

1 Introdução

O presente trabalho propõe e simula uma bancada de testes de um sistema de refrigeração por compressão a vapor com água, atuando como fluido térmico no condensador e evaporador. O esquema proposto apresenta características pouco exploradas na literatura, diferindo, assim, dos sistemas de refrigeração experimentais convencionais. Com a simulação pretendeu-se conhecer os limites operacionais da bancada de testes proposta. O modelo demonstrará ter a bancada proposta, estabilidade operacional e ser capaz de capturar as correlações entre as diferentes variáveis do sistema, garantindo, com a configuração projetada precisão, estabilidade e reprodutibilidade dos experimentos.

1.1. Justificativa

Atividades antrópicas, principalmente nos setores industrial e agrícola, têm colaborado para o aumento da concentração de dióxido de carbono (CO_2) e outros gases com efeito estufa na atmosfera, destacando-se, a queima de combustíveis fósseis. O CO_2 , junto com os gases metano (CH_4) e o óxido nitroso (N_2O), é o principal gás responsável pelo acréscimo na temperatura média da superfície global, que foi em torno de $0,6^\circ\text{C}$ nos últimos 100 anos (Houghton Y J.T. et al., 2001).

Segundo o IPCC (2007), a temperatura da superfície terrestre, entre 1956 e 2005, tem aumentado a uma taxa média linear de $0,13^\circ\text{C}$ por decênio, o que representa quase duas vezes o incremento experimentado no século entre 1906 e 2005, que foi de $0,6^\circ\text{C}$ (Figura 1a).

Também, de acordo com o IPCC (2007), estes valores vão ao encontro de um aumento do nível do mar de $1,8\text{ mm/ano}$, entre 1961 e 2003, e de $3,1\text{ mm/ano}$, entre 1993 e 2003, sendo que a dilatação térmica aportou aproximadamente com 57% do total (Figura 1b).

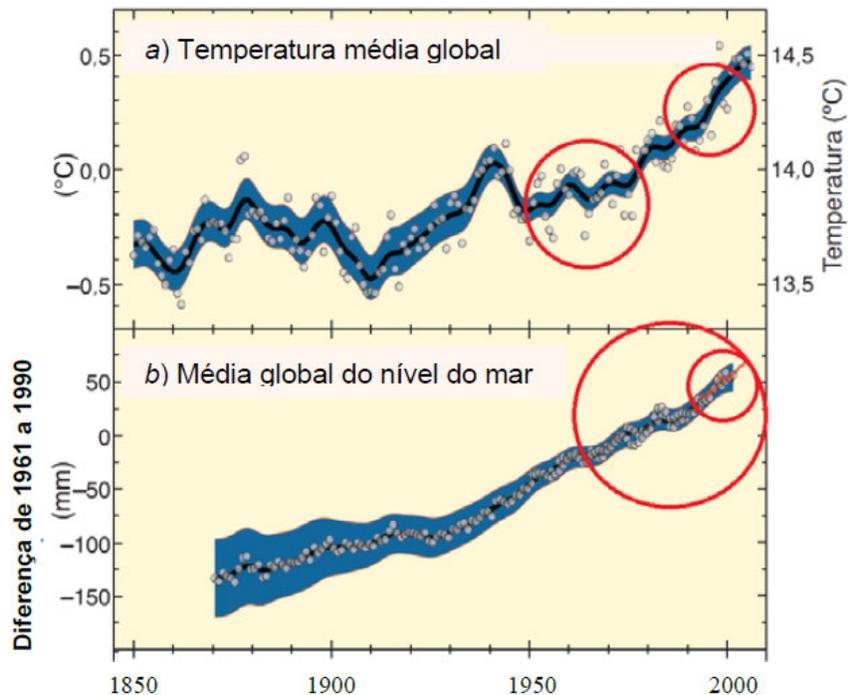


Figura 1. Mudanças observadas: a) na temperatura média global da superfície terrestre; b) na média global da elevação do nível do mar, a partir de dados de marégrafo (azul) e satélite (vermelho). Fonte: IPCC (2007).

