

“MODIFICAÇÕES MICROESTRUTURAIS EM DECORRÊNCIA DA SOLDAGEM DE MANUTENÇÃO EM UM AÇO DO TIPO ARBL PELO EMPREGO DO PROCESSO SMAW”

**Filipe SILVA REGO (1); Wesley MACEDO ROCHA (2);
Jorge Luís LAURIANO GAMA (3)**

(1) Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Alagoas – IFAL, Av. Barão de Atalaia, s/nº Poço, Maceió-AL. CEP: 57020-510, Tel.: (82) 2126-7082; Site: www.ifal.edu.br e-mail: filiperegofsr@hotmail.com;

(2) IFAL, e-mail: wesley-macedo@hotmail.com;

(3) IFAL, e-mail: jorgelauriano@gmail.com.

RESUMO

O presente estudo aborda a importância do constante desenvolvimento de novas tecnologias para Aços de Alta Resistência e Baixa Liga (ARBL) tendo como sua principal utilização em sistema de transporte de petróleo e seus derivados na forma de dutos. Nosso principal objetivo é a caracterização das mudanças ocorridas na microestrutura do aço API 5L X-70 – aço mais utilizado no transporte de insumos de petróleo e gás sob alta pressão - em decorrência do emprego do processo de soldagem Shielded Metal Arc Welding (SMAW) na montagem e manutenção em razão do aquecimento e resfriamento na coalescência e fusão dos metais de base e adição. Analisam-se as modificações do aço ARBL com a aparição da matriz ferrítica secundária, investigando os possíveis efeitos deletérios. Sugeriu-se procedimentos que minimizariam a formação de constituintes que causem prejuízos, desta forma visando manter a matriz ferrítica circular, microestrutura favorável para o aumento da longevidade dos dutos.

Palavras-chave: Aço API 5L X-70; Soldagem; SMAW; ARBL; Microestrutura.

1. INTRODUÇÃO

O crescente desenvolvimento industrial mundial proporcionado pela globalização traz a necessidade da elaboração de novas tecnologias para cada vez mais aperfeiçoar e baratear os custos na produção dos mais variados produtos, e isso não é diferente no ramo de transporte dutoviário.

Segundo Fedele (2010), ao longo dos anos as malhas de tubulações vêm sendo ampliadas e melhoradas constantemente, pois na medida em que a evolução tecnológica acontece impulsiona a necessidade da descoberta de novas fontes de combustíveis, e o crescimento da demanda do abastecimento de centros consumidores em ascensão favorece o desenvolvimento do transporte desses produtos.

O meio mais viável economicamente para o transporte de insumos como óleo e gás, em grande quantidade por longas distâncias, é realizado através de sistemas integrados, tecnicamente chamados de tubulações. Elas podem receber diferentes nomes, tais como, aquodutos, gasodutos, oleodutos, minerodutos, etc, dependendo da substância que está sendo escoada em seu interior. O transporte destes produtos a longa distância requer cada vez mais, melhores propriedades mecânicas e leveza a fim de favorecer o transporte e a montagem. Deste modo, ocorre a busca incessante pela melhoria das propriedades mecânicas que melhor se adéquem nas condições exigidas, onde normalmente são requisitados elevados níveis de resistência mecânica e tenacidade, boa absorção de impacto e excelente soldabilidade. Um bom exemplo da evolução tecnológica das tubulações foi o surgimento dos Aços de Alta Resistência e Baixa Liga (ARBL), que revolucionaram o seguimento de transporte dutoviário. Essas ligas surgiram como consequência benigna da primeira crise do petróleo em 1973, que induziram as usinas siderúrgicas a investirem na ciência metalúrgica no intuito de produzir novos aços com maior resistência mecânica, mas com menor volume de material, propiciando um estreitamento na relação custo-benefício como relata Gorni (2010). Essa família de materiais desenvolvidos para a construção de sistemas integrados empregados no transporte de matérias primas na indústria do petróleo e de seus derivados é regulamentada pela norma da American Petroleum Institute (API) e são designados como 5L, segundo a Specification for Line Pipe 5L. – API (1995). As ligas comumente usadas em dutos de alta pressão são designadas pelas classes X-60, X-65, X-70, X-80, X-90, etc.

