



## ANÁLISE DO SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO, DISTRIBUIÇÃO DE PRESSÃO E O FLUXO DO FLUIDO

André Fernando Tozzi<sup>1</sup>  
Andrey Gabriel Cardoso<sup>2</sup>  
Nilson Rosa Luz Junior<sup>3</sup>  
Erickson Alex de Lima<sup>4</sup>  
Marco Antonio Cardoso de Souza<sup>5</sup>

**Resumo:** Este estudo apresenta a simulação do comportamento fluidodinâmico de um sistema de refrigeração simplificado utilizando o software COMSOL Multiphysics®. O estudo foca na visualização da distribuição de pressão e do fluxo de um fluido refrigerante (Freon 12) em um circuito fechado, destacando a função do tubo capilar na redução da pressão. A metodologia empregada válida a simulação gráfica como uma alternativa robusta e econômica às bancadas de teste físicas, permitindo a visualização integral da dinâmica interna do sistema e a otimização de projetos. Os resultados demonstram a eficácia da simulação para compreender o desempenho de componentes essenciais em ciclos de refrigeração e para a seleção de materiais em sistemas de controle térmico

**Palavras-chave:** COMSOL Multiphysics; Transferência de Massa; Simulação Computacional.

**Abstract:** This study presents the simulation of the fluid dynamic behavior of a simplified refrigeration system using COMSOL Multiphysics®. The study focuses on the visualization of pressure distribution and the flow of a refrigerant (Freon 12) in a closed circuit, highlighting the role of the capillary tube in pressure reduction. The methodology employed validates graphical simulation as a robust and cost-effective alternative to physical test benches, enabling a comprehensive visualization of the system's internal dynamics and the optimization of designs. The results demonstrate the effectiveness of simulation in understanding the performance of essential components in refrigeration cycles and in the selection of materials for thermal control systems. reaction alongside thermal analysis. This approach aims to validate the model and enhance its applicability to real chemical processes.

**Key-words:** COMSOL Multiphysics; Mass Transfer; Computational Simulation

<sup>1</sup> Graduando do curso de engenharia química da UNIFATEB, campus Telêmaco Borba – e-mail: andreft4277@ga.

<sup>2</sup> Graduando do curso de engenharia química da UNIFATEB, campus Telêmaco Borba – e-mail: andreycardoso335@gmail.com.

<sup>3</sup> Graduando do curso de engenharia química da UNIFATEB, campus Telêmaco Borba – e-mail: rosaluznilson@gmail.com

<sup>4</sup> Professor do curso de engenharia química, pela UNIFATEB, campus Telêmaco Borba – e-mail: erickson.lima@unifateb.edu.br.

<sup>5</sup> Professor do curso de engenharia química, pela UNIFATEB, campus Telêmaco Borba – e-mail: marco.souza@unifateb.edu.br.



# EPIC 2025

XII ENCONTRO DE PESQUISA, XVI ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E  
II ENCONTRO DE ENSINO E EXTENSÃO UNIVERSITÁRIA



## 1. INTRODUÇÃO

A modelagem e a simulação de sistemas termodinâmicos e que envolvem os fenômenos de transferência de massa e calor são ferramentas de suma importância para o projeto e a otimização de processos no dia a dia das indústrias químicas, promovendo uma redução de custos experimentais e aumentar a eficiência operacional dos mesmos (ÇENGEL; GHAJAR, 2019).

Neste estudo, foi realizada a simulação de uma bancada de análise do ciclo Rankine presente no Centro Laboratorial Professor Ivo Neitzel da UNIFATEB, utilizando para tanto o software COMSOL Multiphysics®, amplamente reconhecido por sua capacidade de acoplar fenômenos físicos tais como os envolvidos em processos de transferência de calor, transporte de massa e reações químicas (COMSOL, 2023a; SHARMA; KHANDELWAL; MISHRA, 2018).

