Procedimento para Instalação de Reforço Estrutural em Tubos com Costura API 5L X 65 em Dutos Petrolíferos

(Procedure for Installation of Structural Reinforcement in Pipes API 5L X 65 Oil Pipeline)

Edinei Augusto Cândido[1], Maurício David Martins das Neves[2].
[1] *Bureau Veritas/INSP/Transpetro e UNG*
[2] IPEN-CNEN/SP, SP/SP, Brasil
mdneves@ipen.br

Resumo

A instalação de luvas bipartidas em aço como reforço estrutural em tubos, visando encapsular uma área com corrosão é uma prática usada no setor petrolífero, sendo realizada com base em critérios estabelecidos por normas vigentes na área. Neste trabalho estudou-se um procedimento para a instalação de uma luva bipartida num duto petrolífero enterrado. A definição do procedimento de soldagem do reparo foi realizada em amostras retiradas de um protótipo tubo/luva. Ensaios mecânicos e análises químicas foram executados visando atender critérios e valores contidos em normas. Ensaios não destrutivos de partículas magnéticas e ultra-som também auxiliaram no procedimento de recuperação e qualificação. A microestrutura da região de soldagem foi analisada por réplica metalográfica. Após a colocação da luva foi analisada a integridade e a qualidade das soldas de fechamento longitudinais e circunferenciais, por meio de ensaios não destrutivos. Os resultados obtidos na qualificação permitiram atender aos critérios estabelecidos em normas.

Palavras-chave: dutos, setor petrolífero, reparo, luva bipartida e soldagem.

ABSTRAT: The installation of steel sleeves split as structural reinforcements on pipes in order to encapsulate an area of corrosion is a practice used in the oil industry, which is performed based on criteria established by current regulations in the area. In this work we studied a procedure for installation of a split sleeve in a buried pipeline. The definition of welding procedure was performed on samples taken from the prototype tube / steel sleeve. Mechanical tests and chemical analysis were performed to meet criteria in standards. Non-destructive testing of magnetic particles and ultrasound also assisted in the recovery procedure. The microstructure of the weld region was analyzed by metallographic replica. After the installation of the sleeve was verified the integrity and quality of the welding longitudinal and circumferential closing through non-destructive testing. The results allowed in the qualification meet the criteria established in standards.

Key-words: pipelines, oil industry, repair, steel split sleeve and welding.

1. Introdução

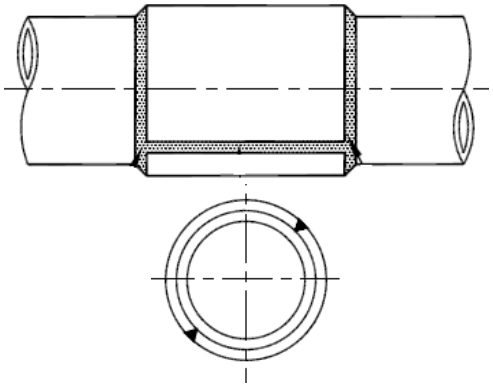
Os tubos de aço carbono de baixa liga e de alta resistência mecânica API 5L X-65 com costura longitudinal são amplamente utilizados na formação das malhas dutoviárias terrestres pela maior empresa de transporte de derivados de petróleo do Brasil. Estes dutos interligam os pontos de produção (refinarias) a terminais de armazenamento (áreas de estocagem) e operam vinte e quatro horas por dia, todos os dias do ano em regime operacional contínuo.

A manutenção dos dutos é realizada de forma programada, são inspecionadas regiões com descontinuidades de fabricação e corroídas oriundas da sua utilização. Essas áreas são identificadas por uma ferramenta, introduzida no interior dos dutos, movimentando-se por todo o seu percurso e impulsionada pelo próprio fluxo do fluído interno. As inspeções de corrosão em dutos são realizadas, por uma ferramenta denominada “pig de corrosão” de alta resolução, vide figura 1a, que trafega no interior do duto em operação, coletando dados da perda de espessura de parede [1].

A periodicidade da inspeção é definida por normas e procedimentos, sendo a ocupação territorial em regiões próximas ao duto um fator de relevante importância [1]. As descontinuidades detectadas nesta inspeção são descritas no relatório de pós-corrida do pig de corrosão. Os locais para a realização das inspeções de correlação de campo são definidos a partir dos pontos com a presença de descontinuidades. Os resultados obtidos na inspeção de correlação em campo apoiados por simulações computacionais específicas indicam a necessidade e o tipo do reparo a ser realizado [2].

Os reparos das regiões corroídas podem ser executados pela substituição de tubos danificados por tubos novos, efetuado preferencialmente durante as paradas bianuais das refinarias ou ainda por instalação de uma luva bipartida soldada ao tubo a qualquer momento, inclusive com o duto em operação. A luva bipartida soldada (dupla calha) é um elemento estrutural usado como reforço de um duto, constituído de duas calhas que se ajustam sobre toda a circunferência do tubo. A fixação ocorre por meio de soldas de fechamento circunferênciais e longitudinais, como indicado na figura 1b.

(a)



(b)

Figura 1: (a) PIG de Corrosão PIG (b) Representação esquemática da luva bipartida.

