

## **ANÁLISE DA QUALIDADE E DO RENDIMENTO PARA UM PROCESSO AUTOMÁTICO DE SOLDAGEM POR ELETRODO REVESTIDO**

**Leonello, Antenor Filho**

**UNIFEI – Universidade Federal de Engenharia de Itajubá-MG, Depto de Produção**

**Av. BPS, 1303 – Itajubá-MG – CEP 37.500.000**

**e-mail: [conchalito@uol.com.br](mailto:conchalito@uol.com.br)**

**Costa, Sebastião Carlos**

**UNIFEI – Universidade Federal de Engenharia de Itajubá-MG, Depto de Produção**

**Av. BPS, 1303 – Itajubá-MG – CEP 37.500.000**

**Pereira, Wanderlei Xavier**

**Centro Universitário do Sul de Minas – UNIS – Varginha – MG**

**Resumo.** Neste trabalho é proposto uma análise do comportamento da qualidade da solda, rendimento e índice de variação em relação à energia de soldagem para um processo automático de soldagem por eletrodo revestido especialmente desenvolvido para este fim. A análise foi realizada para três diferentes classes de eletrodos revestidos, rutílico, básico e celulósico, AWS E 6013, AWS E7018 e AWS E6010, respectivamente. Foram realizadas 16 soldas para cada um dos 3 tipos de eletrodo, sendo 8 em polaridade + e 8 em negativa (-), pois a energia foi experimentada em 8 níveis em função da variação dos parâmetros corrente, comprimento do arco. As principais conclusões foram:

**Palavras-chave:** Coeficiente de variação (CV), Energia, Qualidade de soldagem, Índice Convexidade(CI)

### **1. INTRODUÇÃO**

Nos últimos anos, grandes tem sido os esforços e os avanços na melhoria da qualidade e na redução do tempo nos dos processos de soldagem. Os processos de soldagem como os outros processos de fabricação necessitam de uma combinação bem elaborada de seus parâmetros para que se tenha um bom desempenho. Dentre estes fatores pode-se citar por exemplo para o processo de soldagem por eletrodo revestido, o comprimento do arco, corrente, polaridade, velocidade de soldagem e o tipo de material que são importantes para obtenção de soldas de qualidade tanto superficial quanto de penetração (resistência da solda). Além destes fatores, o tipo de transferência metálica envolvida na soldagem influencia também na qualidade da solda. Segundo Brandi (1992) e Quites (1979), a transferência metálica é influenciada pelo revestimento do eletrodo, pelo comprimento do arco, pela polaridade, pela corrente e posição de soldagem

Outro fator importante é a classificação da fluidez da escória, que influencia no tamanho da gota, ou seja, quanto mais fluida for a escória produzida, menor o tamanho da gota. Assim, eletrodos com revestimento ácido possuem escória mais fluida que os rutílicos e estes que os básicos. Desta forma,

eletrodos ácidos têm transferências predominantes por pulverização (spray), enquanto que escórias básicas têm predominância por transferência por curto circuito.

Assim sendo, o modo de transferência metálica que está ocorrendo durante a solda está diretamente associada à qualidade da solda.

O Coeficiente de variação da tensão (CV) é um importante índice estatístico para análise de sinais flutuantes e mede a dispersão dos dados aquisitados em relação à média. Quanto menor for o seu valor, menor será a dispersão dos dados em relação à média. Portanto, um resultado ideal significa ter uma dispersão em relação à média muito pequena, o que significa dizer que a curva é estável, não tendo grandes oscilações e diferenças de amplitude e deste modo o CV tenderia a zero, que é o ideal (Costa, S.C. 1999). No caso da soldagem, de posse da característica dinâmica da tensão, que representa melhor a variação do comportamento do arco que a corrente, tal análise poderia ser feita para se avaliar a soldagem utilizando diferentes eletrodos, onde um menor CV (razão entre o desvio padrão e a média dos valores aquisitados) certamente garante uma melhor estabilidade do arco. Este parâmetro será utilizado neste trabalho como indicativo da eficiência do equipamento, comparativamente à soldagem manual, utilizando-se condições de soldagem bastante próximas.

