



AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DA SUBSTITUIÇÃO DE HEMATITA POR WUSTITA NO REVESTIMENTO DE ELETRODOS OXIDANTES PARA SOLDAGEM SUBAQUÁTICA MOLHADA¹

Fredy Augusto Fuentes Ferreira²

Sidnei Paciornik³

Valter Rocha Dos Santos⁴

Alexandre Queiroz Bracarense⁵

Ezequiel Pereira Pessoa⁶

Resumo

A soldagem subaquática molhada é uma das técnicas utilizadas no reparo de plataformas submarinas para extração de petróleo e gás. Neste tipo de soldagem são usados tanto eletrodos oxidantes quanto eletrodos rútilicos. Neste trabalho busca-se avaliar os efeitos da utilização de Wustita em substituição parcial à Hematita. Foram produzidos 5 grupos de eletrodos mantendo fixa a porcentagem em peso do total de óxidos de ferro e variando as proporções de FeO e Fe₂O₃. Realizaram-se soldas de 4 passes em posição plana com ângulo de 60° de inclinação entre o eletrodo e a chapa a 0.5 m de profundidade. Os metais soldados foram avaliados por análise química, microscopia, hidrogênio difusível e microdureza. Os resultados mostraram um aumento de ferrita pró-eutetóide com o aumento da wustita e uma diminuição com a fração de carbono. Esta, por sua vez, decresceu com o aumento da wustita. A micro-dureza decresceu com a fração de wustita e cresceu com a fração de carbono.

Palavras-chave: Soldagem subaquática molhada; Hematita; Wustita; Eletrodo oxidante.

EVALUATION OF THE EFFECTS OF REPLACEMENT OF HEMATITE BY WUSTITE ON OXIDIZING ELECTRODES COATING FOR UNDERWATER WET WELDING

Abstract

Underwater wet welding is one of the techniques used in the repair of underwater oil and gas platforms. Both oxidizing and rutilic electrodes are used in this type of welding. In the present study the effects of the use of wustite in partial replacement to Hematite was assessed. Five groups of electrodes were produced with a fixed total weight percentage of iron oxide and varying the proportions of FeO and Fe₂O₃. Four pass welds in the flat position with 60° angle of inclination between the electrode and plate, at 0.5 m depth, were performed. Weld metals were evaluated by chemical analysis, microscopy, diffusible hydrogen and micro-hardness. The results showed an increase of pro-eutectoid ferrite with increasing wustite content and a decrease with increasing carbon content, which, by its turn, decreased with increasing wustite content. Micro-hardness decreased with wustite and increased with carbon content.

Key words: Underwater wet welding; Hematite; Wustite; Oxidizing electrode.

¹ Contribuição técnica ao 65° Congresso Anual da ABM, 26 a 30 de julho de 2010, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

² Mestre, Estudante de Doutorado em Engenharia de Materiais (PUC-Rio)

³ Doutor em Física (PUC-Rio)

⁴ Doutor em Engenharia Metalúrgica (UFRJ)

⁵ Doutor em Física (UFMG)

⁶ Doutor em Engenharia Mecânica (UFMG)

1 INTRODUÇÃO

A soldagem subaquática molhada (SSM) é realizada desde o início deste século e, a partir dos anos 1930, também soldas de reparo.⁽¹⁾ Com o início do emprego de plataformas submarinas para extração de petróleo e gás, esta nova tecnologia se expandiu enormemente. No Brasil, embora as maiores reservas de petróleo e gás encontrem-se no mar com profundidades entre 400 m e 1.000 m, a maior parte dos reparos ocorre em lâminas d'água de até 40 m porque são empregadas, predominantemente plataformas semi-submersíveis e navios como instalações de produção.⁽²⁾ A SSM é uma técnica de reparo para as instalações de produção de petróleo e gás, reparo de navios, tubulações, portos e pontes. Sua maior vantagem frente a outros processos de soldagem se deve à sua simplicidade e facilidade de mobilização, já que permite ao operador-mergulhador trabalhar diretamente sobre as partes submersas das peças sem a proteção de um ambiente artificial, como na tradicional solda a seco. A principal limitação da soldagem molhada é a relativa pequena profundidade na qual pode ser executada e a dificuldade de obtenção de propriedades semelhantes à soldagem atmosférica.

