

Soldagem de reforço em tubulação de aço carbono em operação com água sem pressão de acordo com os requisitos da norma ASME PCC-2

Reinforcement welding in carbon steel piping in operation with water without pressure according to ASME PCC-2 standard requirements

¹ Fernando Farizel  

² José Rubens 

- ¹ Mestre em Engenharia Mecânica pela Universidade de Taubaté (UNITAU), Especialização em Engenharia de Soldagem pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP), Engenheiro de Produção e Tecnólogo em Gestão da Produção Industrial pela ETEP Faculdade de Tecnologia de São José dos Campos – SP, Técnico em Mecânica pela Escola Técnica Federal do Espírito Santo..
- ² Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade Estadual Júlio de Mesquita Filho, mestre em Engenharia Mecânica pela Universidade de Taubaté. Professor no curso do mestrado profissional e acadêmico em Engenharia Mecânica, curso de especialização de Engenharia Aeronáutica e do curso de pós em manutenção industrial da Universidade de Taubaté.

RESUMO

O objetivo deste trabalho é realizar uma soldagem de reforço em um corpo-de-prova de teste, com passagem de fluido interno, utilizando-se o processo de soldagem por eletrodo revestido, para representar uma tubulação em operação sem pressão em unidades de processos industriais de acordo com os requisitos da norma ASME PCC-2. Para a confecção do corpo-de-prova de teste, foi utilizado um tubo ASTM A 106 Gr. B, DN 8" x 1.400 mm, com 6 mm de espessura. As juntas soldas foram submetidas por meio de ensaios não destrutivos de visual, líquido penetrante e ultrassom, como também ensaios destrutivos de tração, dobramento, fratura, macrografia, micrografia e dureza, para análise das suas propriedades e verificação dos atendimentos aos requisitos normativos. Todas as análises e ensaios realizados apresentaram resultados satisfatórios, sem nenhuma trinca, perfuração ou outro tipo de defeito que comprometesse a aplicação desse procedimento de soldagem necessário em unidades de processos industriais. Os dois tipos de soldas: de topo em "V" (longitudinal) e em ângulo (circunferencial) atenderam aos critérios estabelecidos. Com os resultados alcançados, foi possível concluir que a soldagem em operação sem pressão, com temperaturas de fluido na temperatura ambiente em torno de 25 °C, sem pressão e com uma vazão em torno de 8 m³ / h é possível de ser realizada.

Palavras-chave:

Soldagem de reforço. Tubulação de aço carbono. Soldagem em operação. Eletrodo revestido. Solda.

ABSTRACT

The objective of this work is to perform out a reinforcement welding in a test coupon, with internal fluid passage, using the coated electrode welding process, to represent a pipe in operation without pressure in industrial process units in accordance with the requirements of ASME PCC-2. For the preparation of the test coupon, an ASTM A 106 Gr. B, DN 8" x 1,400 mm tube, with 6 mm thickness, was used. The weld joints were submitted to non-destructive tests of visual, liquid penetrant and ultrasonic, as well as destructive tests of tension, bend, nick-break, macro-section, Micro-section and Hardness, to analyze their properties and verify compliance with regulatory requirements. All analyses and tests performed showed satisfactory results, without any crack, burn through or other type of defect that could compromise the application of this welding procedure necessary in industrial process units. The two types of welds: butt weld in V (longitudinal) and Fillet weld (circumferential) met the established criteria. With the results achieved, it was possible to conclude that welding in operation without pressure, with fluid temperatures at room temperature around 25 °C, without pressure and with a flow rate around 8 m³ / h it is possible to be performed.

Keywords:

Reinforcement Welding. Carbon steel. Welding in operation. Electrode coated. Weld.

1 INTRODUÇÃO

Tubulações de aço carbono, por apresentarem disponibilidade comercial, custo, atendimento às solicitações dos projetos e terem boa soldabilidade, são amplamente utilizadas para a realização do transporte de produtos, tais como: líquidos, pastosos ou gasosos durante o seu processo de transformação em unidades industriais de processamento de petróleo, químicas, farmacêuticas, têxteis, papel, minério e alimentícia e outras. Durante a vida útil dessas tubulações que é um conjunto de tubos e seus acessórios conforme Telles e Barros (2001), sofrem danos pontuais como: trincas, redução de espessura por erosão, corrosão ou outros mecanismos, devido a fatores característicos de cada unidade, com necessidade de reparo para evitar riscos às pessoas, às unidades ou interrupção de produção por paradas não programadas.

Um tipo de reparo que vem sendo utilizado como meio de evitar falhas em tubulações, são as luvas de reforço soldadas sem a parada de produção, projetadas e soldadas nas partes onde se detecta pontos de possíveis futuras falhas em operação, com a finalidade de reestabelecer as características das tubulações de suportarem as solicitações projetadas e continuar o processo normal de produção.

Soldagem em operação é uma técnica na qual se realiza a soldagem de tubulações que contenha qualquer produto ou resíduos pressurizados ou não, com ou sem fluxo, sem a necessidade de paradas operacionais conforme descrito na N-2163 (2016).

De acordo com Sabapathy *et al.* (2001), um dos fatores que dificultam a soldagem em operação são as características de vazão interna do produto (gás ou líquido) dentro da tubulação que criam perdas de calor através da parede do tubo durante a soldagem.

