



OTIMIZAÇÃO DE PARÂMETROS NA SOLDAGEM MAG ATRAVÉS DA TÉCNICA DE SUPERFÍCIES DE RESPOSTA

Davi Sampaio Correia

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica, CEP 38400-902,
Uberlândia-MG, Brasil
dscorreia@mecanica.ufu.br

Marcos Antonio de Souza Barrozo

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Química, CEP 38400-089,
Uberlândia-MG, Brasil
masbarrozo@ufu.br

Valtair Antonio Ferraresi

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica, CEP 38400-902,
Uberlândia-MG, Brasil
valtairf@mecanica.ufu.br

***Resumo.** O processo de soldagem MAG utilizando CO₂ puro como gás de proteção oferece cordões com boas propriedades mecânicas e geometria, aliadas à um baixo custo do gás. Mas pode apresentar problemas de baixo rendimento de deposição. Desta forma, este trabalho propõe uma metodologia para encontrar a combinação de ajustes dos parâmetros de soldagem que forneça bons cordões de solda com um rendimento de deposição aceitável. Para tanto, utiliza-se a técnica de Superfície de Resposta, que baseia-se na representação do fenômeno estudado através de um polinômio de baixa ordem e posterior análise da superfície resultante. Outra ferramenta usada foi a “Desirability Function”, utilizada para aglutinar várias respostas em uma só. Conseguiu-se com estas técnicas a identificação de uma região experimental robusta que deposita cordões de solda com um bom compromisso entre qualidade geométrica e rendimento.*

***Palavras-chave:** soldagem, MAG, otimização, superfície de resposta.*

1. INTRODUÇÃO

O mundo vem assistindo nas últimas décadas à um acirramento do ambiente de competição entre as empresas. Com a facilidade de comunicação que meios como a “internet” fornecem, é possível que um concorrente estrangeiro, situado a milhares de quilômetros, possa facilmente conhecer um mercado e nele entrar, com prejuízo para a indústria local.

Tal situação tem fomentado a busca de ferramentas que permitam às empresas otimizar seus produtos, ou seja, fabricá-los da forma mais barata, rápida e robusta possível. Entretanto, estes são compromissos muitas vezes conflitantes e um método que permita conciliá-los é de grande importância.

Uma técnica de otimização, surgida na década de 50, e que vêm angariando adeptos em diversas áreas é a Metodologia de Superfície de Resposta. A Metodologia de Superfície de Resposta, ou MSR, é uma coleção de técnicas estatísticas e matemáticas utilizadas para o modelamento e análise de problemas nos quais a resposta de interesse está sendo influenciada por vários fatores e o objetivo final é a otimização da resposta (Montgomery, 1997). Aliada a esta técnica, utilizou-se

neste trabalho uma modificação da “Desirability Function”, proposta inicialmente por Harrington em 1965. Ele advogava a transformação de problemas de otimização multi-resposta em otimizações simples através da aglutinação de várias respostas em um só índice, representativo da qualidade do produto ou processo em questão.

Desta forma, utilizando a MSR e uma modificação da “Desirability Function”, planeja-se descobrir uma região robusta de ajuste dos parâmetros tensão de referência, velocidade de alimentação e velocidade de soldagem de um processo de soldagem MAG, onde as respostas avaliadas (rendimento, penetração, largura e reforço) estejam em seus níveis ótimos e variem pouco, quando os parâmetros sofrerem oscilações em torno de seus valores.

2. METODOLOGIA

Os ensaios do estudo de otimização foram realizados com uma fonte eletromagnética e equipamento automático de soldagem (a fim de eliminar a influência da variável soldador). Também foi utilizado um equipamento de aquisição dos sinais de corrente e tensão médias. As chapas de teste foram construídas em aço ABNT 1020 de 3/8” (9,52 mm) de espessura, sendo que cada chapa de teste compôs-se de duas chapas de 150,0 mm de comprimento e 50,0 mm de largura, separadas de 1,2 mm.