As mudanças físicas presentes no sistema climático são resultados das alterações nas concentrações de gases componentes da atmosfera, com tempos de permanência grandes, e que têm nas atividades antrópicas as principais responsáveis pela variação nos seus valores de forçamento radiativo. São quatro os gases de efeito estufa (GHG), com longa permanência, gerados pelas atividades humanas: dióxido de carbono CO_2 , metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O) e os halocarbonos.

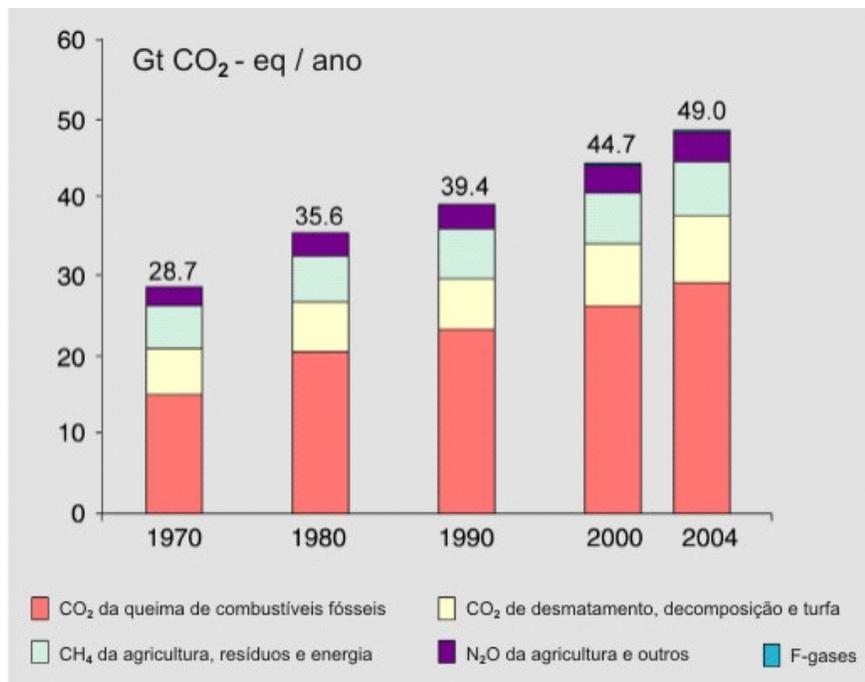


Figura 2. Emissões mundiais anuais de GHG antrópicas entre 1970 e 2004. Fonte: IPCC (2007).

O CO₂ é o principal agente antrópico dos GHG. Suas emissões anuais, entre 1970 e 2004, aumentaram em aproximadamente 80 %, passando de 21 a 38 Gt de CO₂-eq/ano. Em 2004 as emissões de gases de efeito estufa representavam 77 % das emissões totais de GHG (Figura 2). Nesses anos, os aumentos das emissões de GHG foram provenientes dos setores da geração de energia, transporte e indústria, como apresentado na Figura 3 (IPCC, 2007).

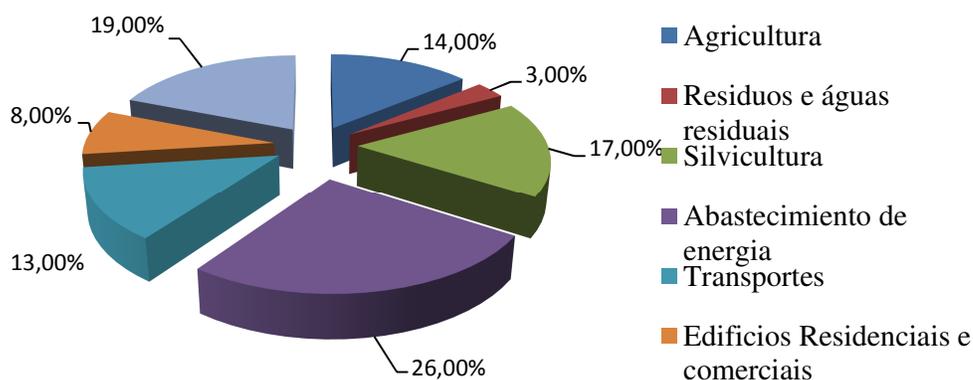


Figura 3. Contribuição percentual de diferentes setores nas emissões antrópicas de GHG em termos de CO₂eq. Fonte: IPCC (2007).

A participação da queima de combustíveis fósseis (carvão e óleo diesel), na matriz energética mundial, apresentou um acréscimo em termos absolutos nos últimos anos. Em 2010, o emprego destes combustíveis permitiu uma produção mundial de eletricidade de 9.687 TWh em comparação aos 3437 TWh provenientes das hidrelétricas (Figura 4) OECD (2013). Entretanto, no Brasil, no ano 2010, as centrais hidrelétricas foram responsáveis pelos 76,9% da eletricidade gerada (Figura 5) (EPE, 2013).

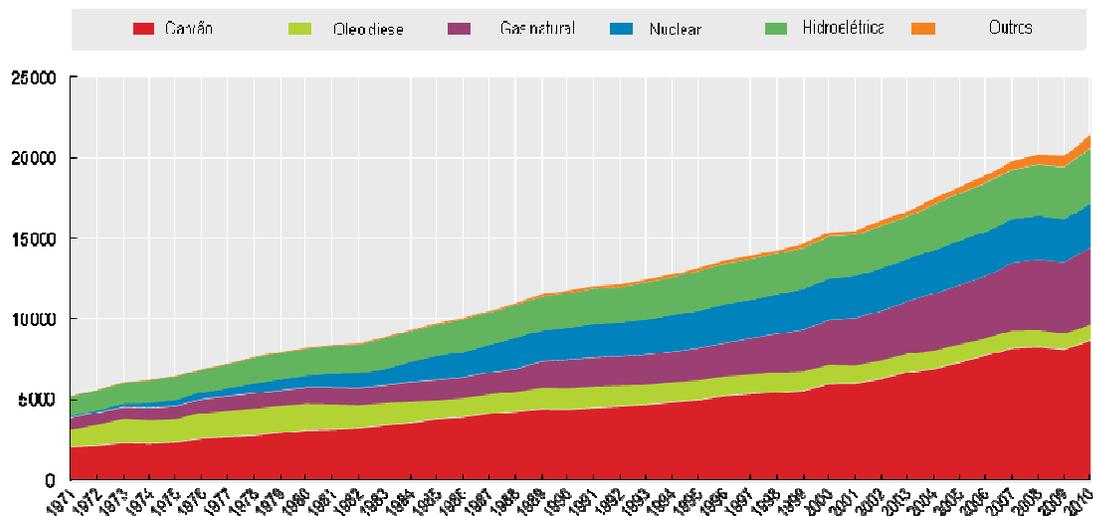


Figura 4. Geração de energia elétrica no mundo em TWh. Fonte: OECD (2013).

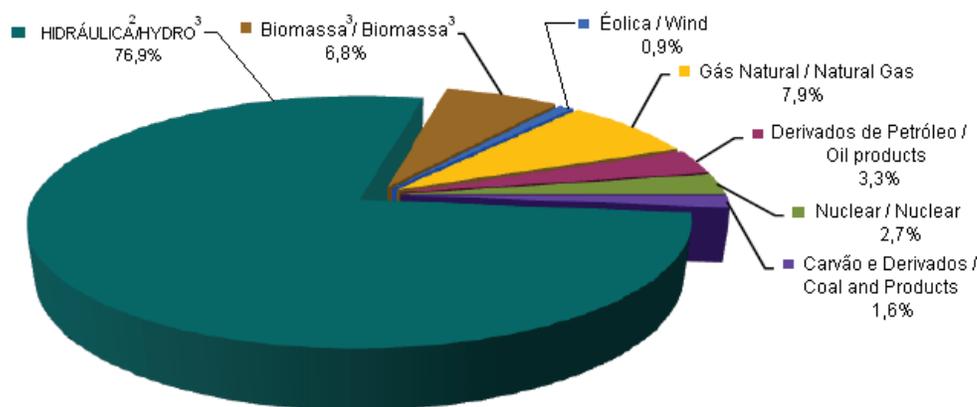


Figura 5. Distribuição da oferta interna de energia elétrica por fonte no ano de 2012. Fonte: EPE (2013).