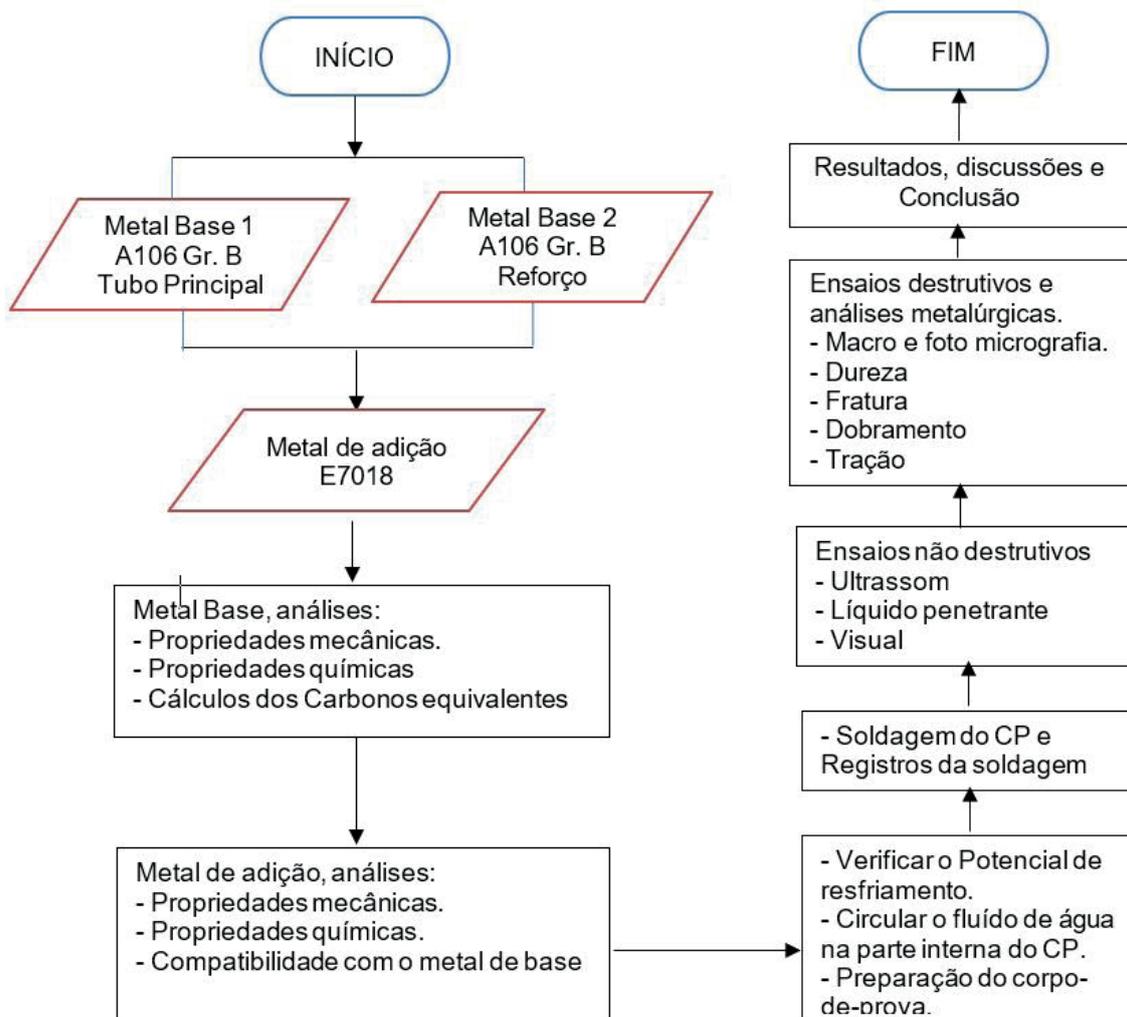
Nesse tipo de soldagem devem ser considerados: a) o potencial de trinca induzido por hidrogênio, considerado um dos maiores problemas de soldabilidade dos aços estruturais comuns, particularmente para processos de baixa energia de soldagem de acordo com Modenesi *et al.* (2012). Pode ocorrer tanto na ZAC como na solda, e também como resultado de uma taxa de resfriamento acelerada; b) o risco de obter um aumento de dureza na ZAC e solda; c) possível perfuração do tubo, que não é um fator somente dependente da espessura do tubo, devendo ser considerados os parâmetros de soldagem (tensão, corrente, velocidade de soldagem), as condições de operação da tubulação (pressão ou não, temperatura, vazão e propriedades térmicas do fluido).

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Planejamento experimental

A Figura 1 apresenta a metodologia aplicada para atender os objetivos deste trabalho.

Figura 1 - Fluxograma do planejamento experimental do estudo



Fonte: Próprio autor (2021).

2.2 Materiais

Para o desenvolvimento deste trabalho foram utilizados os seguintes materiais:

Tubo principal: material de aço carbono ASTM A106 Gr. B, com diâmetro nominal de 8" (219,1 mm), espessura de parede de 6,35 mm e 1.400 mm de comprimento.

Reforço com dois semicírculos cortados de um tubo de aço carbono ASTM A106 Gr. B, com diâmetro nominal de 10" (273,1 mm), espessura de parede de 6,35 mm e 860 mm de comprimento.