O rendimento de soldagem aliado à qualidade do cordão de solda são determinantes na apuração do custo final de soldagem, aliado a outros índices como salienta Silva et all (2000). Este autor comenta ainda a dificuldade de se determinar quantitativamente a qualidade da solda, e propõe a determinação da qualidade através do *Convexity Índice (CI)*, que é definido como uma relação entre a altura e largura do reforço do cordão de solda. E tanto o rendimento como o CI serão objetos de estudo neste trabalho os quais serão analisados em conjuntos com o coeficiente de variação (CV), área de penetração para os eletrodos rutílico, básico e celulósico (AWS E 6013, AWS E7018 e AWS E6010, respectivamente) para as polaridades CC+ e CC- em função da energia de soldagem.

Espera-se com este trabalho contribuir através de um processo de soldagem automático com eletrodos revestidos na obtenção dos melhores parâmetros: estabilidade do arco, rendimento e qualidade da solda em função da energia de soldagem.

## 2. METODOLOGIA DE ANÁLISE UTILIZADA PARA AVALIAÇÃO DE SOLDAGENS

A metodologia empregada para avaliação de soldagens se deu inicialmente através da técnica de análise baseada no Índice de Convexidade (apresentada por Silva, 2000) como ferramenta de determinação da qualidade de soldagem conforme (2000) e os demais parâmetros investigados são descritos a seguir

O rendimento foi calculado dividindo-se a Potência ( $V \times I$ ) pelo CR (consumo real do eletrodo kg/s).

Foram realizadas 16 soldas para cada um dos 3 tipos de eletrodo, sendo 8 em polaridade + e 8 em negativa (-), pois a energia foi experimentada em 8 níveis em função da variação dos parâmetros corrente, comprimento do arco. A tabela 1 apresenta as faixas dos valores utilizados na determinação dos parâmetros de qualidade, rendimento, estabilidade do arco. Vale ressaltar que os valores das respostas foram agrupados em torno de uma faixa de energia, de modo que vez uma media de cada um destes grupos.

Tabela 1: Faixas dos valores das variáveis estudadas

Variáveis	Valor Mínimo	Valor Máximo
Polaridade	-	+
Comprimento do Arco	2 mm	6 mm
Corrente	60 A	140 A
Velocidade	1,667 mm/seg	2,333 mm/seg

## 2.1. Banco de Testes

Para a obtenção do coeficiente de variação (CV) e os demais do Coeficiente de variação e demais dados laboratoriais , foi desenvolvido um protótipo de máquina de soldagem para eletrodos revestidos, conforme fig. 1.

A máquina de soldagem automática é composta por um motor de corrente contínua de 12V com redutor de 1:40 acoplado (Figura 1), um alicate porta eletrodos e uma fonte de tensão variável de 0 a 25 V com ajuste fino para controle de velocidade do motor de 12V.

Foi utilizado um sistema de aquisição de dados para monitorar as variáveis de tensão e corrente de soldagem. Para registrar estes valores, o sistema foi conectado a um divisor resistivo que transformará a tensão a ser medida (na faixa de 10 a 70V) em uma tensão menor que 5 Volts permitidos na entrada do conversor AD (análogo digital). Além disso, o sinal vindo do divisor resistivo também passará por um amplificador diferencial com a finalidade de rejeitar ruídos e acondicionar o sinal. Para se medir a corrente de soldagem foi utilizado um sensor por efeito Hall além de um amplificador diferencial por sua característica de alta rejeição a ruídos.

O sistema possui um gerador de FFT e filtros digitais que permite realizar atenuações de ruídos externos. A utilização de FFT permite decompor o sinal amostrado em suas componentes harmônicas, isto é, senóides e cossenóides de diversas freqüências. Feita esta decomposição podemos então através do espectro de freqüências do sinal amostrado proceder à avaliação dos sinais elétricos no domínio da freqüência. A técnica FFT permite a implementação de filtros digitais para posterior atenuação das freqüências indesejáveis e aplicação da transformada inversa para reconstituição do sinal no tempo.