Inicialmente, definiu-se a tensão de referência (Uref), a velocidade de alimentação (Valim) e a velocidade de soldagem (Vsol) como as variáveis independentes que seriam investigadas. Em seguida, conduziu-se uma série de ensaios exploratórios para definir a região de investigação. Considera-se que, fora desta região, os cordões depositados não apresentam características de qualidade aceitáveis. As faixas encontradas foram as seguintes: tensão de referência (7 a 9), velocidade de alimentação (7 a 9) e velocidade de soldagem (5 a 7 m/min). Esclarece-se que a fonte eletromagnética usada apresenta para a velocidade de alimentação e para a tensão uma escala particular com valores de 0 a 10. No caso da velocidade de alimentação estes valores correspondem respectivamente a faixa de 3,9 a 9,7 m/min. Já para a tensão de referência, a saída encontrada foi a observação dos valores médios dos oscilogramas de tensão (Tabs. (3 e 5)), para após fazer uma correlação entre os valores ajustados na fonte e os conseguidos na prática.

O projeto escolhido para a matriz experimental foi um composto central sugerido por Myers (1976), que consta de um fatorial 2^3 (três fatores a dois níveis cada), 6 pontos axiais e 6 pontos centrais, totalizando 20 ensaios. Os pontos axiais foram escolhidos através de um $\alpha = 1,682$ que, juntamente com as seis replicações do ponto central, conferem uma precisão aproximadamente uniforme para a estimação dos parâmetros do modelo dentro da região explorada (planejamento rotativo). A partir da definição da matriz, as variáveis independentes (tensão de referência, velocidade de alimentação e velocidade de soldagem) foram codificadas. A Tabela (1) apresenta as variáveis com seus valores reais ajustados (exceto a tensão) e codificados. A codificação é feita no intuito de colocar as variáveis de forma adimensional e na mesma escala, pois assim os efeitos de cada variável podem ser analisados pelo valor dos parâmetros a elas associados na equação de regressão. Esclarece-se que, a partir deste momento, o subscrito “c” nos parâmetros indica que não estão sendo utilizados valores reais e sim codificados (para mais detalhes sobre codificação, ver Eq. (1)). Vale ressaltar que os ensaios não foram realizados na ordem em que estão dispostos na Tab. (1), mas de forma aleatória, afim de minimizar a influência de fatores não controláveis no processo.

A lei de formação dos níveis codificados pode ser expressa pela equação abaixo (Montgomery, 1997).

$$NC = \frac{NR - M}{(LS - LI)/2} \quad (1)$$

Onde: NC: nível codificado; NR: nível real; M: média do intervalo investigado; LS: valor correspondente ao nível +1 e LI: valor correspondente ao nível -1.

Tabela 1. Variáveis de entrada para a superfície de resposta

Ensaio	Variáveis reais			Variáveis codificadas		
	Uref	Valim (m/min)	Vsol (m/min)	Uref _c	Valim _c	Vsol _c
1	7,5	5,4	5,50	-1	-1	-1
2	8,5	5,4	5,50	1	-1	-1
3	7,5	8,3	5,50	-1	1	-1
4	8,5	8,3	5,50	1	1	-1
5	7,5	5,4	6,50	-1	-1	1
6	8,5	5,4	6,50	1	-1	1
7	7,5	8,3	6,50	-1	1	1
8	8,5	8,3	6,50	1	1	1
9	7,0	6,9	6,00	-1,682	0	0
10	9,0	6,9	6,00	1,682	0	0
11	8,0	3,9	6,00	0	-1,682	0
12	8,0	9,7	6,00	0	1,682	0
13	8,0	6,9	5,16	0	0	-1,682
14	8,0	6,9	6,84	0	0	1,682
15	8,0	6,9	6,00	0	0	0
16	8,0	6,9	6,00	0	0	0
17	8,0	6,9	6,00	0	0	0
18	8,0	6,9	6,00	0	0	0
19	8,0	6,9	6,00	0	0	0
20	8,0	6,9	6,00	0	0	0

As condições fixas destes ensaios estão listadas abaixo.

