

### Aproximação de Intervalo de Parâmetros para Soldas por Fricção e Mistura Mecânica a Partir de Software Minitab Jerônimo Ghisi Schröder, Prof. Dr. Afonso Reguly

#### INTRODUÇÃO

O processo de soldagem por fricção e mistura mecânica (FSW) consiste na união no estado sólido de dois elementos, geralmente chapas, através da deformação plástica e mistura dos materiais através de uma ferramenta com movimento rotacional, translacional e carga axial. É um processo relativamente sensível aos parâmetros de soldagem, sendo geralmente necessária uma pesquisa antes de sua aplicação. Contudo, é amplamente aplicado graças a sua estabilidade, reprodutibilidade, eficiência e as boas propriedades mecânicas se comparado aos processos que envolvam fusão, uma vez que dimensionado para dada aplicação.

Uma vez soldadas as chapas, retirou-se corpos de prova com aproximadamente 20mm de largura do sentido transversal das uniões a fim de analisar a presença de um defeito comum ao processo FSW, o void ou falta de preenchimento. Nas amostras, onde foi considerado necessário, a superfície foi lixada para eliminar a interferência do corte na visualização do defeito.

Com os exemplares da matriz caracterizados foram atribuídas notas as soldas de acordo com a presença ou não de defeito, assim como por seu acabamento superficial e quantidade de rebarba gerada, visto que esses fatores são fruto de uma perda de material na região de solda.

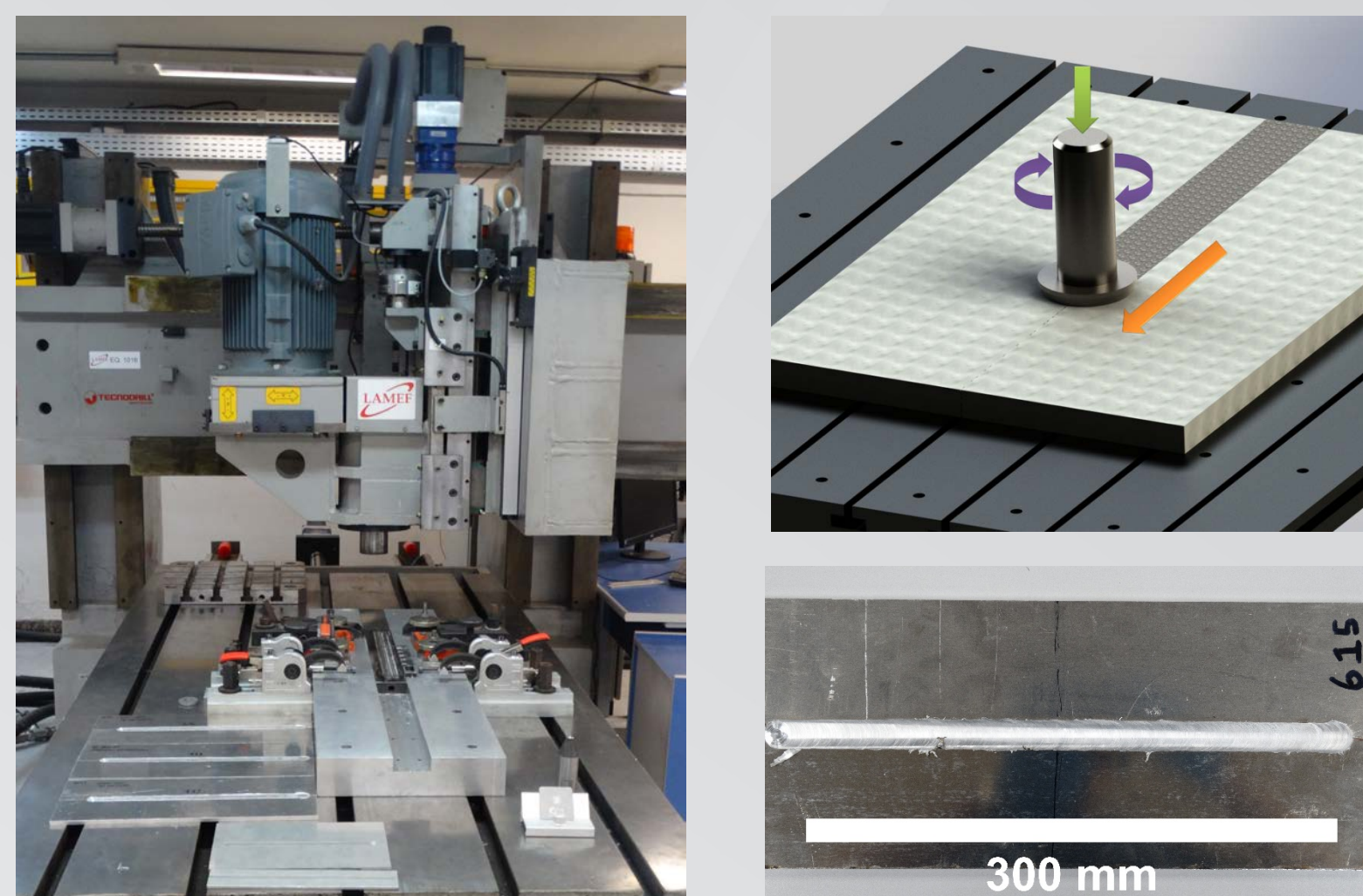


Imagem 1: Processo de soldagem por fricção e mistura mecânica / região de solda entre duas chapas

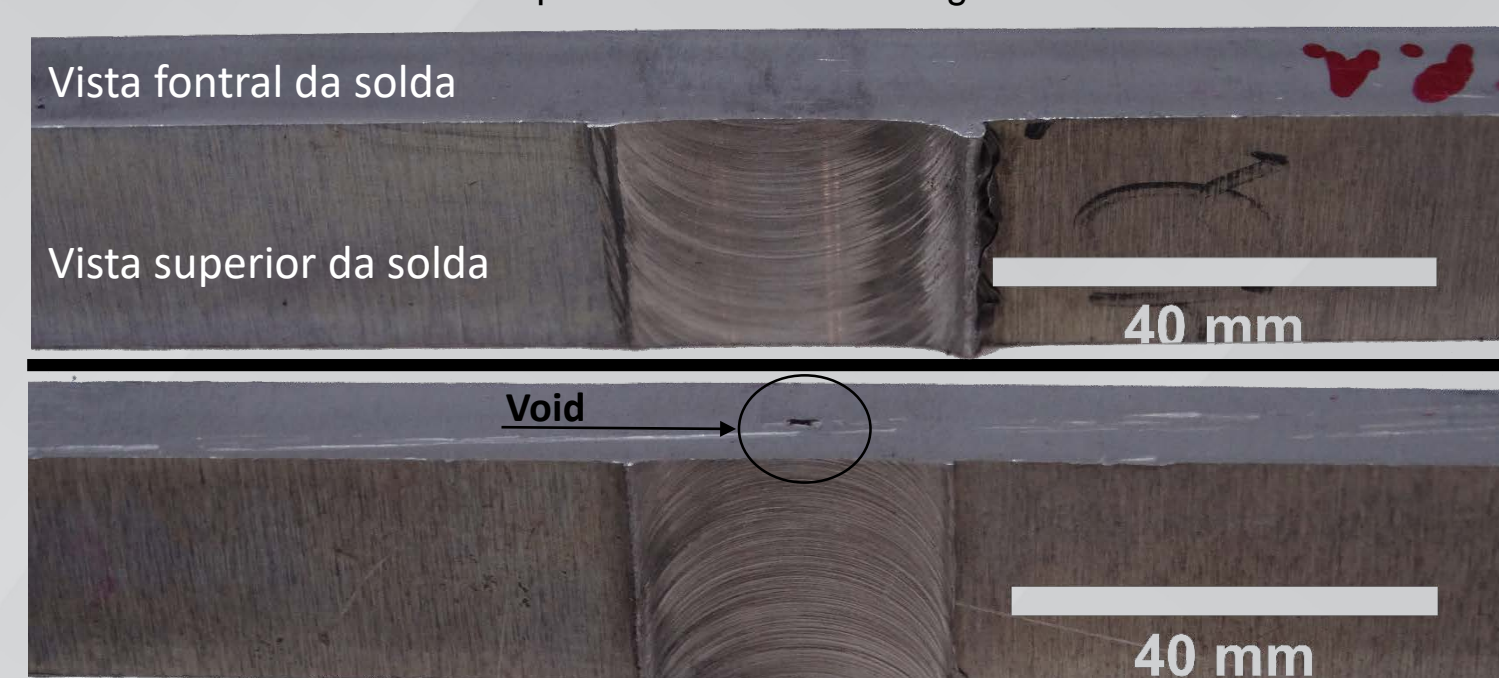


Imagem 2: União sem defeito (acima) e com defeito void (abaixo)

#### RESULTADOS

Dentre os parâmetros testados, os melhores resultados foram obtidos nos ensaios 4, 9, 13 e 15 da Tabela 1. Depois de inseridas as graduações de qualidade das soldas "notas" no software, diversos resultados podem ser abstraídos. Entre os utilizados temos o Diagrama de Pareto (Figura 3), o qual mostra graficamente o grau de influência dos parâmetros na nota obtida, e uma Otimização de Resposta (Figura 4), a qual prediz a melhor solução possível (D→1) visto o intervalo disponível. Também obtemos a equação de regressão em unidades não codificadas que descreve a resposta "Nota", dado os parâmetros.

#### OBJETIVO

Adequar o processo FSW para soldagem em chapas da liga de alumínio 5083-O com 6,3mm de espessura utilizando uma ferramenta cônica. Visto que tal adequação geralmente necessita um número grande de ensaios, desenvolver e aplicar um método que reduza o número de ensaios necessários para indicar uma tendência de melhora é ideal.

#### METODOLOGIA

O estudo foi dividido em quatro etapas principais:

- 1- Estimativa de intervalo de parâmetros para soldagem das chapas;
- 2- Aplicação da ferramenta *Design of Experiment* (DOE) Box-Behnken em software Minitab;
- 3- Soldagem em máquina FSW situada no LAMEF - UFRGS e caracterização das soldas;
- 4- Classificação das soldas e estudo dos resultados obtidos pelo software.

#### DESENVOLVIMENTO

A partir de testes já realizados até o momento de aplicação do trabalho e baseado em bibliografias estudadas foi possível definir um intervalo de parâmetros inicial para o processo. Após informar ao software os limites do intervalo suposto ideal e o tipo de experimento a ser conduzido obtivemos uma matriz de parâmetros com 15 ensaios a serem realizados. Os parâmetros a serem ajustados no estudo são a velocidade de avanço e rotação da ferramenta na região de solda assim como a penetração do ombro nas chapas, representado pela variável posição, sendo 1 a com maior penetração (0.2mm) e 3 a mais elevada (0.1mm).

| Ensaio | Velocidade de Rotação (rpm) | Velocidade de Avanço (mm/min) | Posição |
|--------|-----------------------------|-------------------------------|---------|
| 1      | 1400                        | 45                            | 3       |
| 2      | 1400                        | 35                            | 1       |
| 3      | 1400                        | 40                            | 2       |
| 4      | 1300                        | 40                            | 3       |
| 5      | 1400                        | 35                            | 3       |
| 6      | 1500                        | 40                            | 3       |
| 7      | 1300                        | 45                            | 2       |
| 8      | 1500                        | 35                            | 2       |
| 9      | 1300                        | 40                            | 1       |
| 10     | 1500                        | 40                            | 1       |
| 11     | 1500                        | 45                            | 2       |
| 12     | 1400                        | 45                            | 1       |
| 13     | 1300                        | 35                            | 2       |
| 14     | 1400                        | 40                            | 2       |
| 15     | 1400                        | 40                            | 2       |

Tabela 1 – Matriz de Parâmetros Inicial

Imagem 3: Gráfico de Pareto dos efeitos sobre a resposta (a resposta é Nota;  $\alpha = 0,05$ )

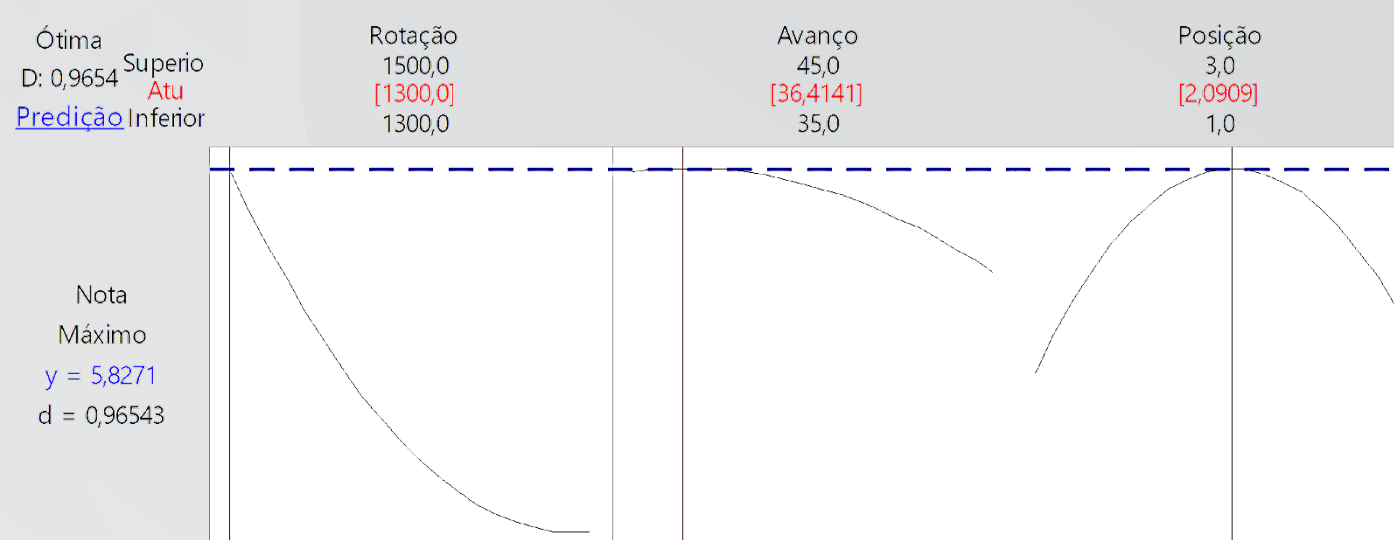
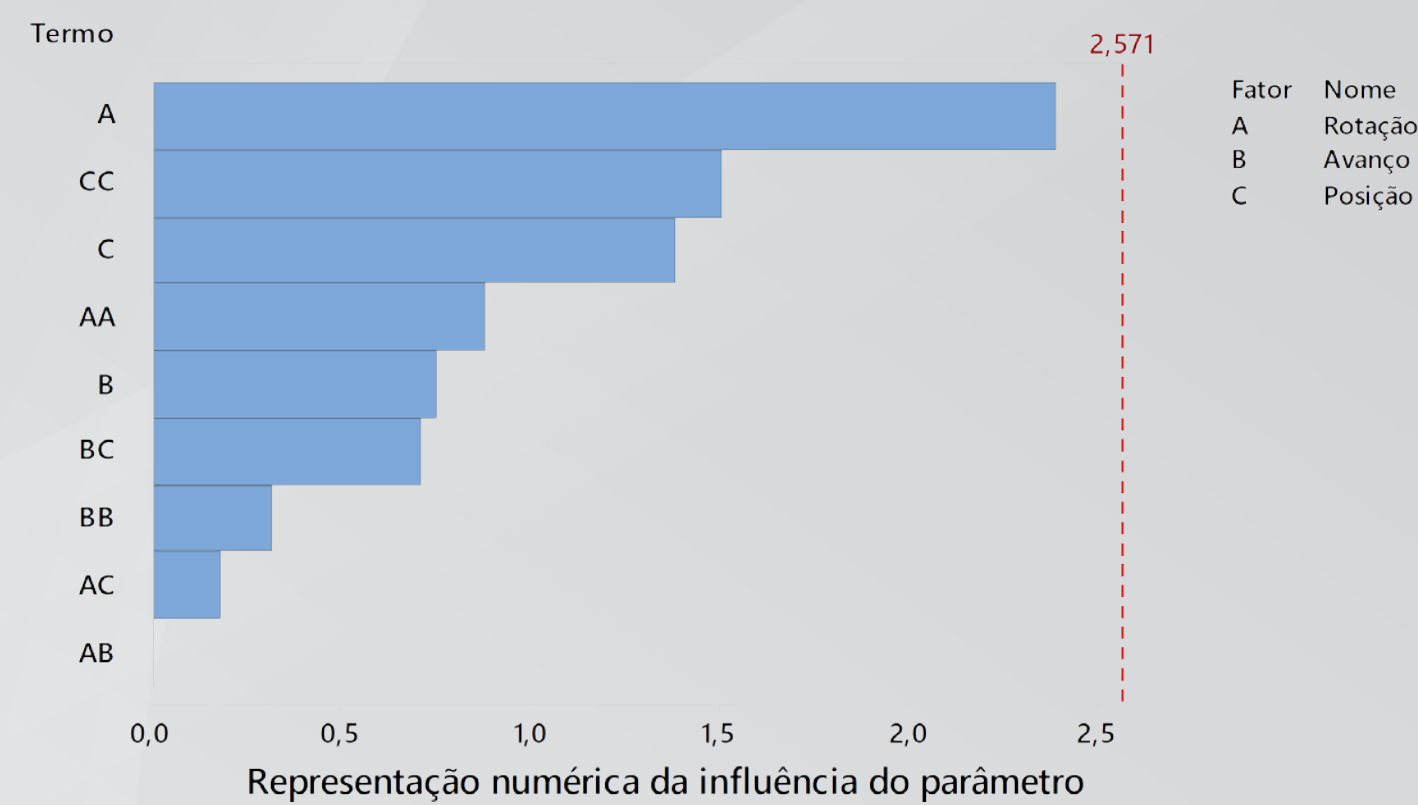


Imagem 4: Curvas de otimização da variável de resposta "Nota"

$$\text{NOTA} = 141 - 0,195 \cdot A + 0,46 \cdot B - 0,6 \cdot C + 0,000065 \cdot A^2 - 0,0092 \cdot B^2 - 1,104 \cdot C^2 + 0,00125 \cdot A \cdot C + 0,1 \cdot B \cdot C$$

Equação 1: Equação de regressão para a resposta "Nota"

#### CONCLUSÃO

Os resultados obtidos são coerentes com estudos prévios, como o Diagrama de Pareto evidencia, a velocidade de rotação é um fator determinante para a qualidade da solda. É sabido que uma estabilidade térmica é necessária para uma junta bem consolidada, sendo o atrito entre ombro da ferramenta e chapas o principal gerador de calor. Visto que 2 dos 3 parâmetros avaliados apresentam uma tendência de melhora próximo ou no limite do intervalo inicial, faz-se lógico deslocar o intervalo para englobar novos parâmetros, replicando o processo de Box-Behnken em busca de melhores resultados.