No caso do reparo utilizando luva bipartida soldada diversos ensaios devem ser realizados para qualificar a metodologia de execução e o controle de qualidade antes da sua instalação. A qualificação do procedimento de soldagem é normalmente realizada por ensaios mecânicos destrutivos (fratura, dobramento, dureza, tração) e análise química de amostras retiradas de um protótipo tubo/luva, atendendo a critérios definidos API 1104 [3].

Nos locais selecionados do tubo para a realização das juntas soldadas de fechamento cricunferencial devem ser realizados ensaios não destrutivos (partículas magnética e ultra-som). Adicionalmente, quando a costura do tubo for realizada usando a soldagem por resistência, nesta região e proximidades deve ser realizado ensaio destrutivo (dureza), análise de composição química e da microestrutura por réplica metalográfica, conforme indicação da norma PETROBRÁS N-2163 [4].

Portanto, dependendo das condições de trabalho e do processo de soldagem usado na fabricação do tubo com costura alteram-se alguns requisitos do reparo e propriedades da junta. No caso de tubulações aéreas, sem proteção catódica e que não transporte H_2S, portanto com menor tendência de formação de trincas a frio, o valor de dureza esta limitado a 350 HV, conforme API 1104. Tubulações em condições similares às mencionadas anteriormente recomenda-se um limite de 275 HV, em consequência, da costura do tubo ser realizada pelo processo de resistência elétrica, conforme API 5L [5].

No entanto, quando o fechamento da tubulação (costura) é realizado pelo processo de soldagem por resistência elétrica, está enterrada no solo, portanto tendo a necessidade de proteção catódica, normalmente, por corrente impressa, além da possibilidade de transportar H_2S a dureza é limitada a 264 HB (dureza Brinell), conforme requisito da norma Petrobrás N 2163.

Os resultados obtidos nos ensaios destrutivos e não destrutivos realizados em amostras de um protótipo, que simulem condições operacionais e de soldagem devem servir de base no desenvolvimento da especificação de um procedimento de soldagem para o reparo do duto.

Durante a soldagem de reparo no duto cuidados devem ser tomados, quanto às condições de segurança e operacionais. Ao término da instalação da luva [6] ainda devem ser verificadas a integridade e a qualidade das soldas de fechamento longitudinais e circunferenciais, realizado por meio de ensaios não destrutivos (inspeção visual, partículas magnéticas e ultra-som).

O objetivo deste trabalho é estudar e analisar procedimentos para a instalação de luva bipartida usando soldagem com eletrodo revestido, em dutos petrolíferos API 5 LX-65 com costura executada por resistência elétrica, enterrados e em operação, em áreas submetidas ao processo de corrosão, e também caracterizar as propriedades obtidas na junta de reforço estrutural.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Durante uma inspeção de rotina foi constatada a presença de uma área com corrosão interna numa tubulação enterrada em um Gasoduto da Transpetro. A inspeção de correlação de campo confirmou uma perda interna de 71% da parede em relação à espessura nominal. O tubo de aço baixa liga API 5L X65 examinada apresentava dimensões de 12" de diâmetro, espessura de 7,3 mm e costura longitudinal executada pelo processo de soldagem por resistência elétrica. Definiu-se pela utilização de um reforço estrutural denominado por luva bipartida soldada (dupla calha), para o encapsulamento da área corroída. O comprimento total da luva bipartida instalada foi de 880 mm, vide figura 2a. A composição química do aço API 5L está mostrada na tabela 1.

Demarcada a descontinuidade efetuaram-se os ensaios de inspeção visual, partículas magnéticas e ensaio de ultrassom numa faixa de 130 mm para cada lado, em relação ao ponto central dos locais das futuras juntas circunferenciais por todo o perímetro do tubo, vide figura 2b. A finalidade destes ensaios foi confirmar que as regiões estão livres de descontinuidades, permitindo a soldagem da luva.

(a) (b)

Figura 2: Delimitação (a) do reparo e (b) do defeito (interno) por Ultra-som, Fonte: AUTOR, 2010.

Tabela 1 - Composição química (% em peso) do tubo API 5L X65

C	Si	Mn	P	S	V+Ni+Ti	Outros	C equiv.
0,1200	0,450	1,600	0,025	0,015	≤ 0,150%	(a)	43

a) máximo de 0,50% para o cobre, máximo de 0,50%; para o níquel máximo de 0,50%; para o cromo máximo de 0,50%; para o molibdênio máximo de 0,50% [6].