Este trabalho traz uma análise do comportamento fluidodinâmico de um sistema simplificado, baseada em simulações visuais de pressão e fluxo do fluido. As simulações mostram a distribuição de pressão e as linhas de corrente em um circuito fechado, com destaque para o papel essencial do dispositivo de expansão. O objetivo é explicar os princípios operacionais do ciclo, focando na variação de pressão e no padrão de escoamento do refrigerante, oferecendo melhor compreensão do desempenho dos componentes. A interpretação desses dados permite entender a dinâmica interna do sistema e a interação entre seus elementos, contribuindo para otimizações em projetos e processos na engenharia térmica e de fluidos

## 2. DESENVOLVIMENTO

Na engenharia química, a simulação computacional tornou-se uma ferramenta essencial, possibilitando a análise e otimização de processos complexos sem a necessidade de criar protótipos físicos caros. Além disso, Kumar e Singh (2020) reforçam que o COMSOL é especialmente eficaz para análises acopladas de transferência de calor e massa em reatores, permitindo validar modelos matemáticos e otimizar condições operacionais antes da realização de experimentos práticos.



Essa capacidade de prever o comportamento dinâmico de sistemas químicos bem como de sistemas térmicos, sejam eles de potência ou de refrigeração, contribui diretamente para a segurança e a eficiência de plantas industriais, justificando sua escolha como ferramenta metodológica neste trabalho.

Este projeto teve como objetivo principal aprofundar a compreensão da dinâmica interna de fluidos em sistemas de refrigeração, bem como analisar a função e a interação dos componentes do sistema em relação ao fluxo do fluido. Para tal, foi empregada a simulação gráfica utilizando o software COMSOL Multiphysics. A modelagem foi baseada em uma bancada de sistema de refrigeração real, (Figura 1), garantindo que a simulação reproduzisse com alta fidelidade as condições operacionais de um sistema físico. Essa abordagem permitiu a visualização detalhada dos processos internos e das interações do fluido em todo o circuito, oferecendo insights que seriam de difícil obtenção por métodos experimentais tradicionais.

Figura 1: Bancada de Estudo do Ciclo de Refrigeração



Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

Com o avanço das ferramentas computacionais, softwares baseados no



método dos elementos finitos, como o COMSOL Multiphysics®, têm se destacado pela capacidade de acoplar múltiplos fenômenos físicos em um único modelo. Esse recurso permite a integração de transporte de calor, escoamento de fluidos, difusão e cinética de reações químicas, fornecendo um panorama mais realista do comportamento do sistema (COMSOL, 2023a; COMSOL, 2023b).

A utilização de ferramentas de simulação no ensino de engenharia já se encontra amplamente consolidada na literatura especializada. Trabalhos recentes, como os de Lima et al. (2024), evidenciam que softwares de modelagem, a exemplo do COMSOL, têm papel fundamental na formação de profissionais mais qualificados, preparados para enfrentar desafios de natureza complexa e interdisciplinar.

Além disso, estudos apontam que a aplicação de simulações computacionais contribui de maneira significativa para o aprendizado de conceitos considerados abstratos, como as equações diferenciais parciais e os fundamentos da transferência de calor. Isso ocorre porque os estudantes passam a visualizar a aplicação prática dessas equações e podem interagir com diferentes cenários, tornando o processo de ensino mais dinâmico e efetivo (Silva; 2020 e Pereira; 2021).

Lima et al (2024) ainda descreve que a principal dificuldade existente no contexto do ensino é justamente realizar a integração da teoria para com a prática no ensino tradicional de engenharia, sendo muitas vezes nestas etapas que os alunos não conseguem visualizar a devida aplicação dos conceitos fundamentais aprendidos em sala de aula. O uso de ferramentas como o COMSOL Multiphysics busca suprir essa lacuna, proporcionando uma interface visual e prática para a resolução de problemas complexos, tornando o aprendizado mais dinâmico e envolvente.

A relevância deste estudo fundamenta-se na demanda crescente por engenheiros capazes de atuar diante de tecnologias emergentes e de desafios de natureza multidisciplinar. Nesse contexto, as ferramentas de simulação assumem papel estratégico, pois além de potencializarem a qualidade do processo de ensino-aprendizagem, também contribuem para a formação de profissionais alinhados às exigências da indústria contemporânea, que requer competências mais amplas, flexibilidade e capacidade de adaptação



Destaca-se ainda que o uso de bancadas de teste em sistemas de refrigeração é fundamental para a realização de estudos em ambiente controlado, permitindo a medição de parâmetros como pressão, temperatura e volume. Entretanto, sua operação demanda custos elevados com fluidos refrigerantes e está sujeita a riscos de falhas mecânicas ou operacionais que podem comprometer tanto o equipamento quanto a confiabilidade dos resultados. Além disso, a visualização dos fenômenos internos do circuito é limitada, já que os dados obtidos se restringem aos pontos instrumentados.