As soldagens foram do tipo simples deposição em corpos de prova de 150x40x12.5mm. O procedimento utilizado foi colocar os corpos de prova sobre o carrinho tipo tartaruga (Fig.1) e variar sua velocidade em 2,333 m/s. A aquisição dos dados de tensão e corrente era iniciada quando o comprimento do arco encontrava-se, na projeção, em 2 ou 6mm.

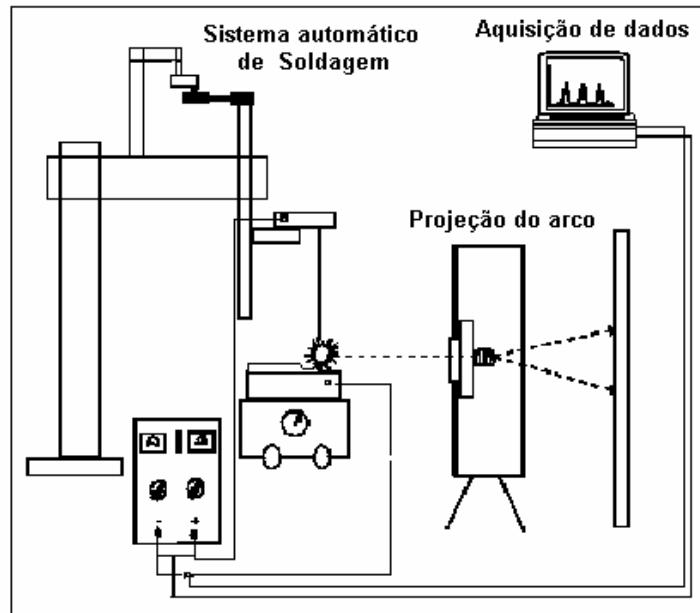


Figura 1: Banco de ensaios

A figura 2 apresenta a metodologia para determinação tanto para a área do reforço como no cálculo do índice convexidade (CI). Para este propósito foi utilizado recursos do Auto Cad R14 através de foto digital.

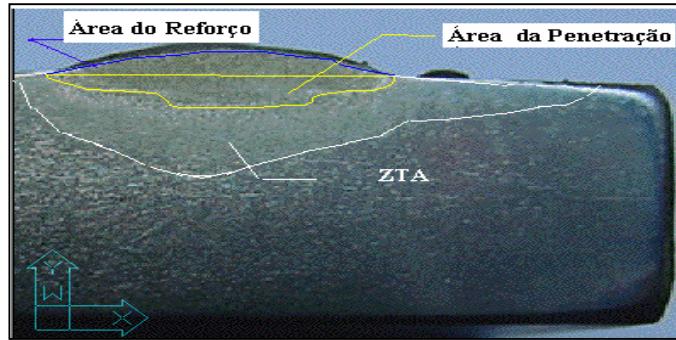


Figura 2: Perfil da Solda e demarcações das áreas (reforço, penetração e ZTA) de um corpo de prova

#### 4. RESULTADOS OBTIDOS E ANÁLISES

Na análise do índice de convexidade CI que é uma resposta da qualidade do cordão de solda, os resultados em função dos níveis de energia estão sumarizados na figura 3.

