

## UMA REVISÃO DO ESTADO DA ARTE DE REFRIGERAÇÃO TIPO CASCATA COM DIÓXIDO DE CARBONO

Marcus Vinícius Almeida Queiroz, Universidade Federal de Uberlândia, [engmarcusalmeida@hotmail.com](mailto:engmarcusalmeida@hotmail.com)  
Bruno Guilherme Ferreira, Universidade Federal de Uberlândia, [ferreira.brunoguilherme@gmail.com](mailto:ferreira.brunoguilherme@gmail.com)  
Enio Pedone Bandarra Filho, Universidade Federal de Uberlândia, [bandarra@ufu.br](mailto:bandarra@ufu.br)

**Resumo:** Este trabalho apresenta uma revisão do estado da arte de sistemas em cascata subcrítico utilizando o fluido refrigerante R744 como opção para sistemas de expansão convencionais instalados em supermercados, que normalmente operam com refrigerantes halogenados como o R22 e R404A. O aparato experimental consiste de dois ciclos de refrigeração, um ciclo de baixa temperatura, LT, composto por um compressor alternativo de velocidade variável para R744 e uma válvula de expansão eletrônica, EEV, que promove a evaporação direta do CO<sub>2</sub> dentro de uma câmara fria (2,3m x 2,6m x 2,5m) para manter a temperatura interna do ar estável. O ciclo de alta temperatura, HT, é formado por um compressor alternativo para R134a, outra EEV e um condensador arrefecido a ar. Um trocador de calor de placas planas do tipo cascata é ao mesmo tempo, o condensador para o R744 e o evaporador para R134a, completando assim a configuração. Percebe-se uma falta de dados experimentais da literatura no que se refere à refrigeração em cascata. A vasta maioria dos trabalhos avaliados bem como encontrados na literatura é de base teórica / computacional, o que agrega valor à pesquisa experimental acerca de tal tema.

**Palavras-chave:** refrigeração cascata, R744, HFC, HC.

### 1. INTRODUÇÃO

A situação climática global incita ao aumento do uso dos antigos refrigerantes, amônia e hidrocarbonetos. Embora ambos sejam ambientalmente benignos, podem apresentar certo grau de periculosidade devido à sua toxicidade e / ou inflamabilidade. Lorentzen (1994) propôs a utilização de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), um refrigerante utilizado originalmente na refrigeração industrial e marítima, alternativamente como refrigerante em ciclos de refrigeração principalmente devido à sua não inflamabilidade e devido às restrições do Protocolo de Montreal.

O universo da refrigeração busca reduzir o impacto ambientalmente. Os refrigerantes, que obviamente desempenham um papel importante na refrigeração, foram transformados ao longo da história para passar as diferentes regulamentações ambientais estabelecidas. Hoje em dia a contribuição dos refrigerantes para o efeito estufa é amplamente conhecida. Esta contribuição é medida em termos do índice GWP (Global Warming Potential). A avaliação quantitativa relacionada ao efeito estufa é dada por GWP100a definida pela massa de CO<sub>2</sub> que produziria o mesmo impacto por 100 anos no aquecimento global como a liberação para a atmosfera de uma única unidade (kg) do componente dado.

Tal busca, leva os olhares da pesquisa em torno de melhores alternativas sustentáveis, porém que não levem a um prejuízo energético das soluções tidas como tradicionais, as quais utilizam fluidos conhecidamente prejudiciais ao meio ambiente, como por exemplo, o R22 ou R404A.

Este trabalho tem como objetivo buscar o atual estado da arte, no que tange uma das alternativas sustentáveis da refrigeração comercial, que é a utilização do fluido dióxido de carbono como solução. O R744 tem um grande potencial para aplicações em supermercados, apesar de ser um fluido com altas pressões de trabalho. Este tem uma alta pressão crítica (7,38 MPa) e uma baixa temperatura crítica (30,97 °C), o que leva a solução de refrigeração em cascata, tornar-se uma boa alternativa. Alta pressão de operação é seguida por uma alta densidade de vapor e, portanto, uma alta capacidade de refrigeração volumétrica. A capacidade volumétrica de refrigeração do CO<sub>2</sub> é de 22,545 kJ.m<sup>-3</sup> a 0 °C, 3 a 10 vezes maior do que os refrigerantes CFC, HCFC, HFC e HC (Kim et al., 2004).