A SSM pode ser realizada com vários processos de soldagem. Entretanto, conforme o estado atual da técnica o processo mais empregado é o do Eletrodo Revestido ou SMAW (*Shield Metal Arc Welding*). Os eletrodos revestidos são peças constituídas de apenas dois componentes: uma alma metálica, de aço de baixo carbono, e o revestimento composto de matérias orgânicos e/ou minerais, com dosagens bem definidas.

A alma metálica pode conter alguns elementos residuais, porém os teores de fósforo e enxofre devem ser muito baixos para evitar fragilização no metal de solda. Uma das funções dos revestimentos é a função elétrica que permite a utilização de tensões em vazio baixas, assim como em trabalhos com corrente alternada (40 V a 80 V), possibilitando uma redução do consumo de energia e aumento de segurança do soldador, e também a continuidade e estabilidade do arco elétrico. Outra função dos revestimentos é a função metalúrgica: quando o revestimento funde cria uma "cratera" e uma atmosfera gasosa que protegem a poça de fusão do oxigênio e hidrogênio.

Na SSM, a qualidade das soldas depositadas por este processo se vê prejudicada pelo fato do arco elétrico estar em contato direto com o meio aquoso. As altas temperaturas alcançadas por este processo fazem com que a água líquida entre em ebulição formando bolhas de vapor ao redor do arco elétrico. Observações feitas com cinematografia de alta velocidade do arco destas soldas revelaram que essas bolhas se desprendem com uma frequência de cerca de 13 Hz. Por tanto, a poça de fusão está continuamente isolada do meio aquoso por uma dessas bolhas de vapor.⁽³⁾

Pesquisadores⁽⁴⁻⁶⁾ realizaram experimentos em laboratório com eletrodos comerciais disponíveis, feitos com alma de aço ferrítico (revestimentos rutilico, celulósico, básico, ácido e oxidante) e verificaram que os metais de solda obtidos utilizando eletrodos rutilicos apresentam maior tenacidade e resistência à tração. Os metais de solda obtidos usando eletrodos oxidantes apresentavam resistência a tração e tenacidade mais baixas, devido ao baixo teor de Mn, C e Si e menor teor de hidrogênio difusível resultante do caráter oxidante do revestimento. Os eletrodos rutilicos produzem juntas soldadas altamente susceptíveis a trincas por hidrogênio. Já os eletrodos com revestimento oxidante originam juntas soldadas com menor fissuração pelo hidrogênio. Foi constatado que o teor de hidrogênio difusível no



metal de solda obtido com eletrodos oxidantes é baixo, (da ordem de 10 ml/100 g a 20 ml/100 g).⁽⁴⁻⁶⁾

No presente trabalho, propõe-se estudar a substituição da Hematita (Fe_2O_3), material normalmente empregado no revestimento dos eletrodos oxidantes, pela Wustita (FeO). Ao modificar a concentração relativa de oxigênio no eletrodo, espera-se mudar a disponibilidade deste elemento nas reações envolvidas. Parte do estudo, objetiva analisar como esta substituição pode afetar a microestrutura do metal de solda e suas propriedades mecânicas. Para tanto, testaram-se eletrodos preparados de forma manual, analisando as influências sobre as características operacionais da soldagem e sobre as seguintes características do metal de solda: composição química, hidrogênio difusível, dureza e quantidade, tamanho e fração de área de inclusões.

2 MATERIAIS E MÉTODOS EXPERIMENTAIS

O metal de base usado foi uma chapa de aço baixo carbono (aço estrutural ASTM A 36) com as seguintes dimensões: 150 mm de largura, 12 mm de espessura e 150 mm de comprimento.

As dimensões dos arames utilizados para a elaboração dos eletrodos foram: 3,25 mm de diâmetro e aproximadamente 140 mm de comprimento. A Tabela 1 mostra sua composição química. Apenas as amostras A, B e E foram analisadas.

A formulação dos eletrodos fabricados para este trabalho é dada na Tabela 2 e na Tabela 3. Todos os eletrodos apresentam as mesmas quantidades de ingredientes, variando unicamente a proporção de hematita/wustita. A wustita empregada foi obtida a partir de carepa de laminação.

