

Revisão teórica e análise econômica de sistemas de refrigeração solar com chiller de absorção

André Kawae Suzuki
andre.kawae@gmail.com

Prof. Dr. José Roberto Simões Moreira
jrsmoes@usp.br

Resumo. A preocupação com a disponibilidade de energia tem marcado o início deste milênio. Pelo fato de, no verão, a demanda energética aumentar drasticamente devido ao uso generalizado do ar condicionado, a inovação das tecnologias que dominam a área de refrigeração, atualmente, é uma maneira bastante interessante de se economizar energia. Neste trabalho serão analisadas duas possibilidades de se aproveitar a energia solar em sistemas de ar condicionado: células fotovoltaicas e chillers de absorção alimentados por coletores solares. Foi desenvolvida uma pesquisa de tecnologias e práticas que já existem no mercado para se tirar conclusões acerca das suas aplicações e viabilidade

Palavras chave: Energia térmica, energia solar, sistemas de ar condicionado e ventilação

1. Introdução

Atualmente, a matriz energética mundial é composta, em cerca de 80%, por usinas termelétricas que utilizam combustíveis fósseis. Após o desenfreado avanço tecnológico do último século, defronta-se agora com uma preocupação ambiental generalizada, que tem dirigido as pesquisas em todo o mundo para atender às demandas da sustentabilidade. Por conta disso, há uma grande busca por novas fontes de energia que sejam limpas ou renováveis; já existe uma vasta gama de tecnologias e opções para serem aplicadas. Caminhando paralelamente a este quadro está o problema das altas temperaturas registradas em muitas partes do mundo. Pode-se observar na Fig. 1 que a média da temperatura mundial tem crescido acentuadamente nos últimos 10 anos. Apesar de em 2008 ter havido uma certa desaceleração neste ritmo, não é certo que as temperaturas, futuramente, serão mais baixas. Na Europa, em 2003, a onda de calor trouxe temperaturas de até 50°C (França) e deixou cerca de 40 mil mortos no continente, causando uma enorme preocupação.

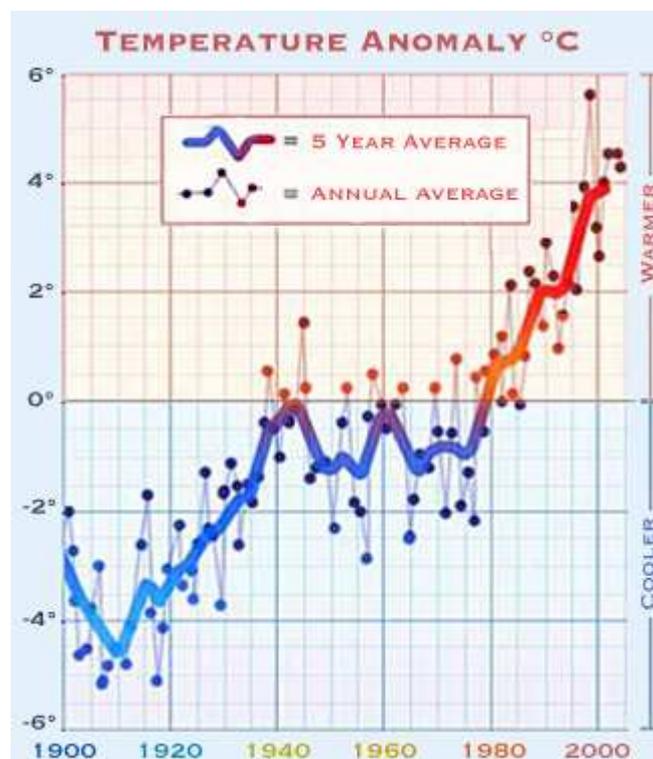


Figura 1: Médias das temperaturas globais no século 20 (Fonte: Climate4You)

Com este perceptível aquecimento, a necessidade de se adotar soluções em climatização para se manter as condições de conforto se torna ainda mais relevante. Principalmente em ambientes de trabalho (escritórios, fábricas, lojas, hospitais, etc), o emprego de sistemas de ar condicionado é essencial para que nem os funcionários e nem os clientes sejam obrigados a ficarem expostos ao desconforto térmico. Um ambiente climatizado pode também ser imprescindível quando se trata de um hospital, que precisa manter condições salubres nas suas dependências, controlando com rigor a temperatura e a umidade.

Entretanto, sabendo que o mundo tem seguido as linhas da sustentabilidade em prol do meio-ambiente, é coerente empregar, de maneira compulsiva, os sistemas convencionais de ar condicionado? Os aparelhos mais modernos e que estão na moda, hoje, consomem, em um escritório, num dia de calor, cerca de 2,1kW (para carga térmica de 20000BTU/h ou 6,4kW ou 2,5 TRs). São os chamados Splits. Eles funcionam utilizando um compressor elétrico, o qual é responsável pela maior parte do consumo de energia.