Distância bico de contato peça____	18 mm
Vazão de gás de proteção_____	13 l/min
Diâmetro do arame _____	1,2 mm (arame eletrodo AWS E70S-6)
Indutância de subida e descida____	5 (valor médio da faixa fornecida pela fonte de soldagem)
Gás de proteção_____	CO ₂ puro
Inclinação da tocha_____	15° (puxando)
Polaridade_____	CC ⁺

Destaca-se que a fonte eletromagnética utilizada apresenta uma escala particular de indutância. O valor 5 utilizado representa a média da referida escala.

3. RESULTADOS

As respostas avaliadas nesta etapa foram o rendimento de deposição e os valores médios de penetração, largura e reforço dos cordões.

O rendimento foi calculado com base na relação entre a quantidade total de arame utilizada na soldagem e a parcela que foi efetivamente depositada na peça, sendo considerada uma soldagem de maior rendimento aquela cujos valores se aproximam de 100 %. A metodologia de avaliação do rendimento consistiu em distribuir de forma equidistante, antes de cada ensaio, marcas no arame em relação à um referencial anterior à entrada do arame nos roletes alimentadores. Após o ensaio, é verificado quanto de arame foi consumido. Uma vez que o corpo de prova foi previamente pesado,

pode-se verificar com precisão quanto de arame foi efetivamente utilizado para fazer o cordão após a retirada dos respingos e posterior pesagem. A resposta penetração foi medida através das seções macrográficas transversais dos cordões de solda. Já em relação à largura e ao reforço, estas respostas foram medidas diretamente do cordão.

As respostas acima descritas não foram avaliadas individualmente, mas sim aglutinadas em um só índice, o IQC (Índice de Qualidade de Cordão). Este índice solucionou a seguinte dificuldade surgida durante a análise dos dados. A metodologia de superfície de resposta requer a modelagem do processo através de um polinômio de baixa ordem. E a análise da influência das variáveis independentes sobre as respostas é feita através de gráficos, sendo que cada resposta geralmente necessita de mais de um gráfico para sua completa avaliação. Com o IQC, transformou-se um problema de otimização multi-resposta em um de simples solução, uma vez que ele é capaz de com apenas um valor numérico, exprimir a condição de qualidade de uma soldagem (ou seja, regularidade de cordão, penetração e rendimento de deposição). Esta metodologia foi baseada no trabalho de Derringer and Suich (1980) e consiste dos passos abaixo.

- a) Os valores das respostas de interesse são divididos em intervalos, onde cada intervalo possui uma classificação definida pelo pesquisador, de acordo com seu julgamento do que é mais importante. Esta classificação é numérica e, neste caso, seus valores foram definidos no intervalo entre 100 (cem) e 50 (cinquenta). Adotou-se o valor 50 como indicativo de condição não aceitável e 100 como ótimo. Não se utilizou o valor zero para as condições inaceitáveis, conforme sugerido por Derringer and Suich (1980). Agiu-se assim, pois, caso adotado o zero, criariam-se respostas muito díspares para ensaios com condições próximas, o que dificultaria a modelagem por regressão. A Tabela (2) resume esta classificação.

Tabela 2. Faixas e pesos das características avaliadas

Característica	Amplitude	Faixas	Classificação
Penetração	4,0 – 6,5	[4,0 – 5,0[	50
		[5,0 – 5,5[	80
		[5,5 – 6,0[	90
		[6,0 – 6,5[	100
Rendimento	69,0 – 91,3	[69,0 – 75,0[	60
		[75,0 – 85,0[	80
		[85,0 – 91,3[	100
Largura	3,8 – 9,1	[3,8 – 6,5[	50
		[6,5 – 7,5[	60
		[7,5 – 8,5[	90
		[8,5 – 9,1[	100
Reforço	0,8 – 2,0	[0,8 – 1,0[	60
		[1,0 – 1,5[	80
		[1,5 – 2,0[	100

- b) Define-se qual o peso de cada resposta, obedecendo a regra que a soma dos pesos deve ser igual a 1. Este peso reflete a importância que determinada característica tem no cômputo total da qualidade e é escolhido com base nas necessidades que o processo deve atender. Neste caso, optou-se pelos seguintes pesos: penetração (0,5), rendimento (0,3), largura (0,1) e reforço (0,1).
- c) O índice IQC é então calculado para cada ensaio como sendo o produto dos valores obtidos após a classificação, sendo que cada um destes valores está elevado ao peso correspondente da resposta. Destaca-se que, por definição, o maior valor para o IQC é 100, não havendo sentido físico em resultados superiores a esse.