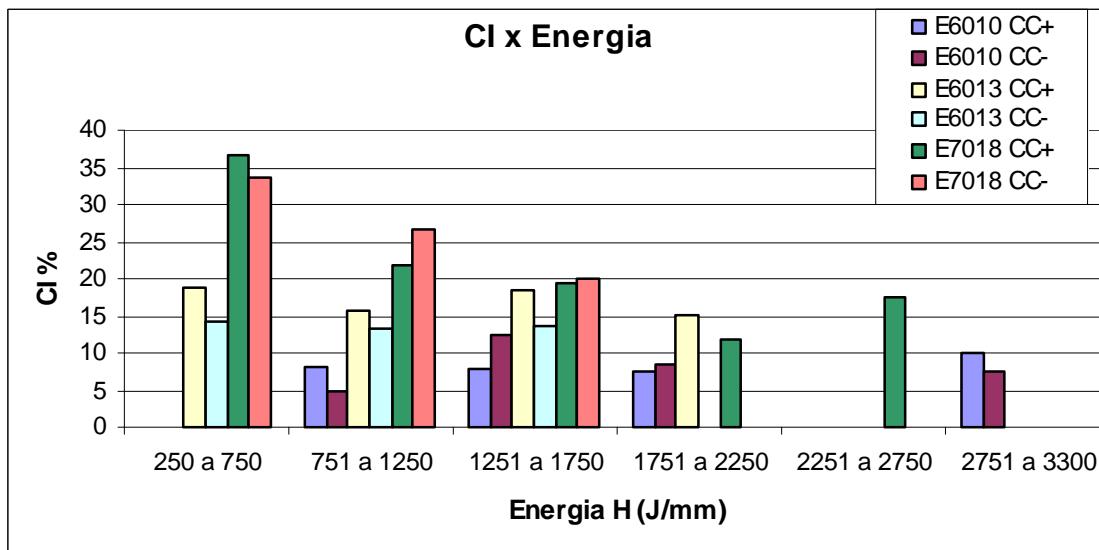


Figura 3: Índice de convexidade em função da energia e soldagem

Da figura 3 nota-se para este processo automático de soldagem que nos níveis de energia de 250 a 750 (J/mm) apenas com os eletrodos E6013 e E7018 (revestimentos rutílico e básico, respectivamente) consegui-se solda com boa qualidade, pois segundo Scott (2000) valores de CI menores que 30% implicam em solda de boa qualidade. Entretanto a partir de 751 (J/mm) os eletrodos com revestimento celulósico (E6010) foram os que apresentaram os menores valores de CI consequentemente as melhores qualidade de solda. E ainda que para níveis de energia maiores os eletrodos com revestimentos rutílico não apresentaram resultados, ou seja, não foi possível uma solda de qualidade. Resumidamente pode-se dizer que este processo gerou boa qualidade quando medido através do parâmetro CI. (Silva, 2000).

Na segunda fase dos ensaios analisou-se o rendimento da soldas em função da energia para estabelecer uma comparação com a qualidade do cordão de solda. A figura 4 mostra os rendimentos dos 3 eletrodos estudados nas polaridades CC+ e CC-. De forma que este gráfico ilustra em que condições de soldagem (combinação de parâmetros) obtém-se os melhores rendimentos e as melhores

qualidades de forma de que possa ser utilizado como referência na seleção nos melhores parâmetros de soldagem para condições similares. Por exemplo, se for necessário a utilização de uma soldagem com o eletrodo E 7018 (solda de maior penetração) poderíamos selecionar a uma faixa de energia de 750 a 2750 (J/mm) na polaridade CC+ que se alcançaria um bom compromisso de qualidade e rendimento