No começo de 2009, devido ao calor do verão em São Paulo, houve episódios de blackout em alguns prédios da Avenida Paulista por causa do grande número de aparelhos de ar condicionado ligados ao mesmo tempo. E isso não é raro. No mundo inteiro esse problema aparece quando as temperaturas se elevam. Observando a Fig. 2, fica mais fácil de compreender este fato; a maior parte da energia despendida num escritório ou num hotel é por conta do ar condicionado. Por esse motivo, novas soluções estão sendo procuradas para que se diminua a demanda de eletricidade para ar condicionado. Apesar da energia no Brasil ser proveniente, em grande parte, de geração hidrelétrica, o uso da energia elétrica precisa ser otimizado para que em épocas de estiagem, não falte eletricidade, como tem acontecido em alguns anos. Além disso, lembrando, 80% da matriz energética mundial é termoeleétrica, o que implica em milhões de toneladas de hidrocarbonetos sendo queimadas diariamente para atender a demanda energética.

Além de todo o viés ambiental, existe também o custo financeiro da energia elétrica, que é uma forma “nobre” e relativamente cara de energia. Considerando que o preço do kilowatt-hora (kWh) é de R\$0,30, se o ar condicionado split, citado anteriormente, ficar ligado 12 horas por dia, durante 25 dias por mês, ele trará um custo mensal de 189 reais.

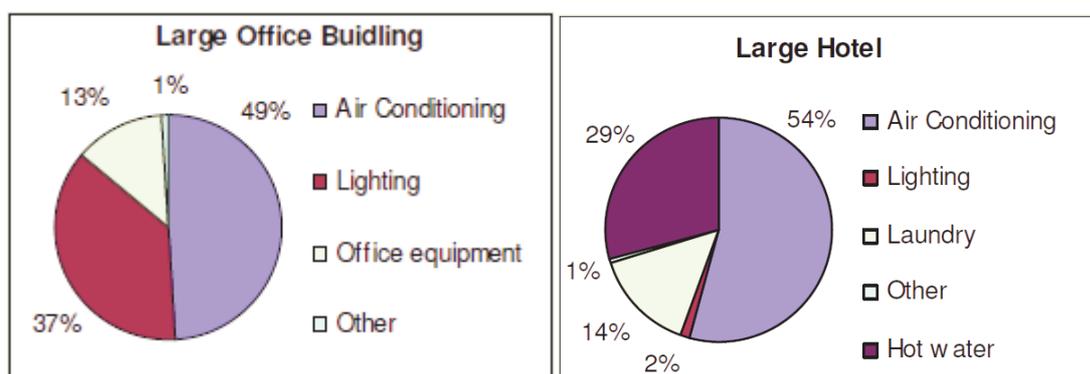


Figura 2: Composição do consumo de energia elétrica em um escritório e em um hotel (Fonte: SOLID)

Tendo tudo isso em vista, surge o objetivo principal deste trabalho que é estudar a viabilidade de um sistema de ar condicionado que utilize a luz solar como principal fonte energética. Para tanto, serão analisadas duas tecnologias já existentes: as células fotovoltaicas (FV) e os chillers de absorção. As células FV são mais conhecidas por aparecerem com frequência na mídia. Eles estão alcançando maiores níveis de eficiência e, em muitas aplicações, se mostram

bastante viáveis. Os chillers, por outro lado, são bem pouco conhecidos comercialmente por possuírem uma aplicação mais difundida na indústria; será estudada a possibilidade de se utilizar um chiller de absorção em escalas menores, como num escritório, por exemplo.

1.1. Critério para escolha da solução

Há diversos fatores que, em conjunto, definem a viabilidade de uma solução como o investimento inicial, o custo operacional, o atendimento total ou parcial da demanda de refrigeração e a área ocupada pelo sistema. Neste relatório, entretanto, o critério para se definir a melhor solução será a área.

Devido às baixas eficiências dos sistemas em estudo, para que a energia captada da luz solar seja significativa, precisa-se de grandes áreas de painéis solares fotovoltaicos ou de coletores solares. É possível dizer, também, que uma área reduzida é consequência de um sistema mais eficiente e mais adequado para a aplicação em refrigeração. A análise de viabilidade de um projeto por inteiro ainda está para ser feita.

2. Células Fotovoltaicas

As células fotovoltaicas começaram a ganhar atenção na década de 1970 e desde então apresentam níveis crescentes de viabilidade (Fig. 3). Elas funcionam aproveitando o efeito fotovoltaico, que consiste na excitação dos elétrons pela energia luminosa. Este fenômeno ocorre nos materiais semi-condutores mas a indústria utiliza o silício como principal insumo para esse tipo de aplicação. O aprofundamento dos conceitos físicos e tecnológicos foge do escopo desse trabalho. O estudo terá como base os valores de eficiência que já foram alcançados para que se possa, através de alguns cálculos simples, analisar a viabilidade do uso das células fotovoltaicas para se alimentar um sistema de ar condicionado convencional.

