

Capítulo XII

Climatização eficiente com termoacumulação para produção abaixo de 10 TR

Por Carlos de Holanda, Fábio Cezar Beneduce, Rubens Herbster e Thiago Neves*

Atualmente, o custo da energia elétrica é um dos fatores mais importantes na definição dos equipamentos em um projeto de condicionamento de ar. Segundo dados do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel), o consumo de energia elétrica dos condicionadores de ar em prédios públicos é de 48% e em prédios comerciais é de 47%. Assim, a economia de energia elétrica está recebendo maior atenção por parte dos engenheiros que projetam sistemas de condicionamento de ar.

Estudos mostram que grande parte da energia é desperdiçada pelos sistemas de condicionamento de ar por apresentarem uma série de ineficiências. Para melhorar essas deficiências um dos caminhos é utilizar a técnica de termoacumulação.

O interesse na termoacumulação surgiu com o aumento do consumo de energia elétrica a partir dos anos de 1970, quando as companhias de geração reconheceram a necessidade de reduzir demanda no horário de pico (entre 17 e 21 horas). A termoacumulação surge como consequência da necessidade de reduzir o consumo de energia nas horas de pico, cujo custo é relativamente elevado.

Além disso, a redução dos custos com equipamentos, o baixo custo de manutenção e a economia de energia elétrica nos horários de pico, no qual a energia tem um custo mais elevado, são algumas das vantagens do uso da termoacumulação.

O sistema de refrigeração em estudo foi montado para que se possam tirar as vantagens da

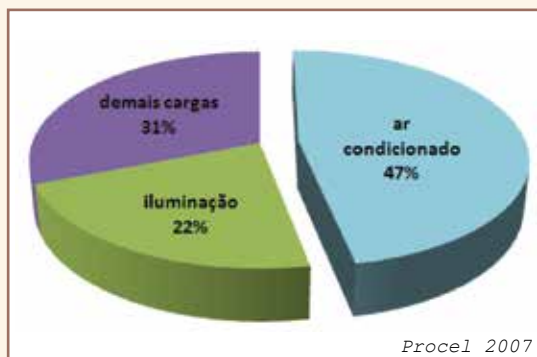


Figura 1 – Consumo de energia elétrica no comércio.

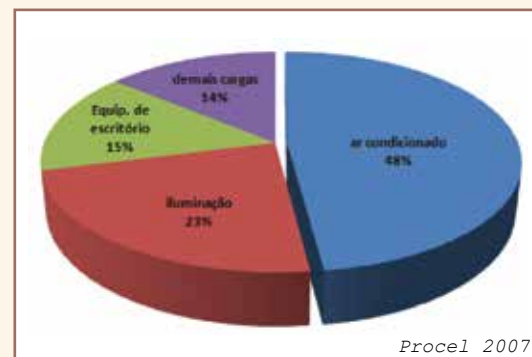


Figura 2 – Consumo de energia elétrica em prédios públicos.

termoacumulação no que se refere à eficiência energética, ao baixo custo dos equipamentos em relação aos equipamentos disponíveis no mercado e a robustez dos elementos empregados para atender a nichos de mercados com uma menor potência do equipamento instalado do que estes.

Sistema de refrigeração com termoacumulação

O sistema de refrigeração com termoacumulação é composto por compressor, condensador, válvula de expansão, tanque de armazenamento, bomba e fan-coil.

Esse sistema tem seu funcionamento como um sistema de refrigeração indireta, ou seja, um sistema de expansão direta

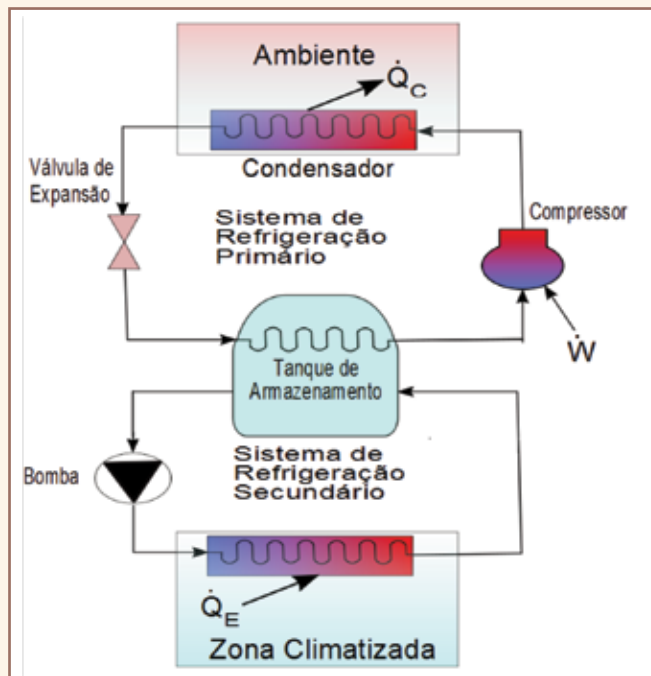


Figura 3 – Representação de um sistema de refrigeração com termoacumulação.