Atualmente, a produção de eletricidade requer, em grande parte, a transformação de fontes primárias, como a queima direta de combustíveis fósseis, com a inevitável geração de CO₂ antrópico, responsável pelas mudanças climáticas acentuadas desde a era pré-industrial. Os outros gases de efeito estufa, como os halocarbonos, também têm participado nas mudanças observadas no sistema climático.

Existe uma evidente relação entre mudanças climáticas, fenômenos socioeconômicos e o uso das fontes energéticas como, por exemplo, eletricidade e calor. Nessas condições, políticas e regulamentos vêm sendo estabelecidos para promover o uso de alternativas, frente aos fenômenos do aquecimento global e da redução da camada de ozônio.

No cenário energético brasileiro, o setor residencial responde por 24% do consumo total de energia elétrica no País. Nesse setor, tem-se uma participação média de 32% do consumo total atribuído à refrigeração, conforme Figura 6, (CELPE, 2010).

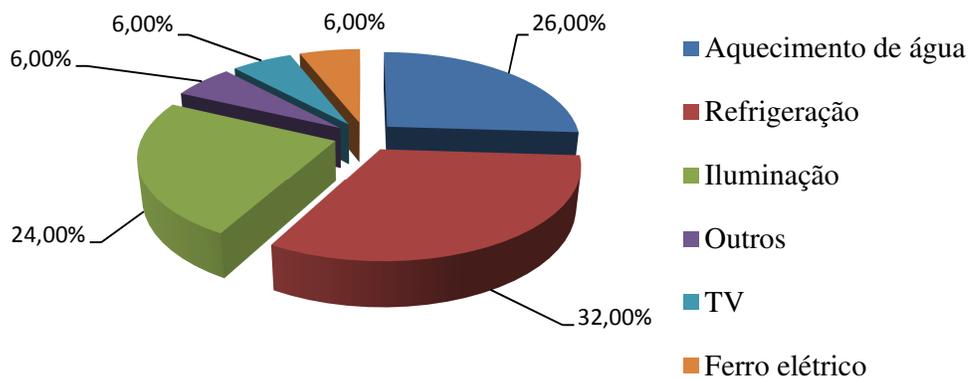


Figura 6. Distribuição percentual do consumo brasileiro de energia elétrica residencial no ano 2010. Fonte: CELPE (2010).

Nos últimos vinte anos a indústria de refrigeração e de condicionamento de ar, somente na área de fluidos refrigerantes, tem sido atingida por grande número de desafios tecnológicos, tais como: detecção de vazamentos, contenção de refrigerantes e sua recuperação, reciclagem e substituição (Celpe, 2010).

Manter ou tentar diminuir o consumo de energia tem sido uma das principais preocupações na conjuntura atual no mundo. Por isso, torna-se importante o conceito do aumento da eficiência energética, o que significa

otimizar o uso da energia e regular seu consumo, diminuindo os custos, sem deixar de lado os benefícios que este propicia.

Atualmente, no mundo vários são os esforços, tanto na pesquisa, quanto no investimento em novas tecnologias, com o objetivo da racionalização do consumo de energia. A falta de chuvas nas principais bacias hidrográficas do Brasil, com a consequente queda dos níveis dos reservatórios das hidrelétricas para valores críticos, fez com que os custos de operação do sistema elétrico disparassem para R\$555,00 por MWh, no mês de janeiro do presente ano. Este valor aproxima-se dos patamares alcançados somente no ano de 2001 e no mês de janeiro de 2008, períodos em que o País também atravessou uma crise na oferta de energia hidráulica (BTG, 2013).

