

Estudo Comparativo de Metais de Solda de Aço de Alta Resistência Obtidos pelos Processos Eletrodo Revestido e Arame Tubular para Aplicação em Equipamentos de Amarração Offshore

(Comparative Study of High Strength Steel Weld Metals Obtained by the SMAW and FCAW Processes for Offshore Applications and Mooring Chains)

Humberto N. Farneze¹, Jorge Carlos F. Jorge², Luís Felipe G. de Souza³, Ivani de S. Bott⁴

¹CEFET/RJ, UnED Itaguaí, Itaguaí, RJ, Brasil, humbertofarneze@globo.com

^{2,3}CEFET/RJ, DEPMC, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, jorge@flukeengenharia.com.br, lfelipe@cefet-rj.br

⁴PUC-Rio, DCMM, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, bott@puc-rio.br

Resumo

Realizou-se um estudo comparativo entre os processos eletrodo revestido e arame tubular, considerando-se as propriedades mecânicas e microestruturais de metais de solda de aço de alta resistência, nas condições de como soldado e com tratamento térmico de alívio de tensões (TTAT). Os resultados mostram que os procedimentos adotados para soldagem com arame tubular e eletrodos revestidos possibilitaram obter níveis de resistência mecânica satisfatórios, com exceção do valor de alongamento percentual para o arame tubular, na condição de como soldado. Os ensaios de impacto mostram que ambos os metais de solda apresentam tenacidade ao impacto satisfatória, tanto na condição de como soldado quanto na de TTAT, observando-se que, para o arame tubular, a tenacidade ao impacto é inferior a do eletrodo revestido em ambas as condições, situando-se próximo ao limite do critério de aceitação aplicado de 50 joules a 0°C, na condição de TTAT. Verificou-se que a produtividade propiciada pelo processo arame tubular foi aproximadamente duas vezes superior ao processo eletrodo revestido. Desta forma, a vantagem inerente ao processo arame tubular deve ser complementada pela consideração do conjunto das propriedades mecânicas obtidas, orientando a seleção adequada do processo de soldagem em particular para aplicação em equipamentos que operam sob condições de fadiga.

Palavras-chave: Alta resistência, Metal de solda, Tenacidade

Abstract: A comparative study of FCAW and SMAW processes was performed considering the mechanical and microstructural properties of high strength steel weld metals in the as welded and post weld heat treated (PWHT) conditions. The results showed that the welding procedures adopted for FCAW and SMAW processes produced satisfactory mechanical properties levels with exception of the percentage elongation for FCAW in the as welded condition. The impact test results show that both weld metals had good impact toughness in the as welded and PWHT conditions. It was observed that the FCAW weld metal showed lower impact toughness in relation to the SMAW weld metal in both conditions, being close to the lower acceptance limit of 50 joules at 0°C for the PWHT condition. It was verified that the productivity offered by the FCAW process was about two times higher than that obtained by the SMAW process. The advantage inherent to the FCAW process must therefore be complimented by taking into consideration the overall mechanical properties obtained, thereby permitting an adequate selection of the most appropriate welding process, particularly when the structures operates under fatigue conditions.

Key-words: High strength, Weld metal, Toughness

1. Introdução

A necessidade do desenvolvimento tecnológico para processos tanto de fabricação quanto de recuperação por soldagem em componentes de uso naval e “offshore”, principalmente os que são submetidos a condições de serviço severas, como os sistemas de ancoragem de unidades de exploração e produção de petróleo, motiva a ampliação de pesquisas que venham

trazer fundamentos técnico-científicos consistentes para estes processos. Neste contexto, se apresenta o desenvolvimento e aplicação dos aços temperados e revenidos com limite de resistência mínimo de 690 MPa, onde, em paralelo, também foram desenvolvidos consumíveis para soldagem destacando-se os eletrodos revestidos da classe AWS 11018M e os arames tubulares da classe AWS E 110C-G. Estes consumíveis se caracterizam pelo baixo teor de carbono pelas quantidades significativas de Ni e Mn.

A demanda da utilização de tais processos em equipamentos de amarração de plataformas, dentro dos requisitos técnicos de resistência e tenacidade, aliada a produtividade, questiona

(Recebido em 11/05/2008; Texto Final em 31/03/2009).

o estabelecimento do processo que pode oferecer a melhor combinação, exigindo uma análise dos benefícios e limitações trazidas pelas peculiaridades de cada um. Em se tratando do aspecto da produtividade dos processos em questão, os fundamentos que justificam a maior produtividade da soldagem realizada com arame tubular em relação ao eletrodo revestido, estão associados a uma melhor eficiência e taxa de deposição, somadas a um alto ciclo de trabalho, onde tais características estão sendo melhoradas, através de novas formulações dos tipos de fluxos para arames tubulares. Myres [1] destaca o desenvolvimento de arames com núcleo metálico designados como “metal cored”, como um grande avanço tecnológico para o processo de soldagem, onde os mesmos apresentam uma eficiência de deposição na faixa de 92 – 98%, ao passo que a faixa dos eletrodos revestidos é de 68 – 72%. Entretanto, a vantagem do processo com arame tubular sobre o eletrodo revestido, sob o ponto de vista produtivo, requer o complemento com ponderações que envolvem as propriedades mecânicas dos metais de solda produzidos por estes processos. Neste contexto, a tenacidade aparece com grande importância nas soldagens aplicadas em equipamentos de amarração de plataformas para extração de petróleo em alto mar, pois uma baixa tenacidade sinaliza o caminho para ocorrência de uma fratura frágil com baixos níveis de tensão.

Estudos anteriores [2-5] têm demonstrado que, os metais de solda de alta resistência exibem uma tendência para redução da tenacidade ao impacto após TTAT, em particular, no caso de soldas de reparo. Isto impõe limitações em suas aplicações, sendo objeto de análises mais detalhadas. A utilização deste tratamento se pronuncia de forma mais intensa para juntas soldadas em componentes de equipamentos que irão sofrer uma sollicitação mais severa, requerendo como desempenho final da junta, uma boa tenacidade aliada à alta resistência. Sobre este aspecto é importante considerar que o efeito do ciclo térmico

de reaquecimento, abaixo da zona crítica de transformação A_1 , ocasiona transformações na microestrutura do metal de solda, tais como a precipitação de carbeto metaestáveis ou a decomposição da austenita retida em ferrita e carbeto [6-8]. Estas mudanças microestruturais, causadas pelo TTAT, afetam a tenacidade do metal de solda, onde os aspectos e a cinética das transformações é que vão determinar se as conseqüências serão benéficas ou prejudiciais à tenacidade do metal de solda. O presente trabalho tem por objetivo um estudo comparativo dos processos eletrodo revestido e arame tubular em termos de produtividade e propriedades mecânicas dos metais de solda de aço de alta resistência obtidos nas condições de como soldado e após TTAT.

