

O USO DE SIMULAÇÕES FÍSICA E NUMÉRICA EM PROCESSO DE SOLDAGEM: UMA ANÁLISE QUANTITATIVA PELA PLATAFORMA DERWENT INNOVATION

Leonardo Oliveira Passos da Silva¹; Francisco Magalhães dos Santos Júnior¹; Aline Costa Cezar¹; Alexandre Ferraz Dourado²; Daniel Marques de Souza²; Tiago Nunes Lima²; Bruno Caetano dos Santos Silva²; André Souza Oliveira²; Rodrigo Santiago Coelho²

¹ Bolsista de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I) Nível 3; Projeto Sistema de Monitoramento da Soldagem (SMS) – Petrobras/ANP; leooliveirap@gmail.com

² Centro Universitário SENAI CIMATEC; Salvador-BA; rodrigo.coelho@fieb.org.br

RESUMO

A soldagem é um processo amplamente utilizado em diversos segmentos industriais e que envolve fenômenos físicos e metalúrgicos em sua execução. O uso de simulações físicas e numéricas auxiliam na seleção de parâmetros corretos para evitar possíveis desvios metalúrgicos em uma junta soldada. Este trabalho apresenta uma análise quantitativa sobre a utilização combinada de simulações físicas e numéricas para o estudo da soldagem. A pesquisa foi realizada tendo como base o banco de dados da plataforma Derwent Innovation. Foram encontrados 71 artigos que envolvem simulação física, simulação numérica e soldagem, sendo 45% destes publicados entre os anos 2016 e 2021. Plotado o gráfico do acumulado de publicações sobre o tema e comparado com a curva “S” de maturidade tecnológica, pode-se inferir um crescimento no interesse da comunidade científica no tema proposto

PALAVRAS-CHAVE: Análise Quantitativa; Soldagem; Simulação Física; Simulação Numérica.

1. INTRODUÇÃO

A soldagem é um processo utilizado com bastante frequência em diversos setores industriais, desde a construção civil até na indústria espacial.¹ Para realizar uma soldagem com eficiência é necessário o controle dos seus parâmetros, como velocidade de avanço da tocha, corrente de soldagem, tensão, distância entre a tocha e a peça de trabalho, entre outros.² No entanto, a soldagem é um processo complexo que envolve interações de vários fenômenos físicos e metalúrgicos e diversas condições de contorno como umidade e temperatura ambiente, além de depender também da habilidade do soldador e configuração correta da fonte de soldagem.³

A simulação física reproduz em corpos de prova os ciclos térmicos e mecânicos desejados, em um ambiente laboratorial. No caso da soldagem, alguns modelos matemáticos associam os parâmetros da soldagem e descrevem o ciclo térmico em determinadas regiões da solda, sem a influência de fatores externos.⁴ A Gleeble[®] é um dos equipamentos mais utilizados para o estudo de uma zona termicamente afetada (ZTA) derivada de um processo de soldagem e que reproduz a ZTA com base no ciclo térmico e mecânico programado.⁵ Os gradientes microestruturais e tensões residuais criados pelo rápido aquecimento e resfriamento encontrados na soldagem podem ser reproduzidos em um ambiente de laboratório controlado.⁶⁻⁸

A análise dos processos de soldagem envolve diversos ramos da física e requer ligação de diferentes modelos numéricos para descrever o comportamento do material.³ O modelo matemático da soldagem pode ser usado para prever e minimizar as deformações devido às mudanças na sequência de solda durante a fase de desenvolvimento do produto, por exemplo, e o uso de softwares de simulação computacional como o Sysweld[®] e o Simufact Welding[®] podem auxiliar na determinação de parâmetros com base nesses modelos.^{3,9,10}

O uso combinado das simulações físicas e numéricas desempenha um papel importante no desenvolvimento e otimização de processos e análises de resultados, com foco em reduzir tempo e selecionar os parâmetros mais adequados. Estas tecnologias são recentemente descritas na literatura. Para compreender melhor este tema, foi realizada uma análise quantitativa de artigos disponibilizados na plataforma *Derwent Innovation* sobre o estudo da soldagem utilizando ferramentas de simulação numérica e física.

2. METODOLOGIA

A proposta desta pesquisa busca mapear o quantitativo de artigos, pela plataforma online *Derwent Innovation*, que utilizam a simulação numérica e física para o estudo da soldagem. O objetivo é entender o crescimento dessas novas ferramentas no âmbito da soldagem. A primeira pesquisa (P1) foi para identificar o quantitativo total de artigos que tratam sobre a soldagem. Já a segunda (P2), um pouco mais restritiva, foi para identificar o quantitativo de artigos que estudam o processo de soldagem utilizando a simulação física,

nesta pesquisa foi adicionado o simulador termomecânico Gleeble® por ser um dos equipamentos mais utilizados para essa finalidade. A terceira e última pesquisa (P3) engloba a última pesquisa e adicionado a simulação numérica, também conhecida como simulação computacional e elementos finitos, para o estudo dos efeitos do processo de soldagem nos materiais. A Tabela 1 apresenta as palavras chaves para cada pesquisa realizada. As palavras chaves foram escolhidas na língua inglesa para ampliar a busca, já que é uma linguagem mais acessível e uma das mais utilizadas no âmbito acadêmico. Para cada pesquisa foram coletados o total de artigos publicados até o dia 30/03/2021 e feito um recorte dos últimos cinco anos (2016-2021) para identificar a relevância da pesquisa atualmente.

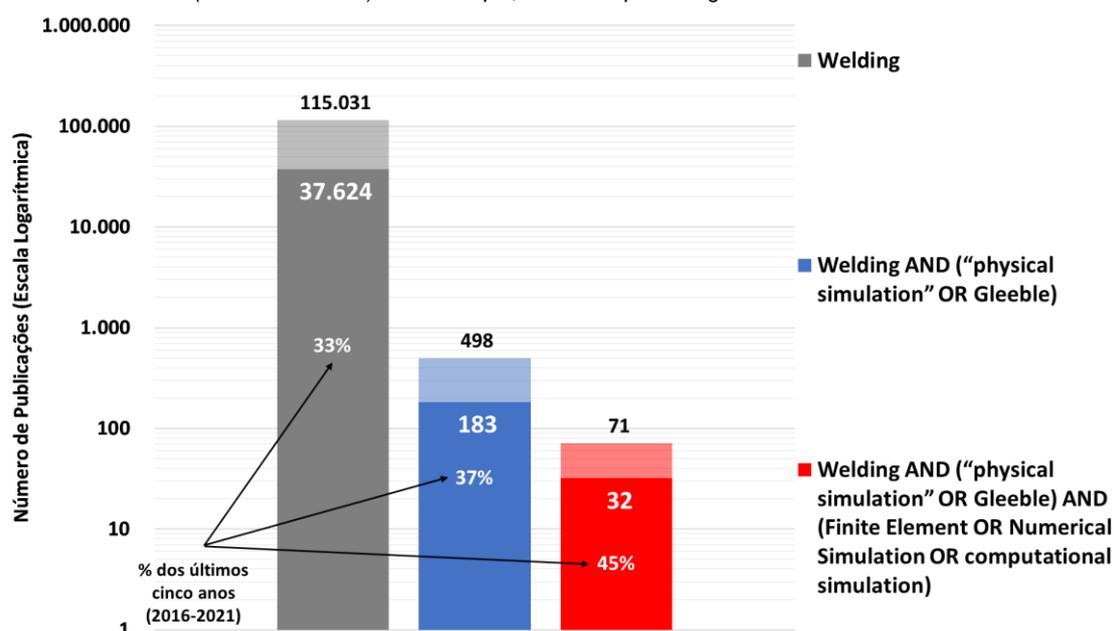
Tabela 1. Relação das palavras-chave utilizadas na plataforma Derwent Innovation.

Pesquisa	Palavras-Chave
P1	Welding
P2	Welding AND ("physical simulation" OR Gleeble)
P3	Welding AND ("physical simulation" OR Gleeble) AND (Finite Element OR Numerical Simulation OR computational simulation)

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

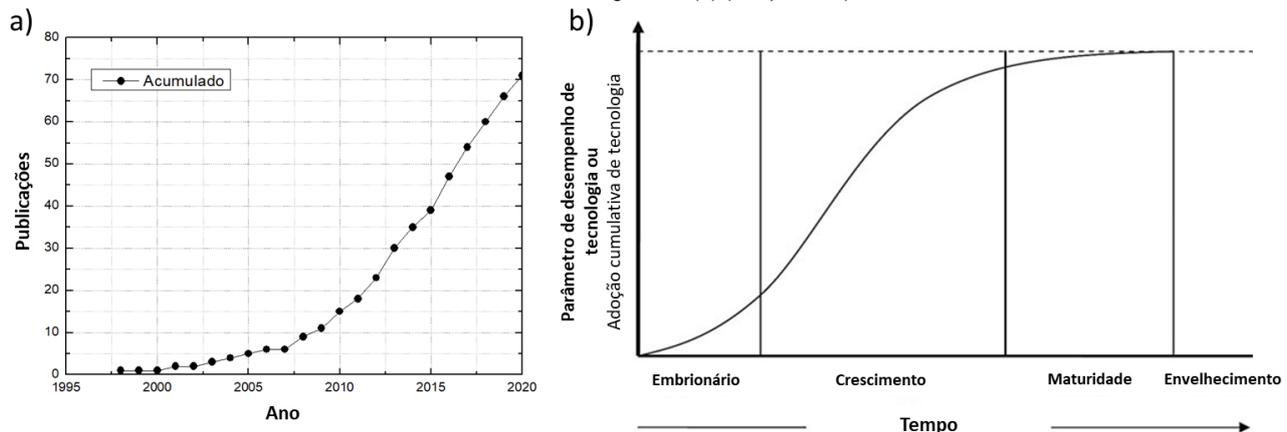
A análise mostra que dentre os 115.031 trabalhos sobre soldagem (*Welding*), 33% deles foram publicados nos últimos cinco anos (37.624). Restringindo a pesquisa para soldagem e simulação física (*Welding AND ("physical simulation" OR Gleeble)*) são encontrados 498 artigos, sendo 37% publicados entre 2016 e 2021 (183). Ao adicionar as palavras-chaves com o tema de Simulação Numérica e os seus respectivos sinônimos (*Welding AND ("physical simulation" OR Gleeble) AND (Finite Element OR Numerical Simulation OR computational simulation)*) foram encontrados 71 resultados, destes, 45% correspondente aos últimos cinco anos (32), apesar da primeira publicação datar do ano de 1998 e a mais atual em 2020. A partir desta análise quantitativa, pode-se inferir que o uso de simulações na soldagem é relativamente novo e com uma tendência crescente, observado principalmente nos últimos cinco anos. Estes resultados estão apresentados em gráfico de coluna na Figura 1. Esta análise é corroborada quando os resultados são plotados em um gráfico do acumulado das publicações por ano, mostrado na Figura 2 que apresenta dois gráficos no formato em "S", um do acumulado de publicações (a) e outro da curva de maturidade tecnológica (b). Quando ambos os gráficos são comparados percebe-se, de uma forma preliminar e visualmente, que o acumulado está no estágio de crescimento, com uma tendência de aumento do interesse nessas novas tecnologias.

Figura 1. Comparação entre o número de publicações pesquisadas no banco de dados do Derwent Innovation (www.derwentinnovation.com) sobre conjuntos de palavras-chave envolvendo Soldagem, Simulação Física e Simulação Numérica (e seus sinônimos). Em destaque, o total e a porcentagem dos últimos 5 anos.



*Busca realizada em 30/03/2021 no campo de pesquisa principal da plataforma.

Figura 2. Gráfico do acumulado de publicações utilizando as palavras-chave da pesquisa 3 em (a) e gráfico da curva em “S” de maturidade tecnológica em (b) (Adaptado ¹¹).



4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste artigo foi realizada uma busca preliminar da literatura disponibilizada na plataforma de pesquisa *Derwent Innovation* com o objetivo de realizar uma análise quantitativa do uso de simulação física e numérica nos processos de soldagem e identificar tendência de crescimento deste tema. Do universo de 115.031 artigos com o tema soldagem apenas 71 foram detectados utilizando todo o conjunto de palavras-chave selecionadas, sendo a primeira publicação em 1998 e a mais atual em 2020, e 45% desse total estar compreendido entre os últimos cinco anos. Quando esses resultados são dispostos em um gráfico acumulado (curva “S”) e comparado com a curva de maturidade tecnológica verifica-se que é crescente o interesse da comunidade científica no uso de simulações em soldagem, apesar de haver poucos resultados.

5. REFERÊNCIAS

- ¹ Silva ALV da C e, Mei PR. **Aços e Ligas Especiais**. 2ª edição. Edgard Blücher; 2006.
- ² Mishra RS, Ma ZY. **Friction stir welding and processing**. *Mater Sci Eng R Reports*. 2005;50(1-2):1-78.
- ³ Anca A, Cardona A, Rizzo J, Fachinotti VD. **Finite element modeling of welding processes**. *Appl Math Model*. 2011;35(2):688-707.
- ⁴ Terčelj M, Panjan P, Urankar I, Fajfar P, Turk R. **A newly designed laboratory hot forging test for evaluation of coated tool wear resistance**. *Surf Coatings Technol*. 2006;200(11):3594-3604.
- ⁵ Varbai B, Pickle T, Májlínger K. **Effect of heat input and role of nitrogen on the phase evolution of 2205 duplex stainless steel weldment**. *Int J Press Vessel Pip*. 2019;176(May):103952.
- ⁶ Hosseini VA, Karlsson L, Hurtig K, et al. **A novel arc heat treatment technique for producing graded microstructures through controlled temperature gradients**. *Mater Des*. 2017;121:11-23.
- ⁷ Garzón CM, Ramirez AJ. **Growth kinetics of secondary austenite in the welding microstructure of a UNS S32304 duplex stainless steel**. *Acta Mater*. 2006;54(12):3321-3331.
- ⁸ Londoño AR. **Estudo da precipitação de nitreto de cromo e fase sigma por simulação térmica da zona afetada pelo calor na soldagem multipasse de aços inoxidáveis duplex**. Published online 1997.
- ⁹ Chiumenti M, Cervera M, Salmi A, Agelet de Saracibar C, Dialami N, Matsui K. **Finite element modeling of multi-pass welding and shaped metal deposition processes**. *Comput Methods Appl Mech Eng*. 2010;199(37-40):2343-2359.
- ¹⁰ Cho J, Lee CH. **FE analysis of residual stress relaxation in a girth-welded duplex stainless steel pipe under cyclic loading**. *Int J Fatigue*. 2016;82:462-473.
- ¹¹ Taylor M, Taylor A. **The technology life cycle: Conceptualization and managerial implications**. *Int J Prod Econ*. 2012;140(1):541-553.