Tabela 1. Composição química dos arames dos eletrodos

	A	B	E
C	0.050	0.056	0.053
Si	0.020	0.016	0.015
P	0.013	0.014	0.016
Mn	0.525	0.530	0.465
Ni	0.019	0.020	0.026
Cr	0.015	0.015	0.011
Cu	0.021	0.023	0.022

Tabela 2. Formulação do revestimento dos eletrodos – Aglomerante versus Fases Sólidas

Ingredientes	% em peso
Silicato de Potássio ($\text{K}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2$)	28
Sílica (SiO_2)	72
Ferro-Manganês (Fe-Mn)	
Feldspato de potássio ($\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$)	
CarboxiMetilCelulose (CMC)	
Hematita (Fe_2O_3)	
Wustita (FeO)	

Tabela 3. Formulação do revestimento dos eletrodos – Variação da fração de Hematita e Wustita

Ingredientes	Eletrodo (% em peso)				
	A	B	C	D	E
Silicato de Potássio ($K_2O.SiO_2$)					
Sílica (SiO_2)	27	27	27	27	27
Ferro-Manganés (Fe-Mn)	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
Feldspato de potássio ($K_2O.Al_2O_3.6SiO_2$)	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5
CarboxiMetilCelulose (CMC)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Hematita (Fe_2O_3)	62	56	49.5	43	21
Wustita (FeO)	0.0	6.0	12.5	19	41
Wustita/ (Wustita + Hematita)	0%	10%	20%	30%	66%

O equipamento para a fabricação dos eletrodos consiste de uma prensa hidráulica manipulada manualmente (Figura 1).



Figura 1. Equipamento utilizado na fabricação dos eletrodos.

Todos os ingredientes foram misturados. O silicato de potássio foi adicionado à mistura como aglomerante, permitindo formar uma pasta que é embutida no cilindro de aço. O arame foi introduzido junto com as duas guias, superior e inferior para que ficasse centralizado. Em seguida, o cilindro foi montado na prensa hidráulica, e mediante uma palanca, manipulado até sair pela parte superior. Após uma rápida secagem, os eletrodos foram colocados em um forno a uma temperatura de 100 °C para uma secagem mais prolongada. Após a secagem, realizou-se uma rápida verificação visual para comprovar a ausência de trincas ou rachaduras. Os eletrodos foram envernizados com verniz vinílico e secados durante 24 horas antes de usados. As soldas foram depositadas em uma posição plana com ângulo de 60° de inclinação entre o eletrodo e a chapa a uma profundidade de 0,5 m. A corrente de soldagem usada foi de 160 A e uma tensão variando entre 20 V e 30 V. A corrente e a tensão foram monitoradas por um sistema de aquisição com uma taxa de 1.000 pontos/segundo durante 5 segundos em todos os cordões depositados.

O equipamento para a soldagem era constituído de um aquário ornamental com um sistema de soldagem por gravidade para manter o eletrodo em contato com a chapa (Figura 2). As chapas de aço foram então soldadas utilizando cada um dos eletrodos identificados na Tabela 4. Foram feitos quatro passes, dois passes lado a lado, mais um no meio destes e um último acima do terceiro, tentando desta forma obter a menor diluição possível no último passe para minimizar a influência do metal de base. O esquema da soldagem é mostrado na Figura 3.



Figura 2. Sistema de soldagem por gravidade.

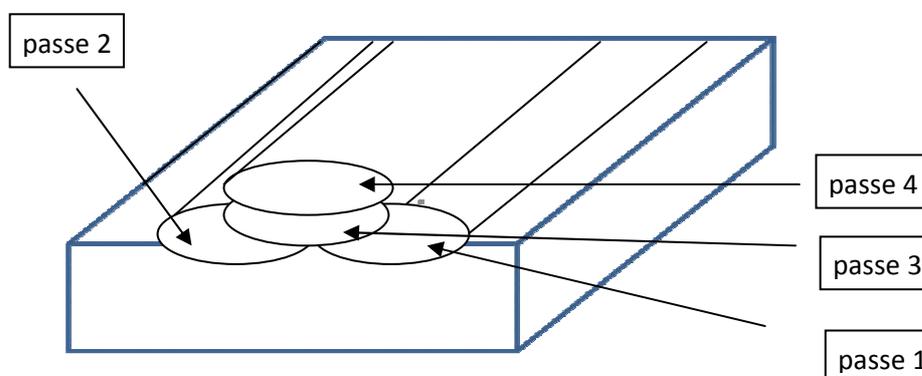


Figura 3. Esquema de soldagem da chapa.