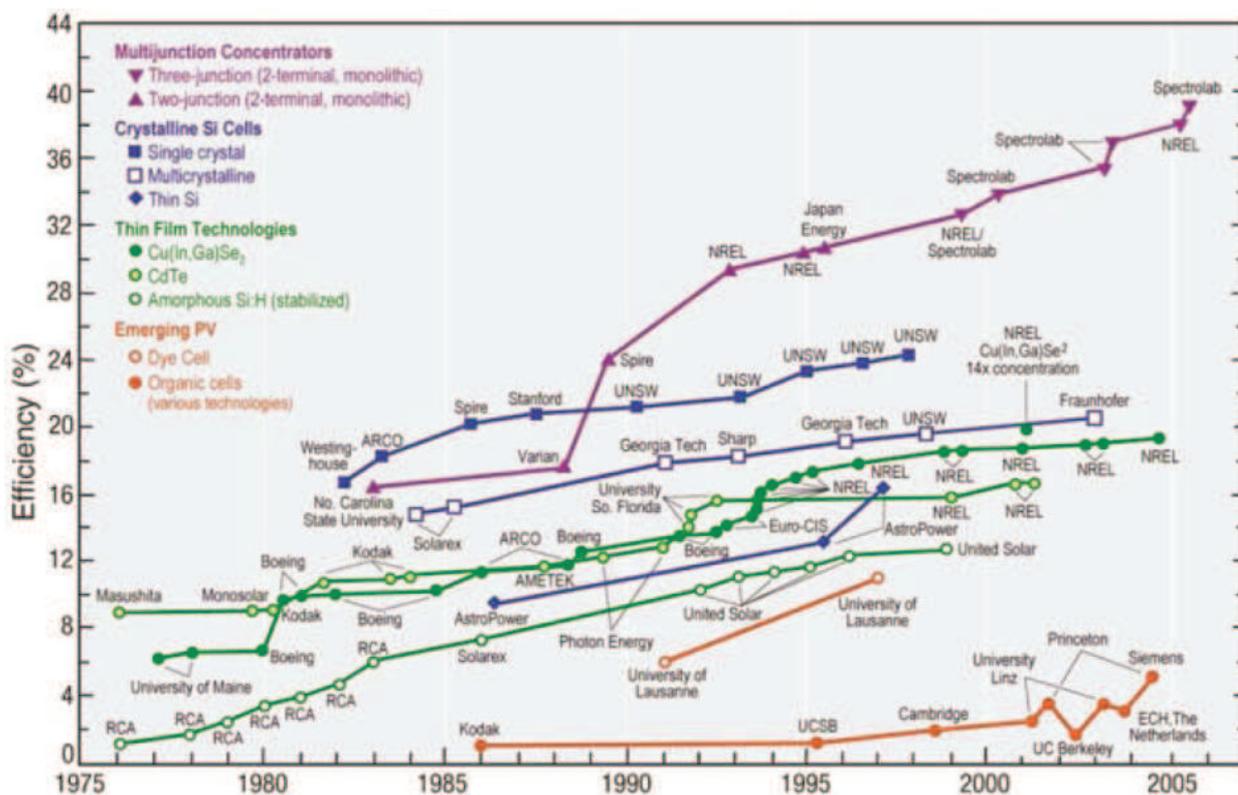


Figura 3: Progresso das tecnologias fotovoltaicas (Fonte: NREL)

2.1. Andamento das tecnologias fotovoltaicas

Conforme é visto na Fig. 3, o desenvolvimento tecnológico das células fotovoltaicas permitiu que eficiências de quase 40% já fossem alcançadas. Hoje, em 2009, já existem células que ultrapassaram os 42%. Apesar destas células de altíssimas eficiências ainda não serem comercialmente viáveis, esse número já mostra que a conversão direta de energia solar em elétrica não está distante de ser implementada em larga escala. Segundo Algora (2004), numa planta de 1000MW, o investimento por watt instalado de um sistema fotovoltaico moderno de alta eficiência poderia chegar a US\$0,85. Vale lembrar que, atualmente, o investimento por watt instalado ainda gira em torno de US\$3,00

2.2. Aplicação Comercial das Células Fotovoltaicas

Entretanto, quando se trata de uma instalação pequena, como um estabelecimento comercial, os painéis solares utilizados apresentam uma eficiência média de 25% pois estes possuem um investimento inicial mais baixo para que o projeto se torne viável. Assim, de toda a insolação que incide sobre a célula fotovoltaica, apenas 25% dela é convertida em energia elétrica.

Considerando que em São Paulo a insolação de um dia ensolarado seja de 1000W/m², pode-se admitir que a célula fotovoltaica receberá essa irradiação e produzirá 250W/m² (considerando os 25% de eficiência). Sabendo que o consumo de um chiller de compressor de 85kW (aproximadamente 30 TRs) é de 23kW, serão, portanto, necessários 92m² de área ocupada pelos painéis solares.

3. Ciclo de refrigeração com chiller de absorção

O esquema básico da configuração do sistema é conforme mostra na Fig. 4.