A Figura (1) apresenta fotos de alguns corpos de prova em ordem crescente de qualidade. Pode-se, assim, comprovar a boa relação entre o índice IQC e as respostas estudadas. Destaca-se que, neste trabalho, somente os cordões que apresentaram IQC acima de 90% possuíam características de acabamento superficial e de respingos aceitáveis.



Figura 1 – Fotos de corpos de prova e respectivos IQC's

A Tabela (3) apresenta os valores médios de penetração (P), rendimento (Rend), largura (Larg), reforço do cordão (Ref), e também do índice IQC obtidos para as 20 condições operacionais utilizadas neste estudo.

Tabela 3. Valores médios das características de qualidade investigadas

Ensaio	I _m (A)	U _m (V)	P (mm)	Rend (%)	Larg (mm)	Ref (mm)	IQC (%)
1	159	33,0	4,5	81,8	5,1	1,2	60,3
2	163	34,2	4,8	79,6	4,7	1,3	60,3
3	265	29,9	6,1	91,3	9,1	1,8	100,0
4	264	31,0	6,3	90,4	9,1	1,6	97,8
5	164	32,8	4,0	79,4	4,8	1,0	58,6
6	169	33,6	4,1	79,6	4,6	1,5	60,3
7	249	29,4	5,5	70,9	7,0	1,3	71,3
8	249	30,6	5,5	69,6	6,8	1,1	71,3
9	202	32,1	4,5	84,2	6,7	2,0	62,8
10	192	33,7	4,5	88,3	6,2	1,8	66,0
11	141	33,0	4,1	79,7	3,8	1,0	58,6
12	275	29,1	6,5	90,8	7,8	2,0	99,0
13	159	33,2	5,3	88,0	6,1	1,0	79,3
14	197	32,6	4,8	69,0	4,1	0,8	53,8
15	202	32,1	5,0	74,3	5,5	1,3	55,4
16	197	32,7	4,9	78,0	5,6	1,3	60,3
17	201	31,8	5,0	72,1	6,2	1,2	55,4
18	219	31,7	5,0	73,3	6,3	1,2	55,4
19	196	32,7	4,8	73,5	6,2	1,3	55,4
20	185	32,8	4,4	76,3	5,9	1,5	60,3

Seguindo a metodologia de superfície de resposta, o próximo passo foi a modelagem dos valores do IQC em uma equação de regressão. Utilizando-se um programa estatístico comercial, ajustou-se um modelo quadrático contendo parâmetros relativos às variáveis isoladas, bem como às suas interações e aos termos quadráticos, que apresentou um coeficiente de correlação $R^2 = 0,99$. De forma simplificada, o coeficiente R^2 mostra o quanto a equação explica da variação dos dados. A

Tabela (4) apresenta os parâmetros de curva ajustados e seu nível de significância p. Os parâmetros em negrito podem ser incluídos na equação de regressão com confiança maior que 95 %.

Tabela 4. Parâmetros ajustados e nível de significância para a regressão do IQC

	Parâmetros ajustados	Nível p
Média	56,96	0,0000
Uref	0,35	0,5719
Valim	12,34	0,0000
Vsol	-7,31	0,0000
Uref ²	3,00	0,0004
Valim ²	8,08	0,0000
Vsol ²	3,75	0,0000
Uref · Valim	-0,49	0,5454
Uref · Vsol	0,49	0,5454
Valim · Vsol	-6,68	0,0000