Nesse contexto, a simulação gráfica se apresenta como uma alternativa robusta e economicamente viável. Ela possibilita a execução de inúmeros testes com diferentes configurações e fluidos, sem custos adicionais ou risco de danificar equipamentos. Os resultados gerados apresentam alta correlação com os dados obtidos em bancadas físicas, mas com a vantagem de oferecer uma visualização integral do sistema, evidenciando regiões de maior e menor pressão e o comportamento detalhado do fluxo em todo o circuito. Essa capacidade amplia a compreensão da dinâmica interna e contribui significativamente para o aprimoramento de projetos e para a otimização do desempenho de sistemas de refrigeração.

## COMPONENTES PARA MODELAGEM

Destaca-se que a ferramenta de modelagem COMSOL possui uma ampla biblioteca de materiais, contendo dados de mais de 2.500 materiais, incluindo elementos, minerais, ligas metálicas, isolantes térmicos, semicondutores e materiais piezelétricos, cada material tem propriedades representadas por funções, para até 24 propriedades (COMSOL, 2024).

A simulação desenvolvida inclui todos os componentes essenciais de uma bancada de refrigeração:

- Compressor,
- Condensador,
- Evaporador,



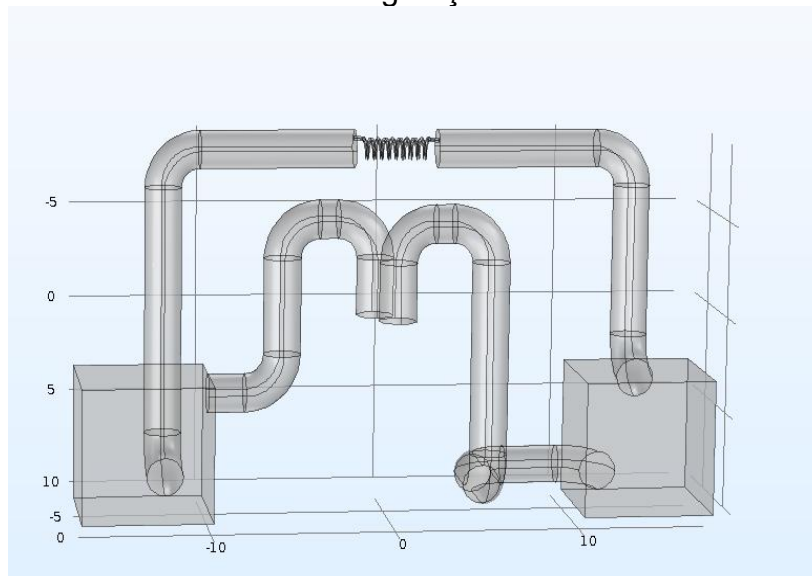
- Tubo capilar

Logo é de suma importância a devida escolha de materiais para cada parte que integra o sistema e a escolha devida da geometria a ser analisada, durante a realização da etapa de modelagem do sistema presente na bancada.

Visando uma boa integração entre a teoria existente para com prática desenvolvida na bancada de estudo e a modelagem realizou-se a devida calibração e validação do modelo simulado, sendo realizados testes prévios na bancada física, coletando-se dados de pressão (inicial e final), temperatura e vazão do sistema. Esses valores experimentais foram cruciais para estabelecer as condições de contorno e os parâmetros de entrada na simulação, assegurando a representatividade e a precisão dos resultados obtidos no ambiente virtual.

A Figura 2 apresenta a geometria da bancada de refrigeração que será utilizada para efetuação da modelagem

Figura 2: Geometria da bancada de refrigeração



Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

O compressor não está simulado na geometria, mas sua função está sendo representada com o circuito começando a uma temperatura constante mais alta, e voltando com uma pressão mais baixa, assim se repetindo o processo. Assim como não está sendo simulado os equipamentos de medição pois o consol multiphysics

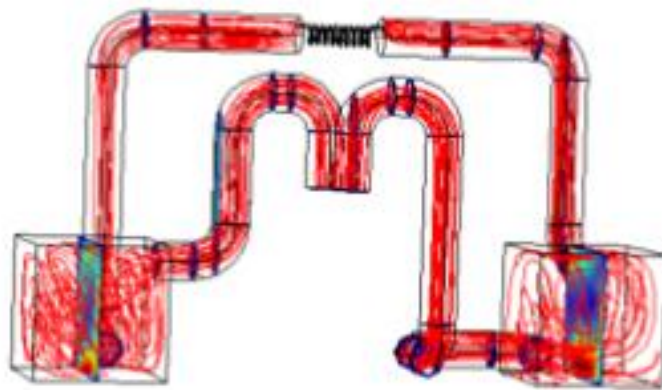


com os valores simulados eles são a necessidade desses aparelhos.