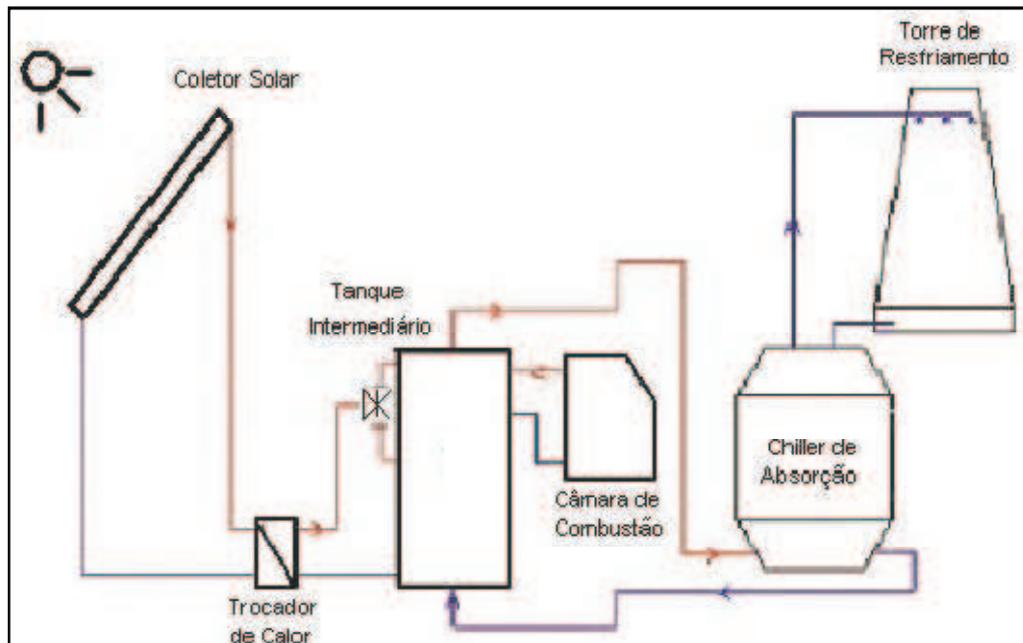


Figura 4: Configuração simplificada do sistema de refrigeração com chiller de absorção

A seguir, são detalhados os funcionamentos de cada elemento do sistema, permitindo também que este seja melhor compreendido.

3.1. Chiller de absorção

Os chillers de absorção funcionam da mesma maneira que um ciclo de refrigeração convencional, possuindo um condensador e um evaporador, os quais promoverão trocas de calor. Entretanto, a grande diferença está na maneira como o vapor saturado de baixa pressão que sai do evaporador é pressurizado. O chiller de absorção não possui um compressor, mas sim dois reservatórios de calor: o absorvedor e o gerador.

No absorvedor, o fluido refrigerante forma uma solução com o fluido absorvente num processo exotérmico e o calor gerado é rejeitado. Essa solução, chamada de solução fraca, é bombeada para o gerador e lá recebe calor da fonte externa, levando parte do refrigerante a evaporar e se separar da solução. Dessa forma, o refrigerante se dirige em alta pressão para o condensador e o restante da solução que permaneceu líquida no gerador, agora chamada de solução forte, retorna para o absorvedor.

Os fluidos absorvente e refrigerante são chamados de par de trabalho. Os chillers de absorção trabalham com dois pares: amônia-água e brometo de lítio-água. No primeiro, o fluido refrigerante é a amônia e no segundo, a água. Cada fluido possui suas características conforme pode ser visto na Tab. 1.

Tabela 1: Propriedades dos ciclos de LiBr e de amônia

<i>LiBr</i>	<i>Amônia</i>
Só trabalha com temperaturas acima de 5°C (problema da cristalização)	Pode trabalhar com temperaturas abaixo de zero
Apresenta uma alta entalpia de evaporação	Precisa do retificador (separa o vapor de água do de amônia)
Não é tóxico	Em altas concentrações, irrita os olhos
Maior COP (em comparação ao ciclo de amônia)	Alta volatilidade
Trabalha a pressões muito baixas (vácuo parcial)	Trabalha a altas pressões (menos problemas de vedação)

Atualmente, os chillers de alta potência trabalham com o par LiBr-água e, além disso, utilizam uma configuração do ciclo de refrigeração chamada de duplo efeito. Essa configuração consiste na utilização de dois geradores e dois condensadores. Um condensador e um gerador são de alta temperatura e os outros são de baixa temperatura. Com esse arranjo, é possível que a fonte de calor do gerador de alta temperatura possua temperaturas mais elevadas, e que o condensador de alta temperatura, ao receber o refrigerante vaporizado, consiga rejeitar calor para o gerador de baixa temperatura. Dessa forma, o ciclo consegue trabalhar com quase o dobro da quantidade de refrigerante, o que tem como vantagem o aumento do coeficiente de performance (COP).

O COP é um índice que quantifica a eficiência de um ciclo de refrigeração. Portanto, quanto maior o COP, melhor o ciclo. Entende-se como melhor a capacidade de o ciclo possuir maior efeito útil de refrigeração para uma mesma quantidade de calor de entrada. A definição de COP é a seguinte:

$$COP = \frac{Q_{evap}}{Q_{ger}} = \frac{\text{Efeito Útil}}{\text{Calor Injetado}}$$

No ciclo convencional, o COP varia de 0,4 a 0,6. No ciclo de duplo efeito, o COP fica em torno de 1,0. Por conta disso, a maioria dos chillers de média e alta potência são de duplo efeito pois a alta eficiência (COP) se traduz em custo operacional reduzido.

3.2. Coletor solar

Os coletores solares é que vão aquecer a água para servir de fonte de calor, indiretamente (o porquê disso será visto quando for falado sobre o tanque de armazenamento térmico, mais adiante), para o chiller de absorção. Assim, a grande

missão do coletor é captar da melhor forma possível toda luz solar que estiver incidindo sobre ele e convertê-la em calor. Ou seja, deseja-se uma ótima eficiência por parte do coletor para que se ocupe a menor área possível. Tendo em vista que o escopo do estudo é possibilitar o uso da energia solar em ar condicionado, serão vistos apenas dois tipos de coletores: os de placas planas e o de tubos a vácuo. Eles são interessantes não só por serem adequados para uma aplicação urbana, mas também por serem os mais difundidos no mercado. Além desses dois, será falado também do coletor solar parabólico, pois, paralelamente a este trabalho, está sendo desenvolvido no SISEA um tipo de coletor parabólico de múltiplos passes.

