada no ensaio: Tinius Olsen - TAG-JC-TRA-01 Cert.de aferição (Data): CAVMAN nº 0241/23 (09/02/2023)
 Paquímetro utilizado: JC-PQ-007 Cert.de aferição (Data): CAVMAN nº 0265/22 (10/02/2023)
 Data dos ensaios: 04/06/2024 Metodologia: API 1104-2021

CP Nº	Espessura (mm)	Largura (mm)	Resultados	Laudo
NB1	5,0	25,0	Isento de descontinuidade	Aprovado
NB2	5,0	25,0	Isento de descontinuidade	Aprovado

Este laudo refere-se apenas às amostras apresentadas em nossos laboratórios, e somente pode ser reproduzido em sua totalidade.
 As amostras serão arquivadas por um período de no máximo 15 dias.



JC Laboratórios Ltda.

Via das Torres, 646, G-07A, CIA-Sul, Simões Filho-Ba. CEP 43700-000, Telefax: (71)3594-9017/9192
 CNPJ nº 05.119.189/0001-50, Inscrição Municipal nº 0006388.
 Site: www.jclaboratorios.com.br e-mail: jailson@jclaboratorios.com.br

Página 2 de 2

RELATÓRIO DE ENSAIOS Nº468/24 Rev: 00

2.4 – ENSAIO MACROGRAFICO - De acordo com a Instrução Técnica JCLAB: IT – 008 Rev 0.

Inspeção visual: Microscópio Estereoscópio Binocular até 10x
 Data dos ensaios: 04/06/2024

Ataque químico: Iodo 10%
 Metodologia: ASME IX-2023 Temperatura: Ambiente

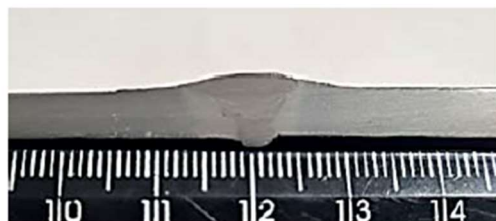


Foto nº01 (Macro nºSD)



Foto nº02 (Macro nºSE)

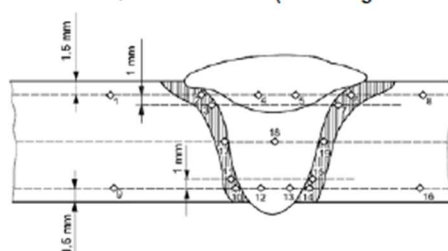
2.4.1 – LAUDO DA MACROGRAFIA (visual com até 10x de aumento) - Não foi encontrado descontinuidades (poros, trincas e falta de fusão) na solda, ZTA e no MB.

2.5 - ENSAIO DE DUREZA VICKERS (HV-10) – De acordo com a Instrução Técnica JCLAB: IT – 010 Rev 0.

Maq. utilizada no ensaio: Dur.Reicherster – TAG-JC-DUR-02
 Data dos ensaios: 04/06/2024
 Temperatura: Ambiente

Cert.de aferição (Data): CAVMAN nº118C/24 (22/02/2024)
 Metodologia: ASTM E 92/82

2.5.1- CROQUI DE DUREZA (N-464 Figura C.11)



2.5.2 - TABELA DE RESULTADOS (HV-10)

Ponto	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
SD	224	225	222	205	192	194	207	218	225	212	209	182	179	191	187	219	216	210	211
SE	191	210	213	232	201	191	187	194	192	199	209	187	185	222	219	233	179	189	184

2.6 – ENSAIO DE IMPACTO “V” (CHARPY) – De acordo com a Instrução Técnica JCLAB: IT – 007 Rev 0.

Maq. de impacto: Tinius Olsen, TAG JC-IMP-01
 Termômetro digital: Minipa MT-450 TAG JC-TMD-02
 Paquímetro utilizado: JC-PQ-001
 Dimensão dos cp's: 3,3 x 10 x 55 mm
 Data dos ensaios: 04/06/2024
 Obs.: CPS nº01 a nº06 = Quadrante inferior

Cert.afirmação(Data): Cavman nº 105C/24 (22/02/2024)
 Cert.afirmação (Data): Cavman nº 115C/24 (26/02/2024)
 Cert.de aferição (Data): CAVMAN nº 111C/24 (23/02/2024)
 Metodologia: ASTM A370
 Temp. do ensaio: 0°C (Zero grau celsius)
 CPS nº07 a nº12 = Quadrante superior

CP	Entalhe	EA	EA	CP	Entalhe	EA	EA	CP	Entalhe	EA	EA	CP	Entalhe	EA	EA
Nº		(Kgm)	(Joules)	Nº		(Kgm)	(Joules)	Nº		(Kgm)	(Joules)	Nº		(Kgm)	(Joules)
1	Solda	3,00	29,44	4	ZTA	3,10	30,42	7	Solda	3,00	29,44	10	ZTA	6,00	58,87
2	Solda	3,00	29,44	5	ZTA	3,50	34,34	8	Solda	3,00	29,44	11	ZTA	3,20	31,40
3	Solda	3,40	33,36	6	ZTA	3,00	29,44	9	Solda	3,10	30,42	12	ZTA	5,00	49,06
	Média	3,13	30,74		Média	3,20	31,40		Média	3,03	29,76		Média	4,73	46,44

Simões Filho, 05 de junho de 2024

Luis Fernando Santos
 Técnico Químico
 Técnico em Metalurgia
 CRQ 07401571/ CFT 0507836570

Jailson Melo
 Engenheiro de produção CREA 0522652417
 Técnico em Metalurgia CFT 36306070559
 Técnico Químico SRO 07402697
 Inspetor de Equipamentos
 Administrador CRA 33003

JAILSON DA
 CRUZ DE
 MELO:36306
 070559
 Assinado de forma digital por JAILSON DA CRUZ DE MELO:36306070559
 Dados: 2024.10.21 19:23:37 -03'00'

Este laudo refere-se apenas às amostras apresentadas em nossos laboratórios, e somente pode ser reproduzido em sua totalidade.
 As amostras serão arquivadas por um período de no máximo 15 dias.



JCL Laboratórios Ltda.

1. IDENTIFICAÇÃO

Via das Torres, 646, G-07A, CIA-Sul, Simões Filho-Ba. CEP 43700-000, Telefax: (71)3594-9017/9192
 CNPJ nº 05.119.189/0001-50, Inscrição Municipal nº 0006388.
 Site: www.jclaboratorios.com.br e-mail: jailson@jclaboratorios.com.br

Página 1 de 2

RELATÓRIO DE ENSAIOS Nº469/24 Rev: 00

Empresa interessada	CONSTRUTORA ELEVAÇÃO
Natureza do trabalho	ENSAIO DE DOBRAMENTO, TRAÇÃO, NICK BREAK, MACROGRAFIA, DUREZA E IMPACTO
Contato / Solicitação	Carlos Lopes / Orçamento JCLAB nº190/24 Rev.03
Orçamento JCLAB nº	190/24 Rev.03
Amostra / Identificação	Tubo soldado Ø 10" x 5,5 mm / LB-03
Quantidade	1,0 CP
Data de recebimento	23/04/2024

Informações fornecidas pelo interessado sobre o material ensaiado:

Descrição / Identificação	Tubo soldado Ø 10" x 5,5 mm / LB-03
Processo de soldagem	ER
Consumível	E 8010- P1 (Enchimento e acabamento) + E 6010 (Raiz)
Material de base	API L Gr. X65
Posição de soldagem	Tubo a 45°
Soldador /sinete	Sem ref
Metodologia	Norma utilizada para retirada, usinagens e ensaios dos cp's: API 1104-2021 / N464
Obs.:	Ensaio foram testemunhados e aprovados pelo Sr. Luciano dos Santos Belo

2. RESULTADOS

2.1- ENSAIO DE DOBRAMENTO - De acordo com a Instrução Técnica JCLAB: IT - 006 Rev 0.

Maq.utilizada no ensaio: Tinius Olsen - TAG-JC-TRA-01 Cert.de aferição (Data): CAVMAN nº 106C/24 (01/02/2024)
 Paquímetro utilizado: JC-PQ-001 Cert.de aferição (Data): CAVMAN nº 111C/24 (23/02/2024)
 Data dos ensaios: 04/06/2024 Metodologia: AAPI 1104-2021
 Diâmetro do cutelo (mm): 89,0 Ângulo (Grau) = 180°
 Distância entre roletes (mm): 110,0 Temperatura: Ambiente

CP Nº	Espessura (mm)	Largura (mm)	Posição	Resultados	Laudo
DF1	5,2	25,2	Face	Isento de descontinuidade	Aprovado
DR1	5,2	25,2	Raiz	Isento de descontinuidade	Aprovado
DF2	5,3	25,0	Face	Isento de descontinuidade	Aprovado
DR2	5,3	25,0	Raiz	Isento de descontinuidade	Aprovado

2.2- ENSAIOS DE TRAÇÃO - De acordo com a Instrução Técnica JCLAB: IT - 005 Rev 0.

Maq.utilizada no ensaio: Tinius Olsen - TAG-JC-TRA-01 Cert.de aferição (Data): CAVMAN nº 106C/24 (01/02/2024)
 Paquímetro utilizado: JC-PQ-001 Cert.de aferição (Data): CAVMAN nº 111C/24 (23/02/2024)
 Data dos ensaios: 04/06/2024 Metodologia: API 1104-2021 Temperatura: Ambiente

CP nº	Espessura (mm)	Largura (mm)	Area (mm²)	CR Kgf	LR Kgf/mm²	LR MPA	Local de Ruptura
T1	5,30	25,20	133,56	8600	64,39	631,48	36,0 mm FS
T2	5,20	25,30	131,56	8625	65,56	642,94	50,1 mm FS

Obs.:
 CR = Carga de ruptura
 LR = Limite de resistência
 FS = Fora da solda

2.3- ENSAIO DE NICK- BREAK (FRATURA) - De acordo com a Instrução Técnica JCLAB: IT - 011 Rev 0.

Maq.utilizada no ensaio: Tinius Olsen - TAG-JC-TRA-01 Cert.de aferição (Data): CAVMAN nº 0241/23 (09/02/2023)
 Paquímetro utilizado: JC-PQ-007 Cert.de aferição (Data): CAVMAN nº 0265/22 (10/02/2023)
 Data dos ensaios: 04/06/2024 Metodologia: API 1104 -2021

CP Nº	Espessura (mm)	Largura (mm)	Resultados	Laudo
NB1	5,0	25,0	Isento de descontinuidade	Aprovado
NB2	5,0	25,0	Isento de descontinuidade	Aprovado

Este laudo refere-se apenas às amostras apresentadas em nossos laboratórios, e somente pode ser reproduzido em sua totalidade.
 As amostras serão arquivadas por um período de no máximo 15 dias.



JCLaboratórios Ltda.

Via das Torres, 646, G-07A, CIA-Sul, Simões Filho-Ba. CEP 43700-000, Telefax: (71)3594-9017/9192
 CNPJ nº 05.119.189/0001-50, Inscrição Municipal nº 0006388.
 Site: www.jclaboratorios.com.br e-mail: jailson@jclaboratorios.com.br

Página 2 de 2

RELATÓRIO DE ENSAIOS Nº469/24 Rev: 00

2.4 – ENSAIO MACROGRAFICO - De acordo com a Instrução Técnica JCLAB: IT – 008 Rev 0.

Inspeção visual: Microscópio Estereoscópio Binocular até 10x
 Data dos ensaios: 04/06/2024

Ataque químico: Iodo 10%
 Metodologia: ASME IX-2023 Temperatura: Ambiente

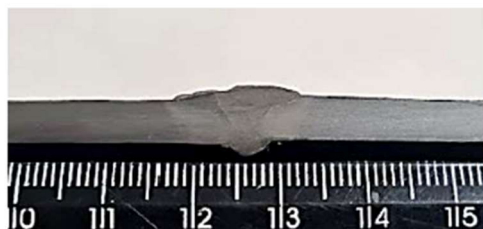


Foto nº01 (Macro nºSD)



Foto nº02 (Macro nºSE)

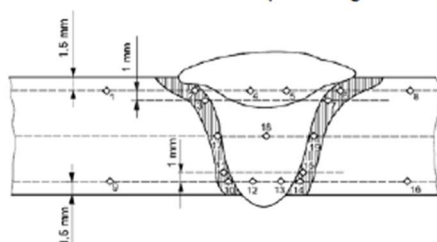
2.4.1 – LAUDO DA MACROGRAFIA (visual com até 10x de aumento) - Não foi encontrado descontinuidades (poros, trincas e falta de fusão) na solda, ZTA e no MB.

2.5 - ENSAIO DE DUREZA VICKERS (HV-10) – De acordo com a Instrução Técnica JCLAB: IT – 010 Rev 0.

Maq. utilizada no ensaio: Dur.Reicherster – TAG-JC-DUR-02
 Data dos ensaios: 04/06/2024
 Temperatura: Ambiente

Cert.de aferição (Data): CAVMAN nº118C/24 (22/02/2024)
 Metodologia: ASTM E 92/82

2.5.1- CROQUI DE DUREZA (N-464 Figura C.11)



2.5.2 - TABELA DE RESULTADOS (HV-10)

Ponto	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
SD	228	176	192	203	196	205	209	199	218	181	183	191	181	178	180	224	227	220	225
SE	219	205	235	196	209	198	202	203	222	228	219	181	192	179	171	216	209	207	204

2.6 – ENSAIO DE IMPACTO “V” (CHARPY) – De acordo com a Instrução Técnica JCLAB: IT – 007 Rev 0.

