

ESTUDO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS E MICROESTRUTURAIS DE SOLDAS OBTIDAS POR ARCO SUBMERSO COM ALTA PRODUTIVIDADE¹

*Erick de Souza Marouço²
Jorge Luiz Coutinho Diniz³
Jorge Carlos F. Jorge⁴
Luís Felipe G. de Souza⁴
Olavo Ribeiro dos Santos Filho³*

Resumo

O presente trabalho faz parte de um programa de pesquisas que tem por objetivo a avaliação da viabilidade técnica do aumento de produtividade na fabricação de componentes tubulares utilizados no segmento *offshore*, soldados integralmente pelo processo a arco submerso automatizado com elevado aporte térmico, sem prejuízo da tenacidade ao impacto do metal de solda. Foram soldadas juntas multipasse, pelo processo a arco submerso com combinação de arame+fluxo do tipo F7A4-EM12K com arame de 3,2 mm de diâmetro, com preaquecimento de 80°C, corrente contínua, posição plana e aporte térmico variando de 3,5 kJ/mm até 12 kJ/mm. Após a soldagem, realizaram-se ensaios de tração, impacto Charpy-V às temperaturas de -60°C, -40°C, -20°C, 0°C e 20°C e metalográficos por microscopia ótica (MO) em corpos-de-prova retirados integralmente do metal depositado, o que propiciou a discussão da relação tenacidade/microestrutura. Os resultados obtidos, demonstraram ser superiores aos mínimos requeridos para a utilização na soldagem de aços C-Mn baixa liga com requisitos de impacto de 27 Joules à -20°C, para aportes térmicos até 12 kJ/mm, o que permitiu um aumento de produtividade de 58% nos tempos efetivos de fabricação.

Palavras-chave: Metal de solda; Tenacidade; Arco submerso; Produtividade.

STUDY OF MECHANICAL AND MICROSTRUCTURAL PROPERTIES OF WELDS OBTAINED BY SUBMERGED ARC WITH HIGH PRODUCTIVITY

Abstract

This work is part of a research program that aims to assess the technical viability of increasing productivity in the manufacturing of tubular components used in the offshore area, welded fully by automatic submerged arc welding process with high heat input, notwithstanding the impact toughness of the weld metal. Multipasse welds were welded, by the submerged arc welding process using a combination of wire+flux F7A4-EM12K with wire 3.2 mm of diameter, with preheating to 80°C, direct current, flat position and heat input between 3.5 kJ/mm to 12 kJ/mm. After welding, were performed tensile test, Charpy-V impact tests at temperatures of -60°C, -40°C, -20°C, 0°C and 20°C and metallographic with optical microscopy (OM) in specimens removed entirely from the deposited metal, this led to discuss the relationship of toughness / microstructure. The results obtained proved to be higher than the minimum required for use in welding steel C-Mn low alloy with requirements impact of 27 Joules at -20°C for heat input up to 12 kJ/mm, allowing an increase in productivity of 58% effective in manufacturing time.

Key words: Weld metal; Toughness; Submerged arc; Productivity.

¹ *Contribuição técnica ao 67º Congresso ABM - Internacional, 31 de julho a 3 de agosto de 2012, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.*

² *Eng. Mecânico, CEFET-RJ, PEMM, Rio de Janeiro, RJ.*

³ *Eng. Mecânico, M.Sc. Fluke Engenharia Ltda., Rio de Janeiro, RJ.*

⁴ *Eng. Metalúrgico, D.Sc., CEFET-RJ, PPEMM, Rio de Janeiro, RJ.*

1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho faz parte de um amplo projeto de pesquisa no qual se estuda o comportamento de diversos equipamentos utilizados na ancoragem de navios, plataformas de petróleo e outros sistemas de operação flutuantes, no que concerne ao comportamento em fadiga. A necessidade do desenvolvimento tecnológico para processos de fabricação e de recuperação por soldagem em componentes naval e *offshore*, notadamente, aqueles 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.

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 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 pelo processo ao arco submerso em relação a outros processos, 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 arames e fluxos, assim como da possibilidade da realização de soldagens completamente mecanizadas, evitando-se as limitações hoje impostas pelo problema sério de mão-de-obra especializada disponível no mercado *offshore* nacional.

Entretanto, a vantagem do processo ao arco submerso, sob o ponto de vista produtivo, requer o complemento com ponderações que envolvem as propriedades mecânicas dos metais de solda produzidos por este processo. 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⁽¹⁻⁶⁾ têm demonstrado que metais de solda produzidos em soldagens com elevados aportes térmicos, exibem uma tendência para redução da tenacidade ao impacto. Isto impõe limitações em suas aplicações, devendo ser objeto de análises mais detalhadas. O presente trabalho tem por objetivo a análise comparativa dos resultados obtidos em metais de solda produzidos por arco submerso com elevado aporte térmico, visando o aumento de produtividade de tubulações para aplicação em equipamentos utilizados em acessórios de sistemas de ancoragem de plataformas de petróleo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Materiais

2.1.1 Material de base

As juntas soldadas foram efetuadas utilizando-se como material de base chapas de aço de classificação ASTM A-36 nas dimensões de 500 mm X 300 mm X 38 mm.

2.1.2 Material de adição

Como material de adição foi utilizado uma combinação arame+fluxo do tipo F7A4-EM12K com arame sólido de 3,2 mm de diâmetro. A Tabela 1 apresenta a composição química do metal depositado, após análise química realizada no cordão produzido pela soldagem com 12 kJ/mm.

Tabela 1. Composição química do metal depositado com aporte térmico de 12 kJ/mm

Elemento	C	Si	P	S	Mn	Ni	Cr	V
% Peso	0,085	0,37	0,18	0,01	1,57	0,01	0,03	<0,01

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.

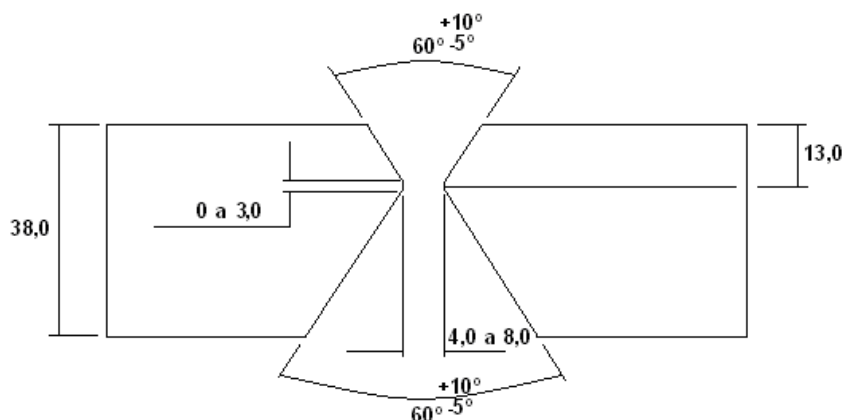


Figura 1. Detalhes da geometria da junta utilizada.

A junta foi preaquecida à temperatura de 80°C e posteriormente foi realizada a soldagem, na posição plana. Os parâmetros de soldagem empregados são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Parâmetros de soldagem utilizados

Passe	Posição	Corrente (A)	Tensão (V)	AT (kJ/mm)
1	Interno	730-750	35	12,0
2	Externo	730-750	35	12,0
3	Externo	730-750	35	6,0
4	Externo	730-750	35	6,0

AT – aporte térmico

Para efeito de comparação de resultados, foram ainda soldadas as juntas a seguir:

- soldagem passe único com 12 kJ/mm de forma a obter um metal de solda constituído integralmente por região colunar para este aporte térmico;
- soldagem passe único com 6 kJ/mm de forma a obter um metal de solda constituído integralmente por região colunar para este aporte térmico; e
- soldagem multipasse com 3,5 kJ/mm de forma a realizar uma análise comparativa com o procedimento utilizado atualmente, onde os parâmetros são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Parâmetros da Soldagem Multipasse

Processo	Número de Passes	Corrente (A)	Tensão (V)	AT (kJ/mm)
Arame Tubular	1-3	292-308	32-36	2,6
Arco Submerso	4-26	492-499	37-40	3,5

2.3 Ensaios Mecânicos e Metalográficos

Foram removidos corpos-de-prova longitudinais e transversais ao cordão de solda, para ensaios de tração, impacto Charpy-V e metalográficos. Os ensaios de tração e dureza foram executados à temperatura ambiente, em corpos-de-prova retirados longitudinalmente ao cordão de solda. Foram realizados ensaios de impacto Charpy-V às temperaturas de -60°C, -40°C, -20°C, 0°C e 20°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 do metal de solda.

Realizou-se a análise metalográfica dos metais de solda, consistindo de macrografia e microscopia ótica. 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, onde as regiões analisadas corresponderam à área do entalhe Charpy-V. Realizou-se ainda análise quantitativa do percentual de região colunar e reaquecida na ponta do entalhe Charpy-V.

3 RESULTADOS

3.1 Análise Metalográfica

A Figura 2 apresenta o aspecto macrográfico da junta soldada, onde está identificada a sequência de passes listada na Tabela 2.

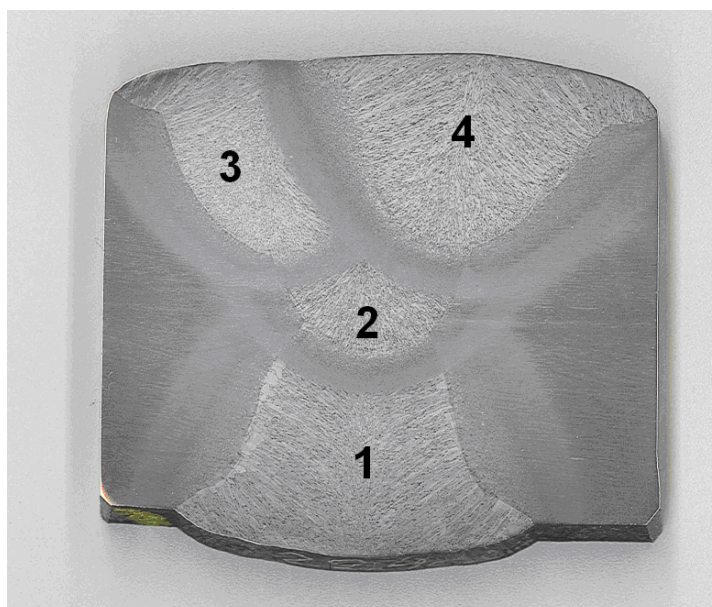


Figura 2. Aspecto macrográfico da junta soldada.

A quantificação deste efeito de reaquecimento é mostrada na Tabela 4.

Tabela 4. Quantificação do Percentual de Reaquecimento

Posição	% Região Colunar	% Região Reaquecida
Interno (1)	70	30
Externo (4)	60	40

A Figura 3 apresenta o aspecto macrográfico da junta soldada com aporte térmico de 3,5 kJ/mm, onde se nota o efeito do reaquecimento da soldagem multipasses.



Figura 3. Aspecto macrográfico da junta soldada com aporte térmico de 3,5 kJ/mm.

A quantificação deste efeito de reaquecimento é mostrada na Tabela 5.

Tabela 5. Quantificação do Percentual de Reaquecimento da Junta

Posição	% Região Colunar	% Região Reaquecida
Multipasse	42	58

As Figuras 4 e 5 apresentam o aspecto microestrutural dos metais de solda para as regiões colunar e reaquecida da junta soldada da Figura 2. A Figura 6 apresenta o aspecto microestrutural da junta soldada mostrada na Figura 3.

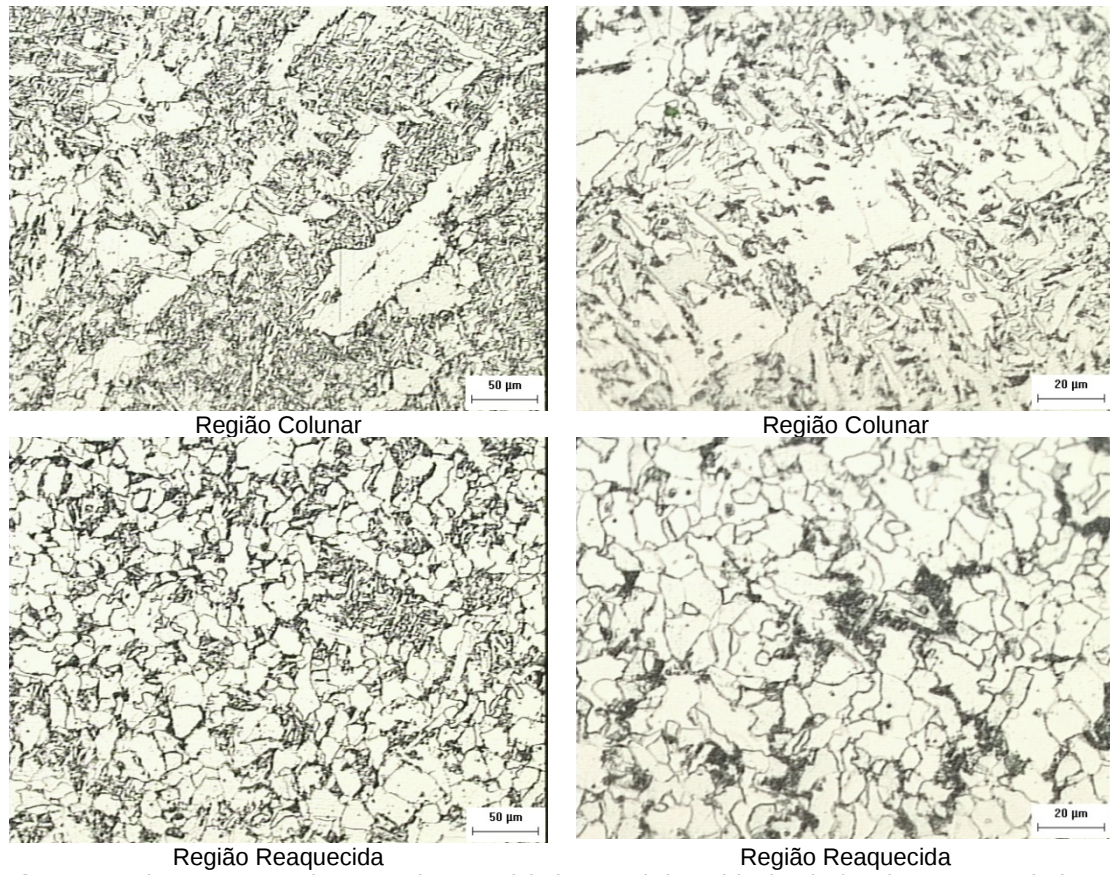


Figura 4. Microestrutura do passe interno (1) do metal de solda (12 kJ/mm). Ataque: Nital 2%.

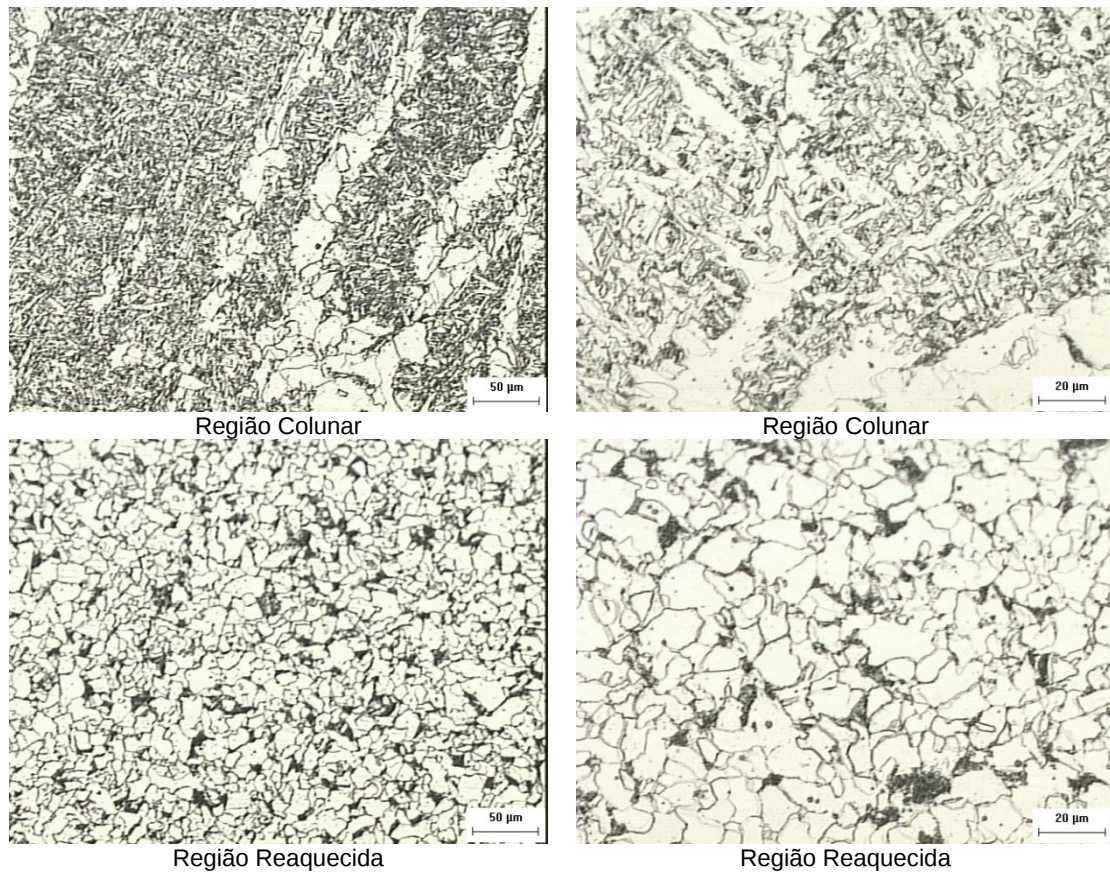


Figura 5. Microestrutura do passe externo (4) do metal de solda (6 kJ/mm). Ataque: Nital 2%.

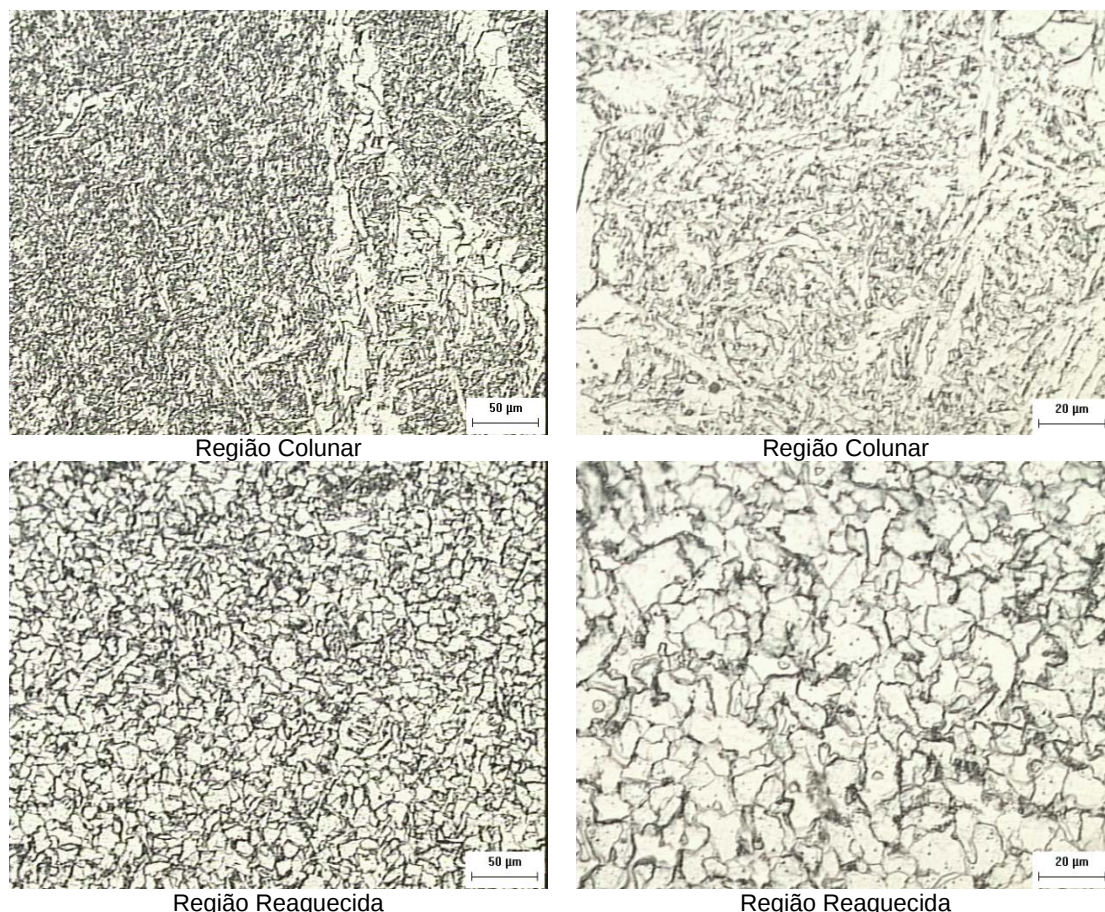


Figura 6. Microestrutura do metal de solda da junta soldada com 3,5 kJ/mm. Ataque: Nital 2%.

3.2 Ensaios Mecânicos

3.2.1 Ensaio de tração

A Tabela 6 apresenta o resultado do ensaio de tração para os metais de solda obtidos, onde se nota que os valores obtidos para o aporte de 12 kJ/mm situam-se na faixa daqueles normalmente encontrados para a soldagem multipasses, enquanto para a soldagem com 6 kJ/mm, o valores obtidos encontraram-se em patamares superiores a estes.

Tabela 6. Resultados dos ensaios de tração

Posição	AT(kJ/mm)	Condição	LE(MPa)	LR(MPa)	Al(%)	RA(%)
Interno (1)	12	Como Soldado	437	564	28	70,82
Externo(4)	6	Como Soldado	505	631	22,44	66,97
Multipasse	3,5	Como Soldado	452	584	24,44	67,72

3.2.2 Ensaio de impacto Charpy-V

A Tabela 7 e Figuras 7 e 8 apresentam os resultados dos ensaios de impacto Charpy V realizados nos metais de solda, onde se notam as seguintes características:

- todas as condições de análise apresentaram energia absorvida muito superior ao requisito de 27 Joules à 0°C;
- o patamar de 27 Joules foi alcançado à temperatura de -20°C para o passe externo (6 kJ/mm) e para o passe interno (12 kJ/mm), onde para o primeiro caso o valor obtido foi 100% maior que o patamar e para o segundo caso foi

78% maior que o patamar, garantindo assim que o mínimo de 27 Joules fosse atingido com segurança para a temperatura relatada;

- a tenacidade ao impacto dos metais de solda provenientes de passe único, foram ligeiramente superiores aos da junta multipasses para os aportes térmicos de 6 kJ/mm e 12 kJ/mm à temperatura de 0°C;
- os maiores valores de energia absorvida foram obtidos para o metal de solda multipasses com 3,5 kJ/mm; e
- a realização do tratamento térmico pós-soldagem propiciou um aumento significativo da tenacidade ao impacto.

Tabela 7. Resultados dos ensaios de impacto Charpy V

Posição	Condição	% Região Colunar	Aporte Térmico (kJ/mm)	Energia Absorvida (Joules)	
				-20°C	0°C
Único	CS	100	12	33	75
Interno (*)	CS	70	12	48	72
Único	CS	100	6	42	98
Único	TTAT	100	6	60	144
Externo	CS	60	6	55	85
Multipasse	CS	38	3,5	85	131
Multipasse	TTAT	38	3,5	158	185

(*) Passe reaquescido por um passe externo com 12 kJ/mm, sofrendo um reaquescimento com pico de temperatura da ordem de 540°C

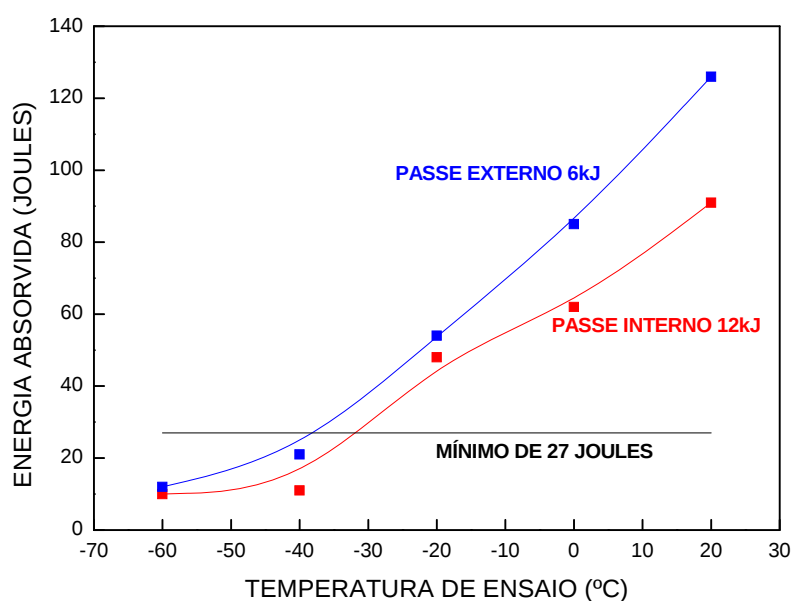


Figura 7. Variação da energia absorvida com a temperatura de ensaio para os passes interno (1) e externo (4) da junta soldada no estado de como soldado.

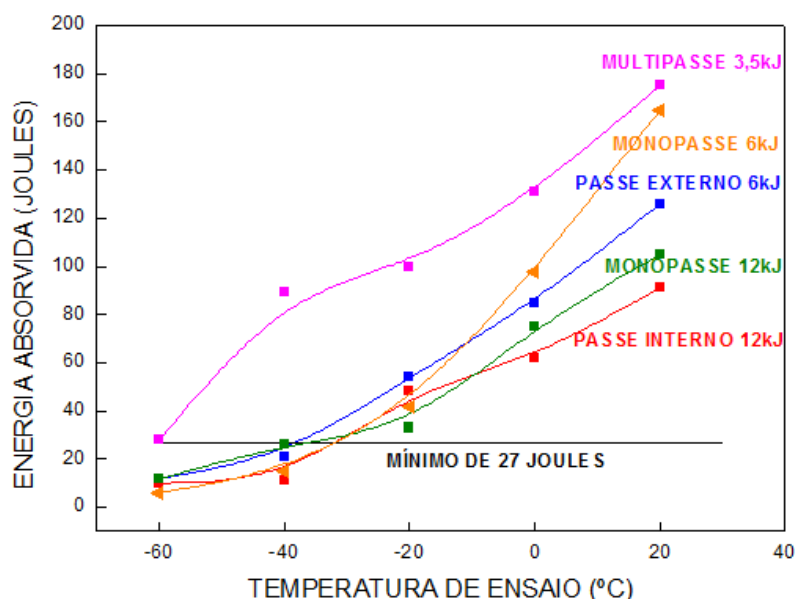


Figura 8. Variação da energia absorvida com a temperatura de ensaio para diversas condições de análise.

4 DISCUSSÃO

O presente trabalho teve como objetivo apresentar os resultados iniciais de uma pesquisa mais ampla, cujo propósito é avaliar as propriedades mecânicas e microestruturais de juntas soldadas, realizadas pelo processo arco submerso com elevada produtividade. Isto se faz necessário, devido ao fato que, os requisitos de projeto de estruturas utilizadas em sistemas de ancoragem têm sofrido diversas modificações, com aumento da severidade, em face do aumento das profundidades nas quais se prospectam petróleo nos dias atuais.

Assim, projetos anteriores, para os quais não havia requisitos de tenacidade ao impacto, são hoje motivo de discussão, com alteração de procedimentos de soldagem para tornar mais seguras estas operações.

Alia-se a este fato, a necessidade de manutenção da reprodutibilidade de resultados, o que vem gerando um aumento da automação de processos e procedimentos, sendo que neste caso, o processo a arco submerso, toma importância fundamental. No entanto, devido ao elevado aporte térmico utilizado nestes casos, muitas vezes, não se obtém propriedades mecânicas adequadas, notadamente a tenacidade ao impacto. Desta forma, é imprescindível um estudo prévio para avaliação desta propriedade de forma a garantir que o aumento da produtividade seja possível, com a manutenção das propriedades e, consequentemente, com a segurança da operação *offshore* dos equipamentos.

4.1 Análise Metalográfica

A Tabela 4 mostra os percentuais de região colunar e reaquescida na ponta do entalhe do corpo-de-prova de impacto Charpy-V para os passes interno e externos, onde se nota que os percentuais de reaquecimento são próximos, permitindo assim a suposição de que os valores de propriedades mecânicas obtidas para as posições dos dois passes sejam próximos também.

Analisando as regiões do metal de solda, através do microscópio ótico, deve-se

destacar que a microestrutura da região colunar do passe externo (Figura 5), além de possuir uma estrutura mais refinada que aquela produzida pelo passe interno (Figura 4), apresenta o constituinte ferrita acicular em maior percentual, onde espera-se uma tenacidade bem superior ao do passe interno, o que não foi observado (Tabela 7). Desta forma, como comentado em trabalho de Jorge, Souza e Rebello,⁽⁷⁾ deve-se contemplar também a microestrutura da região reaquecida. De fato, ao observar, esta região (Figura 5), nota-se a ocorrência de um elevado percentual de perlita (AFC), o qual é nocivo à tenacidade. Já na região reaquecida do passe interno (Figura 4), embora também tenha sido verificada a ocorrência de um elevado percentual de AFC, percebe-se que este percentual é inferior ao do passe externo e que houve uma decomposição da perlita (Figura 5), em função do reaquecimento pela deposição dos passes externos, propiciando uma microestrutura composta de ferrita poligonal e carbeto, o que trouxe benefícios à tenacidade ao impacto.

A deposição do passe “2” (Tabela 2) com alto aporte térmico, propiciou um reaquecimento no passe interno, garantindo assim a manutenção dos valores de tenacidade do passe interno (Tabela 7). De fato, com o objetivo de testar esta hipótese de reaquecimento, foram realizados alguns experimentos com tratamento térmico pós-soldagem (Tabela 7), para 6 kJ e 3,5 kJ, os quais ratificam que este tratamento propicia melhorias significativas na tenacidade ao impacto do metal de solda. Esta combinação de passes de soldagem, permitiu a adoção do procedimento de soldagem aqui estabelecido e, particularmente, do metal de solda escolhido, para as operações *offshore* dos equipamentos em questão, vistos os resultados obtidos.

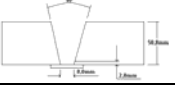
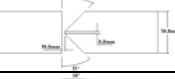
Nos procedimentos de soldagem anteriormente utilizados, o preenchimento do chanfro era realizado através de arame tubular e arco submerso (Figura 3). Eram realizados 3 passes de raiz com o primeiro processo e posteriormente o enchimento com arco submerso (Tabela 3). Este enchimento poderia ser realizado com 23 passes, 18 passes ou 19 passes, dependendo da espessura da peça a ser soldada (Tabela 8). A análise metalográfica da soldagem multipasse (Tabela 5) possibilitou a quantificação de percentuais de regiões colunar e reaquecida, onde tais valores vão de encontro aos obtidos na literatura⁽⁸⁾ e permitiram que os valores dos ensaios de Charpy-V (Tabela 7) para este procedimento de soldagem fossem muito superiores ao mínimo exigido.

4.2 Ensaios Mecânicos

4.2.1 Ensaios de tração

A Tabela 6 mostra os resultados dos ensaios de tração da junta soldada com passes interno e externo e da soldagem multipasses com 3,5 kJ/mm. A comparação com os resultados da Tabela 8, que é proveniente de vários procedimentos de soldagem qualificados previamente, mostra que os valores obtidos no estudo atual são compatíveis com aqueles anteriores, mesmo nas condições dos resultados mais baixos, ou seja, permitem a qualificação dos procedimentos de soldagem com confiabilidade.

Tabela 8. Resultados de ensaios de impacto para diferentes condições

EPS	Número de Passes (*)	Tipo de Chanfro	Aporte Térmico (kJ/mm)	Ecv à 0°C	LR (MPa)
EPS 1	26		3,55	128 (AS) 63(AT)	552 (AS) 563 (AT)
EPS 2	21		2,81	124 (AS) 118 (AT)	564 (AS) 556 (AT)
EPS 3	22		3,15	153 (AS) 107 (AT)	560 (AS) 538 (AT)

(*)Arame Tubular(AT) na raiz (3 passes), Arco Submerso (AS) no enchimento

4.2.2 Ensaios de impacto Charpy-V

As Figuras 7 e 8 e Tabela 7 mostram os resultados dos ensaios de impacto Charpy-V, onde se percebe que os valores de tenacidade ao impacto atendem os requisitos para qualificação dos procedimentos de soldagem, dado que os valores de tenacidade obtidos, mesmo na pior condição, são muito superiores aos 27 Joules à 0°C. Na verdade estes valores são, pelo menos, 2 vezes superiores ao mínimo requerido e, o que é mais importante, como mostrado pela Figura 7, este requisito é suportado até uma temperatura da ordem de -30°C, o que propicia um fator de segurança confortável para a operação dos equipamentos.

Em relação à questão da mudança de espessura para qualificação de outros procedimentos de soldagem, os resultados do presente trabalho, também são importantes, visto que garantem que para espessuras menores onde se necessite de um menor número de passes, a tenacidade ainda assim, estará em patamares suficientes para garantir os requisitos necessários, visto que a soldagem com passe único gerou resultados superiores ao mínimo requerido.

Já na soldagem de juntas de grandes espessuras, onde se necessite de tratamento térmico de alívio de tensões,⁽⁹⁾ a tenacidade também será favorecida (Tabela 7), razão pela qual, se realizou alguns experimentos com tratamento térmico pós-soldagem.

4.3 Análise de Produtividade

A análise de produtividade deste novo procedimento foi subdividida em duas etapas: na primeira etapa foi considerado apenas o ganho de produtividade na soldagem quando com arco aberto; na segunda etapa foi analisado outros ganhos de produtividade levando-se em conta todas as etapas do processo de fabricação.

Durante a soldagem, o ganho de produtividade foi de 300%, quando considerado apenas o tempo de arco aberto. Esse ganho tão elevado ocorreu pela elevação em 33% na corrente, diminuição em 45% na seção de área a ser soldada e diminuição do número de passes de 26 para 4.

Quando todos os outros aspectos do processo de fabricação são levados em consideração, o ganho de produtividade foi de 58%. Para está análise foram considerados tempos para corte de chapas, biselamento, calandragem, montagem das estruturas, preparação para soldagem, tempo de volta da máquina de solda para o ponto inicial e inspeções visual e líquido penetrante.

4.4 Considerações Adicionais

O presente trabalho teve por objetivo dar uma contribuição no sentido de unir conhecimentos científicos e tecnológicos, de modo a realizar uma análise mais abrangente sobre a possibilidade de garantia de qualidade de estruturas soldadas com alta produtividade para fins industriais.

Neste sentido, realizou-se juntamente com uma análise de produtividade, um estudo metalúrgico da relação tenacidade-microestrutura de metal de solda de alto aporte térmico (até 12 kJ/mm), de forma a dar suporte técnico para conclusões efetivas sobre a adoção de procedimentos de soldagem confiáveis, com base em resultados de ensaios de impacto Charpy-V, além daqueles exigidos pelas normas de qualificação.

Os resultados de tenacidade ao impacto obtidos, permitem decisões gerenciais seguras não somente para adoção do procedimento aprovado, com ganho expressivo de produtividade, mas também, pela continuidade da pesquisa para análise do comportamento deste metal de solda com um aporte térmico ainda maior, o que será objeto de estudo posterior.

Adicionalmente, mostra que, contrariamente ao que se acredita, ainda existe muito campo de pesquisa, mesmo para metais de solda C-Mn baixa liga, no ramo industrial, nesta fase do desenvolvimento industrial brasileiro, onde a produtividade e a automação de processos é um ponto fundamental. Neste aspecto, a soldagem com aportes térmicos elevados, da ordem de 12 kJ/mm ou superiores, é fundamental, e poucos estudos específicos sobre metal de solda têm abordado este assunto.

5 CONCLUSÃO

Pelo exposto no presente trabalho, permite-se concluir:

- é possível realizar a soldagem de equipamentos de ancoragem de plataformas de petróleo em aço carbono, que tenham requisitos adicionais de qualidade, com o procedimento aqui estipulado com aporte térmico até 12 kJ/mm e com qualidade assegurada;
- o procedimento aqui utilizado pode ser estendido para soldagem de chapas mais finas ou mais espessas, neste caso, exigindo o tratamento térmico de alívio de tensões, sem prejuízo das propriedades mecânicas; e
- com base nos resultados obtidos, deve-se realizar estudos com níveis de aporte térmico ainda maiores, tendo em vista os resultados obtidos terem sido tão satisfatórios.

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 e Tatiana Farias da Fluke Engenharia Ltda., pelo apoio na realização das soldagens e ensaios mecânicos.

REFERÊNCIAS

- 1 Jorge, J.C.F. et alii, Effect of dilution, heat input and stress relieving on the microstructure/toughness relationship of C-Mn and low alloy steel weld metals, *Revue de la Soudure*, 3, p.42-50, 1996.
- 2 Paranhos, R.; Relação tenacidade/microestrutura de metal de solda de aço baixo C-Mn obtido por arco submerso em soldas multipasse, *Anais do X ENTS*, p.95-115, 1984.
- 3 Dorsch, K.E. e Stout, R.D., Some factors affecting the notch toughness of steel weld metal, *Weld. Journ.*, 40(3), p.97s, 1961.
- 4 Nickolson, S. e Rogers, P.F., Controlling weld metal toughness in MMA welds IN: *Int. Conf. on Welding in Offshore*, 1974, Cambridge, The Welding Institute.
- 5 Trindade, V.B., Paranhos, R.P.R., Payão, J.C. e Souza, L.F.G, Influência da adição de níquel na tenacidade de metais de solda de aços C-Mn antes e após tratamento térmico de alívio de tensões, *Soldagem & Inspeção*, 10(4), p.164-172, 2005.
- 6 Jorge, J.C.F., Rebello, J.M.A. e Souza, L.F.G., The effect of chromium on the microstructure/toughness relationship of C-Mn weld metal deposits, *Materials Characterization*, 47(3-4), p.195-205, 2001.
- 7 Jorge, J. C. F., Souza, L. F. G. e Rebello, J. M. A.; Uma contribuição ao estudo da relação tenacidade/microestrutura de metais de solda C - Mn baixa liga. *Anais do XIX Encontro Nacional de Tecnologia da Soldagem*, p. 1 -19, São Paulo, 1993.
- 8 Evans, G. M.; Effect of heat input on the microstructure and properties of C - Mn all weld metal deposits, *Welding Research Abroad*, Vol. XXIX N°. 1, p.46-57, 1982.
- 9 Oliveira, C. A. S. e Rebello, J. M. A.; Influência do tratamento térmico de alívio de tensões na tenacidade de cordões de solda de aço C – Mn e baixa liga, *COT 805, COPPE/UFRJ*, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, p.87, Maio, 1990.