Em compensação, o consumo de energia elétrica das residências e do setor de serviços cresceu significativamente. Há ainda um agravante, como a redução do nível dos reservatórios na Região Sudeste, em 29% de sua capacidade, em comparação a 2008, quando esse percentual era de 46%. Além disso, em 2013, ainda não houve registro da ocorrência de um padrão climático definido como "*La Niña ou El Niño*", o que aumenta as incertezas em relação ao comportamento das chuvas (BTG, 2013).

Tanto no setor comercial de abastecimento de produtos, que necessita de de uma sequência de processos de resfriamento ("cadeia do frio"), quanto no mercado da refrigeração para conforto, esta conjuntura atual significa um potencial problema para o setor. A refrigeração, responsável por 32% do consumo da energia elétrica no Brasil, muitas das vezes é superdimensionada pelos projetistas, que adotam técnicas equivocadas de seleção de equipamentos ou inadequadas para um projeto específico, resultando em instalações que se distanciam da capacidade requerida em termos de consumo energético.

Estudo feito pelo IPCC mostra a projeção das emissões diretas dos gases de efeito estufa nos setores da refrigeração para o ano 2015 (Figura 7).

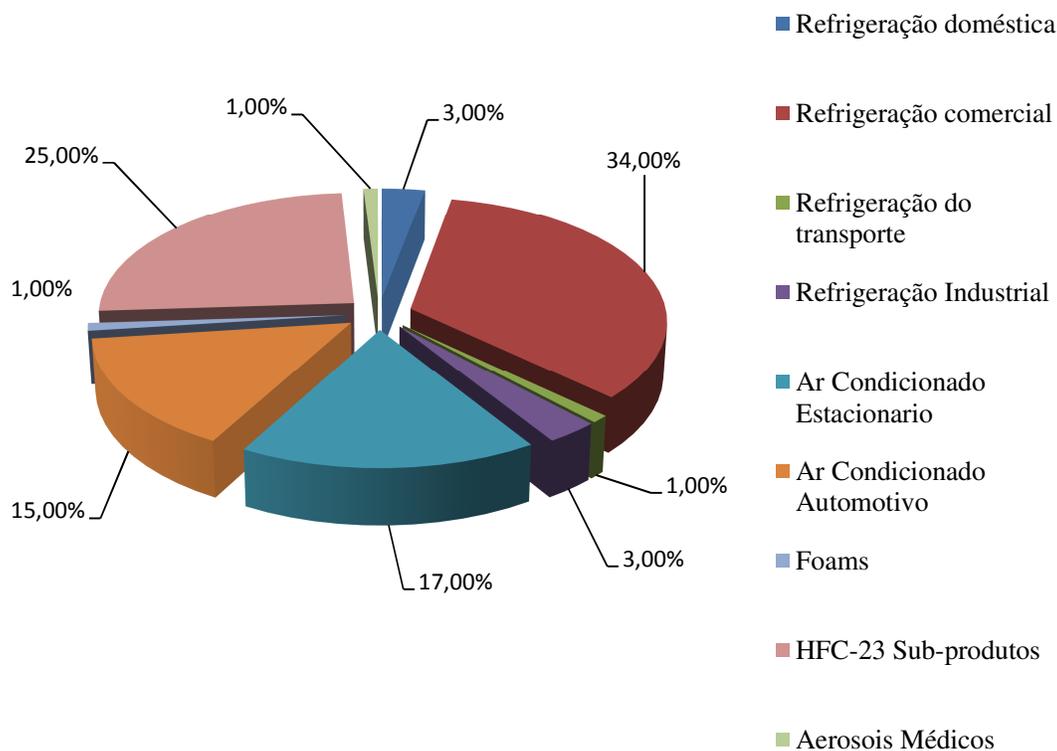


Figura 7. Previsão da distribuição das emissões por setores de CFC's¹, HCFC's² e HFC's³ até 2015 (Ippc/Teap, 2005) - "Special Report on Safeguarding the Ozone and the Global Climate System". Fonte: IPCC/Teap (2005).