Maq. de impacto: Tinius Olsen, TAG JC-IMP-01
 Termômetro digital: Minipa MT-450 TAG JC-TMD-02
 Paquímetro utilizado: JC-PQ-001
 Dimensão dos cp's: 3,3 x 10 x 55 mm
 Data dos ensaios: 04/06/2024
 Obs.: CPS nº01 a nº06 = Quadrante inferior

Cert.aferição(Data): Cavman nº 105C/24 (22/02/2024)
 Cert.aferição (Data): Cavman nº 115C/24 (26/02/2024)
 Cert.de aferição (Data): CAVMAN nº 111C/24 (23/02/2024)
 Metodologia: ASTM A370
 Temp. do ensaio: 0°C (Zero grau celsius)
 CPS nº07 a nº12 = Quadrante superior

CP	Entalhe	EA	EA	CP	Entalhe	EA	EA	CP	Entalhe	EA	EA	CP	Entalhe	EA	EA
Nº		(Kgm)	(Joules)	Nº		(Kgm)	(Joules)	Nº		(Kgm)	(Joules)	Nº		(Kgm)	(Joules)
1	Solda	3,20	31,40	4	ZTA	3,40	33,36	7	Solda	2,90	28,45	10	ZTA	3,00	29,44
2	Solda	3,50	34,34	5	ZTA	3,00	29,44	8	Solda	3,20	31,40	11	ZTA	3,00	29,44
3	Solda	3,10	30,42	6	ZTA	3,00	29,44	9	Solda	3,20	31,40	12	ZTA	3,00	29,44
	Média	3,27	32,05		Média	3,13	30,74		Média	3,10	30,42		Média	3,00	29,44

Simões Filho, 05 de junho de 2024

Luis Fernando Santos
 Técnico Químico
 Técnico em Metalurgia
 CRQ 0740157/1 CFT 0507836570

Jailson Melo
 Engenheiro de produção CREA 0522662417
 Técnico em Metalurgia CFT 36306070559
 Técnico Químico CRQ 074020697
 Inspetor de Equipamentos
 Administrador CREA 330209

JAILSON DA
 CRUZ DE
 MELO:3630
 6070559
 Assinado de forma digital por JAILSON DA CRUZ DE MELO:36306070559
 Dados: 2024.10.21 19:25:20 -03'00'

Este laudo refere-se apenas às amostras apresentadas em nossos laboratórios, e somente pode ser reproduzido em sua totalidade.
 As amostras serão arquivadas por um período de no máximo 15 dias.



JCLAB Laboratórios Ltda.

Via das Torres, 646, G-07A, CIA-Sul, Simões Filho-Ba. CEP 43700-000, Telefax: (71)3594-9017/9192
 CNPJ nº 05.119.189/0001-50, Inscrição Municipal nº 0006388.
 Site: www.jclaboratorios.com.br e-mail: jailson@jclaboratorios.com.br

Página 1 de 2

RELATÓRIO DE ENSAIOS Nº470/24 Rev: 00

1. IDENTIFICAÇÃO

Empresa interessada	CONSTRUTORA ELEVAÇÃO
Natureza do trabalho	ENSAIO DE DOBRAMENTO, TRAÇÃO, NICK BREAK, MACROGRAFIA, DUREZA E IMPACTO
Contato / Solicitação	Carlos Lopes / Orçamento JCLAB nº190/24 Rev.03
Orçamento JCLAB nº	190/24 Rev.03
Amostra / Identificação	Tubo soldado Ø 10" x 5,5 mm / LB-04
Quantidade	1,0 CP
Data de recebimento	23/04/2024

Informações fornecidas pelo interessado sobre o material ensaiado:

Descrição / Identificação	Tubo soldado Ø 10" x 5,5 mm / LB-04
Processo de soldagem	ER
Consumível	E 8010- P1 (Enchimento e acabamento) + E 6010 (Raiz)
Material de base	API L Gr. X65
Posição de soldagem	Tubo a 45°
Soldador /sinete	Sem ref
Metodologia	Norma utilizada para retirada, usinagens e ensaios dos cp's: API 1104-2021 / N464
Obs.:	Ensaio foram testemunhados e aprovados pelo Sr. Luciano dos Santos Belo

2. RESULTADOS

2.1- ENSAIO DE DOBRAMENTO - De acordo com a Instrução Técnica JCLAB: IT – 006 Rev 0.

Maq.utilizada no ensaio: Tinius Olsen - TAG-JC-TRA-01 Cert.de aferição (Data): CAVMAN nº 106C/24 (01/02/2024)
 Paquímetro utilizado: JC-PQ-001 Cert.de aferição (Data): CAVMAN nº 111C/24 (23/02/2024)
 Data dos ensaios: 04/06/2024 Metodologia: API 1104-2021
 Diâmetro do cutelo (mm): 89,0 Ângulo (Grau) = 180°
 Distância entre roletes (mm): 110,0 Temperatura: Ambiente

CP Nº	Espessura (mm)	Largura (mm)	Posição	Resultados	Laudo
DF1	5,2	25,0	Face	Isento de descontinuidade	Aprovado
DR1	5,2	25,2	Raiz	Isento de descontinuidade	Aprovado
DF2	5,2	25,3	Face	Isento de descontinuidade	Aprovado
DR2	5,3	25,3	Raiz	Apresentou descontinuidade de 1,5 mm	Aprovado

2.2- ENSAIOS DE TRAÇÃO - De acordo com a Instrução Técnica JCLAB: IT – 005 Rev 0.

Maq.utilizada no ensaio: Tinius Olsen - TAG-JC-TRA-01 Cert.de aferição (Data): CAVMAN nº 106C/24 (01/02/2024)
 Paquímetro utilizado: JC-PQ-001 Cert.de aferição (Data): CAVMAN nº 111C/24 (23/02/2024)
 Data dos ensaios: 04/06/2024 Metodologia: API 1104-2021 Temperatura: Ambiente

CP nº	Espessura (mm)	Largura (mm)	Area (mm²)	CR Kg	LR Kg/mm²	LR MPA	Local de Ruptura
T1	5,30	25,00	132,50	8750	66,04	647,63	52,5 mm FS
T2	5,20	25,30	131,56	8700	66,13	648,53	61,2 mm FS

Obs.:
 CR = Carga de ruptura
 LR = Limite de resistência
 FS = Fora da solda

2.3- ENSAIO DE NICK- BREAK (FRATURA) - De acordo com a Instrução Técnica JCLAB: IT – 011 Rev 0.

Maq.utilizada no ensaio: Tinius Olsen - TAG-JC-TRA-01 Cert.de aferição (Data): CAVMAN nº 0241/23 (09/02/2023)
 Paquímetro utilizado: JC-PQ-007 Cert.de aferição (Data): CAVMAN nº 0265/22 (10/02/2023)
 Data dos ensaios: 04/06/2024 Metodologia: API 1104 -2021

CP Nº	Espessura (mm)	Largura (mm)	Resultados	Laudo
NB1	5,0	25,0	Isento de descontinuidade	Aprovado
NB2	5,0	25,0	Isento de descontinuidade	Aprovado

Este laudo refere-se apenas às amostras apresentadas em nossos laboratórios, e somente pode ser reproduzido em sua totalidade.
 As amostras serão arquivadas por um período de no máximo 15 dias.



JCLaboratórios Ltda.

Via das Torres, 646, G-07A, CIA-Sul, Simões Filho-Ba. CEP 43700-000, Telefax: (71)3594-9017/9192
 CNPJ nº 05.119.189/0001-50, Inscrição Municipal nº 0006388.
 Site: www.jclaboratorios.com.br e-mail: jailson@jclaboratorios.com.br

Página 2 de 2

RELATÓRIO DE ENSAIOS Nº470/24 Rev: 00

2.4 – ENSAIO MACROGRAFICO - De acordo com a Instrução Técnica JCLAB: IT – 008 Rev 0.

Inspeção visual: Microscópio Estereoscópio Binocular até 10x
 Data dos ensaios: 04/06/2024

Ataque químico: Iodo 10%

Metodologia: ASME IX-2023 Temperatura: Ambiente



Foto nº01 (Macro nºSD)



Foto nº02 (Macro nºSE)

2.4.1 – LAUDO DA MACROGRAFIA (visual com até 10x de aumento) - Não foi encontrado descontinuidades (poros, trincas e falta de fusão) na solda, ZTA e no MB.

2.5 - ENSAIO DE DUREZA VICKERS (HV-10) – De acordo com a Instrução Técnica JCLAB: IT – 010 Rev 0.

Maq. utilizada no ensaio: Dur.Reicherster – TAG-JC-DUR-02

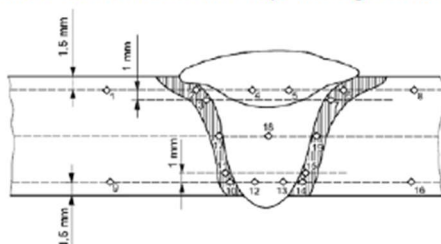
Cert.de aferição (Data): CAVMAN nº118C/24 (22/02/2024)

Data dos ensaios: 04/06/2024

Metodologia: ASTM E 92/82

Temperatura: Ambiente

2.5.1- CROQUI DE DUREZA (N-464 Figura C.11)



2.5.2 - TABELA DE RESULTADOS (HV-10)

Ponto	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
SD	225	159	163	203	210	202	222	205	222	228	238	192	182	213	191	222	215	210	214
SE	222	228	233	243	253	213	205	212	203	194	203	210	202	213	209	194	238	230	227

2.6 – ENSAIO DE IMPACTO “V” (CHARPY) – De acordo com a Instrução Técnica JCLAB: IT – 007 Rev 0.

Maq. de impacto: Tinius Olsen, TAG JC-IMP-01

Cert.aferição(Data): Cavman nº 105C/24 (22/02/2024)

Termômetro digital: Minipa MT-450 TAG JC-TMD-02

Cert.aferição (Data): Cavman nº 115C/24 (26/02/2024)

Paquímetro utilizado: JC-PQ-001

Cert.de aferição (Data): CAVMAN nº 111C/24 (23/02/2024)

Dimensão dos cp's: 3,3 x 10 x 55 mm

Metodologia: ASTM A370

Data dos ensaios: 04/06/2024

Temp. do ensaio: 0°C (Zero grau celsius)

Obs.: CPS nº01 a nº06 = Quadrante inferior

CPS nº07 a nº12 = Quadrante superior

CP	Entalhe	EA	EA	CP	Entalhe	EA	EA	CP	Entalhe	EA	EA	CP	Entalhe	EA	EA
Nº		(Kgm)	(Joules)	Nº		(Kgm)	(Joules)	Nº		(Kgm)	(Joules)	Nº		(Kgm)	(Joules)
1	Solda	3,10	30,42	4	ZTA	4,00	39,25	7	Solda	3,00	29,44	10	ZTA	4,00	39,25
2	Solda	3,00	29,44	5	ZTA	2,80	27,47	8	Solda	3,00	29,44	11	ZTA	4,10	40,23
3	Solda	3,50	34,34	6	ZTA	3,70	36,30	9	Solda	2,70	26,49	12	ZTA	4,20	41,21
	Média	3,20	31,40		Média	3,50	34,34		Média	2,90	28,45		Média	4,10	40,23

Simões Filho, 05 de junho de 2024

Luis Fernando Santos
 Técnico Químico
 Técnico em Metalurgia
 CRQ 0740157/1 CFT 0507836570

Jailson Melo
 Engenheiro de produção CREA 0522652417
 Técnico em Metalurgia CFT 36306070559
 Técnico Químico CRQ 07402697
 Inspetor de Equipamentos
 Administrador CREA 33003

JAILSON DA
 CRUZ DE
 MELO:36306
 070559

Assinado de forma
 digital por JAILSON
 DA CRUZ DE
 MELO:36306070559
 Dados: 2024.10.21
 19:15:53 -03'00'

Este laudo refere-se apenas às amostras apresentadas em nossos laboratórios, e somente pode ser reproduzido em sua totalidade.
 As amostras serão arquivadas por um período de no máximo 15 dias.



JCL Laboratórios Ltda.

1. IDENTIFICAÇÃO

Via das Torres, 646, G-07A, CIA-Sul, Simões Filho-Ba. CEP 43700-000, Telefax: (71)3594-9017/9192
 CNPJ nº 05.119.189/0001-50, Inscrição Municipal nº 0006388.
 Site: www.jcllaboratorios.com.br e-mail: jailson@jcllaboratorios.com.br

Página 1 de 2

RELATÓRIO DE ENSAIOS Nº 471/24 Rev: 00

Empresa interessada	CONSTRUTORA ELEVAÇÃO
Natureza do trabalho	ENSAIO DE DOBRAMENTO, TRAÇÃO, NICK BREAK, MACROGRAFIA, DUREZA E IMPACTO
Contato / Solicitação	Carlos Lopes / Orçamento JCLAB nº 190/24 Rev.03
Orçamento JCLAB nº	190/24 Rev.03
Amostra / Identificação	Tubo soldado Ø 16" x 8,0 mm / LB-05
Quantidade	1,0 CP
Data de recebimento	23/04/2024

Informações fornecidas pelo interessado sobre o material ensaiado:

Descrição / Identificação	Tubo soldado Ø 16" x 8,0 mm / LB-05
Processo de soldagem	ER
Consumível	E 8010- P1 (Enchimento e acabamento) + E 6010 (Raiz)
Material de base	API L Gr. X65
Posição de soldagem	Tubo a 45°
Soldador /sinete	Sem ref
Metodologia	Norma utilizada para retirada, usinagens e ensaios dos cp's: API 1104-2021 / N464
Obs.:	Ensaio foram testemunhados e aprovados pelo Sr. Luciano dos Santos Belo

2. RESULTADOS

2.1- ENSAIO DE DOBRAMENTO - De acordo com a Instrução Técnica JCLAB: IT – 006 Rev 0.