A análise química destes materiais foi medida com o equipamento MLST-01 Espectrômetro de emissão óptica SPECTROMAXx e com os resultados foi calculado o carbono equivalente conforme a Equação 1.

$$CE = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15} \quad \text{Eq. (1)}$$

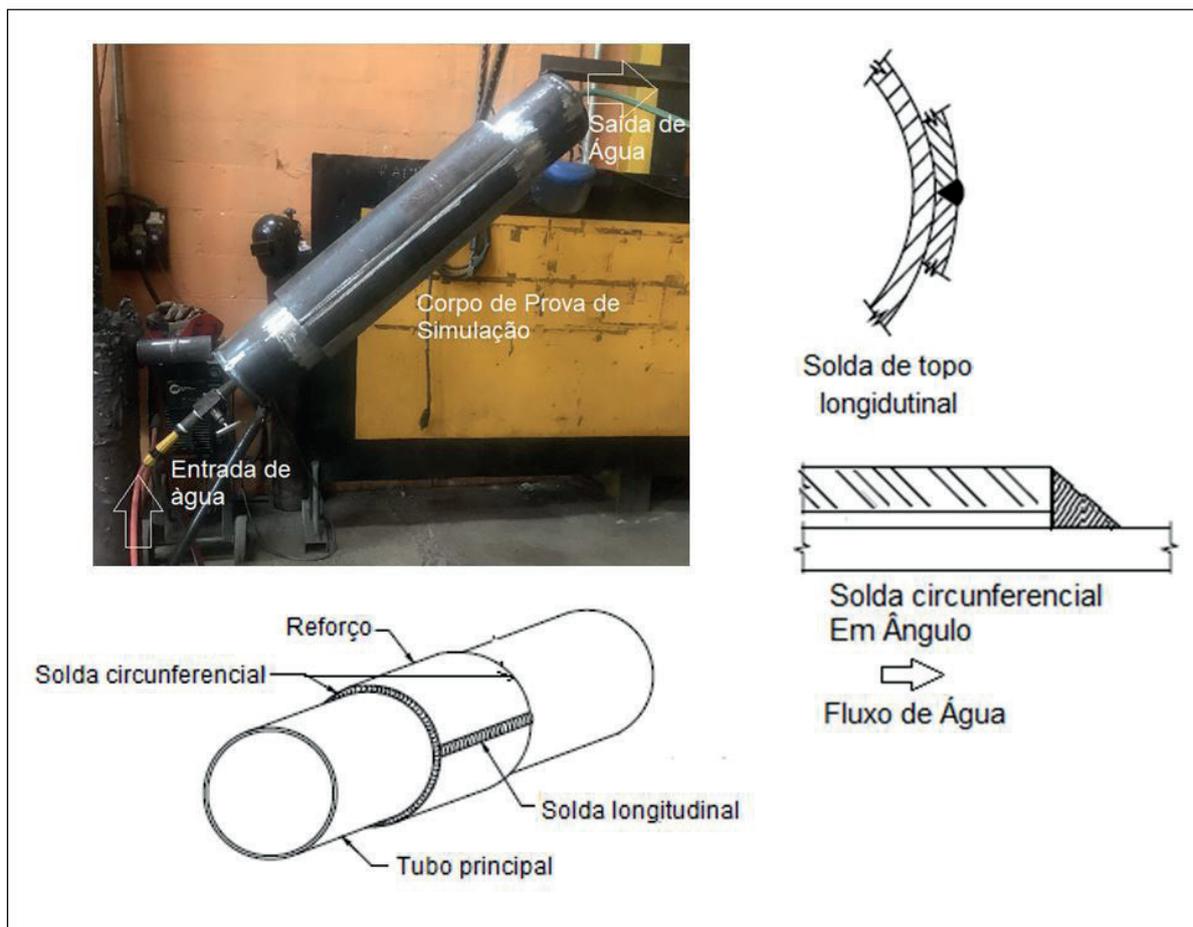
2.3 Métodos

2.3.1 Fabricação do corpo-de-prova

Para a realização deste trabalho foi preparado um corpo-de-prova para simular a soldagem em operação conforme apresentado na Figura 2, com passagem de fluxo de água interna.

Segundo o ASME PCC-2 (2018), a água é utilizada por ser o líquido mais apropriado para esse tipo de simulação, pois demonstrou ser o fluido que tem a propriedade de resfriar a solda mais rápido que qualquer outro fluido de resfriamento, o que torna o procedimento mais conservador, para análise quanto à possibilidade de trinca a frio.

Figura 2 - Esquema do corpo-de-prova



Fonte: Próprio autor (2021).

2.3.2 Controle do tempo de resfriamento

No início do processo, realizou-se o controle do tempo de resfriamento, em uma faixa de 250 °C a 100 °C, através da marcação de três círculos, utilizando-se giz, de 50 mm de diâmetro denominados como pontos 1, 2 e 3 nas posições 3 horas e 12 horas, utilizando-se um maçarico tipo chuva em movimento circular, aquecendo o círculo inteiro. Esse procedimento é necessário para mitigar o risco de aparecimento de trinca a frio que ocorre a temperaturas inferiores a 150 °C, praticamente inexistente a temperaturas superiores a 250 °C, devido à remoção de calor pelo fluido interno do tubo e ao aporte térmico controlado para evitar o risco de perfuração.