(sistema de refrigeração primário) resfria o fluido de secundário que está dentro do tanque de armazenamento, em que o fluido gelado é circulado por meio da bomba que passa nos fan-coil que resfria o ambiente a ser climatizado (sistema de refrigeração secundário).

Vantagens da termoacumulação

As principais vantagens da termoacumulação são apresentadas a seguir:

- Tamanho reduzido do sistema de refrigeração

Os sistemas de refrigeração e condicionamento de ar com expansão direta (splits e janeliros, por exemplo) são dimensionados para atender a carga térmica de pico enquanto, que na termoacumulação o sistema tem um tamanho reduzido, pois é dimensionado para ser utilizado durante todo (ou grande parte) do dia, diminuindo o equipamento de refrigeração e aumentando a eficiência.
- Menor custo operacional

Dependendo do contrato entre distribuidora e consumidor, a energia elétrica sofre variação no horário de pico (período de maior demanda elétrica). As taxas de energia elétrica são normalmente divididas em uma carga de demanda e uma taxa de consumo. Com o uso da termoacumulação, é possível o deslocamento do consumo para fora do horário de maior demanda, reduzindo tanto o valor pago pelo consumo, bem como a capacidade de fornecimento por parte da operadora de energia elétrica.
- Economia do consumo de energia elétrica

Apesar de a termoacumulação ser geralmente projetada

para se adequar ao uso de energia em vez de economizar energia, o armazenamento muitas vezes reduz o consumo de energia. Sistemas de armazenamento de frio permitem que os chillers operem mais à noite quando a temperatura ambiente está mais baixa, melhorando assim a condensação e, com isso, aumentando a eficiência do equipamento. O armazenamento permite a operação de equipamentos com carga completa, evitando o desempenho de carga parcial ineficiente. Exemplos documentados incluem instalações de armazenamento de água gelada que reduzem o consumo anual de energia para ar condicionado em até 12%.

Estratégias de termoacumulação

Existem algumas estratégias para o armazenamento do frio: armazenamento total, armazenamento parcial e armazenamento com carga limitada.

- Armazenamento da carga total

Essa estratégia consiste que o sistema de refrigeração opera com a capacidade total, e que seja desligado na hora de pico, quando a refrigeração é provida pela energia termoacumulada. Esses sistemas normalmente são usados em locais onde a demanda no horário de pico é alta.

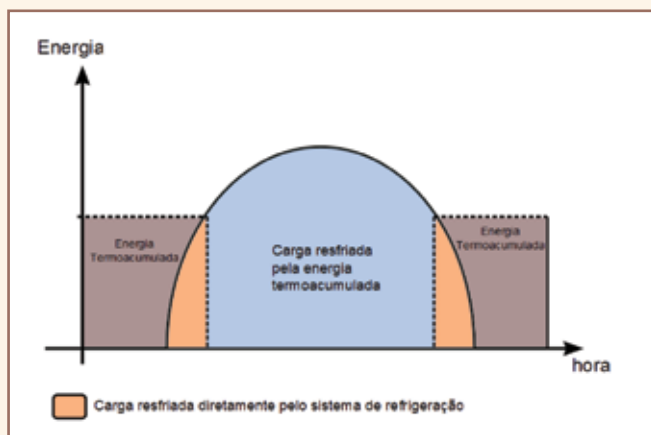


Figura 4 – Armazenamento da carga total.

- Armazenamento com carga parcial

No armazenamento parcial, parte da carga no horário de pico é suprida pelo sistema de refrigeração e a outra pela termoacumulação. Em um sistema com carga parcial, o equipamento de refrigeração opera em regime constante 24 horas por dia. No caso de demanda limitada, o sistema de refrigeração opera a capacidade reduzida e só em alguns casos chega a 100% da capacidade.

A Figura 5 mostra um sistema de termoacumulação com carga parcial. A linha da carga térmica resfriada diretamente pelo sistema de refrigeração sem termoacumulação é um consumo constante, reduzindo a potência dos equipamentos

instalados e funcionando com a eficiência máxima.

Este tipo de método de termoacumulação é utilizado geralmente para reduzir a potência dos equipamentos instalados, mantendo constante o seu funcionamento.