Maq.utilizada no ensaio: Tinius Olsen - TAG-JC-TRA-01 Cert.de aferição (Data): CAVMAN nº 106C/24 (01/02/2024)
 Paquímetro utilizado: JC-PQ-001 Cert.de aferição (Data): CAVMAN nº 111C/24 (23/02/2024)
 Data dos ensaios: 04/06/2024 Metodologia: AAPI 1104-2021
 Diâmetro do cutelo (mm): 89,0 Ângulo (Grau) = 180°
 Distância entre roletes (mm): 110,0 Temperatura: Ambiente

CP Nº	Espessura (mm)	Largura (mm)	Posição	Resultados	Laudo
DF1-SD	7,8	25,0	Face	Isento de descontinuidade	Aprovado
DR1-SD	7,5	25,0	Raiz	Isento de descontinuidade	Aprovado
DF2-ID	7,5	25,0	Face	Isento de descontinuidade	Aprovado
DR2-ID	7,5	25,2	Raiz	Isento de descontinuidade	Aprovado
DF3-IE	7,6	25,2	Face	Isento de descontinuidade	Aprovado
DR3-IE	7,6	25,2	Raiz	Apresentou descontinuidade de 2,4 mm	Aprovado
DF4-SE	7,7	25,0	Face	Isento de descontinuidade	Aprovado
DR4-SE	7,7	25,0	Raiz	Apresentou descontinuidade de 2,8 mm	Aprovado

Obs.:
 SD=superior direito
 ID=inferior direito
 SE=superior esquerdo
 IE=inferior esquerdo

2.2- ENSAIOS DE TRAÇÃO - De acordo com a Instrução Técnica JCLAB: IT – 005 Rev 0.

Maq.utilizada no ensaio: Tinius Olsen - TAG-JC-TRA-01 Cert.de aferição (Data): CAVMAN nº 106C/24 (01/02/2024)
 Paquímetro utilizado: JC-PQ-001 Cert.de aferição (Data): CAVMAN nº 111C/24 (23/02/2024)
 Data dos ensaios: 04/06/2024 Metodologia: API 1104-2021 Temperatura: Ambiente

CP nº	Espessura (mm)	Largura (mm)	Area (mm²)	CR Kgf	LR Kgf/mm²	LR MPA	Local de Ruptura
T1-SD	8,0	25,20	201,60	13025	64,61	633,61	89 mm FS
T2-ID	7,9	25,20	199,08	12900	64,80	635,47	93 mm FS
T3-IE	7,9	25,6	202,24	13250	65,52	642,52	74 mm FS
T4-SE	8,0	25,3	202,40	13100	64,72	634,74	70 mm FS

Obs.: CR = Carga de ruptura
 LR = Limite de resistência
 FS = Fora da solda

2.3- ENSAIO DE NICK- BREAK (FRATURA) - De acordo com a Instrução Técnica JCLAB: IT – 011 Rev 0.

Maq.utilizada no ensaio: Tinius Olsen - TAG-JC-TRA-01 Cert.de aferição (Data): CAVMAN nº 0241/23 (09/02/2023)
 Paquímetro utilizado: JC-PQ-007 Cert.de aferição (Data): CAVMAN nº 0265/22 (10/02/2023)
 Data dos ensaios: 04/06/2024 Metodologia: API 1104 -2021

CP Nº	Espessura (mm)	Largura (mm)	Resultados	Laudo
NB1-SD	7,0	25,0	Isento de descontinuidade	Aprovado
NB2-ID	7,0	25,0	Isento de descontinuidade	Aprovado
NB3-IE	7,0	25,0	Isento de descontinuidade	Aprovado
NB4-SE	7,0	25,0	Isento de descontinuidade	Aprovado

Este laudo refere-se apenas às amostras apresentadas em nossos laboratórios, e somente pode ser reproduzido em sua totalidade.
 As amostras serão arquivadas por um período de no máximo 15 dias.



Via das Torres, 646, G-07A, CIA-Sul, Simões Filho-Ba. CEP 43700-000, Telefax: (71)3594-9017/9192
CNPJ nº 05.119.189/0001-50, Inscrição Municipal nº 0006388.
Site: www.jcllaboratorios.com.br e-mail: jailson@jcllaboratorios.com.br

Página 2 de 2

JCL Laboratórios Ltda.

RELATÓRIO DE ENSAIOS Nº471/24 Rev: 00

2.4 – ENSAIO MACROGRAFICO - De acordo com a Instrução Técnica JCLAB: IT – 008 Rev 0.

Inspeção visual: Microscópio Estereoscópio Binocular até 10x

Data dos ensaios: 04/06/2024

Ataque químico: Iodo 10%

Metodologia: ASME IX-2023 Temperatura: Ambiente

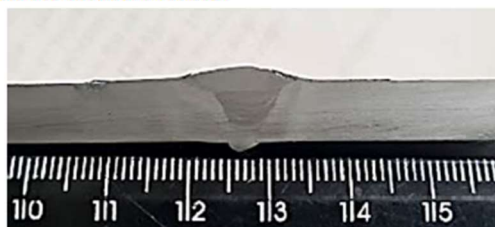


Foto nº01 (Macro nºSD)



Foto nº02 (Macro nºSE)

2.4.1 – LAUDO DA MACROGRAFIA (visual com até 10x de aumento) - Não foi encontrado descontinuidades (poros, trincas e falta de fusão) na solda, ZTA e no MB.

2.5 - ENSAIO DE DUREZA VICKERS (HV-10) – De acordo com a Instrução Técnica JCLAB: IT – 010 Rev 0.

Maq. utilizada no ensaio: Dur.Reicherster – TAG-JC-DUR-02

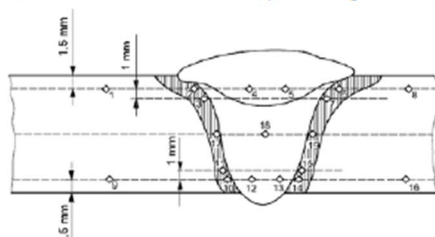
Data dos ensaios: 04/06/2024

Temperatura: Ambiente

Cert.de aferição (Data): CAVMAN nº118C/24 (22/02/2024)

Metodologia: ASTM E 92/82

2.5.1- CROQUI DE DUREZA (N-464 Figura C.11)



2.5.2 - TABELA DE RESULTADOS (HV-10)

Ponto	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
SD	203	182	193	196	192	218	203	209	193	196	199	182	196	182	210	199	203	200	202
SE	228	172	192	203	209	212	194	182	202	194	203	199	187	175	196	203	228	220	222

2.6 – ENSAIO DE IMPACTO “V” (CHARPY) – De acordo com a Instrução Técnica JCLAB: IT – 007 Rev 0.

Maq. de impacto: Tinius Olsen, TAG JC-IMP-01

Termômetro digital: Minipa MT-450 TAG JC-TMD-02

Paquímetro utilizado: JC-PQ-001

Dimensão dos cp's: 3,3 x 10 x 55 mm

Data dos ensaios: 04/06/2024

Obs.: CPS nº01 a nº06 = Quadrante inferior

Cert.aferição(Data): Cavman nº 105C/24 (22/02/2024)

Cert.aferição (Data): Cavman nº 115C/24 (26/02/2024)

Cert.de aferição (Data): CAVMAN nº 111C/24 (23/02/2024)

Metodologia: ASTM A370

Temp. do ensaio: 0°C (Zero grau celsius)

CPS nº07 a nº12 = Quadrante superior

CP	Entalhe	EA	EA	CP	Entalhe	EA	EA	CP	Entalhe	EA	EA	CP	Entalhe	EA	EA
Nº		(Kgm)	(Joules)	Nº		(Kgm)	(Joules)	Nº		(Kgm)	(Joules)	Nº		(Kgm)	(Joules)
1	Solda	3,40	33,36	4	ZTA	2,30	22,57	7	Solda	7,80	76,53	10	ZTA	2,30	22,57
2	Solda	4,00	39,25	5	ZTA	2,20	21,59	8	Solda	3,00	29,44	11	ZTA	2,80	27,47
3	Solda	2,90	28,45	6	ZTA	2,00	19,62	9	Solda	10,25	100,57	12	ZTA	2,00	19,62
	Média	3,43	33,69		Média	2,17	21,26		Média	7,02	68,85		Média	2,37	23,22

Simões Filho, 05 de junho de 2024

Luis Fernando Santos
Técnico Químico
Técnico em Metalurgia
CRQ 07401571 / CFT 0507838570

Jailson Melo
Engenheiro de produção CREA 0522652417
Técnico em Metalurgia CFT 36306070559
Técnico Químico, CRQ 07402097
Inspetor de Equipamentos
Administrador CRA 33003

JAILSON DA
CRUZ DE
MELO:36306
070559

Assinado de forma
digital por JAILSON
DA CRUZ DE
MELO:36306070559
Dados: 2024.10.22
15:55:49 -03'00'

Este laudo refere-se apenas às amostras apresentadas em nossos laboratórios, e somente pode ser reproduzido em sua totalidade.
As amostras serão arquivadas por um período de no máximo 15 dias.



JC Laboratórios Ltda.

Via das Torres, 646, G-07A, CIA-Sul, Simões Filho-Ba. CEP 43700-000, Telefax: (71)3594-9017/9192
 CNPJ nº 05.119.189/0001-50, Inscrição Municipal nº 0006388.
 Site: www.jclaboratorios.com.br e-mail: jailson@jclaboratorios.com.br

Página 1 de 2

RELATÓRIO DE ENSAIOS Nº 472/24 Rev: 00

1. IDENTIFICAÇÃO

Empresa interessada	CONSTRUTORA ELEVAÇÃO
Natureza do trabalho	ENSAIO DE DOBRAMENTO, TRAÇÃO, NICK BREAK, MACROGRAFIA, DUREZA E IMPACTO
Contato / Solicitação	Carlos Lopes / Orçamento JCLAB nº 190/24 Rev.03
Orçamento JCLAB nº	190/24 Rev.03
Amostra / Identificação	Tubo soldado Ø 16" x 8,0 mm / LB-06
Quantidade	1,0 CP
Data de recebimento	23/04/2024

Informações fornecidas pelo interessado sobre o material ensaiado:

Descrição / Identificação	Tubo soldado Ø 16" x 8,0 mm / LB-06
Processo de soldagem	ER
Consumível	E 8010- P1 (Enchimento e acabamento) + E 6010 (Raiz)
Material de base	API L Gr. X65
Posição de soldagem	Tubo a 45°
Soldador /sinete	Sem ref
Metodologia	Norma utilizada para retirada, usinagens e ensaios dos cp's: API 1104-2021 / N464
Obs.:	Ensaio foram testemunhados e aprovados pelo Sr. Luciano dos Santos Belo

2. RESULTADOS

2.1- ENSAIO DE DOBRAMENTO - De acordo com a Instrução Técnica JCLAB: IT - 006 Rev 0.

Maq.utilizada no ensaio: Tinius Olsen - TAG-JC-TRA-01

Paquímetro utilizado: JC-PQ-001

Data dos ensaios: 04/06/2024

Diâmetro do cutelo (mm): 89,0

Distância entre roletes (mm): 110,0

Cert.de aferição (Data): CAVMAN nº 106C/24 (01/02/2024)

Cert.de aferição (Data): CAVMAN nº 111C/24 (23/02/2024)

Metodologia: AAPI 1104-2021

Ângulo (Grau) = 180°

Temperatura: Ambiente

CP Nº	Espessura (mm)	Largura (mm)	Posição	Resultados	Laudo
DF1-SD	7,6	25,0	Face	Isento de descontinuidade	Aprovado
DR1-SD	7,6	25,0	Raiz	Isento de descontinuidade	Aprovado
DF2-ID	7,6	25,0	Face	Isento de descontinuidade	Aprovado
DR2-ID	7,5	25,2	Raiz	Isento de descontinuidade	Aprovado
DF3-IE	7,5	25,2	Face	Isento de descontinuidade	Aprovado
DR3-IE	7,8	25,0	Raiz	Isento de descontinuidade	Aprovado
DF4-SE	7,8	25,0	Face	Isento de descontinuidade	Aprovado
DR4-SE	7,8	25,0	Raiz	Isento de descontinuidade	Aprovado

Obs.:
 SD=superior direito
 ID=inferior direito
 SE=superior esquerdo
 IE=inferior esquerdo

2.2- ENSAIOS DE TRAÇÃO - De acordo com a Instrução Técnica JCLAB: IT - 005 Rev 0.

Maq.utilizada no ensaio: Tinius Olsen - TAG-JC-TRA-01

Paquímetro utilizado: JC-PQ-001

Data dos ensaios: 04/06/2024

Cert.de aferição (Data): CAVMAN nº 106C/24 (01/02/2024)

Cert.de aferição (Data): CAVMAN nº 111C/24 (23/02/2024)

Metodologia: API 1104-2021 Temperatura: Ambiente

CP nº	Espessura (mm)	Largura (mm)	Area (mm²)	CR Kgf	LR Kgf/mm²	LR MPa	Local de Ruptura
T1-SD	7,80	25,30	197,34	12900	65,37	641,08	95 mm FS
T2-ID	7,90	25,20	199,08	12850	64,55	633,01	87 mm FS
T3-IE	7,90	25,20	199,08	12950	65,05	637,94	93 mm FS
T4-SE	7,80	25,30	197,34	12775	64,74	634,87	94 mm FS

Obs.: CR = Carga de ruptura
 LR = Limite de resistência
 FS = Fora da solda

2.3- ENSAIO DE NICK- BREAK (FRATURA) - De acordo com a Instrução Técnica JCLAB: IT - 011 Rev 0.