As características comumente encontradas nos ARBL como níveis apreciáveis de resistência mecânica e tenacidade são conferidos através da adição de nióbio, controle rígido da composição química e um processamento especial de laminação a quente, já a melhoria da soldabilidade é obtida através da redução dos teores de carbono. Mas apenas o desenvolvimento das tubulações não seria capaz de acabar com os efeitos negativos na montagem e manutenção deste seguimento de transportes, pois num sistema de tubulações, o ponto mais crítico a ser observado é na junção dos tubos, ou seja, o processo de soldagem deve progredir em conjunto com o avanço tecnológico para a montagem das tubulações.

Apesar de todas as melhorias existentes no transporte em dutos, ainda não se tem um grande controle sobre os efeitos deletérios causados pela complexidade das transformações microestruturais em razão do ciclo de aquecimento e resfriamento durante execução de soldagem, justificando assim o presente estudo.

Para grande maioria das aplicações, o aço X-70 vem a ser o mais indicado e empregado no seguimento de transporte por sistemas integrados de tubulações. Em sua montagem e manutenção, o processo de soldagem utilizado em larga escala vem a ser denominado como Shielded Metal Arc Welding (SMAW). Como citam Marques e Modenesi (2010), este processo é o mais adequado em virtude das condições encontradas no campo de trabalho, pois permite maior simplicidade assim como melhor mobilidade de equipamentos necessários para sua realização. No entanto, como em todo processo de soldagem, algumas transformações em sua microestrutura ocorrem, acarretando mudanças nas propriedades mecânicas deste aço e podendo assim apresentar regiões com grãos mais finos, sendo as tubulações regiões mais vulneráveis a trincas e futuros defeitos. Por este motivo tem-se a suma importância de conhecermos as prováveis mudanças microestruturais e ao estudarmos as modificações ocorridas na microestrutura, podemos sugerir parâmetros que favoreçam as propriedades mecânicas para o melhor desempenho na montagem e manutenção das tubulações.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

Para o presente estudo foi realizado depósito de cordão sobre chapa, sendo empregado como metal de base chapas de aço oriundas da indústria petrolífera classificadas na norma *American Petroleum Institute* 5L grau X-70, com as seguintes dimensões médias: 11 mm de espessura 58 mm de largura e 115 mm de comprimento. Como metal de adição foi empregado eletrodo ER-7018 com diâmetro de 2,5 mm. As características de composição química e propriedades mecânicas encontram-se na Tabela 1.

Tabela. 1 – Característica dos Materiais Empregados *

Região	Composição Química**	Propriedades Mecânicas (mín.)
Metal de Base (MB)	0,117% C; 1,49% Mn; 0,018% P; 0,006% S; 0,020% V; 0,017% Nb; 0,014% Al; Si, Ni e Mo não há valores. Obs.: Análise presumida.	LE – 482 N/mm ² LR – 465 N/mm ² A - 18 %
Metal de Adição (MA)	0,07% C 0,50% Si 2,30% Mn	LE – 399 N/mm ² LR – 482 N/mm ² A – 22% Ch (V) – 27J (-29°C)

*Dados do Fabricante; **Composição Nominal segundo Ventrella (2010) para o MB e segundo Fortes (2005) para o MA.

2.2 Métodos

2.2.1 Execução da Soldagem

Foi empregado o processo de soldagem denominado Shielded Metal Arc Welding (SMAW) ou soldagem com eletrodo revestido. Foi utilizada máquina de soldagem BAMBOZZI modelo MXI 180 ED. A máquina foi calibrada para soldagem na polaridade inversa, utilizando corrente contínua na faixa entre 20V a 30V e potência entre 70A a 90A.

