



## **AVALIAÇÃO DE DIFERENTES TÉCNICAS DE PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL VISANDO A REDUÇÃO DE EXPERIMENTOS EM SOLDAGEM**

**Hélio Cordeiro de Miranda**

M.Sc., aluno de doutorado da Universidade Federal de Uberlândia

**Américo Scotti**

Prof. Dr. da Universidade Federal de Uberlândia

**Valtair Antonio Ferraresi**

Prof. Dr. da Universidade Federal de Uberlândia

**Jesualdo Pereira Farias**

Prof. Dr. da Universidade Federal do Ceará

***Resumo.** A realização de um número elevado de experimentos muitas vezes pode apresentar alto custo e aumentar o tempo necessário para obtenção de resultados. O objetivo deste trabalho foi avaliar a possibilidade de se reduzir o número de experimentos, por meio de duas técnicas de planejamento experimental alternativas, sem que ocorra prejuízos significativos da análise de dados. Utilizou-se os resultados provenientes de 48 experimentos elaborados para se estudar transferência metálica na soldagem MIG/MAG posição sobrecabeça. Os resultados mostraram que se pode reduzir o número de experimentos desde que aplicado um técnica de planejamento experimental correta. A identificação da técnica correta mostrou depender não somente do conhecimento das técnicas estatísticas, mas também da experiência e do conhecimento técnico do pesquisador sobre o processo ou produto a ser avaliado.*

***Palavras-chave:** Planejamento experimental, Análise de variância, Arranjo ortogonal, Projeto Fatorial, Soldagem.*

### **1. INTRODUÇÃO**

A pesquisa científica é utilizada principalmente para encontrar soluções de problemas, confirmar tendências sociais e comprovar hipóteses levantadas sobre determinados assuntos. As principais etapas envolvidas numa pesquisa são: estudo do problema, definição dos objetivos, planejamento e realização dos experimentos, análise e discussão dos resultados e conclusões. Destas etapas, a experimentação é responsável, em muitos casos, pelas maiores dificuldades na realização de um estudo científico. Geralmente, a execução de um experimento está associada a um gasto em material e perda de tempo relevantes, o que acarreta em despesas para o pesquisador e demora para obtenção dos resultados – o que pode ser frustrante do ponto de vista profissional.

Necessita-se, desta maneira, de um planejamento experimental adequado para que se possa retirar uma maior quantidade de informações, de forma mais rápida e com o menor custo possível. Neste sentido, a seleção dos fatores de controle e seus níveis representa uma fase primária do planejamento experimental e o conhecimento técnico do experimentador, para esta situação, é de fundamental importância. A fase seguinte, consiste em selecionar uma determinada combinação dos níveis dos fatores de controle, ou seja, montar a matriz experimental.

Diversas são as técnicas e ferramentas estatísticas utilizadas para planejar e executar experimentos. Entretanto, a aplicação destas ferramentas não pode ser feita isoladamente, pois cada situação está associada a um conjunto particular de variáveis atuantes. Novamente, a experiência e conhecimento profissional do pesquisador é essencial para retirar resultados consistentes.

Um das formas mais seguras de obter resultados consiste na utilização de uma matriz experimental que contenha todas as combinações possíveis entre os níveis dos fatores de controle, ou seja, um planejamento do tipo fatorial completo. Contudo, essa técnica muitas vezes pode ser inviável do ponto de vista econômico e funcional, devido ao elevado número de experimentos envolvidos e um maior tempo na realização dos mesmos.

Como alternativas para redução do número de experimentos, pode-se tentar reduzir o número de níveis dos fatores de controle ou modificar a combinação de experimentos do fatorial completo para um arranjo ortogonal. Entretanto, a redução de experimento por meio de uma ou outra técnica é limitada em função dos prejuízos que podem ocorrer na análise das respostas. Estes prejuízos são decorrentes das interações entre os fatores de controle, dos erros aleatórios, das perdas do efeito de curvatura, etc. Deste modo, o experimentador deve ter consciência de que a redução do número de informações provavelmente lhe trará perdas na análise e que a opção de se reduzir o número de experimentos deverá depender da intensidade do prejuízo da análise em relação a redução do tempo e do custo envolvidos.

