

Comparação entre Modelos Numéricos 2D e 3D para a Análise da Transferência de Calor no Solo

WAGNER DE ALMEIDA LUCAS¹; JEFERSON MEIRA²; LESLIE DARIEN PÉREZ FERNÁNDEZ³; RUTH DA SILVA BRUM⁴

¹Universidade Federal de Pelotas (UFPEL) – wagneralmeidalucas94@hotmail.com

²Universidade Federal de Pelotas (UFPEL) – meiraengagricola@gmail.com

³Universidade Federal de Pelotas (UFPEL) – leslie.fernandez@ufpel.edu.br

⁴Universidade Federal de Pelotas (UFPEL) – ruth.silva.brum@ufpel.edu.br

1. INTRODUÇÃO

O Sol é uma fonte natural de energia térmica que se propaga pelo espaço através de um fenômeno conhecido como radiação. O fluxo de energia térmica resultante da radiação solar que penetra na atmosfera terrestre é aproximadamente 1.367 W/m^2 , quando medido em um plano perpendicular à trajetória dos raios solares. Em um ano, essa radiação solar proporciona ao planeta cerca de $1,5 \times 10^{18}$ kWh de energia. No entanto, apenas uma fração dessa energia que incide sobre a superfície da Terra é efetivamente absorvida (OLIVEIRA FILHO e SARAIVA, 2005; PRADO et al., 2007).

Por outro lado, a camada superficial do solo, a qual atua como a principal receptora de energia térmica, geralmente não é sensível aos efeitos térmicos da energia proveniente do interior da Terra (exceto a energia geotérmica relacionada à atividade magmática, a qual produz, por exemplo, águas termais, gêiseres e emissão vulcânica de lava). Isso ocorre devido à grande distância que separa essa camada do núcleo terrestre, cerca de 6.371 km, que corresponde ao raio médio do planeta. Em contrapartida, o calor irradiado pelo Sol desempenha um papel fundamental no comportamento térmico do solo, influenciando diretamente suas características. Ainda, as propriedades termofísicas e a composição geológica do solo local são fatores específicos que afetam a análise do problema particular que se pretende estudar (VAZ, 2011).

A temperatura do solo tende a estabilizar-se em uma média que varia com a profundidade. A maior profundidade, a amplitude dessa variação diminui exponencialmente, apresentando um desfasamento temporal em relação às mudanças na superfície, devido à inércia térmica do solo. Como resultado, durante períodos de frio, o solo não atinge temperaturas tão baixas, enquanto, em períodos quentes, ele não se torna excessivamente quente. Esse comportamento confere ao solo uma resposta mais amena e estável em comparação com as variações observadas no ambiente externo (VAZ, 2011).

Neste estudo, utilizamos o software ANSYS Fluent para comparar modelos numéricos bidimensionais (2D) e tridimensionais (3D) na análise da transferência de calor em um solo homogêneo de tipo argiloso. Embora os modelos 2D sejam mais simples e exijam menos recursos computacionais, eles apresentam limitações na representação de fenômenos, como variações de temperatura. Em contrapartida, os modelos 3D oferecem uma representação mais precisa da física envolvida, capturando interações complexas entre o solo e o ambiente, embora demandem maior capacidade computacional e tempo de simulação. Através dessa comparação, buscamos identificar as vantagens e desvantagens de cada abordagem, avaliando a discrepância dos resultados obtidos.

2. METODOLOGIA

Para analisar a transferência de calor no solo, primeiramente definimos os modelos geométricos representativos dos solos, elaborando um modelo 2D com dimensões de 25,77 m de comprimento e 15 m de profundidade, além de um modelo 3D com as dimensões de 25,77 m de comprimento, 15 m de profundidade e com uma largura de 5 m. O modelo 2D foi projetado para simplificar a simulação e reduzir o tempo de cálculo, enquanto o modelo 3D foi desenvolvido com o objetivo de capturar de forma mais precisa as interações térmicas complexas.

Com base na modelagem matemática e nas simulações numéricas realizadas, são delineadas as condições de contorno e as hipóteses de simplificação para a resolução computacional do problema, essa suposição se fundamenta no fato de que o gradiente de temperatura nas laterais do solo é mínimo e foi, portanto, considerado nulo. Além disso, a superfície inferior, situada a 15 metros de profundidade, não sofre influências significativas da radiação solar, corroborando a análise de Vaz (2011).

Inicialmente, em termos térmicos, as superfícies laterais e a base do domínio de análise são consideradas adiabáticas, ou seja, não há fluxo de calor nessas regiões. Em seguida, configuramos as propriedades termofísicas do solo, como condutividade térmica, capacidade calorífica e densidade, com base em dados da literatura e experimentos anteriores, essenciais para uma simulação precisa da transferência de calor.

Tabela 1- Propriedades termofísicas do solo e do ar utilizadas nas simulações numéricas.

Material	Massa específica kg/m ³	Calor específico (J/(kg°C))	Condutividade térmica (W/(m°C))	Viscosidade dinâmica (kg/m.s))
Ar	1,16	1010	0,0242	1,7894×10 ⁻⁵
Solo	1600	890	0,25	

Fonte: Vaz (2011).

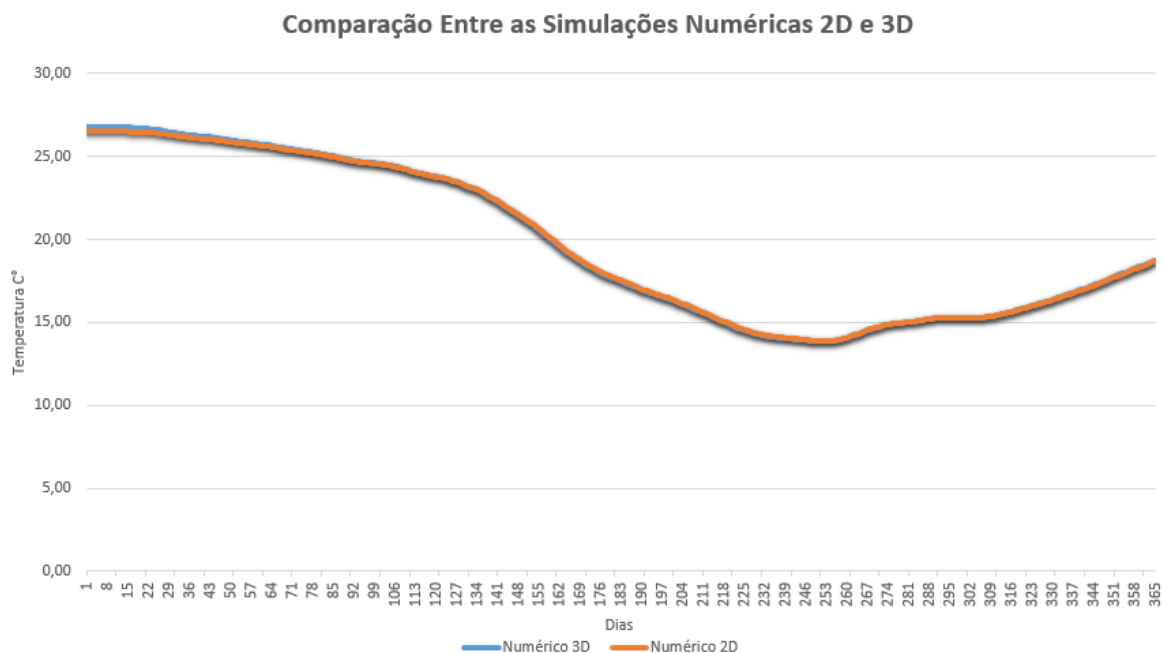
Após essas definições, realizamos as simulações no ANSYS Fluent, permitindo a análise dos campos de temperatura e fluxos de calor nos modelos 2D e 3D. Durante esse processo, monitoramos o tempo de simulação e os recursos computacionais utilizados para compará-los posteriormente entre si. Ainda, realizamos uma análise comparativa da distribuição de temperatura e dos fluxos de calor nos dois modelos, focando nas diferenças entre as representações 2D e 3D. Essa análise permitiu identificar as vantagens e desvantagens de cada abordagem.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A comparação entre os modelos 2D e 3D para a simulação da transferência de calor no solo revelou resultados semelhantes, com pequenas discrepâncias nas amplitudes térmicas. O modelo 3D, ao capturar a propagação do calor em múltiplas direções, apresenta uma maior precisão enquanto o 2D oferece uma alternativa mais econômica em termos computacionais.

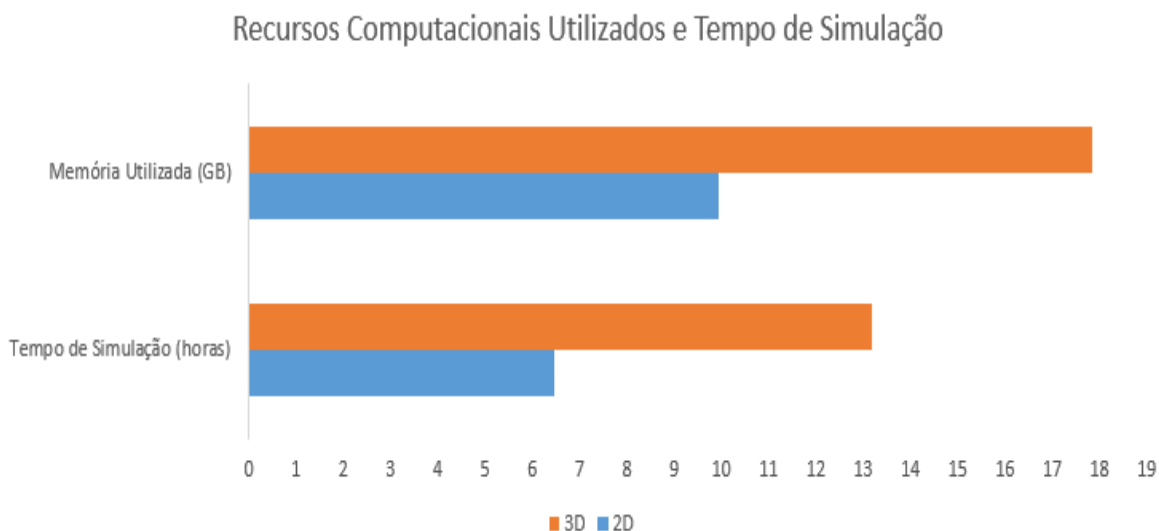
A Figura 1 ilustra a evolução da temperatura ao longo do tempo para ambos os modelos, demonstrando a capacidade de cada um em refletir a dinâmica do sistema térmico. Apesar das semelhanças, as diferenças nas amplitudes térmicas sugerem que o modelo 3D é mais sensível a variações nas condições de contorno e nas propriedades do solo.

Figura 1- Comparação entre as simulações numéricas para os modelos 2D e 3D.



Por outro lado, a Figura 2 evidencia que a maior precisão do modelo 3D, ao capturar efeitos tridimensionais, vem acompanhada de um custo computacional significativamente mais alto, demandando maior memória e um tempo de simulação consideravelmente extenso. Essa relação entre precisão e custo computacional é crucial para a escolha do modelo apropriado, especialmente em aplicações onde os recursos são limitados.

Figura 2- Comparação do tempo de simulação e recursos computacionais utilizados em cada modelo.



Assim, a escolha entre os modelos deve ser ponderada em função das necessidades específicas do estudo, levando em conta não apenas a precisão dos resultados, mas também a viabilidade prática da simulação. Enquanto o modelo 3D se mostra mais adequado para problemas que exigem uma análise detalhada das interações térmicas em geometrias complexas, o modelo 2D pode ser a escolha preferencial em contextos onde a economia de tempo e recursos é primordial.

4. CONCLUSÕES

Avaliando os resultados obtidos, o modelo 3D apresenta uma demanda significativamente maior, tanto em termos de memória quanto de tempo de simulação quase dobrando a memória utilizada pelo modelo 2D. Esse maior custo computacional decorre da complexidade intrínseca do modelo 3D, o qual requer um número maior de elementos finitos e equações a serem resolvidas. A escolha entre os dois modelos deve considerar um equilíbrio entre a precisão dos resultados e os recursos disponíveis.

Os resultados obtidos nesse estudo corroboram a afirmação de que a utilização de um domínio bidimensional é uma opção viável e precisa para a diminuição dos recursos computacionais na previsão do comportamento térmico do solo (BRUM, 2013).

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRUM, R. Modelagem computacional de trocadores de calor solo-ar. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande (FURG), Programa de Pós-Graduação em Modelagem Computacional, Rio Grande, RS, Brasil, 2013.

OLIVEIRA FILHO, K. e SARAIVA, M. O Sol: a nossa estrela. Porto Alegre: Departamento de Astronomia do Instituto de Física da UFRGS, 2005.

PRADO, R. et al. Levantamento do estado da arte: energia solar. Projeto tecnologias para construção habitacional mais sustentável. São Paulo, 2007.

VAZ, J. (2011). Estudo experimental e numérico sobre o uso do solo como reservatório de energia para o aquecimento e resfriamento de ambientes edificadas. Tese de doutorado, EE/UFRGS, Porto Alegre - RS.