Sendo assim, o presente trabalho, buscará o que está sendo feito com relação à refrigeração em cascata utilizando o dióxido de carbono, como fluido de trabalho de baixa temperatura (LT), e comparar-se-á a pesquisa desenvolvida no Laboratório de Energia, Sistemas Térmicos e Nanotecnologia – LESTnano.

### 2. ESTADO DA ARTE

Lee et al. (2006) analisaram o sistema em cascata R744-R717 utilizando um modelo termodinâmico para determinar a temperatura de condensação R744 ótima no permutador de calor em cascata numa gama de condições de funcionamento. Foi dito que as regulamentações ambientais são melhor atendidas usando refrigerantes naturais em circuito de alta e baixa temperatura. Messineo (2011) usa o mesmo par de fluidos, comparando o desempenho deste

sistema de refrigeração em cascata em baixas temperaturas de evaporação ( $-30\text{ }^{\circ}\text{C} \div 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) até uma injeção parcial em dois estágios usando R404A. Os resultados mostraram que, para questões de energia, meio ambiente e segurança, o sistema em cascata é uma boa alternativa ao sistema utilizando fluido sintético R404A.

Sachdeva et al. (2014) em trabalhos numéricos mostram que para um sistema de cascata de refrigeração, trabalhando com R744 no circuito de baixa temperatura, e outros fluidos no circuito de alta temperatura que melhor funciona mostrando valores maiores de COP é R717. O R404A, por outro lado, tem o pior COP entre o fluido analisado (R717, R404A, R290, R1270 e R12).

Vissek et al. (2016) avaliaram o desempenho de uma máquina dispensadora de bebidas R134a de linha de base medindo experimentalmente o tempo inicial de arranque e o consumo de energia durante a operação de ciclagem do compressor, do que a conversão para refrigerante R744 num ciclo transcrito. Foi dada especial atenção à otimização do tamanho do tubo capilar, da quantidade de carga de refrigerante e do design do resfriador de gás, onde se esperava o maior impacto no desempenho a diferentes temperaturas ambiente. O sistema R744 otimizado usou 385g de carga e puxou para baixo em aproximadamente metade do tempo e serviram pelo menos 25% mais bebidas enquanto mantendo o consumo de energia comparável com seu sistema R134a original. O aumento ligeiro no custo do refrigerador de gás foi bem superado pelos benefícios de maior capacidade de ruptura e tempo de puxada significativamente mais curto permitindo: o dispenser de bebidas redesenhado pode ser mantido fora mais tempo e precisa ser ligado pouco antes do tempo de serviço.

Sharma et al. (2014) apresentou uma análise de vários sistemas de refrigeração de  $\text{CO}_2$  transcrito e cascata / loop secundário que estão se tornando populares em aplicações de supermercado com o objetivo de otimizar os parâmetros operacionais e comparar o desempenho de sistemas de refrigeração baseados em  $\text{CO}_2$  à linha de base R404A multiplex expansão direta para oito zonas climáticas dos Estados Unidos. Verificou-se que o sistema de reforço transcrito com compressor de bypass tinha o menor consumo de energia para baixas temperaturas ambiente e nas temperaturas mais elevadas R404A direciona sistema de expansão foi encontrado para ter o menor consumo de energia.

Dokandari et al. (2014) avaliaram termodinamicamente o impacto da utilização do ejetor sobre o desempenho do ciclo em cascata que utiliza  $\text{CO}_2$  e  $\text{NH}_3$  como refrigerantes. Teoricamente, verificou-se que a COP máxima e a eficiência máxima da segunda lei são, em média, 7 e 5% mais elevadas do que o ciclo convencional, mostrando que o novo ciclo de cascata de ejetor-expansão é um ciclo de refrigeração promissor do ponto de vista termodinâmico e prático.

