

ESTUDO DA INFLUÊNCIA DE ELETRODOS REVESTIDOS NAS CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS E METALÚRGICAS DAS JUNTAS SOLDADAS PELO PROCESSO SMAW

Bruno Eduardo Souza Silva, eduardobruno2007@bol.com.br¹
Wanderley Xavier Pereira, wperreira@varginha.cefetmg.br¹

CEFET-MG – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais- Campus VIII – Varginha, Av. Presidente Antônio Carlos, 356 – Centro – CEP 37002000 - Varginha –MG

Resumo: O presente trabalho busca um estudo da influência de cada um dos três tipos principais de eletrodos revestidos Rutilico AWS E6013, Básico AWS E7018 e Celulósico AWS E6011 para o processo SMAW, através das respostas Penetração, Diluição, Índice de Convexidade, e Área da ZTA, que caracterizam Resistência, qualidade Geométrica e Metalúrgica das juntas soldadas. O estudo se deu para o aço estrutural A36, sendo que soldagem foi de simples deposição, sobre uma chapa plana para cada um dos eletrodos. Os parâmetros de ajustes operacionais foram a Corrente, Comprimento do Arco e Polaridade, sendo que cada uma das condições experimentais foram replicada 4 vezes. Após as soldagens os corpos de provas foram preparados para a macrografia, fotografados e analisados, fornecendo conclusões bem pertinentes à literatura, sendo as principais: Os eletrodos com revestimentos Básico garantiram uma melhor qualidade do cordão, e uma menor área de ZTA; Os eletrodos Rútilicos provocaram menor penetração, quando comparado aos Básicos, embora apresentando uma maior Diluição; Os eletrodos E 6011 apresentaram uma maior Penetração e Diluição quando comparados aos demais. O eletrodo que produziu a maior qualidade de cordão, mensurada pelo índice de convexidade foi E7018.

Palavras-chave: Soldagem, Qualidade Geométrica, ZTA, Eletrodos Revestidos

1. INTRODUÇÃO

O processo de soldagem com eletrodo revestido (SMAW) é um processo no qual a fusão do metal é produzida pelo aquecimento de um arco elétrico, mantido entre a ponta de um eletrodo revestido e a superfície do metal de base a ser soldada (Marques, 2005). Em função da aplicação de grande quantidade de energia sob a forma de calor surgem alterações das propriedades do material, nem sempre benéficas às propriedades físicas e metalúrgicas da junta soldada, tais como excesso de fusão, deformações plásticas, geração de fases Martensíticas e Bainíticas que fragilizam o material.

Para Brandi (1998), o eletrodo revestido é formado por uma vareta metálica, denominada de alma, trefilada, que conduz a corrente elétrica e fornece o metal de adição para junta de soldagem. A alma é recoberta por uma massa formada pela misturas de diferentes materiais, o qual apresentam diferentes funções na soldagem como aprimoramento da composição química do cordão pela adição de elementos de ligas, a proteção da zona fundida dos gases atmosféricos, agregar características operacionais, mecânicas e metalúrgicas ao processo e à junta soldada. (Leonello, 2005).

Segundo (Marques, 2009) durante a soldagem, o arco e a poça fundida são protegidos por uma atmosfera gasosa formada a partir da queima dos revestimentos dos eletrodos e da decomposição de seus constituintes, que muitas vezes formam um escória líquida de densidade menor que a do metal fundido, protegendo a poça fusão. Ao término da operação de soldagem a escoria líquida se solidifica sendo que a mesma deve ser removida (Santos, 1995). Os eletrodos são classificados segundo os compostos e a proporção que as materiais primas se encontram nos revestimento, sendo os principais Rutilico, Básico e Celulósico (Machado, 1996). Segundo Santos (1995) estes eletrodos possuem as seguintes características: Os eletrodos Rutilicos apresentam a alta proporção de Rutila (TiO_2), caracterizando uma proteção essencialmente por escória, é de fácil acendimento e manutenção de arco, com pouco respingos, baixa e média penetração, acabamentos planos dos filetes de soldagem. Os eletrodos Básicos apresentam alta proporção de $CaCO_3$ e CaF_2 , gerando uma proteção mista (gases e escória), depósito de alta qualidade e baixo hidrogênio, valores próximos a 5 ml/100g, quando com secagem e conservação adequadas, escória de alta tensão superficial, favorecendo soldagens fora de posição, é aplicado em soldagens de alta responsabilidade, em estruturas rígidas, por possuir um mínimo de risco de fissuração a frio e a quente. Os eletrodos Celulósicos apresentam grandes quantidades de substâncias orgânicas (30 a 40% de $C_6H_{10}O_5$), produz grandes quantidades de gases, caracterizando uma