Portanto, o objetivo deste trabalho é verificar a possibilidade de redução do número de experimentos, por diferentes técnicas de planejamento experimental, sem acarretar prejuízos significativos sobre a análise de dados, utilizando para avaliar a eficácia um modelamento de média (análise de variância).

## **2. DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO**

No caso presente, a aplicação dos planejamentos experimentais foi direcionada a um caso de pesquisa em soldagem. Os estudos experimentais em soldagem demandam custo e tempo consideráveis; os corpos de prova normalmente precisam ser usinados e tratados superficialmente. A preparação da bancada experimental, monitoração, tratamento e análise de dados também levam muito tempo. Além disto, estas atividades envolvem esforços físicos consideráveis, devido ao desconforto ergonômico e ambiental (luz e calor intensos). Tudo isto faz com que se deseje limitar ao máximo possível a fase experimental.

Por outro lado, o processo de soldagem é ainda de difícil modelagem, seja por métodos numéricos ou determinísticos, sendo a avaliação estocástica uma ótima ferramenta. Como a experimentação em soldagem tem por objetivo, na maioria das vezes, verificar o efeito de uma ou mais variáveis sobre determinadas características, o procedimento adequado é encontrar variáveis (chamadas de fatores de controle) que possam influenciar uma dada propriedade de solda que se deseja estudar (chamada de resposta). Uma técnica de se avaliar se um dado fator de controle influencia uma determinada resposta consiste em realizar a análise de variância (ANOVA). Esta ANOVA é realizada principalmente adotando-se como critério de análise os níveis de 1 e 5 % (o que representa, respectivamente, uma análise com 99 e 95 % de confiabilidade), ou seja, um fator de controle para afetar uma resposta,

estatisticamente falando, deve apresentar valor de significância ( $\alpha$ ) menor que 1 % (análise com 99 % de confiabilidade) ou menor que 5 % (análise com 95 % de confiabilidade). Pode-se exemplificar esta análise da seguinte forma: se um determinado fator de controle apresentar nível de significância ( $\alpha$ ) sobre uma resposta específica menor que 5 %, pode-se afirmar que este fator influenciou a média desta resposta com 95 % de confiabilidade (Costa Neto, 1997 e Wonnacott & Wonnacott, 1980).

## 2.1 Aplicação prática

O problema apresentado foi o de verificar os efeitos das variáveis de soldagem sobre as características de transferência metálica e econômicas em soldagem MIG/MAG na posição sobrecabeça. Para tal, usando-se os conhecimentos dos especialistas de soldagem, escolheram-se quatro fatores de controle com número de níveis diferenciados para cada fator. São eles:

- ◆ Velocidade de alimentação do arame (Valim) – 2 níveis; 2,8 e 3,6 m/min;
- ◆ Área adicionada (Sad) - 2 níveis; 45 e 75 %;
- ◆ Tensão de referência (Uref) – 4 níveis; 17, 18, 19 e 20 V;
- ◆ Indutância (Indut) – 3 níveis; 3, 5 e 7.

Como respostas foram selecionados o tempo de curto-circuito (tcc), o período de curto-circuito (T), o tempo de arco (tarc) e o rendimento de deposição (Rend).

Foram feitos três planejamentos de experimentos para atingir o objetivo proposto por este trabalho. O primeiro consistiu de uma combinação total entre os níveis dos fatores de controle empregados, ou seja, um projeto fatorial completo do tipo  $2^2 \times 4 \times 3$ . O número total de experimentos, para este caso, foi 48.