3.2.1. Coletor de placas planas

São os coletores mais comuns e na maioria das vezes só servem para sistemas de aquecimento de água domésticos, devido à sua baixa eficiência (em torno de 50%). Eles consistem em um absorvedor, uma cobertura transparente e uma caixa termicamente isolada (conforme Fig. 5).

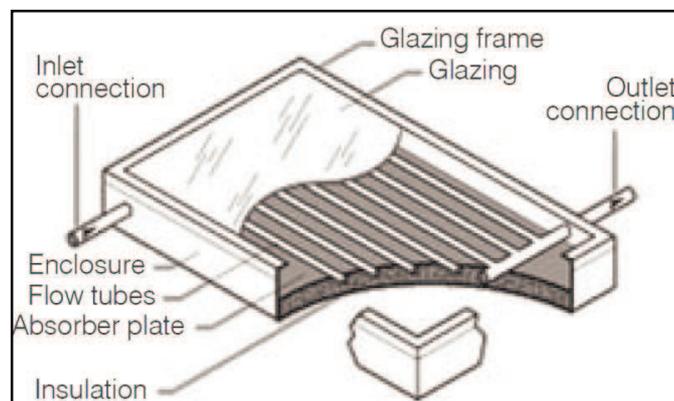


Figura 5: Coletor solar de placa plana (Fonte: Solar Cooling Recommendation)

O absorvedor (absorber plate) é uma placa de material de alta condutividade térmica (como cobre ou alumínio) com tubos fixados em sua superfície (flow tubes). A superfície, por sua vez, é pintada de modo a maximizar a absorção e a minimizar a emissão da irradiação solar. A cobertura transparente (glazing) permite a passagem de luz solar e impede que haja perdas por convecção devido a fluxos de ar.

3.2.2. Coletor de tubos a vácuo

Cada vez mais utilizados por apresentarem alta eficiência e maior versatilidade, os tubos a vácuo são adequados tanto para o aquecimento doméstico de água quanto para o uso em ciclos de aquecimento e ar condicionado e em processos de geração de eletricidade. A Fig. 6 ilustra a composição do coletor. O grande diferencial nos coletores de tubos a vácuo são os tubos de vidro evacuados. Cada tubo evacuado (evacuated tube) é composto de dois tubos de vidro. O tubo externo (outer glass tube) é feito de borossilicato altamente transparente para reduzir a reflexão da luz solar. O tubo interno (inner glass tube) também é feito de borossilicato, mas é pintado com uma tinta de alta absorção de

irradiação solar (absorbing coating). Entre os dois tubos há vácuo (evacuated space), o que minimiza as perdas por condução e convecção.

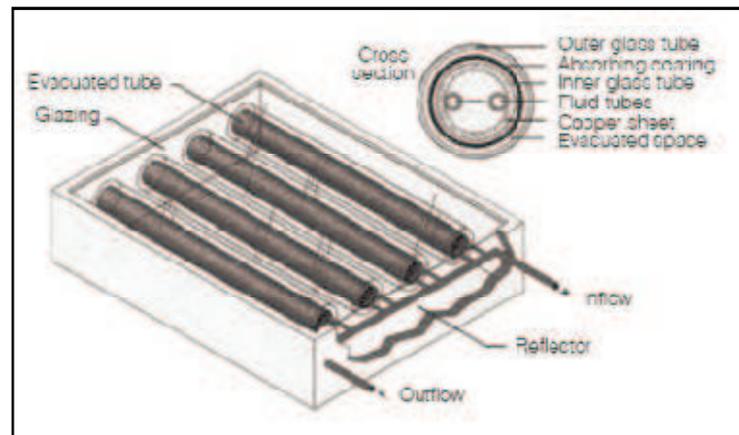


Figura 6: Coletor de tubos a vácuo (Fonte: Solar Cooling Recommendation)

Dessa forma, é possível se utilizar o coletor mesmo quando a temperatura ambiente está baixa, o que é impossível para um coletor de placas planas. Num dia ensolarado, é possível alcançar, facilmente, 250°C.

Com essas implementações, a eficiência pode alcançar até 95%. Por conta deste número, que pode ser traduzido em alto rendimento operacional, parece bastante adequada a utilização dos coletores de tubos evacuados em sistemas de refrigeração solar.

3.2.3. Coletor parabólico

O coletor em desenvolvimento apresentará uma geometria parabólica, de modo que os raios solares incidentes reflitam para o seu foco, onde haverá um tubo evacuado semelhante ao utilizado nos coletores de tubos a vácuo. Pretende-se, dessa forma, obter as vantagens de redução de perdas e aumento significativo da eficiência. Para se aumentar a temperatura da água, serão utilizados passes múltiplos em vários coletores. Também há a possibilidade de se ligar coletores em paralelo para que maiores vazões de água possam ser utilizadas.