2.3.3 Desenvolvimento da soldagem

Foi realizado a soldagem do corpo-de-prova de teste, pelo processo de eletrodo revestido utilizando-se o consumível de baixo hidrogênio E7018 com diâmetro de 3,25 mm, com passagem água natural no interior da tubulação com escoamento laminar à temperatura ambiente de 25 °C, mantendo-se um volume de água de 0,027 m³ e uma vazão de 8 m³ / h em um fluxo aberto para a atmosfera, ou seja, sem pressão durante a soldagem.

2.3.4 Ensaios não destrutivos

Os Ensaios não destrutivos foram aplicados conforme o tipo de junta soldada: As soldas longitudinais foram inspecionadas por visual pelo método direto, líquido penetrante e ultrassom e as soldas circunferenciais em ângulo por visual e líquido penetrante em 100% de sua extensão, utilizando procedimentos qualificados conforme definido pela ASME V (2019).

Houve preparação da superfície para as inspeções da solda e em uma área adjacente de 100 mm de cada lado, ficando isenta de óleos, graxas, vernizes, óxidos e outras impurezas que pudessem interferir na execução dos ensaios, por meio de uma escova de aço em uma lixadeira elétrica rotativa e, posteriormente, utilizado o removedor E-59 da Metal-Chek para garantir a limpeza.

O ensaio de líquido penetrante, foi realizado com penetrante visível VP-30 removível à água e a revelador D-70 da Metal-Chek, com o método de aplicação aerosol, com um tempo de penetração de 15 minutos. Após a remoção do excesso de líquido penetrante, em um tempo de 10 minutos para secagem, foi realizada uma inspeção imediata após a aplicação do revelador na região de interesse com uma iluminação de 1250 lux na superfície.

O ensaio de ultrassom foi realizado com o aparelho do fabricante Mitech modelo MFD-350 BP, utilizando-se os cabeçotes SE, 60° e 70° com frequência de 4MHz do mesmo fabricante.

2.3.5 Ensaios destrutivos

Os Ensaios de tração, dobramento, fratura, macrografia, micrografia e dureza foram realizados para avaliação das propriedades das soldas, conforme requerido pelas normas ASME PCC-2 (2018) e ASME IX (2019), conforme mostrado na Tabela 1.

Os corpos-de-provas, para a realização dos ensaios, foram removidos do corpo-de-prova de teste através de serra refrigerada, com remoção do reforço da solda por retica refrigerada com rebolo abrasivo. Os ensaios de tração, dobramento e fratura foram realizados na máquina de ensaio universal modelo MT-04. Os ensaios de macrografias e micrografias foram realizados com reagente químico nital 10% e aumento de

10 X, 200 X e 400 X. As medições de durezas realizadas com o aparelho microdurômetro Vickers modelo MD-01, na temperatura ambiente de 23 °C e com humidade relativa do ar de 55 %.

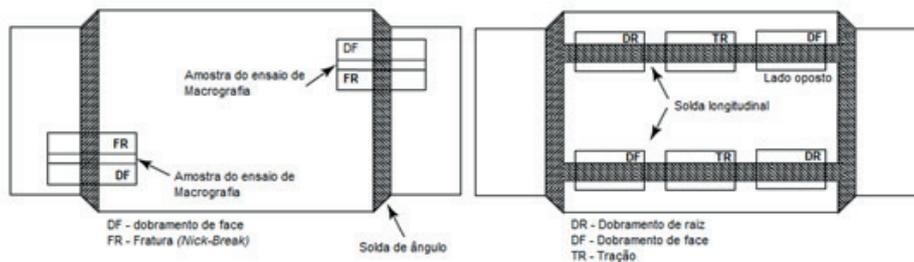
Tabela 1 – Quantidade de corpos-de-prova e normas de referencias

Tipo de solda	Ensaio	Quantidade de corpos-de-prova	Preparação
De ângulo (Circunferencial Sobreposta)	Dobramento de face	4	Preparação dos corpos-de-prova conforme a norma ASME PCC-2, (2018), Item 210-4.2.1.4, Figura 210-4.2.1.4-1.
	Fratura	4	Preparação dos corpos-de-prova conforme a norma ASME PCC-2, (2018), Item 210-4.2.1.3.
	Macrografia	2	Preparação conforme a norma ASTM E340, (2015).
	Dureza	2	Preparação dos corpos-de-prova conforme a norma ASME PCC-2, (2018), Item 210-4.2.1.2, Figura 210-4.2.1.2-1.
Topo (Longitudinal)	Tração	2	Preparação dos corpos-de-prova conforme a norma ASME IX, (2019), Figura QW-462.1(b).
	Dobramento de Face e Raiz	4	Preparação dos corpos-de-prova conforme a norma ASME IX, (2019), Figura QW-462.3(b).
	Fratura	2	Preparação dos corpos-de-prova conforme a norma ASME PCC-2, (2018).

Fonte: Próprio autor (2021).

A localização de retirada dos corpos-de-prova, de tração, dobramento, fratura e macrografia das soldas é apresentada na Figura 3.

Figura 3 – Localização de retirada dos corpos-de-prova das soldas.



Fonte: Adaptado ASME PCC-2 (2018).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Análise Química

Os resultados da composição química e carbono equivalente (CE) do Tubo principal e do reforço são mostrados na Tabela 2, que também apresenta um comparativo destes resultados do material A 106 Gr B, conforme estabelecido pela norma ASME II parte A (2019).

A composição química do tubo atendeu as exigências da norma. O CE calculado para o tubo foi 0,30% e 0,29% do reforço, sendo os dois fabricados da mesma especificação de material A 106 Gr. B, atendeu a norma com um CE de 0,43% máximo.