Retirou-se das chapas a carepa com escova de aço. Posteriormente usando esmerilhadeira com disco de corte criou-se um canal raso longitudinal na parte central da chapa a fim de alinhar o depósito do material consumível. Três das quatro chapas e os eletrodos foram previamente aquecidos em forno do tipo mufla a temperatura de 150 °C. Na chapa sem pré-aquecimento foi aplicado apenas um cordão de solda. Nas chapas pré-aquecidas foram realizados de um a três passes, sendo que nas chapas que receberam mais de um cordão realizou-se o controle de temperatura interpasso com auxílio de pirômetro ótico de tal forma que o segundo e terceiro passe só fossem realizados quando a zona termicamente afetada (ZTA) atingisse temperatura de 150 °C. As características das chapas após soldagem encontram-se indicadas na Tabela 2.

O processo de soldagem deu-se no sentido puxado em posição plana. As escórias dos cordões foram retiradas com picadeira e esmerilhadeira com escova de aço visando à máxima eficiência na limpeza das chapas afim de que não houvesse contaminação entre os depósitos dos consumíveis.

Tabela 2- Características das chapas soldadas.

Situação	Característica
1°	1 cordão sobre a chapa sem pré-aquecimento
2°	1 cordão sobre a chapa com pré-aquecimento a 150 °C
3°	2 cordões sobre a chapa com o pré-aquecimento e temperatura interpasse a 150 °C
4°	3 cordões sobre a chapa com o pré-aquecimento e temperatura interpasse a 150 °C

2.2.2 Análise Metalográfica

As amostras das chapas soldadas foram analisadas pela técnica metalográfica convencional. As chapas foram seccionadas transversalmente em máquinas de corte com intensa refrigeração do tipo Discoton a fim de obterem-se amostras de dimensões apreciáveis para o embutimento a frio com resina acrílica. Posteriormente as amostras foram lixadas em lixas d'água de granulometrias de até 1000 μm . Na realização do polimento empregou-se alumina como material abrasivo com granulometrias de até 0,5 μm . Eventuais resíduos que contaminariam as amostras na passagem do lixamento para o polimento e entre as mudanças granulométricas de material abrasivo utilizados no polimento foram removidos através de limpador ultrassônico. Depois de polidos, atacaram-se quimicamente os corpos de prova aplicando ácido nítrico a 2% em álcool etílico objetivando revelar a microestrutura que foi observada em microscópio Olympus modelo PME, onde as imagens foram captadas em câmera fotográfica digital acoplada.

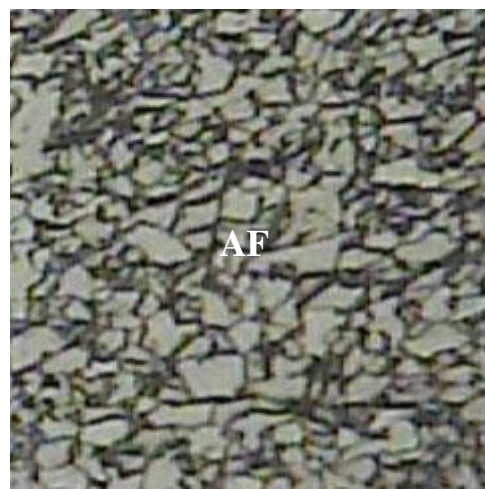
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Resultados

Imagens microscópicas das seções transversais ao cordão de solda possibilitaram a identificação microestrutural do metal de base e metal depositado. Analisando as amostras observa-se a matriz alfa de estrutura cristalina cúbica de corpo centrado (CCC) onde são evidentes as mudanças microestruturais oriundas do processo de aquecimento e resfriamento durante a coalescência e fusão dos metais, que segundo Ventrella (2010), tratam-se das fases Ferrita Acicular – AF (fase do metal de base), Ferrita Poligonal Intergranular – PF (I), Ferrita de Contorno de Grão - PF (G), Ferrita com Segunda Fase – FS. As análises realizadas abordaram as transições do metal depositado (MD) para a zona termicamente afetada (ZTA) e da ZTA para o metal de base (MB). As Figuras 1 (A) e (B) mostram as regiões do metal depositado (MD) e do metal de base (MB). Na Figura 1(B) é possível observar a uniformidade da microestrutura e a presença da fase AF.