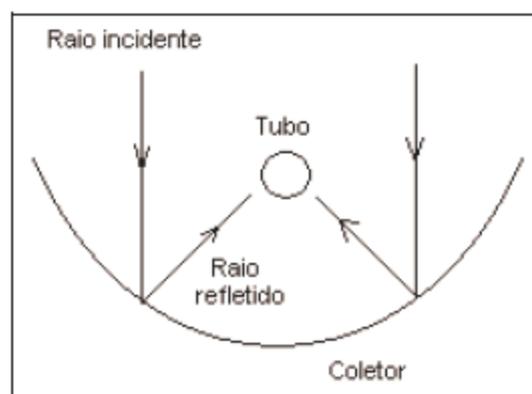


Figura 7: Esquema do coletor solar parabólico

Para se melhorar ainda mais o aproveitamento do coletor, ele contará com um sistema de controle de *tracking* para acompanhar a direção de incidência da luz solar. A montagem será feita em módulos de 3 ou 4 refletores, semelhantes ao da Fig. 7, dispostos em série. A estrutura do protótipo será fabricada em madeira e o material refletor usado será o papel alumínio, cujo índice de refletividade é 0,95.

3.3. Tanque de armazenamento

Com o sistema em funcionamento, em determinados momentos a água quente proveniente do coletor solar pode não ser suficiente ou pode ser abundante demais para a operação naquele instante. Com isso, se a água quente sair dos coletores e se dirigir diretamente para o chiller, poderá haver falta de calor ou desperdício. Para se evitar esses contratempos, utiliza-se um tanque de armazenamento entre o coletor e o chiller.

Por conta disso, o tanque funciona como se fosse um filtro que ameniza as oscilações de insolação. Ou seja, mesmo que os coletores permaneçam por algum tempo sem receber a luz do sol, devido a uma nuvem, por exemplo, o tanque, por possuir uma certa quantidade de energia armazenada, pode continuar provendo o calor necessário para que o chiller se mantenha em operação. Uma outra situação é o momento em que a insolação é bastante elevada; mesmo que o chiller não utilize toda a energia coletada, o tanque pode armazená-la para ser utilizada posteriormente.

A água quente, em vez de se dirigir diretamente para o chiller, passará pelo tanque em serpentinas. O tanque, por sua vez, deve estar inundado de um óleo que trabalhará como armazenador térmico. Assim, o calor coletado do sol ficará armazenado dentro do tanque, o qual deve, obviamente, ser termicamente isolado. Para que o chiller possa fazer uso desta energia armazenada, outro circuito é instalado de maneira análoga. Neste outro circuito, a água passa pelo tanque de armazenamento em serpentinas, aumenta sua temperatura e segue para o chiller. Depois de alimentá-lo (o chiller), a água retorna para o tanque de armazenamento onde vai ser aquecida novamente.

3.4. Câmara de combustão

Paralelamente ao tanque de armazenamento, deverá ser acoplado ao circuito uma câmara de combustão que servirá de backup no caso de o calor fornecido pelo coletor solar não ser suficiente para manter o chiller operando. Para que este sistema funcione, o óleo do tanque de armazenamento deve ser bombeado para dentro da câmara de combustão.

Dessa forma, após receber o calor da queima do combustível, o óleo retorna para o tanque e aquece, normalmente, a água que irá alimentar o chiller até a temperatura de projeto.

3.5. Integração do sistema

Tendo em vista todos os elementos anteriores, falta integrá-los de maneira a fazer o sistema de refrigeração operar da maneira mais otimizada possível. Na literatura, foram encontrados apenas arranjos triviais e didáticos. Por isso, foi necessário criar o sistema de bombeamento, controle e recuperadores de calor. Ao final do estudo, a configuração que pareceu mais adequada foi a mostrada na Fig. 8. Ela foi baseada numa configuração para ciclo Rankine projetada por Gari et al (1988).

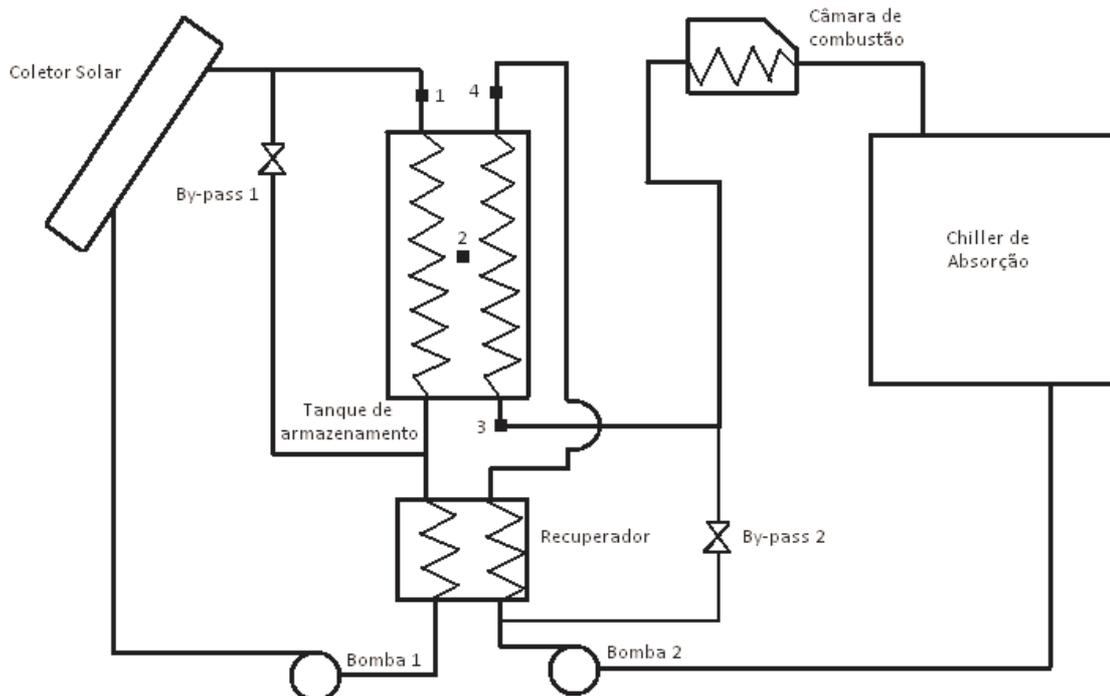


Figura 8: Esquema do sistema integrado

Para que o sistema opere de maneira adequada, ainda deve-se aplicar algumas leis de controle. Elas serão detalhadas caso a caso.