O segundo planejamento, ainda um fatorial completo com apenas 16 experimentos, foi obtido reduzindo-se o número de níveis da Uref e da indutância, de forma que todos os fatores de controle ficaram com 2 níveis. A representação para este planejamento fatorial é  $2^4$ . O terceiro planejamento, contendo também 16 experimentos, foi realizado com base nos princípios básicos do Método Taguchi (ou Método Robusto), a partir de um arranjo ortogonal L16 modificado (Phadke, 1989).

É importante salientar que a montagem das matrizes experimentais do planejamento fatorial  $2^4$  e do arranjo ortogonal foi feita sem necessidade de realização de testes adicionais, usando-se os próprios ensaios da combinação dos experimentos do fatorial  $2^2 \times 4 \times 3$ , uma vez que o fatorial  $2^2 \times 4 \times 3$  envolve todas as combinações entre os níveis dos fatores de controle requeridas pelas duas outras matrizes. Uma vantagem deste procedimento, além de não necessitar de novos recursos, é que os resultados também foram os mesmos, eliminando-se uma fonte de variação.

As soldagens, automatizadas, foram realizadas na posição sobrecabeça, em corpos de prova com chanfro central em “V”, utilizando-se o processo MIG/MAG. Manteve-se constante a distância do bico de contato à peça (DBCP) em 15 mm, o diâmetro do arame eletrodo em 1,2 mm, a vazão do gás de proteção (uma mistura de 25% de CO<sub>2</sub> com Argônio) em 14 l/min e a tocha em ângulo reto com a superfície do corpo de prova. Para maiores detalhes sobre estes experimentos ver Miranda (1999).

As Tabelas 1, 2 e 3 mostram, respectivamente, a matriz do planejamento fatorial  $2^2 \times 4 \times 3$ , a matriz do planejamento fatorial  $2^4$  e da matriz do arranjo ortogonal. Mostram também os valores das respostas avaliadas. Observar que a primeira coluna destas duas últimas tabelas (planejamento fatorial  $2^4$  e arranjo ortogonal) contém o número de identificação associado o ensaio retirado da Tabela 1 (planejamento fatorial  $2^2 \times 4 \times 3$ ).

Tabela 1 – Matriz experimental do planejamento fatorial  $2^2 \times 4 \times 3$  e as respectivas respostas.

Nº	Valim (m/min)	Sad (%)	Uref (V)	Indutância	T (ms)	Tcc (ms)	tarc (ms)	Rendimento (%)
1	2,8	45	17	3	29,8	6,5	23,5	91,2
2	2,8	45	17	5	28,4	7,6	21,2	86,6
3	2,8	45	17	7	23,0	6,0	17,8	89,4
4	2,8	45	18	3	26,3	4,5	22,0	87,5
5	2,8	45	18	5	19,5	3,5	16,5	86,4
6	2,8	45	18	7	25,6	5,5	21,0	92,9
7	2,8	45	19	3	24,6	3,5	21,3	92,0
8	2,8	45	19	5	20,5	3,5	17,4	92,7
9	2,8	45	19	7	21,5	3,5	18,3	86,2
10	2,8	45	20	3	33,3	3,5	29,9	88,0
11	2,8	45	20	5	24,6	3,5	21,3	90,4
12	2,8	45	20	7	24,9	3,8	21,4	87,9
13	2,8	75	17	3	23,2	4,9	19,3	94,7
14	2,8	75	17	5	28,7	7,1	22,3	92,9
15	2,8	75	17	7	33,3	9,4	24,7	92,9
16	2,8	75	18	3	23,9	3,8	20,7	95,8
17	2,8	75	18	5	23,2	4,7	19,3	92,9
18	2,8	75	18	7	17,1	4,0	14,0	91,2
19	2,8	75	19	3	22,2	2,9	19,8	92,7
20	2,8	75	19	5	21,8	3,4	19,1	94,8
21	2,8	75	19	7	21,5	3,4	18,6	94,3
22	2,8	75	20	3	25,2	3,0	22,6	90,8
23	2,8	75	20	5	23,0	3,3	20,2	95,1
24	2,8	75	20	7	23,3	3,2	20,5	91,0
25	3,6	45	17	3	24,2	6,7	18,6	88,7
26	3,6	45	17	5	34,6	10,6	24,8	85,9
27	3,6	45	17	7	34,9	11,6	24,0	82,1
28	3,6	45	18	3	18,2	4,0	14,6	90,2
29	3,6	45	18	5	29,7	7,4	22,8	87,4
30	3,6	45	18	7	18,1	4,9	13,6	88,3
31	3,6	45	19	3	22,0	4,1	18,5	80,9
32	3,6	45	19	5	21,0	4,4	17,0	83,1
33	3,6	45	19	7	19,9	4,5	19,9	87,2
34	3,6	45	20	3	21,6	3,2	18,7	83,7
35	3,6	45	20	5	21,0	3,4	18,1	85,0
36	3,6	45	20	7	21,4	3,9	18,2	83,6
37	3,6	75	17	3	24,3	6,0	19,4	93,0
38	3,6	75	17	5	38,8	11,1	28,5	91,1
39	3,6	75	17	7	44,2	14,4	32,0	90,8
40	3,6	75	18	3	27,5	6,0	23,1	93,4
41	3,6	75	18	5	43,7	11,3	33,1	91,9
42	3,6	75	18	7	49,9	13,1	38,6	87,5
43	3,6	75	19	3	22,6	4,0	19,5	90,8
44	3,6	75	19	5	30,8	6,3	25,2	89,1
45	3,6	75	19	7	40,0	9,2	31,7	90,4
46	3,6	75	20	3	22,2	3,1	19,5	87,4
47	3,6	75	20	5	21,0	3,5	18,2	92,1
48	3,6	75	20	7	19,5	3,6	16,5	93,0