Maq.utilizada no ensaio: Tinius Olsen - TAG-JC-TRA-01

Paquímetro utilizado: JC-PQ-007

Data dos ensaios: 04/06/2024

Cert.de aferição (Data): CAVMAN nº 0241/23 (09/02/2023)

Cert.de aferição (Data): CAVMAN nº 0265/22 (10/02/2023)

Metodologia: API 1104 -2021

CP Nº	Espessura (mm)	Largura (mm)	Resultados	Laudo
NB1-SD	7,0	25,0	Isento de descontinuidade	Aprovado
NB2-ID	7,0	25,0	Isento de descontinuidade	Aprovado
NB3-IE	7,0	25,0	Isento de descontinuidade	Aprovado
NB4-SE	7,0	25,0	Isento de descontinuidade	Aprovado

Este laudo refere-se apenas às amostras apresentadas em nossos laboratórios, e somente pode ser reproduzido em sua totalidade.
 As amostras serão arquivadas por um período de no máximo 15 dias.



Via das Torres, 646, G-07A, CIA-Sul, Simões Filho-Ba. CEP 43700-000, Telefax: (71)3594-9017/9192
CNPJ nº 05.119.189/0001-50, Inscrição Municipal nº 0006388.
Site: www.jclaboratorios.com.br e-mail: jailson@jclaboratorios.com.br

Página 2 de 2

JC Laboratórios Ltda.

RELATÓRIO DE ENSAIOS Nº472/24 Rev: 00

2.4 – ENSAIO MACROGRAFICO - De acordo com a Instrução Técnica JCLAB: IT – 008 Rev 0.

Inspeção visual: Microscópio Estereoscópio Binocular até 10x
Data dos ensaios: 04/06/2024

Ataque químico: Iodo 10%

Metodologia: ASME IX-2023 Temperatura: Ambiente



Foto nº01 (Macro nºSD)

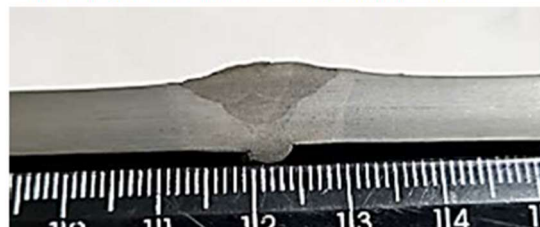


Foto nº02 (Macro nºSE)

2.4.1 – LAUDO DA MACROGRAFIA (visual com até 10x de aumento) - Não foi encontrado descontinuidades (poros, trincas e falta de fusão) na solda, ZTA e no MB.

2.5 - ENSAIO DE DUREZA VICKERS (HV-10) – De acordo com a Instrução Técnica JCLAB: IT – 010 Rev 0.

Maq. utilizada no ensaio: Dur.Reicherster – TAG-JC-DUR-02

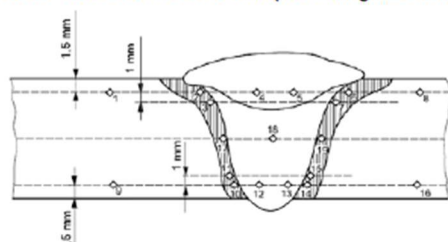
Cert.de aferição (Data): CAVMAN nº118C/24 (22/02/2024)

Data dos ensaios: 04/06/2024

Metodologia: ASTM E 92/82

Temperatura: Ambiente

2.5.1- CROQUI DE DUREZA (N-464 Figura C.11)



2.5.2 - TABELA DE RESULTADOS (HV-10)

Ponto	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
SD	213	194	243	22	228	233	216	235	210	191	210	203	209	180	194	189	205	202	203
SE	238	216	209	199	196	235	228	222	228	210	203	215	209	222	209	219	228	230	232

2.6 – ENSAIO DE IMPACTO “V” (CHARPY) – De acordo com a Instrução Técnica JCLAB: IT – 007 Rev 0.

Maq. de impacto: Tinius Olsen, TAG JC-IMP-01

Cert.aferição(Data): Cavman nº 105C/24 (22/02/2024)

Termômetro digital: Minipa MT-450 TAG JC-TMD-02

Cert.aferição (Data): Cavman nº 115C/24 (26/02/2024)

Paquímetro utilizado: JC-PQ-001

Cert.de aferição (Data): CAVMAN nº 111C/24 (23/02/2024)

Dimensão dos cp's: 3,3 x 10 x 55 mm

Metodologia: ASTM A370

Data dos ensaios: 04/06/2024

Temp. do ensaio: 0°C (Zero grau celsius)

Obs.: CPS nº01 a nº06 = Quadrante inferior

CPS nº07 a nº12 = Quadrante superior

CP	Entalhe	EA	EA	CP	Entalhe	EA	EA	CP	Entalhe	EA	EA	CP	Entalhe	EA	EA
Nº		(Kgm)	(Joules)	Nº		(Kgm)	(Joules)	Nº		(Kgm)	(Joules)	Nº		(Kgm)	(Joules)
1	Solda	2,60	25,51	4	ZTA	2,20	21,59	7	Solda	14,00	137,36	10	ZTA	15,00	147,18
2	Solda	2,80	27,47	5	ZTA	3,40	33,36	8	Solda	12,75	125,10	11	ZTA	13,00	127,55
3	Solda	3,00	29,44	6	ZTA	3,90	38,27	9	Solda	3,50	34,34	12	ZTA	12,25	120,19
	Média	2,80	27,47		Média	3,17	31,07		Média	10,08	98,93		Média	13,42	131,64

Simões Filho, 05 de junho de 2024

Luis Fernando Santos
Técnico Químico
Técnico em Metalurgia
CRQ 074615711 CFT 0507836570

Jailson Melo
Engenheiro de produção CREA 0522852417
Técnico em Metalurgia CFT 3630670559
Técnico Químico CRQ 07402697
Inspetor de Equipamentos
Administrador CRA 33053

JAILSON DA
CRUZ DE
MELO:36306
070559
Assinado de forma
digital por JAILSON
DA CRUZ DE
MELO:36306070559
Dados: 2024.10.22
15:57:20 -03'00'

Este laudo refere-se apenas às amostras apresentadas em nossos laboratórios, e somente pode ser reproduzido em sua totalidade.
As amostras serão arquivadas por um período de no máximo 15 dias.

APÊNDICE E



UNIVERSIDADE DE ITAÚNA

FACULDADE DE ENGENHARIA - LABORATÓRIO METALOGRAFICO

CERTIFICADO Nº: 264324

INTERESSADO: CONSTRUTORA ELEVAÇÃO LTDA

MATERIAL: TUBO DE AÇO SOLDADO

NATUREZA DO TRABALHO: ENSAIO DE NIKE-BREAK

Planilha de Ensaio: 240479 Tipo: Ensaio Nick-Break

ENSAIO NICK-BREAK

Item	C.P	Ângulo de Dobramento	Processo	Observações
1	6	180°	Tração	Não houve poros nem descontinuidades
2	6	180°	Tração	Não houve poros nem descontinuidades
3	6	180°	Tração	Não houve poros nem descontinuidades
4	6	180°	Tração	Não houve poros nem descontinuidades

Dados fornecidos pelo Cliente:

EPS: EPS ELEV 010 Corpo de Prova nº:06

Processo : Eletrodo Revestido;

Material de Base: Tubo 16" API 5L X65 Espessura: 7,1 mm

Metal de Adição: SFA A5.5 E 8010 P1;

Soldador Esquerdo: Adailton Gonçalves Vasconcelos

Soldador Direito: Erenildo dos Santos

Norma: API 1104 - 2021 Categoria I (Standard WPS)

Data do Ensaio: 19/03/2024

O presente resultado refere-se exclusivamente às amostras enviadas pelo Interessado.

Observações:

Ensaio acompanhado pelos responsáveis da CONCREMAT e CONSTRUTORA ELEVAÇÃO.

Item 1: 1º Quadrante

Item 2: 2º Quadrante

Item 3: 3º Quadrante

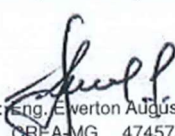
Item 4: 4º Quadrante

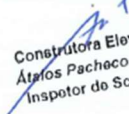
***Máquina Universal de Ensaio, tipo hidráulica, marca EMIC .Está calibrada pela ABNT NBR ISO/IEC 17025. . CERTIFICADOS DE CALIBRAÇÃO

Nº1246961 e 1246962, emitido pelo Laboratório Isaac Newton do Centro Tecnológico de Minas Gerais - CETEC - Acreditado pela RBC-CAL-0045.

***DOCUMENTO VALIDADO PELO RELATÓRIO DE ASSINATURAS ANEXADO.

Itaúna, 19 de Março de 2024


 Resp: Eng. Everton Augusto de Sousa Nogueira
 CREA-MG 47457/D


 Construtora Elevação Ltda
 Atafos Pacheco Savino Filho
 Inspetor de Soldagem N2


 Leonardo Melo
 Engenheiro Supervisor de Fiscalização
 CREA/MG 1407116126
 Concremat Engenharia e Tecnologia S/A


UNIVERSIDADE DE ITAÚNA

FACULDADE DE ENGENHARIA - LABORATÓRIO METALOGRAFICO

CERTIFICADO Nº: 264324

INTERESSADO: CONSTRUTORA ELEVAÇÃO LTDA

MATERIAL: TUBO DE AÇO SOLDADO

NATUREZA DO TRABALHO: ENSAIO DE NIKE-BREAK

Planilha de Ensaio: 240479 Tipo: Ensaio Nick-Break

ENSAIO NICK-BREAK

Item	C.P	Ângulo de Dobramento	Processo	Observações
1	6	180°	Tração	Não houve poros nem descontinuidades
2	6	180°	Tração	Não houve poros nem descontinuidades
3	6	180°	Tração	Não houve poros nem descontinuidades
4	6	180°	Tração	Não houve poros nem descontinuidades

Dados fornecidos pelo Cliente:

EPS: EPS ELEV 010 Corpo de Prova nº:06

Processo : Eletrodo Revestido;

Material de Base: Tubo 16" API 5L X65 Espessura: 7,1 mm

Metal de Adição: SFAA5.5 E 8010 P1;

Soldador Esquerdo: Adailton Gonçalves Vasconcelos

Soldador Direito: Erenildo dos Santos

Norma: API 1104 - 2021 Categoria I (Standard WPS)

Data do Ensaio: 19/03/2024

O presente resultado refere-se exclusivamente às amostras enviadas pelo Interessado.

Observações:

Ensaio acompanhado pelos responsáveis da CONCREMAT e CONSTRUTORA ELEVAÇÃO.

Item 1: 1º Quadrante

Item 2: 2º Quadrante

Item 3: 3º Quadrante

Item 4: 4º Quadrante

***Máquina Universal de Ensaio, tipo hidráulica, marca EMIC. Está calibrada pela ABNT NBR ISO/IEC 17025. . CERTIFICADOS DE CALIBRAÇÃO

Nº1246961 e 1246962, emitido pelo Laboratório Isaac Newton do Centro Tecnológico de Minas Gerais - CETEC - Acreditado pela RBC-CAL-0045.

***DOCUMENTO VALIDADO PELO RELATÓRIO DE ASSINATURAS ANEXADO.

Itaúna, 19 de Março de 2024

 Resp: Eng. Evertton Augusto de Sousa Nogueira
 CREA-MG 47457/D

 Construtora Elevação Ltda
 Afonso Pacheco Savino Filho
 Inspetor de Soldagem N2

 Leonardo Melo
 Engenheiro Supervisor de Fiscalização
 CREAMG 1407116126
 Concremat Engenharia e Tecnologia S/A

FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE DE ITAÚNA

CNPJ: 21.256.425/0001-36 - Insc. Estadual: ISENTO

Rod. MG 431 Km 45 - Caixa Postal: 100 - ITAÚNA - MG - CEP: 35680-142 - CAMPUS VERDE Tel:(37) 3249-3078 Fax:(37) 3249-3078 - e-mail:fabmetal@uit.br


UNIVERSIDADE DE ITAÚNA

FACULDADE DE ENGENHARIA - LABORATÓRIO METALOGRÁFICO

CERTIFICADO Nº: 264324

INTERESSADO: CONSTRUTORA ELEVAÇÃO LTDA

MATERIAL: TUBO DE AÇO SOLDADO

NATUREZA DO TRABALHO: ENSAIO DE NIKE-BREAK

Planilha de Ensaio: 240479 Tipo: Ensaio Nick-Break

ENSAIO NICK-BREAK

Item	C.P	Ângulo de Dobramento	Processo	Observações
1	6	180°	Tração	Não houve poros nem descontinuidades
2	6	180°	Tração	Não houve poros nem descontinuidades
3	6	180°	Tração	Não houve poros nem descontinuidades
4	6	180°	Tração	Não houve poros nem descontinuidades

Dados fornecidos pelo Cliente:

EPS: EPS ELEV 010 Corpo de Prova nº:06

Processo : Eletrodo Revestido;

Material de Base: Tubo 16" API 5L X65 Espessura: 7,1 mm

Metal de Adição: SFA A5.5 E 8010 P1;

Soldador Esquerdo: Adailton Gonçalves Vasconcelos

Soldador Direito: Erenildo dos Santos

Norma: API 1104 - 2021 Categoria I (Standard WPS)

Data do Ensaio: 19/03/2024

O presente resultado refere-se exclusivamente às amostras enviadas pelo Interessado.

Observações:

Ensaio acompanhado pelos responsáveis da CONCREMAT e CONSTRUTORA ELEVAÇÃO.