3.5.1. Água do coletor com temperatura abaixo da do tanque

Se a temperatura da água proveniente do coletor for menor que a temperatura do tanque de armazenamento, o by-pass deve ser acionado para que o tanque de armazenamento não perca calor para a água do coletor. Para isso, devem ser instalados termômetros que meçam a temperatura na entrada (1) e dentro do tanque (2). Assim, é possível usar estes sinais para controlar o by-pass 1.

3.5.2. Temperatura da água de alimentação do chiller abaixo da necessária

Se a temperatura da água que sai do tanque e segue para o chiller estiver abaixo da demandada para a operação naquele momento, é necessário ligar a câmara de combustão de maneira controlada para que a água atinja a temperatura necessária. Outro termômetro é necessário na saída do tanque (3).

3.5.3. Temperatura de entrada da água do chiller no tanque menor que a de saída

Em situações em que a câmara de combustão estiver funcionando, é possível que a temperatura do tanque esteja tão baixa que a temperatura de entrada (4) pode ser maior que a de saída (3). Neste caso o recuperador também não estará contribuindo em nada e o by-pass 2 deverá ser acionado para que não haja perdas.

É necessário analisar se é viável manter o chiller funcionando só com a câmara de combustão fazendo o aquecimento, afinal não é esse o objetivo do sistema, mas sim aproveitar a energia solar.

3.6. Análise da eficiência do sistema

Apesar de o conceito do sistema ter sido repassado, ainda não foram realizados cálculos de capacidade e consumo; as análises de caso ainda serão realizadas. Entretanto, para efeito de comparação, será utilizado um projeto da SOLCO em Chipre para a padaria industrial L'Amour Rouge Bakery. A instalação inteira tem 627m².

Com uma área de 120m² de coletores solares eles conseguiram obter 70,3kW de efeito útil. Foram usados tubos a vácuo e um chiller de LiBr-água. A economia com energia da empresa chega a 60%.

4. Estudos de caso

4.1. Hospital Universitário

No HU da USP – Capital, há uma área de radiologia que teve todo o seu sistema de ar condicionado reformado por uma empresa terceirizada. Foi instalado um chiller de compressão convencional de 70 TRs e potência nominal de 77kW que opera das 7h até as 21h.

A Tab. 2 mostra os custos com os quais seria necessário se arcar para instalar um chiller de absorção de duplo estágio que trabalha com brometo de lítio da marca BROAD, modelo BH20 de 66 TRs. O cálculo do consumo de gás natural foi feito com base na demanda por água quente do chiller, que opera a 170/155 °C (entrada e saída de água quente de alimentação) com uma vazão de 10,2m³/h. Admitindo que a insolação média em São Paulo, ao longo do ano, é de 16MJ/m².dia (segundo Atlas Solarimétrico – ver referências), distribuindo essa potência ao longo de 11 horas de “claridade”, tem-se uma insolação média de 404 W/m².

Com essa insolação, seriam necessários mais de 750m² de coletores solares de alta eficiência para que o chiller operasse apenas com energia solar. Como isso não é viável, até porque a insolação é uma variável muito instável e imprevisível, foi admitido que apenas 350m² de coletores serão instalados e o resto da energia será proveniente da queima de gás natural na câmara de combustão.

Dessa forma, é possível calcular um tempo aproximado de retorno do investimento de 12 anos. É um prazo longo, mas, com a manutenção feita de maneira adequada, a economia com energia elétrica poderá ser prolongada por mais vários anos; os equipamentos a absorção costumam ter longa vida, já que não possuem partes móveis.

Tabela 2: Comparativo entre o sistema convencional e a absorção no HU

	Convencional	Absorção
Investimento Inicial	R\$ 234.750,00	R\$ 829.875,00
Eletricidade		
Demanda ponta (kW)	77	15
Demanda fora de ponta (kW)	77	15
Consumo ponta (kWh)	231	45
Consumo fora de ponta (kWh)	847	165
Custo ponta (R\$/kWh)	0,7	0,7
Custo fora de ponta (R\$/kWh)	0,25	0,25
Custo anual com EE (R\$)	R\$ 134.442,00	R\$ 26.190,00
Gás Natural		
Consumo anual (m ³)	0	81.655,99
Custo do GN para refrigeração (R\$)	0	R\$ 0,28
Custo anual com GN	0	R\$ 22.863,68
Outras despesas		
Manutenção (anual)	R\$ 12.000,00	R\$ 36.000,00
Custo Operacional anual	R\$ 146.442,00	R\$ 85.053,68
Tempo de retorno	REFERÊNCIA	12

4.2. Loja de Pescados

O frigorífico tomado como caso de estudo foi o Pescados Cabral, o qual armazena e comercializa frutos do mar congelados. O local possui 4 câmaras frias para congelamento e resfriamento de produtos que requerem condições de ambiente variadas. É interessante lembrar que no frigorífico, por conta das temperaturas abaixo de zero, é necessário utilizar um chiller de absorção com par de trabalho água-amônia, pois este não apresentar problemas de congelamento no interior das tubulações de água gelada.