A equação ajustada para o IQC, com as variáveis independentes codificadas, pode ser vista abaixo:

$$IQC = 56,96 + 12,34 \cdot Valim_c - 7,31 \cdot Vsol_c + 3,00 \cdot Uref_c^2 + 8,08 \cdot Valim_c^2 + 3,75 \cdot Vsol_c^2 - 6,68 \cdot Valim_c \cdot Vsol_c \quad (2)$$

Nota-se por esta equação que a variável mais influente no processo é a velocidade de alimentação, pois esta possui os maiores valores de parâmetros tanto linear quanto quadrático (recorda-se que as variáveis estão adimensionais e na mesma escala graças à codificação). Pode-se confirmar esta tendência comparando-se as Tab. (1) e (3), onde vê-se que os ensaios de maior IQC são os que tem a Valim no nível +1 e + 1,682 (ensaios 3, 4 e 12).

Em seguida, fez-se uma análise de variância para comparar a regressão dos dados com a falta de ajuste do modelo e o erro puro (estimado através das réplicas no centro). Tal análise mostrou que a regressão encontrada é significativa. Entretanto, a análise de variância baseia-se em algumas suposições que devem ser atendidas. Em resumo, deve-se ter erros distribuídos de forma normal e amostras aleatórias de populações independentes. Para verificar a validade destas suposições, fez-se um estudo dos resíduos e nada aí foi encontrado que suscitasse dúvidas quanto às suposições.

Com base no acima exposto, decidiu-se manter esta equação para o prosseguimento do estudo de otimização. Dando seqüência, a metodologia MSR pede uma análise da superfície encontrada com a equação.

Em virtude das três variáveis independentes investigadas aparecerem na equação de regressão, não é possível analisar o efeito das mesmas sobre o IQC em apenas um gráfico. De fato, o estudo detalhado da Eq. (2) necessita vários gráficos, pois cada par de variáveis independentes deve ser analisado em diversos níveis da variável independente restante. As Figuras (2) a (5) apresentam alguns destes gráficos, escolhidos de forma a resumir as principais observações sobre o processo.

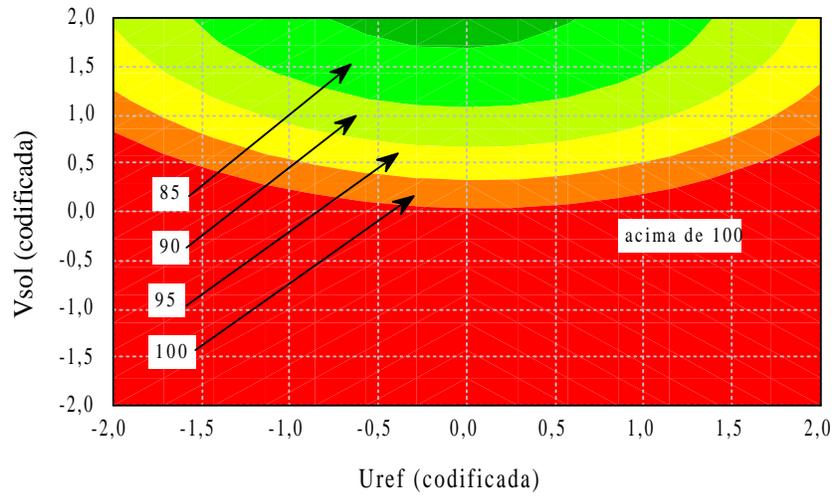


Figura 2. Gráfico de curvas de nível para o IQC ($U_{ref} \times V_{sol}$, com $Valim_c = 1,682$)