Valores altos de CE implicam em uma probabilidade maior à formação de estruturas frágeis e trincas a frio. Por essa razão, o procedimento de soldagem é limitado pelo CE do corpo-de-prova.

Os CE do tubo e do reforço, apresentaram valores abaixo do valor máximo das normas de fabricação, limitando a soldagem de materiais com um CE máximo de 0,30%.

Tabela 2 - Composição química dos materiais de base

---	Elementos	C Carbono	Mn Manganês	Cr Cromo	Mo Molibdênio	V Vanádio	Ni Níquel	Cu Cobre	CE %
Tubo principal	Concentração (%)	0,21	0,49	0,03	0,002	0,004	0,022	0,02	0,30
Reforço	Concentração (%)	0,16	0,76	0,01	0,001	0,003	0,007	0,007	0,29
Valor da Norma	Concentração (%) máximo	0.30	0.29–1.06	0.40	0,15	0.08	0.40	0.40	0,50

Fonte: Próprio autor (2021).

Os resultados da composição química do eletrodo de baixo hidrogênio E7018 são mostrados na Tabela 3, que também apresenta um comparativo desses resultados conforme estabelecido na norma ASME II parte C (2019).

A composição química do tubo atendeu as exigências da norma.

Tabela 3 - Composição química do eletrodo.

---	Elementos	C Carbono	Mn Manganês	Cr Cromo	Mo Molibdênio	V Vanádio	Ni Níquel
E7018	Concentração (%)	0,059	1,050	0,090	0,007	0,003	0,021
Valor da Norma	Concentração (%) máximo	0,15	1,60	0,20	0,30	0,08	0,30

Fonte: Próprio autor (2021).

3.2 Taxa de resfriamento ou potencial de resfriamento

A taxa de resfriamento ou potencial de resfriamento é uma variação de temperatura por unidade de tempo, conforme apresentado na Tabela 4. A realização dessa medição é necessária para que seja mitigado o risco de trinca a frio na aplicação do procedimento de soldagem, evitando um resfriamento mais rápido do que foi avaliado.

Tabela 4 - Valores obtidos no controle de resfriamento de 250 a 100 °C

Localização	Tempo (s)		Imagem
	Medição 1	Medição 2	
Ponto 1	9	10	
Ponto 2	8	9	
Ponto 3	8	10	
Tempo médio	9 s		
Taxa de resfriamento	17 °C/s		

Fonte: Próprio autor (2021).

3.3 Soldagem do corpo-de-prova de teste

A soldagem e todos os itens programados, foram realizados conforme planejado e o controle das variáveis de soldagem foram realizadas sem interrupção durante o processo de soldagem e apresentado na Tabela 5 e Tabela 6.

Tabela 5 - Parâmetros de Soldagem das Soldas Longitudinais

Parâmetros de Soldagem	Soldas Longitudinais					
	Lado A – J1			Lado B – J2		
	Passe 1	Passe 2	Passe 3	Passe 1	Passe 2	Passe 3
Processo de Soldagem	Eletrodo revestido			Eletrodo revestido		
Consumível	E7018			E7018		
Tipo de Corrente	Corrente Contínua			Corrente Contínua		
Polaridade	Positiva			Positiva		
Tensão	22 a 24 Volts			22 a 24 Volts		
Corrente	90 a 100 Amperes			90 a 100 Amperes		
Veloc. de Soldagem (mm/min.)	176	290	267	198	267	254
Aporte Térmico (kj/mm)	0,8	0,5	0,5	0,7	0,5	0,6

Fonte: O próprio autor (2021).

Tabela 6 - Parâmetros de Soldagem das Soldas Circunferenciais

Parâmetros de Soldagem	Soldas Circunferenciais					
	Inferior – J3			Superior – J4		
	Passe 1	Passe 2	Passe 3	Passe 1	Passe 2	Passe 3
Processo de Soldagem	Eletrodo revestido			Eletrodo revestido		
Consumível	E7018			E7018		
Tipo de Corrente	Corrente Contínua			Corrente Contínua		
Polaridade	Positiva			Positiva		
Tensão	22 a 24 Volts			22 a 24 Volts		
Corrente	90 a 100 Amperes			90 a 100 Amperes		
Veloc. de Soldagem (mm/min.)	210	220	258	184	207	267
Aporte Térmico (kJ/mm)	0,7	0,7	0,6	0,8	0,7	0,5

Fonte: O próprio autor (2021).

A realização de um preaquecimento não foi necessária em função do carbono equivalente calculado máximo de 0,30%, conforme definido pela ASME PCC-2 (2018). A temperatura interpasse ficou na faixa de 36 a 41 °C, em função da refrigeração interna.

3.4 Ensaios não destrutivos

Os ensaios não destrutivos realizados de Visual, líquido penetrante e ultrassom foram realizados conforme a metodologia planejada. Todas as soldas obtiveram resultados aprovados, conforme os critérios da norma de construção ASME B31.3 (2018).

3.5 Ensaios destrutivos

3.5.1 Ensaio de dobramento

Os ensaios de dobramentos das soldas de topo longitudinais e circunferenciais foram realizados conforme planejado, com uma curvatura de 180°, utilizando-se um cutelo de diâmetro de 25,4 mm e abertura entre os roletes de 41,3 mm.

