



# REFRIGERAÇÃO SUSTENTÁVEL: IMPACTOS POSITIVOS NA LUTA CONTRA O AQUECIMENTO GLOBAL

## REFRIGERAÇÃO SUSTENTÁVEL

Marcelo Coura Dias Rodrigues<sup>1</sup>, Ellen Fabiane Canabrava Ribeiro<sup>2</sup>, Renato Polanczyk Resende<sup>3</sup>, Filipe Campos Reis<sup>4</sup>

<sup>1</sup>UFMG/DEMEC/Escola de Engenharia, marcelocdr@ufmg.br

<sup>2</sup>UFMG/Departamento de Comunicação Social/Escola de Filosofia e Ciências Humanas, canabraava@ufmg.br

<sup>3</sup>UFMG/DCC/renatopolanczyk@ufmg.br

<sup>4</sup>UFMG/Departamento de eletrônica/Escola de Engenharia/filipecamposreis@gmail.com

**Resumo:** Neste trabalho, abordamos o aquecimento global no contexto da refrigeração. As emissões de gases de fluidos refrigerantes estão relacionadas ao efeito estufa, afetando a saúde humana como no aumento de doenças respiratórias. Hidrocarbonetos destacam-se como alternativas para substituir fluidos tradicionais, mas apresentam desafios de segurança devido à inflamabilidade. Leis climáticas rigorosamente aplicadas demonstraram ser eficazes na mitigação do impacto ambiental. Conclui-se que mesmo pequenas mudanças na indústria de refrigeração podem ter um grande impacto na luta contra o aquecimento global.

**Palavras-chave:** Aquecimento Global, Refrigeração, Hidrocarbonetos, Leis Climáticas, Saúde Humana.

### 1. Introdução

O aquecimento global está intrinsecamente relacionado as mudanças climáticas e aos impactos na saúde, como salientado por Uchoa N., Lustosa e Uchoa F. (2019). Um assunto frequentemente subestimado é o impacto dos fluidos refrigerantes, que contribuem para o efeito estufa. Com leis de mitigação climática, conforme supracitado por Fankhauser (2020) e discutidas no Protocolo de Kyoto, o foco está na redução do consumo de Hidro-Flúor-Carbonos (HFC's), estimulando a busca por alternativas ecológicas. Este estudo explora as interconexões do aquecimento global, saúde humana, políticas de mitigação e, assim, apresenta uma alternativa sustentável:

Grupo de Pesquisa Texto Livre	Belo Horizonte	v.16	n.2	2023.2	e-ISSN: 2317-0220
-------------------------------	----------------	------	-----	--------	-------------------

Realização:



Apoio:



Produção:





a substituição de fluidos tradicionais por hidrocarbonetos, demonstrando que, bem como em qualquer setor, as possibilidades existem e atendem as necessidades exigidas pelo processo.

## 2. Revisão literária

### 2.1 Contexto Histórico

No início do século XX, a indústria de refrigeração buscou os clorofluorcarbonos (CFC's) como soluções eficientes. No entanto, Molina e Rowland (1974) alertaram nos anos 80 sobre os impactos negativos dos CFC's, incluindo o esgotamento da camada de ozônio e o efeito estufa. Respondendo a essas preocupações, o Protocolo de Montreal foi assinado em 1987, estabelecendo um cronograma de eliminação progressiva dos CFC's, de acordo com o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente em 2000. Os HFC's surgiram como alternativas, mas seus altos potenciais de aquecimento global (GWP), ainda preocupam.

Apesar dos problemas de aquecimento global, os HFC's ainda são amplamente utilizados. No entanto, a crescente demanda por sistemas de refrigeração destaca a necessidade de transição para novos refrigerantes, com práticas adequadas de instalação e reciclagem, como enfatizado por Wuebbles (1994). Por fim, é possível perceber que o problema gerado pelos fluidos refrigerantes é apenas uma fração do quebra-cabeça das mudanças climáticas.

### 2.2 Impactos na Saúde Humana

As mudanças climáticas devido ao aquecimento global têm impactos significativos na saúde humana. Uchoa N., Lustosa e Uchoa F. (2019) ressaltam que o proveniente aumento das chuvas resulta em enchentes, afetando principalmente a população de baixa renda em áreas periféricas sem infraestrutura adequada. Isso desencadeia doenças infecciosas e bacterianas, como leptospirose, tétano e Hepatite A, atingindo de forma mais intensa os vulneráveis.



### 2.3 Políticas Governamentais

As leis para combater o aquecimento global se desenvolveram ao longo do tempo, com ênfase em energias renováveis e eficiência, conforme Fankhauser (2020). Nesse contexto, mais de 50% das leis visam fontes de energia renovável, enquanto 40% buscam eficiência energética. Paralelamente, o crescimento econômico desenfreado tem contribuído para as emissões de gases de efeito estufa, destacando a necessidade de rigor na aplicação das leis ambientais. Esse estudo mostra um impacto positivo, com redução de 5.9 gigatoneladas nas emissões de CO<sub>2</sub> em 2016. Essas pesquisas enfatizam a importância de políticas governamentais em alinhamento com as metas sociais.

### 2.4 Fluidos Refrigerantes Sustentáveis

A fim da evolução do setor energético da refrigeração e a substituição dos fluidos tradicionais, os hidrocarbonetos naturais, como o propano (R290), propeno (R1270) e isobutano (R600a), emergem como alternativas mais ecológicas em comparação aos HFC's. Segundo Lee et al. (2006), esses fluidos superam o R22 em pelo menos 31% das vezes. No entanto, é fundamental considerar suas propriedades inflamáveis. Del Col et al. (2017), em paralelo, realizaram estudos experimentais que evidenciaram uma redução média de 19% no gradiente de pressão por atrito do propileno em comparação com o propano, o que é vantajoso em termos de conservação de energia. O propileno se destaca devido ao baixo potencial de aquecimento global (GWP), tornando-o promissor em sistemas de refrigeração em pequena escala, apesar da inflamabilidade.

## 3. Metodologia

A metodologia adotada para este trabalho baseou-se em uma revisão bibliográfica, abordando o aquecimento global, seus impactos socioambientais e o papel das políticas governamentais.

Grupo de Pesquisa Texto Livre	Belo Horizonte	v.16	n.2	2023.2	e-ISSN: 2317-0220
-------------------------------	----------------	------	-----	--------	-------------------

Realização:

Apoio:

Produção:



Além disso, o estudo focou no nicho relacionado aos fluidos refrigerantes e seu impacto no contexto do aquecimento global. Já para a coleta de dados, foram utilizados softwares como o GraphData, permitindo a extração de informações contidas em gráficos sobre o coeficiente de troca de calor (HTC). O HTC é um indicador essencial para avaliar a eficiência energética dos fluidos. As análises estatísticas foram conduzidas por meio de regressões múltiplas, visando prever o coeficiente de troca de calor para os fluidos hidrocarbonetos em comparação com os fluidos tradicionais, dados que foram obtidos e analisados juntos através das duas referências utilizadas no Tópico 2.4. As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do software Excel. Esse método proporcionou uma compreensão mais aprofundada das possibilidades de substituição de fluidos tradicionais, como do R134a, e contribuiu para a abordagem de soluções sustentáveis na mitigação do aquecimento global. A Tabela [3.1] apresenta os dados coletados para regressão múltipla. Já a Tabela [3.2] apresenta os parâmetros que foram utilizados para a obtenção de duas equações.

Tabela [3.1] – Dados coletados

ARTIGO	Ano	Citação	Referência DOI	Curvas	Tipo de Tubo	Fluido	Velocidade mássica (G)	Diâmetro (mm)	Temp - Sat (K)
1	2006	Lee et al. (2006)	<a href="https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2005.11.008">https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2005.11.008</a>	8	Tubo Duplo Horizontal	R1270; R22; R23; R290; R600a	150	8; 10,92	313
2	2017	Del Col et al. (2017)	<a href="https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2017.07.012">https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2017.07.012</a>	17	Minicanais	R1270; R290	80; 100; 120; 135; 150; 200; 300; 400; 600; 800; 1000	0,96	313,15

Fonte: Os Autores, 2023.

Tabela [3.2] – Dados para as regressões: divisão entre fluidos sustentáveis e tradicionais

ARTIGOS	Fluido	Velocidade mássica (G)	Diâmetro (mm)	Temp - Sat (K)	Equação GERADA
Lee et al. (2006)	R22; R23;	150	8; 10,92	313	HTC TRADICIONAL
Lee et al. (2006); Del Col et al. (2017)	R1270; R22; R23; R290; R600a	80; 100; 120; 135; 150; 200; 300; 400; 600; 800; 1000	0,96; 8; 10,92	313	HTC SUSTENTÁVEL

Fonte: Os Autores, 2023.

Grupo de Pesquisa Texto Livre	Belo Horizonte	v.16	n.2	2023.2	e-ISSN: 2317-0220
-------------------------------	----------------	------	-----	--------	-------------------

Realização:

Apoio:

Produção:





Os parâmetros escolhidos que foram: Velocidade mássica igual a  $150 \text{ kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , Diâmetro igual a  $9 \text{ mm}$ , Temperatura de Saturação igual a  $313 \text{ K}$  e Título de vapor igual a 1 estão dentro do intervalo de dados utilizados para as predições.

#### 4. Análise e Interpretação dos Dados

A Tabela [4.1] apresenta a regressão múltipla realizada no Excel e os coeficientes para cada parâmetro das duas equações geradas.

Tabela [4.1] – Regressões Múltiplas

Parâmetros	Coefficientes HTC Sustentável	Coefficientes HTC Tradicional
Velocidade Mássica	14,0204673298968	0
Diâmetro	-65,3598888900424	-58,8600603920769
Temperatura de Saturação	-2684,13946440039	0
Título	4712,61130490341	2907,63052086146
Coefficiente de Interceção	839651,9463	1707,2420956457

Fonte: Os Autores, 2023.

Já a Tabela [4.2] apresenta os resultados do coeficiente de troca de calor, demonstrando que o coeficiente “sustentável” foram 40,06% maior que o tradicional.

Tabela [4.2] – Coeficientes de Troca de Calor

Equação	Coefficientes de troca de calor
Sustentável	5743,736303
Tradicional	4085,132073
Diferença	<b>40,06% MAIOR</b>

Fonte: Os Autores, 2023.

#### 5. Conclusão

Observa-se que o aquecimento global é um assunto que deve ser amplamente discutido e regido por leis governamentais, uma vez que apresentam impactos generalizados na saúde humana. Além disso, é de suma responsabilidade de cada



setor produtivo rever novas possibilidades de operação, assim como o setor de refrigeração, sendo que no âmbito da troca de calor por condensação, a substituição dos fluidos tradicionais pelos hidrocarbonetos já se mostra viável.

## 6. Referências

DEL COL, D. et al. Experimental results and design procedures for minichannel condensers and evaporators using propylene. **International Journal of Refrigeration**, v. 83, p. 23–38, 2017.

FANKHAUSER, S. Reduction in greenhouse gas emissions from national climate legislation. **Nature Climate Change**, v. 10, n. 8, p. 750–756, 2020.

LEE, H. et al. Condensing heat transfer and pressure drop characteristics of hydrocarbon refrigerants. **International Journal of Heat and Mass Transfer**, v. 49, n. 11, p. 1922–1927, 2006.

MOLINA, M. J.; ROWLAND, F. S. Stratospheric sink for chlorofluoromethanes: chlorine atom-catalysed destruction of ozone. **Nature**, v. 249, p. 810-812, 1974

UCHOA, N. M.; LUSTOSA, R. P.; UCHOA, F. N. M. Relationship Between Climate Change and Human Health. *Intertox Journal of Toxicology*, **Environmental Risk, and Society**, v. 12, n. 1, 2019

WUEBBLES, D. J. The role of refrigerants in climate change. **International Journal of Refrigeration**, v. 17, n. 1, p. 7-17, 1994.



Este é um artigo de acesso aberto distribuído sob os termos da Licença Creative Commons Atribuição Não Comercial-Compartilha Igual (CC BY-NC- 4.0), que permite uso, distribuição e reprodução para fins não comerciais, com a citação dos autores e da fonte original e sob a mesma licença.

Grupo de Pesquisa Texto Livre	Belo Horizonte	v.16	n.2	2023.2	e-ISSN: 2317-0220
-------------------------------	----------------	------	-----	--------	-------------------

Realização:

Apoio:

Produção:

