6

Conclusões e recomendações para futuros trabalhos

Desenvolveu-se, no presente trabalho, um protótipo de sistema de geração combinada que pode atuar em três modos de operação, a saber: a) Geração de potência elétrica; b) Geração combinada de calor e eletricidade; e c) Geração combinada de frio, calor e eletricidade.

Pelas características e concepção do protótipo pode-se afirmar que se tratou o problema da eficiência dos sistemas de cogeração e trigeração dentro de um escopo diferente do encontrado na literatura. O protótipo apresentado corresponde a um sistema de pequeno a médio porte (até 7,5 kW de geração de potência elétrica). Este tipo de sistemas é passível de ser utilizado em uma ampla gama de aplicações, tanto para uso doméstico quanto para comercial ou industrial.

O sistema em estudo utiliza, para a geração de frio, uma bomba de calor por compressão de vapor acionada eletricamente. O acionamento da bomba se realiza através do uso da própria energia gerada. Para sistemas de trigeração, bombas de calor acionadas eletricamente somente são encontradas na literatura (D'Accadia, 2001, Cardona e Piacentino, 2003a e 2003b) como sistema de apoio à refrigeração por absorção, em aplicações industriais. Outra aplicação registrada na literatura é em sistemas domésticos de muito pequeno porte (Few et al. 1997).

Esta forma de produção de frio mostrou-se aproveitável, pela compacticidade do subsistema, baixo custo de instalação, operação e manutenção (se comparado a sistemas tradicionais de refrigeração por absorção), quando a razão entre a demanda de eletricidade e a demanda de frio for elevada, e com elevada demanda de calor. Também, na re-engenharia de plantas (*retrofit*), quando da existência um gerador super-dimensionado e precisa-se da produção de frio, esta modalidade de produção combinada torna-se uma opção a se considerar.

O núcleo do protótipo está formado por um conjunto motor – gerador de origem comercial, com motor de combustão interna Diesel, o qual foi modificado no laboratório para operar consumindo gás natural veicular (*GNV*). Gás natural veicular foi injetado, junto com o ar de admissão, para substituir parcialmente o óleo Diesel da mistura combustível (aplicação *bi-combustível*).

Conseguiu-se razões de substituição energética do óleo Diesel de até 70% do consumo do motor, quando comparado ao motor gerando a mesma potência elétrica e operando com óleo Diesel puro. Entretanto, a eficiência energética do sistema caiu e, a despeito da favorável razão de custo da operação com Diesel – gás, demonstrara-se ser desaconselhável a operação do sistema para valores acima de um 30% de substituição devido, principalmente, ao provável desperdício de *GNV* não queimado, pela exaustão.

O procedimento experimental foi marcado por ampla instrumentação do protótipo para medição da temperatura, pressão e vazão de todas as correntes que circulam pelo sistema, nos pontos mais importantes para a caracterização e avaliação do desempenho global do mesmo, dos subsistemas e dos principais componentes.

Foram motivo de estudo, no presente trabalho, as variáveis que influenciam o desempenho do referido sistema operando nos modos (b) e (c), i.e., Cogeração e Trigeração.

Testaram-se, para uma demanda de potência elétrica fixa (4,5kW), dois valores de restrição da vazão de ar. Os resultados, ainda podendo ser considerados incipientes, apontam para uma influência considerável deste parâmetro sobre o desempenho do sistema e sugerem, junto com os resultados dos testes de substituição, um estudo direcionado ao sistema de injeção de óleo Diesel e do mecanismo de fornecimento do gás natural veicular (*GNV*), provavelmente levando a uma “ottolização” do motor, com o controle de potência ocorrendo por restrição à vazão de ar.

Estudou-se profundamente a bomba de calor, como forma de validação dos dados complementares à geração combinada de frio, calor e eletricidade. Determinaram-se os principais parâmetros de operação da bomba de calor, dentro de uma faixa relativamente estreita de temperaturas de evaporação e condensação, fato determinado, fundamentalmente, pelas características do compressor hermético e pelo líquido a ser refrigerado, que no caso foi água, limitando a temperatura de evaporação a valores acima de 0°C.

A análise exergética da bomba de calor, muito provavelmente devido à estreita faixa de operação, não permitiu identificar tendências do potencial de destruição de exergia, nos diferentes componentes, que acompanhem a variação da temperatura de evaporação, de condensação ou o grau de subresfriamento. Porém, foi identificado o compressor como o componente de maior potencial de destruição de exergia, sendo responsável por cerca de 60% da exergia destruída neste subsistema.

Desenvolveu-se um procedimento de otimização experimental do sistema de trigerção, baseado na 2ª lei da termodinâmica. Através deste procedimento demonstrou-se a possibilidade de se encontrar pontos de operação ótimos dos sistemas de trigerção, para determinados parâmetros, fundamentados neste tipo de análise.

Espera-se que a grande quantidade de dados obtidos através dos diferentes testes contribua para um melhor entendimento dos processos que ocorrem no sistema de trigerção com produção de frio mediante o uso de bomba de calor por compressão de vapor.

Estes dados têm, dentre outras, a utilidade de servir como marco de comparação para sistemas de capacidade equivalente que utilizem outras técnicas e/ou configurações do sistema.

Recomenda-se, em primeiro lugar, a utilização de um outro fluido como refrigerante da bomba de calor por compressão. Propõe-se o uso de uma mistura

não azeotrópica em substituição ao HCFC 22, apresentando um menor impacto ambiental.

Para trabalhos futuros sugerem-se os seguintes procedimentos:

- a) Medição da vazão de refrigerante na bomba de calor de forma a se obter dados mais precisos para a caracterização dos diferentes componentes do referido subsistema.
- b) Medição da carga de refrigerante, a qual mostrou ser um parâmetro de controle do desempenho da bomba de calor.
- c) O estudo combinado da bomba de calor com um fluido intermediário que possibilite a obtenção de temperaturas de evaporação abaixo de 0°C. Isto permitirá a aplicação da termoacumulação e a conseqüente avaliação do sistema de trigeriação em regime transiente, assim como ampliar a faixa de trabalho (pressões de condensação e evaporação) da própria bomba de calor.
- d) Medição específica das emissões dos gases de exaustão do sistema (particulados, hidrocarbonetos, NO_x e CO₂).
- e) Medição das emissões de CH₄ (metano) na exaustão, não somente por questões ambientais, mas para avaliar a queima incompleta do GNV.
- f) Estudo do sistema de injeção de óleo Diesel no contexto da operação do motor *bi-combustível* e melhora do sistema de dosagem do GNV, de modo a permitir razões mais altas de substituição do óleo Diesel e reduzindo, ao máximo possível, a queima incompleta do gás natural veicular.

- g) Modelagem do sistema, aproveitando as equações apresentadas no capítulo 3 e as características e parâmetros empíricos obtidos dos experimentos aqui apresentados.