Atendeu a norma ASME PCC-2 (2018), que tem como critério de aceitação, nenhuma trinca ou outra imperfeição que exceda 3,2 mm na região de interesse.

3.5.2 Ensaio de Fratura

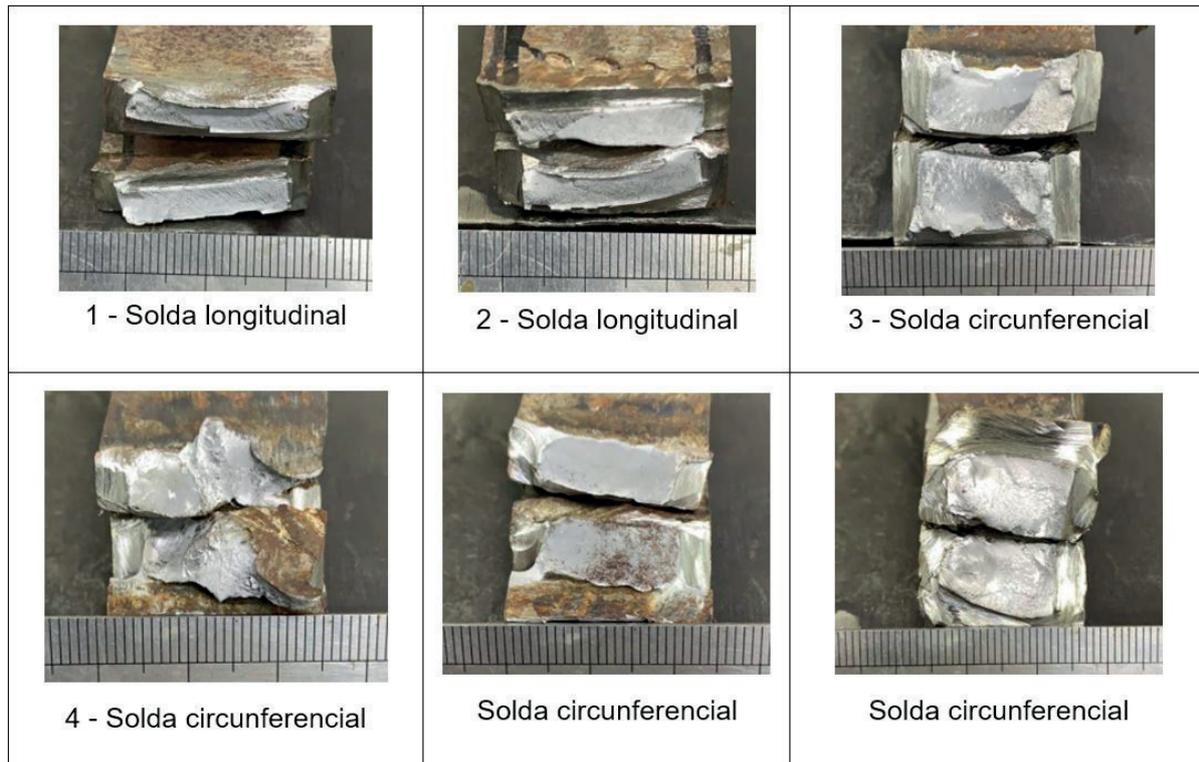
Os ensaios de Fratura obtiveram resultados aprovados, não apresentaram nenhuma descontinuidade nas superfícies fraturadas, Figura 4.

Atendeu a norma ASME PCC-2 (2018), que tem como critério de aceitação:

a) Fusão completa; b) Nenhum poro maior que 1,6 mm de dimensão e a combinação da área total de poros não excedendo a 2% da área da superfície exposta fraturada; c) Nenhuma inclusão de escória maior que 0,8 mm.

Não apresentou nenhuma indicação de olho de peixe que, apesar de não ser causa de rejeição, indica a existência e gás retido.

Figura 4 – Corpos-de-provas de fratura.



Fonte: Próprio autor (2021).

3.5.3 Macrografia e dureza

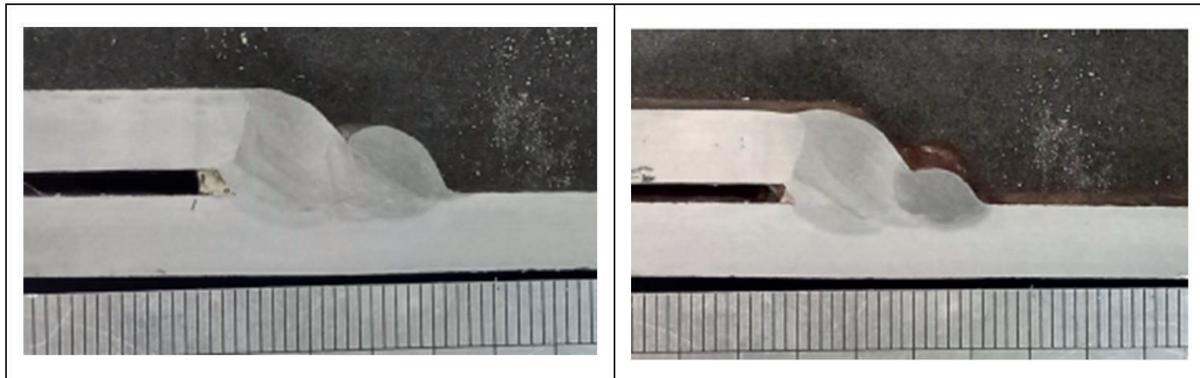
Para as análises de macrografia e realização das medições de dureza, os corpos-de-provas foram lixados e atacados com Nital 10% por 20 segundos.