Item 1: 1º Quadrante

Item 2: 2º Quadrante

Item 3: 3º Quadrante

Item 4: 4º Quadrante

***Máquina Universal de Ensaio, tipo hidráulica, marca EMIC. Está calibrada pela ABNT NBR ISO/IEC 17025. . CERTIFICADOS DE CALIBRAÇÃO

Nº1246961 e 1246962, emitido pelo Laboratório Isaac Newton do Centro Tecnológico de Minas Gerais - CETEC - Acreditado pela RBC-CAL-0045.

***DOCUMENTO VALIDADO PELO RELATÓRIO DE ASSINATURAS ANEXADO.

Itaúna, 19 de Março de 2024

 Resp: Eng. Everton Augusto de Sousa Nogueira
 OREA-MG 47457/D

 Construtora Elevação Ltda
 Atílio Pacheco Savino Filho
 Inspetor de Soldagem N2

 Leonardo Melo
 Engenheiro Supervisor de Fiscalização
 CREA/MG 1407116126
 Concremat Engenharia e Tecnologia S/A



UNIVERSIDADE DE ITAÚNA
FACULDADE DE ENGENHARIA - LABORATÓRIO METALOGRAFICO

CERTIFICADO Nº: 264290

INTERESSADO: CONSTRUTORA ELEVACÃO LTDA

MATERIAL: TUBO DE AÇO SOLDADO

NATUREZA DO TRABALHO: ENSAIO DE DOBRAMENTO

Planilha de Ensaio: 240447 Tipo: Ensaio de Qualificação Procedimento

***Máquina Universal de Ensaio, tipo hidráulica, marca EMIC. Está calibrada pela ABNT NBR ISO/IEC 17025. CERTIFICADOS DE CALIBRAÇÃO Nº1246961 e 1246962, emitido pelo Laboratório Isaac Newton do Centro Tecnológico de Minas Gerais - CETEC - Acreditado pela RBC-CAL-0045.

***DOCUMENTO VALIDADO PELO RELATÓRIO DE ASSINATURAS ANEXADO.

ENSAIO DE DOBRAMENTO

Item	C.P	Dimensões (mm)	Diâmetro Cutelo (mm)	Ângulo de Dobramento	Dobramento	Observações
1	5	25,40 x 7,1	28	180°	RAIZ	Rompeu
2	5	25,40 x 7,1	28	180°	FACE	Não Houve trinca
3	5	25,40 x 7,1	28	180°	RAIZ	Não Houve trinca
4	5	25,40 x 7,1	28	180°	FACE	Não Houve trinca
5	5	25,40 x 7,1	28	180°	RAIZ	Não Houve trinca
6	5	25,40 x 7,1	28	180°	FACE	Não Houve trinca
7	5	25,40 x 7,1	28	180°	RAIZ	Não Houve trinca
8	5	25,40 x 7,1	28	180°	FACE	Não Houve trinca

Dados fornecidos pelo Cliente:

EPS: EPS ELEV 014 Corpo de Prova nº: 05

Processo: Eletrodo Revestido;

Material de Base: Tubo 16" API 5L X65 Espessura: 7,1 mm

Metal de Adição: SFA A5.5 E 8010 P1;

Soldador Esquerdo: Erenildo dos Santos

Soldador Direito: Agnaldo Barbosa Medeiros

Norma: API 1104 - 2021 Categoria I (Standard WPS)

Data do Ensaio: 15/03/2024

O presente resultado refere-se exclusivamente às amostras enviadas pelo Interessado.

Observações:

Item 1 e 2: 1º Quadrante

Item 3 e 4: 2º Quadrante

Item 5 e 6: 3º Quadrante

Item 7 e 8: 4º Quadrante

Itaúna, 15 de Março de 2024

Resp: Eng. Ewerton Augusto de Sousa Nogueira
CREA-MG 47457/D



UNIVERSIDADE DE ITAÚNA
FACULDADE DE ENGENHARIA - LABORATÓRIO METALOGRAFICO

CERTIFICADO Nº: 264289

INTERESSADO: CONSTRUTORA ELEVAÇÃO LTDA

MATERIAL: TUBO DE AÇO SOLDADO

NATUREZA DO TRABALHO: ENSAIO DE TRAÇÃO

Planilha de Ensaio: 240446 Tipo: Ensaio de Qualificação Procedimento

ENSAIO DE TRAÇÃO

Item	C.P	Dimensões (mm)	Área Seção (mm²)	Carga (Kgf)	Resist. (MPa)	Observações
1	5	25,59 x 7,14	182,71	11561	620,7	Ruptura Ocorreu Fora da Solda
2	5	24,63 x 7,21	177,58	10716	592,0	Ruptura Ocorreu Fora da Solda
3	5	25,87 x 7,13	184,45	11618	617,9	Ruptura Ocorreu Fora da Solda
4	5	25,26 x 7,15	180,61	10823	587,9	Ruptura Ocorreu Fora da Solda

***Máquina Universal de Ensaio, tipo hidráulica, marca EMIC. Está calibrada pela ABNT NBR ISO/IEC 17025. CERTIFICADOS DE CALIBRAÇÃO Nº1246961 e 1246962, emitido pelo Laboratório Isaac Newton do Centro Tecnológico de Minas Gerais - CETEC - Acreditado pela RBC-CAL-0045.

***DOCUMENTO VALIDADO PELO RELATÓRIO DE ASSINATURAS ANEXADO.

Dados fornecidos pelo Cliente:

EPS: EPS ELEV 014 Corpo de Prova nº: 05

Processo: Eletrodo Revestido;

Material de Base: Tubo 16" API 5L X65 Espessura: 7,1 mm

Metal de Adição: SFA A5.5 E 8010 P1;

Soldador Esquerdo: Erenildo dos Santos

Soldador Direito: Agnaldo Barbosa Medeiros

Norma: API 1104 - 2021 Categoria I (Standard WPS)

Data do Ensaio: 15/03/2024

O presente resultado refere-se exclusivamente às amostras enviadas pelo Interessado.

Observações:

Item 1: 1º Quadrante

Item 2: 2º Quadrante

Item 3: 3º Quadrante

Item 4: 4º Quadrante

Itaúna, 15 de Março de 2024

Resp: Eng. Ewerton Augusto de Sousa Nogueira
CREA-MG 47457/D



UNIVERSIDADE DE ITAÚNA
FACULDADE DE ENGENHARIA - LABORATÓRIO METALOGRAFICO

CERTIFICADO Nº: 264313

INTERESSADO: CONSTRUTORA ELEVAÇÃO LTDA

MATERIAL: TUBO DE AÇO SOLDADO

NATUREZA DO TRABALHO: ENSAIO DE DOBRAMENTO

Planilha de Ensaio: 240470 **Tipo:** Ensaio de Qualificação Procedimento

***Máquina Universal de Ensaio, tipo hidráulica, marca EMIC. Está calibrada pela ABNT NBR ISO/IEC 17025. CERTIFICADOS DE CALIBRAÇÃO Nº1246961 e 1246962, emitido pelo Laboratório Isaac Newton do Centro Tecnológico de Minas Gerais - CETEC - Acreditado pela RBC-CAL-0045.

***DOCUMENTO VALIDADO PELO RELATÓRIO DE ASSINATURAS ANEXADO.

ENSAIO DE DOBRAMENTO

Item	C.P	Dimensões (mm)	Diâmetro Cutelo (mm)	Ângulo de Dobramento	Dobramento	Observações
1	5	25,40 x 7,1	28	180°	RAIZ	Não Houve trinca
2	5	25,40 x 7,1	28	180°	RAIZ	Não Houve trinca

Dados fornecidos pelo Cliente:

EPS: EPS ELEV 014 Corpo de Prova nº: 05

Processo: Eletrodo Revestido;

Material de Base: Tubo 16" API 5L X65 Espessura: 7,1 mm

Metal de Adição: SFA A5.5 E 8010 P1;

Soldador Esquerdo: Erenildo dos Santos

Soldador Direito: Agnaldo Barbosa Medeiros

Norma: API 1104 - 2021 Categoria I (Standard WPS)

Data do Ensaio: 15/03/2024

O presente resultado refere-se exclusivamente às amostras enviadas pelo Interessado.

Observações:

Item 1 e 2: 1º Quadrante

Itaúna, 19 de Março de 2024

Resp: Eng. Ewerton Augusto de Sousa Nogueira
CREA-MG 47457/D

APÊNDICE F



Laboratório de Ensaios e Análise em Materiais - LAMAT

Relatório de Análises Metalográficas

Relatório of Metallographic Analysis

Relatório de Ensaio / Test Report N°: 4511/2024

Solicitante / Client: CONSTRUTORA ELEVACAO LTDA
 Endereço / Address: AV MUNHOZ DA ROCHA, 213 - Juvevê - Curitiba - PR
 Item recebido: material para análise/ensaio / Item received: material for analysis/test
 Identificação do cliente para a amostra enviada / Customer id for the sample sent:
 EPS ELEV 010 - Eletrodo Revestido - Corpo de Prova nº.06 Norma: API 1104 - 2021 e N 464 K - Q3-ZTA

Dureza Vickers HV 10/20

Valores Encontrados / Found Values

Pontos Valores Points Values		Pontos Valores Points Values		Pontos Valores Points Values		Pontos Valores Points Values	
1	228,87	6	230,27	11	223,45	16	158,85
2	196,30	7	224,47	12	230,99	17	161,06
3	205,35	8	207,90	13	180,13	18	171,14
4	203,46	9	196,76	14	178,62	19	164,32
5	225,10	10	187,00	15	189,59	20	222,66

Valor Mínimo Minimum Value	Valor Médio Average Value	Valor Máximo Maximum Value
158,85	199,31	230,99

Observações / Observations:

O valor médio corresponde as 20 impressões.
 Penetrador : Pirâmide de diamante de base quadrada.
 Força (N) : 98,040
 Reativo: Nital 10%
 Aumento: 400x
 Temperatura: 22,9°C
 Carga: 10000 g
 Norma de referência : ABNT NBR NM ISO 6507-1:2019.
 Local de ensaio: Conforme orientação do cliente.
 Equipamento utilizado: Microdurômetro Ótico Wolpert nº 62279.

SENAI Itaúna CETEF Marcelino Corradi

Rua Lília Antunes, 99 - B. Nogueira Machado - CEP: 35680-270 - Itaúna - MG - Fone: (37) 3249-2400

Página 1 de 2


Laboratório de Ensaios e Análise em Materiais - LAMAT
Relatório de Análises Metalográficas
Relatório of Metallographic Analysis
Relatório de Ensaio / Test Report Nº: 4527/2024

Solicitante / Client: CONSTRUTORA ELEVACAO LTDA
Endereço / Address: AV MUNHOZ DA ROCHA, 213 - Juvevê - Curitiba - PR
Item recebido: material para análise/ensaio / Item received: material for analysis/test
Identificação do cliente para a amostra enviada / Customer id for the sample sent:
 EPS ELEV 014 - Eletrodo Revestido - Corpo de Prova nº.05 Norma: API 1104 - 2021 e N 464 K - Q4

Dureza Vickers HV 10/20
Valores Encontrados / Found Values

Pontos Valores	
Points Values	
1	208,15
2	183,49
3	193,85
4	201,72
5	179,42

Pontos Valores	
Points Values	
6	179,32
7	186,84
8	195,61
9	199,75
10	194,80

Pontos Valores	
Points Values	
11	205,31
12	212,69
13	202,92
14	198,38
15	201,67

Pontos Valores	
Points Values	
16	167,45
17	198,53
18	197,19
19	197,41
20	198,01

Valor Mínimo
Minimum Value
167,45

Valor Médio
Average Value
195,13

Valor Máximo
Maximum Value
212,69

Observações / Observations:

O valor médio corresponde as 20 impressões.
 Penetrador : Pirâmide de diamante de base quadrada.
 Força (N) : 98,040
 Reativo: Nital 10%
 Aumento: 400x
 Temperatura: 22,3°C
 Carga: 10000 g
 Norma de referência : ABNT NBR NM ISO 6507-1:2019.
 Local de ensaio: Conforme orientação do cliente.
 Equipamento utilizado: Microdurômetro Ótico Wolpert nº 62279.

SENAI Itaúna CETEF Marcelino Corradi

Rua Lília Antunes, 99 - B. Nogueira Machado - CEP: 35680-270 - Itaúna - MG - Fone: (37) 3249-2400

Página 1 de 2


Laboratório de Ensaios e Análise em Materiais - LAMAT

Acreditado pela Coordenação Geral de Acreditação - CGCRE

Accredited by General Coordination of Accreditation - CGCRE

Relatório de Ensaio de Resistência ao Impacto Charpy

Test Report of Charpy Impact Strength

Relatório de Ensaio / Test Report Nº:4497/2024

Solicitante / Client: CONSTRUTORA ELEVACAO LTDA

Endereço / Address: AV MUNHOZ DA ROCHA, 213 - Juvevê - Curitiba - PR

Item recebido: material para análise/ensaio / Item received: material for analysis/test

Identificação do cliente para a amostra enviada / Customer id for the sample sent:

EPS ELEV 010 - Eletrodo Revestido - Corpo de Prova nº.06 Norma: API 1104 - 2021 e N 464 K - Q1-Solda

Resultados Obtidos / Results:

C.P.	Comprimento Length (mm)	Largura Width (mm)	Espessura Thickness (mm)	Largura sob o entalhe (mm) Width Under the Notch	Ângulo do Entalhe Notch Angle	Raio de Entalhe Notch Radius (mm)	Energia Absorvida Absorbed Energy (KV ₂ 300)	Energia Absorvida Absorbed Energy (J/mm ²)
1	55,02	10,04	4,97	8,04	44°27'	0,225	40 J	1,00
2	54,98	10,04	4,98	8,05	44°15'	0,225	37 J	0,92
3	55,07	10,04	4,97	8,03	44°20'	0,225	38 J	0,95
Média / Average:							38 J	0,96

ENSAIO REALIZADO À TEMPERATURA

TEST WAS CARRIED OUT AT THE FOLLOWING TEMPERATURE: 0,0 °C

* NS - Não Solicitado

* NS - Unstressed

* ND - Não Determinado

* ND - Not Determined

Observações / Observations:

Energia de Impacto / Energy of Impact: 300 J

Usinagem do C.P. conforme / Test specimen machining was carried out according to: DIN EN ISO 148-1:2017.