A chapa foi cortada em seções transversais para gerar os corpos de prova necessários para análise metalográfica e química.

Microscopia Óptica (MO) e Eletrônica de Varredura (MEV) foram utilizadas para análise de inclusões de óxidos. Para cada amostra, foram capturadas 60 imagens por MO (aumento=1.000X) e por MEV (aumento=4.000X) no modo de elétrons retro espalhados. Os dois grupos de imagens foram então analisados através de rotinas automáticas desenvolvidas no programa KS400. Foram geradas medidas de contagem, fração de área e distribuição de diâmetros das inclusões.

As amostras foram então atacadas e novamente observadas por MO para quantificação dos microconstituintes. Inicialmente, criou-se um mosaico de baixo aumento cobrindo toda a região soldada, parte do metal de base e do embutimento, conforme ilustrado na Figura 4. Neste mosaico é possível visualizar a região do último cordão, correspondente ao quarto passe de soldagem. Selecionaram-se então três regiões retangulares, cobrindo toda a dimensão vertical do cordão, e uniformemente distribuídas em sua largura. Estas regiões aparecem como retângulos na figura. De cada uma destas regiões foi capturado um mosaico, com aumento de 500X, contendo até 25 campos.

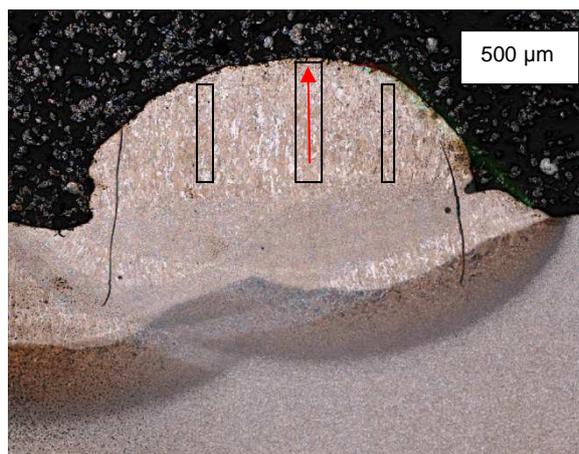


Figura 4. Imagem em mosaico mostrando uma visão geral da solda, obtida por MO.

Os micro-constituintes a avaliar são ferrita pró-eutetoide, ferrita com segunda fase e ferrita acicular. Não é possível automatizar a discriminação e quantificação destes constituintes. Assim, optou-se por combinar as imagens em mosaico obtidas com a técnica tradicional de contagem de pontos em grades. Neste caso, no entanto, desenvolveu-se uma rotina no software KS400 para agilizar o procedimento de contagem.

Inicialmente, uma grade de 100 pontos pré-definida é desenhada sobre a imagem. Em seguida, o operador marca com o mouse todos os nós da grade correspondentes a um constituinte e o programa acumula os pontos marcados. O processo é repetido sucessivamente para os três constituintes. Todos os pontos marcados são gravados junto com a imagem, para verificação posterior, com cores distintas para cada constituinte. Ao final, uma base de dados é automaticamente criada.

Foram também obtidos dados de hidrogênio difusível de todas as cinco amostras para analisar o risco de aparecimento de trincas por hidrogênio na junta soldada. As medidas foram realizadas por cromatografia gasosa com um analisador OERLIKON-Yanaco modelo G1006, seguindo as normas AWS A4.3; ASTM E260 e E355. Foram realizadas 2 ou 3 medidas por amostra.

Usando como referência as regiões de cada amostra das quais se obteve as imagens em mosaico, realizou-se medidas de microdureza. O número de medidas variou em função da altura de cada região, em cada amostra. Assim, foram obtidas entre 15 e 25 medidas de microdureza de cada uma das 5 amostras. Utilizou-se um microdurômetro marca SHIMADZU modelo HMV-2000, com uma carga de 1 kg.