Segundo o relatório do IPCC⁴ (2005), as emissões dos GHG na aplicação da refrigeração podem sofrer redução de 30%, até o ano de 2015 (490 toneladas de CO₂ eq.⁵ por ano).

Para atingir o objetivo da redução das emissões dos GHG, exposta no parágrafo anterior, no ano 2005 o IPCC propôs as seguintes ações:

1. Investimento na redução da carga dos refrigerantes e na procura de uma forma melhor do confinamento das substâncias;
2. Substituição do uso dos fluorcarbonetos e aumento do uso de fluidos alternativos, como os hidrocarbonetos, amônia ou dióxido de carbono;

¹ Clorofluorcarbonetos

² Hidroclorofluorcarbonetos

³ Hidrofluorcarbonetos

⁴ International Panel of Climate Change

⁵ Toneladas de CO₂ equivalente

3. Avaliação do uso de sistemas de refrigeração usando fluidos térmicos (HTF⁶) no circuito secundário, para reduzir a carga do refrigerante e aumentar a eficiência do sistema.

Novas tecnologias e novos procedimentos demandam desenvolvimento de componentes para sistemas, envolvendo ensaios. O objetivo da presente dissertação é propor um sistema de bancada de testes que opere em regime permanente, potencializando a estabilidade térmica e o equilíbrio operacional por um período de tempo elevado. Para tanto, faz uso de um sistema de expansão direta, com adequada seleção do refrigerante e dos parâmetros de operação, assim como o dimensionamento correto dos componentes dos ciclos. A proposta é contribuir para o desenvolvimento de estudos e pesquisas nesta área, propiciando uma melhor opção de análise para o desenvolvimento de sistemas de refrigeração por compressão de vapor, e, conseqüentemente, para a redução no consumo de energia elétrica e no impacto ambiental.

1.2. Objetivo

O presente trabalho tem por objetivo avaliar o desempenho de uma bancada experimental, mediante o estudo por simulação numérica, em regimes permanente e transiente, da influência das variáveis envolvidas na operação da bancada incluindo a possibilidade de utilização de diferentes refrigerantes ou componentes.

Para alcançar o objetivo foram necessárias as seguintes atividades:

1. Revisão bibliográfica:
 - a. A discussão, apresentada anteriormente, da contribuição da refrigeração ao impacto ambiental atual, produzido por atividades antropogênicas, especialmente aquelas associadas à liberação dos gases de efeito estufa e das possíveis vias para reduzir o impacto ambiental;
 - b. Análise crítica de configurações de bancadas experimentais, reportadas na literatura, para testar ciclos e componentes de ciclos de refrigeração de compressão de vapor, com ênfase na importância do

⁶ Fluidos de transferência de calor

- controle e estabilidade das condições de operação, visando a repetibilidade e reprodutibilidade de resultados experimentais;
- c. Compilação e seleção de modelos físicos de componentes, tais como por exemplo: compressores rotativos do tipo orbital, válvula de expansão termostática e eletrônica, condensadores e evaporadores do tipo trocadores de calor de placas "brazadas";
 - d. Discussão de trabalhos existentes e reportados na literatura para descrever bancadas de testes para o ciclo de compressão de vapor utilizado nos modelos experimentais de sistemas de refrigeração e bombas de calor.
2. Projeto da bancada de testes;
 3. Seleção e dimensionamento dos componentes da bancada de testes;
 4. Modelagem dos componentes e dos processos envolvidos na bancada de testes;
 5. Avaliação por simulação numérica do desempenho da bancada de teste sob diversas condições de operação.

1.3. Organização da dissertação

A presente dissertação está organizada da seguinte forma: capítulo 2 descrevendo a bancada proposta; capítulo 3 apresentando a revisão bibliográfica, que discute o estado da arte das bancadas de testes para sistemas de refrigeração; capítulo 4 abordando o modelo de simulação da bancada de testes proposta; capítulo 5, apresentando resultados, e, finalmente, o capítulo 6, com conclusões e sugestões para trabalhos futuros.