Metodologia Aplicada / Testing Method: ABNT NBR ISO 148-1:2021 / DIN EN ISO 148-1:2017-05.

SENAI Itaúna CETEF Marcelino Corradi

Rua Lília Antunes, 99 - B. Nogueira Machado - CEP: 35680-270 - Itaúna - MG - Fone: (37) 3249-2400

Página 1 de 2


Laboratório de Ensaios e Análise em Materiais - LAMAT

Acreditado pela Coordenação Geral de Acreditação - CGCRE

Accredited by General Coordination of Accreditation - CGCRE

Relatório de Ensaio de Resistência ao Impacto Charpy

Test Report of Charpy Impact Strength

Relatório de Ensaio / Test Report Nº:4505/2024

Solicitante / Client: CONSTRUTORA ELEVACAO LTDA

Endereço / Address: AV MUNHOZ DA ROCHA, 213 - Juvevê - Curitiba - PR

Item recebido: material para análise/ensaio / Item received: material for analysis/test

Identificação do cliente para a amostra enviada / Customer id for the sample sent:

EPS ELEV 010 - Eletrodo Revestido - Corpo de Prova nº.06 Norma: API 1104 - 2021 e N 464 K - Q1-ZTA

Resultados Obtidos / Results:

C.P.	Comprimento Length (mm)	Largura Width (mm)	Espessura Thickness (mm)	Largura sob o entalhe (mm) Width Under the Notch	Ângulo do Entalhe Notch Angle	Raio de Entalhe Notch Radius (mm)	Energia Absorvida Absorbed Energy (KV ₂ 300)	Energia Absorvida Absorbed Energy (J/mm ²)
1	55,01	9,99	4,99	7,98	44°17'	0,225	90 J	2,26
2	55,04	10,02	4,98	8,04	44°20'	0,225	94 J	2,35
3	54,98	9,99	4,95	7,99	44°15'	0,225	96 J	2,43
Média / Average:							93 J	2,35

ENSAIO REALIZADO À TEMPERATURA

TEST WAS CARRIED OUT AT THE FOLLOWING TEMPERATURE: 0,0 °C

* NS - Não Solicitado

* NS - Unstressed

* ND - Não Determinado

* ND - Not Determined

Observações / Observations:

Energia de Impacto / Energy of Impact: 300 J

Usinagem do C.P. conforme / Test specimen machining was carried out according to: DIN EN ISO 148-1:2017.

Metodologia Aplicada / Testing Method: ABNT NBR ISO 148-1:2021 / DIN EN ISO 148-1:2017-05.

Todos os corpos de prova apresentaram fratura incompleta.

SENAI Itaúna CETEF Marcelino Corradi

Rua Lília Antunes, 99 - B. Nogueira Machado - CEP: 35680-270 - Itaúna - MG - Fone: (37) 3249-2400

Página 1 de 2


Laboratório de Ensaios e Análise em Materiais - LAMAT

Acreditado pela Coordenação Geral de Acreditação - CGCRE

Accredited by General Coordination of Accreditation - CGCRE

Relatório de Ensaio de Resistência ao Impacto Charpy

Test Report of Charpy Impact Strength

Relatório de Ensaio / Test Report Nº:4515/2024
Solicitante / Client: CONSTRUTORA ELEVACAO LTDA

Endereço / Address: AV MUNHOZ DA ROCHA, 213 - Juvevê - Curitiba - PR

Item recebido: material para análise/ensaio / Item received: material for analysis/test
Identificação do cliente para a amostra enviada / Customer id for the sample sent:

EPS ELEV 014 - Eletrodo Revestido - Corpo de Prova nº.05 Norma: API 1104 - 2021 e N 464 K - Q1-Solda

Resultados Obtidos / Results:

C.P.	Comprimento Length (mm)	Largura Width (mm)	Espessura Thickness (mm)	Largura sob o entalhe (mm) Width Under the Notch	Ângulo do Entalhe Notch Angle	Raio de Entalhe Notch Radius (mm)	Energia Absorvida Absorbed Energy (KV ₂ 300)	Energia Absorvida Absorbed Energy (J/mm ²)
1	55,03	10,04	4,97	8,02	44°48'	0,225	44 J	1,10
2	54,92	10,04	4,98	8,03	44°47'	0,225	44 J	1,10
3	54,88	10,03	4,98	8,02	44°47'	0,225	47 J	1,18
Média / Average:							45 J	1,13

ENSAIO REALIZADO À TEMPERATURA

0,0 °C

TEST WAS CARRIED OUT AT THE FOLLOWING TEMPERATURE:

* NS - Não Solicitado

* NS - Unstressed

* ND - Não Determinado

* ND - Not Determined

Observações / Observations:

Energia de Impacto / Energy of Impact: 300 J

Usinagem do C.P. conforme / Test specimen machining was carried out according to: DIN EN ISO 148-1:2017.

Metodologia Aplicada / Testing Method: ABNT NBR ISO 148-1:2021 / DIN EN ISO 148-1:2017-05.

SENAI Itaúna CETEF Marcelino Corradi

Rua Lília Antunes, 99 - B. Nogueira Machado - CEP: 35680-270 - Itaúna - MG - Fone: (37) 3249-2400

Página 1 de 2


Laboratório de Ensaios e Análise em Materiais - LAMAT

Acreditado pela Coordenação Geral de Acreditação - CGCRE

Accredited by General Coordination of Accreditation - CGCRE

Relatório de Ensaio de Resistência ao Impacto Charpy

Test Report of Charpy Impact Strength

Relatório de Ensaio / Test Report N°:4516/2024

Solicitante / Client: CONSTRUTORA ELEVACAO LTDA

Endereço / Address: AV MUNHOZ DA ROCHA, 213 - Juvevê - Curitiba - PR

Item recebido: material para análise/ensaio / Item received: material for analysis/test

Identificação do cliente para a amostra enviada / Customer id for the sample sent:

EPS ELEV 014 - Eletrodo Revestido - Corpo de Prova nº.05 Norma: API 1104 - 2021 e N 464 K - Q1-ZTA

Resultados Obtidos / Results:

C.P.	Comprimento Length (mm)	Largura Width (mm)	Espessura Thickness (mm)	Largura sob o entalhe (mm) Width Under the Notch	Ângulo do Entalhe Notch Angle	Raio de Entalhe Notch Radius (mm)	Energia Absorvida Absorbed Energy (KV ₂ 300)	Energia Absorvida Absorbed Energy (J/mm ²)
1	55,21	10,04	4,97	8,02	44°44'	0,225	78 J	1,96
2	55,15	10,04	4,98	8,04	44°40'	0,225	85 J	2,12
3	55,07	10,04	4,99	8,04	44°35'	0,225	96 J	2,39
Média / Average:							86 J	2,16

ENSAIO REALIZADO À TEMPERATURA

TEST WAS CARRIED OUT AT THE FOLLOWING TEMPERATURE:

0,0 °C

* NS - Não Solicitado

* NS - Unstressed

* ND - Não Determinado

* ND - Not Determined

Observações / Observations:

Energia de Impacto / Energy of Impact: 300 J

Usinagem do C.P. conforme / Test specimen machining was carried out according to: DIN EN ISO 148-1:2017.

Metodologia Aplicada / Testing Method: ABNT NBR ISO 148-1:2021 / DIN EN ISO 148-1:2017-05.

Todos os corpos de prova apresentaram fratura incompleta.

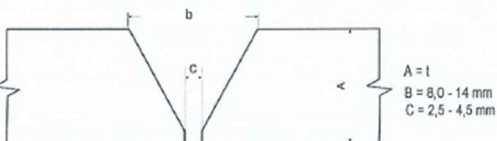
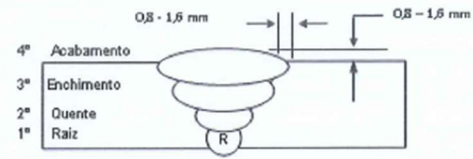
SENAI Itaúna CETEF Marcelino Corradi

Rua Lília Antunes, 99 - B. Nogueira Machado - CEP: 35680-270 - Itaúna - MG - Fone: (37) 3249-2400

Página 1 de 2

APÊNDICE G

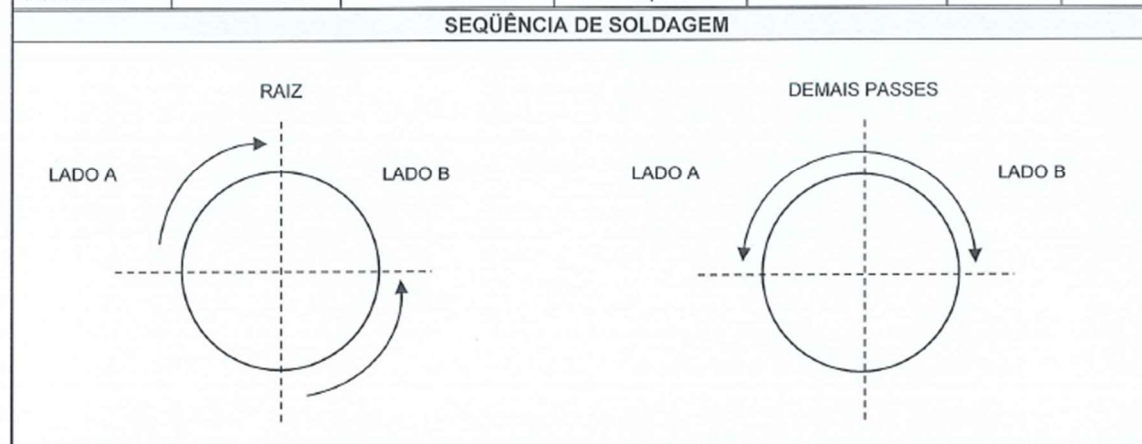
 CONSTRUTORA ELEVACÃO	EPS ESPECIFICAÇÃO DO PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM		EPS Nº:	ELEV 010	 GASMIG
			Data:	19/03/2024	
			Folha: 1 de 2	Rev. 1	
Cliente:	GASMIG		OBRA:		Sistema de Distribuição de Gás Natural – SDGN Linha Tronco Centro Oeste.
				Contrato:	4600001105

NORMA REFERÊNCIA: API 1104 2021 / ASME B31.8 - 2022	BASEADO NA RQPS Nº: ELEV RQP 010						
PROCESSO SOLDAGEM: Eletrodo Revestido	TIPO: ☒ Manual ☐ Semi Automático ☐ Automático						
JUNTA  $A = t$ $B = 8,0 - 14 \text{ mm}$ $C = 2,5 - 4,5 \text{ mm}$	SEQÜÊNCIA DE CAMADAS  $0,8 - 1,6 \text{ mm}$						
METAL BASE	PRÉ / PÓS – AQUECIMENTO						
ESPECIFICAÇÃO: TUBOS AÇO CARBONO LE $\leq 65.300 \text{ psi}$	TEMP. PRÉ AQUECIMENTO.: N. A						
FAIXA DE DIÂMETROS: TODOS	TEMP. INTERPASSES: N. A						
FAIXA ESPESSURA: 0,154" a 0,562"	TEMP. PÓS AQUECIMENTO.: N. A						
OBS: -----	TÉCNICA: N. A						
	OBS: (Nota 2) O pré-aquecimento deverá ser feito com maçarico tipo chuveiro.						
POSIÇÃO	TRATAMENTO TÉRMICO PÓS SOLDAGEM						
POSIÇÃO DE SOLDAGEM: Todas	TAXA DE AQUECIM.: N/A						
PROGRESSÃO: Raiz: Descendente	TEMPERATURA TT: N/A						
PROGRESSÃO: Demais Passes: Descendente	TEMPO TT: N/A						
TEMPO DO INÍCIO DO 1º PASSE AO INÍCIO DO 2º PASSE: 30 minutos	TAXA RESFRIAMENTO: N/A						
TEMPO ENTRE DEMAIS PASSES: N. A	CONTROLE TEMP. ATÉ: N/A						
GÁS DE PROTEÇÃO DO ARCO DE SOLDAGEM	GÁS DE PROTEÇÃO DA RAIZ						
TIPO: N. A	TIPO: N/A						
COMPOSIÇÃO: N. A	COMPOSIÇÃO: N/A						
VAZÃO: N. A	VAZÃO: N/A						
OBS: ----	OBS: ----						
METAIS DE ADIÇÃO							
PASSE	Classe (AWS)	Espec. SFA	Grupo	Diâmetro	Classe Fluxo	Marca Comercial	Fabricante
Raiz	E 6010	5.1	5	3,25 mm	N/A	OK 22.45P	Esab
Passe quente	E 8010 P1	5.5	2	4,0 mm	N/A	Pipeweld 8010Plus	Esab
Enchimento	E 8010 P1	5.5	2	4,0 mm	N/A	Pipeweld 8010Plus	Esab
Acabamento	E 8010 P1	5.5	2	4,0 mm	N/A	Pipeweld 8010Plus	Esab
CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS							
PASSE	Tipo de Corrente	Polaridade	Tensão (V)	Corrente (A)	Aporte de Calor (KJ/cm)		
Raiz	Contínua	Direta	26 a 33	80 a 100	N.A		
Passe quente	Contínua	Inversa	22 a 34	90 a 140	N.A		
Enchimento	Contínua	Inversa	22 a 34	90 a 140	N.A		
Acabamento	Contínua	Inversa	23 a 31	100 a 130	N.A		

