

# EMPREGO DOS CUSTOS DE SOLDAGEM NA SELEÇÃO DE PARÂMETROS UTILIZADOS EM OPERAÇÕES DE REVESTIMENTO COM O PROCESSO ARAME TUBULAR \*

Antonio Rodolfo Paulino Pessoa<sup>1</sup>  
João Paulo Viana Mascarenhas<sup>2</sup>

## Resumo

Neste trabalho foram utilizados os custos de soldagem para selecionar parâmetros operacionais adequados e economicamente viáveis para soldagem de revestimentos com o processo Arame Tubular. Foram escolhidos quatro parâmetros operacionais (fatores de controle) com três níveis cada: tensão de referência (24, 26 e 28 V), velocidade de soldagem (0,33, 0,5 e 0,8 m/min), técnica da tocha (normal, empurrando e puxando) e gás de proteção (100% Ar, 100% CO<sub>2</sub> e 80% Ar + 20% CO<sub>2</sub>). Empregando o planejamento Robusto de experimentos (método Taguchi) dividiu-se os fatores de controle em uma matriz L9, resultando num total de 9 ensaios. Na comparação dos gastos despendidos nos ensaios foi utilizado o custo direto total da soldagem de um revestimento com 40 mm de largura e 190 mm de comprimento e sobreposição dos passes de 50%. Nos resultados verificou-se que o reforço máximo obtido foi de 3,3 mm, sendo o reforço bruto mínimo exigido de 5 mm. Assim, conclui-se que os revestimentos devem ter no mínimo duas camadas e o seu menor custo é obtido para a combinação utilizando o gás de proteção 100% Ar, a técnica da tocha empurrando, a tensão de referência de 28V e a velocidade de soldagem de 0,33m/min.

**Palavras-chave:** Arame Tubular; Seleção de parâmetros; Custos e Revestimento.

## T EMPLOYMENT OF WELDING COSTS TO SELECT OPERATIONAL PARAMETERS FOR WELD OVERLAY DEPOSITED BY FCAW

### Abstract

In this work, welding costs were used to determine operational parameters and economically feasible for weld overlay with FCAW process. Four control factors were employed with three levels each: reference voltage (24, 26, 28 V), welding speed (0,33, 0,5 and 0,8 m/min), welding gun orientation (perpendicular, forehand and backhand), shielding gas (100%Ar, 100%CO<sub>2</sub> and 80%Ar+20%CO<sub>2</sub>). The number of tests to be performed was determined by Taguchi method, dividing the tests into L9 orthogonal array resulting in a total of 9 experiments. To compare the costs incurred in each of the tests we used the total direct cost of welding a layer with dimensions of 40 x 190 mm, using an overlap of 50%. Based on the results, the maximum reinforcement obtained was 3.3 mm and the minimum required being 5 mm. Thus the Weld Overlay must have a minimum of two layers and the lowest cost is obtained for the combination using the shielding gas 100%Ar, welding gun orientation forehand, a reference voltage of 28V and a welding speed of 0,33m/min.

**Keywords:** FCAW; Parameter selection; Welding costs and Weld Overlay.

<sup>1</sup> Doutor e professor do Departamento de Engenharia e Tecnologia da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró - RN.

<sup>2</sup> Graduado em Engenharia Mecânica da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró - RN

## 1 INTRODUÇÃO

As indústrias do setor de petróleo e gás tem investido cada vez mais para proteger os diversos equipamentos expostos à condições de serviços severas (altas pressões, elevadas temperaturas, meio corrosivo, entre outros), dado a necessidade de redução dos elevados custos causados por estas condições. A soldagem de revestimento tem se tornado uma solução prática, pois permite a deposição de material para a criação de superfícies com propriedades e dimensões desejadas de forma rápida e econômica, através de um procedimento de soldagem. A aplicação dos revestimentos em equipamentos industriais pode ser feita na forma de “clad”, “lining” e “overlay”. Esta última é realizada pela deposição de uma camada de material com características desejáveis sobre um substrato. Os principais processos utilizados para aplicação de revestimentos são: MIG/MAG, arame tubular, arco submerso com fita, TIG (com alimentação de arame frio ou quente) e o plasma por arco transferido (PTA).