2. Materiais e Métodos

2.1. Materiais

2.1.1. Material de Base

Tendo-se como objetivo a avaliação do metal de solda, as juntas soldadas foram efetuadas utilizando-se como material de base chapas de aço de classificação ASTM A-36 nas dimensões de 650mm X 300 mm X 19 mm.

2.1.2. Material de Adição

Como material de adição foram utilizados os consumíveis: Arame tubular do tipo AWS E 110C-G com 1,2 mm de diâmetro (Metal Cored) e o eletrodo revestido do tipo AWS E 11018M com 4,0 mm de diâmetro. A Tabela 1 apresenta a composição química dos metais depositados pelos consumíveis conforme previsto pelos fabricantes.

Tabela 1. Composição química para metais depositados conforme dados do fabricante (% em peso).

Consumível	C	Si	P	S	Mn	Mo	Ni	Cr	V
E 11018M	0,052	0,406	0,016	0,009	1,75	0,38	2,27	0,104	0,029
E110C-G	0,012	0,310	0,018	0,009	1,32	0,57	1,98	---	---

Tabela 2. Parâmetros de Soldagem Utilizados.

Consumível	Φ (mm)	Corrente (A)	Tensão (V)	AT (kJ/mm)	Tempo de Arco (s)	Nº Passes
Eletrodo Revestido	4,0	180-193	25-30	1,48	4087	32
Arame Tubular	1,2	257-260	26-28	1,10	2089	20

Φ - diâmetro do eletrodo; AT – aporte térmico.

Tabela 3. Composição química dos metais de solda (% em peso).

Consumível	C	Si	P	S	Mn	Mo	Ni	Cr	Cu	V
Eletrodo Revestido	0,033	0,446	0,015	0,012	1,71	0,32	1,74	0,36	--	0,014
Arame Tubular	0,020	0,450	0,016	0,011	1,37	0,54	2,66	0,037	0,032	---
E11018M AWS*	0,10	0,60	0,030	0,030	1,30-1,80	0,25-0,50	1,25-2,50	0,40	--	0,05
E110C-G**	--	--	--	--	--	0,20	0,50	0,30		

* Conforme a AWS A.5.5-96

** Valores mínimos conforme AWS A.5.28-96

2.2. Procedimento de Soldagem

As juntas foram preparadas a partir das chapas conforme item 2.1.1. A Figura 1 apresenta as dimensões e características da geometria da junta utilizada que visa eliminar o efeito da diluição no estudo das propriedades do metal de solda. Deve-se observar que a geometria de junta utilizada segue a alternativa apresentada pela norma AWS A.5.5-96 [9], para soldagem com eletrodos revestidos do tipo E 9018M, E 10018M, E 11018M e E 12018M, onde a mesma tem como objetivo garantir a não interferência da diluição, desde que os corpos-de-prova para análise sejam removidos da região determinada por esta norma [9].

A junta foi preaquecida à temperatura de 200 °C e posteriormente foi realizada a soldagem multipasse, na posição plana, com temperatura entre passes mantida em 300°C, conforme os procedimentos utilizados para a soldagem de um aço de alta resistência grau R3. Os parâmetros de soldagem empregados são apresentados na Tabela 2.

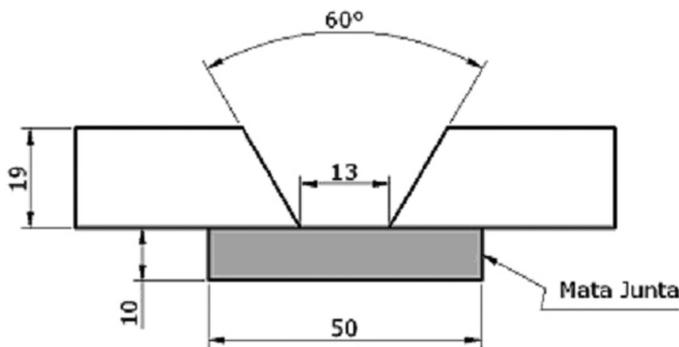


Figura 1. Detalhes da geometria da junta utilizada.

Os valores apresentados para o aporte térmico, na Tabela 2, devem ser considerados como referenciais, uma vez que não foram levadas em conta as eficiências térmicas dos processos utilizados. De acordo com a literatura [10, 11], a eficiência para os processos eletrodo revestido e arame tubular é igual a 0,9.

2.3. Tratamentos Térmicos

Após a soldagem, foram realizados tratamentos térmicos de alívio de tensões (TTAT) consistindo de aquecimento a 580°C por 2 horas, sendo esta condição comparada à condição da junta como soldada. Cumpre observar que o TTAT aplicado tem como referência o metal base e se faz obrigatório em condições de soldagem de reparo, não havendo especificação de tratamento térmico pós-soldagem para os consumíveis empregados.

2.4. Análise Química

Foi realizada análise química por espectrometria de emissão ótica, em corpos-de-prova extraídos das juntas soldadas pelos processos com eletrodo revestido e arame tubular, objetivando determinar os teores dos principais elementos presentes nos metais de solda.

2.5. Ensaios Mecânicos e Metalográficos

Foram removidos corpos-de-prova longitudinais e transversais ao cordão de solda, para ensaios de tração, impacto Charpy-V, dureza e metalográficos. Os ensaios de dureza foram executados, em corpos-de-prova retirados transversalmente ao cordão de solda. Foram realizados ensaios de impacto Charpy-V nas temperaturas de -60°C, -40°C, -20°C, 0°C e 23°C, em corpos-de-prova normalizados (10 x 10 x 55 mm) e retirados transversalmente ao cordão de solda, a 2 mm da superfície da junta. O entalhe foi posicionado no plano da espessura e no centro da junta soldada. Realizou-se a análise metalográfica dos metais de solda, consistindo de macrografia, microscopia ótica e microscopia eletrônica de varredura. A preparação das amostras consistiu da técnica convencional de lixamento e polimento, seguido de ataque químico com reagente nital 2%. Foram avaliadas as microestruturas, tanto nas regiões colunares, quanto nas reaquecidas dos metais de solda, nas condições de como soldado (CS) e após tratamento térmico (TTAT), onde as regiões analisadas corresponderam à área do entalhe Charpy-V.