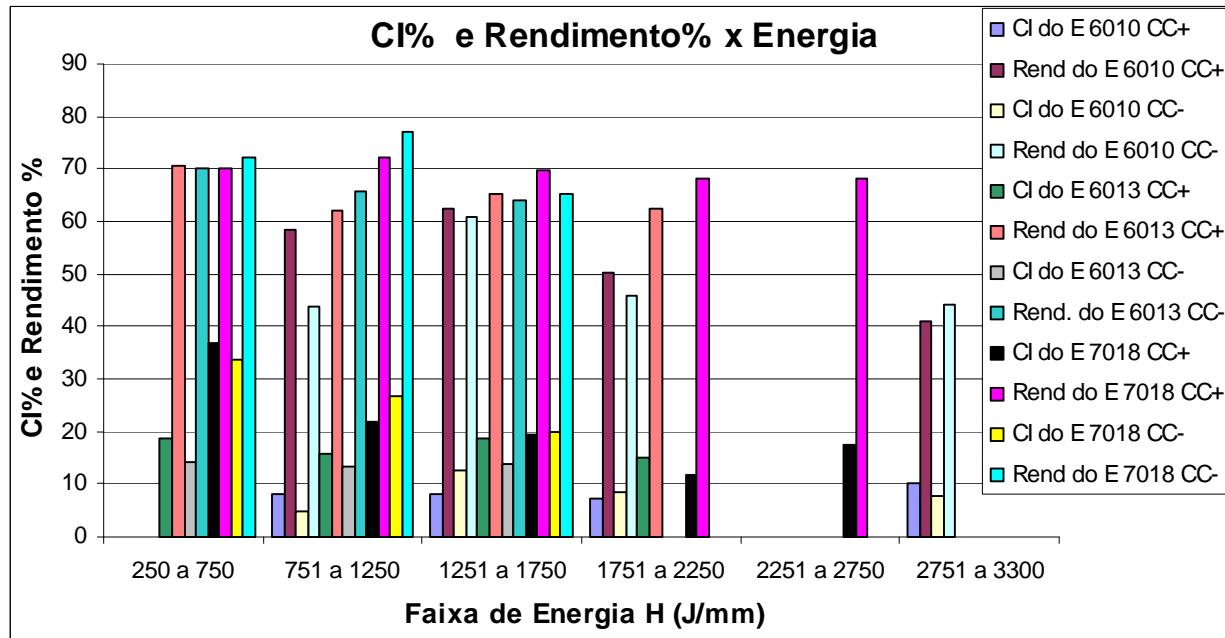


Figura 4: Rendimento e CI em função da energia para os 3 tipos de eletrodos.

Na terceira etapa dos ensaios procurou-se analisar a dispersão dos resultados através no coeficiente de variação da tensão de soldagem (CV) para os três eletrodos estudados. A figura 5 apresenta estes valores em função da energia.

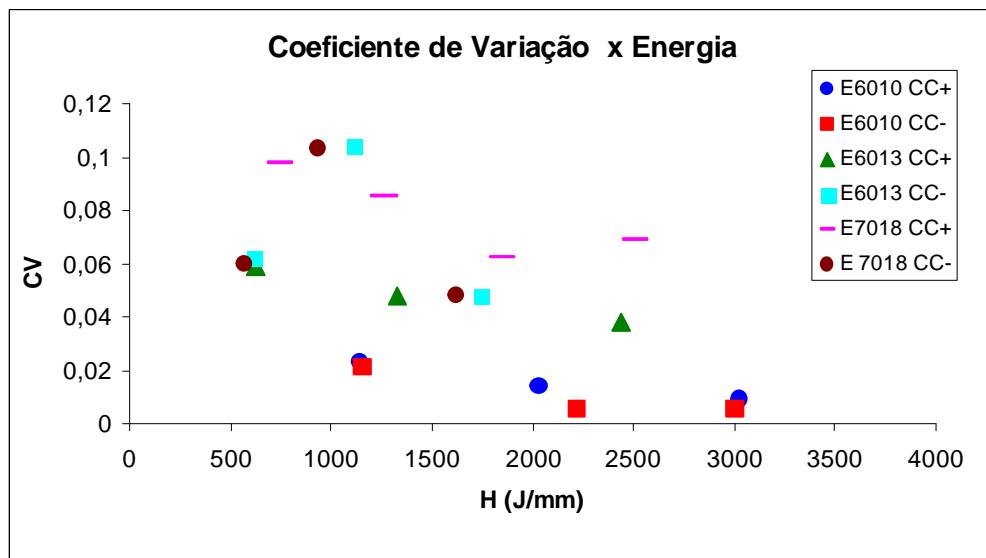


Figura 5: Coeficiente de variação em função da energia

Da figura 5 pode-se observar que os eletrodos utilizados geraram arcos estáveis em função do baixo valor do CV, quando comparados com operações manuais que contemplam condições de soldagem próximas a estas, ou seja, mesmos eletrodos e semelhantes parâmetros de soldagem, como já

concluído por (Costa, S.C. Cobem 99) comprovando desta forma que o processo por eletrodo revestido pode ser automatizado sem perdas na qualidade e estabilidade do arco. O gráfico da figura 5, CV x H é apenas indicativo, não podendo ser utilizado na comparação entre eletrodos com diferentes parâmetros de soldagem e diferentes tipos de transferências metálicas. O eletrodo celulósico (E6010) foi o que apresentou menor valor comparativo para o CV. Este resultado contrariou o que se esperava, porém, podemos justificá-lo pelo tipo de transferência metálica que caracteriza este tipo de eletrodo, que por ser uma transferência tipicamente por spray gera em consequência no arco voltaico uma maior estabilidade. Deste modo o desvio padrão das tensões de soldagem é pequeno e consequentemente seu coeficiente de variação também. Vale ressaltar, entretanto o desempenho obtido para o eletrodo E6010 nas duas polaridades, na prática tal eletrodo não é recomendado para soldagens em CC-, já que em função do comportamento na transferência por spray, observa-se uma excessiva formação de salpicos não permitindo ao soldador um bom controle do arco voltaico..

Na ultima etapa deste estudo analisou-se a penetração ocorrida para cada uma das 8 faixas de energia estudadas para cada os eletrodos estudados na 2 polaridades (figura 6).

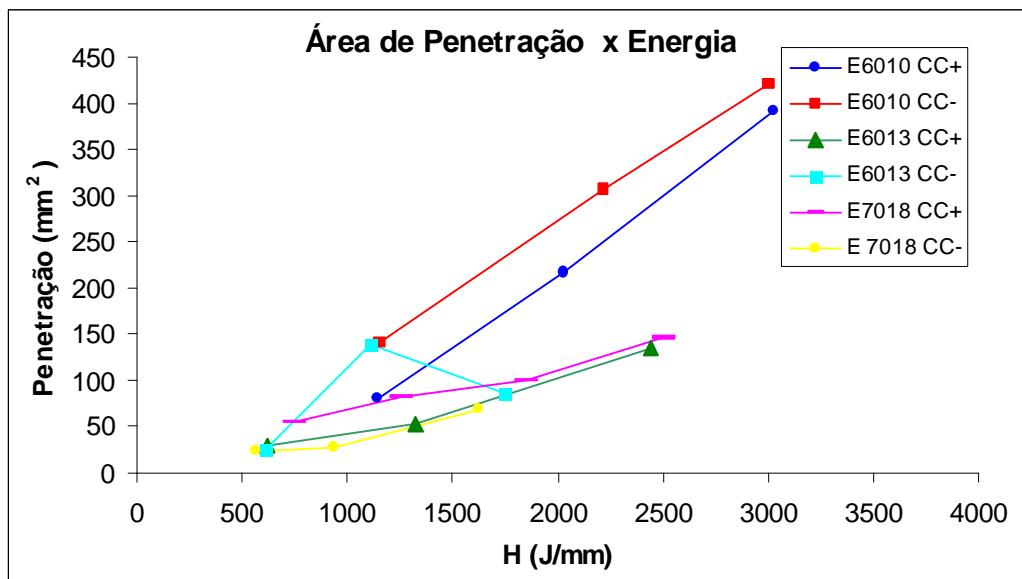


Figura 6: Área de penetração em função da energia de soldagem

Da figura 6 nota-se que os eletrodos celulósicos apresentaram as maiores áreas de penetração em concordância com a literatura e dentre os eletrodos que apresentaram as menores áreas de penetração o E6013 CC- (na faixa de 1000 J/mm) mostrou uma área de penetração significativamente maior. Para que pudéssemos fazer um comentário deste resultado deveríamos realizar mais ensaios.