A utilização da soldagem com arame tubular tem aumentado muito nos últimos anos, devido às suas características e ao desenvolvimento de novos consumíveis. No Brasil, o interesse por arames tubulares também tem aumentado muito. Assim, além de ser uma alternativa à soldagem com eletrodos revestidos e arames sólidos, em muitas situações a soldagem com arame tubular tem sido usada nas indústrias naval e nuclear, na construção de plataformas marítimas para exploração de petróleo e na fabricação de componentes e estruturas de aços carbono, aços de baixa liga e aços inoxidáveis [1]. Portanto, esse processo foi escolhido para realização deste trabalho, devido a sua utilização na fabricação de componentes revestidos em função da boa produtividade, flexibilidade e custos relativamente baixos. Contudo, a qualidade das soldas realizadas neste processo depende do controle adequado dos parâmetros de soldagem que proporcionem um arco rígido, com pouca oscilação e que resultem em cordões uniformes e sem descontinuidades.

Vale ressaltar também que o custo final de um produto ou serviço é um fator determinante para se tomar decisões no âmbito da engenharia, o custo de soldagem torna-se um fator decisivo para selecionar adequadamente os parâmetros de soldagem e seus níveis, que serão utilizados para aplicação do revestimento.

Assim o objetivo deste trabalho é calcular e comparar os custos de soldagem associados a cada um dos ensaios realizados de forma a identificar e controlar os principais parâmetros para realização de operações de revestimento adequadas e economicamente viáveis.

## 2 DESENVOLVIMENTO

### 2.1 Materiais de consumo

Neste trabalho foram utilizadas como metal de base, chapas do aço SAE 1020 com as dimensões de 200 x 50 x 6 mm (

**Tabela 1).** Como metal de adição foi utilizado o arame eletrodo com fluxo metálico e diâmetro de 1,2 mm, cuja composição química é mostrada na

Tabela 2. Nos ensaios também foram utilizados três gases de proteção: argônio puro (100% Ar), gás carbônico puro (100% CO<sub>2</sub>) e uma mistura gasosa contendo argônio e gás carbônico (80% de Ar + 20% CO<sub>2</sub>).

**Tabela 1.** Composição química (% em peso) do metal de base segundo o fabricante

Item	Composição, peso %				
	C	Fe	Mn	P	S
SAE 1020	0,18 – 0,23	99,08 – 99,53	0,3 – 0,6	0,04 máx.	0,05 máx.

**Tabela 2.** Composição química (% em peso) do arame eletrodo segundo o fabricante

Item	Composição, peso %				
	C	Mn	P	S	Si
AWS E71T-1M	0,12	1,75	0,03	0,03	0,9

## 2.2 Equipamentos e acessórios

Os equipamentos utilizados na realização das soldagens foram:

- Uma fonte de soldagem eletrônica multiprocesso;
- Máquina de oxicorte (tartaruga) para deslocamento automático da tocha de soldagem;
- Sistema de aquisição dos sinais de tensão e corrente operando em frequência de 9600Hz.

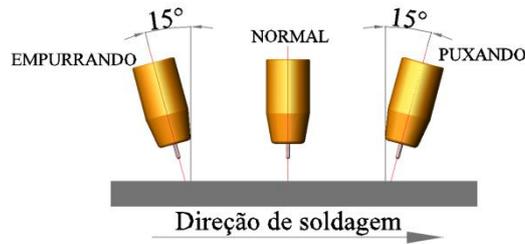
## 2.3 Metodologia

O trabalho foi realizado através de seis etapas básicas:

- Seleção dos fatores de controle e seus níveis;
- Seleção das variáveis respostas;
- Escolha da matriz ortogonal;
- Realização das soldagens;
- Medição das características geométricas (Largura e reforço);
- Cálculo dos custos de soldagem.

### 2.3.1 Planejamento dos experimentos

As três primeiras etapas citadas acima correspondem ao planejamento dos experimentos, onde optou-se pelo uso do método Taguchi com o intuito de reduzir o número de ensaios necessários caso fosse utilizado o método do fatorial completo [2-4]. Então, com base nas revisões da literatura [5-10], foram identificados os fatores de controle e seus níveis mais influentes para obtenção da transferência metálica por spray (goticular), bem como os fatores capazes de influenciar de forma significativa as características geométricas dos cordões de solda. Assim foram escolhidos quatro fatores de controle com três níveis cada: Gás de proteção (100%Ar, 80%Ar+20%CO<sub>2</sub> e 100% CO<sub>2</sub>), Técnica da tocha (normal, empurrando e puxando mostrados na Figura 1), Tensão de referência (Ur = 24, 26, 28 V) e Velocidade soldagem (Vs = 0,33, 0,5 e 0,8 m/min).



**Figura 1.** Posições da Tocha [3].

A escolha adequada da matriz ortogonal deve obedecer algumas exigências como: o número de fatores a serem estudados, o número de níveis para cada fator, as possíveis interações a serem estimadas e as dificuldades na execução dos experimentos. Neste trabalho optou-se pelo uso da matriz ortogonal L9, a qual permite avaliar até quatro fatores de controle com três níveis cada e na qual são necessários 9 experimentos. A

Tabela 3 mostram as combinações dos níveis dos fatores de controle e a sequência de execução dos ensaios.

**Tabela 3.** Ensaios realizados com a matriz L9

Ensaios	Gás de Proteção	Técnica da Tocha	Ur (V)	Vs (m/min)
1	1 (100% Ar)	1 (Normal)	1 (24)	1 (0,33)
2	1 (100% Ar)	3 (Puxando)	2 (26)	2 (0,5)
3	1 (100% Ar)	2 (Empurrando)	3 (28)	3 (0,8)
4	2 (80%Ar+20%CO <sub>2</sub> )	1 (Normal)	2 (26)	3 (0,8)
5	2 (80%Ar+20%CO <sub>2</sub> )	3 (Puxando)	3 (28)	1 (0,33)
6	2 (80%Ar+20%CO <sub>2</sub> )	2 (Empurrando)	1 (24)	2 (0,5)
7	3 (100% CO <sub>2</sub> )	1 (Normal)	3 (28)	2 (0,5)
8	3 (100% CO <sub>2</sub> )	3 (Puxando)	1 (24)	3 (0,8)
9	3 (100% CO <sub>2</sub> )	2 (Empurrando)	2 (26)	1 (0,33)

### 2.3.2 Realização das soldagens

As soldagens foram realizadas na posição plana por simples deposição dos arames eletrodos sobre chapas de aço SAE 1020 com dimensões 200 x 50 x 6 mm, estando o eletrodo na polaridade positiva. Em todos os ensaios foram mantidas constantes a DBCP (Distância Bico de Contato à Peça) em 20 mm e a vazão do gás de proteção em 20 L/min.

### 2.3.3 Medição das características geométricas

Para a preparação metalográfica e medição das características geométricas dos cordões de solda, foram retiradas três amostras com 10 mm de largura como mostra a Figura 2a. Depois de cortadas as amostras foram lixadas até 1200 mesh, polidas com óxido de alumínio (alumina) de 1 µm e por fim foram atacadas quimicamente com NITAL 2% durante 50 s, para revelar o perfil geométrico (Figura 2b). Após a revelação do perfil geométrico as amostras foram fotografadas para medição da largura e reforço, através de um programa de análise de imagens.

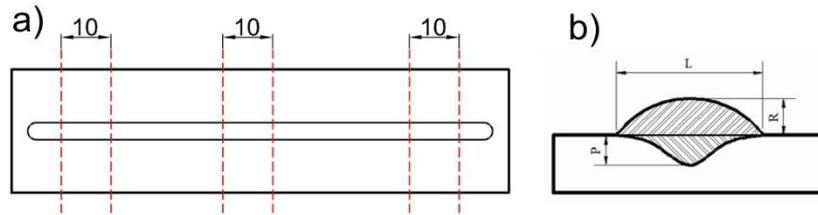


Figura 2. a) Extração dos corpos de prova e b) perfil geométrico do cordão de solda.

O reforço do cordão de solda também foi utilizado neste trabalho para selecionar os parâmetros a serem utilizados na deposição do revestimento, pois os revestimentos internos empregados em tubulações para o setor de petróleo e gás natural exigem um reforço líquido de 3 mm, por isso deve-se obter um reforço bruto o mais próximo possível de 5 mm afim de permitir uma usinagem posterior que resulte neste valor estipulado para o reforço líquido [4; 11]. Assim, caso seja necessário o uso de duas camadas para atender ao requisito mínimo de reforço, o custo torna-se ainda mais relevante para a escolha dos melhores parâmetros de soldagem para a obtenção de revestimentos.

### 2.3.4 Cálculo dos custos de soldagem

Para o cálculo dos custos de soldagem foi necessário determinar as características econômicas e os custos diretos através das equações 1 a 9 [4-5].

#### 2.3.4.1 Características econômicas

A taxa de deposição (TD), a taxa de fusão (TF) e a eficiência de deposição (ED), foram determinadas com base nas diferenças de massa dos corpos de prova antes e após as soldagens e nas velocidades de soldagem e de alimentação do arame eletrodo. As diferenças de massas foram medidas em uma balança eletrônica com resolução de 0,01 g.