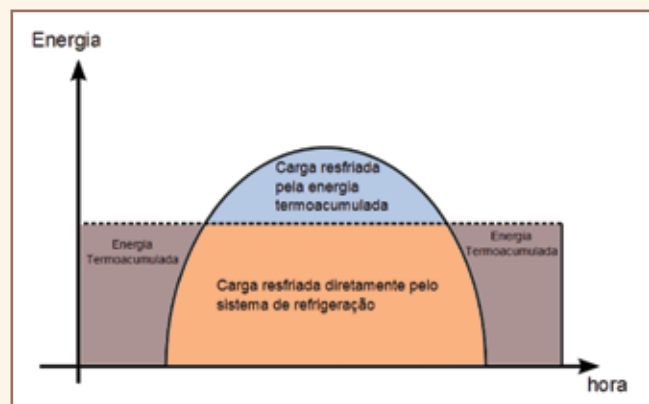


Figura 5 – Armazenamento com carga parcial.

- Armazenamento com carga limitada

Neste tipo de termoacumulação o equipamento opera com uma carga reduzida no horário de pico. Em alguns casos, o sistema de refrigeração é controlado para que não se ultrapasse o limite permitido pela tarifa sazonal.

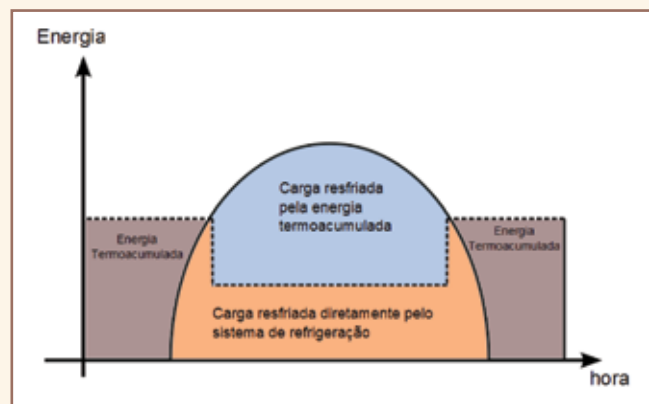


Figura 6 – Armazenamento com carga limitada.

Estudo de caso

O local em que está instalado o sistema de refrigeração é o Instituto Tecnológico Vocacional Avançado (Iteva), localizado em Aquiraz, um município da região metropolitana de Fortaleza (CE). A ideia inicial é produzir um sistema de refrigeração com baixo custo dos equipamentos e que funcione de forma eficiente. Para isso foi pensado em um sistema robusto e que trabalhe utilizando os benefícios da termoacumulação para atender aos ambientes onde o mercado não oferece esse tipo de equipamento.

Seleção e dimensionamento do sistema

Como já foi mencionado anteriormente, a seleção dos equipamentos foi realizado pelo critério de menor custo e maior eficiência. Inicialmente foi feito o cálculo da carga térmica do local, que conta com dois locais que basicamente são utilizados

para serviços de escritório. Foi utilizado o método Série Radiante Temporal (RTS) para o cálculo da carga térmica dos ambientes a serem climatizados, conforme indicação da norma ABNT NBR 16401. O gráfico da Figura 7 mostra o perfil de carga térmica estimado para os ambientes. A região compreendida ente 12h e 14h foi desconsiderada devido à ausência de pessoas no local por conta do horário de almoço. A carga possui um pico de aproximadamente 60 kW (17 TR).



Figura 7 – Perfil de carga térmica do Iteva.

Para o sistema primário foi selecionado um compressor do tipo scroll e dois condensadores. Geralmente, no mercado, esses dois equipamentos são vendidos juntos e são chamados de unidade condensadora, entretanto, esses equipamentos foram comprados separadamente, pois assim teriam menor custo. O compressor scroll é conhecido pela sua alta eficiência, baixo nível de ruído, e baixo custo operacional. O evaporador, feito com tubos de cobre, teve seu comprimento calculado em 150 metros para suprir a capacidade de refrigeração do sistema. Para regulação da vazão do sistema foram utilizadas duas válvulas de expansão termostática. O fluido refrigerante utilizado foi o R-22 devido às características do sistema. Para o sistema secundário (termoacumulação), foi dimensionado um tanque com capacidade de 19 mil litros e foi embutido na terra por questões de melhoria no isolamento térmico. A água foi utilizada como fluido secundário devido ao seu baixo preço e disponibilidade. Duas bombas d'água levam essa água gelada aos trocadores de calor localizados nos ambientes do instituto. Os trocadores de calor (fan-coils) foram feitos com radiador automotivo e um ventilador de ar, porém, ainda estão em uma forma muito primitiva e estão sendo realizados estudos com o objetivo de melhorar a troca térmica destes com o ar. O radiador foi utilizado por possuir uma robustez e um baixo custo, além de uma ótima troca térmica. Os equipamentos foram dimensionados para funcionarem juntos com cerca de 17,6 kW (5 TR) de capacidade. Nas imagens da Figura 8, são mostradas uma representação esquemática do sistema e algumas imagens do sistema instalado.

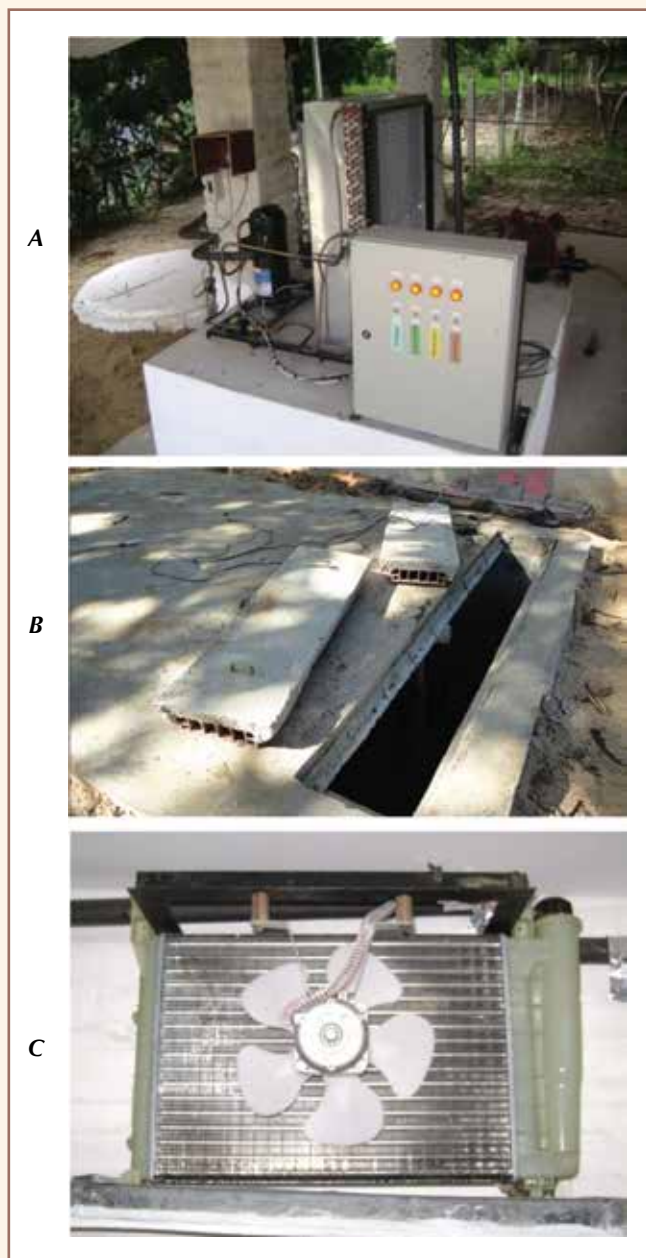


Figura 8 – (a) Sistema de refrigeração primário; (b) Tanque para termoacumulação; (c) Trocadores de calor com o ar (fan-coil).

Considerações finais

A grande vantagem da instalação do sistema com termoacumulação foi reduzir os custos relacionados à compra de um equipamento de menor potência, com o sistema operando em períodos do dia em que a demanda energética é menor. Isto é uma vantagem para empresas que contratam tarifas horo-sazonais e ao sistema funcionar em períodos do dia de maior rendimento. Em relação ao sistema trabalhar em períodos do dia de menor demanda energética, significa dizer que ele pode trabalhar à noite, por exemplo, resfriando a água dentro do tanque para que possa ser utilizada, dando suporte ao sistema de refrigeração, durante o dia para resfriar os ambientes. Esse suporte faz com que o sistema não precise trabalhar em

plena carga durante o dia, poupando energia elétrica. Outra vantagem é que esse sistema pode não sobrecarregar a rede de energia durante os horários de pico, o que é importante para que a concessionária de energia consiga suprir a demanda energética nessas horas do dia.