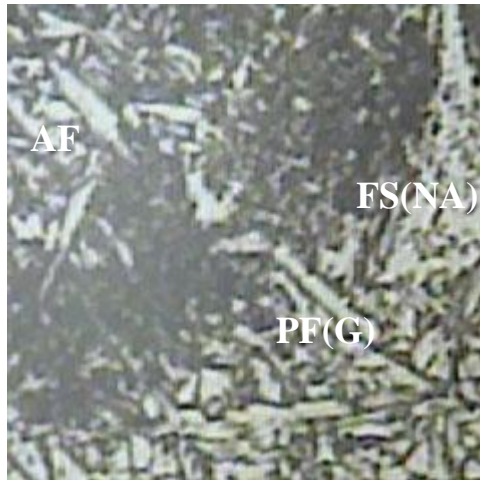
(A)



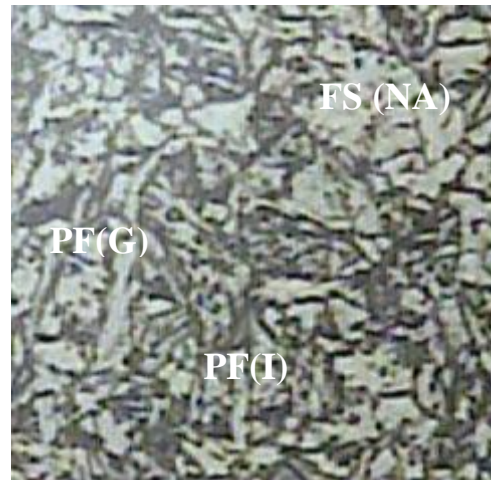
(B)

Figura 1 - Microestrutura com aumento de 200X. Em (A) metal Depositado e em (B) metal de Base.

A Figura 2 mostra a microestrutura da amostra sem pré-aquecimento com apenas um cordão de solda. Na Figura 2 (A), encontram-se as fases Ferrita de contorno de grão – PF (G), Ferrita Secundária não Alinhada – FS (NA) e Ferrita Acicular – AF. Na Figura 2 (B) estão presentes as fases Ferrita Primária Poligonal Intergranular – PF (I), Ferrita Primária de Contorno de Grão - PF (G) e Ferrita Secundária não Alinhada – FS (NA).



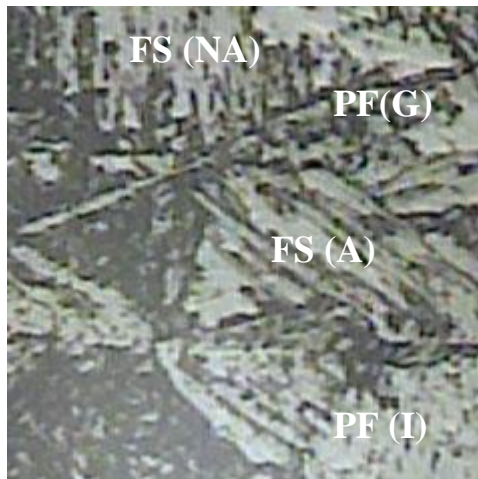
(A)



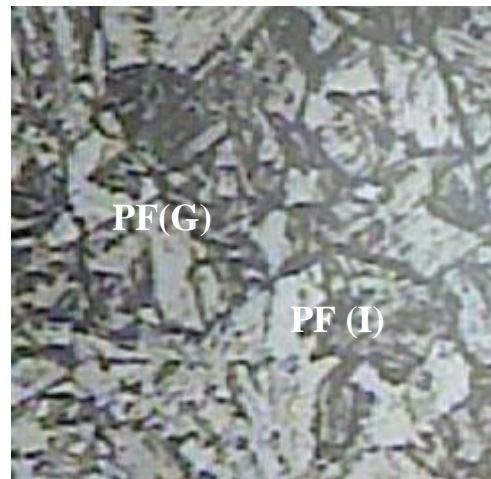
(B)

Figura 2 - Microestrutura com 200x de aumento, chapa sem pré-aquecimento com depósito de 1 cordão. Em (A) região de transição MD – ZTA, e em (B) região de transição ZTA – MB.