1. Fluxo do Gás: A ilustração mostra o caminho do fluxo do gás dentro do circuito. As linhas vermelhas representam as trajetórias do fluxo, confirmando que o gás se move do componente retangular da direita (alta pressão) para o componente retangular da esquerda (baixa pressão). As áreas azuis dentro dos componentes retangulares e em algumas curvas indicam regiões de menor velocidade do fluxo onde o fluido se distribui, se acumula antes de entrar no fluxo principal. A densidade das linhas de fluxo sugere que a velocidade do gás é maior nas seções mais estreitas do tubo e menor nas seções mais largas, o que é esperado em escoamentos de fluidos.

A Figura 3 apresenta por sua vez o fluxo de fluido existente na operação da bancada

Figura 3: Fluxo do fluido



Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

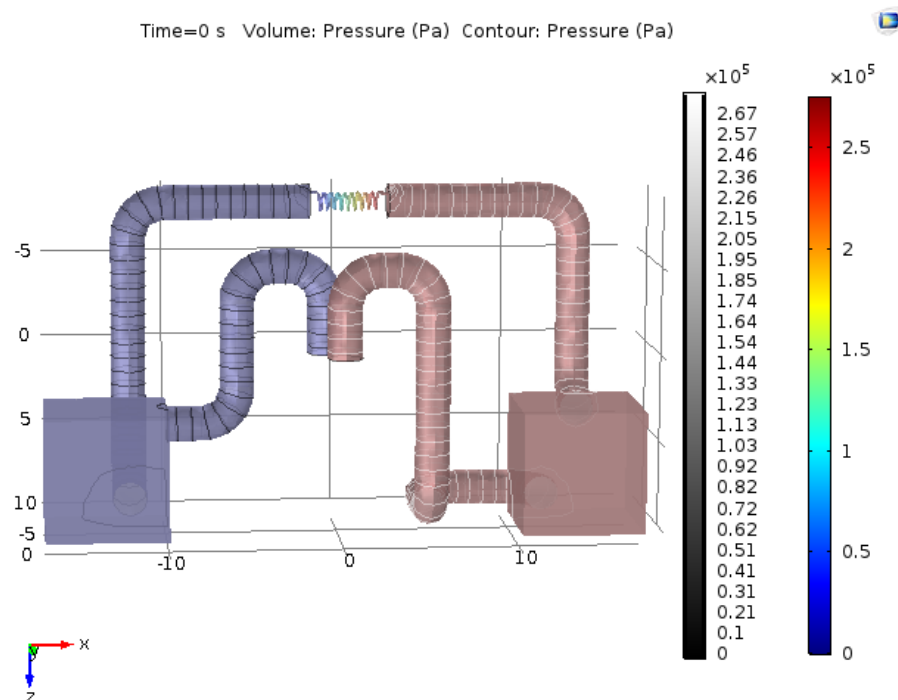
2. Distribuição de pressão: A imagem de pressão mostra a variação de pressão ao longo do circuito. As áreas em vermelho indicam alta pressão (aproximadamente  $2.5 \times 10^5$  Pa), enquanto as áreas em azul indicam baixa pressão (próximo a 0 Pa). Observa-se que o fluido entra no sistema com alta pressão (lado direito, vermelho) e, ao passar pela seção elíptica central que simula o tubo capilar, a pressão diminui drasticamente, tornando-se azul. Isso é consistente com o funcionamento de um sistema de refrigeração, onde um dispositivo de expansão (como um tubo capilar ou



válvula de expansão) é usado para reduzir a pressão do refrigerante, causando sua vaporização e resfriamento. O reservatório do lado esquerdo está em baixa pressão, indicando que é o lado de baixa pressão do sistema, onde o refrigerante absorve calor.