3. Resultados e Discussão

3.1 Análise Química

A Tabela 3 apresenta a composição química dos metais de solda obtidos e as correspondentes especificações conforme a as normas AWS.

3.2 Análise Metalográfica

A Figura 2 apresenta o aspecto macrográfico das juntas soldadas. Pode-se observar o menor número de passes utilizado para o preenchimento da junta com o processo arame tubular em função de sua maior produtividade.

As Figuras 3 e 4 apresentam o aspecto microestrutural

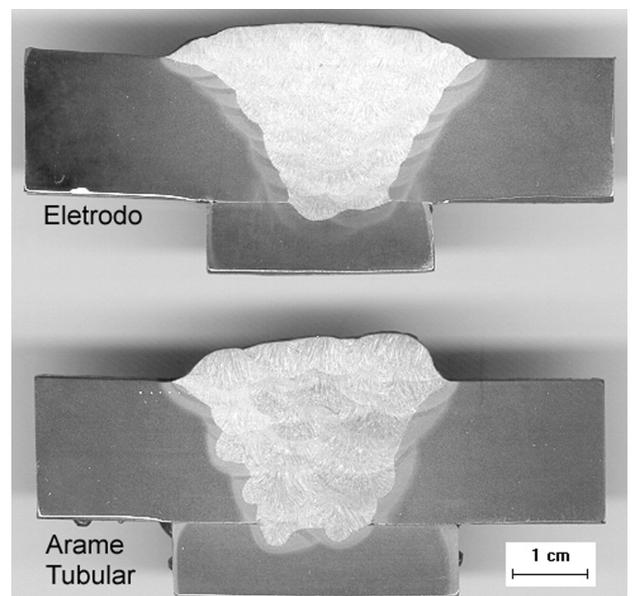


Figura 2. Aspecto macrográfico das juntas soldadas.

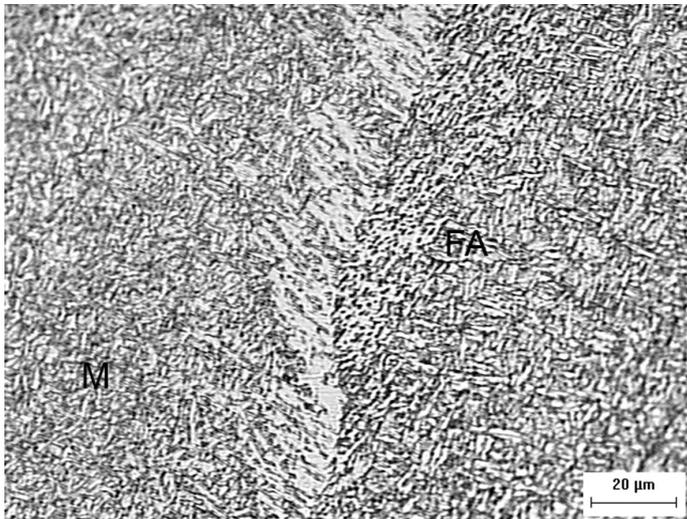
observado por microscopia ótica nas condições de CS e TTAT para as regiões colunar e reauecida. Devido a limitação de resolução da microscopia ótica a indicação da presença de martensita nas figuras 3 e 4 foi confirmada na análise posterior por microscopia eletrônica de varredura. A mesma seqüência é aplicada nas Figuras 5, 6 e 7 para microscopia eletrônica de varredura. Na condição de CS, observa-se que, para o eletrodo revestido, a região colunar é composta por uma mistura de ferrita acicular (FA), ferrita com segunda fase alinhada (FSA) e martensita (M). Para o metal de solda produzido pelo processo arame tubular, observa-se uma região colunar com predominância de martensita e ferrita com segunda fase não alinhada (FSNA). Para as regiões reauecidas, observa-se a decomposição parcial das microestruturas da região colunar. No caso do eletrodo revestido verifica-se um aumento das áreas ferríticas com coalescimento dos carbonetos e ocorrência de microconstituintes AM. No caso do arame tubular, a região reauecida apresenta

uma predominância de FSA. Para a condição de TTAT observa-se o revenimento da estrutura martensítica e o coalescimento dos carbonetos da FSA.

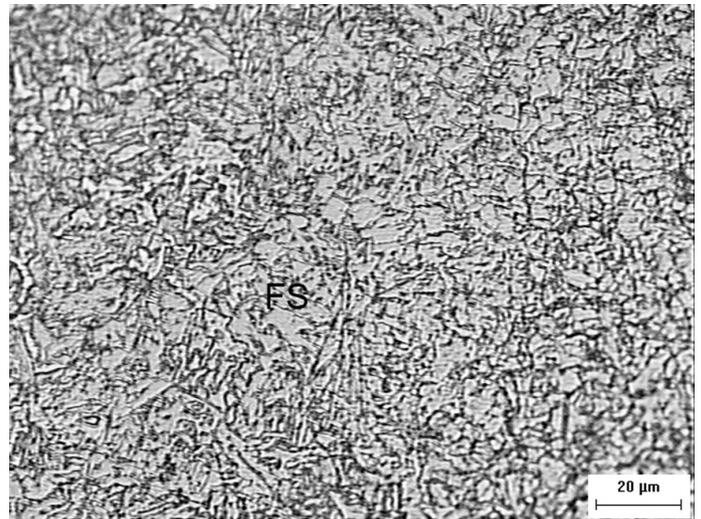
A Tabela 4 apresenta o resultado da análise quantitativa dos percentuais de região colunar e reauecida. Os percentuais foram obtidos considerando-se a média da contagem de três segmentos de 10 mm localizados na região do entalhe dos corpos-de-prova para ensaio de impacto Charpy-V.

Tabela 4. Percentuais de região colunar e reauecida nos metais de solda.

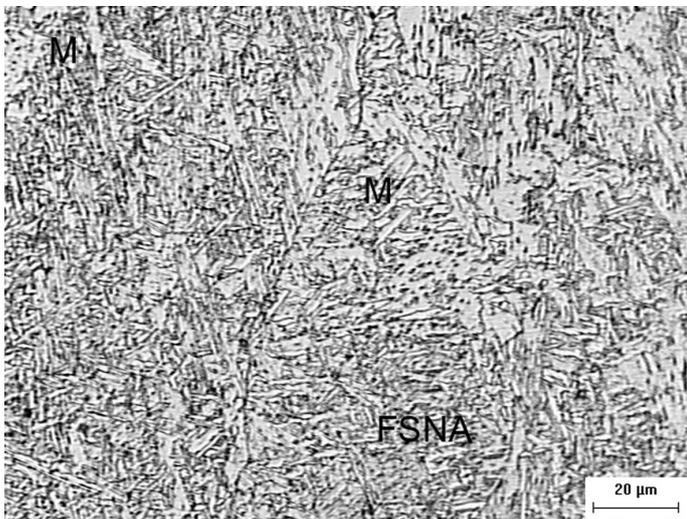
Consumível	Região Colunar (%)	Região Reauecida (%)
Eletrodo Revestido	30	70
Arame Tubular	50	50



3.1 - Elettrodo Revestido Região Colunar



3.2 - Elettrodo Revestido Região Reauecida

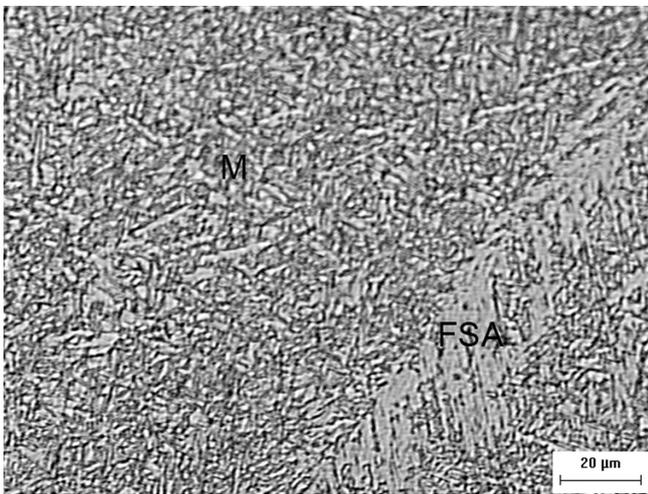


3.3 - Arame Tubular Região Colunar



3.4 - Arame Tubular Região Reauecida

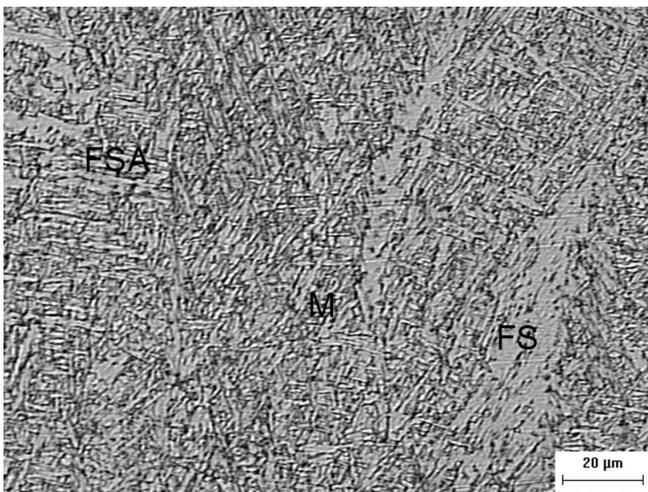
Figura 3. Aspecto microestrutural da condição de como soldado observado por microscopia ótica. Aumento 500X. Ataque: Nital 2%.



