

## UTILIZAÇÃO DE EXPERIMENTOS E APLICATIVOS DE SIMULAÇÃO EM DISCIPLINAS DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR PARA CURSOS DE ENGENHARIA

**Germano Nogueira Dias Neto (germanoscarpati@gmail.com)**

Aluno de graduação do curso Bacharelado em Engenharia Mecânica da FAACZ

**Marcos Roberto Teixeira Halasz (halasz@fsjb.edu.br)**

Professor do curso de Engenharia Mecânica da FAACZ

### RESUMO

Trocadores de calor duplo tubo são amplamente utilizados em diversas aplicações industriais, sendo fundamental a compreensão do seu desempenho térmico para garantir a eficiência dos processos. Este trabalho apresenta uma comparação entre simulação numérica e dados experimentais de um trocador de calor duplo tubo com água como fluido de trabalho. O objetivo principal é o estudo de sistemas de trocadores de calor do ponto de vista de montagem e simulação utilizando programas tais como *Ansys Student*, avaliando sua capacidade de prever o comportamento térmico do trocador. A metodologia consiste na construção de um modelo numérico detalhado do trocador, considerando as propriedades do fluido e as condições de operação. Os resultados da simulação, como a distribuição de temperatura, são comparados com dados experimentais obtidos em um sistema de bancada. A análise comparativa permite avaliar a precisão do modelo numérico e identificar possíveis discrepâncias entre a simulação e a realidade. Espera-se que este estudo contribua para a otimização de projetos de trocadores de calor duplo tubo e para o desenvolvimento de modelos numéricos mais precisos.

Palavras-chave: Trocador de calor duplo tubo, simulação numérica, Ansys Student, validação experimental, transferência de calor.

**PALAVRAS-CHAVE:** Trocadores de Calor, Duplo tubo, Práticas didáticas, Bitubulares, Simulação, ANSYS FLUENT.

### 1 – INTRODUÇÃO

No ensino dos Fenômenos de Transportes nos cursos de Engenharia é imprescindível que a utilização de ferramentas operacionais, softwares e computadores, caminhem juntos às aulas de modo a proporcionar um aspecto prático às disciplinas dos cursos. Isto posto, tais programas, começam a ser incorporados ao dia a dia do ensino-aprendizado dos cursos de engenharia, possibilitando o aluno a estudar, aprender, modelar, projetar e analisar resultados. É importante enfatizar a própria diretriz curricular para os cursos de engenharia (DCN) preconizam a experiência prática na formação do engenheiro possibilitando uma visão mais crítica e real do conhecimento adquirido em aula. Uma destas possibilidades é o uso de tais ferramentas em disciplinas de Transferência de Calor, que permitem o estudo de equipamentos de troca térmica que serão utilizados pelo profissional de engenharia durante toda sua carreira profissional.

Trocadores de calor são equipamentos essenciais em diversos processos industriais, desempenhando um papel fundamental na transferência de energia térmica entre diferentes fluidos. Dentre os diversos tipos de trocadores de calor, o modelo duplo tubo destaca-se por sua simplicidade construtiva e versatilidade, sendo amplamente utilizado em aplicações que requerem taxas de transferência de calor moderadas e operação em baixas pressões, como é possível observar na Figura 1.



**Figura 1** : Exemplo de Trocador de Calor Industrial tipo bitubular (fonte – Internet).

A crescente demanda por eficiência energética e otimização de processos industriais impulsiona a busca por ferramentas que possibilitem a análise e o aprimoramento do desempenho de trocadores de calor. Nesse contexto, a simulação numérica surge como uma alternativa poderosa para prever o comportamento térmico desses equipamentos, permitindo a avaliação de diferentes configurações e condições de operação. Inúmeras são as possibilidades de abordagem de tais problemas, mas dentre elas algumas se destacam, como é o caso da Fluidodinâmica computacional.

Inicialmente, cogitou-se a utilização do Software gratuito *ENERGY 2D*, mas com pouco tempo, verificou-se limitações operacionais e de referências com relação ao programa. Ao mesmo tempo, foi possível obter licença gratuita do programa *Ansys Student*, que por ser mais robusto e confiável, foi escolhido para o desenvolvimento do projeto

O *Ansys Student*, um software de simulação computacional amplamente utilizado na área de engenharia, oferece ferramentas robustas para a modelagem e análise de trocadores de calor. Através da fluidodinâmica computacional (CFD), é possível simular o escoamento dos fluidos, a transferência de calor e outros fenômenos físicos relevantes no interior do trocador.

No entanto, a confiabilidade dos resultados obtidos por meio de simulações numéricas depende da validação dos modelos utilizados. A comparação com dados experimentais é crucial para garantir que o modelo represente adequadamente a realidade, permitindo a identificação de possíveis discrepâncias e a realização de ajustes para aumentar a precisão das previsões.