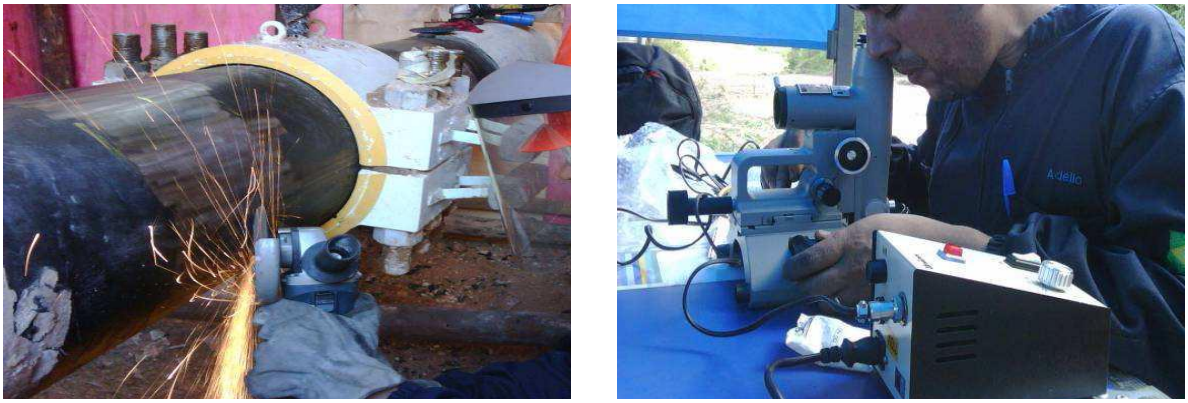
Confirmada a integridade das regiões das futuras juntas circunferenciais realizaram-se ensaio de dureza exame de réplica metalográfica no tubo, visando à avaliação da microestrutura e do tamanho de grão, vide figura 3. Posteriormente realizaram-se ensaio de dureza e análise da composição química. A partir da composição química determinou o carbono equivalente da tubulação.

A luva foi fabricada a partir de um tubo cortado pelo processo oxicorte. Após o corte realizado longitudinalmente para a divisão da luva foram executados chanfros do tipo bisel, de modo a formarem chanfros "V" na junção das partes da luva para sua instalação no tubo antes da soldagem.

Antes da realização da soldagem definitiva da luva bipartida a tubulação foi preparado um protótipo, visando testar as condições de soldagem e também fornecer amostras para a realização de ensaios mecânicos e análises químicas. Amostras foram retiradas do protótipo constituído de uma luva bipartida soldada em um tubo API 5L X 65 de 22" de diâmetro e 6,35 mm de espessura nominais, na posição de 45°, conforme a norma API 1104.

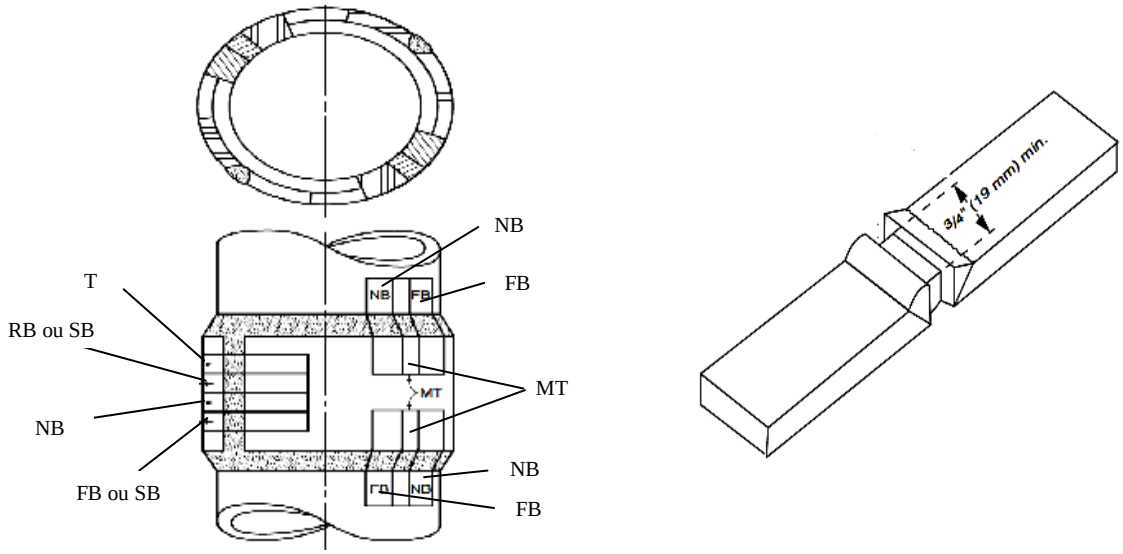
As amostras foram retiradas de locais específicos do protótipo tubo/luva, conforme indicação da figura 4a realizaram-se ensaios de tração, dobramento (juntas longitudinais e circunferenciais) e fratura (juntas longitudinais e circunferenciais). As amostras utilizadas no ensaio de fratura (nick-break), conforme figura 4b foram rompidos em uma máquina de tração, apoiando-se as extremidades e golpeando-se o centro até o seu rompimento. O ensaio de dureza foi realizado em conformidade com a norma ASTM E 92 [7]. A macrografia foi realizada no corpo retirado das juntas circunferenciais, seguindo requisitos da norma API 1104. Foi realizada a análise química, utilizando um espectrômetro de emissão óptica, na luva bipartida soldada do protótipo.

As juntas soldadas longitudinais e circunferenciais do reparo definitivo foram executadas de acordo com as especificações de procedimento de soldagem (EPS). A EPS foi definida a partir dos resultados obtidos nas amostras do protótipo, bem como a qualificação dos soldadores, conforme API 1104 em sua última revisão.



(a) (b)

Figura 3: (a) Preparação da superfície para réplica metalográfica, (b) Análise em campo da Réplica Metalográfica, segundo ítem 6.2.1.13 PETROBRAS N-2163 Rev.D. FONTE – O AUTOR, 2010.