### 3. CONCLUSÃO

O presente trabalho apresentou uma análise da qualidade, rendimento, estabilidade do arco e área de penetração para um equipamento automático de soldagem por eletrodo revestidos, e destas análises conclui-se que:

§ Em relação à qualidade de soldagem que foi analisada através do CI (Índice de Convexidade) em função de faixas de energia, conclui-se que nos níveis de energia de 250 a 750 (J/mm) apenas com o eletrodo E6013 e E7018 obteve-se soldas com boa qualidade. Entretanto a partir de 750 (J/mm) os eletrodos com revestimento celulósico apresentaram os menores valores de CI. Uma possibilidade para esta ocorrência seria o fato do tipo de transferência com este

eletrodo ser predominantemente por spray, gerando um arco mais estável. De maneira geral pode-se dizer que o processo gerou boa qualidade da solda quando comparado através do parâmetro CI.

- § Na comparação dos rendimentos de soldagem, observa-se que os eletrodos rutilicos e básicos, nas duas polaridades, apresentaram valores semelhantes em quase todas as faixas de energia. Acima de 2250 J/mm, somente o eletrodo básico em CC+ apresentou valores significativos para o rendimento. O eletrodo celulósico apresentou os piores rendimentos, como já era de se esperar.
- § Para a área de penetração, os eletrodos celulósicos apresentaram as maiores áreas. Entre os eletrodos que apresentaram as menores áreas de penetração, o E6013 CC- na faixa de 1000 J/mm, apresentou uma área de penetração significativamente maior.

De forma geral os resultados obtidos na análise do desempenho de um equipamento automático de soldagem por eletrodos revestidos aproximaram-se daqueles observados por outros autores, fundamentando-se desta forma a metodologia utilizada.

#### **4. REFERÊNCIAS**

- Brandi, S.D., 1988, Análise da transferência metálica na soldagem arco Elétrico com eletrodo revestido. Tese de mestrado, USP.
- Chawla, K.S. and NORRISH, J.N., 1992, Quality monitoring of consumable manufacturing using on-line PC data acquisition and mathematical modelling techniques. Proc. Computer Technology in Welding, paper 16, Cambridge, U.K.
- Santos, M.G., 1995, Metodologia para comparação entre fonte inversora e eletromagnética para eletrodos revestidos, Dissertação de Mestrado, UFU.
- Leonelo A., Pereira, W.X. Costa, S.C. "Análise das Variáveis Influentes no Rendimento e na Qualidade de Soldagem para Eletrodos Revestidos. COBEF 2003.
- Leonello A., Costa, S.C. "análise da influência dos modos de transferências metálicas no rendimento e qualidades de soldagem para eletrodos revestidos utilizando-se um equipamento automático. COBEM 2001.
- Wegrzyn, J., 1980, Arc properties in manual welding with coated electrodes. Metal Construction.
- Wyant, R. A. , Winsor , L. P., and Schetky, L. M., 1948, An investigation of methods for evaluating welding- arc stability and their application . Welding Journal, october, p. 502s-514s.
- Silva, C.R., Ferraresi, V.A., Scotti, A., A quality and cost approach for welding process Selection. J.of the Braz. Soc. Mechanical Science, Vol XXII n<sup>o</sup> 3, pp.389-398, 2000.
- Costa, S.C., Leonello, S.C. Uma metodologia para comparação entre soldagens automáticas e manuais utilizando eltrodos revestidos. Cobem 99.

#### **ANALYSIS OF QUALITY AND EFFICIENCY OF WELDING FOR COVERED ELETRODES UTILIZED A AUTOMATIC PROCESS**

Keywords: Convexity Index (CI), Variation Index (CV), efficiency, energy, welding quality

**Summary.** The aim of this work was presents analysis the quality of welding, efficiency, Convexity Index (CI), Variation Index (CV), for three different types of covered electrodes, AWS E6010, AWS E6013 and AWS E7018 using a automatic process for this comparison. This welding was realized in 16 times for one each electrodes , was 8 in positive polarity and 8 in negative polarity. The energy was experimented in 8 level, arc length 2 level ( 2mm and 6 mm). The main conclusion was: