

SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO COM R744: UM OLHAR PARA O FUTURO DO PLANETA

III SIMPÓSIO DE PESQUISA
DO ECOSISTEMA ÂNIMA

O SABER SE MANIFESTA
NA EXPERIMENTAÇÃO.



Ramon Schmidt Colombo; Ana Caroline Teixeira; Dr. Vinicius da Rosa Pepe

UniRitter – Centro Universitário Ritter dos Reis

Engenharia Mecânica, FAPA. vinicius.pepe@ulife.com.br

Introdução

As mudanças climáticas e a falta de recursos naturais têm sido grandes desafios ao longo dos últimos anos. Segundo os dados do *Climate Analysis Indicators Tool* (CAIT), entre 2002 e 2020 o mundo inteiro vem aumentando suas emissões de gases do efeito estufa, associando com as informações fornecidas pelo *Copernicus*, programa de observação da Terra da União Europeia, o aumento nas emissões na atmosfera está diretamente ligado ao aumento na temperatura. O planeta tem aumentado a sua temperatura desde a era industrial. Por outro lado, as empresas estão cada vez mais conscientizadas sobre a necessidade de preservação do meio ambiente, o setor de Aquecimento, Ventilação, Ar Condicionado e Refrigeração (HVACR) e as indústrias químicas fabricantes de fluidos refrigerantes estão em contínua evolução de seus produtos com o intuito de obter sistemas mais eficientes e que não poluam o meio ambiente (Ojeda, 2021).

Atualmente dois marcadores que balizam o potencial de impacto ambiental dos fluidos refrigerantes, estes são mundialmente reconhecidos, o *Ozone Depleting Potential* (ODP) e o *Global Warming Potential* (GWP) em livre tradução, potencial de destruição do ozônio e potencial para o aquecimento global, respectivamente. Quanto maior os índices expressos por estes marcadores maior o impacto que o fluido causa na atmosfera. Ao longo das últimas quatro décadas, três tratados internacionais buscam contribuir com ações de mitigação dos efeitos maléficos que os fluidos refrigerantes causam na atmosfera. O Protocolo de Montreal, firmado em 1987, visa proteger a camada de ozônio, eliminando a produção e o consumo de substâncias que a destroem, o Protocolo de Kyoto, firmado em 1997, estabelece metas para a redução das emissões de gases de efeito estufa na atmosfera e por fim A emenda de Kigali, firmada em 2016, que faz uma importante junção entre o Protocolo de Montreal com Protocolo de Kyoto, visto que adiciona na lista de substâncias a serem produzidas e aplicadas reduzidas de forma mundial os fluidos refrigerante classificados como clorofluorcarbonetos (CFCs) e hidroclorofluorcarbonetos (HCFCs).

Visto isso, a retomada das aplicações em refrigeração e climatização com aplicações de fluidos refrigerantes naturais como amônia (R717), dióxido de carbono (R744) e propano (R290) vem tomando espaço, tanto pelas as propriedades termodinâmicas superiores e significativa redução de consumo de energia e reduzido impacto ambiental.

Sendo assim, esse estudo buscou avaliar as potencialidades do dióxido de carbono (R744) nas aplicações de refrigeração buscando reunir, através dos esforços científicos em engenharia, os sistemas de refrigeração e de climatização com maior eficiência de operação e com melhor impacto ambiental, que estão na vanguarda das aplicações da cadeia do frio.

Objetivos

O objeto desta pesquisa é realizar uma ampla revisão bibliográfica sobre as boas práticas aplicadas aos sistemas de refrigeração que aplicam fluidos refrigerantes sintéticos e sobre as aplicação de fluidos refrigerantes naturais como NH₃ (R717), CO₂ (R744) e hidrocarbonetos.

Promover pensamento crítico para ações futuras que contribuam com o avanço dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), educação de qualidade (ODS 4), energia limpa e acessível (ODS 7), indústria, inovação e infraestrutura (ODS 9) e ação contra a mudança climática (ODS 13).

Metodologia

Como procedimento metodológico foi utilizada a pesquisa bibliográfica através da revisão sistemática da literatura e artigos científicos nas bases de dados, Portal de Periódicos da CAPES, SCieLO, Scopus e Google Acadêmico, bem como o fichamento e a análise dos resultados obtidos. O critério de seleção das obras foi a busca ativa dos trabalhos publicados em periódicos, utilizando as palavras chaves: Protocolo de Montreal; Tratado de Kyoto; Emenda de Kigali; HVAC; R744; *natural refrigerants*; *carbon dioxide*; *ammonia*; *hydrocarbons*. Além da busca nas bases de dados científicos, a seleção dos principais autores, que estão na vanguarda dos assuntos citados, são os fabricantes dos equipamentos de refrigeração e climatização com a sua bibliografia técnica, sendo assim a busca dos saberes junto dos fabricantes Danfoss, Bitzer e GEA.

Resultados

Após anos deixado de lado, o dióxido de carbono emerge como uma das melhores opções de fluido refrigerante natural, conforme as propostas de desenvolvimento de ciclos termodinâmicos transcíticos propostos por Gustav Lorentzen.

O ciclo de compressão de vapor de refrigeração normalmente opera em condições subcríticas e pressões operacionais inferiores ao ponto crítico, mas acima do ponto triplo. A Figura 1 descreve o ciclo por compressão de vapores em um diagrama de pressão e entalpia.

Os sistemas de refrigeração que aplicam o R744 como fluido refrigerante, são classificadas quanto ao ponto crítico, que é o estado definido onde a substância está nas fases gasosa e líquida, com pressão, temperatura e densidade iguais. Para o dióxido de carbono (R744) este ponto é definido por uma temperatura de 31,1 °C e pressão de 7,38 MPa.

Sistemas que operam abaixo do ponto crítico são chamados de subcríticos e o fluido refrigerante condensa quando ocorre a liberação de calor no condensador. Para manter a pressão e temperatura abaixo do ponto crítico é utilizado o conceito de ciclo de refrigeração binário ou cascata, onde o sistema de baixa pressão opera com o R744 e o sistema de alta pressão com outro fluido refrigerante. Por outro lado, o sistema que opera em um ciclo transcítico, é capaz de operar simultaneamente em regiões subcríticas e supercrítica, com o mesmo fluido, conforme ilustra a Figura 2.

Além das suas características associadas ao baixíssimo impacto ambiental, o R744 também se destaca por possuir ótimas propriedades térmicas, conforme ilustram as Figuras 3 e 4, um elevado calor latente de vaporização quando comparado com os refrigerantes sintéticos, esta propriedade é de 3% a 24% superior para aplicações com temperatura de evaporação de 0°C e -20°C respectivamente. O R744, possui baixíssimo volume específico no estado termodinâmico da sucção, o que resulta em um transporte de massa significativo a cada ciclo, devido a sua elevada massa específica, esta propriedade é superior tanto para os fluidos sintéticos quanto para os fluidos naturais como o R717 e R290.

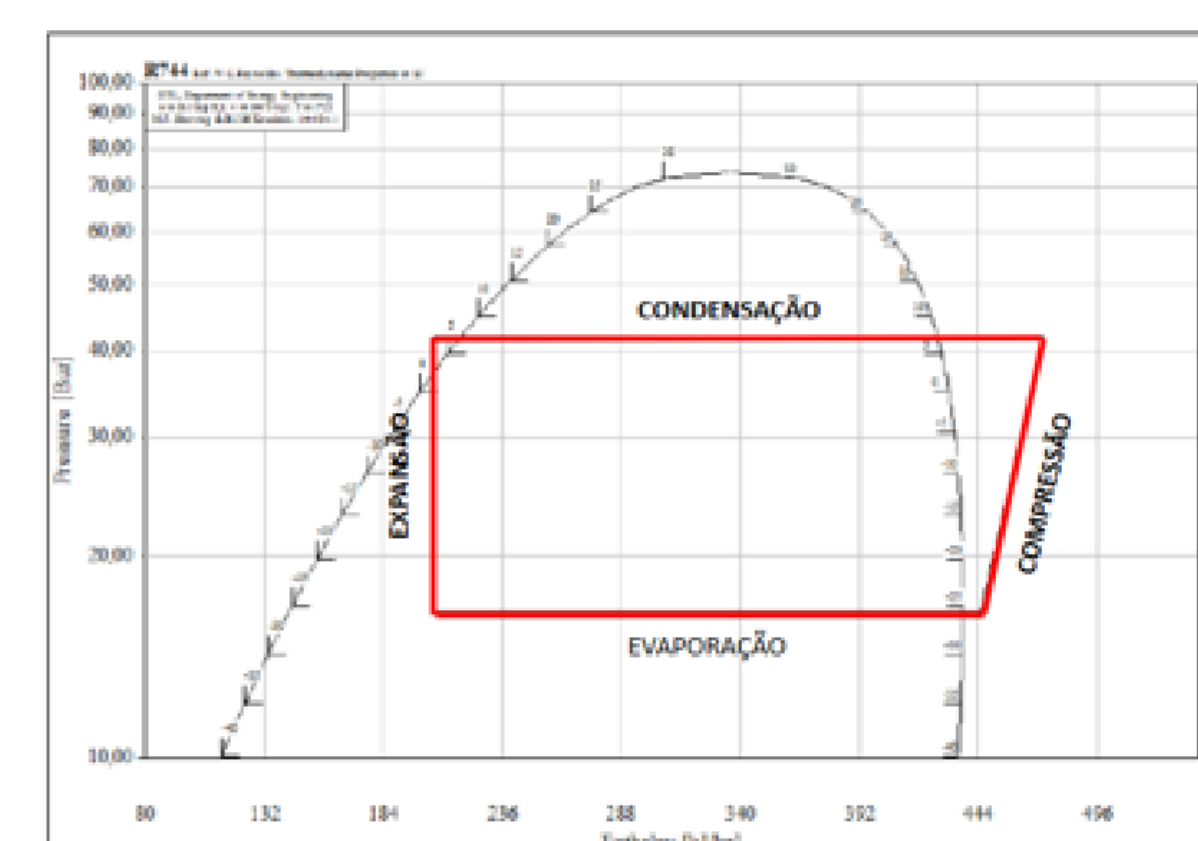


Fig. 1- R744 em sistema subcrítico.

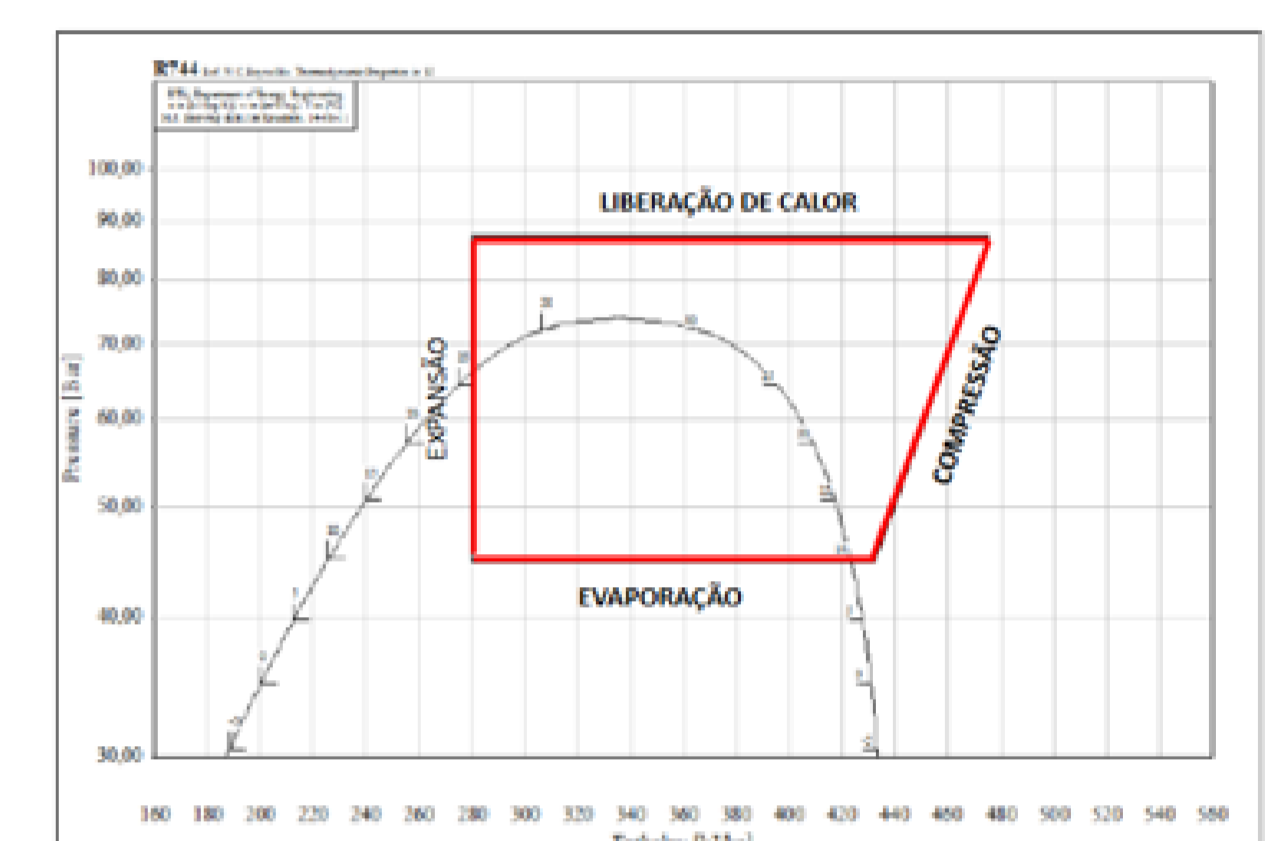


Fig. 2- R744 em sistema transcítico.

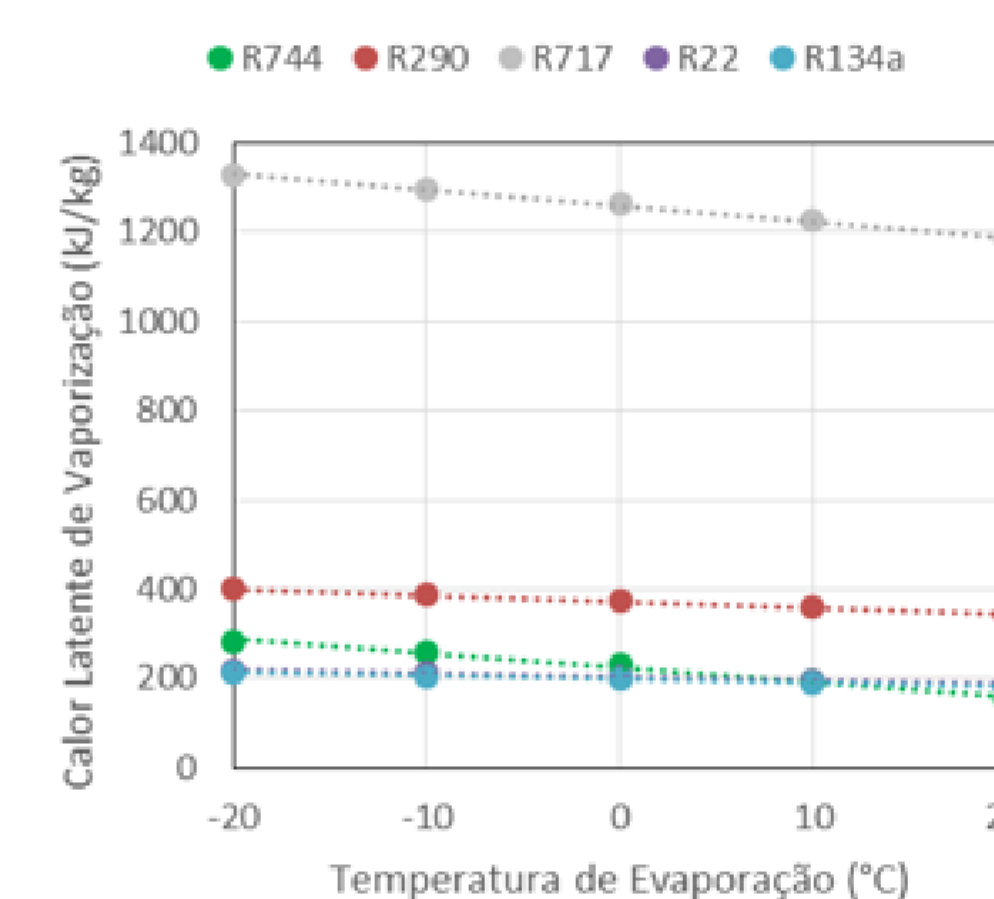


Fig. 3- Comparação do calor latente de vaporização em função da temperatura de evaporação.

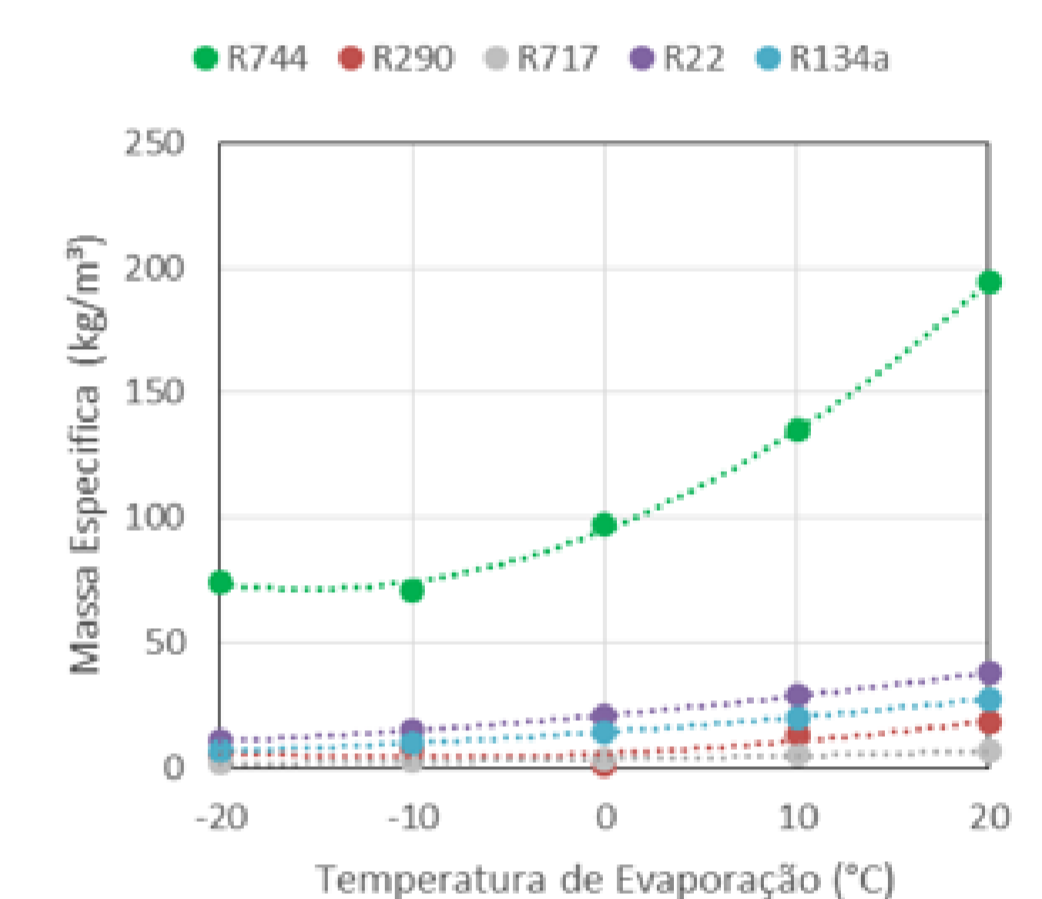


Fig. 4- Comparação da massa específica na sucção do compressor em função da temperatura de evaporação.

Conclusões

A configuração do sistema de refrigeração a eficiência dos componentes como as condições operacionais são importantes fatores relacionados a eficiência energética de uma máquina, como também as propriedades termodinâmicas e de transferência de calor do refrigerante. Avaliar as aplicações de fluidos baseada apenas no baixo GWP, deve ser repensada ao passo que o consumo energético, ao longo do ciclo de vida útil do equipamento e fluido, representa um impacto ambiental maior do que o gerado pelas emissões diretas. Os esforços de engenharia devem estar interligados a equipamentos e sistemas energeticamente mais eficientes, bem como, com a redução total da emissão de gases de efeito estufa, potencializando um futuro mais verde para o nosso planeta.

Bibliografia

- CAVALLINI, A; ZILIO, C. Carbon Dioxide as a Natural Refrigerant; *International Journal of Low-Carbon Technologies*. v. 2, n.3, 1-25. (2007). DOI:10.1093/ijlct/2.3.225
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). Programa brasileiro de eliminação dos HCFCs – PBH: Projetos Demonstrativos de Melhor Contenção de HCFC-22 em Supermercados Tecnologia Alternativa: Sistema Subcrítico com CO₂ Supermercado Angeloni Balneário Camboriú (SC), Ministério do Meio Ambiente – MMA, 80 p. Brasília, 2020.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). Programa brasileiro de eliminação dos HCFCs – PBH: Projeto para o setor de RAC. Utilizando o R-744 como fluido frigorífico em equipamentos de refrigeração. Palestra: Sistemas utilizando R-744 (CO₂) Transcítico, Ministério do Meio Ambiente – MMA, 2019.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). SILVA, A. Programa Brasileiro de eliminação dos HCFCs-PBH: fluidos frigoríficos naturais em sistemas de refrigeração comercial. Ministério do Meio Ambiente – MMA, 200 p. Brasília, 2015.
- UNITED NATIONS, Montreal Protocol on substances that deplete the ozone layer. United Nations (UN), New York, NY, USA, 1987.
- OJEDA, F. W. A. B. Avaliação experimental de fluidos refrigerantes alternativos ao R134a em um ciclo de refrigeração cascata com CO₂. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia. 2021.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao financiamento do Programa Ânima de Iniciação Científica - PROCiência, 2024/1 - projeto 7156. PEPE. V.R. agradece o apoio do *Complex Flow Systems Lab*, financiado pelo ICT, através dos contratos com a FCT (Fundação Portuguesa para a Ciência e Tecnologia), projetos (doi.org /10.54499/UIDP/04683/2020 e doi.org/10.54499/UIDB/04683/2020).