

SOLDAGEM EM CAMPO DE TUBULAÇÃO COM COSTURA HELICOIDAL POR ARCO SUBMERSO

Ana Carla Santos da Silva^{1,2*}

Ivan Bezerra de Mello Picchi¹

Luis Henrique Rodrigues Apolinário¹

Tahiana Francisca da Conceição Hermenegildo¹

Tiago Felipe de Abreu Santos^{1,§}

¹ Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Pernambuco, Av. da Arquitetura, s/n, 50740-550, Cidade Universitária, Recife, PE.

² MEMPS – Montagem Eletromecânica e Prestação de Serviços Ltda., Gerência de Projetos, Av. dos Cúrios, 10, 65095-460, Vila Esperança, São Luís, MA.

*carla.santoss@ufpe.br, §tiago.felipe@ufpe.br

Resumo: Neste trabalho foram avaliadas as aplicabilidades do processo de soldagem com costura helicoidal em campo, bem como as características geométricas, macro e microestruturais de soldas helicoidais executadas em campo utilizando o aço estrutural ASTM A1018. Para fabricação dos tubos, ou seja, conformação a frio das chapas com espessura de 16 mm em tubos com diâmetro de 1200 mm e soldagem helicoidal deste, foi utilizado equipamento adaptado para a fabricação em campo, utilizando o processo de soldagem por arco submerso com dois passes de solda, sendo um interno e um externo. A produção do corpo de prova foi realizada de acordo com os requisitos apresentados na Especificação do Processo de Soldagem da empresa. Após fabricação do tubo, retirou-se amostras em dois segmentos do tubo para efetuar as análises de micrografia, macrografia e dureza. Na avaliação microestrutural das amostras observou-se a presença de microestruturas comumente encontradas em soldagem em passe único de aço baixo a médio carbono, como a ferrita acicular e ferrita primária de contorno de grão. Em seguida, avaliou-se a geometria dos cordões de solda e identificou-se desalinhamentos entre os cordões interno e externo que foi associado a ausência de fixação da chapa antes da realização da soldagem, a falta de acabamento nas bordas do material e a variação de largura das chapas de aço. Por fim, conclui-se que apesar das boas características microestruturais, o aspecto do desalinhamento entre os cordões podem ser melhorados, fazendo essa tecnologia promissora para soldagem em campo de tubulações.

Palavras-chave: Tubos helicoidais, Soldagem por arco submerso, Caracterização microestrutural.

1. INTRODUÇÃO

A soldagem é o meio de união de materiais mais importante na indústria. Com o desenvolvimento industrial, o uso de instalações metálicas em geral tem sido cada vez mais frequente e no último século tem ampliado a utilização mundial de estruturas metálicas (Modenesi, 2004). A soldagem se mostra como processo imprescindível na fabricação e montagem de tubos de aço de grande diâmetro (Junior, Rocha e Brandi, 2013). Um desafio na instalação de dutos é o transporte ao local de utilização, uma vez que a soldagem em campo é complexa e, consequentemente, onerosa. Usualmente, o processo é realizado de forma semiautomática ou manual.

Os tubos podem ser produzidos com ou sem costura. O tubo sem costura é fabricado pela conformação a quente do aço, através de laminação oblíqua ou extrusão. Os tubos com costura são fabricados pela conformação a frio de chapas planas em formato cilíndrico podendo ser soldado na longitudinal ou helicoidal, utilizando ou não metal de adição (Junior, Rocha e Brandi, 2013; Fourozan et al., 2012).

O método para a fabricação de tubos com soldas helicoidais obteve patente em 1940. Desde então, a soldagem helicoidal se tornou um dos processos mais difundido para a produção de tubos de grandes diâmetros de forma contínua (Fourozan et al., 2012; Sadowski e Rotter, 2014). Devido ao fato do tubo ser produzido a partir de tiras de aço, a uniformidade da parede e as tolerâncias dimensionais são excelentes quando comparadas aos demais processos de produção (Sadowski e Rotter, 2014; Pinto, 2011).

A dificuldade de automação da soldagem em campo de dutos de aço está intimamente relacionada ao local de instalação, projeto, tipo de revestimento anticorrosivo, localização do duto (aéreo ou enterrado), tipos de terreno, existência de áreas alagadas, relevo e diversos outros fatores. Devido a razões econômicas e o desejo de fabricar o tubo

próximo ao local onde será utilizado, há um interesse crescente pela utilização de tubos com solda helicoidal (Junior, 2009; Minnebruggen et al., 2012).

A empresa MEMPS desenvolveu a Fábrica Móvel de Tubos Helicoidais (FAMTHE) - equipamento capaz de realizar a fabricação de tubos helicoidais no local de instalação. O processo de soldagem realizado pela FAMTHE tem o potencial de reduzir os custos com os transportes de dutos fabricados remotamente e o número de soldas circunferenciais na construção de tubulações. Dentro do contexto apresentado, há a necessidade de avaliação das técnicas para execução de soldagem em campo e de melhorias no processo para aumentar a produtividade da fabricação de tubos sem o comprometimento das propriedades mecânicas desejadas. Desse modo, para avaliar o processo de soldagem com costura helicoidal em campo produzidas pelo equipamento FAMTHE, pretende-se, neste trabalho, avaliar a junta soldada em campo a partir do estudo das características microestruturais, apoiados por ensaio de dureza, microscopia óptica e avaliação da geometria do cordão de solda.