Inspetor:  Eng. Atalos Pacheco Savino Filó Inspetor de Soldagem NII SNQC 0437 Data: 19/03/2024	RCO:  Construtora Elevação Ltda Atalos Pacheco Savino Filó Gerente da qualidade Data: 19/03/2024	Fiscalização:  Leonardo Melo Engenheiro Supervisor de Fiscalização CREA/MG 1407116126 Concretmat Engenharia e Tecnologia S/A Data: 22/03/24
--	--	--

	EPS ESPECIFICAÇÃO DO PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM	EPS Nº:	ELEV 010		
		Data:	19/03/2024		
		Folha: 2 de 2	Rev. 1		
Cliente:	GASMIG	OBRA:	Sistema de Distribuição de Gás Natural – SDGN Linha Tronco Centro Oeste.	Contrato:	4600001105

TÉCNICA DE SOLDAGEM						
PASSE	Tipo de Cordão	Oscilação	Eletrodo (Múltiplo/Simples)	Velocidade Soldagem (cm/min)	Dimensão Bocal	Outros
Raiz	Oscilante	$\leq 3 \times \varnothing$ da Vareta	Simples	30 à 33	N/A	N/A
Passe Quente	Oscilante	$\leq 3 \times \varnothing$ da Alma	Simples	19 à 29	N/A	N/A
Enchimento	Oscilante	$\leq 3 \times \varnothing$ da Alma	Simples	16 à 23	N/A	N/A
Acabamento	Oscilante	$\leq 3 \times \varnothing$ da Alma	Simples	14 à 20	N/A	N/A

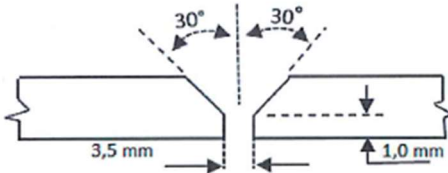


LIMPEZA INICIAL:	ESCOVAMENTO (Escova Rotativa)
LIMPEZA INTERPASSE:	LIXADEIRA E ESCOVAMENTO (Escova Rotativa)
MÉTODO DE GOIVAGEM:	N/A
ACOPLAMENTO INTERNO:	ACOPLADEIRA INTERNA OU EXTERNA
ACOPLAMENTO EXTERNO:	N/A

Notas:

- O desalinhamento máximo permitido é de 1,6 mm;
- Aquecimento, para retirada de umidade, de 50°C deverá ser dado utilizando maçarico tipo chuveiro, utilizando gás GLP;
- O arco deverá ser sempre aberto no chanfro e ou sobre solda já em execução;
- Iniciar os passes de solda em locais defasados em relação aos anteriores e o início de um passe deve sobrepor o final do passe anterior;
- A Soldagem deverá ser executada por dois soldadores;
- Este procedimento se aplica a soldagem da linha regular;
- Após a conclusão da soldagem deve ser realizado ensaios não destrutivos (inspeção visual e ultrassom AUT).

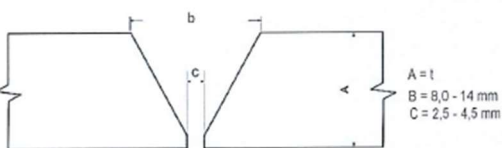
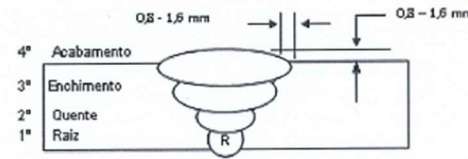
Inspeção:  Eng. Átalos Pacheco Savino Filó Inspetor de Soldagem NII SNOG 0437 Data: 19.03.2024	RCQ:  Construtora Elevação Ltda Átalos Pacheco Savino Filó Gerente da qualidade Data: 19.03.2024	Fiscalização:  Leonardo Melo Engenheiro Supervisor de Fiscalização CREA/MG 1407116126 Concretomat Engenharia e Tecnologia S/A Data: 20.03.2024
--	--	---

	REGISTRO		Nº RG.QUA.2000.026		REV.	2			
	CLIENTE: COMPANHIA DE GÁS DE MINAS GERAIS – GASMIG					FOLHA	1 de 2		
	PROGRAMA: SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE GÁS NATURAL – LINHA TRONCO CENTRO-OESTE					DATA	29/05/2024		
	ÁREA: LOTE 2 - Mateus Leme, Itaúna, São Gonçalo do Pará, Cajuru e Divinópolis - MG								
REGISTRO DA QUALIFICAÇÃO DO PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM (RQPS)									
NORMA DE REFERÊNCIA: ASME B 31.8 - 2022 / API 1104 - 2021					RQPS Nº: ELEV RQP 010				
SOLDADOR:	ERENILDO DOS SANTOS				SINETE:	002	LADO:	DIREITO	
SOLDADOR:	AGNALDO BARBOSA MEDEIROS				SINETE:	001	LADO:	ESQUERDO	
PROCESSO: Eletrodo Revestido					POSIÇÃO: Horizontal Fixa inclinada a 30°				
EPS PROPOSTA:	ELEV 010	METAL BASE: API 5L X65 PSL2			DIÂMETRO:	16"	ESPESSURA:	0,281"	
MÁQUINA RAIZ:	Moto soldadora				MÁQUINA DEMAIS PASSES: Moto soldadora				
METAL DE ADIÇÃO									
PASSE	Especificação	Classificação	Grupo	Diâmetro (mm)	Corrida	Marca Comercial	Fabricante		
Raiz	AWS A 5.1	E 6010 Plus	1	3,25	VTX26E7000	OK 22.45 P	ESAB		
Segundo Passe	AWS A 5.5	E 8010 P1	2	4,00	VTX32E7558	OK PIPEWELD 8010 PLUS	ESAB		
Enchimento	AWS A 5.5	E 8010 P1	2	4,00	VTX32E7558	OK PIPEWELD 8010 PLUS	ESAB		
Acabamento	AWS A 5.5	E 8010 P1	2	4,00	VTX32E7558	OK PIPEWELD 8010 PLUS	ESAB		
Limpeza	Raiz:	Lixadeira e escova rotativa							
	Demais passes:	Lixadeira e escova rotativa							
Interlavo de tempo	Raiz/Hot Pass:	30 minutos							
Acoplamento	Acopladeira interna ou Externa								
CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS									
PASSES	Processo	Polaridade	Tensão (V)	Corrente (A)	Velocidade (mm/min.)	Velocidade Arame (m/min.)	Heat Input (KJ/min.)		
RAIZ	ER	CC -	26 a 33	79 a 100	300 a 321	N.A	N.A		
Segundo Passe	ER	CC+	28 a 33	96 a 140	196 a 285	N.A	N.A		
Enchimento	ER	CC+	22 a 34	97 a 132	160 a 225	N.A	N.A		
Acabamento	ER	CC+	23 a 31	101 a 130	145 a 200	N.A	N.A		
TÉCNICA DE SOLDAGEM					TRATAMENTO TÉRMICO				
PASSES	Eletrodo (Múltiplo/Simples)	Oscilação	Gás Proteção			Tipo	Temperatura	Taxa Aquecimento	Taxa Refriamento
			Tipo	Vazão	Bocal				
RAIZ	SIMPLES	3 X Ø	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A
Segundo Passe	SIMPLES	3 X Ø	N.A	N.A	N.A	PRÉ AQUECIMENTO		PÓS AQUECIMENTO	
Enchimento	SIMPLES	3 X Ø	N.A	N.A	N.A	N.A		N.A	
Acabamento	SIMPLES	3 X Ø	N.A	N.A	N.A	N.A		N.A	
CROQUI DA SOLDAGEM									
 Configuração da Junta Junta:					 SEQUÊNCIA DE CAMADAS Deposição dos passes				
INSPECTOR DE SOLDAGEM N2			COORDENADOR DE C.Q			CLIENTE			
 Atalys Pacheco Savino Filó Inspetor de Soldagem NII SNQC ISN2 0437									
DATA: 29/05/2024			DATA:			DATA:			

	REGISTRO		Nº	RG.QUA.2000.026		REV.	2		
	CLIENTE: COMPANHIA DE GÁS DE MINAS GERAIS – GASMIG					FOLHA	2 de 2		
	PROGRAMA: SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE GÁS NATURAL – LINHA TRONCO CENTRO-OESTE					DATA	29/05/2024		
	ÁREA: LOTE 2 - Mateus Leme, Itaúna, São Gonçalo do Pará, Cajuru e Divinópolis - MG								
TÍTULO:		REGISTRO DA QUALIFICAÇÃO DO PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM (RQPS)							
NORMA DE REFERÊNCIA:			ASME B 31.8 - 2022 / API 1104 - 2021			RQPS Nº:		ELEV RQP 010	
CERTIFICADOS (ANEXOS)									
Metal Base	Eletrodo	Eletrodo	Calibre Solda	Termometro infravermelho	Trena	Alicate Amperimetro			
266/2024	VTX26E7000	VTX32E7558	M043632/2023	95Z5VG24	3G1A4024	6L16ZX24			
1. INSPEÇÃO VISUAL				INSPECTOR					
Resultado	Relatório Nº		Data	Nome		Nº Qualificação			
APROVADO	RVS-GAS-CP-006		15/03/2024	PEDRO A. GOMES		IS 12681			
2. ENSAIO ULTRASSOM				INSPECTOR					
Resultado	Relatório Nº		Data	Nome		Nº Qualificação			
APROVADO	0002		15/03/2024	LEONARDO BERZAGH		19983			
3. ENSAIO DE TRAÇÃO									
Resultado	Relatório Nº		Data	LABORATÓRIO					
APROVADO	264322		19/03/2024	UNIVERSIDADE DE ITAUNA					
4. ENSAIO DE DOBRAMENTO									
Resultado	Relatório Nº		Data	LABORATÓRIO					
APROVADO	264323		19/03/2024	UNIVERSIDADE DE ITAUNA					
5. ENSAIO DE NICK-BREAK									
Resultado	Relatório Nº		Data	LABORATÓRIO					
APROVADO	264323		19/03/2024	UNIVERSIDADE DE ITAUNA					
6. ENSAIO DE IMPACTO									
Resultado	Relatório Nº		Data	LABORATÓRIO					
APROVADO	4497, 4509, 4512, 4505, 4510 e 4513		29/05/2024	Laboratório de Ensaios e Análise de Materiais - LAMAT SENAI - Itaúna-MG					
7. MACROGRAFIA									
Resultado	Relatório Nº		Data	LABORATÓRIO					
N.A	N.A								
8. ENSAIO DE DUREZA									
Resultado	Relatório Nº		Data	LABORATÓRIO					
APROVADO	4511 e 4514		29/05/2024	Laboratório de Ensaios e Análise de Materiais - LAMAT SENAI - Itaúna-MG					
9. ANÁLISE QUÍMICA									
Resultado	Relatório Nº		Data	LABORATÓRIO					
N.A	N.A								
OBS.:									
INSPECTOR DE SOLDAGEM N2			COORDENADOR DE C.Q			CLIENTE			
Átalos Pacheco Savino Filho Inspetor de Soldagem NII SNQC ISN2 0437									
DATA:	29/05/2024		DATA:			DATA:			

APÊNDICE H

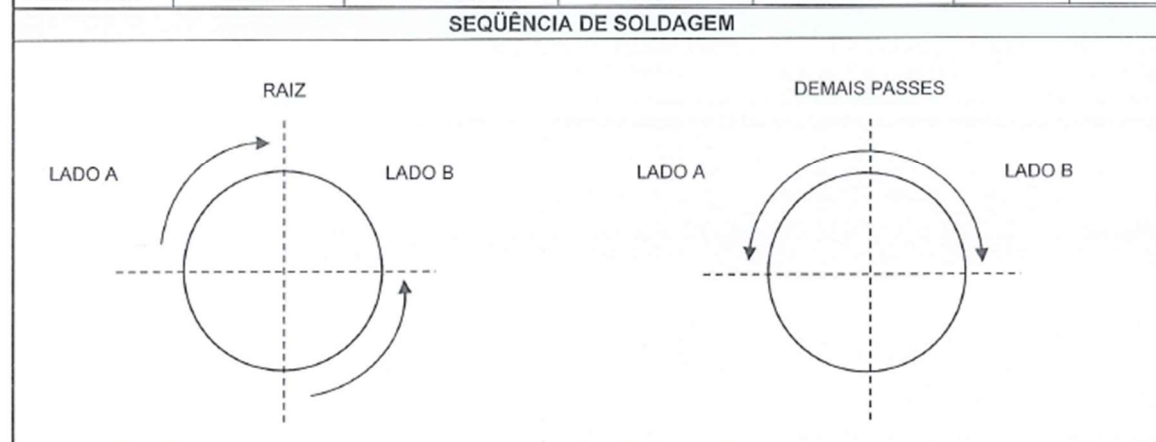
 CONSTRUTORA ELEVACÃO	EPS ESPECIFICAÇÃO DO PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM	EPS N°:	ELEV 014	 GASMIG
		Data:	19/03/2024	
		Folha: 1 de 2	Rev. 1	
Cliente: GASMIG	OBRA: Sistema de Distribuição de Gás Natural – SDGN Linha Tronco Centro Oeste.	Contrato: 4600001105		

