

SISTEMA RUTÍLICO AWS E6013 MODIFICADO: EFEITO DO TIPO DE FONTE DE ENERGIA E DA BASICIDADE DA ESCÓRIA.

Vinícius Sales Rocha
Celina Leal Mendes da Silva
Jesualdo Pereira Farias

Universidade Federal de Uberlândia, Centro Tecnológico, Faculdade de Engenharia Mecânica, 38400-902, Uberlândia, MG, Brasil. E-mail: clmsilva@mecanica.ufu.br

Resumo

Este trabalho constitui-se em parte integrante de uma linha de pesquisa que busca melhorar as propriedades mecânicas do metal depositado por eletrodos rutilicos. Esta busca foi realizada através de formulações alternativas do revestimento que aumentem a basicidade da escória. Foi avaliado o comportamento dos eletrodos em diversas condições de soldagem. Basicamente, esperou-se melhorar as propriedades mecânicas do metal depositado, principalmente a resistência ao impacto, sem perder a excelente operacionalidade típica desse tipo de eletrodo. Foram usados três tipos de eletrodos experimentais, derivados da classe AWS E6013, com dois tipos de fonte de energia (Eletromagnética e Eletrônica) com corrente alternada. Os resultados indicam que o aumento da basicidade afeta as características operacionais dos eletrodos, que também são afetadas pelo tipo de fonte.

Palavras-chave: Soldagem, Basicidade da escória, Características operacionais.

1. INTRODUÇÃO

Uma das alternativas mais promissoras para o desenvolvimento de novas formulações de revestimento, visando controlar a composição química e as propriedades mecânicas do metal depositado, é aquela que emprega a variação da basicidade da escória como meio para se obter esse fim. A basicidade da escória é extremamente importante no controle da composição química do metal de solda e da estabilidade do arco voltaico. A sua quantificação é determinada a partir do índice de basicidade de Boniszewski (Boniszewski *et al.*, 1969).

Um estudo do efeito da variação da basicidade da escória de eletrodos rutilicos AWS E6013 (Rissone, *et al.*, 1994) revelou que o aumento da basicidade da escória destes eletrodos produziu um incremento marcante na tenacidade do metal depositado, de tal maneira que as exigências internacionais da indústria naval foram satisfeitas. Ainda em 1994, Boniszewski *et al.* investigaram o desempenho desse tipo de consumível com mudanças sistemáticas no conteúdos de carbonato de cálcio (CaCO_3) no revestimento e concluíram que o incremento do teor de carbonato de cálcio leva a menores níveis de elementos residuais no metal de solda, conduzindo também a um decréscimo nos teores de silício (Si) e a ascendentes valores de tenacidade.

A composição do revestimento de um eletrodo padrão AWS E6013 foi modificado pela substituição de quartzo por wollastonita, com o objetivo de desenvolver uma série de estudos sobre a influência desse composto no teor de hidrogênio difusível, no comportamento operacional e nas propriedades mecânicas do metal de solda depositado por esses eletrodos. A influência da wollastonita no teor de hidrogênio difusível de eletrodos rutilicos AWS E6013 realizado por Rissone *et al.* (1995) teve como resultado que à medida em que se aumentou o teor de óxido de cálcio no revestimento, houve uma diminuição nos teores de silício e de oxigênio do metal de solda.

Paralelamente, Farias *et al.* (1995) estudaram a estabilidade do arco e as características econômicas dos eletrodos rútilicos AWS E6013, empregados por Rissone *et al.* (1995). Foi observado que a substituição do quartzo por wollastonita não prejudicou a estabilidade do arco.

Em 1996, Surian verificou que a adição de magnésio metálico ao revestimento de eletrodos rútilicos AWS E7024 reduziu os teores do oxigênio e de hidrogênio difusível, melhorando, conseqüentemente, a tenacidade do metal de solda. Em 1998, dando seqüência a esse estudo, Mendes da Silva (1998) investigou os efeitos do incremento do magnésio metálico sobre a estabilidade do arco e sobre as características econômicas desses eletrodos, soldando em diversos tipos de corrente, onde atesta que o magnésio metálico se apresenta como uma vantajosa alternativa como elemento desoxidante, à medida em que a sensível melhoria nas propriedades mecânicas não se mostrou acompanhada por perdas significativas na boa operacionalidade dos mesmos.