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O material estudado neste trabalho foi o aço estrutural ASTM A1018 SS 36 T2 cuja composição química e propriedades mecânicas são apresentadas na Tab. 1.

Tabela 1. Composição química e propriedades mecânicas

C	Mn	Si	P	S	Al	Cr	Mo	Ni
0,16	0,89	0,19	0,016	0,007	0,038	0,01	0,01	0,01
Outros	CE	LE	LR	LE/LR	Alongamento			
0,073	0,312	302 Mpa	460 Mpa	0,66	49%			

Fonte: Adaptado de Gerdau, 2014

Quanto aos metais de adição, foram utilizados o fluxo OK FLUX 10.81 e arame OK 12.10C com diâmetros de 2,4 mm para solda interna e 3,2 mm para solda externa, fabricados pela ESAB. A Tabela 2 e 3 indicam, respectivamente, a composição química típica no metal de solda depositado e a composição química dos arames de soldagem.

Tabela 2. Composição química do metal depositado típica segundo o fabricante

C	Mn	Si	P	S	Cu
0,060	1,650	1,200	0,014	0,018	0,110

Fonte: Adaptado de ESAB, 2016

Tabela 3. Composição química dos arames de solda

	C	Mn	Si	P	S	Cu
Externo	0,07	0,46	0,04	0,02	0,02	0,09
Interno	0,07	0,45	0,04	0,02	0,02	0,08

Fonte: Adaptado de ESAB, 2016

A soldagem foi efetuada através da Fábrica Móvel de Tubos Helicoidais – FAMTHE. A máquina produz tubos com costura helicoidal através de soldagem por arco submerso (SAW) em campo com a utilização de dois arames de solda, sendo um interno e outro externo, operados simultaneamente. A Tabela 4 apresenta os parâmetros de soldagem utilizados. A Figura 1 ilustra esquematicamente o processo de soldagem helicoidal com uma fonte de arco submerso.

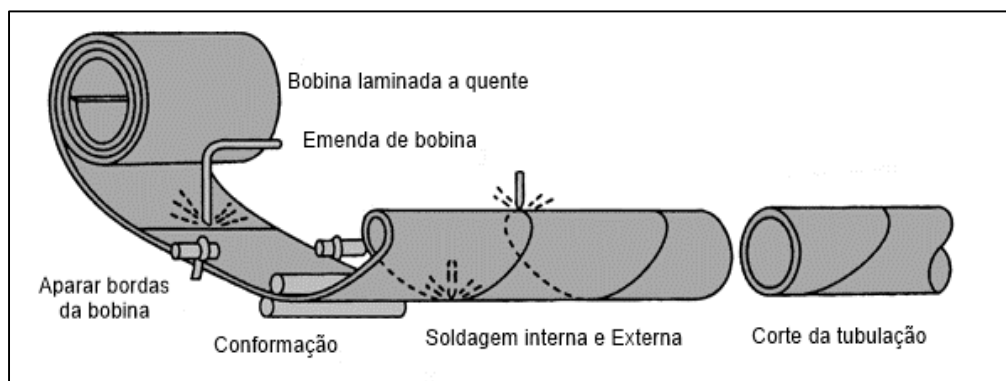


Figura 1. Esquema de fabricação de tubo helicoidal

Tabela 4. Parâmetros de soldagem (externa e interna)

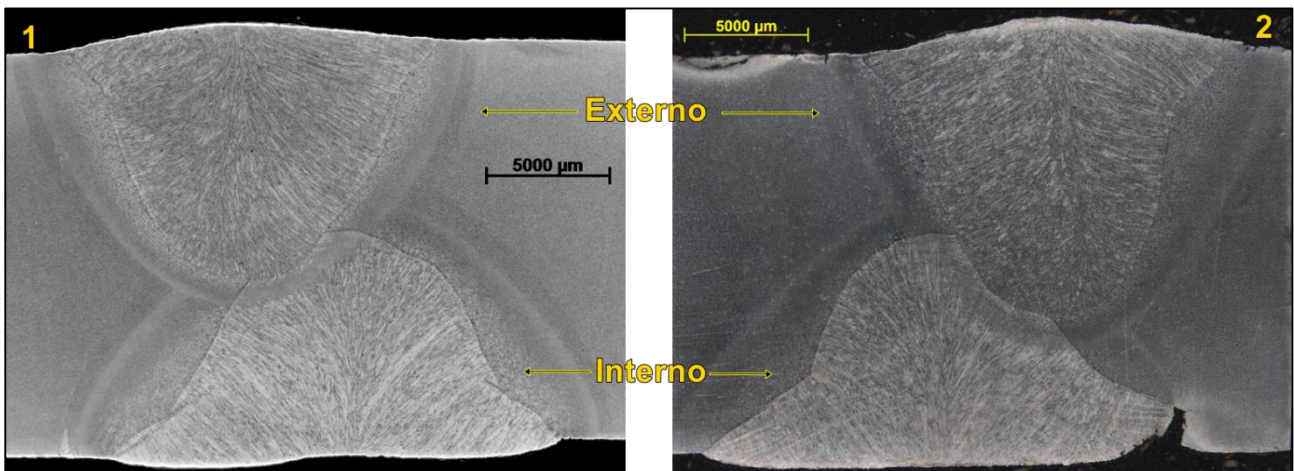
		Tensão (V)	Corrente (I)	Diâmetro do Arame (mm)	Vel. de Soldagem (mm/min)	Energia de Soldagem (J/mm)
Amostra V1	Externo	36	650	3,2	1200	1170
	Interno		550	2,4		990