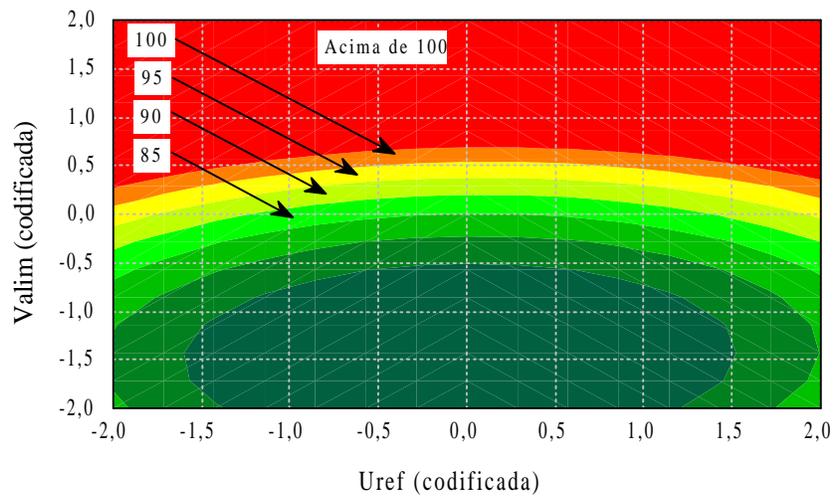


Figura 3. Gráfico de curvas de nível para o IQC ($U_{ref} \times Valim$, com $V_{sol}_c = -1,682$)

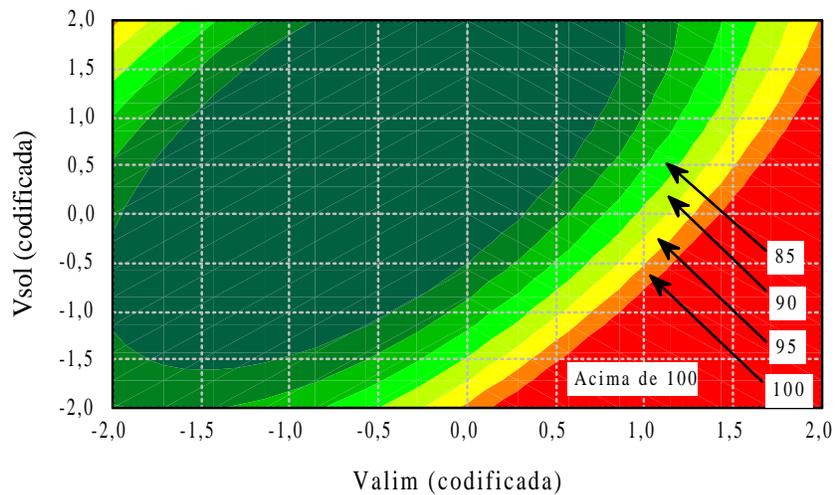


Figura 4. Gráfico de curvas de nível para o IQC ($Valim \times V_{sol}$, com $U_{ref}_c = -1,682$)

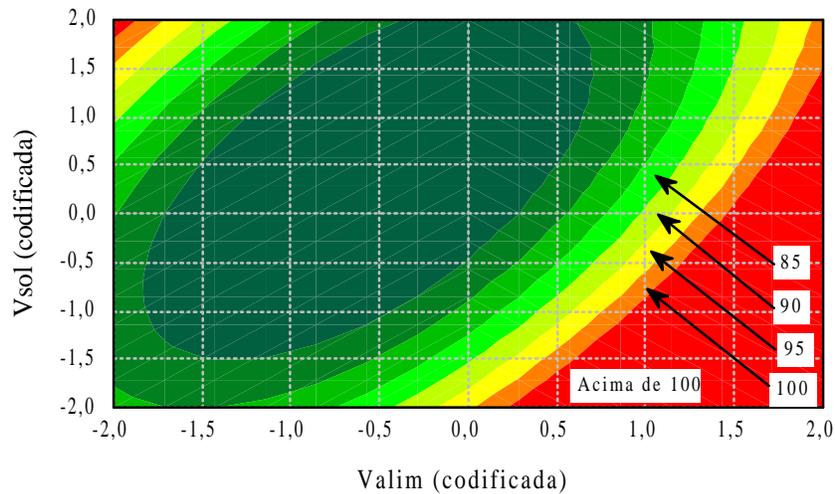


Figura 5. Gráfico de curvas de nível para o IQC (Valim x Vsol, com $U_{refc} = 1,682$)