(a) (b)

Figura 4: (a) Localização das áreas para retirada de amostras; T= tração; RB= dobra de raiz; FB= dobra de face; NB= “Nick-Break”, SB= dobra lateral; MT= macro-teste e (b) Amostra de fratura (NB).

A umidade da superfície do MB foi retirada por meio de um maçarico, com a chama produzida por GLP, numa extensão de aproximadamente 150 milímetros de cada lado da junta. Usaram-se eletrodos revestidos de baixo hidrogênio AWS E7018 na execução das soldagens. Verificaram-se as condições operacionais e de soldagem para evitar o risco de perfuração, conforme Petrobrás N-2163.

Em seguida foram realizadas as soldas longitudinais e na sequência as circunferenciais. As juntas não foram executadas simultaneamente para evitar elevada tensão residual nos componentes.

Os parâmetros de corrente de soldagem, tensão e velocidade foram ajustados visando diminuir o risco de uma possível perfuração, assim como falta de penetração ou falta de fusão. Foram monitoradas a corrente e tensão de soldagem com um alicate amperímetro/voltímetro aferido; e a temperatura de pré-aquecimento e inter-passe com termômetro infravermelho, vide figura 5. Dados da EPS da soldagem circunferencial estão apresentados na tabela 2.

Após cada passe de metal de solda depositado era realizada uma limpeza prévia usando escova de aço compatível, antes da deposição do passe seguinte. Descontinuidades na soldagem visíveis a olho nu foram imediatamente removidas antes do inicio do passe subsequente.

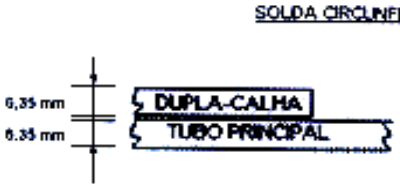
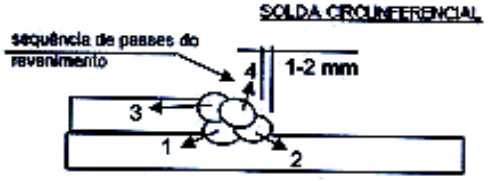
A Inspeção e os ensaios não-destrutivos após a instalação da luva bipartida foram realizados doze horas da conclusão das soldas. A superfície foi preparada para a realização dos ensaios não destrutivos. Foram realizados os ensaios de ultrassom nas soldas de fechamento longitudinal e circunferencial, além de partículas magnéticas na solda de fechamento circunferencial.

(a)

(b)

Figura 5: (a) Execução da soldagem longitudinal com acompanhamento e controle dos parâmetros de soldagem por Inspetor. (b) Pré-aquecimento para executar a soldagem longitudinal. Fonte: Autor.

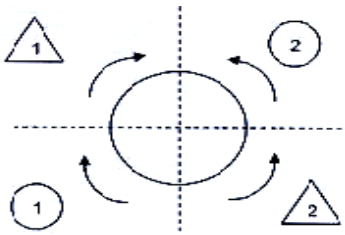
Tabela 2: Especificação de Procedimento de Soldagem – Soldas de Fechamento Circunferenciais

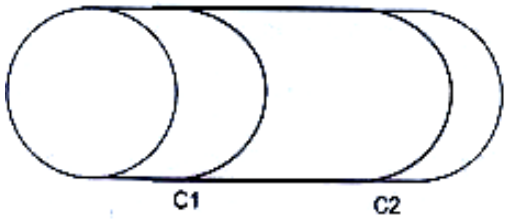
Norma de ref: API 1104 ed. 2005 Ap.B / N-2163	
Processo de soldagem: Eletrodo Revestido	Tipo: Manual
CROQUI DA JUNTA	**SEQUÊNCIA DE PASSES**
	
METAL BASE	**POSIÇÃO**
Especificação: API 5L X 65	Posição de soldagem: Tubo fixo – 45°
Faixa de carbono equivalente (CE): ≤ 0,44	Progressão: ascendente
Tempo de resfriamento (250°C a 150°C): 07 seg	
Diâmetro: 22” Faixa: Todos	**TÉCNICA DE SOLDAGEM**
Espessura: 6,35 mm	Seqüência de deposição: passe de revenimento (ver croqui) Tipo de cordão: retilíneo
PRÉ / PÓS AQUECIMENTO	
Temperatura de pré aquecimento: ≥ 50°C (obs.1)	
Temperatura de interpasse: ≤ 150°C	Temperatura de pós aquecimento: Não aplicável

METAL DE ADIÇÃO

Passes	Classe (AWS)	Especif. SFA	Diâmetro	Grupo	Marca comercial	Fabricante
1 a 4	E7018	5.1	2,5 mm	3	FOX EV 50 (H4)	BOEHLER

SEQUÊNCIA DE DEPOSIÇÃO PARA SOLDAS CIRCUNFERENCIAIS





Limpeza interpasse: Escovamento e esmerilha/	

PARÂMETROS DE SOLDAGEM

Passe	Eletrodo Ø [mm]	Polaridade	Corrente (A)	Tensão (V)	Velocidade (cm/min)	Calor imposto (KJ/mm)	Temperatura de interpasse(°C)
1	2,5	CC+	85 - 90	24 – 28	10,0 – 12,0	1,02 – 1,51	≤ 150
2	2,5	CC+	85 - 90	24 – 28	10,0 – 12,0	1,02 – 1,51	≤ 150
3	2,5	CC+	85 - 90	24 – 28	10,0 – 12,0	1,02 – 1,51	≤ 150
4	2,5	CC+	85 - 90	24 – 28	11,0 – 13,0	0,94 – 1,37	≤ 150

Utilizou-se retifica com rebolo abrasivo para desbaste da região afetada, para remoção da região da solda anterior e posterior ao defeito com afastamento de 5 milímetros do mesmo. A remoção de trincas foi executada por esmerilhamento no sentido das extremidades para o centro, a fim de evitar a sua propagação. A pressão da linha foi reduzida durante o reparo para 85 % do valor real. A integridade das regiões desbastadas foi verificada com o apoio de ensaios não destrutivos por partículas magnéticas e líquido penetrante. Em algumas descontinuidades foram executados enchimentos e em seguida realizaram-se as inspeções para garantir a integridade da junta.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A integridade das juntas soldadas entre a luva bipartida e tubulação foi avaliada pelos resultados obtidos nos ensaios propostos pelas diversas normas do setor petrolífero.

Os resultados alcançados na inspeção visual para a qualificação das juntas soldadas de fechamento longitudinal (lado direito e esquerdo) indicaram ausência de descontinuidades, portanto as juntas soldadas foram aprovadas segundo critérios estabelecidas na norma Petrobrás N-1738 [8].

Os resultados obtidos no ensaio de tração da soldagem longitudinal (esquerda e direita) estão apresentados na tabela 3. Observou-se que a amostra se rompeu fora da solda e com tensões acima do limite mínimo especificado pela norma API 5L. Portanto atendeu o item 5.6.2.3 da API 1104 [9].

Tabela 3: Resultados de ensaio de tração em solda longitudinal (lado direito e lado esquerdo)

Corpo de Prova	Dimensões	Secção	Limite de Resistência		Limite mínimo especificado	Local de ruptura
	mm	mm²	Kgf	Mpa	MPa	
LONG D	25,37 x 4,66	118,22	7360	610	490	Fora da Solda
LONG E	25,91 x 4,50	116,60	7360	620	490	Fora da Solda

Na tabela 4 são observados os resultados do ensaio de dobramento da seção longitudinal. Os resultados obtidos propiciaram aprovação das juntas soldadas, pois as amostras não apresentaram trincas ou separações com dimensão superior a 3,0 mm ou metade da espessura da parede nominal (dependendo de qual seja menor), em qualquer direção ou região da solda. Não foram observadas trincas no raio externo da dobra ao longo das bordas com dimensões superiores a 6,0 mm, medidas em qualquer direção. Portanto, estes resultados atenderam os critérios da API 1104 item 5.6.4.3.

Tabela 4: Resultados de dobramento em solda longitudinal (lado direito–D e lado esquerdo-E)

Corpo de prova	Dimensões	Cutelo	Distância entre roletes	Ângulo de dobramento	Resultado Obtido
	mm	Ø mm²	mm	Graus	
LONG D – DF	25,4 x 6,35	90	105,8	180	Não apresentou descontinuidades
LONG D – DR Dobra da raiz	25,4 x 6,35	90	105,8	180	Não apresentou descontinuidades
LONG E - DF	25,4 x 6,35	90	105,8	180	Não apresentou descontinuidades
LONG E – DR	25,4 x 6,35	90	105,8	180	Não apresentou descontinuidades

Os resultados obtidos no ensaio de fratura encontram-se na tabela 5. O ensaio de fratura utilizando o método de flexão não apresentou descontinuidades reprováveis conforme os critérios da API 1104, pois as superfícies de fratura expostas na amostra de nick-break mostraram penetração e fusão completas; não houve ocorrência de poros que excedam 1,6 mm, inclusões de escória maiores com 0,8 mm de profundidade e com comprimento maior que 3 mm ou metade da espessura de parede nominal de comprimento

Tabela 5: Resultados de ensaio de fratura em solda longitudinal (direito e esquerdo)

Corpo de prova	Aparência da fratura da solda
LONG D	Não apresentou descontinuidades
LONG E	Não apresentou descontinuidades

Os resultados obtidos no protótipo apresentados nas tabelas 3 a 5 propiciaram a qualificação das juntas soldadas de fechamento longitudinal (lado direito e esquerdo), e estabeleceram os critérios

utilizados nos reparos realizados em campo, contidos numa EPS (especificação de um procedimento de soldagem), atendendo os requisitos da norma API 1104 e da norma Petrobrás N-2163.

As juntas soldadas de fechamento circunferencial (lado direito e esquerdo) foram aprovadas por inspeção visual. Não foram observadas descontinuidades, conforme na norma Petrobrás N-1738.

Os valores obtidos no ensaio de dureza para a soldagem circunferencial estão indicados na tabela 6. Os resultados indicam aprovação da junta soldada, conforme a norma API 1104. Os valores da zona afetada termicamente que se encontram abaixo de 350 HV e diminuem consideravelmente o risco de trincas de hidrogênio. O ensaio de dureza foi realizado de acordo com a norma ASTM E 92.

Tabela 6: Valores de dureza (HV10) na solda circunferencial, lado direito (D) e lado esquerdo (E).

Localização	1	2	3	4	5	6	7
MB calha (D)	178	179	180	----	----	----	----
ZTA calha (D)	205	205	201	216	215	----	----
Metal de Solda (D)	254	258	272	247	251	276	224
MB tubo (D)	247	232	230	258	262	----	----
ZTA tubo (D)	168	165	168	----	----	----	----
MB calha (E)	171	169	173	----	----	----	----
ZTA calha (E)	186	193	190	197	197	----	----
Metal de Solda (E)	237	279	272	268	259	238	232
MB tubo (E)	177	222	192	245	258	----	----
ZTA tubo (E)	164	170	169	----	----	----	----

Na tabela 7 estão apresentados os resultados alcançados no ensaio de dobramento da soldagem circunferencial. Não se observaram trincas no raio externo da dobra ao longo das bordas da amostra com dimensões maiores a 6,0 mm em qualquer direção, assim atende o item 5.6.4.3. da API 1104.

Tabela 7: Resultados de ensaio de dobramento em solda circunferencial (lado direito).

Amostra	**Dimensões**	**Cutelo**	**Distancia de Roletes**	**Ângulo dobramento**	**Resultado obtido**
	mm	**Ø mm²**	**mm**	**Graus**	
CIRC D1 - DF	25,4 x 6,35	90	105,8	180	sem descontinuidades
CIRC D2 – DF	25,4 x 6,35	90	105,8	180	sem descontinuidades
CIRC E1 - DF	25,4 x 6,35	90	105,8	180	sem descontinuidades
CIRC E2 – DF	25,4 x 6,35	90	105,8	180	sem descontinuidades

Os resultados obtidos no ensaio de fratura encontram-se na tabela 8. Observou-se que a região de fratura não apresentou descontinuidades reprováveis conforme os critérios da API 1104, pois as superfícies fraturadas apresentaram penetração e fusão completas; não houve existência de poros que excedam 1,6 mm, inclusões de escória com profundidade maior que 0,8 mm e comprimento maior que 3 mm ou metade da espessura de parede nominal de comprimento.

Tabela 8: Resultados de ensaio de fratura em solda circunferencial (lado direito e lado esquerdo)

Corpo de prova	**Aparência da fratura da solda**
CIRC D1	Não apresentou descontinuidades
CIRC D2	Não apresentou descontinuidades
CIRC E1	Não apresentou descontinuidades
CIRC E2	Não apresentou descontinuidades

O exame macrográfico com aumento de 10x da seção transversal do metal depositado e da zona termicamente afetada mostra completa fusão, livre de trincas, inclusões e porosidade, atendendo aos critérios da norma API 1104, conforme observado na figura 6.

As regiões examinadas por réplica metalográfica apresentaram microestrutura composta por matriz ferrítica e perlita fina, vide figura 7 típica para o material especificado API 5L X65. Não foi observada a presença de danos físicos ou alterações microestruturais nas regiões examinadas. O tamanho de grão ASTM situou-se no intervalo de 9-10. Os valores das durezas medidas são coerentes com o material examinado e com as microestruturas observadas. Na figura 7 são observadas as regiões e a microestrutura obtida.

O valor do carbono equivalente calculado através dos resultados obtidos em análises químicas por via úmida dos cavacos extraídos foi de 0,39%. O carbono equivalente máximo segundo a norma API 5L é de 0,43%.

