



ANÁLISE DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR EM UM TUBO DE AÇO CARBONO REVESTIDO POR LÃ DE VIDRO

Maria Vitória Tosta de Oliveira Silva¹
Maria Julia Valle Silva²
Érickson de Lima³
Marco Antonio Cardoso de Souza⁴

Resumo: O presente trabalho foi efetuado com o propósito de investigar os fenômenos da transferência de calor. Teve ênfase na condução térmica e isolamentos de temperatura em sistemas tubulares. Foi desenvolvido um modelo computacional utilizando o software COMSOL Multiphysics, a fim de simular a propagação de calor em uma tubulação revestida por um material isolante térmico. A análise foi conduzida considerando diferentes condições de contorno e propriedades térmicas dos materiais envolvidos. Dessa forma, permitiu observar o comportamento do fluxo de calor ao longo do tempo e do espaço. O modelo possibilitou avaliar a eficiência do isolamento térmico aplicado, considerando a redução da taxa de transferência de calor para o meio externo. Os resultados obtidos demonstraram que a presença do isolante térmico é eficaz na minimização das perdas de calor. Além disso, a simulação permitiu identificar regiões de maior dissipação térmica e otimizar a espessura do isolante para diferentes cenários. Concluiu-se que a modelagem computacional é uma ferramenta eficaz para prever o desempenho térmico de sistemas isolados.

Palavras-chave: Transferência de calor; Condutividade térmica; Isolamento; Modelagem; Comsol Multiphysics.

Abstract: This work was carried out with the aim of investigating heat transfer phenomena. It focused on thermal conduction and temperature insulation in tubular systems. A computer model was developed using the COMSOL Multiphysics software to simulate the propagation of heat in a pipelined with a thermally insulating material. The analysis was conducted considering different boundary conditions and thermal properties of the materials involved. In this way, it was possible to observe the behavior of the heat flow over time and space. The model made it possible to evaluate the efficiency of the thermal insulation applied, considering the reduction in the rate of heat transfer to the external environment. The results obtained showed that the presence of thermal insulation is effective in minimizing heat loss. In addition, the simulation made it possible to identify regions of greater thermal dissipation and optimize the thickness of the insulation for different scenarios. It was concluded that computer modeling is an effective tool for predicting the thermal performance of insulated systems.

Key-words: Heat transfer; Thermal conductivity; Insulation; Modeling; Comsol Multiphysics.

¹ Graduanda do curso de Engenharia Química da UNIFATEB, campus Telêmaco Borba – e-mail: <mavitosta.silva@gmail.com>.

² Graduanda do curso de Engenharia Química da UNIFATEB, campus Telêmaco Borba – e-mail: <mariajuliavallesilva@outlook.com>.

³ Professor do curso de Engenharia Química, pela UNIFATEB, campus Telêmaco Borba – e-mail: <ericksson.lima@unifateb.edu.br>

⁴ Professor do curso de Engenharia Química, pela UNIFATEB, campus Telêmaco Borba – e-mail: <marco.souza@unifateb.edu.br>



1. INTRODUÇÃO

A transferência de calor é um dos principais fenômenos estudados na engenharia térmica, sendo essencial para o desenvolvimento de sistemas eficientes em ambientes industriais, residenciais e acadêmicos. Dentre os métodos de controle térmico, destaca-se o uso de isolantes, que desempenham papel fundamental na redução das perdas de calor, promovendo eficiência energética e segurança operacional. A condutividade térmica, a difusividade térmica e o calor específico são algumas das propriedades mais relevantes para esse tipo de aplicação, pois influenciam diretamente no comportamento dos materiais quando submetidos a variações de temperatura (FERNANDES et al., 2018).

Nesse contexto, torna-se essencial compreender a atuação dos materiais isolantes em diferentes condições de operação. Um estudo realizado por Junior, Montegutti e Haus (2016) demonstrou que o controle das variáveis envolvidas nos testes experimentais de condutividade térmica é determinante para o desempenho dos isolantes, uma vez que pequenas variações podem gerar resultados superiores aos esperados. Tais achados reforçam a importância da modelagem e da simulação computacional como ferramentas complementares para o planejamento e análise térmica em projetos de engenharia.

Assim, o presente trabalho propõe uma análise computacional da transferência de calor em um tubo de aço carbono revestido com lã de vidro, utilizando o software Comsol Multiphysics.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1. OBJETIVOS

2.1.1. Objetivos Gerais

O objetivo do presente trabalho consiste em compreender os fenômenos de transferência de calor utilizando um objeto de estudo teórico. Também visa



estimular os estudos sobre fluxo de calor e resistência térmica através de isolantes térmicos aplicados no modelo, além de, investigar a aplicabilidade dessa simulação em indústrias e compreender a eficácia de programas de software na modelagem de projetos que englobam a transferência de calor em seus processos.

2.1.2. Objetivos Específicos

- Estudar os mecanismos de transferência de calor no sistema composto pelo tubo revestido pelo isolante térmico;
- Compreender a influência das propriedades dos materiais envolvidos durante a transferência de calor;
- Analisar a eficiência da lã de vidro como isolante térmico no sistema;
- Avaliar a viabilidade técnica e energética da aplicação da lã de vidro como isolante térmico em sistemas industriais.

2.2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A transferência de calor é um processo físico que pode ser definido como a energia térmica transmitida entre sistemas devido a uma diferença de temperatura. Essa transferência pode ocorrer de forma espontânea do corpo de maior temperatura para o de menor até atingir o equilíbrio térmico, como a troca natural de calor no ambiente, ou forçada, sendo identificada no funcionamento de ar-condicionado (BYJU'S, 2023).

Existem três mecanismos principais que atuam nesse processo, sendo o primeiro a condução, caracterizada pela transmissão de energia entre moléculas adjacentes sem deslocamento da matéria, ocorrendo predominantemente em sólidos (MACHINEDESIGN, 2018). O segundo é a convecção, comumente identificada em fluidos, que envolve o transporte de calor por meio do movimento das partículas do meio (PRESSBOOKS, 2021). Por fim, a radiação é o terceiro meio que consiste na emissão de ondas eletromagnéticas, especialmente na faixa do infravermelho, permitindo a transferência de calor mesmo no vácuo (NOAA, 2023).

A fim de conter essa transferência, há a atuação de isolantes térmicos que barram a transferência de calor em determinadas superfícies, sendo aplicados em



setores como na construção civil, em equipamentos domésticos e em vestuário técnico. Os isolantes térmicos podem ser naturais ou sintéticos, e incluem materiais como lã de vidro, lã de rocha, cortiça, espuma de poliuretano e cerâmicas especiais, variando a escolha conforme a condutividade térmica do material selecionado.

Um meio de mensurar a eficácia desses isolantes em processos industriais é na utilização de softwares, como o *COMSOL Multiphysics*. Eles podem ser aplicados para simular testes de desempenhos e possíveis melhorias em processos já estruturados, reduzindo custos e tempo de desenvolvimento. Por meio de métodos numéricos como o Método dos Elementos Finitos (FEM), é possível simular os meios da transferência de calor em diferentes geometrias, condições de contorno e materiais, avaliando com precisão o desempenho de isolantes térmicos em situações reais (ROCHA; SILVEIRA, 2012).

2.3. MÉTODOS E MATERIAIS

De acordo com o autor Brasileiro (2021), a estruturação de um trabalho, bem como a estruturação das etapas e método de análise a ser adotado no decorrer do projeto são definidos na metodologia do trabalho acadêmico. Logo, foi definida a utilização de uma metodologia de estudo de caso, visto que, o propósito do trabalho consiste em analisar as propriedades e efeitos do modelo teórico proposto (MONTEIRO, 2018). Para esse modelo, as acadêmicas focaram na observação da transferência de calor em uma tubulação de aço carbono e revestida por um isolante térmico específico.

Com isso, foi especificado o modelo a ser estudado e reproduzido em um software apropriado para modelagem de sistemas, como o *Comsol Multiphysics*. Com a modelagem concluída, foi efetuado um estudo acerca da transferência de calor em sólidos, compreendendo como as propriedades dos materiais interferem nesse fluxo, bem como a atuação de isolantes térmicos em manter ou isolar o calor em determinados protótipos. Por fim, os dados coletados foram comparados com a modelagem proposta e os resultados foram comparados com as teses referentes a essa vertente de estudo dos fenômenos de transporte.

Para a modelagem, foi utilizado o programa *Comsol Multiphysics*, onde, nele,



foi modelado um tubo cilíndrico com as especificações citadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Especificações da Modelagem.

Propriedades	Descrição	Valor	Unidade de Medida
Comprimento	-	0,5	m
Diâmetro	-	0,05	m
Material do tudo	Aço Carbono	50	W/m·K
Material do isolante térmico	Lã de vidro	-	-
Fluxo de calor externo	-	600	W/m ²
Temperatura interna	-	20	°C
Fenômeno	Dependente do tempo	-	-
Tempo	-	3600	s

Fonte: Elaborado pelas autoras (2025).

Com a modelagem já estruturada e computada, as acadêmicas realizaram análises acerca do comportamento do modelo e discutiram sobre os propósitos que ocasionaram o fluxo ou a barreira desse fluxo de calor no sistema.

2.4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A transferência de calor é um fenômeno natural que ocorre entre corpos com diferentes temperaturas, sendo governado por mecanismos como condução, convecção e radiação. No contexto da engenharia, especialmente em projetos e sistemas térmicos industriais, a compreensão desses mecanismos é essencial para garantir eficiência energética e segurança operacional. Em aplicações reais, como oleodutos, a perda térmica pode acarretar consequências críticas, como o acúmulo de parafinas nas paredes internas dos tubos, o que evidencia a importância de um bom isolamento térmico (ALMEIDA; VIEIRA, 2015).

O autor Carvalho (2022) estruturou um estudo para analisar a eficiência do transporte de calor em um escoamento turbulento e laminar por meio de um programa computacional. O desfecho foi satisfatório, visto que, com o programa o autor pôde variar diferentes propriedades físicas em um sistema mantendo seus resultados consistentes e confiáveis. Portanto, baseado nas anotações de Carvalho (2022), as autoras planejaram um experimento, a fim de, comparar os dados



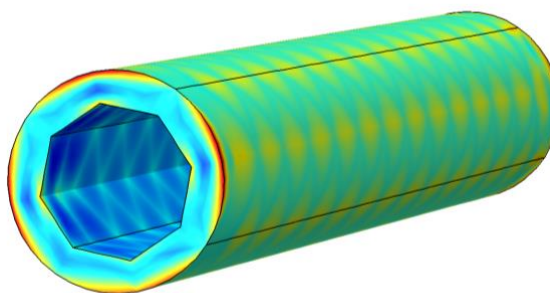
obtidos e verificar a influência de modelos computacionais na simulação de processos envolvendo as trocas de calor.

No experimento, o fluxo de calor foi induzido na superfície de um tubo de aço carbono e monitorado com e sem a presença de isolamento térmico. A condutividade térmica do aço carbono ($\sim 50 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) favoreceu o transporte de calor, enquanto a lã de vidro ($\sim 0,035 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) atuou como uma barreira significativa, impedindo a propagação da energia para o interior do tubo. Essa diferença de condutividade entre os materiais ilustrou de forma clara o conceito de condutores e isolantes térmicos na condução de calor em sólidos.

Materiais condutores térmicos, como metais, são amplamente usados em trocadores de calor, devido à sua capacidade de transferir calor rapidamente. Por outro lado, isolantes térmicos são empregados para conter ou bloquear essa transferência, sendo aplicados em tubulações, construção civil e ambientes industriais extremos (ÇENGEL; GHAJAR, 2017). Para exemplificação da transferência de calor, foi proposta a criação de um protótipo em formato de tubo cilíndrico de aço carbono revestido por um material isolante, sendo ele a lã de vidro.

Nele, teria a ação de um fluxo de calor de 600 W/m^2 durante um intervalo de tempo de 3600s. Para essa simulação, foi utilizado o software *Comsol Multiphysics*, onde, foi aplicado nele o protótipo escolhido e analisados os resultados obtidos. Por meio de uma escala de cor, foi possível identificar o fluxo de calor sendo retido na superfície do isolante térmico, expondo sua eficácia em isolar um determinado sistema como, nesse caso, o tubo de aço carbono, conforme mostra a Figura 01.

Figura 01: Volume com fluxo de calor do tubo.

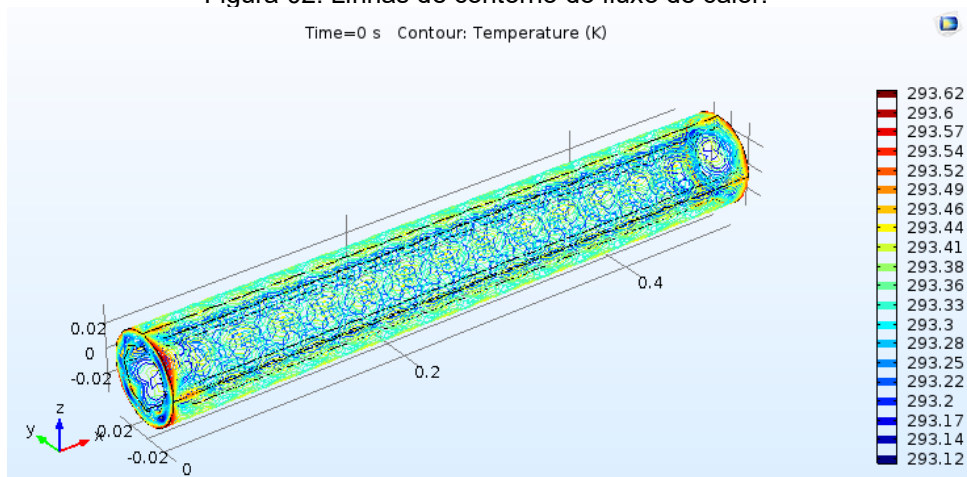


Fonte: Elaborado pelas autoras (2025).



Outra análise adquirida no Comsol Multiphysics foi a variação da temperatura por meio de linhas de contorno, expondo a propagação térmica na parte externa do tubo, em especial nas extremidades, enquanto na parte interna, há uma barreira gerada pela lã de vidro impedindo a transmissão de calor, de acordo com a Figura 02.

Figura 02: Linhas de contorno do fluxo de calor.



Fonte: Elaborado pelas autoras (2025).

Por meio das observações feitas no programa, foi possível notar a eficácia da lã de vidro em isolar sistemas termicamente, visto que, ela possui baixa condutividade. Isso se dá, segundo Fernandes (2018), pela composição dela ser de fibras de vidro entrelaçadas com ar em seu interior, demonstrando condutividade em torno de $0,035 \text{ W/m}\cdot\text{K}$, tornando-a eficaz na redução da transferência de calor. Devido a sua eficiência, é frequentemente aplicada em sistemas de isolamento de tubulações, dutos, caldeiras, fornos e em construções civis (SANTOS, 2020). Nos trabalhos da autora Souza (2024), foi realizado um estudo sobre os isolantes térmicos apropriados para se aplicar em fachadas, constatando a eficácia da lã de vidro em revestimentos de fachadas.

Logo, com base em suas especificações, ela foi o material isolante escolhido para ser aplicado na modelagem e, alinhado com a teoria, demonstrou alta eficiência na barragem de calor para o interior do tubo. Além disso, destaca-se que, embora a simulação tenha considerado apenas uma espessura de lã de vidro, estudos como o de Junior, Montegutti e Haus (2016) ressaltam que a definição da



espessura ideal é um fator determinante para equilibrar custo e desempenho térmico. Nesse sentido, trabalhos futuros poderiam explorar cenários comparativos com espessuras variando entre 10 e 50 mm, de modo a avaliar a relação entre a redução da perda de calor e a viabilidade econômica da aplicação.

Por fim, destaca-se que o modelo desenvolvido apresenta limitações inerentes às simplificações adotadas. Não foram considerados efeitos de convecção natural no meio externo, que poderiam intensificar ou atenuar as perdas térmicas, tampouco foram analisadas variações de temperatura em regime transiente ao longo de períodos mais longos. Esses fatores representam oportunidades para aprimoramentos em estudos futuros, de forma a tornar a simulação ainda mais próxima das condições reais de operação.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base na análise computacional realizada, foi possível constatar a eficácia da lã de vidro como material isolante térmico em sistemas que envolvem condução de calor em estruturas metálicas. A simulação numérica demonstrou que o revestimento de lã de vidro reduziu significativamente o fluxo de calor que atinge a parte interna do tubo, validando a teoria sobre o comportamento térmico dos materiais utilizados. Outro ponto de destaque refere-se à influência da espessura do isolante. Embora o presente estudo tenha considerado apenas uma espessura, a literatura (JUNIOR; MONTEGUTTI; HAUS, 2016) aponta que a definição do valor ideal é fundamental para equilibrar custo e eficiência térmica. Estudos futuros poderiam explorar diferentes espessuras, entre 10 e 50 mm, a fim de avaliar a relação entre desempenho energético e viabilidade econômica.

Adicionalmente, foram identificadas limitações do modelo empregado, como a ausência de efeitos de convecção natural no ambiente externo e a não consideração de regimes transientes prolongados. Esses fatores representam oportunidades para aprimoramentos futuros, de modo a aproximar ainda mais a modelagem computacional das condições reais de operação. Por fim, o trabalho evidencia a importância da integração entre teoria, prática experimental e modelagem numérica no estudo de transferência de calor e isolamento térmico. O uso de ferramentas



como o Comsol Multiphysics mostrou-se fundamental para análises realistas, reforçando sua aplicabilidade em projetos industriais que busquem eficiência energética e segurança operacional.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, R. G. de; VIEIRA, M. C. S. Estudo da deposição de parafinas em dutos de petróleo com simulação numérica. Engenharia Térmica, Curitiba, v. 14, n. 2, p. 63–71, 2015. Disponível em: <<https://www.engtherm.org/ojs/index.php/Revista/article/view/309>>. Acesso em: 11 jun. 2025.

BYJU'S. Heat Transfer – Radiation, Convection and Conduction. 2023. Disponível em: <<https://byjus.com/physics/heat-transfer-conduction-convection-and-radiation/>>. Acesso em: 18 set. 2025.

BRASILEIRO, Ada Magaly M. Como produzir textos acadêmicos e científicos. São Paulo: Editora Contexto, 2021. E-book. p.71. ISBN 9786555414400. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9786555414400/>>. Acesso em: 05 jun. 2025.

CARVALHO, Carlos Augusto. Influência da tubulação na transferência de calor em um trocador de calor casco e tubo. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA), 2022. Disponível em: CarlosAC_ART-NIT.pdf(1.23 MB). Acesso em: 02 set. 2025.

ÇENGEL, Yunus A.; GHAJAR, Adib M. Transferência de calor e massa. 5. ed. Porto Alegre: AMGH, 2017. Acesso em: 11 jun. 2025.

FERNANDES, Diana et al. Eficiência acústica: lã de vidro e de lã de rocha como isolantes para o sistema drywall. Anais de Engenharia Civil, v. 1, n. 1, p. 115–129, 2018. Disponível em:



<<https://uceff.edu.br/anais/index.php/ENGCIVIL/article/view/154>>. Acesso em: 08 jun. 2025.

JUNIOR, Claudio Antunes; MONTEGUTTI, Marilise Cristine; HAUS, Tiago Luis. Análise comparativa da eficiência de isolantes térmicos. Caderno PAIC, Curitiba, v. 17, n. 1, p. 211–235, 2016. Disponível em: <<https://cadernopaic.fae.emnuvens.com.br/cadernopaic/article/view/213>>. Acesso em: 09 jun. 2025.

MACHINEDESIGN. What's the Difference Between Conduction, Convection, and Radiation. 2018. Disponível em: <<https://www.machinedesign.com/learning-resources/whats-the-difference-between/conduction-convection-and-radiation/>>. Acesso em: 20 set. 2025.

MONTEIRO, Luana; TORMES, Jiane Ribeiro; MOURA, Luiza Cristina Simplício Gomes de Azevedo. Estudo de caso: uma metodologia para pesquisas educacionais. Ensaios Pedagógicos, v. 2, n. 1, p. 18–25, 2018. DOI: 10.14244/enp.v2i1.57. Disponível em: <<https://ensaiospedagogicos.ufscar.br/index.php/ENP/article/view/57>>. Acesso em: 06 jun. 2025.

NOAA. The Transfer of Heat Energy. 2023. Disponível em: <<https://www.noaa.gov/jetstream/atmosphere/transfer-of-heat-energy>>. Acesso em: 20 set. 2025.

OLIVEIRA, Juliana de C.; FERNANDES, João P. Avaliação da eficiência energética em tubulações térmicas com diferentes isolantes. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, v. 24, n. 1, p. 85–96, 2020. Disponível em: <<https://periodicos.ufsm.br/reget/article/view/41135>>. Acesso em: 11 jun. 2025.



PRESSBOOKS. Heat Transfer Methods – Conduction, Convection and Radiation. 2021. Disponível em: <<https://pressbooks.bccampus.ca/introductorygeneralphysics2phys1207/chapter/14-4-heat-transfer-methods/>>. Acesso em: 20 set. 2025.

ROCHA, Paulo Alexandre Costa; SILVEIRA, João Victor Pinto da. Estudo e aplicação de simulação computacional em problemas simples de mecânica dos fluidos e transferência de calor. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 34, n. 4, 2012. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbef/a/5ZyZhzhkj87Lhkr4z64vYCw/>>. Acesso em: 20 set. 2025.

SANTOS, W. de S. et al. Estudo do uso de tecnologias alternativas para controle de ruído de impacto em edificações. Brazilian Applied Science Review, v. 4, n. 4, p. 2649–2664, 2020. DOI: 10.34115/basrv4n4-038. Disponível em: <<https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BASR/article/view/15144>>. Acesso em: 08 jun. 2025.

SFALSIN, Fabrício Nascimento. Modelagem numérica multifísica de um regenerador de energia eletromagnético utilizando o software COMSOL Multiphysics. 2023. 66 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Aeronáutica) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2024. Disponível em: <Modelo_de_Teses_e_Dissertações_ICMC_USP (1).pdf>. Acesso em: 08 jun. 2025.

SOUZA, Laura Dummer de. Análise do isolamento térmico em revestimentos de fachadas. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) - Universidade de Santa Cruz do Sul, 2024. Disponível em: Laura Dummer de Souza.pdf. Acesso em: 02 out. 2025.



CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

Nome completo: Todos os integrantes.

Item de colaboração	Igual aos demais	Menor que os demais	Maior que os demais	Não participou deste item
Contextualização do trabalho	x			
Organização dos dados	x			
Análise formal dos dados	x			
Análise formal do texto	x			
Financiamento para desenvolvimento do trabalho	Não se aplica			
Investigação e estudo	x			
Metodologia	x			
Administração de cronograma	Não se aplica			
Administração de recursos	Não se aplica			
Gestão do projeto	Não se aplica			
Validação do projeto	Não se aplica			
Marketing	Não se aplica			
Escrita do trabalho	x			
Participação em reuniões	Não se aplica			
Revisão do trabalho	x			
Participação na construção do protótipo	x			