Uma das primeiras observações que podem ser feitas sobre os gráficos das Figuras (2) a (5) é a predição de valores de IQC acima de 100 dentro da faixa experimental investigada. Já foi dito que não há sentido físico nesse tipo de valor, mas eles podem ser explicados. O que ocorre é que a equação de regressão encontrada (Eq. (2)) foi construída a partir de uma matriz experimental do tipo composto central. Esta matriz possuiu neste trabalho a maior parte dos pontos reunidos no centro (16 pontos, no caso) e apenas 6 pontos axiais para a determinação de termos de segunda ordem. Nota-se, contudo, que os melhores resultados em termos de IQC estão situados nos extremos dos gráficos, ou seja, exatamente na região dos pontos axiais da matriz experimental. Acredita-se que o relativamente pequeno número destes pontos fez com que a Eq. (2) não conseguisse prever a estabilização da curva abaixo do valor 100. Assim, a combinação de variáveis independentes que resulta em valores acima de 100 pode também ser considerada válida, ou seja, capaz de depositar cordões de solda de boa qualidade.

A análise da Figura (2) mostra que a partir de uma determinada velocidade de soldagem, não há efeito da tensão de referência sobre o IQC. Gráficos não dispostos também mostram que a velocidade de soldagem crítica é tanto maior quanto maior for a velocidade de alimentação.

Semelhante ao caso anterior, o gráfico da Figura (3) mostra que existe uma determinada velocidade de alimentação acima da qual não há efeito da tensão de referência sobre o IQC. Análise adicional de outros gráficos mostra ainda que quanto menor a velocidade de soldagem, menor também é a velocidade de alimentação.

Já pelos gráficos das Figuras (4) e (5) é possível notar que a mudança nos níveis da tensão de referência praticamente não modifica a região de IQC ótimo, delimitada pelas maiores velocidades de alimentação e pelas menores velocidades de soldagem. Destaca-se, contudo, que isto não quer dizer que a tensão não continue agindo fisicamente sobre o cordão. Apenas significa que seu efeito é suplantado pelo das duas velocidades.

Teoricamente, qualquer combinação de ajustes das variáveis independentes tensão de referência, velocidade de alimentação e velocidade de soldagem contida na região de IQC igual ou superior a 100 deve depositar cordões de boa qualidade. A questão que resta agora é definir se haveria uma combinação de ajustes dentro da região de ótimo que fosse superior às outras. Considerando a Eq. (2), o maior valor de IQC, em torno de 151, seria dado pelos ajustes abaixo.

- Tensão de referência: -1,682, o que equivale em níveis reais a 28,5 V de tensão média
- Velocidade de alimentação: 1,682, o que equivale em níveis reais a 9,7 m/min
- Velocidade de soldagem: -1,682, o que equivale em níveis reais a 51,6 cm/min

O ponto localizado por estes ajustes foi chamado de PO. Note-se que o PO situa-se no limite superior da faixa experimental investigada. Pode-se notar nos gráficos das Figuras (4) e (5) uma tendência de crescimento na “bnda” de qualidade até chegar ao limite da região investigada. Desta forma, resolveu-se testar o PO e os resultados referentes estão dispostos mais adiante na Tab. (5). Esclarece-se ainda que, com relação à tensão de referência, seu valor poderia também ter sido escolhido como 1,682 que o valor de IQC máximo não sofreria alteração. No entanto, optou-se pelo menor valor de tensão para favorecer à penetração, em detrimento da largura, pois considera-se a primeira de maior interesse que a segunda.

O próximo passo do trabalho foi uma melhor delimitação desta região ótima, através da confirmação de qualidade do PO e da repetição de alguns ensaios do seu limite inferior (ensaios 3 e 4).

A Tabela (5) apresenta a matriz experimental de confirmação da região ótima, com os valores reais das variáveis (excetuando-se a tensão), bem como o IQC resultante. Destaca-se que cada ensaio foi repetido duas vezes.