- **Taxa de fusão do arame (TF)**

$$TF = \frac{3,6 \cdot \rho_a \cdot l_a}{t_s} \left( \frac{\text{Kg}}{\text{h}} \right) \quad (1)$$

$\rho_a$  é a densidade linear do arame (g/m)

$l_a$  é o comprimento do arame consumido (m)

$t_s$  é o tempo de soldagem (s)

- **Taxa de deposição do arame (TD)**

$$TD = \frac{3,6 \cdot (m_f - m_i)}{t_s} \left( \frac{\text{Kg}}{\text{h}} \right) \quad (2)$$

$m_f$  é a massa final da chapa (g)

$m_i$  é a massa inicial da chapa (g)

$t_s$  é o tempo de soldagem (s)

- **Eficiência de deposição (ED)**

$$ED = \frac{TD}{TF} \times 100 \quad (\%) \dots (3)$$

#### 2.3.4.2 Custos diretos de soldagem

As equações necessárias para calcular o custo direto total por unidade de massa do metal de adição para as soldagens são dadas pelas equações 4 a 9 [4-5].

- **Custo do gás ( $C_G$ ) por unidade de massa de metal depositado (R\$/kg)**

$$C_G = \frac{G \times F}{TD} \quad (4)$$

F = vazão de gás (m<sup>3</sup>/h);

G = custo unitário de gás (R\$/m<sup>3</sup>).

- **Custo da energia ( $C_E$ ) por unidade de massa de metal depositado (R\$/kg)**

$$C_E = \frac{P \times V \times A}{1000 \times TD} \quad (5)$$

A = corrente de soldagem (A);

V = tensão (V);

P = custo da energia (R\$/kWh).

- **Custo do arame-eletrodo ( $C_{AE}$ ) por unidade de massa de metal depositado (R\$/kg)**

$$C_{AE} = \frac{M}{ED} \quad (6)$$

M = custo do arame-eletrodo (R\$/kg).

- **Custo do soldador ( $C_S$ ) por unidade de massa de metal depositado (R\$/kg)**

$$C_S = \frac{S}{TD \times (K/100)} \quad (7)$$

K = fator de operação (%);

S = Salário do soldador (R\$/h).

- **Custos gerais ( $C_{Ge}$ ) por unidade de massa de metal depositado (R\$/kg)**

$$C_{Ge} = \frac{O}{TD \times (K/100)} \quad (8)$$

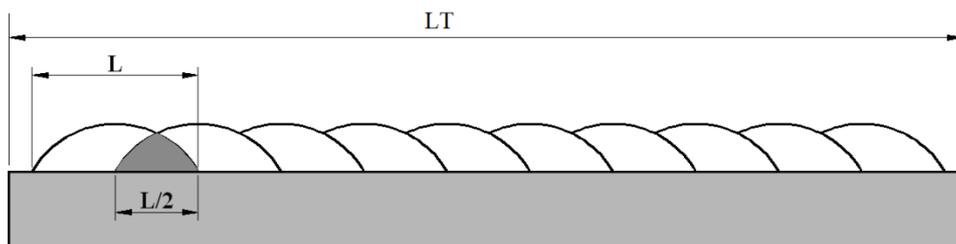
O = custos gerais (R\$/h).

- **Custo direto total ( $C_{DT}$ ) por unidade de massa de metal depositado (R\$/kg)**

$$C_{DT} = C_G + C_E + C_{AE} + C_S + C_{Ge} \quad (9)$$

### 2.3.4.3 Custo direto total da soldagem de um revestimento (Custo)

Como forma de comparar os valores gastos em cada um dos ensaios utilizou-se o custo direto total da soldagem de um revestimento com 40 mm de largura e 190 mm de comprimento, utilizando uma sobreposição de 50% (Figura 3). Para a determinação do custo direto total da soldagem de um revestimento (Equação 10), foi necessário calcular também o tempo de soldagem contínua "t<sub>r</sub>" (Equação 11).



**Figura 3.** Esquema de soldagem do revestimento com largura total (LT).

$$\text{Custo} = \frac{C_{DT} \cdot t_T \cdot TD}{60} \quad (10)$$

Onde:

Custo = direto total da soldagem de um revestimento (R\$);

$t_T$  = tempo total de soldagem contínua (min).

$$t_T = \left[ \frac{C}{V_s} \times \left( \frac{2 \times LT - L}{L} \right) \right] \quad (11)$$

Onde:

LT = Largura total do revestimento (mm);

L = Largura de um cordão de solda (mm);

C = comprimento do cordão de solda (mm).

## 2.4 Resultados e Discussão

A Tabela 4 apresenta as características geométricas e econômicas obtidas para cada um dos ensaios da matriz L9 (Tabela 3).