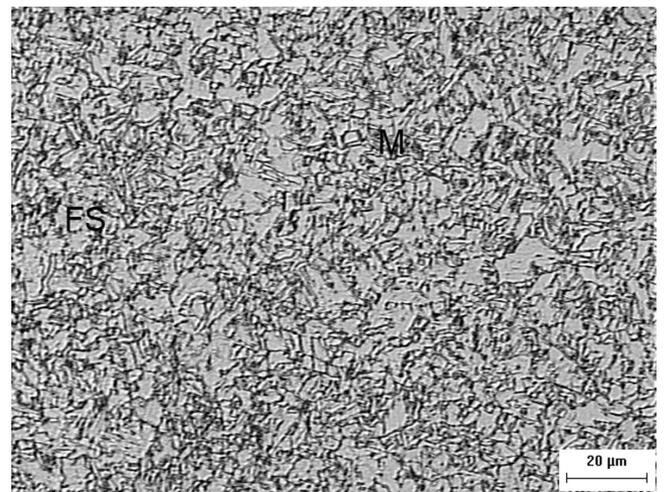
4.1 - Eletrodo Revestido Região Colunar



4.2 - Eletrodo Revestido Região Reaquecida

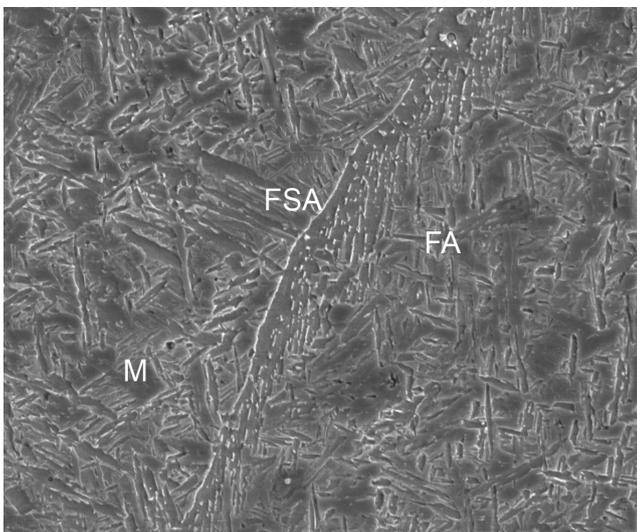


4.3 - Arame Tubular Região Colunar

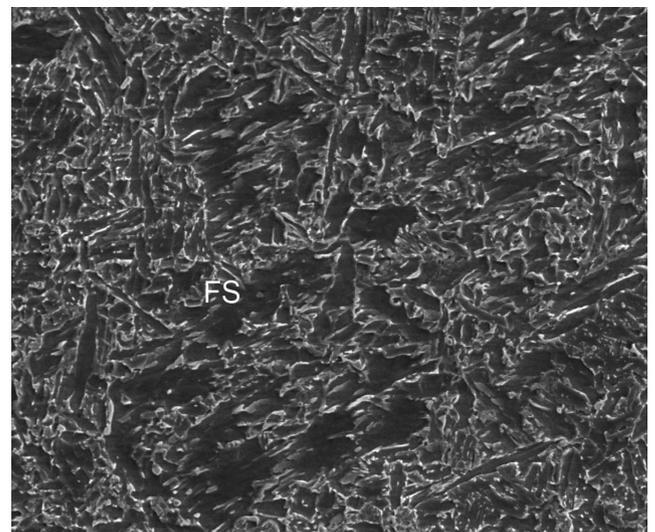


4.4 - Arame Tubular Região Reaquecida

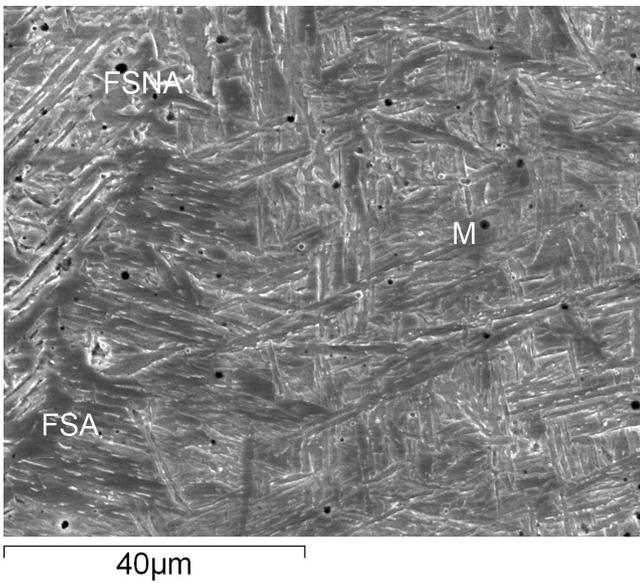
Figura 4. Aspecto microestrutural da condição de TTAT por microscopia ótica. Aumento 500X. Ataque: Nital 2%.



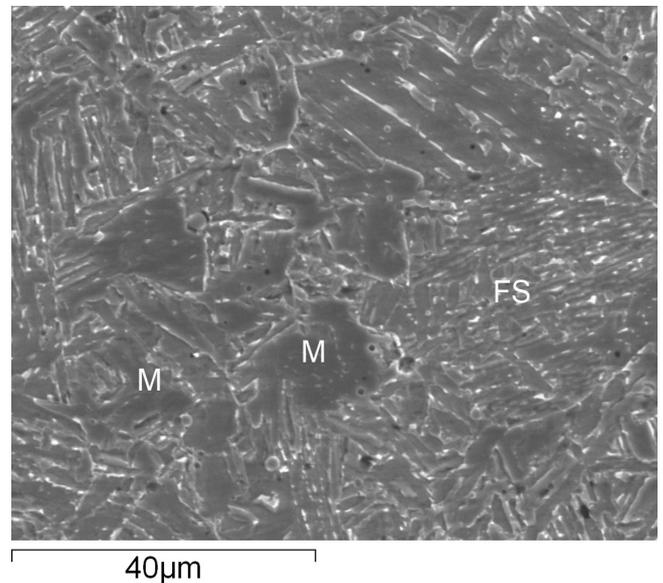
5.1 - Eletrodo Revestido Região Colunar



5.2 - Eletrodo Revestido Região Reaquecida



5.3 - Arame Tubular Região Colunar



5.4 - Arame Tubular Região Reaquecida

Figura 5. Aspecto microestrutural da condição de como soldado observado por microscopia eletrônica de varredura. Aumento: 1000X. Ataque: Nital 2%.

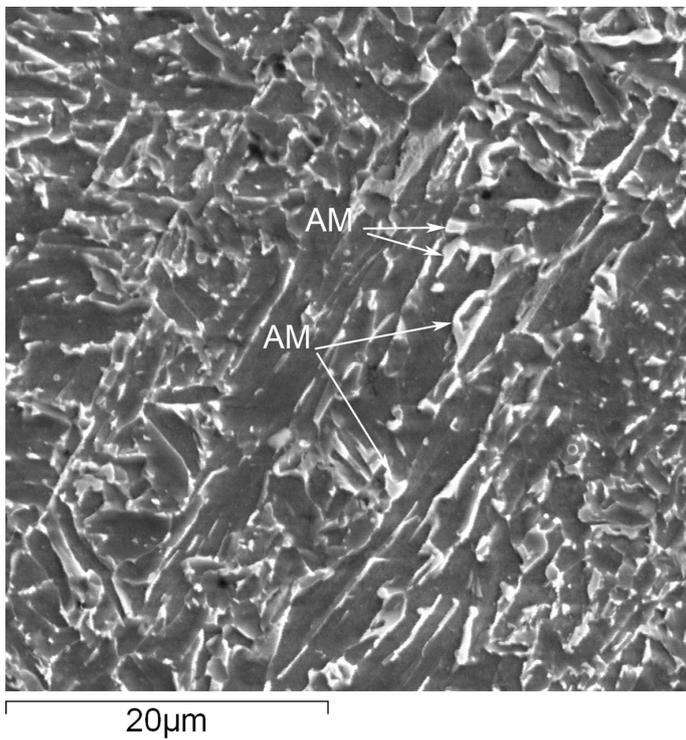
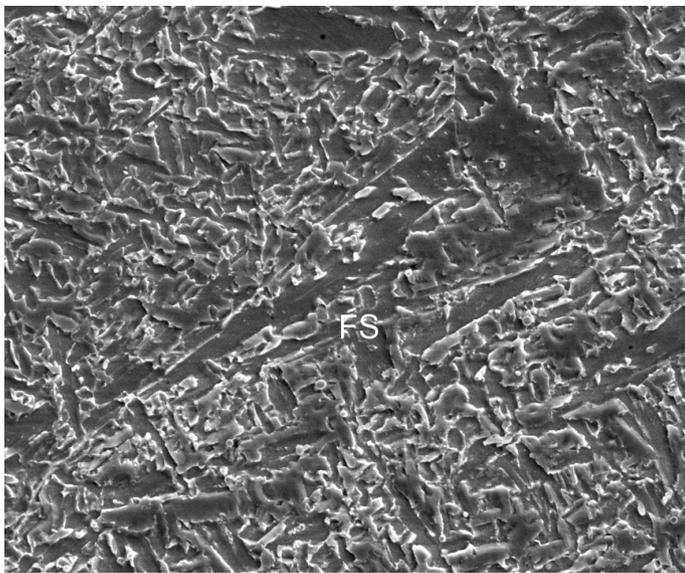
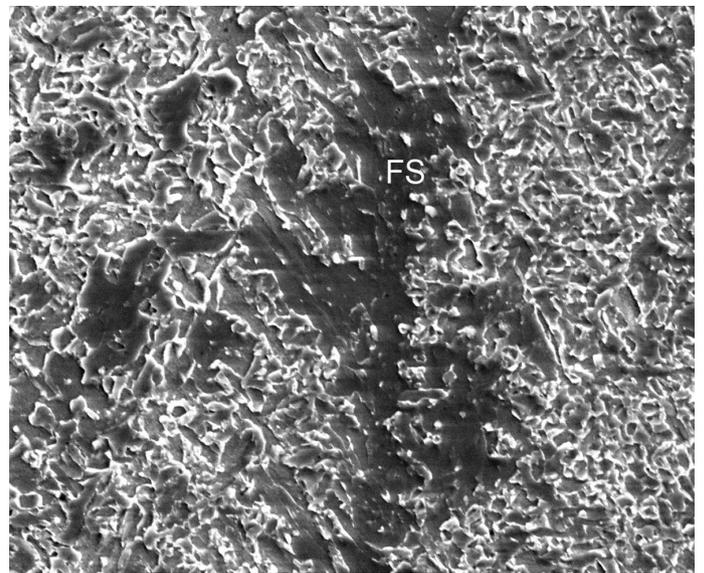


Figura 6. Ocorrência de microconstituintes AM na região reaquecida do metal de solda do eletrodo revestido na condição CS observado por microscopia eletrônica de varredura. Aumento: 2000X. Ataque: Nital 2%



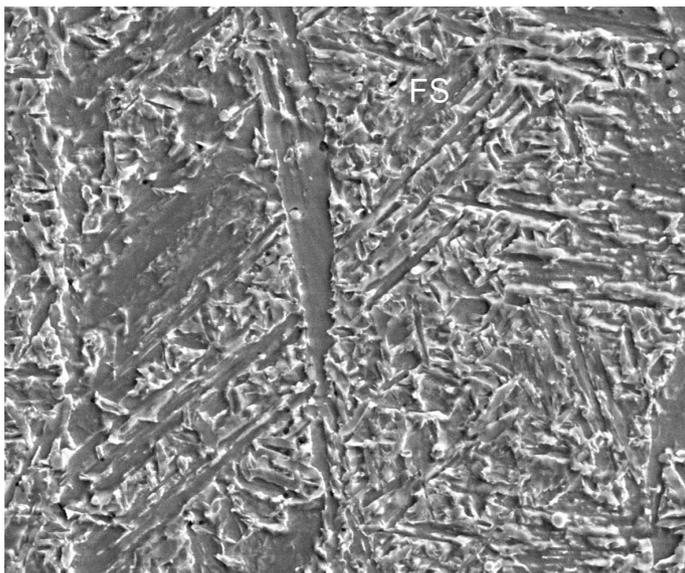
40µm

7.1 - Eletrodo Revestido Região Colunar



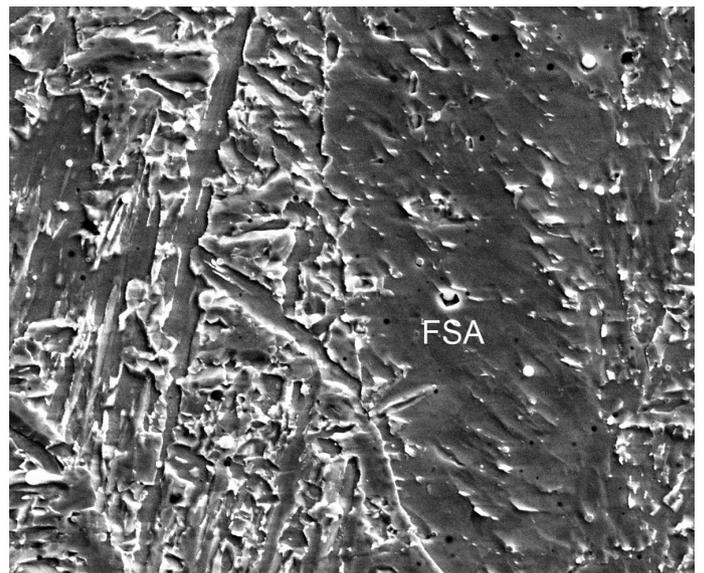
40µm

7.2 - Eletrodo Revestido Região Reaquecida



40µm

7.3 - Arame Tubular Região Colunar



40µm

7.4 - Arame Tubular Região Reaquecida

Figura 7. Aspecto microestrutural da condição de TTAT observado por microscopia eletrônica de varredura. Aumento: 1000X. Ataque: Nital 2%.

3.3 Ensaios Mecânicos

3.3.1 Ensaio de Dureza

As Figuras 8 e 9 apresentam os perfis de dureza obtidos para as juntas soldadas nas condições CS e TTAT medidos a partir da superfície da chapa no plano da espessura. Na Figura 8, para o processo eletrodo revestido, pode-se verificar que não há variação significativa entre os valores de dureza ao longo da junta entre as condições CS e TTAT, havendo contudo uma tendência para

menores valores de dureza na raiz da junta soldada, o que pode ser atribuído ao ciclo de reaquecimento da soldagem multipasse. Na Figura 9, para o processo arame tubular, observa-se uma variação ligeiramente maior entre as condições CS e TTAT, porém com menor diferença entre as regiões de topo e raiz. Adicionalmente, verifica-se que, em média, o metal de solda do eletrodo revestido apresenta valores ligeiramente superiores aos obtidos para o arame tubular, sendo superior a 250 HV_{10} para o caso da condição de como soldado.

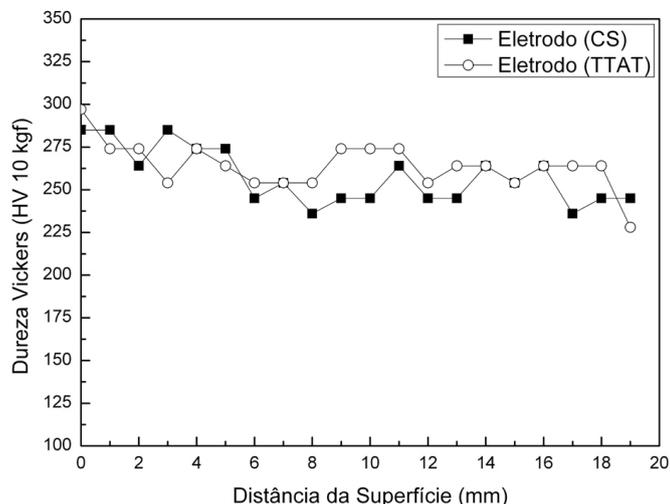


Figura 8. Perfil de dureza para a soldagem com eletrodo revestido.