Sarbu (2014) apresentou uma revisão sobre o desenvolvimento recente de possíveis substitutos de refrigerantes não ecológicos de equipamentos HVAC & R com base em propriedades termodinâmicas, físicas e ambientais e na análise TEWI (Total Equivalent Warming Impact). Ele disse que a utilização de refrigerantes inorgânicos ( $\text{NH}_3$ ,  $\text{CO}_2$ ) e refrigerantes de hidrocarbonetos (propano, isobuteno, etileno, propileno) é a solução possível para aplicações industriais e refrigeração doméstica para uso em ar-condicionado ou armazenamento de alimentos. Como o refrigerante de hidrocarbonetos representa um risco elevado de inflamabilidade e explosão, estas substâncias não serão frequentemente utilizadas como refrigerantes em comparação com  $\text{CO}_2$  ou  $\text{NH}_3$ . Outra vantagem dessas duas substâncias reside no fato de que elas foram usadas por muito tempo como refrigerantes.

No entanto, Mumanachit et al. (2012) salientam que a toxicidade do amoníaco para os seres humanos e o seu potencial para contaminar os produtos após a libertação têm desafiado os profissionais a considerarem outras alternativas de refrigerante que podem proporcionar valor ao superar estas desvantagens enquanto mantêm ou melhoram o desempenho global de um sistema de refrigeração. Outra desvantagem da amônia está relacionada ao seu uso em sistemas que requerem temperaturas de operação muito baixas.

Sawalha e Chen (2010) consideraram diferentes soluções de sistemas de refrigeração:  $\text{CO}_2$  transcrito (paralelo e reforço), cascata de  $\text{CO}_2$  /  $\text{NH}_3$ , cascata de  $\text{CO}_2$  / R404A e R404A convencional e vários esquemas de recuperação de calor, como recuperação direta de calor ou recuperação de calor através de Bombas de calor. Eles delinearam as potencialidades do sistema transcrito de  $\text{CO}_2$  com recuperação de calor do superaquecedor que avalia COP com demandas moderadas de aquecimento em um supermercado de tamanho médio na Suécia, com layout relativamente simples e potencialmente economicamente competitivo.

Cecchinato et al. (2012) investigaram o desempenho de diferentes layouts e soluções tecnológicas onde apenas refrigerantes naturais ( $\text{NH}_3$ ,  $\text{CO}_2$  e R290) são utilizados e para encontrar o potencial para melhorar a eficiência energética em relação aos sistemas tradicionais (HFCs) em diferentes climas comparados com um estado com base em HFCs. Concluiu-se que algumas soluções em cascata que trabalham com R744 / R717 e R744 / R290, oferecem um benefício significativo em termos de eficiência energética relativamente à solução tradicional de referência; A economia de energia calculada para a melhor opção atinge 15,1, 18,7 e 17,1% em Treviso, Estocolmo e Cingapura, respectivamente.

Em um estudo experimental, Da Silva et al. (2012) testaram um sistema em cascata, comparando os sistemas R22 e R404A de estágio único com um sistema em cascata de  $\text{CO}_2$  / R404A para a mesma capacidade de refrigeração durante um período de um ano. Eles descobriram que o sistema em cascata era 18,5% mais caro, usado apenas 47 kg refrigerante em comparação com 115 kg para R22 e 125 kg para o sistema R404A, e 13 - 24% mais eficiente do que os sistemas de expansão direta. O impacto da fuga da carga de refrigerante para a atmosfera, promovendo o efeito estufa foi consideravelmente menor do que os dois sistemas de expansão direta.

Recentemente, Hafner e Hemmingsen (2015) estimaram uma demanda de energia entre 77 - 97% relacionada a uma unidade R744 com um circuito de resfriamento mecânico dedicado R290 ao lado de um sistema de expansão direta

R404A. A avaliação foi realizada tendo em conta as condições meteorológicas em várias cidades do mundo e mostra que R744 com 290 tiveram os melhores COPs a baixa temperatura ambiente, enquanto R404A tem a tendência oposta.

Em um trabalho recente, teoricamente Gullo et al. (2016) apresenta uma comparação entre diferentes sistemas de refrigeração comercial em termos de impacto ambiental e consumo anual de energia. Foram estudadas oito configurações, incluindo o sistema de refrigeração em cascata R744 / R134a, que era a linha de base. Eles concluíram que todas as configurações melhoradas podem conseguir uma economia de energia comparável à da linha de base nos locais selecionados. Além disso, permitem reduzir a TEWI em pelo menos 9,6% ao lado da solução em cascata.

Chesi et al. (2014) analisaram experimentalmente se modificações de ciclos para aplicações R744, permitem alcançar melhor desempenho de ciclos de CO<sub>2</sub> como inferido pela literatura. O ciclo de compressão paralelo na configuração do tanque flash parece ser uma solução interessante e os autores realizaram uma campanha experimental para estimar os parâmetros críticos que influenciam seu desempenho em um ciclo real. As condições limite para uma operacionalidade ótima foram definidas por um modelo termodinâmico. Os experimentos mostraram que as melhorias teoricamente alcançáveis em termos de capacidade frigorífica e coeficiente de desempenho são ameaçados por vários fenômenos que podem ocorrer em um sistema real, como a eficiência do separador, as perdas de pressão ao longo das linhas do sistema e o superaquecimento térmico.

Dopazo e Seara (2011) fizeram um protótipo de um sistema de refrigeração em cascata usando NH<sub>3</sub> e CO<sub>2</sub> como refrigerantes. O protótipo é usado para fornecer um congelador de placa horizontal de capacidade de refrigeração de 9 kW a uma temperatura de evaporação de -50 °C como condições de projeto. Além disso, foi realizada uma análise da influência das temperaturas de evaporação e condensação de CO<sub>2</sub> no COP do sistema global e os resultados experimentais mostraram uma temperatura de condensação de CO<sub>2</sub> ótima em cada um dos valores de temperatura de evaporação de CO<sub>2</sub> considerados. O COP do sistema de refrigeração em cascata medido experimentalmente foi comparado com o COP obtido a partir de dois estágios duplos comuns, com tanque de expansão, sistemas de refrigeração NH<sub>3</sub>. A partir da análise dos resultados obtidos a partir dos COP globais dos sistemas de refrigeração comparados, a uma temperatura de evaporação de -40 °C ou inferior, parece que a opção do sistema em cascata com valores de COP de até 19,5% vantajoso.

### 3. APARATO EXPERIMENTAL

O estudo experimental desenvolvido avalia o desempenho térmico do sistema em operação subcrítica utilizando o par R744 / R134a, originalmente instalado no aparato e analisa o comportamento do ciclo em cascata substituindo o refrigerante R134a por R404A, R438A, R290 entre outros fluidos através de operações conhecidas no universo da refrigeração como drop-in e retrofit. O impacto ambiental é avaliado com base no índice TEWI.

O aparelho experimental consiste em um compressor alternativo de velocidade variável para R744 e uma válvula de expansão eletrônica (EEV) que promove a evaporação direta do CO<sub>2</sub> dentro de uma câmara fria (2,3m x 2,6m x 2,5m) para manter estável a temperatura interna do ar. Assim, o R744 deixa o compressor em estado de vapor superaquecido, é condensado e depois armazenado num tanque de líquido. Ao deixar o tanque de líquido em direção à válvula de expansão eletrônica, ele passa através de um medidor de fluxo Coriolis e expande-se na unidade do evaporador. Finalmente, o CO<sub>2</sub> é devolvido à sucção do compressor.

O ciclo HT consiste em um compressor alternativo para R134a, R404A e R438A, um condensador refrigerado a ar, um medidor de fluxo Coriolis e uma válvula de expansão eletrônica (EEV). Um trocador de calor cascata de placas planas é ao mesmo tempo, o condensador para ciclo de baixa temperatura (LT) e o evaporador do ciclo de alta temperatura (HT). A Figura (1) mostra o aparato experimental instalado, enquanto a Fig. (2) ilustra a câmara fria onde são simuladas cargas térmicas para teste, através de uma resistência elétrica observada na parte de baixo da figura.

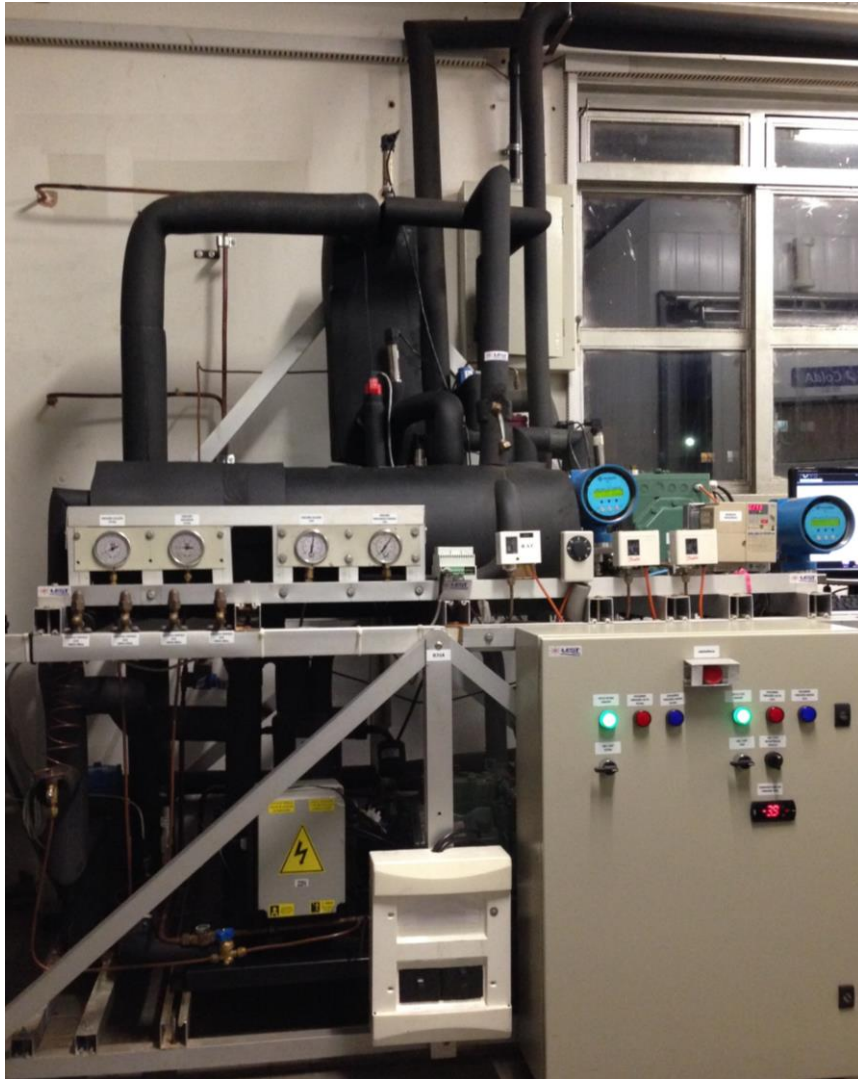


Figura 1: Fotografia da bancada experimental.



Figura 2: Fotografia da câmara fria, na parte de baixo desta a resistência elétrica utilizada para simular carga térmica.

#### 4. ANÁLISE

A Tabela (1) apresenta uma comparação de todos os trabalhos aqui avaliados, bem como alguns dados que fomentam a importância da pesquisa experimental realizada.

Tabela 1: Comparação do Estado da Arte de refrigeração, utilizando R744 em cascata.