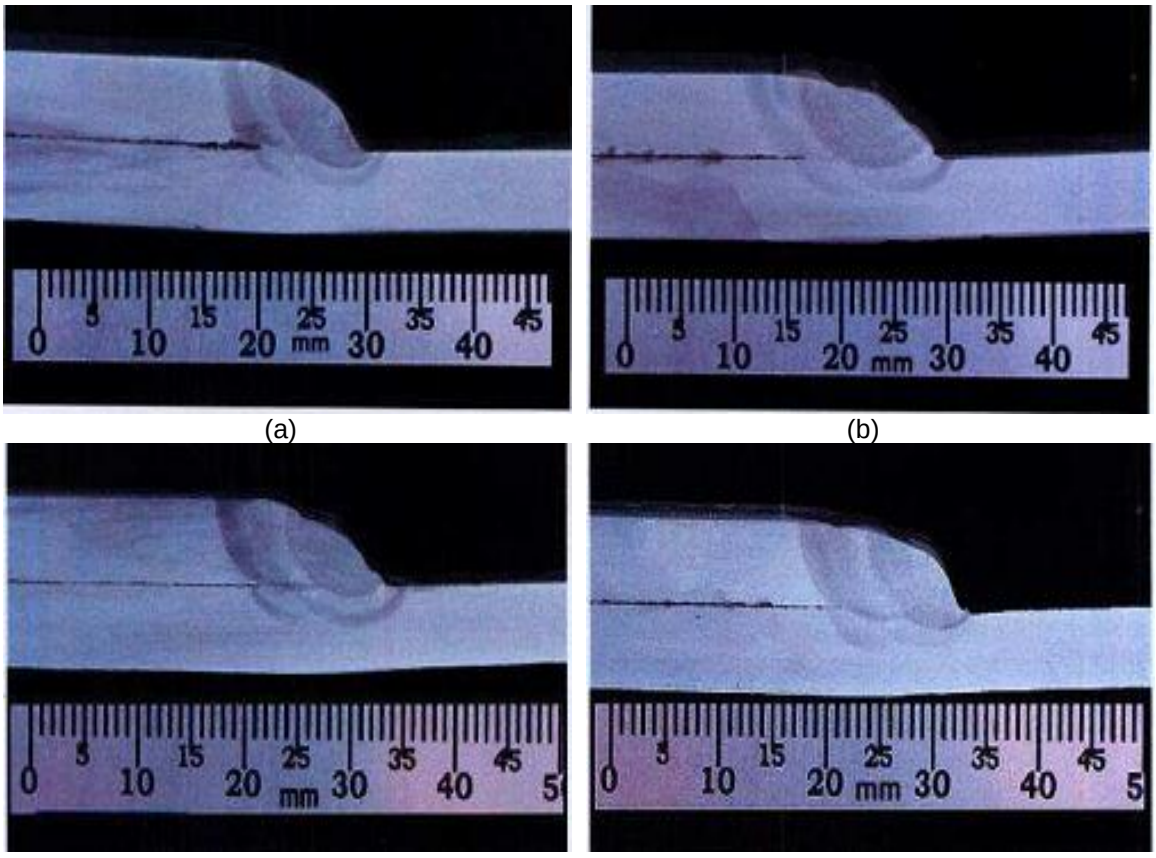


Figura 6: Imagens por microscópio ótico do ensaio macrográfico das amostras (a) CIRC D1 (soldagem circunferencial direita), (b) CIRC D2 (circunferencial direita), (c) amostra CIRC E1 (solda circunferencial esquerda) e (d) CIRC E2 (circunferencial esquerda).

Na tabela 9 estão mostrados os valores de dureza Brinell nas regiões da tubulação. A norma N-2163 recomenda a dureza máxima de 264 HB nas regiões ensaiadas da junta soldada. Na prática quando a dureza é realizada em campo pode ser necessária aplicação de cargas maiores para a realização precisa do ensaio e a identificação de melhor nitidez das deformações após o teste. Comparando-se cargas máximas de teste entre os métodos Brinell e Vickers, temos para o primeiro 3000 Kg e para o segundo 120 Kg. Os equipamentos Brinell são mais portáteis e se adaptam melhor as condições severas de campo.

Conforme anteriormente mencionado para tubulações enterradas, protegidas por sistema de proteção catódica por corrente impressa e possibilidade de gerar hidrogênio (transporte de H_2S) submetidas ao processo de reparo os valores de dureza são estabelecidos pela norma N-2163). O valor limite de dureza é de 264 HB, portanto os valores obtidos estão abaixo do especificado e possibilitando a aprovação do reparo neste quesito. O valor limite indicado por esta norma, refere-se a problemas relacionados com corrosão sob tensão e fissuras geradas por hidrogênio que são comuns, em dutos enterrados e protegidos por sistema de proteção catódica por corrente impressa

Os ensaios não destrutivos por partículas magnéticas e por ultra som não detectaram descontinuidades nas juntas soldadas fechamento longitudinal e circunferencial da luva bipartida instalada no duto. Os ensaios não destrutivos foram realizados em todos os cordões de soldagem nas direções longitudinal ou circunferencial. As soldas de topo (fechamento longitudinal da luva) e de ângulo (instalação da luva ao tubo) foram aprovadas, conforme os critérios da norma ASME V, os resultados não apresentaram descontinuidades tais como: trincas superficiais e sub superficiais, longitudinais ou transversais, falta de penetração; inclusão de escória e porosidades.