Dando continuidade a essa linha de pesquisa e visando explorar as possibilidades de aumento da basicidade dos revestimentos rútilicos, foi proposto um sistema alternativo ao AWS E6013 com adições de CaCO_3 e reduções nos teores de celulose e SiO_2 . Em publicação recente, Rocha *et al.* (1999) verificaram que o aumento da basicidade da escória causou uma redução na tensão do arco e uma melhoria na facilidade de transferência de carga elétrica tanto em corrente contínua negativa como em corrente alternada. Farias *et al.* (1999), estudaram as características econômicas e a geometria da solda desses eletrodos em corrente contínua e alternada. Verificou-se que o aumento da basicidade do revestimento de eletrodos rútilicos afeta a sua taxa de fusão e a geometria do cordão de solda. O aumento da basicidade da escória reduziu a taxa de fusão e aumentou levemente a quantidade de perdas de material por salpicagem. A largura e a penetração do cordão de solda são reduzidos com o aumento da basicidade da escória, enquanto esse efeito sobre o reforço depende do tipo de corrente.

Neste trabalho, propõe-se complementar esse estudo com a avaliação do desempenho destes consumíveis experimentais empregando-se fontes de energia de características construtivas diferentes. A primeira utiliza controle do sinal de saída exclusivamente eletromagnético e a segunda faz controle através de transistores, o que permite o ajuste da corrente de curto-circuito.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Eletrodos Experimentais

Foram empregados três tipos de eletrodos experimentais, de 4mm de diâmetro com comprimento de 350mm, que apresentam variações percentuais de carbonato de cálcio, celulose e sílica, modificados a partir do revestimento AWS E6013, com o intuito de aumentar a basicidade da escória. Os três tipos de eletrodos foram representados neste trabalho pelas letras A, B e C. A composição química da alma foi mantida constante. A Tabela 1 fornece a composição química do revestimento dos eletrodos e o índice de basicidade, IB, da escória calculado de acordo com Boniszewski (Boniszewski *et al.*, 1969).

2.2 Procedimentos de Soldagem

Soldagens de simples deposição foram realizadas com esses eletrodos na posição plana, com velocidade de soldagem constante de 17,5 cm/min em corrente alternada, utilizando corpos de prova de chapa de aço ABNT 1020 de 170x50x6 mm. Os experimentos foram realizados em um banco de ensaio para soldagem automática em duas fontes de energia. Uma fonte eletrônica multiprocessado (FI) e outra eletromagnética (FM). A aquisição de dados foi

efetuada por intermédio de um sistema computadorizado, em dois canais, com frequência de 10 kHz em 12 bits. O tempo de aquisição foi de 6 segundos, totalizando, em três repetições, 18 segundos para cada tipo de eletrodo por tipo de fonte. Os parâmetros de soldagem estão listados na Tabela 2.

Tabela 1 - Composição química do revestimento dos eletrodos (%).

Constituintes	A	B	C
Al O	4,5	4,5	4,5
K O	5,4	4,6	4,4
Mn+Fe	13,5	13,5	13,5
SiO	21,0	19,0	15,0
Celulose	7,0	2,0	0
CaCO	5,0	10,0	15,0

Tabela 2 - Parâmetros de soldagem.

Tipo de Eletrodo	Parâmetros	Tipo de Fonte	
		FI	FM
A	I (A)	160	159
B		160	161
C		160	160
A	U (V)	20	20
B		18	19
C		17	17
Vs (cm/min)		17,5	17,5

Deve-se salientar que o simulador de soldagem manual com eletrodos revestidos foi programado para soldar com o mesmo comprimento visível de arco em todos os experimentos. Logo, os diferentes valores observados na Tabela 2, para a tensão do arco, em função do aumento da basicidade da escória, devem-se, além das diferenças encontradas no efeito canhão, a uma variação nas características físicas da atmosfera do arco.

Antes da realização desses ensaios, foram feitas soldagens manuais de corpos de prova, em CA, para a determinação da composição química do metal de solda e da escória.

O estudo do comportamento do arco foi feito com base na metodologia desenvolvida por Farias (1993) que avalia a estabilidade do arco com base na transferência de carga elétrica e de metal. Através do emprego de softwares específicos determinaram-se as grandezas representativas do comportamento do arco.

A facilidade de transferência de metal foi avaliada pela facilidade da ocorrência de curto-circuito (F_{cc}) e pela facilidade de transferência da gota durante o curto-circuito (F_{tm}). Quanto maiores esses índices, maiores serão a facilidade de ocorrência de curtos-circuitos e de transferência metálica por curto-circuito. A regularidade de transferência metálica é avaliada pelos índices R_{cc} e R_{tm} que significam, respectivamente, o inverso do desvio padrão relativo do período médio de transferência (T) e do tempo médio de curto-circuito (t_{cc}). Quanto maiores esses valores maior é a regularidade de transferência de metal. Para a avaliação da facilidade de transferência de carga elétrica utilizou-se o índice B^+ , que representa o aumento médio da condutividade elétrica do espaço entre o eletrodo e a poça de fusão na mudança de polaridade para o meio ciclo positivo (Pokhodnya, 1980). Quanto maior o valor de B^+ , maior é a facilidade de transferência de carga em CA. A regularidade de transferência de carga elétrica foi avaliada a partir do inverso do desvio padrão relativo do

índice B⁺. Quanto maior esse índice, mais regular é a transferência de carga em corrente alternada.

Todos os resultados obtidos a partir dos índices descritos foram submetidos ao tratamento estatístico de análise de variância adotando-se um índice de significância de 5,0 % (Costa Neto, 1997).

3. RESULTADOS

Nas Tabelas 3 e 4 estão apresentadas as composições químicas do metal de solda e da escória. Observa-se que os objetivos principais de aumento da basicidade da escória e de redução do teor de Si do metal de solda foram alcançados com as formulações propostas. A Figura 1 ilustra o efeito da composição química do revestimento sobre o índice de basicidade da escória.

Tabela 3 - Composição química do metal de solda (%).

Eletrodo	C	Si	Mn
A	0,045	0,21	0,32
B	0,041	0,14	0,32
C	0,032	0,05	0,26

Obs.: P e S < 0,01

Tabela 4 - Composição química e índices de basicidade da escória.

	Tipo de Eletrodo		
	A	B	C
CaO	2,3	4,6	7,5
FeO	8,7	8,8	9,3
Al ₂ O ₃	4,0	4,0	3,2
SiO ₂	20,8	19,0	14,0
MgO	-	-	-
MnO	10,3	12,0	11,1
TiO ₂	51,3	49,3	52,2
Na ₂ O	0,3	0,3	0,8
K ₂ O	4,8	4,0	3,5
Índice de Basicidade	0,35	0,42	0,53

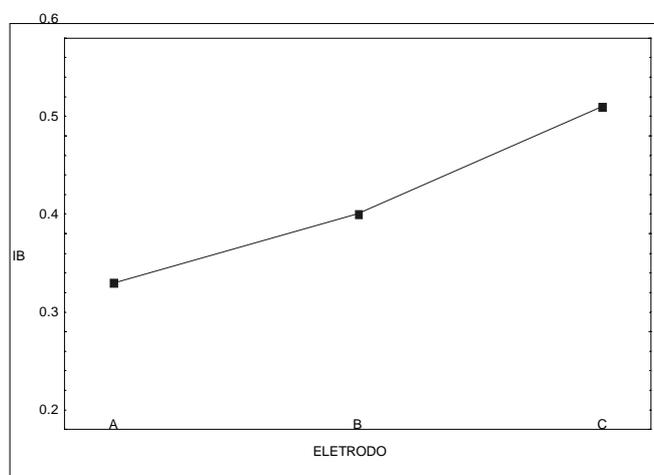


Figura 1 - Efeito do tipo de eletrodo sobre o índice de basicidade da escória.

Apesar de apresentarem características construtivas diferentes, observou-se durante os ensaios que não houve dificuldade na abertura do arco em ambas as máquinas. Atribui-se isso à boa operacionalidade dos eletrodos rutílicos. Observou-se, também, que independente do tipo de fonte de energia, ocorre uma diminuição na frequência de salpicagem acompanhada de um aumento volumétrico da gota salpicada, com o incremento da basicidade da escória dos eletrodos.

O estudo qualitativo do “campo de trabalho” das fontes é bastante pertinente. As curvas de tensão x corrente de ambas as máquinas podem ser vistas nas Figuras 2 e 3, para o eletrodo B, onde fica evidente a maior dispersão dos valores de corrente da fonte convencional. Esta apresentou valores de amperagem variando de -250 a 250 A. A justificativa para esse comportamento deve-se à grande amplitude alcançada pela onda de corrente senoidal (Figura 3), às elevadas correntes de curto-circuito e ainda ao gradiente da curva de característica estática.

Na fonte eletrônica, a variação da corrente foi bem menor, devido esta apresentar uma onda quadrada (Figura 2), diminuindo consideravelmente sua amplitude e apresentando picos de corrente menores do que a fonte convencional.

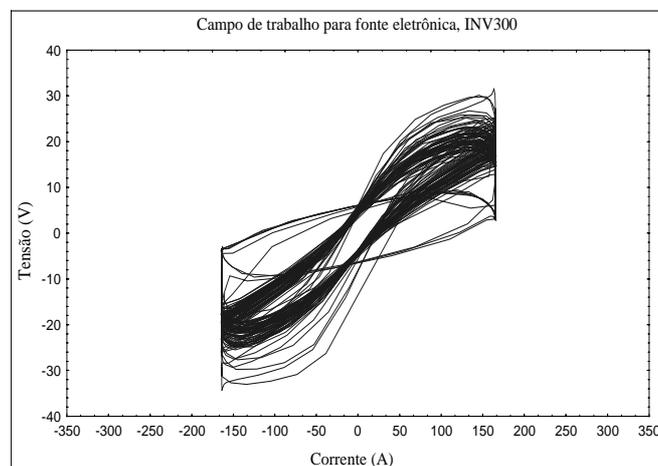


Figura 2 - Campo de trabalho para fonte eletrônica em CA, eletrodo B.

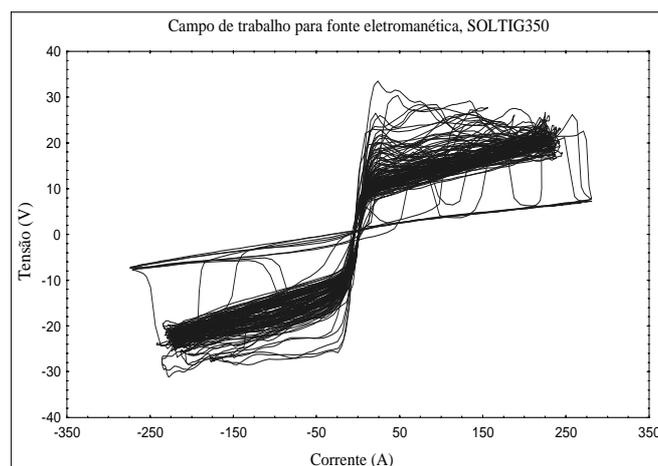


Figura 3 - Campo de trabalho para fonte eletromagnética em CA, eletrodo B.

Os dados referentes à transferência metálica e de carga para os dois tipos de fonte empregados estão indicadas na Tabela 5. A seguir, na Tabela 6, apresentam-se os resultados da análise de variância desses índices. Verifica-se que o tipo de fonte afetou apenas os índices B^+ e F_{tm} ($\alpha < 5\%$).

Com relação à transferência de carga elétrica percebe-se, pela Tabela 5 que a fonte eletrônica apresenta uma maior facilidade de reabertura do arco na mudança de polaridade (maior índice B^+). As Figuras 4 e 5 ilustram esse comportamento.

Tabela 5 - Dados da estabilidade do arco.

Tipo de Fonte	Tipo De Eletrodo	Transferência de Carga		Transferência de Metal			
		Facilidade $B^+(\Omega^{-1} s^{-1})$	Regularidade RB^+	Facilidade $F_{cc}(s^{-1})$	$F_{tm}(s^{-1})$	Regularidade R_{cc}	R_{tm}
Inversora	A	14879	2,53	11,09	117	1,73	1,81
	B	18372	3,38	7,59	112	1,72	1,98
	C	19951	4,25	4,93	92	1,78	1,87
Eletromagnética	A	3595	3,49	9,03	189	1,44	2,48
	B	3658	2,98	9,37	128	1,60	1,65
	C	3834	3,66	8,02	128	1,57	1,64

Tabela 6 - Resultados da análise de variância dos dados da estabilidade do arco.

Variável Dependente	Eletrodo	Fatores Fonte	Interação
B	0,00	0,00	0,00
RB	0,28	44,07	0,56
Fcc	2,2	31,82	9,10
Ftm	0,36	0,03	5,92
Rcc	77,99	8,08	80,33
Rtm	9,01	79,31	2,65

Obs.: níveis de significância, α , em %.

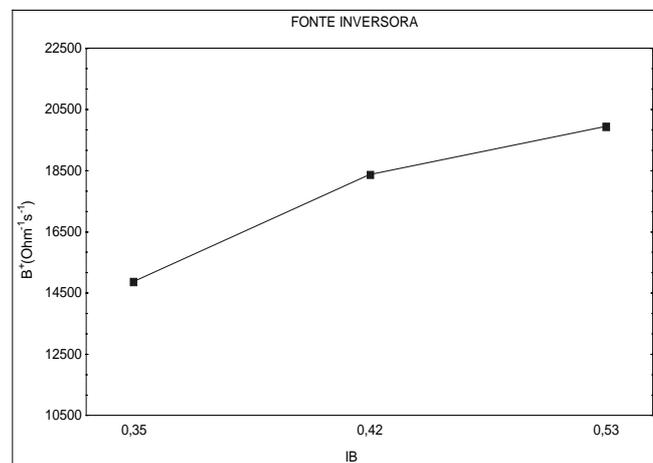


Figura 4 - Efeito do aumento da basicidade da escória sobre a facilidade de transferência de carga elétrica em CA, fonte eletrônica.

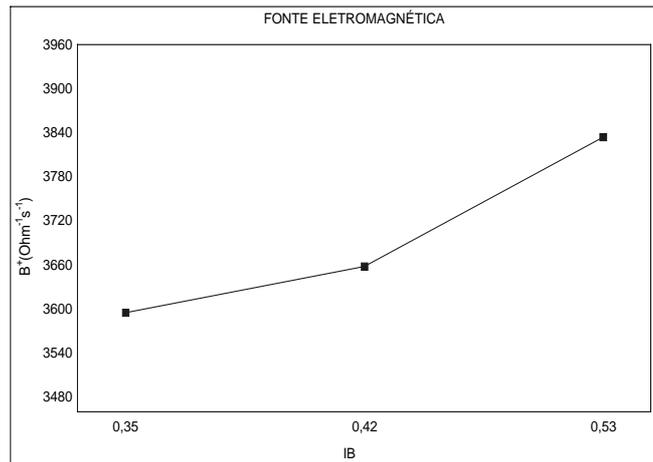


Figura 5 - Efeito do aumento da basicidade da escória sobre a facilidade de transferência de carga elétrica em CA, fonte eletromagnética.

Isso deve-se fundamentalmente ao menor tempo de reabertura do arco típico das fontes de onda quadrada. As Figuras 6 e 7 ilustram as diferenças entre os dois tipos de ondas para comportamento dinâmico das fontes eletromagnética (senoidal) e eletrônica (quadrada), onde se pode perceber que na onda quadrada (Figura 6) a mudança de polaridade é instantânea. Ao contrário da facilidade de reabertura do arco, não foram verificadas diferenças significativas entre as suas regularidades para os dois tipos de fontes como pode ser visto na Tabela 6.

Sabe-se que as fontes que possuem maiores correntes de curto-circuito facilitam a transferência da gota, diminuindo o tempo de curto-circuito (tcc), e podendo reduzir a taxa de deposição dos eletrodos pela maior salpicagem. Uma análise das Figuras 2 e 3 indica que a fonte eletromagnética apresenta correntes de curto-circuito superiores aos valores apresentados pela fonte eletrônica, o que é responsável diretamente pelos maiores valores encontrados para a facilidade de transferência de metal nesta máquina. A Figura 8 ilustra esse fato.

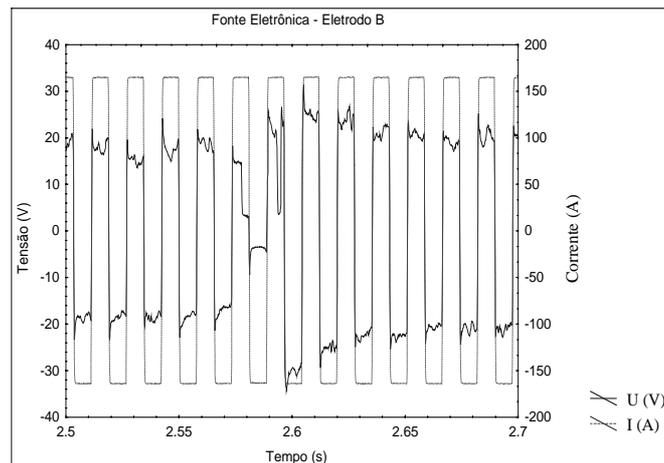


Figura 6 - Comportamento dinâmico da tensão e da corrente do arco em CA. Eletrodo B.

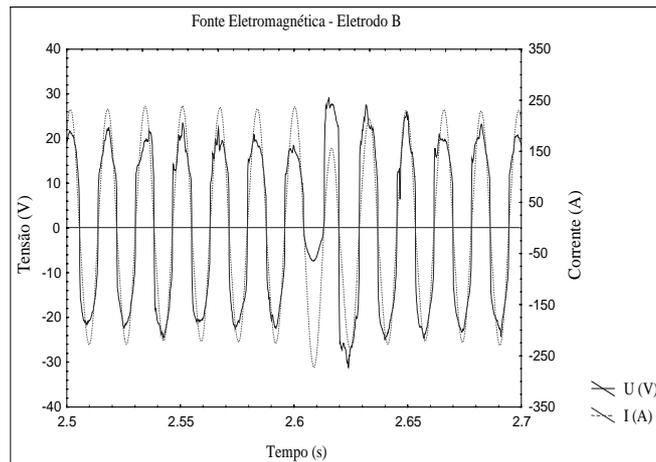


Figura 7 - Comportamento dinâmico da tensão e da corrente do arco em CA. Eletrodo B.

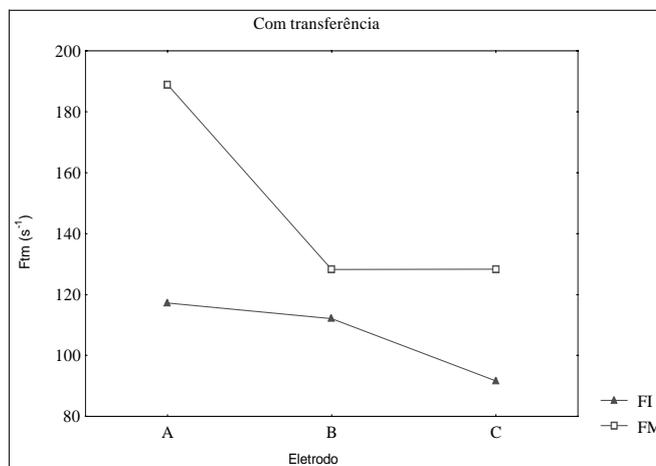


Figura 8 - Efeito do aumento da basicidade da escória sobre a facilidade de transferência de metal.

4. CONCLUSÕES

As formulações de revestimentos rutílicos propostas possibilitaram um aumento sistemático da basicidade da escória e uma relevante redução nos teores de silício do metal de solda. O aumento da basicidade da escória causou uma redução na tensão do arco e uma melhoria na facilidade de transferência de carga elétrica em ambas fontes de energia. Percebe-se ainda, a ocorrência de muitos curtos-circuitos com tendência de aumento do tempo de curto-circuito com o aumento da basicidade da escória.