**Tabela 4.** Características geométricas e econômicas dos ensaios da matriz L9

Ensaio	L (mm)	R (mm)	TF (Kg/h)	TD (Kg/h)	ED (%)
1	10,1	3,3	3,4	3,1	91,5
2	7,9	2,6	4,0	3,4	84,4
3	7,0	2,1	4,7	4,2	89,8
4	5,4	1,7	2,8	2,4	86,2
5	10,8	2,5	3,8	3,2	84,8
6	6,3	1,9	2,1	1,9	87,6
7	8,8	2,0	3,6	2,9	79,7
8	5,8	1,8	2,8	1,9	70,2
9	12,0	2,4	3,0	2,6	85,7

A Tabela 5 apresenta os dados gerais de soldagem necessárias para calcular o custo direto de soldagem dos ensaios realizados.

**Tabela 5.** Dados gerais da soldagem

Custo Unitário Gás de Proteção (G)			
100%Ar	80%Ar + 20%CO <sub>2</sub>		100%CO <sub>2</sub>
24 R\$/m <sup>3</sup>	24 R\$/m <sup>3</sup>		20 R\$/m <sup>3</sup>
Outros Custos			
Arame Eletrodo (M)	Energia (P)	Gerai (O)	Salário Soldador (S)
20 R\$/kg	0,56 R\$/kWh	1 R\$/h	15 R\$/h
Dados Adicionais			
Densidade Linear do Arame ( $\rho_a$ )	Vazão de gás (F)		Fator de Operação (K)
7,083 g/m	1,5 m <sup>3</sup> /h		45 %

Com base nos dados apresentados na Tabela 4 e Tabela 5 foi possível calcular os custos diretos da soldagem com arame tubular, os quais encontram-se listados na Tabela 6.

**Tabela 6.** Custos diretos de soldagem para cada ensaio da matriz L9.

Ensaio	Custo do Gás (R\$/kg)	Custo da Energia (R\$/kg)	Custo do Arame Eletrodo (R\$/kg)	Custo do Soldador (R\$/kg)	Custos Gerais (R\$/kg)	Custo Direto Total (R\$/kg)
1	11,57	0,83	21,86	10,72	0,71	45,69
2	10,56	0,91	23,69	9,78	0,65	45,60
3	8,57	0,86	22,26	7,94	0,53	40,16
4	15,12	1,04	23,21	14,00	0,93	54,30
5	11,09	1,03	23,57	10,27	0,68	46,65
6	19,34	0,95	22,83	17,90	1,19	62,22
7	10,42	1,14	25,09	11,57	0,77	48,99
8	15,46	1,34	28,48	17,18	1,15	63,61
9	11,76	1,14	23,33	13,07	0,87	50,17

Ao analisarmos a Tabela 6 retira-se as seguintes informações:

O custo do arame-eletrodo foi o custo que mais influenciou no valor do custo direto total. Sendo o seu maior valor obtido pelo ensaio 8 (63,61 R\$/kg) e o menor valor obtido pelo ensaio 3 (40,16 R\$/kg).

O reforço máximo obtido para os ensaios da matriz L9 foi de 3,3 mm (Ensaio 1), cujo valor é inferior ao recomendado de 5 mm [4; 11]. Assim, os revestimentos devem ter no mínimo duas camadas.

A Tabela 7 apresenta os valores previstos de algumas variáveis (reforço, número de passes, o tempo total de soldagem contínua e custo de revestimento) em cada ensaio para a primeira camada (variáveis com índice subscrito 1) e para a segunda camada (variáveis com índice subscrito 2). Tendo em vista que um revestimento com uma terceira camada seria muito oneroso, não foi feita uma previsão das variáveis para esta condição.

**Tabela 7.** Valores previstos para reforço (R), número de passes (n), o tempo total de soldagem contínua (tT) e o custo do revestimento (Custo).

Ensaio	1º Camada				2º Camada			
	R <sub>1</sub> (mm)	n <sub>1</sub>	t <sub>T1</sub> (min)	Custo <sub>1</sub> (R\$)	R <sub>2</sub> (mm)	n <sub>2</sub>	t <sub>T2</sub> (min)	Custo <sub>2</sub> (R\$)
1	3,3	7	4,0	9,44	6,6	14	8,0	18,88
2	2,6	9	3,5	8,98	5,2	18	6,9	17,97
3	2,1	10	2,5	6,96	4,2	21	5,0	13,92
4	1,7	14	3,3	7,07	3,4	28	6,6	14,14
5	2,5	6	3,7	9,31	5,0	13	7,4	18,62
6	1,9	12	4,4	8,58	3,8	23	8,9	17,16
7	2,0	8	3,1	7,23	4,0	16	6,1	14,46
8	1,8	13	3,0	6,25	3,6	26	6,1	12,50
9	2,4	6	3,3	6,96	4,8	11	6,5	13,92

Ao analisarmos a Tabela 7, verifica-se o número de passes foi o fator que mais influenciou no custo do revestimento, onde para um maior o número de passes, ou seja, uma menor largura do cordão de solda (Tabela 4), temos um maior tempo total de soldagem contínua (tT), resultando assim em maiores valores do custo do revestimento com uma e duas camadas. Temos ainda a influência do custo direto total, onde maiores valores do custo direto total resultaram em maiores valores dos valores do custo do revestimento.