| Autores           | Trabalho                                                                                                                                             | Ano  | Experimental / Teórico | Refrigerantes Utilizados                                   | Subcrítico / Transcrítico |
|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------------------------|------------------------------------------------------------|---------------------------|
| Presente Trabalho | Presente Trabalho                                                                                                                                    | 2016 | Experimental           | R744 / R134a<br>R744 / R404A<br>R744 / R438A               | Subcrítico                |
| Vissek et al.     | Conversion of cold beverage dispenser's refrigeration system to R744 refrigerant                                                                     | 2016 | Experimental           | R744 / R134a                                               | Transcrítico              |
| Gullo et al.      | Energy and environmental performance assessment of R744 booster supermarket refrigeration systems operating in warm climates                         | 2016 | Teórico                | R744 / R134a<br>R744                                       | Subcrítico                |
| Hafner et al.     | R744 refrigeration technologies for supermarkets in warm climates                                                                                    | 2015 | Teórico                | R744 / R290<br>R404A                                       | Subcrítico                |
| Sachdeva et al.   | Performance Study of Cascade Refrigeration System Using Alternative Refrigerants                                                                     | 2014 | Teórico                | R744 / R717<br>R744 / R404A<br>R744 / R290<br>R744 / R1270 | Subcrítico                |
| Sharma et al.     | Comparative analysis of various CO2 configurations in supermarket refrigeration systems                                                              | 2014 | Teórico                | R744 / R404A<br>- Glicol                                   | Transcrítico              |
| Dokandari et al.  | Thermodynamic investigation and optimization of novel ejector-expansion CO2/NH3 cascade refrigeration cycles (novel CO2/NH3 cycle)                   | 2014 | Teórico                | R744 / R717                                                | Subcrítico                |
| Ioan Sarbu        | A review on substitution strategy of non-ecological refrigerants from vapour compression-based refrigeration, air-conditioning and heat pump systems | 2014 | Teórico                | R744<br>R717<br>HC                                         | -                         |
| Chesi et al.      | Experimental analysis of R744 parallel compression cycle                                                                                             | 2014 | Experimental           | R744                                                       | Transcrítico              |
| Antonio Messineo  | R744-R717 Cascade Refrigeration System: Performance Evaluation compared with a HFC Two-Stage System                                                  | 2012 | Teórico                | R744 / R717<br>R717                                        | Subcrítico                |
| Mumanachit et al. | Comparative analysis of low temperature industrial refrigeration systems                                                                             | 2012 | Teórico                | R717<br>R744 / R717                                        | Subcrítico                |
| Cecchinato et al. | Energy performance of supermarket refrigeration and air conditioning integrated systems working with natural refrigerants                            | 2012 | Teórico                | R744<br>R717<br>R290<br>HFC                                | Subcrítico                |
| Da Silva et al.   | Comparison of a R744 cascade refrigeration system with R404A and R22 conventional systems for supermarkets                                           | 2012 | Experimental           | R744 / R134a<br>R404A<br>R22                               | Subcrítico                |
| Dopazo et al.     | Experimental evaluation of a cascade refrigeration system prototype with CO2 and NH3 for freezing process applications                               | 2011 | Experimental           | R744 / R717                                                | Subcrítico                |
| Sawalha et al.    | Heat Recovery in Different Refrigeration System Solutions in Supermarkets                                                                            | 2010 | Teórico                | R744<br>R717<br>R404A                                      | Subcrítico / Transcrítico |
| Kim et al.        | Fundamental process and system design issues in CO2 vapor compression systems                                                                        | 2004 | Teórico                | R744                                                       | Subcrítico / Transcrítico |
| Lee et al.        | Thermodynamic analysis of optimal condensing temperature of cascade-condenser in CO2/NH3 cascade refrigeration systems                               | 2006 | Teórico                | R744 / R717                                                | Subcrítico                |

## 5. CONCLUSÕES

Este trabalho apresenta uma revisão do estado da arte de sistemas em cascata subcrítico utilizando o fluido refrigerante R744 como opção para sistemas de expansão convencionais instalados em supermercados. Percebe-se uma falta de dados experimentais da literatura no que se refere à refrigeração em cascata. Tais dados fornecem opções concretas para as devidas trocas a serem realizadas no universo da refrigeração, visto à tendência ambiental rigorosa que as normativas globais e brasileiras seguem.

Torna-se um tanto complexo dizer que se devem substituir fluidos “condenados” como o R22, sem fornecer alternativas viáveis de troca. A vasta maioria dos trabalhos aqui apresentados bem como os encontrados na literatura é de base teórica / computacional, o que agrega valor à pesquisa experimental acerca de tal tema. Em trabalhos futuros, os resultados experimentais de tal trabalho serão publicados, para enriquecimento de tal literatura.

## 6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos órgãos de apoio à pesquisa, CAPES, CNPQ e FAPEMIG, bem como a Pós-graduação da Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia.