Neste trabalho, apresenta-se um estudo comparativo entre simulação numérica e dados experimentais de um trocador de calor duplo tubo com água como fluido de trabalho. O objetivo principal é validar a eficiência de um modelo numérico desenvolvido em *Ansys Student*, avaliando sua capacidade de prever o comportamento térmico do trocador. A análise dos resultados permitirá verificar a acurácia da simulação e determinar a aplicabilidade do modelo na otimização de projetos de trocadores de calor duplo tubo para que possam ser utilizados em disciplinas do curso de Engenharia Mecânica.

## 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA OU REFERENCIAL TEÓRICO

Trocadores de calor desempenham um papel crucial em diversos processos industriais, sendo responsáveis pela transferência de energia térmica entre fluidos em diferentes temperaturas. A literatura aborda amplamente a importância desses dispositivos, classificando-os em diferentes tipos e configurações, como apresentado por Kreith et al. (2015). Dentre os principais tipos, destacam-se os recuperadores, regeneradores e trocadores de contato direto. No contexto industrial, os trocadores de calor recuperadores, em particular o duplo tubo, têm sido amplamente utilizados devido à sua simplicidade construtiva e

eficiência na transferência de calor entre fluidos separados por uma parede sólida, conforme elucidado por Incropera et al. (2014).

Bergman (2019) enfatiza a importância dos trocadores de calor duplo tubo, também conhecidos como bitubulares, como uma configuração fundamental para o estudo dos mecanismos de transferência de calor. Essa configuração, composta por dois tubos concêntricos, permite a análise do escoamento em paralelo ou contracorrente, sendo ideal para aplicações com baixas taxas de transferência de calor. A simplicidade do design facilita a compreensão dos princípios básicos de transferência de calor, como condução, convecção e radiação, além de possibilitar o estudo da influência de parâmetros como vazão, temperatura e propriedades dos fluidos no desempenho do trocador.

É crucial aprofundar a análise dos diferentes regimes de escoamento que podem ocorrer em trocadores de calor duplo tubo, como laminar, turbulento e transição. O regime de escoamento impacta significativamente a transferência de calor e a perda de carga no dispositivo. Incropera et al. (2014) exploram em detalhes esses regimes e seus efeitos no desempenho de trocadores de calor, fornecendo correlações e métodos para determinar o coeficiente de transferência de calor convectivo em cada regime.

Além disso, a escolha dos materiais para a construção do trocador de calor duplo tubo é um fator crucial a ser considerado. A compatibilidade química com os fluidos, a condutividade térmica e a resistência à corrosão são aspectos importantes na seleção dos materiais. Çengel & Ghajar (2012) abordam a influência das propriedades dos materiais na transferência de calor, fornecendo tabelas com valores de condutividade térmica para diferentes materiais.

A análise do desempenho térmico de trocadores de calor requer a compreensão de conceitos como a diferença de temperatura média logarítmica (LMTD) e a perda de carga, como abordado por Çengel & Ghajar (2012). O LMTD, calculado a partir dos perfis de temperatura dos fluidos, fornece uma medida da força motriz para a transferência de calor no trocador. É essencial considerar que o LMTD varia ao longo do comprimento do trocador, sendo maior na entrada e menor na saída. A utilização do LMTD no cálculo da taxa de transferência de calor permite uma estimativa mais precisa do desempenho do trocador, levando em conta a variação da diferença de temperatura entre os fluidos.

Outro fator importante na análise de desempenho é a perda de carga, que representa a energia dissipada pelo atrito entre o fluido e as paredes do trocador. A perda de carga impacta diretamente a eficiência do sistema, pois exige maior potência de bombeamento para manter o fluxo dos fluidos. Çengel & Ghajar (2012) e Incropera et al. (2014) apresentam métodos para calcular a perda de carga em trocadores de calor, considerando fatores como o regime de escoamento, a geometria do trocador e as propriedades dos fluidos.

Com o avanço das ferramentas computacionais, a simulação numérica tem se tornado cada vez mais importante na análise e projeto de trocadores de calor. Softwares de fluidodinâmica computacional (CFD) permitem a modelagem detalhada do escoamento dos fluidos, considerando fenômenos complexos que seriam difíceis de analisar por métodos analíticos. Silva et al. (2019) demonstram a aplicabilidade de softwares como o DWSIM na simulação de processos, incluindo trocadores de calor, enquanto Alrwashdeh et al. (2022) utilizam ferramentas computacionais para investigar a influência do comprimento e do tipo de escoamento no desempenho de trocadores bitubulares.

Nesse contexto, o Ansys Fluent destaca-se como uma ferramenta poderosa para a simulação de trocadores de calor. Sua ampla gama de modelos de turbulência, capacidade de simular transferência de calor conjugada e variações de propriedades termofísicas o tornam ideal para a análise detalhada de trocadores de calor duplo tubo. A utilização do Ansys Fluent possibilita a obtenção de informações detalhadas sobre o comportamento térmico do equipamento, como a distribuição de temperatura e os perfis de velocidade.

A simulação numérica oferece diversas vantagens em relação aos métodos experimentais tradicionais, como a possibilidade de analisar diferentes cenários e condições de operação sem a necessidade de construir protótipos físicos, o que reduz custos e tempo de desenvolvimento. Além disso, a simulação permite a visualização detalhada do escoamento e da transferência de calor, fornecendo insights valiosos para a otimização do projeto do trocador.

Apesar das vantagens da simulação numérica, a validação experimental dos modelos numéricos é crucial para garantir a confiabilidade dos resultados. Maciel et al. (2021) ressaltam a importância da construção de protótipos didáticos para a compreensão de operações unitárias e a validação de modelos teóricos. A comparação entre os dados experimentais obtidos em um protótipo de trocador de calor duplo tubo e os resultados da simulação no Ansys Fluent permitirá a avaliação da acurácia do modelo numérico e a identificação de possíveis discrepâncias.

A validação experimental pode ser realizada por meio da comparação de diferentes parâmetros, como a temperatura de saída dos fluidos, a taxa de transferência de calor e a perda de carga. É fundamental garantir que as condições experimentais sejam representativas das condições simuladas, controlando variáveis como vazão, temperatura de entrada e propriedades dos fluidos. A análise das discrepâncias entre os resultados experimentais e numéricos pode levar à identificação de limitações do modelo numérico e à necessidade de ajustes ou refinamentos.

### 3 – METODOLOGIA DO TRABALHO OU DESENVOLVIMENTO

Este estudo investiga o desempenho térmico de um trocador de calor duplo tubo, comparando dados experimentais com resultados de uma simulação numérica realizada no software Ansys Student. O objetivo principal é validar a eficiência do modelo computacional, utilizando água como fluido de trabalho em ambas as passagens do trocador.

#### 1. Caracterização do Trocador de Calor Duplo Tubo:

O trocador de calor em foco é composto por dois tubos concêntricos: um tubo interno de cobre (diâmetro interno de 19,05 mm) e um tubo externo de aço inoxidável (diâmetro interno de 2 polegadas com entrada de 10 mm). O comprimento total do trocador é de 800 mm.

A água fria percorre o tubo interno, enquanto a água quente flui pela região anular entre os tubos. Dois arranjos de escoamento são considerados: contracorrente e paralelo. As condições de operação, obtidas experimentalmente e replicadas na simulação, são detalhadas na Tabela 1.

**Tabela 1:** Condições de operação do trocador de calor duplo tubo.

Arranjo	Te (°C)	Ts (°C)	te (°C)	ts (°C)	wf (Kg/s)	wq (Kg/s)	q (W)	MLDT (°C)	A (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> K)
Contracorrente	57,2	49,7	30,5	34,2	0,0581	0,0265	865,16	21,043	0,0452	908,83
Paralelo	55,8	49	29,7	33,2	0,0558	0,0265	785,52	20,907	0,0452	830,54

#### 2. Modelagem Numérica no Ansys Student:

A modelagem numérica compreendeu as seguintes etapas:

**Construção da Geometria:** A geometria do trocador foi fielmente reproduzida no módulo DesignModeler do Ansys, utilizando as dimensões reais. Os tubos concêntricos foram modelados como cilindros sólidos, e o domínio do fluido foi definido como a região anular entre eles.

**Geração da Malha:** Uma malha computacional não estruturada, composta por elementos tetraédricos, foi gerada para o domínio do fluido. Refinamento da malha foi aplicado nas proximidades das paredes dos tubos para capturar com precisão os gradientes de temperatura e velocidade.

**Definição das Propriedades dos Fluidos:** As propriedades da água (densidade, viscosidade, condutividade térmica e calor específico) foram definidas no módulo Fluent do Ansys, considerando sua variação em função da temperatura.

**Aplicação das Condições de Contorno:** As condições de contorno foram configuradas de acordo com os dados da Tabela 1, incluindo temperaturas de entrada, vazões volumétricas e condições de pressão. Simulações foram realizadas para ambos os arranjos de escoamento (contracorrente e paralelo).

**Seleção do Modelo de Turbulência:** O modelo de turbulência  $k-\omega$  foi empregado para simular o escoamento turbulento da água no trocador.

**Definição do Método de Solução:** O método de volumes finitos foi utilizado para resolver as equações de conservação de massa, momentum e energia.

**Estabelecimento dos Critérios de Convergência:** Critérios rigorosos de convergência foram definidos para assegurar a estabilidade da solução numérica, monitorando os resíduos das equações e as variáveis de interesse (temperatura e velocidade).

### **3. Etapas Detalhadas da Simulação no ANSYS:**

O processo de simulação no ANSYS, após a determinação do comprimento ideal do trocador, envolveu as seguintes etapas:

**Obtenção do Software:** Utilizou-se o Ansys Student, versão gratuita para estudantes.

**Aprendizado da Ferramenta:** O domínio do software demandou tempo e dedicação, com foco em:

Criação e manipulação de geometrias.

Geração de malhas (estruturada, não estruturada e adaptativa).

Configuração da simulação, incluindo a definição de propriedades de materiais, condições de contorno e parâmetros numéricos.

Execução da simulação e análise de resultados.

**Modelagem do Trocador de Calor:** A geometria do trocador foi construída no ambiente virtual do ANSYS, utilizando o DesignModeler.

**Definição da Malha:** A malha foi gerada com atenção à qualidade e precisão, respeitando as limitações do Ansys Student.

**Configuração da Simulação:** As condições de contorno (temperaturas, vazões, etc.) foram definidas com base nos dados experimentais. Os parâmetros da simulação foram ajustados para garantir a precisão e a estabilidade da solução.

**Solução e Análise dos Resultados:** O solver do ANSYS foi utilizado para resolver as equações de transferência de calor. Os resultados foram analisados através de gráficos de temperatura, pressão e velocidade, permitindo a avaliação da eficiência do trocador.

### **4. Considerações Adicionais:**

A conversão da temperatura para Kelvin foi realizada para compatibilidade com o ANSYS.

As velocidades de entrada dos fluidos foram calculadas a partir das vazões mássicas e das dimensões dos tubos.

O modelo de turbulência  $k-\omega$  SST foi selecionado por sua adequação à simulação de trocadores de calor, capturando o comportamento do escoamento em regiões próximas à parede.

As propriedades dos materiais (água, cobre e aço) foram obtidas do banco de dados do ANSYS.

O algoritmo PISO foi escolhido para o acoplamento pressão-velocidade devido à sua eficiência em escoamentos incompressíveis e malhas com alta distorção.

Esquemas de discretização espacial de segunda ordem foram utilizados para garantir a precisão da solução.

Este estudo detalhado da simulação numérica do trocador de calor duplo tubo no ANSYS Student demonstra a importância da modelagem computacional na análise e otimização de sistemas de transferência de calor. A comparação dos resultados da simulação com os dados experimentais permitirá a validação do modelo e a obtenção de conclusões relevantes sobre o desempenho do trocador.

## 4 – RESULTADOS E DISCUSSÕES OU ANÁLISE DOS DADOS

A validação do modelo numérico desenvolvido no Ansys Student foi realizada através de um experimento prático em laboratório controlado, utilizando um protótipo do trocador de calor duplo tubo. O objetivo principal foi comparar os resultados da simulação com dados experimentais, buscando confirmar a precisão e a confiabilidade do modelo na previsão do desempenho térmico do trocador.

### Configuração Experimental:

O protótipo do trocador de calor foi conectado a uma fonte de calor e a uma fonte de água fria,

Durante o experimento, foram medidas e registradas as seguintes variáveis:

- Temperatura da água fria na entrada e saída do trocador.
- Vazão da água fria.
- Temperatura da água quente na entrada e saída do trocador.
- Vazão da água quente.



**Figura 2:** Protótipo experimental para validação dos dados do modelo.

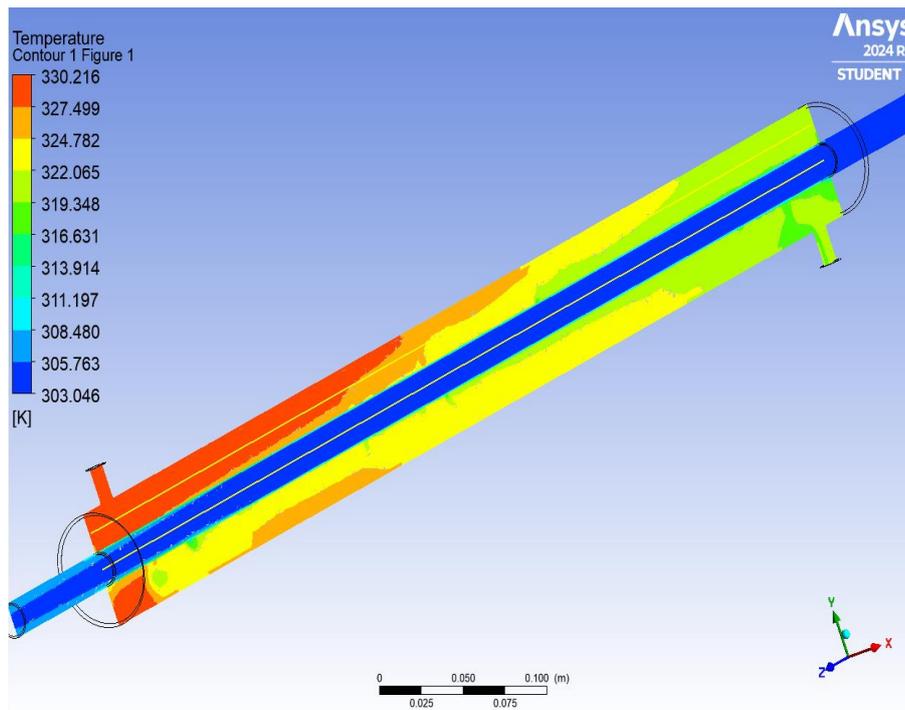
### Comparação entre Simulação e Experimento:

Os dados experimentais coletados foram utilizados para configurar a simulação no Ansys Student, ajustando parâmetros como temperaturas de entrada, vazões e propriedades dos fluidos. A comparação entre os resultados da simulação e os dados experimentais foi realizada através de gráficos e tabelas, com foco nas temperaturas de entrada e saída dos fluidos.

### Análise dos Resultados:

A análise dos resultados se concentrou nas temperaturas de entrada e saída dos fluidos, uma vez que o experimento se limitou à coleta desses dados. Apesar dessa restrição, a comparação entre os valores simulados e experimentais nessas regiões forneceu insights importantes sobre a precisão do modelo.

**Arranjo em Contracorrente:**

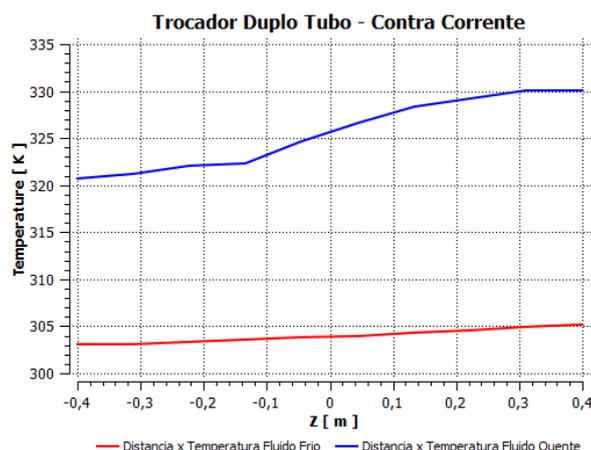


**Figura 3:** Modelo computacional exibindo o gradiente de temperatura à partir de um plano de corte longitudinal no trocador de calor no arranjo contracorrente.

No arranjo em contracorrente, a simulação demonstrou uma excelente concordância com os dados experimentais. As curvas de temperatura do fluido quente e do fluido frio apresentaram uma tendência similar, com um baixo desvio entre os valores simulados e experimentais.

Average of Facet Values  
Static Temperature [K]

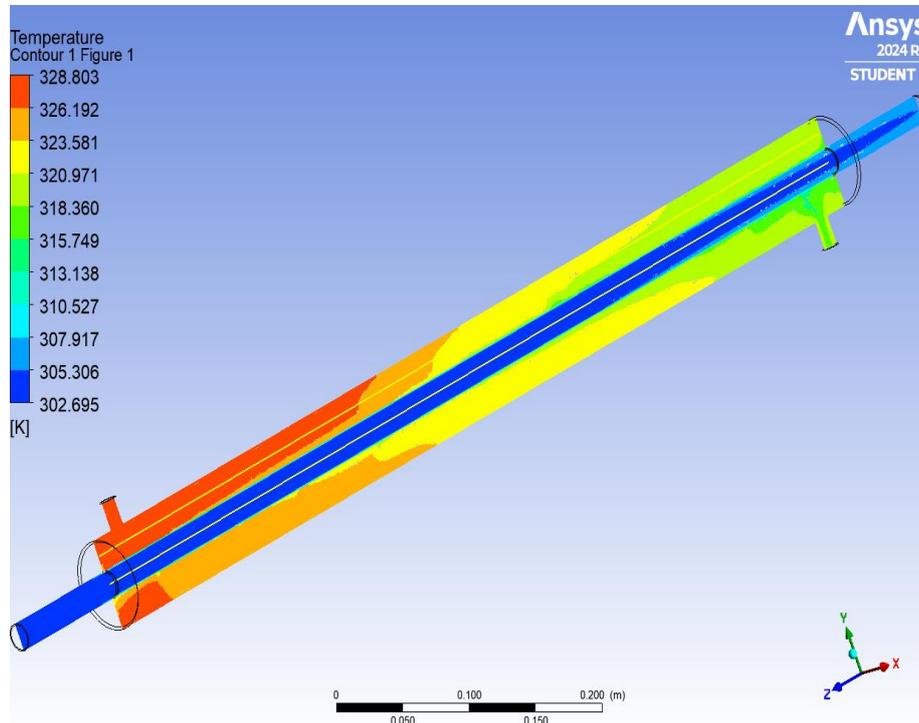
-----  
 hot\_water\_outlet 320.04627  
 hot\_water\_inlet 330.20001  
 cold\_water\_outlet 305.92687  
 cold\_water\_inlet 303.04999  
 -----



**Gráfico 1:** Gráfico de temperaturas de entrada e saída dos fluidos quente e frio medidos através da simulação em arranjo contracorrente.

**Arranjo em Paralelo:**

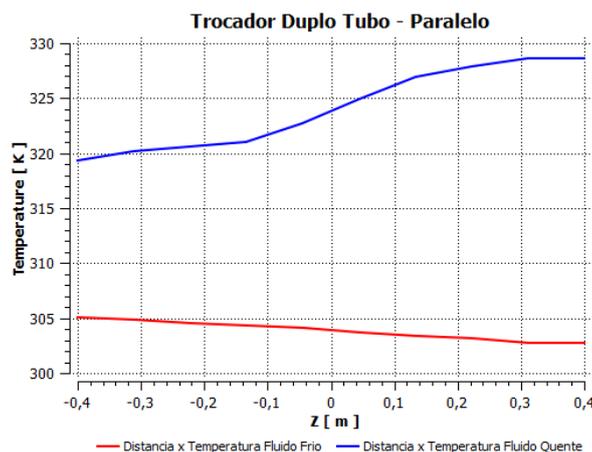
No arranjo em paralelo, os resultados da simulação foram ainda mais precisos, com um desvio mínimo entre as temperaturas de entrada e saída dos fluidos.



**Figura 3:** Modelo computacional exibindo o gradiente de temperatura à partir de um plano de corte longitudinal no trocador de calor no arranjo paralelo.

Average of Facet Values  
Static Temperature [K]

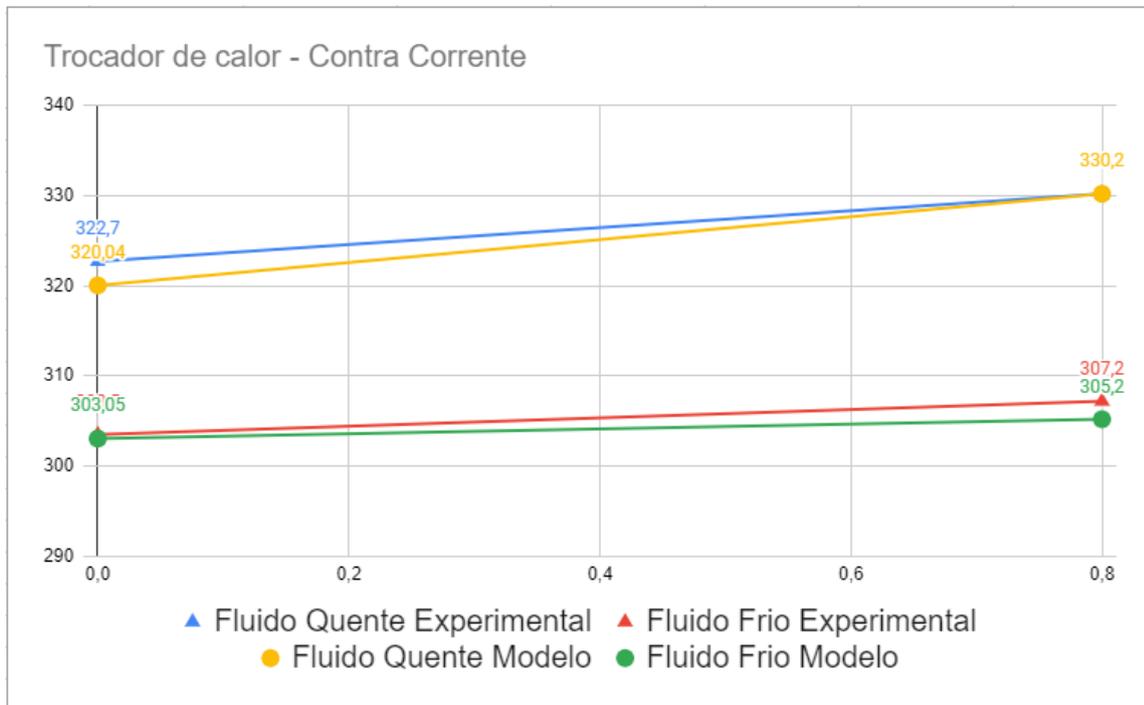
-----  
 cold\_water\_inlet 302.70001  
 cold\_water\_outlet 305.68344  
 hot\_water\_inlet 328.79999  
 hot\_water\_outlet 320.73975  
 -----



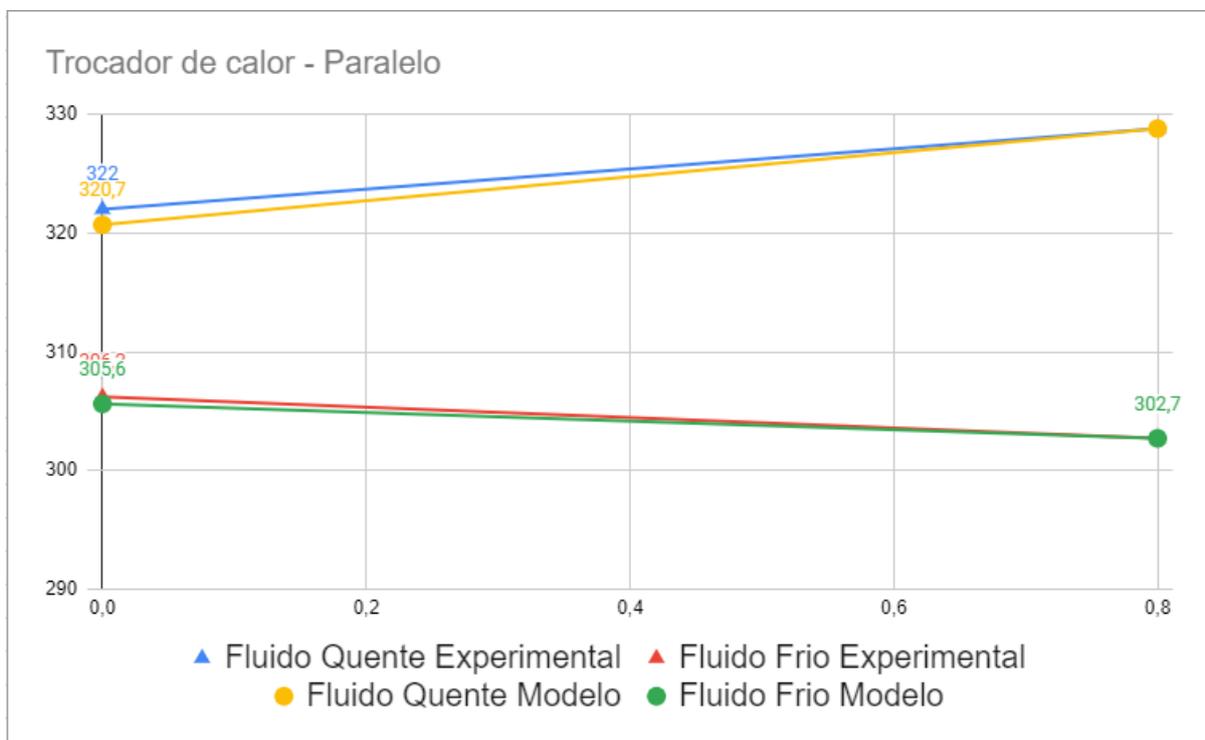
**Gráfico 2:** Gráfico de temperaturas de entrada e saída dos fluidos quente e frio medidos através da simulação em arranjo paralelo.

**Conclusões da Validação:**

A validação experimental confirmou a eficácia do modelo numérico desenvolvido no Ansys Student na previsão do desempenho térmico do trocador de calor duplo tubo. A concordância entre os resultados da simulação e os dados experimentais, tanto no arranjo em contracorrente quanto em paralelo, demonstra a capacidade do modelo de capturar os principais fenômenos de transferência de calor que ocorrem no trocador.



**Gráfico 3:** Comparação entre os dados coletados no modelo numérico e o experimental nos fluidos quente e frio no arranjo contracorrente.



**Gráfico 3:** Comparação entre os dados coletados no modelo numérico e o experimental nos fluidos quente e frio no arranjo paralelo.

### Limitações e Trabalhos Futuros:

É importante reconhecer que a análise se limitou às temperaturas de entrada e saída dos fluidos, devido à restrição na coleta de dados experimentais. Em trabalhos futuros, a obtenção de dados mais detalhados sobre a distribuição interna de temperatura, através de técnicas de medição mais avançadas, permitirá uma comparação mais completa e aprofundada entre a simulação e o experimento.

Apesar das limitações, este estudo demonstra a importância da validação experimental na modelagem computacional de sistemas de transferência de calor. A utilização de dados experimentais para confrontar e aprimorar os modelos numéricos contribui para o desenvolvimento de ferramentas mais precisas e confiáveis para a análise e otimização de equipamentos térmicos.

## 5 – CONCLUSÃO OU CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise detalhada dos resultados da simulação numérica e da validação experimental do trocador de calor duplo tubo permite extrair conclusões relevantes sobre a eficácia da ferramenta ANSYS e a precisão do modelo implementado.

O Erro Médio Absoluto Percentual (MAPE) é uma métrica amplamente utilizada para avaliar a precisão de modelos numéricos em comparação com dados experimentais. Ele expressa a média dos erros absolutos em relação aos valores experimentais em termos percentuais, permitindo uma análise clara das discrepâncias. O cálculo do MAPE é realizado pela seguinte equação:

$$\text{MAPE} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{\text{Simulado}_i - \text{Experimental}_i}{\text{Experimental}_i} \right| \times 100$$

Onde:

- Simulado: é o valor obtido pela simulação para o ponto  $i$ ,
- Experimental: é o valor medido experimentalmente no ponto  $i$ ,
- $n$ : é o número total de pontos de medição considerados.

Neste estudo, o MAPE foi calculado para cada arranjo de escoamento (contracorrente e paralelo), considerando as temperaturas de entrada e saída dos fluidos quente e frio. A métrica permitiu avaliar quantitativamente a precisão do modelo numérico implementado no software Ansys Student.

**Tabela 2:** Resultados dos cálculos de erro MAPE

Arranjo	Ponto Medido	Experimental (K)	Simulado (K)	Erro (%)
Contracorrente	Entrada Quente	330,35	330,2	0,045
	Saída Quente	322,85	320,05	0,868
	Entrada Fria	303,65	303,05	0,198
	Saída Fria	307,35	305,93	0,463
				erro médio:
Paralelo	Entrada Quente	328,95	328,8	0,046
	Saída Quente	322,15	320,74	0,438
	Entrada Fria	302,85	302,7	0,05
	Saída Fria	306,35	305,68	0,218
				erro médio:

A

comparação entre os arranjos contracorrente e paralelo revelou diferenças significativas nos erros médios absolutos percentuais (MAPE). No arranjo contracorrente, o erro médio foi maior, possivelmente devido a limitações na modelagem dos gradientes térmicos ou a variações experimentais mais sensíveis a este tipo de fluxo. Este comportamento pode estar associado à maior complexidade do gradiente térmico no contracorrente, que exige maior precisão na captura dos fenômenos térmicos, como mistura e turbulência nas interfaces fluido-parede.

Por outro lado, no arranjo paralelo, o modelo numérico apresentou maior precisão, com menor erro médio. Esse resultado pode ser atribuído à estabilidade térmica intrínseca do fluxo paralelo, onde o gradiente térmico é menos acentuado, reduzindo as variações tanto na simulação quanto no experimento.

### **Eficácia do ANSYS na Simulação de Trocadores de Calor:**

O estudo demonstrou a capacidade do ANSYS de simular com precisão o comportamento térmico de trocadores de calor duplo tubo, tanto em arranjo contracorrente quanto em paralelo. A ferramenta se mostrou robusta e versátil, permitindo a modelagem detalhada da geometria do trocador, a definição de diferentes condições de contorno e a análise de diversos parâmetros de desempenho.

### **Alta Precisão na Previsão das Temperaturas:**

Os resultados da simulação apresentaram excelente concordância com os dados experimentais, especialmente nas temperaturas de entrada e saída dos fluidos. Os desvios mínimos observados entre os valores simulados e experimentais comprovam a alta precisão do modelo na previsão do desempenho térmico do trocador.

### **Confiabilidade na Simulação e Análise de Trocadores de Calor:**

A validação do modelo em ambos os arranjos de escoamento (contracorrente e paralelo) reforça a confiabilidade do ANSYS como ferramenta de simulação e análise de trocadores de calor. A capacidade de prever com precisão o comportamento térmico do equipamento em diferentes configurações permite a otimização de projetos, a investigação de diferentes cenários e a tomada de decisões mais assertivas no desenvolvimento de sistemas de transferência de calor.

### **Importância da Integração entre Teoria e Prática:**

Este estudo destaca a importância da utilização de ferramentas computacionais, como o ANSYS, no ensino de engenharia. A possibilidade de simular e analisar diferentes cenários, confrontando os resultados com dados experimentais, proporciona aos estudantes uma experiência prática valiosa, complementando o aprendizado teórico e contribuindo para a formação de profissionais mais capacitados.

Em suma, o ANSYS se consolida como uma ferramenta poderosa e confiável para o estudo e projeto de trocadores de calor, permitindo a simulação de diferentes configurações, a análise detalhada do desempenho térmico e a otimização de projetos. A integração entre a simulação computacional e a validação experimental contribui para o desenvolvimento de sistemas de transferência de calor mais eficientes e inovadores.

## **6 – REFERÊNCIAS**

1. ALRWASHDEH, M. et al. Numerical analysis of the effect of length and flow type on the efficiency of a double pipe heat exchanger. **Case Studies in Thermal Engineering**, v. 34, p. 102068, 2022.
2. BERGMAN, T. L.; LAVINE, A. S.; INCROPERA, F. P.; DEWITT, D. P. **Fundamentos da Transferência de Calor e de Massa**. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2019.
3. ÇENGEL, Y. A.; GHAJAR, A. J. **Transferência de Calor e Massa: Uma Abordagem Prática**. 4. ed. Porto Alegre: AMGH, 2012.
4. INCROPERA, F. P. et al. **Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa**. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2014.
5. KREITH, F.; BOHN, M. S.; MANEAU, R. R. **Princípios de Transferência de Calor**. 7. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2015.
6. MACIEL, M. R. W. et al. Metodologia para o desenvolvimento de protótipos didáticos para o ensino de operações unitárias. **HOLOS**, v. 3, p. 1-13, 2021.
7. SILVA, R. S. et al. Simulação do dimensionamento de trocadores de calor bitubulares: uma proposta de atividade didática para o ensino de operações unitárias. **Revista Virtual de Química**, v. 11, n. 6, p. 1713-1728, 2019.