Nas Figuras 3, 4 e 5 pode-se observar que a microestrutura do aço soldado apresentou em menor proporção constituintes de matriz Ferrítica Secundária mantendo em maior quantidade as fases AF e PF(G).

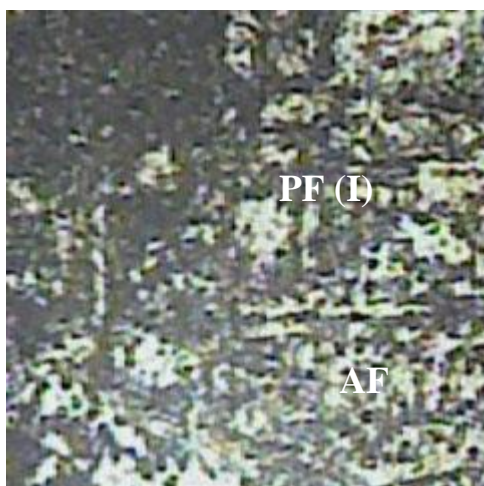


(A)

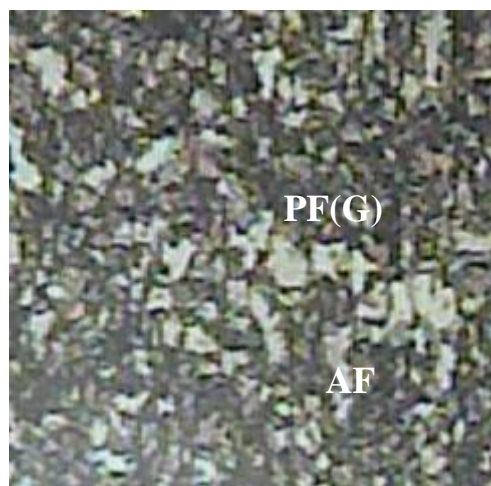


(B)

Figura 3 – Microestrutura com 200x de aumento, chapa pré-aquecida. Em (A) região de transição MD – ZTA, e em (B) região de transição ZTA – MB.

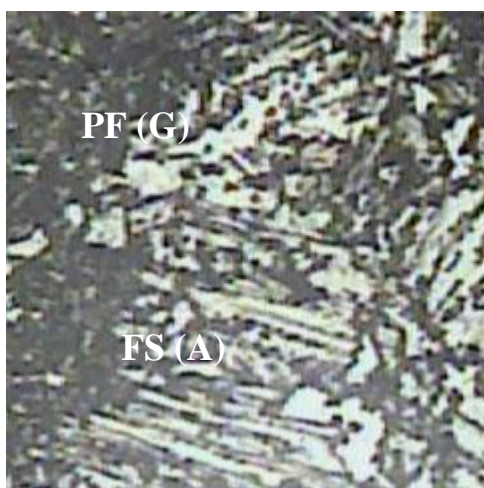


(A)

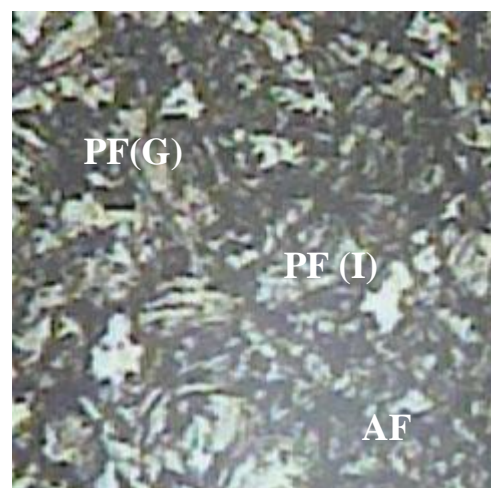


(B)

Figura 4 – Microestrutura com 200x de aumento, chapa pré-aquecida com depósito de 2 cordões. Em (A) região de transição MD – ZTA, e em (B) região de transição ZTA – MB.