NORMA REFERÊNCIA: API 1104 2021 / ASME B31.8 - 2022	BASEADO NA RQPS N°: ELEV RQP 014						
PROCESSO SOLDAGEM: Eletrodo Revestido	TIPO: ☒ Manual ☐ Semi Automático ☐ Automático						
JUNTA 	SEQÜÊNCIA DE CAMADAS 						
METAL BASE	PRÉ / PÓS – AQUECIMENTO						
ESPECIFICAÇÃO: TUBOS AÇO CARBONO LE ≤ 65.300 psi	TEMP. PRÉ AQUECIMENTO.: N. A						
FAIXA DE DIÂMETROS: TODOS	TEMP. INTERPASSES: N. A						
FAIXA ESPESSURA: 0,154" a 0,562"	TEMP. PÓS AQUECIMENTO.: N. A						
OBS: -----	TÉCNICA: N. A						
POSICÃO	TRATAMENTO TÉRMICO PÓS SOLDAGEM						
POSICÃO DE SOLDAGEM: Todas	TAXA DE AQUECIM.: N/A						
PROGRESSÃO: Raiz: Descendente	TEMPERATURA TT: N/A						
PROGRESSÃO: Demais Passes: Descendente	TEMPO TT: N/A						
TEMPO DO INÍCIO DO 1º PASSE AO INÍCIO DO 2º PASSE: 30 minutos	TAXA RESFRIAMENTO: N/A						
TEMPO ENTRE DEMAIS PASSES: N. A	CONTROLE TEMP. ATÉ: N/A						
GÁS DE PROTEÇÃO DO ARCO DE SOLDAGEM	GÁS DE PROTEÇÃO DA RAIZ						
TIPO: N. A	TIPO: N/A						
COMPOSIÇÃO: N. A	COMPOSIÇÃO: N/A						
VAZÃO: N. A	VAZÃO: N/A						
OBS: ----	OBS: ----						
METAIS DE ADIÇÃO							
PASSE	Classe (AWS)	Espec. SFA	Grupo	Diâmetro	Classe Fluxo	Marca Comercial	Fabricante
Raiz	E 6010	5.1	5	3,25 mm	N/A	OK 22.45P	Esab
Passe quente	E 6010	5.1	5	3,25 mm	N/A	OK 22.45P	Esab
Enchimento	E 8010 P1	5.5	2	4,0 mm	N/A	Pipeweld 8010Plus	Esab
Acabamento	E 8010 P1	5.5	2	4,0 mm	N/A	Pipeweld 8010Plus	Esab
CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS							
PASSE	Tipo de Corrente	Polaridade	Tensão (V)	Corrente (A)	Aporte de Calor (KJ/cm)		
Raiz	Contínua	Direta	26 a 36	97 a 115	N.A		
Passe quente	Contínua	Inversa	26 a 36	98 a 112	N.A		
Enchimento	Contínua	Inversa	26 a 35	118 a 134	N.A		
Acabamento	Contínua	Inversa	26 a 35	100 a 130	N.A		

Inspetor:  Eng. Átilas Pacheco Savino Filho Inspetor de Soldagem NII SNQC 0437 Data: 19.03.2024	RCO:  Construtora Elevação Ltda Átilas Pacheco Savino Filho Gerente da qualidade Data: 19.03.2024	Fiscalização: Data: / /
---	---	--------------------------------

 CONSTRUTORA ELEVACÃO	EPS ESPECIFICAÇÃO DO PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM	EPS Nº:	ELEV 014	 GASMIG GÁS NATURAL
		Data:	19/03/2024	
		Folha: 2 de 2	Rev. 1	
Cliente: GASMIG	OBRA: Sistema de Distribuição de Gás Natural – SDGN Linha Tronco Centro Oeste.	Contrato: 4600001105		

TÉCNICA DE SOLDAGEM						
PASSE	Tipo de Cordão	Oscilação	Eletrodo (Múltiplo/Simples)	Velocidade Soldagem (cm/min)	Dimensão Bocal	Outros
Raiz	Oscilante	$\leq 3 \times \varnothing$ da Vareta	Simples	30 à 33	N/A	N/A
Passe Quente	Oscilante	$\leq 3 \times \varnothing$ da Alma	Simples	19 à 29	N/A	N/A
Enchimento	Oscilante	$\leq 3 \times \varnothing$ da Alma	Simples	16 à 23	N/A	N/A
Acabamento	Oscilante	$\leq 3 \times \varnothing$ da Alma	Simples	14 à 20	N/A	N/A



LIMPEZA INICIAL: ESCOVAMENTO (Escova Rotativa)

LIMPEZA INTERPASSE: LIXADEIRA E ESCOVAMENTO (Escova Rotativa)

MÉTODO DE GOIVAGEM: N/A

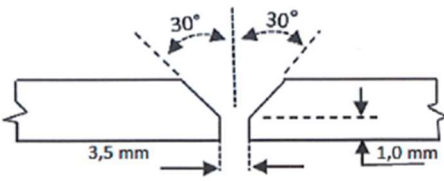
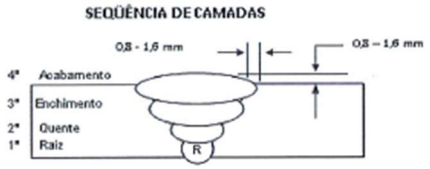
ACOPLAMENTO INTERNO: ACOPLADEIRA INTERNA OU EXTERNA

ACOPLAMENTO EXTERNO: N/A

Notas:

1. O desalinhamento máximo permitido é de 1,6 mm;
2. Aquecimento, para retirada de umidade, de 50°C deverá ser dado utilizando maçarico tipo chuveiro, utilizando gás GLP;
3. O arco deverá ser sempre aberto no chanfro e ou sobre solda já em execução;
4. Iniciar os passes de solda em locais defasados em relação aos anteriores e o início de um passe deve sobrepor o final do passe anterior;
5. A Soldagem deverá ser executada por dois soldadores;
6. Este procedimento se aplica a soldagem da linha regular;
7. Após a conclusão da soldagem deve ser realizado ensaios não destrutivos (inspeção visual e ultrassom AUT).

Inspetor:  Eng. Atalos Pacheco Savino Filó Inspetor de Soldagem NII SNQC 0437 Data: 19.03.2024	RCQ:  Construtora Elevação Ltda Atalos Pacheco Savino Filó Gerente da qualidade Data: 19.03.2024	Fiscalização: Data: / /
--	--	--------------------------------

	REGISTRO		Nº RG.QUA.2000.026		REV.	1			
	CLIENTE: COMPANHIA DE GÁS DE MINAS GERAIS – GASMIG				FOLHA	1 de 2			
	PROGRAMA: SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE GÁS NATURAL – LINHA TRONCO CENTRO-OESTE				DATA	27/05/2024			
	ÁREA: LOTE 2 - Mateus Leme, Itaúna, São Gonçalo do Pará, Cajuru e Divinópolis - MG								
REGISTRO DA QUALIFICAÇÃO DO PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM (RQPS)									
NORMA DE REFERÊNCIA: ASME B 31.8 - 2022 / API 1104 - 2021					RQPS Nº: ELEV RQP 014				
SOLDADOR:	ERENILDO DOS SANTOS			SINETE:	002	LADO:	DIREITO		
SOLDADOR:	AGNALDO BARBOSA MEDEIROS			SINETE:	001	LADO:	ESQUERDO		
PROCESSO: Eletrodo Revestido				POSIÇÃO: Horizontal Fixa inclinada a 30°					
EPS PROPOSTA:	ELEV 014	METAL BASE:	API 5L X65 PSL2	DIÂMETRO:	16"	ESPESSURA:	0,281"		
MÁQUINA RAIZ: Moto soldadora				MÁQUINA DEMAIS PASSES: Moto soldadora					
METAL DE ADIÇÃO									
PASSE	Especificação	Classificação	Grupo	Diâmetro (mm)	Corrida	Marca Comercial	Fabricante		
Raiz	AWS A 5.1	E 6010	1	3.25	VTX26E7000	OK 22.45 P	ESAB		
Segundo Passe	AWS A 5.5	E 6010	1	3.25	VTX26E7000	OK 22.45 P	ESAB		
Enchimento	AWS A 5.5	E 8010 P1	2	4.00	VTX32E7558	OK PIPEWELD 8010 PLUS	ESAB		
Acabamento	AWS A 5.5	E 8010 P1	2	4.00	VTX32E7558	OK PIPEWELD 8010 PLUS	ESAB		
Limpeza	Raiz e 2º passe: Escova rotativa								
	Demais passes: Lixadeira e escova rotativa								
Interlavo de tempo	Raiz/Hot Pass: 30 minutos								
Acoplamento	Acoplamento interno (cachorro)								
CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS									
PASSES	Processo	Polaridade	Tensão (V)	Corrente (A)	Velocidade (mm/min.)	Velocidade Arame (m/min.)	Heat Input (KJ/min.)		
RAIZ	ER	CC -	26 a 36	97 a 115	216 a 260	N.A	N.A		
Segundo Passe	ER	CC -	27 a 37	98 a 112	165 a 186	N.A	N.A		
Enchimento	ER	CC+	26 a 35	118 a 134	179 a 280	N.A	N.A		
Acabamento	ER	CC+	26 a 34	112 a 122	162 a 200	N.A	N.A		
TÉCNICA DE SOLDAGEM					TRATAMENTO TÉRMICO				
PASSES	Eletrodo (Múltiplo/Simples)	Oscilação	Gás Proteção			Tipo	Temperatura	Taxa Aquecimento	Taxa Refriamento
			Tipo	Vazão	Bocal				
RAIZ	SIMPLES	3 X Ø	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A
Segundo Passe	SIMPLES	3 X Ø	N.A	N.A	N.A	PRÉ AQUECIMENTO		PÓS AQUECIMENTO	
Enchimento	SIMPLES	3 X Ø	N.A	N.A	N.A	N.A		N.A	
Acabamento	SIMPLES	3 X Ø	N.A	N.A	N.A				
CROQUI DA SOLDAGEM									
 Configuração da Junta Junta:					 Sequência de Camadas Deposição dos passes				
INSPECTOR DE SOLDAGEM N2			COORDENADOR DE C.Q			CLIENTE			
 Eng. Marcos Pacheco Sarino Filho Inspetor de Soldagem NII SNQC ISN2 0437									
DATA: 27/05/2024			DATA: 27/05/2024			DATA:			

	REGISTRO		Nº RG.QUA.2000.026		REV.	1		
	CLIENTE: COMPANHIA DE GÁS DE MINAS GERAIS – GASMIG					FOLHA		2 de 2
	PROGRAMA: SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE GÁS NATURAL – LINHA TRONCO CENTRO-OESTE					DATA		27/05/2024
	ÁREA: LOTE 2 - Mateus Leme, Itaúna, São Gonçalo do Pará, Cajuru e Divinópolis - MG							
TÍTULO:		REGISTRO DA QUALIFICAÇÃO DO PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM (RQPS)						
NORMA DE REFERÊNCIA:			ASME B 31.8 - 2022 / API 1104 - 2021		RQPS Nº: ELEV RQP 014			
CERTIFICADOS (ANEXOS)								
Metal Base	Eletrodo	Eletrodo	Calibre Solda	Termometro infravermelho	Trena	Alicate Amperimetro		
266/2024	VTX26E7000	VTX32E7558	M043632/2023	95Z5VG24	3G1A4024	6L16ZX24		
1. INSPEÇÃO VISUAL				INSPECTOR				
Resultado	Relatório Nº		Data	Nome		Nº Qualificação		
APROVADO	RVS-GAS-CP-005		18/03/2024	PEDRO A. GOMES		IS 12681		
2. ENSAIO ULTRASSOM				INSPECTOR				
Resultado	Relatório Nº		Data	Nome		Nº Qualificação		
N.A	N.A							
3. ENSAIO DE TRAÇÃO								
Resultado	Relatório Nº		Data	LABORATÓRIO				
APROVADO	264289		15/03/2024	UNIVERSIDADE DE ITAUNA				
4. ENSAIO DE DOBRAMENTO								
Resultado	Relatório Nº		Data	LABORATÓRIO				
APROVADO	264290 e 264313		15/03/2024	UNIVERSIDADE DE ITAUNA				
5. ENSAIO DE NICK-BREAK								
Resultado	Relatório Nº		Data	LABORATÓRIO				
APROVADO	264291		15/03/2024	UNIVERSIDADE DE ITAUNA				
6. ENSAIO DE IMPACTO								
Resultado	Relatório Nº		Data	LABORATÓRIO				
APROVADO	4515, 4522, 4525, 4516, 4523, 4524 e 4526		27/05/2024	Laboratório de Ensaios e Análise de Materiais -LAMAT SENAI - Itaúna-MG				
7. MACROGRAFIA								
Resultado	Relatório Nº		Data	LABORATÓRIO				
N.A	N.A							
8. ENSAIO DE DUREZA								
Resultado	Relatório Nº		Data	LABORATÓRIO				
APROVADO	4524, 4527, 4521 e 4517		24/05/2024	Laboratório de Ensaios e Análise de Materiais -LAMAT SENAI - Itaúna-MG				
9. ANÁLISE QUÍMICA								
Resultado	Relatório Nº		Data	LABORATÓRIO				
N.A	N.A							
OBS.:								
INSPECTOR DE SOLDAGEM N2			COORDENADOR DE C.Q		CLIENTE			
 Eng. Alvaro Pacheco Savino Filho Inspeção de Soldagem NII SNQC ISN2 0437								
DATA: 27/05/2024			DATA: 27/05/2024		DATA:			