Para avaliação da soldabilidade em campo, fabricou-se um tubo com diâmetro externo nominal de 1200 mm, espessura de 16 mm e comprimento de cinco metros. Foi retirado uma amostra do tubo com dimensões de 300 mm × 300 mm para confecção dos corpos de prova de onde foram retiradas amostras no início (Segmento 1) e fim da chapa (Segmento 2). Os corpos de prova para metalografia convencional foram preparados com abrasão em lixas d'água nas granulometrias de #100, #180, #220, #320, #400, #600 e #1200, seguido de polimento com pasta de diamante de 3 µm e 1 µm e ataque químico com reagente nital 3% durante 15 s. Realizou-se a caracterização da macroestrutura e microestrutura por estereoscopia e microscopia óptica (MO). Os ensaios de dureza Vickers por microindentação foram realizados no microdurômetro Emcotest Durascan, com carga de 300 g, tempo de carga de 10 s e distância entre os pontos de indentação de 0,3 mm para traçar o perfil de dureza nas diferentes regiões do material (MB, ZTA e ZF).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análise Macroestrutural

A Figura 2 apresenta a macrografia do cordão de solda da amostra analisada e na Tab. 5 constam as medidas da largura, profundidade, área de penetração e reforço da mesma. No segmento 2 da amostra, observa-se uma descontinuidade caracterizada como mordedura no cordão interno. As medidas de profundidade e largura de ambos cordões são semelhantes, com uma variação máxima de 4,35 mm na largura e 2,39 mm na profundidade. Na área de penetração há uma diferença de apenas 2,75 % do cordão interno em relação ao externo para a amostra do Segmento 1 e 4,5% para o Segmento 2, demonstrando que a diferença de aporte térmico entre os cordões não gerou diferenças significantes, como pode ser averiguado na Tab. 5. A alteração de corrente e diâmetro do eletrodo também não causou grandes alterações de áreas entre os cordões interno e o externo.

**Figura 2. Macrografia do cordão de solda do corpo de prova da amostra****Tabela 5. Medidas do cordão de solda da amostra**

Amostras		Largura (mm)	Profundidade (mm)	Área de Penetração (mm ²)	Área de Reforço (mm ²)
Segmento A	Externo	14,92	9,43	89,68	7,47
	Interno	17,98	8,72	92,21	8,19
Segmento B	Externo	14,70	11,12	96,74	11,54
	Interno	19,05	8,73	92,59	9,90

Através da análise da macrografia é possível perceber que os cordões de solda interno e externo se encontram desalinhados entre si, sendo esta uma característica relativa ao processo de soldagem pelo equipamento FAMTHE. Fazzini et al. (2007), em seu trabalho sobre a avaliação de fadiga nos tubos soldados em espiral identificou o problema de desalinhamento entre as soldas interna e externa e as consequências que esse problema pode desencadear sobre a

concentração de tensão. Já para Farhat (2007), o desalinhamento entre os cordões de solda pode causar redução na resistência ao impacto. Porém, em alguns casos essa falta de alinhamento é considerada aceitável, a depender da aplicação desejada. Kibey et al. (2008), estudou o efeito dessa descontinuidade em aços X60 e X80 e os resultados indicaram que ele tem influência significativa na capacidade de deformação a tração para os estados de limite plástico e fratura. O desalinhamento devido a geometria com que o aço é conformado para adquirir o formato para costura em espiral foi apresentado nos estudos de Minnebruggen et al. (2012) através de simulação pelo método de elementos finitos. Esse tipo de descontinuidade também é comum em soldagens circunferenciais (Hertelé, 2016). Outro fator que pode ser responsável pelo desalinhamento dos cordões de solda é a ausência de fixação da chapa antes da realização da soldagem, a falta de acabamento nas bordas do material e a variação de largura das chapas de aço.