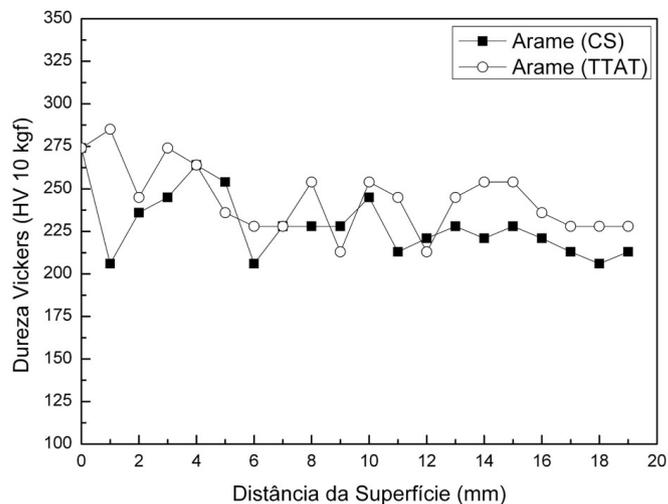


Figura 9. Perfil de dureza para a soldagem com arame tubular.

Tabela 5. Resultados dos ensaios de tração e requisitos dos metais de solda e metal base.

Material	Condição	LE(MPa)	LR(MPa)	Al(%)	RA(%)
Eletrodo Revestido	Como Soldado	670	733	24	71
Eletrodo Revestido	TTPS	650	743	23	68
Arame Tubular	Como Soldado	717	775	12	31
Arame Tubular	TTPS	668	759	22	58
Aço Grau R3 mín. [9]		410	690	17	50
E11018M ASW*	Como Soldado	680-760	760	20	--
E110C-G **	NE	NE	690	NE	--

* Conforme a AWS A.5.5-96

** NE = não especificado, conforme AWS A.5.28-96

Tabela 6. Resultados dos ensaios de Impacto Charpy-V, em Joules.

Material	Condição	T (°C)	1º Ensaio	2º Ensaio	3º Ensaio	Média
Eletrodo Revestido	Como Soldado	23	141,5	137,5	161,5	146,8
		0	138,5	148,5	142,0	143,0
		-20	115,0	130,0	116,5	120,5
		-40	87,5	89,5	57,0	78,0
		-60	27,5	33,5	42,0	37,7
	TTAT	23	161,5	155,5	136,5	151,2
		0	120,0	133,5	133,5	129,0
		-20	108,5	107,0	109,0	108,2
		-40	85,5	56,5	88,5	76,8
		-60	32,0	18,5	38,5	29,7
Arame Tubular	Como Soldado	23	70,5	66,5	71,5	69,5
		0	67,0	60,5	63,5	63,7
		-20	61,0	57,5	50,0	56,2
		-40	27,0	41,5	41,5	36,7
		-60	29,5	28,0	20,5	26,0
	TTAT	23	66,5	63,5	65,5	65,2
		0	49,5	58,0	55,0	54,2
		-20	45,5	47,5	49,5	47,5
		-40	19,0	19,5	31,5	23,3
		-60	10,0	20,0	18,0	16,0
Mínimo Exigido (R3)	Metal Base	0	----	----	----	50

3.3.2. Ensaio de Tração

A Tabela 5 apresenta o resultado do ensaio de tração para os metais de solda obtidos e as propriedades esperadas conforme especificação das normas AWS. O critério de aceitação aqui utilizado é referente aos aços de grau R3 [12] para acessórios de ancoragem. Verifica-se que o metal de solda obtido pelo processo arame tubular não atende ao requisito R3 de alongamento para a condição de como soldado.

3.3.3. Ensaio de Impacto Charpy-V

A Tabela 6 e a Figura 10, apresentam o resultado dos ensaios de impacto Charpy-V para os metais de solda nas condições CS e TTAT. Verifica-se que o eletrodo revestido apresenta tenacidade superior ao arame tubular. Considerando-se o requisito mínimo de 50 joules a 0°C para um metal de solda R3 [12], observa-se que o arame tubular apresenta resultados próximos ao limite de aceitação. Ambos os consumíveis revelam discreta redução da energia absorvida para a condição de TTAT.

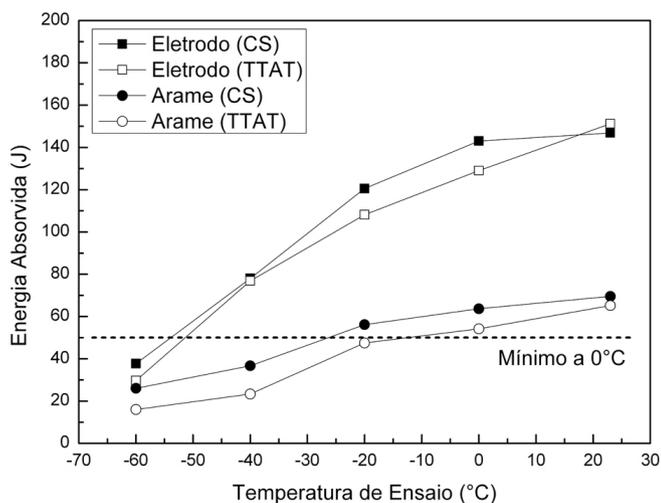


Figura 10. Energia absorvida no ensaio de impacto Charpy-V.

Considerando-se as microestruturas resultantes para os metais de solda obtidos, verifica-se um maior percentual de martensita no arame tubular em contrapartida à existência de ferrita acicular e martensita no eletrodo revestido. Após TTAT, verifica-se uma decomposição parcial dos constituintes AM para o eletrodo. Ambos os metais de solda apresentam microestruturas resultantes de uma composição química que objetiva resistência mecânica elevada, o que resulta em metais de solda de maior temperabilidade. Contudo, o baixo teor de carbono associado ao balanço dos elementos de liga, em particular o Ni e o Mn tende a produzir metais de solda com níveis de dureza inferiores a 300 HV [13-15]. Pode-se observar ainda, que o metal de solda produzido pelo arame tubular, com maior proporção de estrutura martensítica, apresenta dureza inferior ao metal de solda produzido pelo eletrodo revestido. Mesmo com um nível de dureza menor, o metal de solda do arame tubular se mostra inferior em tenacidade. Esta característica pode ser justificada

pela análise dos percentuais de região colunar e reaquescida existentes no metal de solda. Na Tabela 4, pode-se observar que o metal de solda do arame tubular apresenta a maior percentagem de região colunar (50%) em relação ao metal de solda do eletrodo revestido (30%). Esta diferença também se reflete no perfil de dureza apresentado na Figura 8, o qual mostra maiores variações referentes às diferenças entre as regiões colunar e reaquescida. O maior percentual de grãos colunares para o arame tubular é inerente ao processo, uma vez que a maior taxa de deposição faz com que a junta seja preenchida com menor número de passes. Desse modo, pode-se sugerir que melhores resultados de tenacidade ao impacto, para o metal de solda produzido pelo arame tubular utilizado neste trabalho, possam ser obtidos pelo aumento do número passes, objetivando um maior percentual de região reaquescida ao longo da junta. Contudo, esta ação leva a diminuição da vantagem em termos da produtividade que o processo arame tubular apresenta, o qual no presente caso, foi cerca de duas vezes maior em relação ao processo com eletrodo revestido como mostrado na Tabela 2, considerando o tempo de arco aberto. Desta forma, a seleção do processo mais adequado deve considerar uma solução de compromisso entre a produtividade e as propriedades mecânicas desejadas.

4. Conclusão

Diante do exposto pode-se concluir:

- Os metais de solda de aço de alta resistência produzidos pelos processos eletrodo revestido e arame tubular não apresentaram redução significativa de tenacidade com a aplicação do TTAT de 580°C por duas horas, obrigatório em aplicações de reparo do aço de Grau R3.
- O metal de solda obtido pelo processo arame tubular tende a apresentar menor tenacidade ao impacto quando comparado ao obtido com eletrodo revestido. Esta diferença pode ser atribuída a ocorrência de uma microestrutura mais grosseira, maior percentual de região colunar no metal de solda do arame tubular resultante do menor número de passes.
- O metal de solda do eletrodo revestido atende aos valores mínimos do requisito para um aço grau R3 tanto na condição de como soldado como de TTAT, caracterizando assim uma maior confiabilidade, o que tende a contribuir como fator decisivo na opção deste processo para aplicação específica, visto a necessidade de se avaliar o desempenho em solicitações de fadiga.

5. Agradecimentos

Os autores agradecem às Instituições pelo apoio prestado na execução do presente trabalho: A Fluke Engenharia Ltda. pelo suporte experimental; a CAPES, CNPq e FINEP pelo apoio financeiro. Os autores agradecem também, ao Sr. Marcio Moura da Fluke Engenharia Ltda., pelo apoio na realização das soldagens e ensaios mecânicos.

6. Referências Bibliográficas

- [1] MYRES, D. Metal Cored Wires: Advantages e Disadvantages, *Welding Journal*, v. 81, n. 9, pp.39 – 42, Sept. 2002.
- [2] JORGE, J. C. F.; REBELO, J. M. A. Influência do Tratamento Térmico Pós-Soldagem nas Propriedades Mecânicas de Cordões de Solda de Alta Resistência. In: *Anais do XVI Encontro Nacional de Tecnologia da Soldagem*, pp. 87 – 99, Caxambú, MG, Dez. 1990.
- [3] SALVADOR, L. S.; JORGE, J. C. F.; BOTT, I. S. Efeito da Composição Química e Tratamento Térmico de Alívio de Tensões nas Propriedades de Metais de Solda de Alta resistência para Aplicação em Estruturas Offshore, In: *Anais do XXI Encontro Nacional de Tecnologia da Soldagem*, pp. 337 – 351, Caxias do Sul, RS, Jun. 1995.
- [4] JORGE, C. F. J. et al. O Estado da Arte no Estudo da Fragilização ao Revenido de Juntas Soldadas de Aço 2,25%Cr-1,%Mo. *Tecnologia & Cultura – CEFET/RJ*, v. 4, n. 4, pp. 68-97, Jan. 2001.
- [5] SUMAN, J. A. et al. Efeito de Tratamentos Térmicos Pós-Soldagem nas Propriedades de Aço Fundido de Elevada Resistência para Sistemas de ancoragem de Plataformas Marítimas, *Soldagem & Inspeção*, v. 9, n. 4, pp. 205 – 212, Dez. 2004.
- [6] IKAWA, H. et al. Effect of Martensite – Austenite Constituent on HAZ Toughness of a High Strength Steel, *IIW DOC.IX – 1156-80*.
- [7] FERRANTE, M.; FARRAR, R. A. The Role of Oxygen – Rich Inclusions in Determining the Microstructure of Weld deposits, *Journal of Materials Science*, v. 17, n. 11, pp. 3293 – 3298, Nov. 1982.
- [8] EVANS, G. M.; Factors Affecting the Microstructure and Properties of C – Mn all Weld Metals Deposits, *Welding Research Abroad*, v. 28, n. 1, pp.1 – 69, 1983.
- [9] AMERICAN WELDING SOCIETY. AWS A.5.5-96: Specification for Low-alloy Steel Electrodes for Shielded Metal Arc Welding. 1996. p.110.
- [10] AMERICAN SOCIETY FOR METALS. *Metal Handbook: Welding, Brazing and Soldering*. V.6. 9. ed. 1983.
- [11] KOU, S. *Welding Metallurgy*. 2. ed., New Jersey: Wiley-Interscience Publication, 2002
- [12] AMERICAN BUREAU OF SHIPPING. *Certification of Offshore Mooring Chain*. New York, 1999.
- [13] TAYLOR, D. S.; EVANS, G. M.. Development of MMA Electrodes for Offshore Fabrication. *Metal Construction*, v. 15, n. 8, pp. 438 – 443, Aug. 1983.
- [14] ZHANG, Z.; FARRAR, R. A.; Influence of Mn and Ni on the Microstructure and Toughness of C-Mn-Ni Weld Metals. *Welding Journal*, v. 76, n. 5, pp. 183 – 196s, May. 1997.
- [15] KEEHAN, E. et al.; New Developments with C-Mn-Ni High-Strength Steel Weld Metals, Part A – Microstructure, *Welding Journal*, v. 85, n. 9, pp. 200 – 210s, Sept. 2006.