proteção essencialmente gasosa, alta tensão de arco, alta penetração e baixo volume de escória, acabamento do cordão ruim e muitos respingos.

Dentre os processo de soldagem a soldagem a arco por eletrodo revestido é o mais utilizado, em função da sua versatilidade, principalmente para soldagem de aços. Embora seja amplamente utilizado, na maioria das vezes este processo é utilizado por operadores que desconhecem os efeitos e transformações metalúrgicas que impõe a peça podendo comprometer a qualidade da junta assim com o custo operacional Leonello (2005). Autores como Brandi (1988) e Qites (2002) estudaram e comprovaram que as características das transferências metálicas são influenciadas pelo revestimento, pelo comprimento do arco, pela polaridade, posição e corrente de soldagem.

Para as características geométricas dos cordões soldas, Farias (1993), afirma que a mesma é caracterizada principalmente por sua largura, pelo reforço, pela Diluição, pela Penetração e pela convexidade. Diante deste cenário este trabalho propõe um estudo que apresente a influência de cada um do três tipos principais de eletrodos revestidos para o processo SMAW, através das respostas Penetração, Diluição e Índice de Convexidade, e Área da ZTA, que caracterizam Resistência, qualidade Geométrica e Metalúrgica das juntas soldadas.

2. DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL

Para atender aos objetivos propostos por este trabalho elaborou-se um bancada de ensaios constituída de mesa de soldagem, fonte de energia (Retificadora Mod. 256 da ESAB) com controle do nível de corrente de soldagem, cabos, porta-eletrodo. Figura 1

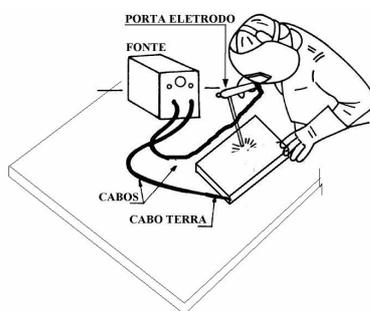


Figura 1: Esquema da bancada de ensaio do processo de soldagem com eletrodo revestido

Os corpos de prova foram extraídos de uma chapa aço A36 de esp = 5/8" com dimensão 200 x 100 mm. A soldagem foi de simples deposição, ou seja, um cordão sobre uma chapa plana para os três tipos diferentes de eletrodos, Rutílico AWS E6013, o Básico AWS E7018 e o Celulósico AWS E6011, todos com 3,25 mm de diâmetro.

Para cada um deles foram executados 5 procedimentos de soldagens, nos seguintes parâmetros operacionais, conforme apresenta a tabela 1 abaixo:

Tabela 1: Parâmetros operacionais dos eletrodos

Eletrodo	Polaridade	Corrente (A)	Comp. Aprox. do Arco (mm)
AWS E6013 Rutílico	CC+	120 ± 10	4
AWS E7018 Básico	CC+	120 ± 10	4
AWS E6010 Celulósico	CC+	120 ± 10	4

A manutenção do comprimento do arco no valor de 4mm foi buscada através de um dispositivo de uma cantoneira com uma dobra nesta altura ao lado dos corpos de provas soldadas, em que soldador buscou posicionar a extremidade de eletrodo o mais próximo possível, entretanto não se pode garantir que este valor atuou com uma constante mas provavelmente como variável aleatório. Após a soldagem os corpos de prova foram preparados para a macrografia, ou seja, as juntas soldadas foram seccionadas a frio, lixadas, atacadas quimicamente e por fim fotografadas, para as análises de Penetração, Diluição, Convexidade e Área da ZTA. A figura 2 apresenta uma foto de um corpo de prova já preparado.

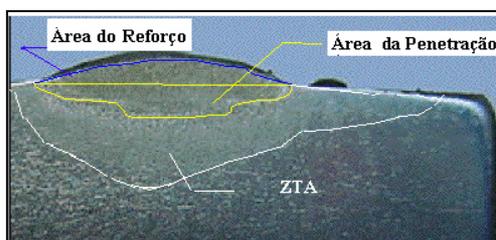


Figura 2: Foto do corpo de prova com demarcação das áreas

As fotos foram realizadas em conjunto com um elemento de dimensão conhecida para que fosse possível dimensionar as áreas referentes à penetração (p), ao reforço (r), a largura do cordão (b) conforme mostrado na **Figura 3**.

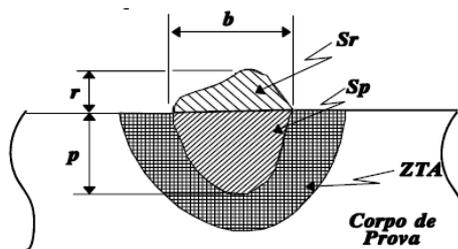


Figura 3: Esquema do corte transversal do cordão de solda. (Adaptado de, Leonello, 2005)

Estas áreas foram necessária para a determinação da diluição (D) e do Índice de convexidade (I_c), conforme a seguintes relações:

$$D = \frac{S_p}{S_p + S_r} * 100(\%) \quad (1)$$

$$I_c = r/b * 100 (\%) \quad (2)$$

3. ANÁLISES DOS RESULTADOS

Antes da apresentação dos resultados é válido ressaltar que em termos de padrão de qualidade aceitáveis para a geometria do cordão de solda é desejável maximizar sempre o valor da penetração (S_p) e da diluição (D) e já em relação ao índice de convexidade (I_c), Silva (2000) atesta que valores entre 20 e 30% representam boas condições para a relação largura e reforço do cordão.

A tabela 2 mostra os resultados obtidos para a penetração (p), para a diluição (D) e para o Índice de convexidade (I_c) para os três tipos de eletrodos estudados.

Tabela 2: Resultados obtidos para os três tipos de eletrodos

Eletrodo Tipo	Penetração (mm)	Diluição (D) %	Índice de Convexidade (IC) %	Área da ZTA (mm ²)
AWS 6013	0,97	39	20	33
AWS 6013	1,25	46	19	39
AWS 6013	1	41	22	35
AWS 6013	1,2	43	18	42
AWS 6013	1,3	36	15	45
Média	1,15	41	18,8	38,8
AWS 7018	1,35	33	21	22,3
AWS 7018	1,5	37	24	24,2
AWS 7018	1,3	26	21	19,9
AWS 7018	1,25	28	27	27,5
AWS 7018	1,33	24	22	18,9
Média	1,35	29,6	23	22,55
AWS 6010	3,1	79	9	110,1
AWS 6010	2,7	69	10	86,3
AWS 6010	3	71	12	103,4
AWS 6010	2,9	75	15	93,5
AWS 6010	2,3	77	12	69,4
Média	2,8	74,2	11,6	92,54

Dos resultados observados na tabela 2 para a Penetração e ZTA percebe-se uma coerência com literatura mostrando que os eletrodos celulósicos apresentaram grande penetração e grande área de ZTA, quando comparados ao Rutílico e ao Básico, pois segundo Quites (2002), os eletrodos celulósicos geram uma atmosfera de arco constituída principalmente de CO, CO₂ e hidrogênio, o que aumenta em muito a tensão do arco. E ainda observa-se que o eletrodo Básico apresentou uma penetração um pouco maior ao do Rutílico (cerca de 20%), e uma ZTA um pouco menor caracterizando um arco com uma atmosfera mais pobre em Oxigênio e hidrogênio, fazendo com este perca um pouco da agressividade, mas em contrapartida o metal de solda foi envolvido em uma atmosfera com menores teores de oxigênio e hidrogênio o que leva a aumento de tenacidade na junta soldada. Por causa destas características os eletrodos Básicos se prestam bem à soldagens de responsabilidade em estruturas rígidas ou em materiais temperáveis, para que as transformações metalúrgicas, ou seja, geração de fases duras com a Bainita e Martensita sejam minimizadas.

Para facilitar a observação dos resultados para a diluição e do Índice de Convexidade elaborou-se um gráfico com os valores médios destas respostas (figura 4).

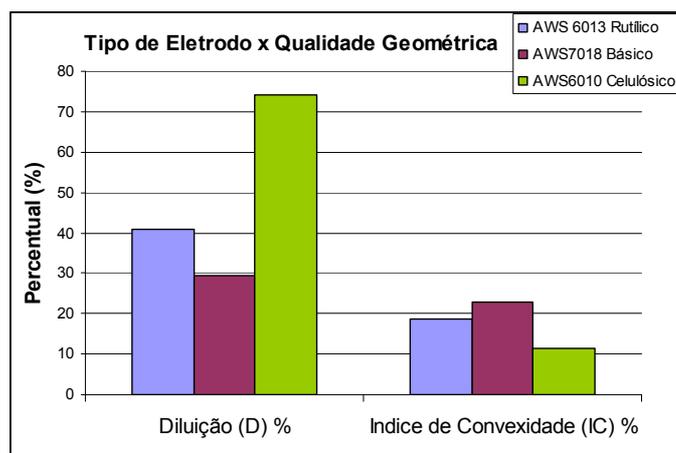


Figura 4.: Gráfico dos valores médios da Diluição e IC.

Do gráfico da figura 4, observa-se claramente que o eletrodo celulósico gera uma grande diluição, muito provavelmente pelo mesmo motivo da sua alta penetração, conforme discutido anteriormente. E já em relação aos eletrodos Rutílico e Básico observa-se um comportamento oposto, pois o eletrodo Rutílico que gerou menor penetração agora provocou maiores valores de diluição, muito provavelmente isto se deu pelo fato de ter havido uma irregularidade entre o crescimento das áreas de reforço e da penetração (que são os parâmetros da equação da diluição), de forma que houve um maior crescimento percentual da área de reforço (S_r) em relação a área de penetração (S_p) para o eletrodo Básico. A irregularidade citada acima deve ter sido consequência da combinação entre parâmetros corrente e velocidade de consumo, demonstrando que nestas condições o eletrodo básico deposita mais metal em cima da peça do que penetra, levando a uma conclusão ou confirmação de que nem sempre uma maior penetração garante uma maior diluição.

Para o Índice de convexidade, que estabelece uma relação da largura e do reforço do cordão, e que os valores que apontam a uma qualidade desejável está entre 20 a 30%, pôde observa-se do gráfico da figura 4 e da tabela 2 que o eletrodo Básico apresentou a melhor qualidade com valores sempre acima de 20% e menores que 30%, sendo seguido pelo Rutílico que apresentou valores próximos de 20%, tal fato também pode ser explicado pela crescimento percentual maior da área do reforço e da estabilidade do arco quando soldado pelo eletrodo Básico. E como era de se esperar as soldagens executadas como o eletrodo celulósico provocou uma pior qualidade geométrica, em função da grande energia gerada pela sua atmosfera gasosa e da grande tensão que gera maiores penetração e menores áreas de reforço, o que é caracterizado também por uma maior instabilidade do arco.

4. CONCLUSÕES:

Com base nos resultados obtidos por processos similares aos utilizados neste trabalho, pode-se concluir que:

- Os revestimentos influenciam de forma significativa na qualidade geométrica e metalúrgica do cordão assim como a penetração;
- Os eletrodos Celulósicos apresentaram uma maior Penetração e Diluição quando comparados aos Rutílicos e aos Básicos;

- Os eletrodos Básicos apresentaram uma maior penetração quando comparado ao rutilico, porém com uma área de ZTA menor;
- Os eletrodos Rutilicos provocaram menor penetração, quando comparado aos Básicos, embora apresentando uma maior Diluição;
- O eletrodo que produziu a maior qualidade de cordão, mensurada pelo índice de convexidade foi o Básico.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Brandi, S.D., Análise da Transferência Metálica na Soldagem arco Elétrico com Eletrodo Revestido. Tese de Mestrado, USP.1988
- Farias, J.P. , Dutra, J.C. “Efeito do Tipo de Fonte de Energia Sobre a Estabilidade do Arco de Eletrodos Revestidos, XII Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica - COBEM. 1993
- Leonelo, A. Costa, S.C. “Análise da Influência dos Parâmetros do Processo de Soldagem na Estabilidade do Arco e Características Geométricas do Cordão.” Dissertação Mestrado. UNIFEI 2005.
- Machado, I.G. “Soldagem e Técnicas Conexas” Ed. Porto Alegre, 1996
- Marques, P.V., Modenesi, P.J, Bracarense, A. Q. “Soldagem- Fundamentos e Tecnologia”. Ed UFMG, 3ª Ed. 2009
- Quites, A.M. “Introdução à Soldagem a Arco Voltaico”. Florianópolis, Ed. Soldasoft. 2002
- Santos, M.G. “Metodologia para Comparação entre Fonte Inversora e Eletromagnética para Eletrodos Revestidos”. Dissertação de Mestrado, UFU, 1995
- Silva, C.R. et. al. A quality and Cost Approach For Welding Process Selection”, Journal of the Braz. Soc. Mechanical Sciences, vol. XXII, no. 3, pp. 389-398, 2000.

6. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso neste trabalho.

STUDY OF THE INFLUENCE OF COVERED ELECTRODES IN THE GEOMETRIC CHARACTERISTICS AND METALLURGIC OF THE SOLDERED BY THE PROCESS SMAW

Bruno Eduardo Souza Silva, eduardobruno2007@bol.com.br¹
Wanderley Xavier Pereira, wpereira@varginha.cefetmg.br¹

CEFET-MG – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais- Campus VIII – Varginha, Av. Presidente Antônio Carlos, 356 – Centro – CEP 37002000 - Varginha –MG

Summary: *The aim of this was presents a comparative analysis of the each the three different types of covered electrodes, AWS E6013, AWS E7018 and AWS E7018, for the process of it weld SMAW, through the answers Penetration, Dilution, Convexity Index (CI), and Area of ZTA, that characterize Resistance, Geometric quality e metallurgic of the soldered. The study went to the structural A36, and the weld accomplished it was of bead on plate, for each one of the covered electrodes, The parameters of operational controls were the Current, Length of the Arch and Polarity, and each one of the experimental conditions was repeated 4 times. After the weldins the Specimen test were prepared for observation of the macrostructure, photographed and analyzed, Generating conclusions similar to the one of the literature, being the main: The types of covered electrodes influence in a significant a lot of way in the geometric characteristics and metallurgics of the weld bead . The electrodes AWS E 7018 guaranteed a better quality of the bead , and a smaller area of ZTA; The The electrodes AWS E6013 provoked smaller penetration, when compared to the E 7018, although presenting a larger Dilution; the electrodes E 6011 presented a larger Penetration and Dilution when compared to the others and The electrode that produced the largest string quality, answered by the Convexity Index (CI) was E7018.*

Keywords: *Welding, Geometric quality, ZTA , covered electrodes*