As macrografias analisadas obtiveram resultados aprovados e, não apresentaram nenhuma descontinuidade, conforme apresentado na Figura 5.

Atendeu a norma ASME PCC-2 (2018), que tem como critério de aceitação:

a) Fusão completa; b) Nenhuma evidência de trinca; c) Nenhuma mordedura maior que 0,6 mm, que é 10% da espessura do corpo-de-prova de teste.

Figura 5 – Macrografias e regiões da medição de dureza

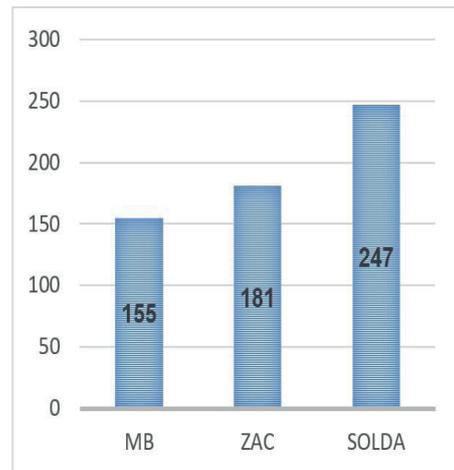


Fonte: Próprio autor (2021).

O ensaio realizado foi o de Dureza Vickers com carga de 10 kgf, utilizando-se o mesmo corpo-de-prova da macrografia, com os resultados obtidos mostrados na Tabela 7.

Tabela 7 – Média dos Resultado do ensaio de Dureza

Localização	Média	Desvio Padrão	Média do MB, ZAC e solda
CP 1 - ZAC	192,7	0,9	
CP 2 - ZAC	185,9	0,9	
CP 2 – Metal Base do tubo	154,4	2,2	
CP 2 – Metal Base do tubo abaixo da linha de fusão	152,3	2,5	
CP 2 – ZAC com o tubo	173,3	3,0	
CP 2 – Solda raiz	204,2	2,5	
CP 2 – Solda acabamento passe 1	225,7	3,7	
CP 2 – Solda acabamento passe 2	267,5	4,8	
CP 2 – ZAC com o reforço	173,1	2,2	
CP 2 – Metal Base do reforço	158,9	2,2	



Fonte: Próprio autor (2021).

Os valores de dureza apresentaram resultados inferiores de 268 HV, indicando que não houve formação de estruturas frágeis nas juntas soldadas. Observa-se que a solda obteve um valor de dureza maior que a ZAC e o metal base, em função do resfriamento acelerado causado pela passagem do fluxo interno, o que em um procedimento de soldagem normal, ocorre o inverso, com a dureza na ZAC sendo, geralmente, maior que a solda.