(A)



(B)

Figura 5 — Microestrutura com 200x de aumento, chapa pré-aquecida com depósito de 3 cordões. Em (A) região de transição MD – ZTA, e em (B) região de transição ZTA – MB.

3.2 Discussão

Para Fortes (2005), a Zona Termicamente Afetada (ZTA) é a área da solda que não se fundiu durante o processo de soldagem, porém passou por importantes mudanças microestruturais resultantes do calor induzido por meio do aquecimento originado pelo arco elétrico. Essa região torna-se o elo fraco na junta soldada que, não sendo submetida a esse processo seria suficientemente resistente. Analisando o aspecto microestrutural da ZTA, observa-se que a estrutura granular é mais grosseira ou não tão refinada em comparação com a do aço API 5L X-70 e, portanto, tem menor resistência mecânica que a do metal de base circunvizinho ou quanto o metal de solda em sua estrutura bruta de fusão. Quanto à velocidade de resfriamento, pode-se observar que todas as amostras manipuladas neste estudo conservaram-se na matriz Ferrítica, pois o método de resfriamento empregado no final do processo de soldagem consistiu em deixar os materiais atingirem à temperatura ambiente no próprio meio. Se eventualmente a ZTA resfriasse mais rapidamente, formar-se-iam estruturas cristalinas frágeis e duras, conhecida como martensita.

Observa-se na Figura 1 (B), a existência de homogeneidade da fase microestrutural Ferrita Acicular (AF) de matriz alfa que revela grãos mais refinados conferindo a este material maior resistência a trincas. Analisando os conceitos abordados no item introdução e comparando-os com a Tabela 1 conforme pré consta Ventrella (2010), percebe-se que a fase AF é a mais indicada para a composição dos aços que exigem elevados índices de resistência mecânica. Haja vista as transformações microestruturais ocorridas durante o processo de soldagem, as requeridas propriedades mecânicas sofrem alterações indesejáveis.

Pode-se observar as heterogeneidades microestruturais não apropriadas, nas Figuras 2 a 5. Nota-se o surgimento das fases Ferrita Acicular – AF (fase do metal de base), Ferrita Primária Poligonal Intergranular – PF (I), Ferrita Primária de Contorno de Grão - PF (G), Ferrita Secundária não Alinhada – FS (NA) e Ferrita Secundária Alinhada FS – (A). O aparecimento das fases FS (A) e FS (NA) deriva-se em função do baixo aporte térmico, fazendo com que a fração volumétrica de AF seja reduzida consideravelmente. Nas microestruturas analisadas, os principais constituintes responsáveis pela redução brusca da tenacidade na junta soldada são FS (A) e FS (NA).

Contrapondo os resultados obtidos em virtude do baixo aporte térmico, tem-se por meio da menor queda de temperatura as fases Ferrita Primária de Contorno de Grão – PF (G) e Ferrita Primária Poligonal Intergranular – PF (I). Mesmo com o maior aporte térmico, a redução da fração volumétrica da Ferrita Acicular (AF) ocorreu, sendo que desta vez de modo mais acentuado, em relação às situações que tiveram maior queda de temperatura. As transformações de AF para PF (G) e PF (I) são mais aceitáveis comparando-as com as modificações microestruturais de AF para as fases de matriz Ferrítica Secundária, pois segundo Ventrella (2010), as propriedades mecânicas de AF sofrem menores alterações nas fases de matriz Ferrítica Primária.

Analisando as proporções das fases encontradas nas Figuras 2 a 5, fica evidente a maior quantidade de Ferrita Secundária (FS) na Figura 2, na qual o metal de base não foi submetido ao pré-aquecimento. Como relata Ordóñez (2004), o pré-aquecimento tem como principal objetivo minimizar a susceptibilidade à aparição de trincas, ou seja, tornar os impactos na tenacidade do metal os menores possíveis. O princípio básico do processo de pré-aquecimento consiste na expansão ou dilatação do metal de base, e como o metal de adição está em processo de solidificação durante a coalescência, a menor diferença de temperatura faz com que a taxa de resfriamento seja favorável à redução da quantidade de deformações e esforços residuais que eventualmente ocorrem na região de junção dos metais. De modo geral, a condição de baixo aporte térmico, pode acarretar em defeitos na junta soldada como falta de fusão e/ou penetração do material depositado.

Como afirma Fortes (2005) apenas o pré-aquecimento não é suficiente para minimizar todos os efeitos deletérios oriundos no processo de soldagem em aços que são fortemente temperáveis. Torna-se necessário o controle da temperatura “interpasse”, que visa, assim como o pré-aquecimento, diminuir as taxas de resfriamento evitando que o material sofra drásticas modificações microestruturais. Deste modo pode-se evitar ou minimizar o excessivo endurecimento e, portanto, tornam-se quase escassas às possibilidades de eventuais fissuras surgirem sobre o cordão.

4. CONCLUSÃO

- O efeito didático do presente estudo evidencia que tanto a aplicação de pré-aquecimento quanto o controle da temperatura interpasses na soldagem favorece a manutenção da microestrutura Ferrítica Acicular, diminuindo a possibilidade de alterações nas propriedades finais do metal de base sendo, portanto bastante desejável suas aplicações para essa classe de material.
- As tubulações constituídas por aços API 5L X 70 devem apresentar em maior quantidade matriz Ferrítica Acicular, composta de grãos refinados que confere ao material excelentes níveis de resistência mecânica e tenacidade além de proporcionar maior durabilidade aos dutos.
- A temperatura do metal de base deve ser controlada principalmente em regiões frias, pois com o emprego do pré-aquecimento e o controle de temperatura interpasses minimiza o surgimento de constituintes do tipo Ferrita de Segunda fase.
- A matriz Ferrítica de segunda fase é indesejável nos tubos por ser um constituinte microestrutural formado por grãos menos refinados que reduzem a tenacidade da junta soldada.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial - AL (SENAI-AL) por ceder os laboratórios e o apoio dos instrutores Paulo Medeiros e Alonso Quintino de Menezes na soldagem para realização dos experimentos. É também motivo de agradecimento o apoio financeiro, através do projeto PIBICT-2010-1 processo nº 23041.001261/2010-46, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Alagoas (IFAL). Agradecemos ainda os colegas Antônio Bezerra e Fernanda Alves, alunos do curso de mecânica do IFAL, pelas contribuições na fase de preparação das amostras metalográficas.

REFERÊNCIAS

American Petroleum Institute **Specification for Line Pipe 5L**. – API, Washington, April, 25p, 1995;
FEDELE, in btwbr.com.br/.../Desafios%20na%20Soldagem%20de%20Tubulacoes.pdf, junho de 2010;
FORTES, C. **Eletrodos Revestidos OK**, ESAB BR, 2005;
GORNI, in www.gorni.eng.br/Gorni_SENAFOR_2008.pdf, junho de 2010;
MODENESI, P. J. e MARQUES, P. V. in www.infosolda.com.br/download/61ddn.pdf, junho de 2010;
ORDÓÑEZ, R. E. C. **Soldagem e caracterização das propriedades mecânicas de dutos de aço API 5L – X80 com diferentes arames tubulares**. Dissertação de Mestrado acadêmico apresentado à comissão de Pós Graduação de Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual de Campinas, SP. p.16, 2004;
VENTRELLA, in www.dem.feis.unesp.br/...2004/cbecimat2004.pdf, junho de 2010.