É importante enfatizar que a geometria do cordão de solda é a primeira indicação de qualidade de uma junta soldada. O controle da geometria se torna importante para minimizar a susceptibilidade à fissuração das soldas e posterior falha das mesmas (Shen, Oguocha e Yannacopoulos, 2012; Kolhe e Datta, 2012). As diferenças nas geometrias apresentadas não determinam por si só a qualidade da solda executada: deve-se considerar todos os parâmetros diretos e indiretos envolvidos no processo de soldagem com o equipamento FAMTHE.

3.2 Análise Microestrutural

A análise metalográfica realizada por microscopia óptica confirmou a complexidade de microestruturas que podem estar presentes no cordão de solda de aços de baixo carbono, geralmente composta por diferentes morfologias de ferrita e perlita (Modenesi, Marques e Santos, 2012). Observou-se as distintas morfologias presentes na zona fundida (ZF) e zona termicamente afetada (ZTA) comumente encontradas em cordões de solda de aço carbono e aços de baixa liga, conforme discutidas por Lippold (2014), Modenesi (2004), Albuquerque et al. (2012) e Mohammadjoo et al. (2017) e apresentadas na Fig. 3.

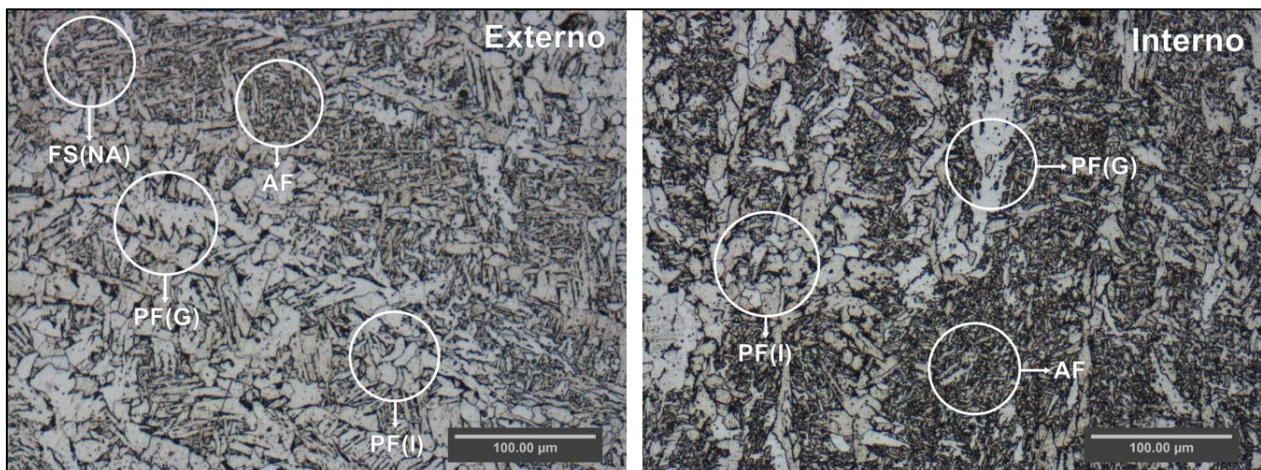


Figura 3. Micrografia do cordão de solda da amostra – cordão interno e cordão externo

As principais microestruturas identificadas no cordão de solda foram: ferrita primária de contorno de grão (PF(G)); ferrita poligonal intragranular (PF(I)); ferrita com segunda fase não-alinhada (FS(NA)); ferrita com segunda fase alinhada (FS(A)) e, principalmente, a ferrita acicular (AF), acordando com os componentes microestruturais encontrados na zona fundida de aços carbono soldados pelo processo a arco em um único passe, conforme literatura consultada (Lippold, 2014; Marques, Modenesi e Bracarense, 2009; Tadavi et al., 2017). De acordo com De Paris (2012) e Peng (2001), a melhoria das propriedades mecânicas de uma junta soldada, em especial a tenacidade, está associado a maior fração volumétrica de ferrita acicular (AF) presente.

A Figura 4 apresenta as diferentes sub-regiões que caracterizam a ZTA do cordão de solda da amostra estudada. Nela, identifica-se com facilidade a presença de todas as sub-regiões da ZTA – a região de grãos grosseiros, zona de refino, área intercrítica e subcrítica – descritas na literatura para a soldagem de único passe, tanto do passe interno quanto no externo. Isso ocorreu porque a entrada de calor não causou sobreposição das zonas afetada termicamente além da esperada no ponto de encontro dos cordões.

A região de grãos grosseiros submete-se a taxas de resfriamento suficientemente altas para formar microestruturas aciculares, como a ferrita acicular e a ferrita primária. A extensão desta região de crescimento de grão, como também é chamada, depende basicamente do ciclo térmico de soldagem, determinada pela sua temperatura de pico e o seu tempo de permanência acima da temperatura de crescimento de grão. O aumento do tamanho de grão está entre os principais fatores metalúrgicos que contribuem para baixa tenacidade na região de grãos grosseiros da ZTA, podendo influenciar significativamente na resistência mecânica e na tenacidade da junta soldada (Modenesi, 2004; Perini, 2008).

