

# SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL PARA OBTENÇÃO DO CAMPO DE TEMPERATURA NO PROCESSO DE SOLDAGEM TIG EM JUNTA EM “T”

COBEF2017-0757

Rafael Leandro Fernandes Melo, rafaellfm@outlook.com  
João Dehon Rocha Junior, joaodehonjunior@hotmail.com  
João Felipe Vieira Lima, joaofelipe\_12@hotmail.com  
André Ferreira de Oliveira, engmecandre@hotmail.com  
Shyrlei da Silva Oliveira, shyrlei.arquiteta@gmail.com  
Alessandro Jacinto Rodrigues de Carvalho, alessandro66@hotmail.com

<sup>1</sup>Universidade Federal Rural do Semi-Árido – Av. Francisco Mota – Pintos, Mossoró – RN, CEP: 59.625-900.

**Resumo:** O conhecimento do campo de temperatura gerado em um processo de soldagem pode ser útil para previsão das tensões residuais. Estruturas soldadas através de juntas em “T”, são amplamente utilizadas na indústria em diversas aplicações. Nesse sentido, o trabalho consistiu em obter o campo de temperatura gerado através de uma soldagem TIG autógena no aço AISI 304 unido por uma junta em “T”. Na simulação computacional foi utilizado o ANSYS *Workbench* 16.0 munido com uma extensão para movimento da fonte de calor utilizando a dupla elipsoidal de Goldak (2005). O material foi criado no software para ter suas propriedades físicas variantes com a temperatura, sendo elas: condutividade térmica, calor específico e densidade. As perdas de calor para o ambiente (convecção natural e radiação) e a dissipação de calor na própria peça (condução) foram consideradas. Para obtenção do campo de temperatura foram utilizados pontos de medição estrategicamente dispostos na peça, para que dessa forma, esse seja capaz de, posteriormente, ser utilizado para obtenção das tensões residuais geradas na peça. As medições de temperatura foram realizadas no começo, meio e fim do cordão de solda. A validação da simulação computacional foi feita através de consultas a literatura, a fim de encontrar semelhanças do campo obtido nesse experimento com o de outros autores.

**Palavras-chave:** Soldagem TIG; Solda em junta T; Simulação.

## 1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos diversos projetos de engenharia têm surgido no cenário nacional, principalmente nas indústrias de processos entre elas química, petroquímica e óleo e gás. Porém, novos desafios vêm sendo enfrentado na busca de inovação de novos materiais e processo para a cadeia produtiva. Neste processo para a cadeia produtiva, a soldagem é a principal ferramenta para união de componentes estruturais. No entanto, por suas características intrínsecas, a solda pode vir a favorecer uma cadeia de eventos responsáveis por desencadear uma falha mecânica, induzida pela existência de trincas, poros, fragilização do material, alteração das propriedades metalúrgicas e mecânicas, tensões e deformações residuais.

Na busca de alternativas para diminuir esses problemas causados pelo processo de soldagem a simulação numérica que utiliza o método dos elementos finitos surge como alternativa e complemento aos métodos experimentais para estimativa das deformações e tensões residuais que permanecem no componente mecânico após a soldagem. Desta forma, o domínio desta metodologia de avaliação das tensões residuais pode ser uma importante ferramenta para garantir a integridade estrutural de componentes mecânicos soldados.

A análise térmica do processo de soldagem tem como objetivo a determinação dos campos de temperaturas desenvolvidos durante o aquecimento e resfriamento das chapas metálicas. As estimativas da análise térmica podem ser realizadas por métodos analíticos e numéricos computacionais, os quais atualmente são os mais utilizados. Em alguns trabalhos que envolve a análise de tensões térmicas de soldagem, a fonte de calor utilizada no modelo térmico pode ser considerada por meio de princípios de condução ou convecção de calor, sendo a primeira mais utilizada.

Como explicado em MASUBUCHI (1980) a equação de calor que governa o estudo térmico em sólidos é apresentada pela Equação 1.

$$\rho(T)c(T)\frac{\partial T}{\partial t} = Q + \frac{\partial}{\partial x}\left(K_x(T)\frac{\partial T}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(K_y(T)\frac{\partial T}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(K_z(T)\frac{\partial T}{\partial z}\right) \quad 1$$

Onde  $\rho$  é a densidade,  $c$  é o calor específico,  $Q$  é a entrada de calor (Equação 1),  $K_x, K_y, K_z$  são os coeficientes de condutividade térmica nas três direções,  $T$  é a temperatura e  $t$  é o tempo. Por meio deste trabalho

espera-se estudar o processo de soldagem de uma junta em “T” sem deposição de material. E através de tais técnicas espera-se validar o software para que o mesmo seja aplicado em outros estudos envolvendo soldagem de peças metálicas.

## 2. METODOLOGIA

O trabalho consistiu em obter resultados numéricos, do campo de temperatura, feita no ANSYS® com a extensão de movimento de fluxo *Moving Heat Flux*, do processo de soldagem TIG (*Tungsten Inert Gas*) autógeno no aço inoxidável autêntico AISI 304 em uma junta em “T”, segundo a metodologia de Melo (2016). Para obter esses resultados numéricos foram utilizados os parâmetros de soldagem mostrados na Tab. (1).

**Tabela 1. Parâmetros de soldagem para o processo numérico.**

| Parâmetros             | Valores  |
|------------------------|----------|
| Tensão do arco         | 10 V     |
| Corrente               | 150 A    |
| Velocidade de soldagem | 4,0 mm/s |
| Energia de soldagem    | 375 J/mm |

O corpo de prova simulado foi desenhado no próprio ANSYS®, e foi admitido uma chapa de 150x200 mm e uma chapa de 100x200 mm ambas com espessura de 2 mm, estas foram em “T”. Foi considerado um caminho para a solda de 200 mm na horizontal, necessário para unir as duas chapas, como mostrado na Fig. (1) a).

Para a realização da análise computacional foi necessário criar o material AISI 316L no software ANSYS®. Para isso, foram utilizadas as seguintes propriedades, mostradas na Tab. (2).

**Tabela 2. Propriedades termofísicas numéricas do AISI 304.**

| Temperatura (°C) | Calor específico (J/Kg °C) | Condutividade térmica (W/m°C) | Densidade (Kg/m³) |
|------------------|----------------------------|-------------------------------|-------------------|
| 0                | 462                        | 14,6                          | 7900              |
| 100              | 496                        | 15,1                          | 7880              |
| 200              | 512                        | 16,1                          | 7830              |
| 300              | 525                        | 17,9                          | 7790              |
| 400              | 541                        | 18                            | 7750              |
| 600              | 577                        | 20,8                          | 7660              |
| 800              | 604                        | 23,9                          | 7560              |
| 1200             | 676                        | 32,2                          | 7370              |
| 1300             | 692                        | 33,7                          | 7320              |
| 1500             | 701                        | 120                           | 7320              |

Para a geração da malha, foi utilizado o método de refino da malha exatamente onde o cordão de solda passou. A malha do tipo quadrada possuiu um número de 17930 nós e 28865 elementos, como mostrado na Fig. (1) b).

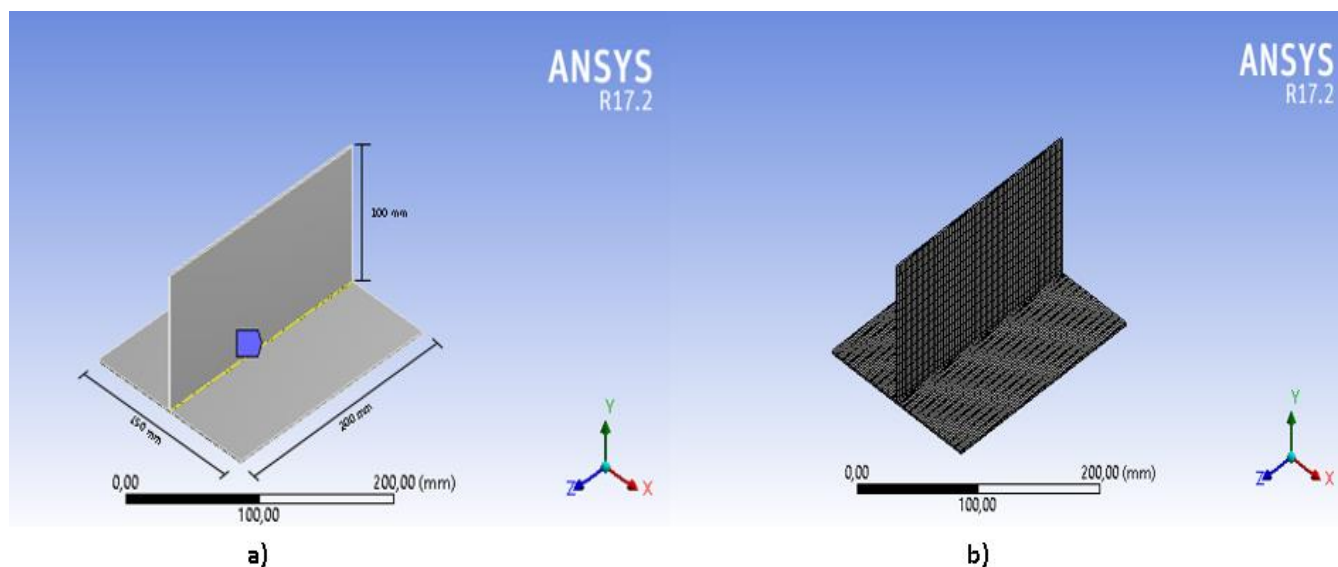


Figura 1: a) Geometria e dimensão da peça soldada. b) Malha da peça.

Os pontos de medição para construção do gradiente de temperatura foram no início do cordão de solda e a 10, 20 e 30 mm deste, como mostra a Fig. (2).

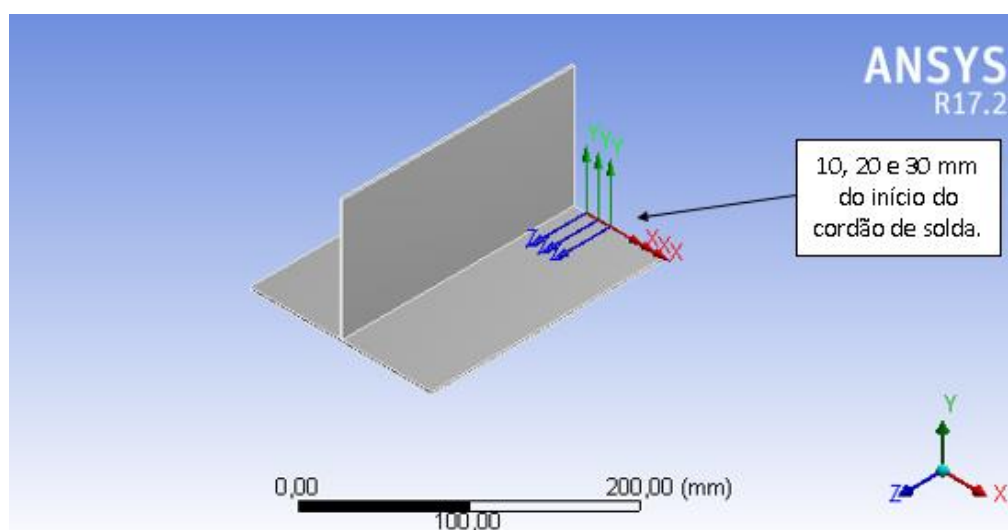


Figura 2: Pontos de medição para formação do gradiente de temperatura.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A simulação numérica é apresentada na Fig. (3).

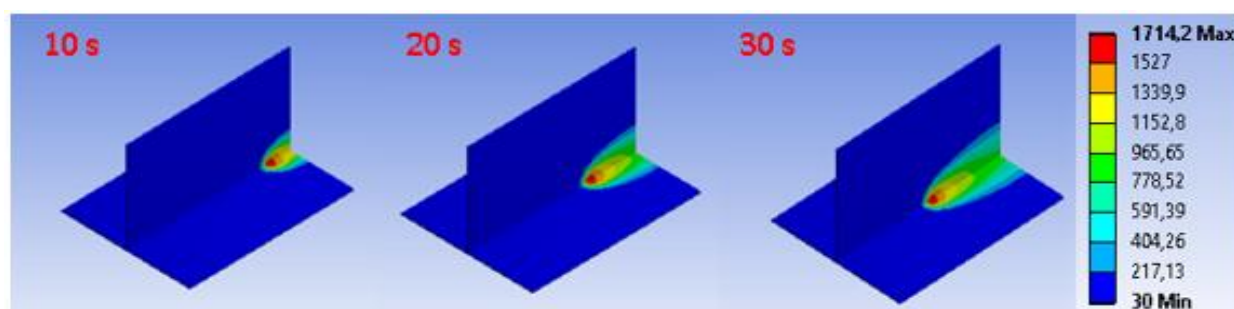
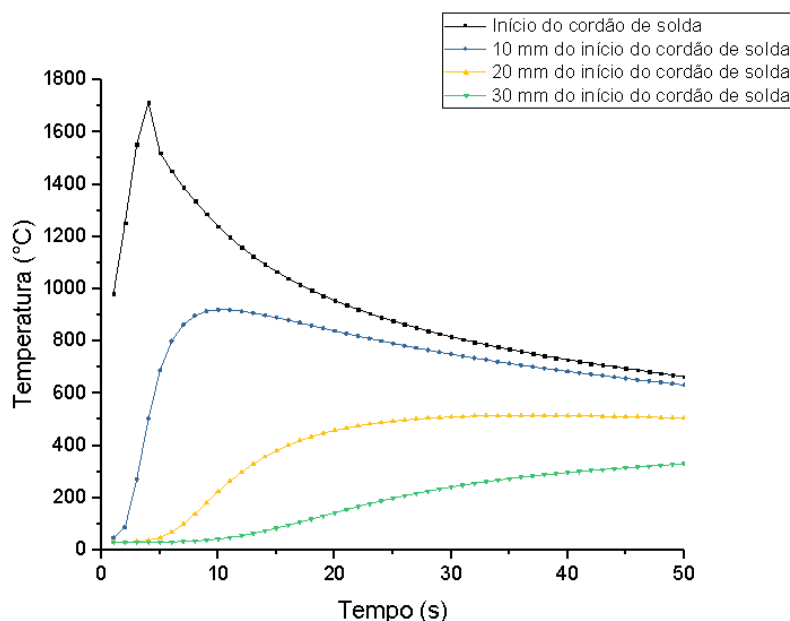


Figura 3: Simulação do deslocamento da fonte de calor.

A simulação mostra que foi possível a fundição do aço AISI 304, no momento inicial de soldagem, já que possui zona vermelha com um valor de temperatura de  $1714,2^{\circ}\text{C}$  e a temperatura de transição sólido – líquidos do aço inoxidável AISI 304 é  $1454^{\circ}\text{C}$ .

Nota-se um gradiente de temperatura com uma distribuição heterogênea. Além disso, é possível perceber a formação da dupla elipsoidal de Goldak (2005).

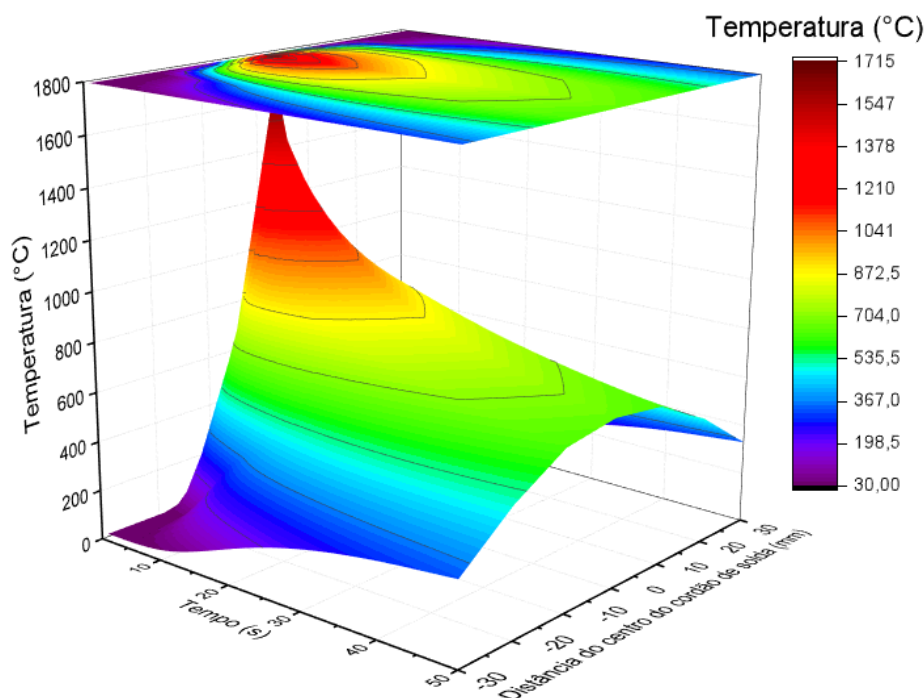
Como as temperaturas de soldagem inicial são diferentes das temperaturas do final do processo, o conhecimento dessas, mostra-se essencial para a construção do gradiente de temperatura, bem como saber se a peça irá fundir logo no começo do processo. A Fig. (4), mostra as medições computacionais do início da formação do cordão de solda e seus 3 pontos de medições.



**Figura 4: Ciclo térmico medido computacionalmente no início do cordão de solda.**

Através do gráfico é possível notar que no momento inicial da abertura do arco de soldagem a peça sofre fusão. O gráfico mostra que há um intervalo inicial para que a máxima temperatura seja atingida, a qual os dados numéricos mostram que é de aproximadamente 4 segundos. Esse fato pode ser explicado devido ao retardo de absorção de energia do material. Além disso, foi mostrado que nos 50 segundos de processo, a temperatura do cordão tem uma taxa de resfriamento bem maior que as medidas pelos pontos de medição.

Após a coleta dos dados apresentado, foi obtido uma curva de aquecimento gerado pela soldagem, no início do processo, para uma melhor visualização do campo de temperatura. Mostrado na Fig. (5).



**Figura 5: Curva do gradiente de temperatura para medições realizadas no início do cordão de solda.**

#### 4. CONCLUSÃO

O trabalho mostrou a eficiência de uma simulação computacional em soldagem com junta em “T”, mostrando que a metodologia de diversos autores na utilização de simulação numérica com o software ANSYS para soldagem TIG autógena utilizando o modelo da fonte térmica de Goldak (2005), é válida.

Além disso o movimento da fonte de calor com as condições de contorno utilizada, mostrou-se coerente com a literatura, bem como os valores de temperatura encontrados. Desta forma, é possível submeter esses dados para obter o campo de tensões residuais durante um processo de soldagem em uma junta tipo “T”. Este fato de obter campos de tensões residuais pode proporcionar grandes economias as empresas.

#### 5. REFERENCIAIS

- Araujo, D. B., 2012, “Estudo de distorções em soldagem com uso de técnica numérica e de otimização”, Doctor thesis, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.
- Bezerra, C. A., 2014 “Modelagem térmica do processo de soldagem TIG via elementos finitos”, Congresso Nacional de estudantes de Engenharia Mecânica, Vol 26, São Paulo, Brazil.
- Cagani, A. P. M, 2010 “Análise térmica do processo de soldagem TIG de amostras metálicas”, Master dissertation, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.
- Goldak, A. J., 2005, “Computational welding mechanics”, Springer, Canada, 325 p.
- Miranda, M. C., Carvalho, S. R. and Borges, V. L., 2014 “Modelo térmico para análise da poça de fusão durante o processo de soldagem TIG”, Simpósio de programa de Pós – Graduação em Engenharia Mecânica, Vol. 28, Uberlândia, Brazil.
- Nascimento, A. C. S., 2012, “Determinação numérica da repartição térmica de soldagem numa junta de topo de aço inoxidável AISI 304”, Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, Vol 20, Santa Catarina, Brazil.
- Melo, R. L. F., 2016, “obtenção numérica e experimental do campo de temperatura na soldagem TIG do aço AISI 304”, Graduation monograph, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró.
- Outeiro, J. C., Umbrello, D. and Saoubi, R. M, 2006, “Experimental and numerical modelling of the residual stresses induced in orthogonal cutting of AISI 316L steel”, International Journal of Machine tools and Manufacture, p.1786-1794.

#### 6. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

## COMPUTATIONAL SIMULATION FOR OBTAINING THE TEMPERATURE FIELD IN THE "T" JOINT TIG WELDING PROCESS

Rafael Leandro Fernandes Melo, [rafaellfm@outlook.com](mailto:rafaellfm@outlook.com)  
João Dehon Rocha Junior, [joaodehonjunior@hotmail.com](mailto:joaodehonjunior@hotmail.com)  
João Felipe Vieira Lima, [joaofelipe\\_12@hotmail.com](mailto:joaofelipe_12@hotmail.com)  
André Ferreira de Oliveira, [engmecandre@hotmail.com](mailto:engmecandre@hotmail.com)  
Shyrlei da Silva Oliveira, [shyrlei.arquiteta@gmail.com](mailto:shyrlei.arquiteta@gmail.com)

<sup>1</sup>Universidade Federal Rural do Semi-Árido – Av. Francisco Mota – Pintos, Mossoró – RN, CEP: 59.625-900.

**Abstract:** The knowledge of the temperature field generated in a welding process can be useful for predicting residual stresses. Structures welded through "T" joints, are widely used in the industry in several applications. In this sense, the work consisted in obtaining the temperature field generated by an autogenous TIG welding in AISI 304 steel joined by a "T" joint. In the computational simulation the ANSYS Workbench 16.0 was used, equipped with an extension for movement of the heat source using the ellipsoidal pair of Goldak. The material was created in the software to have its physical properties varying with the temperature, being: thermal conductivity, specific heat and density. Heat losses to the environment (natural convection and radiation) and heat dissipation in the piece itself (conduction) were considered. To obtain the temperature field, strategically placed measurement points were used in order to be able to later be used to obtain the residual stresses generated in the part. Temperature measurements were made at the beginning, middle, and end of the weld bead. The validation of the computational simulation was done through literature queries, in order to find similarities of the field obtained in this experiment with that of other authors.

**Keywords:** TIG welding; T-joint welding; Simulation.