Tabela 2 – Matriz experimental do planejamento fatorial  $2^4$  e as respectivas respostas.

Nº	Valim (m/min)	Sad (%)	Uref (V)	Indutância	T (ms)	tcc (ms)	tarc (ms)	Rendimento (%)
1	2,8	45	17	3	29,8	6,5	23,5	91,2
3	2,8	45	17	7	23,0	6,0	17,9	89,4
10	2,8	45	20	3	33,3	3,5	29,9	88,0
12	2,8	45	20	7	25,0	3,8	21,4	87,9
13	2,8	75	17	3	23,2	4,9	19,3	94,7
15	2,8	75	17	7	33,3	9,4	24,8	92,9
22	2,8	75	20	3	25,2	3,0	22,7	90,8
24	2,8	75	20	7	23,3	3,2	20,6	91,0
25	3,6	45	17	3	24,2	6,7	18,7	88,7
27	3,6	45	17	7	35,0	11,6	24,0	82,1
34	3,6	45	20	3	21,6	3,2	18,7	83,7
36	3,6	45	20	7	21,4	3,9	18,2	83,6
37	3,6	75	17	3	24,3	6,0	19,4	93,0
39	3,6	75	17	7	44,3	14,4	32,1	90,8
46	3,6	75	20	3	22,2	3,1	19,5	87,4
48	3,6	75	20	7	19,6	3,6	16,6	93,0

Tabela 3 – Matriz experimental do planejamento envolvendo o arranjo ortogonal e as respectivas respostas.

Nº	Valim (m/min)	Sad (%)	Uref (V)	Indutância	T (ms)	tcc (ms)	tarc (ms)	Rendimento (%)
1	2,8	45	17	3	29,8	6,5	23,5	91,2
17	2,8	75	18	5	23,3	4,8	19,4	92,9
9	2,8	45	19	7	21,5	3,6	18,3	86,2
23	2,8	75	20	5	23,1	3,3	20,3	95,1
30	3,6	45	18	7	18,2	5,0	13,6	88,3
38	3,6	75	17	5	38,9	11,1	28,6	91,1
34	3,6	45	20	3	21,6	3,2	18,7	83,7
44	3,6	75	19	5	30,9	6,3	25,3	89,1
8	2,8	45	19	5	20,6	3,6	17,5	92,7
24	2,8	75	20	7	23,3	3,2	20,6	91,0
2	2,8	45	17	5	28,4	7,6	21,2	86,6
16	2,8	75	18	3	24,0	3,9	20,8	95,8
35	3,6	45	20	5	21,0	3,4	18,1	85,0
43	3,6	75	19	3	22,7	4,0	19,5	90,8
29	3,6	45	18	5	29,8	7,4	22,8	87,4
39	3,6	75	17	7	44,3	14,4	32,1	90,8

Para verificar a eficiência dos planejamentos experimentais alternativos (fatorial  $2^4$  e arranjo ortogonal) utilizados para reduzir o número de experimentos, comparou-se os resultados da análise de variância utilizando os dados da Tabela 1 com os resultados da análise de variância das Tabelas 2 e 3.

Com o intuito de comparar os resultados das ANOVAS para os diferentes planejamentos experimentais, propõe-se os seguintes critérios:

- o fator de controle que afetar uma resposta específica com 99 % de confiabilidade no fatorial  $2^2 \times 4 \times 3$  tem que afetar com pelo menos com 95 % de confiabilidade a mesma resposta nos planejamentos alternativos;
- o fator de controle que afetar uma resposta específica com 95 % de confiabilidade no fatorial  $2^2 \times 4 \times 3$  pode apresentar significância ou não nos planejamentos alternativos, já que 95 % de confiabilidade representa um correlação não tão rigorosa quanto 99 %. Entretanto, a diferença entre os valores absolutos dos níveis de significância, considerando o fatorial  $2^2 \times 4 \times 3$  e os planejamentos alternativos, não deve ser superior a 10 %;
- o fator de controle que não afetar uma resposta específica com 95 % de confiabilidade no fatorial  $2^2 \times 4 \times 3$ , não deverá afetar a mesma resposta nos planejamentos alternativos.

Se os resultados das respostas obtidos pelos planejamentos experimentais alternativos estiverem de uma forma geral coerentes com as considerações citadas acima, assume-se que estes planejamentos foram eficientes na análise das respostas. Caso contrário, o planejamento é deficiente para o caso em estudo.

As Tabelas 4, 5 e 6 ilustram os valores do nível de significância obtido pela análise de variância dos resultados, respectivamente para os planejamentos experimentais fatorial  $2^2 \times 4 \times 3$ , fatorial  $2^4$  e arranjo ortogonal. Nestas tabelas, os números em negrito e sombreados, indicam que a respectiva resposta foi afetada pelo fator de controle, estatisticamente falando, com 99 % de confiabilidade. Os números apenas em negrito indicam que a respectiva resposta foi afetada pelo fator de controle, estatisticamente falando, com 95 % de confiabilidade. Os números que não estiverem em negrito indicam que a respectiva resposta não foi afetada pelo fator de controle.

Tabela 4 - Níveis de significância ( $\alpha$ ) para os parâmetros referentes ao planejamento experimental fatorial  $2^2 \times 4 \times 3$ .

<b>1.1.1.1 Nível obtido (comparando com <math>\alpha &lt; 5\%</math>)</b>				
<b>Fator de controle</b>	<b>tcc (ms)</b>	<b>T (ms)</b>	<b>tarc (ms)</b>	<b>Rendimento (%)</b>
Valim (m/min)	<b>0,000004</b>	<b>0,013557</b>	0,084567	<b>0,000229</b>
Sad (%)	<b>0,023867</b>	<b>0,014074</b>	<b>0,008586</b>	<b>0,000001</b>
Uref (V)	<b>0,000000</b>	<b>0,002395</b>	0,223276	0,519391
Indutância	<b>0,000210</b>	0,157229	0,556225	0,675161

Tabela 5 - Níveis de significância ( $\alpha$ ) para os parâmetros referentes ao planejamento experimental fatorial  $2^4$ .

<b>Nível obtido (comparando com <math>\alpha &lt; 5\%</math>)</b>				
<b>Fator de controle</b>	<b>tcc (ms)</b>	<b>T (ms)</b>	<b>tarc (ms)</b>	<b>Rendimento (%)</b>
Valim (m/min)	0,077831	0,825300	0,264695	<b>0,015671</b>
Sad (%)	0,687510	0,900511	0,805998	<b>0,001842</b>
Uref (V)	<b>0,001059</b>	<b>0,030810</b>	0,288584	<b>0,044967</b>
Indutância	<b>0,019440</b>	0,231256	0,720243	0,350805

Tabela 6 - Níveis de significância ( $\alpha$ ) para os parâmetros referentes ao planejamento experimental utilizando o arranjo ortogonal.

<b>Nível obtido (comparando com <math>\alpha &lt; 5\%</math>)</b>				
<b>Fator de controle</b>	<b>tcc (ms)</b>	<b>T (ms)</b>	<b>tarc (ms)</b>	<b>Rendimento (%)</b>
Valim (m/min)	<b>0,002623</b>	0,065103	0,191478	<b>0,030184</b>
Sad (%)	<b>0,038439</b>	<b>0,036113</b>	<b>0,026794</b>	<b>0,005977</b>
Uref (V)	<b>0,000117</b>	<b>0,004974</b>	<b>0,028750</b>	0,585850
Indutância	<b>0,030232</b>	0,543936	0,864248	0,684851

### 3. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Pela comparação dos resultados da Tabela 5 (planejamento fatorial  $2^4$ ) com os da Tabela 4 (fatorial  $2^2 \times 4 \times 3$ ), observa-se que houve enquadramento pelos critérios estabelecidos das seguintes respostas:

- ◆ tcc: para os fatores de controle Uref e indutância;
- ◆ T: para os fatores de controle Uref e indutância;
- ◆ tarc: para os fatores de controle Valim, Uref e indutância;
- ◆ Rendimento: para Valim, Sad e indutância.

No entanto, não houve atendimento dos critérios estabelecidos para:

- ◆ tcc: para os fatores de controle Valim e Sad;
- ◆ T: para os fatores de controle Valim e Sad;
- ◆ tarc: para o fator de controle Sad;
- ◆ Rendimento: para o fator de controle Uref.

Comparando os resultados da Tabela 6 com os da Tabela 4, verifica-se que o planejamento baseado no arranjo ortogonal, em relação ao fatorial  $2^2 \times 4 \times 3$ , obteve as seguintes respostas enquadradas pelos critérios estabelecidos:

- ◆ tcc, T e Rendimento: para todos os fatores de controle;
- ◆ tarc: para Valim, Sad e Indutância.

Somente o resultado do fator de controle Uref, considerando a resposta tarc, não atendeu os critérios estabelecidos.

Pela análise realizada acima, e assumindo-se que o fatorial  $2^2 \times 4 \times 3$  é que leva a resultados mais corretos, foi possível observar que o fatorial  $2^4$  apresentou os maiores prejuízos na análise de dados. Acredita-se que este resultado pode ser explicado com base na redução não balanceada de experimentos, fazendo com que os fatores de controle com o menor número de níveis (englobam um menor conjunto de dados), em termos relativos, tivessem seus efeitos diminuídos com maior intensidade. Outro prejuízo decorrente do emprego do fatorial  $2^4$  é que para os fatores de controle que tiveram seus níveis reduzidos (Uref e indutância) se esperava possuir efeitos de curvaturas sobre as respostas (sentimentos dos pesquisadores especialistas em soldagem), o que implicou em, além da redução do número de informações (redução do número de experimentos), prejuízos na observação da tendência do comportamento do fator com a variação da resposta. Portanto, destaca-se, mais uma vez, a importância do conhecimento do experimentador sobre o processo/produto para poder reduzir o número de experimentos com eficiência; quando for necessário reduzir o número de níveis em um planejamento experimental, deve-se fazer preferencialmente para fatores de controle que não apresentem efeito de curvatura sobre determinadas respostas.

Constatou-se, por outro lado, uma grande concordância dos resultados da análise do arranjo ortogonal com os do fatorial completo com mais de dois níveis. Este fato comprovou a vantagem de se reduzir o número de experimentos de maneira balanceada (arranjo ortogonal) na análise de dados. Entretanto, para esta técnica ser eficiente, é necessário que não haja interações significativas entre os fatores de controle (Phadke, 1989), avaliada pela aditividade dos efeitos de cada fator de controle sobre cada resposta. Esta aditividade para estes experimentos foi comprovada e demonstrada em outra publicação (Miranda, 1999), suportando a hipótese de que o planejamento a partir de um arranjo ortogonal L16 modificado mostrou ser de boa eficiência.

Desta maneira, o experimentador poderia neste trabalho ter optado pelo arranjo ortogonal como planejamento experimental, visando a redução de experimentos, sem prejuízos na análise, pois os fatores de controle não apresentaram interações significativas entre si. Isto é, as duas técnicas de planejamento experimental, fatorial  $2^2 \times 4 \times 3$  e arranjo ortogonal, levaram às mesmas tendências observadas para o efeito dos fatores velocidade de alimentação do arame, área adicionada, tensão de referência e indutância sobre as respostas tempo de curto-circuito (tcc), período de curto-circuito (T), tempo de arco (tarc) e rendimento de deposição, apesar de uma consumir 1/3 dos recursos da outra.

#### **4. CONCLUSÕES**

Conclui-se que a redução do número de experimentos através de planejamentos experimentais que reduzem os níveis dos fatores de controle pode representar uma alternativa ineficiente, principalmente se esses fatores apresentarem efeito de curvatura acentuado. O planejamento a partir de um arranjo ortogonal pode ser realizado de forma eficiente desde que não haja interações significativas entre os fatores de controle. No geral, pode-se afirmar que é viável a utilização de planejamentos experimentais que reduzam o número de experimentos sem que ocorra prejuízos consideráveis na análise. Entretanto, a escolha do método adequado pode variar de um caso para o outro, de maneira que, a experiência e o conhecimento do experimentador passam a ser de fundamental importância para seleção do melhor planejamento experimental.

## REFERÊNCIAS

- Costa Neto, P. L. O., 1997, “Estatística”, Editora Edgard Blücher LTDA., 15<sup>a</sup> Impressão, 264 pp.
- Miranda, H. C. 1999, “Influência da Indutância na Soldagem MIG/MAG na Posição Sobrecabeça”, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia – MG, 169 pp.
- Phadke, M. S., 1989, “Quality Engineering Using Robust Design”, Printice Hall, USA.
- Wonnacott, T. H.; Wonnacott, R. J., 1980, “Introdução a Estatística”, Livros Técnicos e Científicos Editora S/A, 1<sup>a</sup> edição, Rio de Janeiro - RJ, 590 pp.

### ASSESSMENT OF DIFFERENT EXPERIMENTAL DESIGNING TECHNIQUES TO REDUCE THE NUMBER OF EXPERIMENTS IN WELDING

**Abstract.** *The realization of a large number of experiments can sometimes present great cost and increase the time necessary for result attainment. The target of this work was to appraise the possibility of limiting the number of experiments, by means of two techniques of alternative experimental design, without detriment of data analysis. The results from 48 elaborated experiments were used to study metal transference in overhead position MIG/MAG welding. The results showed that the number of experiments could be reduced if the right experimental designing technique is applied. The identification of the right technique was shown to depend not only of the knowledge of statistical technique, but also of the experience and technical acquaintanceship of the researcher about the process or product that is to be evaluated.*

**Keywords:** *Experimental Design, Analysis of variance, Orthogonal array, Factorial Design, Welding.*