#### 2.4.1 Análise estatística dos custos:

Com base nos resultados obtidos na Tabela 7 foi realizada uma análise estatística de variância no método Taguchi [2-3], e com isso foi calculado o nível de significância “p” dos fatores de controle sobre o custo direto total da soldagem de um revestimento (**Custo**). Níveis de significância menores que 0,05 (valores sublinhados e em negrito na

Tabela 8) indicam efeitos estatisticamente significativos. E apenas os fatores de controle estatisticamente significativos serão analisados e discutidos posteriormente. Outro dado importante presente na

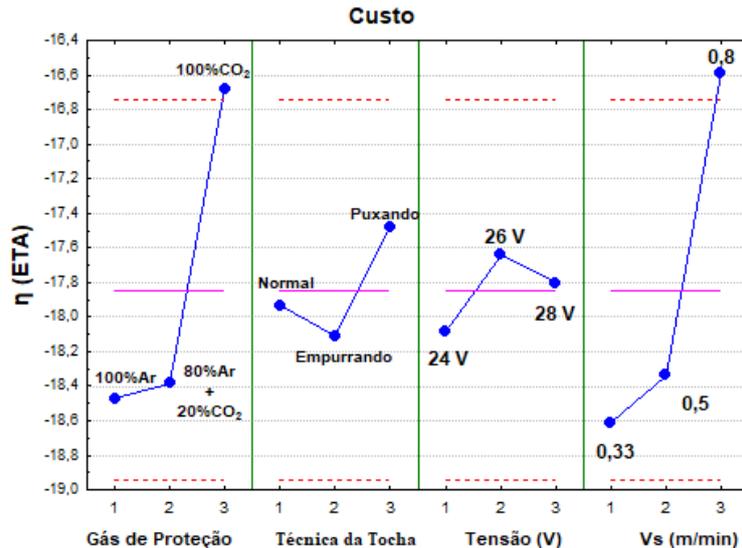
Tabela 8 é a “**Contribuição no  $\eta$** ”, onde os maiores valores de contribuição indicam quais fatores de controle tem mais influência no valor da variável resposta analisada [2-3].

**Tabela 8.** Análise de variância dos fatores de controle sobre o Custo

Fator de Controle	Nível de Significância (p)	Contribuição no $\eta$ (%)
Gás de Proteção	<b><u>0,001150</u></b>	31,0
Técnica da Tocha	0,375863	3,2
Tensão	0,618505	1,5
Vs	<b><u>0,000503</u></b>	36,6
Erro residual		27,7

Uma das grandes vantagens da condução de experimentos usando o método Taguchi é a previsão da combinação dos níveis dos fatores de controle que fornece uma resposta ótima para o critério de qualidade adotado [2-4]. Assim, as condições necessárias para obter o valor mínimo do Custo são representadas pelo maior valor de  $\eta$  (eta) mostrado na

Figura 4.



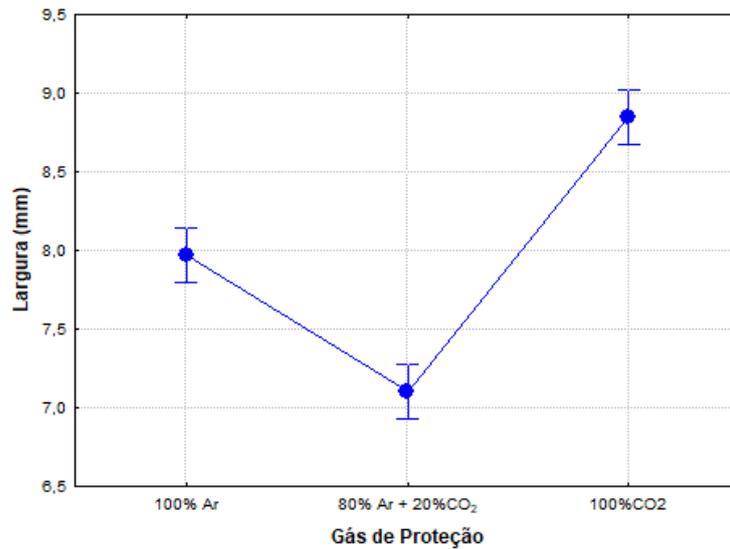
**Figura 4.** Influência dos fatores de controle sobre o Custo.