## 7. REFERÊNCIAS

- AIRAH, The Australian Institute of Refrigeration, Air Conditioning and Heating, 2012. “Methods of calculating total equivalent warming impact (TEWI) 2012”.  
<[http://www.airah.org.au/imis15\\_prod/Content\\_Files/BestPracticeGuides/Best\\_Practice\\_Tewi\\_June2012.pdf](http://www.airah.org.au/imis15_prod/Content_Files/BestPracticeGuides/Best_Practice_Tewi_June2012.pdf)>
- Allgood, C.C., Lawson, C.C. “Performance of R-438A in R-22 refrigeration and air conditioning systems”, International Refrigeration and Air Conditioning Conference at Purdue, USA, 2010
- Cecchinato, L., Corradi, M., Minetto, S. “Energy performance of supermarket refrigeration and air conditioning integrated systems working with natural refrigerants”. *Applied Thermal Engineering*, Vol. 48, 2012, pp. 378-391.
- Chesi, A., Esposito, F., Ferrara, G., Ferrari, L. “Experimental analysis of R744 parallel compression cycle”, *Applied Energy*, Vol. 135, 2014, pp. 274–285.
- Da Silva, A., Bandarra Filho, E.P., Pontes Antunes, A.H. “Comparison of a R744 cascade refrigeration system with R404A and R22 conventional systems for supermarkets”. *Applied Thermal Engineering*, Vol. 41, 2012, pp. 30-35.
- Dokandari, D. A., Hagh, A. S., Mahmoudi, S.M.S. “Thermodynamic investigation and optimization of novel ejector-expansion CO<sub>2</sub>/NH<sub>3</sub> cascade refrigeration cycles (novel CO<sub>2</sub>/NH<sub>3</sub> cycle)”. *International journal of refrigeration*, Vol. 46, 2014, pp.26-36.
- Dopazo, J. A., Fernandez-Seara, J. “Experimental evaluation of a cascade refrigeration system prototype with CO<sub>2</sub> and NH<sub>3</sub> for freezing process applications”, *International Journal of Refrigeration*, Vol. 34, 2011, pp. 257-267.
- Gullo, P., Elmegaard, B., Cortella, G. “Energy and environmental performance assessment of R744 booster supermarket refrigeration systems operating in warm climates”. *International Journal of Refrigeration*, Vol. 64, 2016, pp. 61-79.
- Hafner, A., Hemmingsen, A.K. “R744 refrigeration technologies for supermarkets in warm climates”. Proceedings of the 24th IIR International Congress of Refrigeration, Yokohama, Japan, 2015.
- ICF Consulting. Revised Draft Analysis of U.S. Commercial Supermarket Refrigeration Systems, 2005.
- Kim, M.H., Pettersen, J., Bullard, C.W. “Fundamental process and system design issues in CO<sub>2</sub> vapor compression systems.” *Prog. Energy Combust. Sci.*, Vol. 30, 2004, pp. 119-174.
- Lee, T.S., Liu, C.H., Chen, T.W. “Thermodynamic analysis of optimal condensing temperature of cascade-condenser in CO<sub>2</sub>/NH<sub>3</sub> cascade refrigeration systems.” *International Journal of Refrigeration*, Vol. 29, 2006, pp. 1100-1108.
- Lorentzen, G. “Revival of carbon dioxide as a refrigerant”. *International Journal of Refrigeration*. V. 17, 1994, pp. 292-301.
- Messineo, A. “R744-R717 Cascade Refrigeration System: Performance Evaluation compared with a HFC Two-Stage System”. *Energy Procedia*, Vol. 14, 2012, pp 56-65.
- Mumanachit, P., Reindl, D.T., Nellis, G.F. “Comparative analysis of low temperature industrial refrigeration systems”, *International Journal of Refrigeration*, Vol. 35, 2012, pp.1208-1221.
- Sachdeva, G., Jain, V., Kachhwaha, S., “Performance Study of Cascade Refrigeration System Using Alternative Refrigerants”, A World Academy of Science, Engineering and Technology, *International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial and Mechatronics Engineering*, Vol.8, 2014, No:3.
- Sarbu, I. “A review on substitution strategy of non-ecological refrigerants from vapour compression-based refrigeration, air-conditioning and heat pump systems”, *International Journal of Refrigeration*, Vol. 46, 2014, pp. 123 -141.
- Sawalha, S., Chen, Y. “Heat Recovery in Different Refrigeration System Solutions in Supermarkets”. Effsys2 Project Final Report, 2010.
- Sharma, V., Fricke, B., Bansal, P. “Comparative analysis of various CO<sub>2</sub> configurations in supermarket refrigeration systems”. *International Journal of Refrigeration*, Vol. 46, 2014, pp. 86 – 99.
- Visek, M., Elbel, S., Hrnjak, P. “Conversion of cold beverage dispenser’s refrigeration system to R744 refrigerant”, International Refrigeration and Air Conditioning Conference at Purdue, 2556, USA, 2016.

## **8. DIREITOS AUTORAIS**

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.