Tabela 5. Matriz experimental de confirmação

Experimento	Uref	Valim (m/min)	Vsol (cm/min)	I _m (A)	U _m (V)	IQC (%)
PO	7,0	9,7	51,6	270	28,5	99,0
PO	7,0	9,7	51,6	272	28,6	99,0
Repetição ensaio 3	7,5	8,3	55,0	262	29,7	94,9
Repetição ensaio 3	7,5	8,3	55,0	264	29,9	99,0
Repetição ensaio 4	8,5	8,3	55,0	263	31,1	100,0
Repetição ensaio 4	8,5	8,3	55,0	264	29,9	100,0

A análise da Tabela (5) mostra que todos os ensaios apresentaram valores de IQC próximos de 100, o que os caracteriza como ensaios de alta qualidade. E ainda verifica-se que os pontos 3 e 4 praticamente repetiram os valores de IQC anteriormente obtidos (IQC = 100 para o ensaio 3 e IQC = 97,8 para o ensaio 4, Tabela (3)). Desta forma, estaria gerada uma região robusta, onde pequenas variações dos parâmetros ajustados na fonte não causam prejuízo à qualidade dos cordões. Vê-se nas Tabelas (3) e (5) que a região demarcada pelos pontos experimentais investigados apresenta índices IQC bem próximos. A região robusta em questão, formada por ensaios com IQC em torno de 95, está compreendida dentro das seguintes fronteiras: tensão de referência entre 7 e 9 (o que representa uma tensão média entre 28 e 34 V), velocidade de alimentação entre 8,3 e 9,7 m/min e velocidade de soldagem entre 51,6 e 55,0 cm/min.

4. CONCLUSÕES

O planejamento de experimentos e, mais especificamente, a metodologia de superfície de resposta é uma ferramenta adequada para a otimização de produtos e processos. No presente trabalho, com apenas vinte ensaios (mais seis de confirmação) foi possível identificar quais as melhores combinações de parâmetros para a produção de cordões combinando um alto rendimento de deposição com uma boa qualidade geométrica (penetração, reforço e largura nos níveis desejados).

5. LISTA DE SÍMBOLOS

- IQC - Índice de Qualidade de Cordão
- P - Penetração
- Rend - Rendimento de deposição

Larg -	Largura do cordão
Ref -	Reforço do cordão
MSR -	Metodologia de Superfície de Resposta
Uref -	Tensão de referência
Valim -	Velocidade de alimentação de arame
Vsol -	Velocidade de soldagem
I _m -	Corrente média de soldagem
U _m -	Tensão média de soldagem
α -	é a chamada distância axial, medida entre os pontos axiais e os centrais de um planejamento experimental.

6. REFERÊNCIAS

- Derringer, G. and Suich, R., 1980, ‘Simultaneous Optimization of Several Response Variables’, Journal of Quality Technology, Vol. 12, No. 4, October, pp. 214-219.
- Harrington Jr., E. C., 1965, ‘The Desirability Function’, Industrial Quality Control, April, pp. 494 - 498.
- Montgomery, D. C., 1997, ‘Design and Analysis Of Experiments’, John Wiley & Sons Inc., 3rd Edition, 589 pp.
- Myers, R. H., 1976, Response Surface Methodology, 1st Edition, 246 pp.

MAG WELDING OPTIMIZATION USING RESPONSE SURFACE METHODOLOGY

Davi Sampaio Correia

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica, CEP 38400-902, Uberlândia-MG, Brasil
dscorreia@mecanica.ufu.br

Marcos Antonio de Souza Barrozo

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Química, CEP 38400-089, Uberlândia-MG, Brasil
masbarrozo@ufu.br

Valtair Antonio Ferraresi

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica, CEP 38400-902, Uberlândia-MG, Brasil
valtairf@mecanica.ufu.br

Abstract. The GMAW welding process with pure CO₂ as protection gas can offer sound welds beads on a low cost. But it has the serious drawback of great spatter generation. This work proposes a methodology based on Response Surface Methodology and Desirability function to find the welding parameters which give the best weld bead geometry at a acceptable spatter level. The results showed that this combination of techniques were successful in identifying such parameters.

Keywords. welding, GMAW, optimization, Response Surface Methodology.