O tipo de fonte exerce papel determinante sobre o comportamento do arco, destacando-se os elevados valores do índice B^+ obtidos com a fonte eletrônica, para estes eletrodos, devido à forma de onda quadrada da corrente alternada.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CONARCO S.A. pela fabricação dos eletrodos, ao CNPq e a FINEP pelo suporte financeiro para a realização deste trabalho.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Boniszewski, T., Tuliane, S. S. T. and Eaton, N. F., 1969, Notch Toughness of Comercial Submerged Arc Weld Metal. Welding Metal Fabrication, 37, pp.327-339,
- Boniszewski, T.; Evans, G. M. and Hart, P. H. M., 1994, Studies of AWS E6013 rutile electrodes. Part 1: Effects of Calcium Carbonate. IIW-IIS Doc.II-A-931-94 (II-1263-95).
- Boniszewski, T. and Evans, G. M., 1995, Studies of AWS rutile electrodes,1995, Part 2: Changes in toughness at constant strength. IIW-IIS, Doc.II-A-940-95 (II-A-1263-95).
- Costa Neto, P. L. O., 1997, Estatística, Editora Edgard Blücher Ltda, São Paulo.
- Farias, J. P.,1993, Magnésio Metálico como Componente do Revestimento na Soldagem com Eletrodos ao C-Mn-Ni. Tese de Doutorado. UFSC. Dezembro.
- Farias, J. P.; Bálsamo, P. S. S. e Scotti, A., 1995, AWS E6013 Rutile Electrodes: The Effect of Wollastonite. Part 2: On Arc Stability and Economical Characteristics. IIW-IIS, Doc.II-A-948-95
- Farias, J. P., Rocha, V. S., Mendes da Silva, C. L., Surian E., 1999, Sistema Rutílico AWS E6013 Modificado: Efeito da Basicidade da Escória Sobre as Características Econômicas e a Geometria da Solda. V Congresso Argentino de Soldadura, Buenos Aires.
- Mendes da Silva, C. L.,1998, Caracterização Operacional e Econômica de Eletrodos Rutílicos com Magnésio Metálico no Revestimento. Dissertação de Mestrado, UFPa, Junho.
- Pokhodnya, I. K. *et al.*, 1980, Study of Alternating Current Arc Stability. Arc Physics and Weld Pool Behaviour. The Welding Institute. Vol. I, Cambridge, pp. 93-99.
- Rissone, N. M. R.; Corvalán, P. and Surian, E., 1994, The Effect of the Variation of the Slag Basicity on an AWS A5.1-91 E6013 Type Electrode. IIW-IIS Doc.II-A-929-94 (II-1262-95)
- Rissone, N. M. R.; Bott, I. S.; Jorge, C. F.; Corvalán, P. and Surian, E., 1995, AWS A5.1-91 E6013 Rutile Electrodes: The Effect of Wollastonite. Part 1: On Diffusible Hydrogen, Operational Behaviour and All-weld Metal Properties. IIW-IIS, Doc.II-A-931-95.
- Rocha, V. S., Mendes da Silva, C. L., Farias, J. P., Surian E., 1999, Sistema Rutílico ANSI/AWS A5.1-91 E6013 Modificado: Efeito da Basicidade da Escória Sobre o Comportamento do Arco. XXV Encontro Nacional de Tecnologia da Soldagem, Belo Horizonte, Setembro.
- Rocha, V. S., Mendes da Silva, C. L., Farias, J. P., Surian E., 1999, Sistema Rutílico ANSI/AWS A5.1-91 E6013 Modificado: Efeito da Basicidade da Escória Sobre o Comportamento do Arco. XXV Encontro Nacional de Tecnologia da Soldagem, Belo Horizonte, Setembro.
- Surian, E.: The Effect of Magnesium on AWS E7024 SMAW Electrode Properties. IIW-IIS, Doc.II-A-994-96.