O sistema apresenta bom rendimento, pois, trabalhando à noite, a temperatura ambiente é menor. Isso pode ser exemplificado com o ciclo de Carnot. Apesar de esse ciclo ser ideal, ou seja, não possuir perdas energéticas, ele pode ser utilizado qualitativamente para analisar o sistema. Essa eficiência, chamada de coeficiente de desempenho, é uma relação entre a quantidade de calor que o sistema está retirando e a quantidade de energia que o compressor precisa para provocar essa retirada. A eficiência de um ciclo de Carnot é dada por:

$$\text{COP} = \frac{T_F}{T_Q - T_F}$$

Em que:

COP – Coeficiente de desempenho;

TF – Temperatura do ambiente frio;

TQ – Temperatura do ambiente quente (ar atmosférico).

Pela equação pode-se observar que, quanto menor a temperatura do ambiente quente, ou seja, o ar atmosférico, maior é o coeficiente de desempenho. As menores temperaturas durante um dia são à noite e por isso o sistema opera com alto rendimento.

Como foi visto anteriormente, a capacidade do equipamento de ar-condicionado para atender ao Iteva era de 60 kW (17 TR) e o sistema instalado possui uma capacidade de 17,6 kW (5 TR), uma redução de 70% em potência instalada. Isso é possível graças à termoacumulação que dá o suporte necessário ao sistema primário para suprir a carga térmica nas horas em que ela for maior que a capacidade deste. A Figura 9 mostra o gráfico de carga térmica junto à termoacumulação.

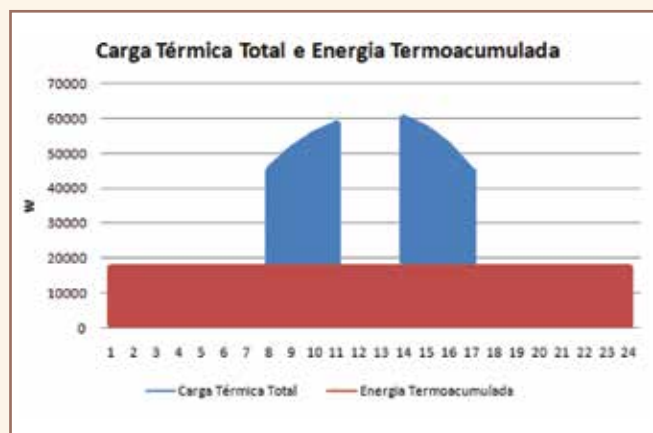


Figura 9 – Perfil de carga térmica do Iteva com termoacumulação.

Nos horários entre 1h e 8h, 12h e 14h, e 18h e 24h, o sistema opera resfriando a água, enquanto nos horários entre 8h e 12h, e 14h e 18h, o sistema de refrigeração opera junto com a água gelada para suprir a região em azul em que o sistema primário não consegue suprir.

Referências

- *ASHRAE HANDBOOK APPLICATIONS (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.). Atlanta - USA, 2003.*
- *ASHRAE. HANDBOOK: FUNDAMENTALS (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.), Atlanta - 1997.*
- *CHUMIOQUE, J. J. RAVELO. Simulação de um Sistema de Refrigeração com Termoacumulação operando em Regime Transiente, PUC-Rio de Janeiro, 2004.*
- *SILVA, Marcelino Nascimento. Eficiência Energética em Sistemas de Refrigeração Industrial e comercial, PROCEL, Rio de Janeiro, 2005.*
- *NBR 16401-1: Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários. Parte 1: Projetos das instalações, Rio de Janeiro, 2008.*
- *NBR 16401-2: Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários. Parte 2: Parâmetros de conforto térmico, Rio de Janeiro, 2008.*
- *NBR 16401-3: Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários. Parte 3: Qualidade do ar interior, Rio de Janeiro, 2008.*
- *PIRANI, M. J. Refrigeração e Ar Condicionado, DEM, UFBA.*
- *STOECKER, W. F.; JONES, J. W. Refrigeração e Ar Condicionado, trad. Jose M. Saiz Jabardo, ed. McGraw-Hill do Brasil, São Paulo, 1985.*

Este trabalho está sendo financiado pelo programa de P&D ANNEL junto a Companhia Energética do Ceará - Coelce.

*CARLOS ALMIR MONTEIRO DE HOLANDA é engenheiro mecânico, especialista em Ciências Térmicas e doutor em Termofluidos. É atualmente Professor Associado do Departamento de Engenharia Metalurgia e de Materiais da Universidade Federal do Ceará (UFC).

FÁBIO CEZAR AIDAR BENEDEUCE possui graduação Bacharel em Física e mestrado em energética pela Ludwig Maximilian Universität München. É membro fundador do Instituto Tecnológico e Vocacional Avançado ITEVA. Rubens Belo Herbster e Thiago Costa Neves são estudantes de graduação do Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Ceará (UFC).

Fim

Acesse todos os capítulos deste fascículo em www.osetoreletrico.com.br.