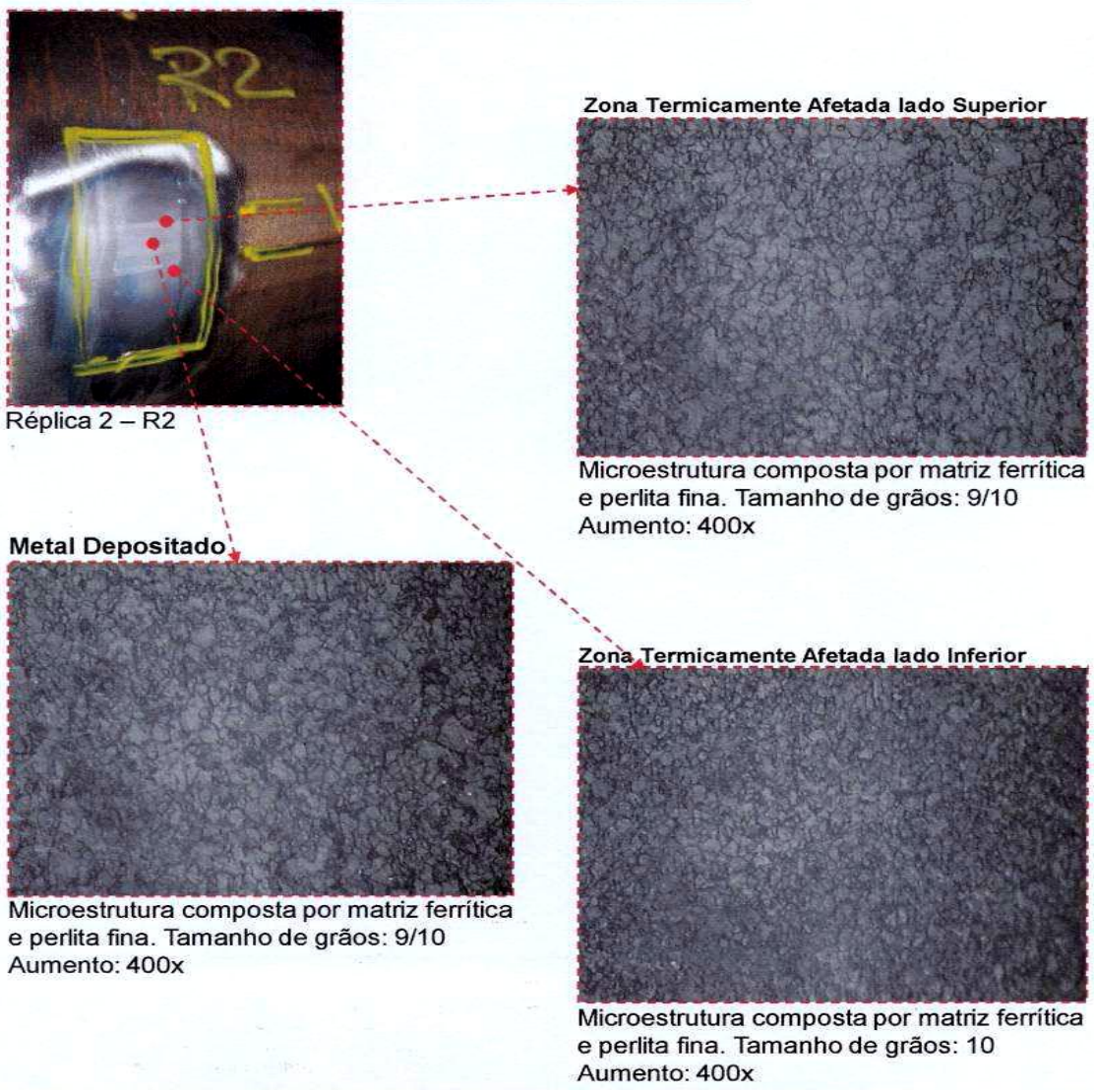


Figura 7: Imagens obtidas por réplica metalográfica da ZTA e zona de fusão.

Tabela 9: Valores da dureza Brinell da tubulação de gasoduto.

Regiões	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Média
R1 MBS	134	137	131	134±3
R1 ZTAS	121	128	121	123±4
R1 MD	132	136	134	134±2
R1 ZTAI	121	124	128	124±3
R1 MBI	131	132	131	131±1
R2 MBS	129	125	129	128±2
R2 ZTAS	123	120	122	122±2
R2 MD	135	129	139	134±5
R2 ZTAI	131	138	139	136±4
R2 MBI	136	134	132	134±2

MBS: Metal Base Superior; MBI: Metal Base Inferior; MD: Metal Depositado; ZTAS: Zona Termicamente Afetada Superior; ZTAI: Zona Termicamente Afetada Inferior

4. CONCLUSÃO

As amostras analisadas do protótipo luva e duto petrolíofero apresentaram resultados obtidos por ensaios mecânicos, análises químicas e análises metalográficas que atenderam aos critérios das normas referenciadas e qualificaram o procedimento de soldagem utilizado em campo.

Os parâmetros e as condições utilizados na soldagem de campo foram adequados, pois promoveram aspecto da superfície dos cordões sem a presença de descontinuidades, tais como, a ausência de falta de deposição, falta de fusão, mordeduras e trincas.

Os ensaios executados por ultra-som e partículas magnéticas qualificaram o procedimento de recuperação da tubulação, que envolveu a soldagem de campo na luva e conjunto luva e tubulação.

As condições utilizadas no processo de qualificação da soldagem foram mais severas que as condições encontradas em campo.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Norma Petrobrás N-2098, Inspeção de dutos terrestres em operação, 2008.

[2] Norma Petrobrás N-2786. Avaliação de Defeitos e Modos de Falhas em Oleodutos e Gasodutos Terrestres e Submarinos Rígidos em Operação, N-2786. Rio de Janeiro; 2006.

[3] American Petroleum Institute: Welding of Pipelines and Related Facilities, API 1104. Washington; 2005.

[4] Norma Petrobrás N-2163 - Soldagem e Trepanação em Equipamentos, Tubulações Industriais e Dutos em Operação, N-2163. Rio de Janeiro; 2008.

[5] American Petroleum Institute: Specification for Line Pipe, API 5L. Washington; 2007.

[6] American Society of Mechanical Engineers. Boiler and Pressure Vessel Code, Section V: Nondestructive Examination, ASME V. New York; 2007.

[7] American Society for Testing and Materials. Standard Test Method for Vickers Hardness of Metallic Materials, ASTM E 92. New York; 2003.

[8] Norma Petrobrás N-1738 - Descontinuidades em Juntas Soldadas, Fundidos, Forjados e Laminados,. Rio de Janeiro; 2009.

[9] API 1104 - Welding of Pipelines and Related Facilities - 19th Edition, 2001