Analisando conjuntamente a Tabela 6, a

**Tabela 8** e a Figura 4, é possível extrair as seguintes informações do uso do método Taguchi com relação à influência dos fatores de controle sobre o Custo:

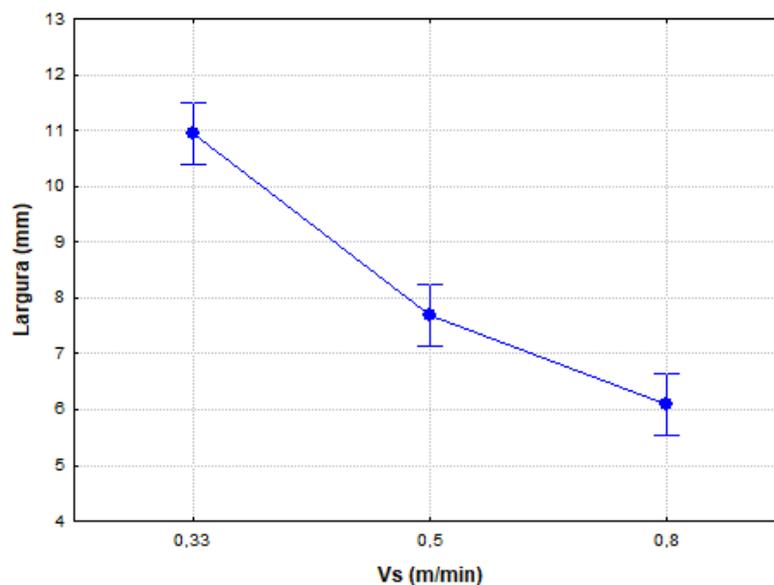
O Custo é minimizado para a combinação de fatores de controle nos níveis “3 3 2 3”, ou seja, 100% CO<sub>2</sub> como gás de proteção, técnica da tocha puxando, Tensão de 26 V e uma velocidade de soldagem de 0,8 m/min.

O gás de proteção apresentou influência significativa e foi o segundo fator de controle que mais influenciou no Custo apresentando uma contribuição de 31,0% em relação aos outros fatores de controle. O método Taguchi indica que o Custo é minimizado pela utilização da mistura 100% CO<sub>2</sub> (Nível 3). Fato que se deve as maiores adições de CO<sub>2</sub> em misturas com argônio aumentam tanto a condutividade térmica do gás quanto a tensão do arco, proporcionando arcos com maiores aportes térmicos [7-9]. Assim, o aumento do teor de CO<sub>2</sub> obtêm cordões de solda mais largos (Figura 5), reduzindo o número de passes (Tabela 7) e resultando em menores valores do Custo.



**Figura 5.** Influência do gás de proteção sobre o Custo.

A velocidade de soldagem influenciou significativamente e foi o primeiro fator de controle que mais influenciou na largura apresentando uma contribuição de 36,6% em relação aos outros fatores de controle. O nível 3 (0,8 m/min) deste fator é apontado como nível que resulta num menor Custo. Resultado contrário ao esperado, uma vez que, para maiores velocidades de soldagem foram obtidas menores larguras dos cordões de solda (Figura 6) e conseqüentemente um maior número de passes (Tabela 7), que deveria resultar num maior Custo. Contudo, a redução no valor do Custo promovida pelo aumento da velocidade de soldagem (Figura 7), pode ser explicada devido as maiores velocidades de soldagem também proporcionaram menores tempo de soldagem ( $t_s$ ) e tempo total de soldagem contínua ( $t_\tau$ ), os quais tem uma forte influência nos cálculos dos custos diretos de soldagem e do custo direto total da soldagem de um revestimento (Custo) respectivamente.



**Figura 6.** Influência da velocidade de soldagem sobre a Largura.

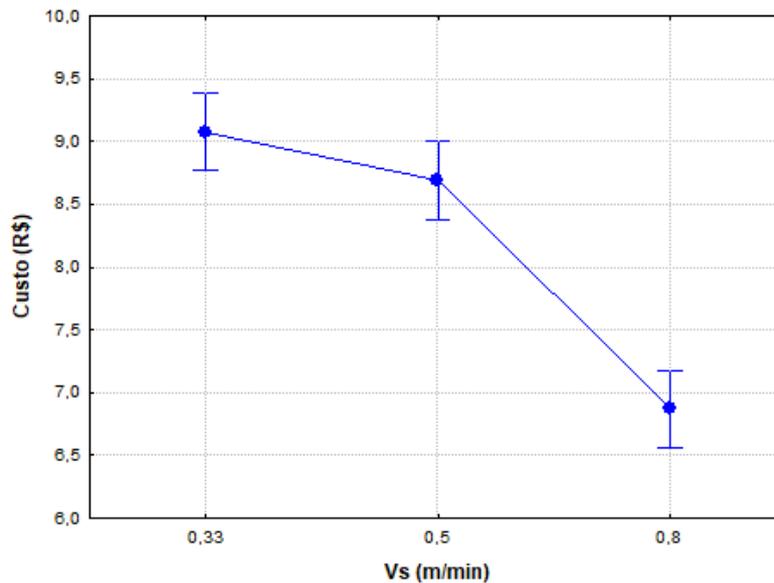


Figura 7. Influência da velocidade de soldagem sobre o Custo.

### 3 CONCLUSÃO

Com base nos resultados experimentais apresentados neste trabalho foi possível concluir que:

- A utilização do método Taguchi como uma ferramenta estatística para redução do número de ensaios sem prejudicar os resultados foi essencial para o trabalho, pois foi obtido combinações dos fatores de controle ideais para cada critério de qualidade adotado;
- O uso do custo de soldagem demonstrou ser um parâmetro útil no auxílio da avaliação e seleção dos parâmetros de soldagem a serem utilizados nas operações de revestimento;
- Todas as combinações dos fatores de controle conduziram a soldagens de revestimento com uma camada, as quais obteriam um reforço dos cordões de solda inferiores a 4 mm, sendo necessária a aplicação de uma segunda para atender à exigência de 5 mm de reforço bruto da norma N-1707 [11];
- O custo foi o principal parâmetro deste trabalho para avaliar os parâmetros de soldagem para revestimento com duas camadas. O Custo é minimizado para a combinação de fatores de controle nos níveis “3 3 2 3”, ou seja, 100% CO<sub>2</sub> como gás de proteção, técnica da tocha puxando, Tensão de 26 V e uma velocidade de soldagem de 0,8 m/min;

Vale ressaltar que os únicos fatores de controle que influenciaram de forma significativa o Custo foram o gás de proteção e a velocidade de soldagem com contribuições de 31,0% e 36,6% respectivamente no valor final do Custo.

### Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer ao Laboratório de Soldagem do Senai de Mossoró/RN e aos laboratórios do curso de Engenharia Mecânica da Universidade

Federal Rural do Semiárido pelo suporte técnico na realização dos experimentos deste trabalho.

## REFERÊNCIAS

- 1 MARQUES, P. V.; MODENESI, P. J.; BRACARENSE, A. Q. Soldagem - Fundamentos e Tecnologia. 1.ed. Belo Horizonte: UFMG, 2005. 363 p.
- 2 ROSS, P. J. Aplicações das Técnicas Taguchi na Engenharia da Qualidade São Paulo - SP: McGraw-Hill Ltda. 1991. 333 p.
- 3 PESSOA, A. R. P. et al., Seleção de Parâmetros Através do Método Taguchi para Soldagem de Revestimento com Ligas de Níquel pelo Processo MIG/MAG. Soldagem e Inspeção (Impresso), v. 15, p. 317-324, 2010.
- 4 PESSOA, A. R. P. et al., Seleção dos parâmetros através dos custos de soldagem para aplicação de revestimento com ligas de níquel depositadas pelo processo MIG/MAG. Soldagem & Inspeção, v. 16, p. 71-78, 2011.
- 5 AWS. Welding Handbook - Welding Processes 9.ed. Miami: American Welding Society, v.2. 2004.
- 6 GARCIA, R. P.; SCOTTI, A. Análise comparativa da geração de fumos entre arames maciços (GMAW) e tubulares (FCAW). Soldagem & Inspeção, v. 15, p. 103-111, 2010.
- 7 SCOTTI, A.; PONOMAREV, V. Soldagem MIG/MAG: melhor entendimento, melhor desempenho. 1.ed. São Paulo: Artlibre, 2008. 284 p.
- 8 SUBAN, M.; TUŠEK, J. Dependence of melting rate in MIG/MAG welding on the type of shielding gas used. Journal of Materials Processing Technology, v. 119, n. 1–3, p. 185-192, 2001.
- 9 PESSOA, A. R. P. Soldagem em chapas de aços inoxidáveis superduplex UNS S32750 utilizando o processo arame tubular. 2015. 271 f. Tese (Doutorado). Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015.
- 10 GOMES, E. B. Análise do Comportamento da Soldagem por Curto-Circuito aplicado ao Processo Eletrodo Tubular através da Metodologia Taguchi. 2006. f. Dissertação, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá - MG, 2006.
- 11 PETROBRAS N -1707. Projeto de vaso de pressão com revestimento. Rio de Janeiro - RJ: PETRÓLEO BRASILEIRO S.A. 1999.