3 RESULTADOS

Quanto às características operatórias, para os cordões de solda com porcentagens de wustita de 66%, 30% e 20% pode-se dizer, de modo geral, que o arco elétrico apresentou maior estabilidade, melhor deposição da solda e maior molhabilidade. A transferência se deu por curto circuito. Já para os cordões com porcentagens de wustita de 10% e 0% houve dificuldade na abertura de arco. Os cordões foram mais curtos, e apresentaram superfície mais grosseira e irregularidades no formato do cordão. De um modo geral o aspecto do cordão melhorou com o aumento da quantidade de wustita. Notaram-se diferenças relevantes nos oscilogramas. O número de curtos-circuitos tende a aumentar e a tensão do arco tende a diminuir com o aumento da fração de wustita, isto pode ser observado tanto nos dados da

Tabela 4 que mostra o valor médio dos quatro passes, quanto nos gráficos da Figura 9.

Tabela 4. Características operacionais da soldagem

Wustita (% em peso)	Número de curtos circuitos (Médio)	Tensão média do arco (Média) (V)
0	0.25	34.92
10	0.5	35.76
20	35.25	25.99
30	29.25	25.15
66	33.75	26.42

A composição química média do metal de solda é apresentada na Tabela 5 e corresponde a média de três a cinco queimas feitas em cada uma das amostras.

Tabela 5. Composição química dos metais de solda (% em peso)

	A	B	C	D	E
C	0.068	0.054	0.029	0.026	0.025
Si	0.022	0.049	0.015	0.006	0.006
P	0.019	0.018	0.016	0.014	0.019
S	0.009	0.010	0.010	0.010	0.007
Mn	0.134	0.131	0.064	0.054	0.055
Ni	0.779	0.549	0.386	0.054	0.034
Cr	0.077	0.050	0.003		
Cu	0.134	0.114	0.064	0.066	0.035

Nesta tabela se observa a diminuição nos teores de carbono, manganês e silício com aumento da fração de wustita, os quais têm um papel importante na microestrutura do metal de solda. Com relação aos altos teores de níquel podemos dizer que são resultado de algum tipo de contaminação não determinada, mas que não afeta os resultados finais.

O gráfico da Figura 5 mostra a variação na fração de C, Mn e Si, em função da fração de wustita nos eletrodos. Estes elementos, juntamente com o oxigênio são os mais relevantes no presente caso devido à sua predominante influência na microestrutura, quantidade de inclusões e dureza do metal de solda. Pode-se notar que os teores de carbono e manganês diminuem com o aumento da wustita, enquanto o teor de silício não demonstra uma tendência tão clara.

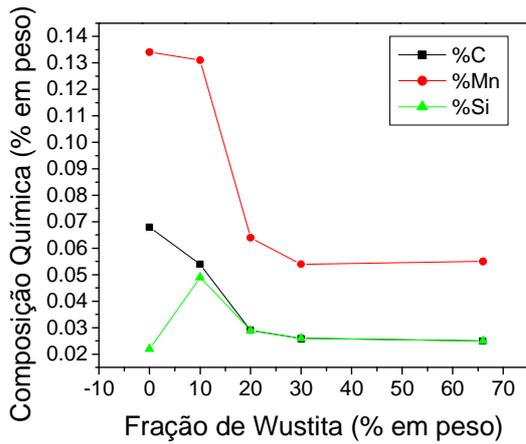


Figura 5. Relação entre as frações de wustita e dos elementos C, Mn e Si.

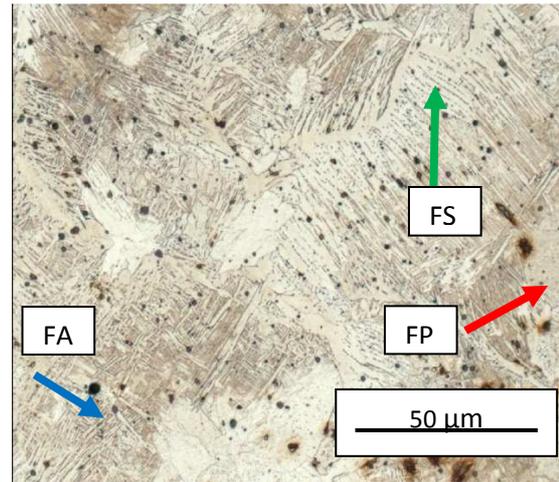


Figura 6. Aspecto micrográfico da amostra com 0% de wustita.

Na Figura 6 estão indicados os microconstituintes típicos do metal de solda: ferrita pró-eutetóide (FP), ferrita com segunda fase (FS) e ferrita acicular (FA). O gráfico da Figura 7 permite comparar, na mesma escala, a dependência dos três microconstituintes com a fração de wustita e o gráfico da Figura 8 mostra a tendência de queda da micro-dureza do metal de solda com o aumento da fração de wustita.

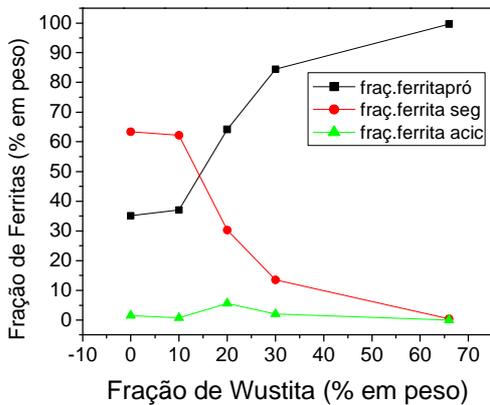


Figura 7. Relação entre as cinco amostras com a fração de cada uma das microestruturas.

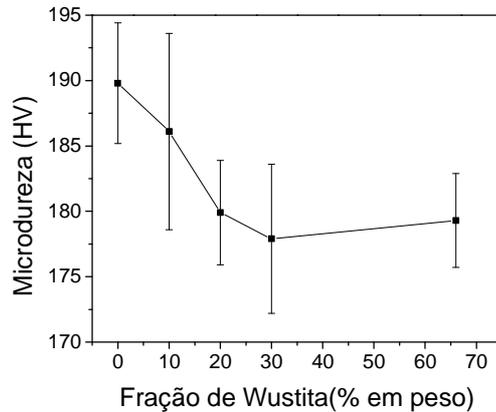


Figura 8. Relação entre a micro-dureza e fração de wustita.

A Tabela 6 mostra que para as medidas de hidrogênio difusível, a dispersão de valores das medidas é bastante alta, exceto para os eletrodos A e E. Esta dispersão está associada à pequena quantidade de amostras utilizadas para estes ensaios, consequência do pequeno número de eletrodos produzidos. Em função disso não é possível definir com certeza a influência da fração de wustita no hidrogênio difusível. Os resultados sugerem não haver influência significativa.

Tabela 6. Resultados de hidrogênio difusível

ELETRODO	H _{dif} (ml/100g)			MÉDIA	D. PADRÃO
A	18.9	24.5		21.7	3.96
B	13.4	38.4	11.4	21.07	15.04
C	37.8	23.5		30.65	10.11
D	34.8	21.4	16.8	24.33	9.35
E	15.1	18.2	18.7	17.33	1.95

4 DISCUSSÃO

Para analisar os fenômenos que ocorreram durante a soldagem ao introduzir wustita no revestimento dos eletrodos, devem-se observar as variações que ocorreram na fase líquida (gota e poça de fusão) em relação à sua composição química, principalmente considerando os elementos oxigênio, silício, manganês e carbono. Pope⁽⁷⁾ mostrou que para eletrodos oxidantes contendo diferentes quantidades de hematita, o valor de oxigênio no metal de solda foi de aproximadamente 0,2 %. Este valor de oxigênio pode aumentar até 0,22 % devido à decomposição da hematita, no arco, em magnetita e/ou wustita, liberando oxigênio. O mesmo autor afirma que de acordo com alguns pesquisadores o processo de oxidação inicia na ponta do eletrodo e continua durante a transferência da gota em direção à poça de fusão, ocasionando perda dos elementos desoxidantes, especialmente do silício e do manganês. Durante o processo de formação da gota e da poça de fusão o excesso de oxigênio é liberado de solução e combinado com elementos de liga desoxidantes, tais como manganês, silício e outros, para formar inclusões, as quais podem permanecer em solução no líquido ou se incorporar à escória. Pesquisadores⁽⁸⁾ observaram que o aumento do teor de manganês no revestimento, diminui a quantidade de oxigênio no metal de solda, reduzindo a quantidade e o tamanho das inclusões. Considerando o maior potencial de oxigênio da hematita em relação à wustita, é previsto que ao substituir parte da hematita por wustita, a quantidade de oxigênio disponível reduza, resultando em menores perdas de Si, Mn e C. Tal expectativa não foi confirmada, conforme o gráfico da Figura 5, onde se observa comportamento oposto em relação ao Mn e ao C. Quanto ao comportamento do silício os resultados não são conclusivos porque os teores obtidos são muito baixos, coerentemente com o teor de silício no arame (da ordem de 0,02 %).

A adição de wustita em substituição à hematita implica em que menos energia seja consumida na fusão do revestimento. Isto traz como consequência aceleração no consumo do revestimento e, portanto, formação de crateras menos profundas na ponta do eletrodo. Se este mecanismo de fato atua, é de se esperar que o arco fique mais curto resultando em redução da tensão do arco e no aumento do número de curtos circuitos, o que foi constatado no presente trabalho. Como consequência, tem-se o aumento do tamanho das gotas e do seu tempo de residência na ponta do eletrodo, permitindo assim maior intensidade das reações de oxidação. Esta é a hipótese formulada no presente trabalho para explicar que o fenômeno predominante na evolução da composição química do metal de solda com a variação de wustita não é a ação do oxigênio disponível pela decomposição da hematita. Esta hipótese é suportada pela comparação entre as variações de Mn, C, tensão média do arco (V_m) e número de curtos circuitos (NCC) com a fração de wustita (Figura 9). Adicionalmente, é suportada pelos resultados e interpretações de Pessoa,⁽⁹⁾ relacionando a queda de tensão e o aumento do número de curtos

circuitos com a variação da composição química no mesmo sentido do observado no presente trabalho

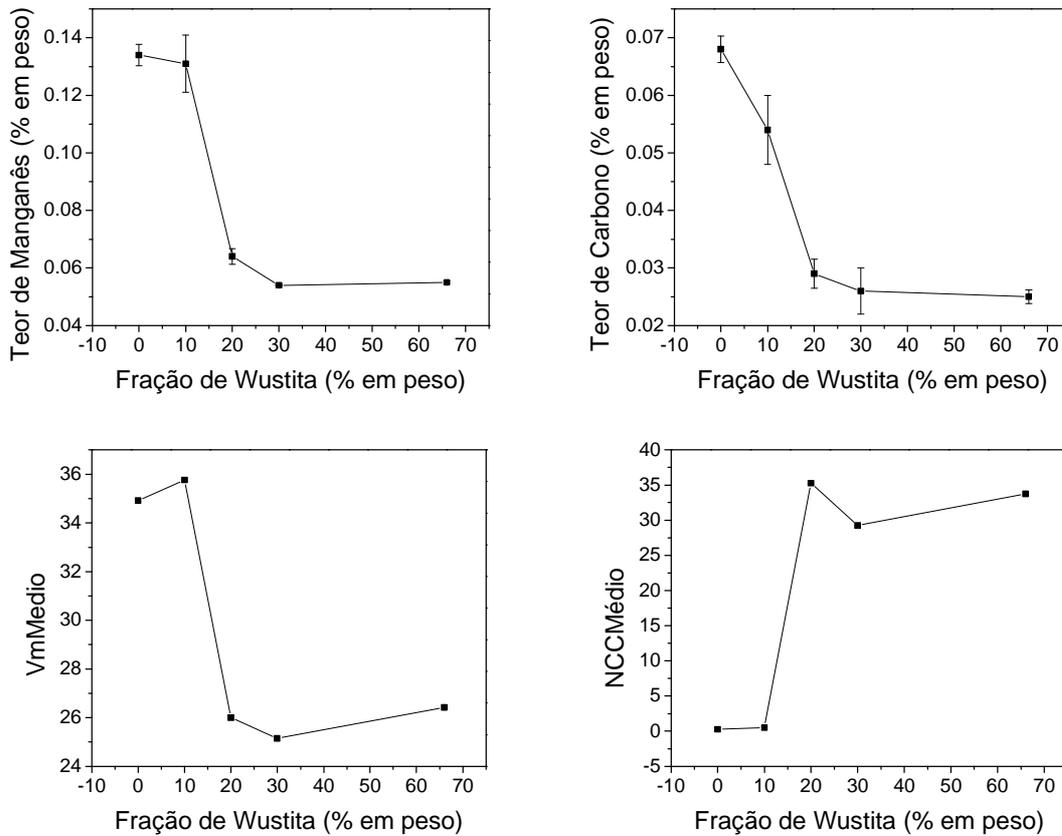


Figura 9. Variações dos teores de C e Mn, da Vm média e de NCC médio *versus* fração de wustita.

A evolução microestrutural comportou-se de forma coerente com a evolução dos teores de manganês e carbono isto é, maiores teores de ferrita pró-eutetoide foram observados nas soldas com os menores teores destes elementos. A microdureza foi diretamente influenciada pela microestrutura apresentando valores maiores com o aumento da fração de ferrita com segundas fases.

5 CONCLUSÕES

A substituição de hematita por wustita apresentou vários aspectos positivos. Entretanto, a dificuldade de obtenção e a instabilidade da wustita durante o processamento fabril são grandes obstáculos ao seu emprego como componente de revestimentos de eletrodos.

A substituição de hematita por wustita influenciou a soldabilidade operatória no sentido reduzir a tensão de arco e aumentar o número de curtos circuitos. Paralelamente, abertura de arco, aspecto e geometria dos cordões de solda foram melhorados.

A composição química dos metais de solda foi afetada pela presença de wustita no revestimento no sentido de reduzir os teores de C e Mn, contrariamente ao esperado em função da menor disponibilidade de oxigênio na wustita em relação à hematita. Para explicar esta aparente contradição sugere-se que mudanças no mecanismo de transferência metálica tenham aumentado a intensidade das reações de oxidação do C e Mn com o aumento da quantidade de wustita no revestimento



Coerentemente com a redução de C e Mn provocados pelo aumento de wustita foram observadas maiores frações de ferrita pró-eutetoide nas soldas com os menores teores destes elementos. A microdureza foi diretamente influenciada pela microestrutura, variando de forma crescente com o aumento da fração de ferrita com segundas fases.

A técnica de fabricação de eletrodos em bancada utilizada no presente trabalho, embora apresente limitações, pode em alguns casos ser empregada com sucesso em pesquisas exploratórias reduzindo custos e simplificando os métodos experimentais em relação à fabricação de eletrodos pelos métodos convencionais.

Agradecimentos

A coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES- pela bolsa concedida durante parte da realização deste mestrado, o que contribuiu para a viabilização desta dissertação.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq – pela bolsa concedida durante parte da realização deste mestrado, o que contribuiu para a viabilização desta dissertação.

REFERÊNCIAS

- 1 MACHADO, I. G. Desenvolvimento e produção de eletrodos revestidos para soldagem subaquática molhada. Blumenau/SC, **XXII ENTS**, p 695, 1996.
- 2 CAMERINI, S. C.; DOS SANTOS, V. R. Keynote Address from An International Offshore Industry – Underwater Welding At PETROBRAS. **International Workshop on Underwater Welding of Marine Structures**, New Orleans, USA, p 25-33, Dec, 1994
- 3 TSAI, C. L.; MASUBUCHI, K. Mechanism of rapid cooling in underwater welding. **Applied Ocean Research**. v.1, n. 2, p 99-110, 1979.
- 4 GOOCH, T. G. properties of Underwater Welds. Part 1. Procedural trials. **Metal Construction**. England, v. 8, p. 164-167. March, 1983.
- 5 STALKER, A. W. Underwater Welding for Offshore Installations. In: **Welding Institute Research on Underwater Welding**. The Welding Institute, England, p. 124-137, 1987.
- 6 NÓBREGA, A. F. **Estudo da Soldagem Subaquática Molhada com Eletrodos Revestidos**. Tese (Mestrado), Rio de Janeiro – Universidade Federal Do Rio de Janeiro, 1981.
- 7 POPE, A. M. **Oxygen and hydrogen control in shielded metal underwater welding**. Ph. D. Thesis, Colorado School of Mines, Golden, CO, USA, 1995.
- 8 LIU, S.; OLSON, D. L. The influence of inclusions chemical composition on weld metal microstructure. **J. Materials Engineering**. v. 9, n. 3, 1987.
- 9 PESSOA, E. C.P. **Estudo da variação da porosidade ao longo do cordão em soldas subaquáticas molhadas**. Tese (Doutorado) Belo Horizonte – Universidade Federal de Minas Gerais, 2007.