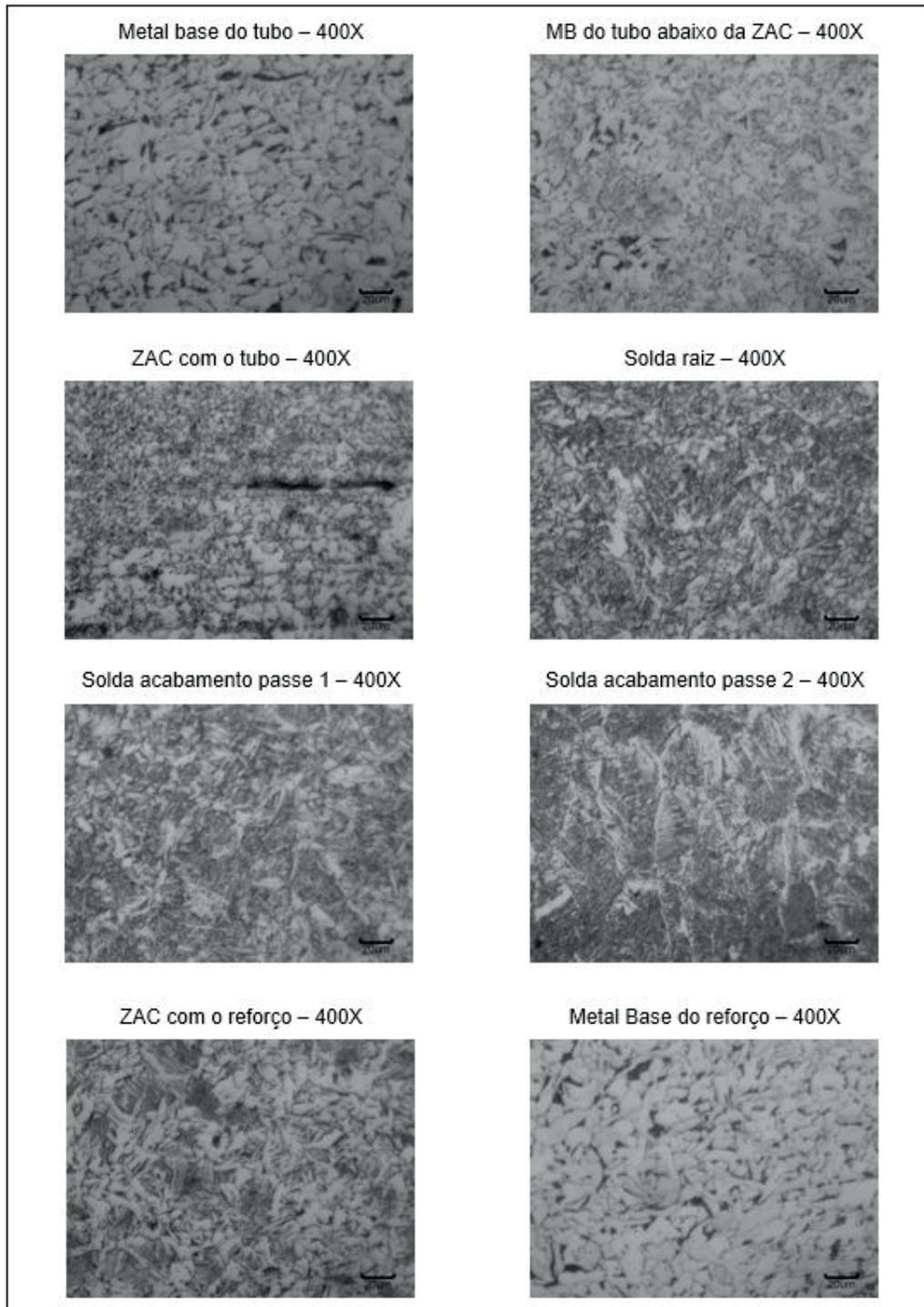
3.5.4 Micrografia da região soldada

Foram realizados ensaios der micrografia em oito pontos nas regiões dos metais de base, solda e ZAC, conforme mostrados na Figura 6. As amostras foram preparadas por lixamento, polidas e atacadas com Nital 10%, por 20 segundos e analisadas conforme as normas ASTM E3 (2017), ASTM E7 (2017), E407 (2015), e E-883 (2017).

O ensaio realizado permite a identificação da microestrutura resultante do processo de soldagem com resfriamento pelo fluxo interno.

Obtém-se uma microestrutura com grãos de ferrita (claros) e grãos de perlita (cinzas), nas fases observadas na Figura 6, e alteração na morfologia dos grãos em função da troca térmica causada pela taxa de resfriamento na região da solda e da ZAC.

Figura 6 – Micrografia da região soldada



Fonte: Próprio autor (2021).

3.5.5 Ensaio de tração da solda de topo

Foram realizados ensaios de tração da solda de topo longitudinal, apresentados na Tabela 8.

Os dois corpos-de-prova romperam fora da solda, com resistência superior ao metal base A106 Gr. B (415 MPa), sendo considerados aprovados, conforme o critério de aceitação da norma ASME IX (2019).

Tabela 8 – Resultado dos ensaios de tração

CP	Dimensões (mm)		Limite de resistência (Mpa)	Norma (Mpa)	Local da ruptura
	Espessura	Largura			
1	5,16	19,43	480	415	Metal base
2	5,01	19,48	555		Metal base

Fonte: Próprio autor (2021).

4 CONCLUSÕES

A soldagem de reforço em tubulação de aço carbono em operação sem pressão, apresentou resultados satisfatórios, de acordo com os critérios estabelecidos.

Os ensaios não destrutivos e os ensaios destrutivos, apresentaram resultados isentos de descontinuidades, ou seja, sem trinca, perfuração ou outro defeito que comprometa a aplicação do procedimento de soldagem, que poderiam ser influenciados pelas variáveis (aporte térmico, tipo de fluido e pressão de operação).

A influência da taxa de resfriamento, não causou uma alteração significativa na microestrutura que inviabilize a utilização dessa técnica de soldagem.

Foi possível conhecer e garantir os requisitos normativos necessários, para realização de soldagem de reforço em tubulação de aço carbono em operação sem pressão.

A realização da soldagem em operação contribui muito para plantas de unidades industriais, uma vez que não interrompem o processo de produção, evitando perdas de produtos e financeiras.

REFERÊNCIAS

MODENESI, P.J.; MARQUES, P.V.; SANTOS, D.B. **Introdução à Metalurgia da Soldagem**. Belo Horizonte, BR-MG: UFMG/DEMET, 2012. 209p.

PETRÓLEO BRASILEIRO (PETROBRAS). **Norma N-2163 Revisão F: Soldagem e Trepanação em Equipamentos, Tubulações Industriais e Dutos em Operação**. Rio de Janeiro, BR-RJ: PETROBRAS, 2016. 42P.

SABAPATHY, P. N., WAHAB, M. A., and PAINTER, M. J. 1999. Numerical models of in-service welding of gas pipelines. **Journal of Materials Processing Technology** **118**, n. 1-3: 14-21, 2001.

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

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

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

THE AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. 2019 (ASME) 2021. **ASME Boiler and Pressure Vessel Code**. Section V: Nondestructive Examination. New York, US-NY: ASME, 2019. 922p.

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

THE AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. 2018 (ASME) 2020. **ASME Boiler and Pressure Vessel Code**. ASME B31.3: Process Piping. New York, US-NY: ASME, 2020. 524p.

THE AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. (ASME) 2021. **ASME PCC-2-2018**. Repair of Pressure Equipment and Piping. New York, US-NY: ASME, 2018. 292p. ISBN 9780791872208. ASTM E3. Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens, 12p, 2017.

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

THE AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). **ASTM E340-15, Standard Test Method for Macroetching Metals and**. West Conshohocken, US-PA: ASTM International, 2017.

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

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