Já a Figura 4 apresenta a distribuição da pressão encontrada no sistema a ser analisado.

Figura 4: Distribuição de Pressão



Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

3. Materiais e parâmetros usados: Foi considerado nesta simulação uma réplica da bancada do sistema de resfriamento, onde o fluido injetado é o freon 12 é enviado para o circuito pelo compressor com fluxo laminar a uma pressão de 40 psi inicial, onde continua com esta até passar pelo capilar de 0,5mm, e então sua pressão diminui para praticamente 0 psi, retornando para o compressor e repetindo o processo, assim como pode ser visualizado na figura 3.



# EPIC 2025

XII ENCONTRO DE PESQUISA, XVI ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E  
II ENCONTRO DE ENSINO E EXTENSÃO UNIVERSITÁRIA



### 3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou uma análise computacional detalhada da transferência de calor em um sistema de refrigeração simplificado, com foco na visualização de um fluido escoando por um sistema de resfriamento, e visualizando como ele se comporta e os pontos de pressão. A utilização do software COMSOL Multiphysics® permitiu uma simulação tridimensional robusta, que demonstrou de forma clara os locais com maior pressão, assim como os locais em que se há aglomeração de fluxo.

A metodologia empregada, baseada em modelagem computacional, ressalta a importância das simulações gráficas como ferramentas complementares às bancadas de teste físicos. As simulações oferecem a vantagem de visualizar a dinâmica interna do fluido e a distribuição de pressão e temperatura em todo o sistema, algo que seria inviável ou extremamente complexo de se obter apenas com medições pontuais em bancadas reais. Além disso, a simulação permite a realização de múltiplos testes com diferentes parâmetros e fluidos sem custos adicionais ou riscos de danificar equipamentos, otimizando o processo de pesquisa e desenvolvimento.

O estudo também abordou a distribuição de pressão e o fluxo do fluido refrigerante (Freon 12) no circuito, evidenciando a função crucial do tubo capilar na redução da pressão e no subsequente resfriamento do sistema. A visualização das áreas de alta e baixa pressão, bem como das linhas de corrente do fluido, contribuiu para um entendimento aprofundado da dinâmica operacional do sistema de refrigeração.

Em suma, este trabalho não apenas validou a eficácia da simulação computacional na análise de fenômenos de transferência de massa e fluidodinâmica, mas também forneceu insights práticos sobre a escolha de materiais e a otimização de sistemas de refrigeração.

### 4. AGRADECIMENTOS



Agradecemos sinceramente a todos que participaram da elaboração deste resumo expandido. Agradecemos também à instituição UNIFATEB pelo suporte e recursos fornecidos para a realização deste estudo. Por fim, agradecemos a todos os colegas e colaboradores que contribuíram, direta ou indiretamente, com discussões e insights essenciais para a realização deste estudo.

## 5. REFERÊNCIAS

COMSOL. Chemical Reaction Engineering Module User's Guide. Estocolmo: COMSOL AB, 2023a.

COMSOL. Introduction to COMSOL Multiphysics®. Estocolmo: COMSOL AB, 2023b. Disponível em: <https://www.comsol.com>. Acesso em: 20 set. 2025.

KUMAR, R.; SINGH, R. Heat and mass transfer analysis in chemical reactors using COMSOL Multiphysics. *Journal of Thermal Engineering*, v. 6, n. 5, p. 45–53, 2020.

SUNDARAM, S.; DEB, D. Application of COMSOL Multiphysics for simulation of chemical processes. *Materials Today: Proceedings*, v. 52, p. 2148–2153, 2022.

INCROPERA, F. P. ET AL. FUNDAMENTOS DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR E DE MASSA. 7. ED. RIO DE JANEIRO: LTC, 2014.

COMSOL. COMSOL MULTIPHYSICS. VERSÃO 6.1. BURLINGTON, MA: COMSOL AB, 2022. DISPONÍVEL EM: [HTTPS://WWW.COMSOL.COM/](https://www.comsol.com/). ACESSO EM: 13 JUN. 2025.

STOECKER, W. F.; JONES, J. W. REFRIGERAÇÃO E AR CONDICIONADO. SÃO PAULO: MCGRAW-HILL, 1985.

CREMASCO, M. A. FUNDAMENTOS DE TRANSFERÊNCIA DE MASSA. SÃO PAULO: BLUCHER, 2015.