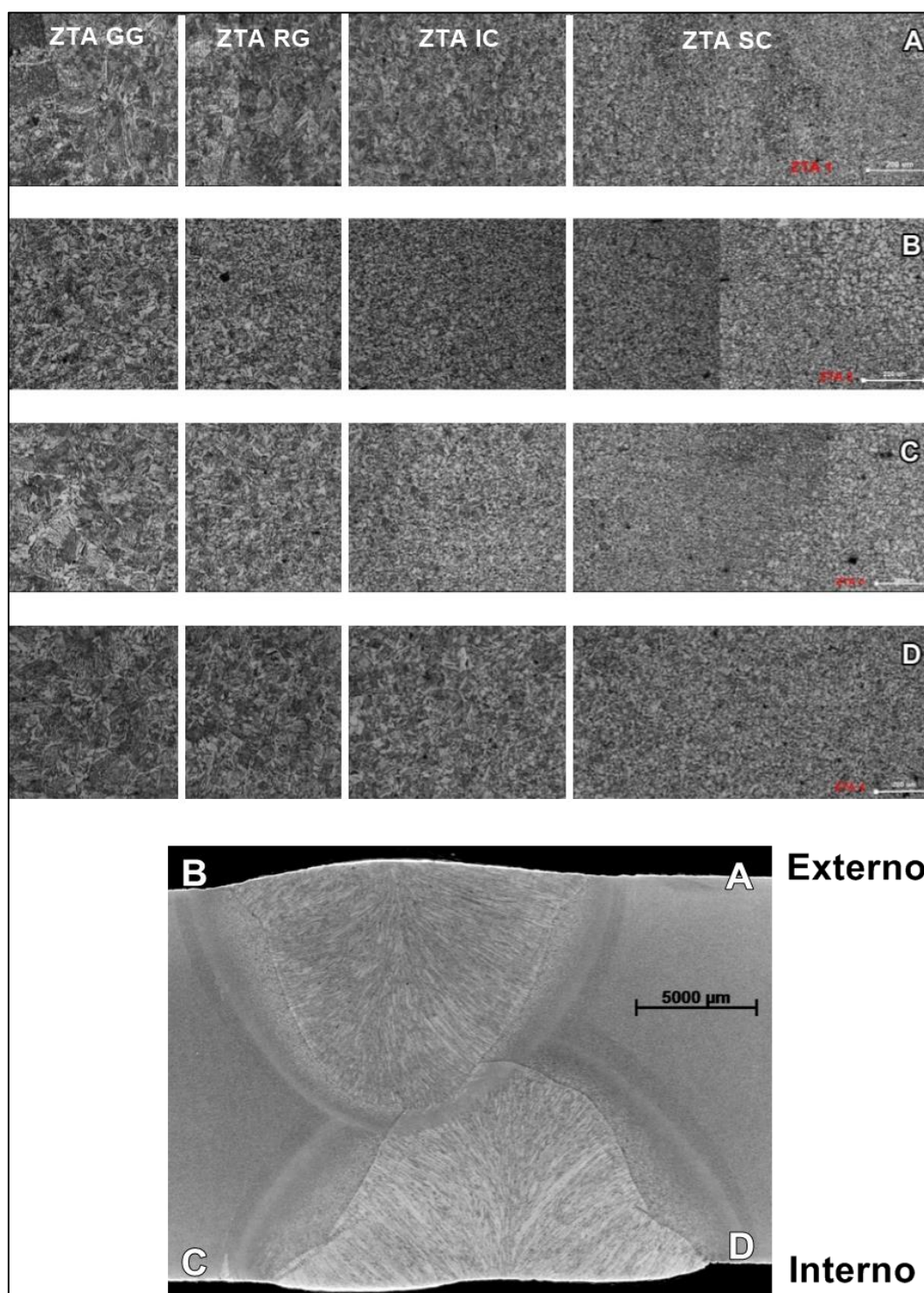


Figura 4. Evolução da ZTA da Amostra – Segmento 1 – (A) e (B) ZTA externa; (C) e (D) ZTA interna

3.3 Análise de Dureza por Microindentação

Na análise da varredura de dureza (Fig. 5 e Fig. 6), os maiores valores de dureza se encontram na zona fundida dos cordões de solda. Essa característica foi atribuída a presença das microestruturas aciculares formadas no decorrer da transformação ocorrida pelos ciclos térmicos impostos a junta soldada (Nascimento et al., 2015). O resultado está em concordância com as microestruturas encontradas nessas regiões conforme discutidas por Modenesi (2009), Nascimento et al. (2015) e Lippold (2014). Além disso, o alto aporte térmico atingido durante a soldagem por arco submerso levou ao amolecimento da ZTA, como pode ser constatado no gráfico de dureza (Fig. 5 e Fig. 6).

O valor médio de dureza para o cordão interno (Fig. 5) é de $227 \pm 18 \text{ HV}_{0,3}$ e para o cordão externo (Fig. 6) é de $199 \pm 17 \text{ HV}_{0,3}$. Para a ZTA, pode-se afirmar que esta apresentou redução nos valores de dureza proporcionados pelas menores velocidades de resfriamento, semelhante ao comportamento apresentado nos trabalhos de Albuquerque et al. (2012) e Nascimento et al. (2015). Seus valores, em geral, foram inferiores aos medidos no metal de solda, devido as

microestruturas presentes nessa região. Os principais microconstituintes presentes na ZTA foram a ferrita com segunda fase (FS) e a ferrita primária (PF), ambos produtos formados a partir de baixas taxas de resfriamento e com menor dureza. Os valores de dureza encontrados foram abaixo de 260 HV. A presença de microestruturas frágeis para os aços carbono, que se caracterizam por apresentarem valores de dureza superiores a 350 HV não foram observadas (Modenesi, 2009), mesmo porque a composição química do aço não permite a formação de constituintes microestruturais bainíticos frágeis ou da martensita.

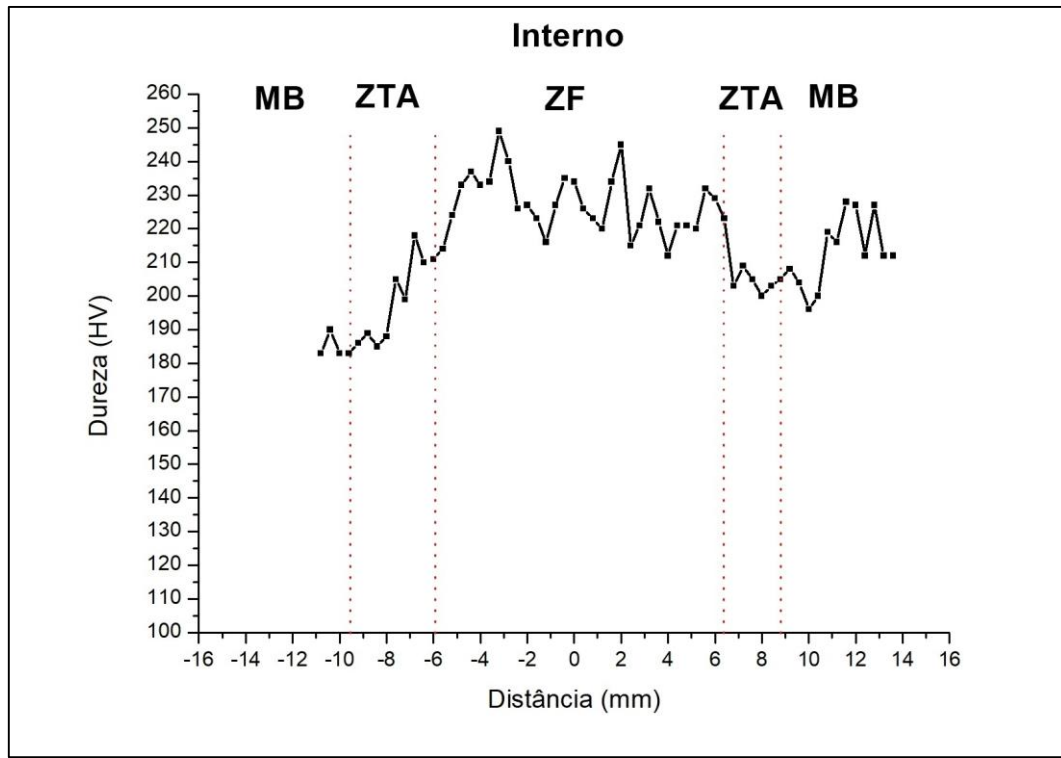


Figura 5. Mapa de dureza do cordão interno

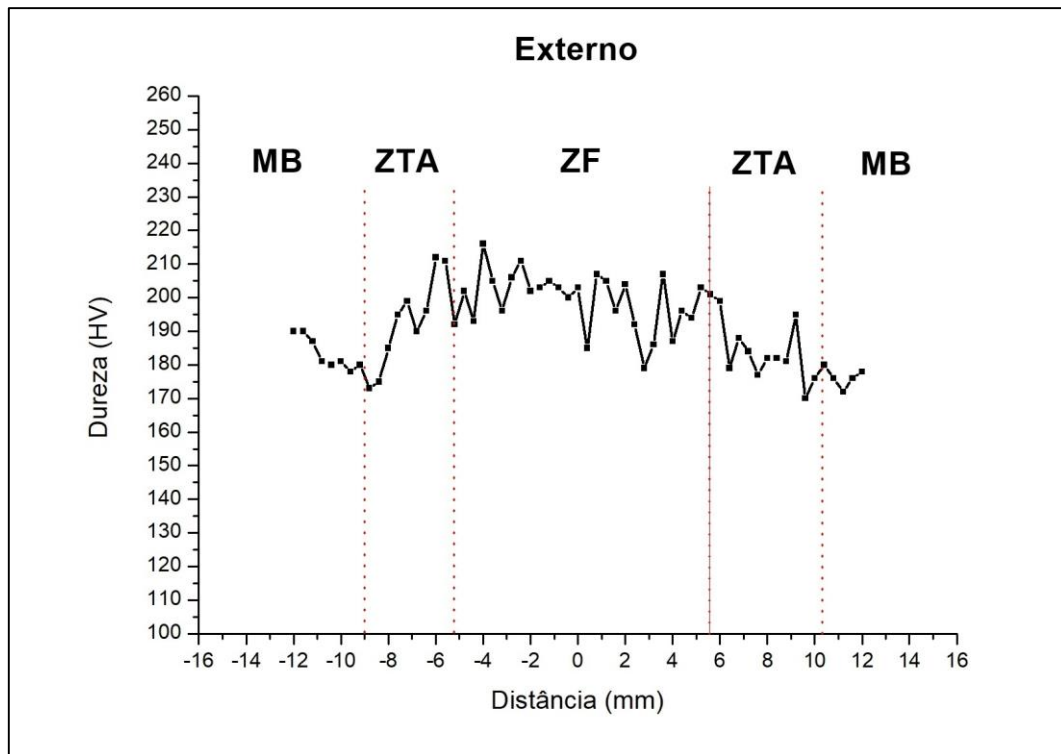


Figura 6. Mapa de dureza do cordão externo

4. CONCLUSÃO

A soldagem com costura helicoidal proporciona os tratamentos de pré e pós aquecimento térmico sem custo adicional ao processo devido ao cordão interno atuar como fonte de pré-aquecimento para o cordão externo. E, de maneira similar, o pós-tratamento térmico obtido no cordão interno em virtude da energia da soldagem do cordão externo.

O desalinhamento apresentado sugere que esse fato seja uma característica do processo de soldagem utilizando o equipamento FAMTHE. Nota-se que nesse caso, dependendo do grau de desalinhamento, poderá ser desconsiderado. Isto também se torna uma fonte para futuros trabalhos.

As principais microestruturas encontradas no cordão de solda foram: ferrita acicular (AF), ferrita com segunda fase (FS) e ferrita primária (PF). Com maior proporção da AF encontrado principalmente no metal de solda, proporcionando a esta área propriedade mecânicas superiores a ZTA.

A amostra apresentou características microestruturais favoráveis a melhores propriedades mecânicas, com parâmetros geométricos aceitáveis, com sobreposição entre os cordões, pequeno grau de desalinhamento e fusão completa dos cordões de solda.

Ainda pode-se inferir que a fabricação de tubos por esse processo torna-se, então, uma alternativa atrativa nas atividades onde é requerida tubulações de grande diâmetro.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq e FACEPE por concessão de bolsa e apoio financeiro, respectivamente; à MEMPS pela doação do material de estudo, suporte técnico e financeiro.

6. REFERÊNCIAS

- Albuquerque, S. F., de Sousa Silva, R., Maciel, T. M., Almeida, D. M., e Queiroz, A. Estudo do Comportamento do Aço API 5L X80 quando submetido à Soldagem por Processo Automatizado. Soldagem e Inspeção, São Paulo, 17, 137-146, 2012.
- De Paris, A. F., Mulazzani, F., e De Paris, J. M. Estudo microestrutural de aço carbono soldado com o processo arco submerso e adições de Fe-Ti. Soldagem & Inspeção, v. 17, n. 1, p. 58-64, 2012.
- Hertelé, S; Cosham, A., e Roovers, P. Structural integrity of corroded girth welds in vintage steel pipelines. Engineering Structures, v. 124, p. 429-441, 2016.
- Farhat, H. Effects of Multiple Wires and Welding Speed on the Microstructures and Properties of Submerged Arc Welded X80 Steel. Saskatoon: Tese de Doutorado, 2007. p. 159 p.
- Fazzini, P. G; Belmonte, J. C., Chapetti, M. D., e Otegui, J. L. Fatigue assessment of a double submerged arc welded gas pipeline. International journal of fatigue, v. 29, n. 6, p. 1115-1124, 2007.
- Forouzan, M. R., Nasiri, S. M., Mokhtari, A., Heidari, A., e Golestaneh, S. J. Residual stress prediction in submerged arc welded spiral pipes. Materials & Design, v. 33, p. 384-394, 2012.
- Junior, J. C. S.; Rocha, D. B., e Brandi, S. D. Uma breve revisão histórica do desenvolvimento da soldagem dos aços API para tubulações. Soldagem & Inspeção, São Paulo, v. 18, n. 2, p. 176-195, 2013.
- Júnior, José F. C. B. Aumento da velocidade de soldagem para processo de arco submerso em juntas de um tubo de aço API X70. Guaratinguetá: Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual Paulista, 2009. 131.
- Kibey, S. A., Issa, J. A., Minnaar, K., e Gioielli, P. C. Effect of misalignment on the tensile strain capacity of welded pipelines. In: The Eighteenth International Offshore and Polar Engineering Conference. International Society of Offshore and Polar Engineers, 2008.
- Kolhe, K. P. e Datta, C. K. Prediction of microstructure and mechanical properties of multipass SAW. Journal of materials processing technology, v. 197, n. 1, p. 241-249, 2008.
- Lippold, John C. Welding metallurgy and weldability. John Wiley & Sons, 2014.
- Marques, P. V., Modenesi, P. J., e Bracarense, A. Q. Soldagem - fundamentos e tecnologia. 3º. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2009. p. 364.
- Minnebruggen, K. V., De Waele, W., Denys, R., e Thibaux, P. (2012). Strain based design considerations for spiral welded pipelines. In Sustainable Construction and Design (SCAD-2012) (Vol. 3, No. 1, pp. 44-51). Ghent University, Laboratory Soete.
- Modenesi, P. J. Soldabilidade dos aços transformáveis. UFMG, Belo Horizonte, MG, 2004.
- Modenesi, P. J, Marques, P. V., e Santos, D. B. Introdução à metalurgia da soldagem. Belo Horizonte, MG: UFMG, 2012.
- Mohammadijoo, M., Kenny, S., Collins, L., Henein, H., e Ivey, D. G. Influence of cold-wire tandem submerged arc welding parameters on weld geometry and microhardness of microalloyed pipeline steels. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, v. 88, n. 5-8, p. 2249-2263, 2017.
- Nascimento, F. J. P. et al. Estudo comparativo da geometria do cordão de solda, variando-se alguns parâmetros de processo de soldagem MIG/MAG. 8º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação. Salvador, BA: s.n., 2015.
- Peng, Y; Chen, W., e Xu, Z. Study of high toughness ferrite wire for submerged arc welding of pipeline steel. Materials characterization, v. 47, n. 1, p. 67-73, 2001.
- Perini, F. G. Propriedades mecânicas e microestruturais de aços de alta resistência e baixa liga soldados. Caxias do Sul: Dissertação de Mestrado, Universidade de Caxias do Sul, 2008. 96 p.

- Pinto, Filipe C. Caracterização mecânica e microestrutural do aço API 5L - X65 soldado por feixe de elétrons. Lorena: Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, 2011. 119 p.
- Sadowski, Adam J.; Rotter, J. Michael. Modelling and behaviour of cylindrical shell structures with helical features. Computers & Structures, v. 133, p. 90-102, 2014.
- Shen, S.; Oguocha, I. N. A.; e Yannacopoulos, S. Effect of heat input on weld bead geometry of submerged arc welded ASTM A709 Grade 50 steel joints. Journal of Materials Processing Technology, v. 212, n. 1, p. 286-294, 2012.
- Tadavi, T. et al. Microscopic analysis of heat affected zone (HAZ) of submerged arc welding (SAW) joint for 1018 mild steel sheet. 2017.
- Van Minnebruggen, Koen et al. Strain based design considerations for spiral welded pipelines. In: Sustainable Construction and Design (SCAD-2012). Ghent University, Laboratory Soete. p. 44-51, 2012.

7. RESPONSABILIDADE AUTORAL

“Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho”.

FIELD WELDING BY SUBMERGED ARC WELDING OF PIPE WITH HELICAL SEAMING

Ana Carla Santos da Silva^{1,2*}

Ivan Bezerra de Mello Picchi¹

Luis Henrique Rodrigues Apolinário¹

Tahiana Francisca da Conceição Hermenegildo¹

Tiago Felipe de Abreu Santos^{1,ξ}

1 Departamento de Engenharia Mecânica (SoldaMat), Universidade Federal de Pernambuco, Av. da Arquitetura, s/n, 50740-550, Cidade Universitária, Recife, PE.

2 MEMPS – Montagem Eletromecânica e Prestação de Serviços Ltda., Gerência de Projetos, Av. dos Cúrios, 10, 65095-460, Vila Esperança, São Luís, MA.

*carla.santoss@ufpe.br, ξtiago.felipe@ufpe.br

Abstract. This work aims to demonstrate the applicability of field welding in tubes through the study of geometric and microstructural characteristics of helical welds performed in ASTM A1018 structural steel. In order to achieve the research's objective, a steel pipe made of sheets with 16 mm thick and diameter of 1200 mm was welded by the process of submerged arc welding (SAW), with an equipment adapted for field welding. After the tube was manufactured, samples were taken in two segments of the tube in order to perform micro- and macrostructural characterization, as well as hardness tests. The samples have exhibited microstructures frequently present in welding with a single pass, such as acicular ferrite and grain boundary primary ferrite. The geometry of the weld beads was analyzed and evaluated, identifying misalignments between the inner and outer beads. Finally, it was concluded that the field welding does not present significant differences from the controlled conditions simulated in the laboratory, making this technology adequate to field applications

Keywords: Helicoidal tube, Submerged arc welding, Microstructural characterization.