Atualmente, o local trabalha com um sistema de condensadores, tanque de gás de flash, evaporadores e compressores. A potência de refrigeração do sistema é de 15 TRs com uma potência nominal de 18 kW. As câmaras frias operam 24 horas por dia, ininterruptamente.

Para este caso, onde há uma baixa demanda de refrigeração, fica bastante interessante substituir o sistema convencional pelo a absorção empregando o chiller da SolarNext, empresa alemã, de 12kW, modelo *chillii® Cooling Kit PSC12*. Ele utiliza o par água-amônia e, por isso, pode operar a temperaturas negativas. Dessa forma, são necessários 5 chillers desse tipo para atender a demanda do Pescados Cabral.

A área necessária de coletores solares, para que o sistema funcionasse apenas com energia solar (assumindo os mesmos 404W/m² que foram utilizados para o HU) seria de 228m². Como para um estabelecimento comercial esse área é extensa demais, considerou-se que serão instalados apenas 100m². Os custos dos coletores solares, novamente, estão embutidos na conta Investimento Inicial, e foram estimados em 250 euros por metro quadrado.

A Tab. 3 mostra um comparativo entre o sistema convencional e o com chiller a absorção.

Tabela 3: Comparativo entre o sistema convencional e a absorção no Pescados Cabral

	Convencional	Absorção
Investimento Inicial	R\$ 56.250,00	R\$ 200.250,00
Eletricidade		
Demanda ponta (kW)	18	1
Demanda fora de ponta (kW)	18	1
Consumo ponta (kWh)	54	3
Consumo fora de ponta (kWh)	198	21
Custo ponta (R\$/kWh)	0,7	0,7
Custo fora de ponta (R\$/kWh)	0,25	0,25
Custo anual com EE (R\$)	R\$ 31.428,00	R\$ 2.646,00
Gás Natural		
Consumo anual (m ³)	0	54.528,82
Custo do GN para refrigeração (R\$)	0	R\$ 0,26
Custo anual com GN	0	R\$ 14.177,49
Outras despesas		
Manutenção (anual)	R\$ 6.000,00	R\$ 18.000,00
Custo Operacional anual	R\$ 37.428,00	R\$ 34.823,49
Tempo de retorno	REFERÊNCIA	81

5. Conclusões

Apesar de, conceitualmente, os chillers a absorção estarem totalmente a favor da sustentabilidade e da economia, os tempos de retorno de investimento ainda são muito longos, principalmente pelo fato de não serem fabricados no Brasil. Eles são importados principalmente da Europa, onde muitos países têm investido pesado em tecnologias sustentáveis. Isso acaba onerando demais o consumidor final por conta do câmbio e dos impostos.

Vê-se que no HU, onde um equipamento de porte médio seria instalado, o investimento retornaria em 12 anos. É um prazo longo mas que ainda mostra a viabilidade do projeto.

Por outro lado, para o frigorífico de pequeno porte, a utilização de pequenas unidades não vale a pena. O único significado do prazo de 81 anos é que, absolutamente, o projeto é inviável.

Os coletores solares europeus, de altíssimos rendimentos, também são os responsáveis pelos projetos ficarem tão caros. Foi adotado, de maneira conservadora, o valor de 250 euros por metro quadrado, o qual depois dos impostos, se converte em R\$950,00 por metro quadrado. Assim, quando o custo dos coletores solares é muito significativo no investimento inicial, o projeto tende a ficar inviável pois se está investindo muito em coleta de energia solar e pouco em capacidade de refrigeração. Junto a isso, como este trabalho está comparando o chiller a absorção com o chiller convencional, quanto maior a demanda de refrigeração, mais o chiller convencional gasta com eletricidade e mais o chiller a absorção tem a vantagem de economizar empregando o gás natural.

6. Referências

- AES Eletropaulo, <http://www.eletropaulo.com.br/portal/interna/?idConteudo=640>, acesso em 18/11/2009
- ATLAS Solarimétrico do Brasil. Recife : Editora Universitária da UFPE, 2000.
- Climate4You, www.climate4you.com, acesso em 13/04/2009
- D'Emilio, M. V. B., “Auditoria energética dos sistemas de ar condicionado no hospital universitário da Universidade de São Paulo”, São Paulo, 2005, Trabalho de formatura apresentado à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
- Desideri, U., Proietti, S., Sdringola, P., “Solar-powered cooling systems: Technical and economic analysis on industrial refrigeration and air-conditioning applications”, Applied Energy 86, 2008
- EREC, “Renewable energy technology roadmap: up to 2020”, 2005.
- Gordon, J.M., Ng, K.C., “Cool Thermodynamics”, Cambridge International Science Publishing, Cambridge, UK, 2001.
- New Buildings Institute, “Absorption Chillers Guideline”, Fair Oaks, 1998.
- NREL (National Renewable Energy Laboratory), www.nrel.gov, acesso em 13/04/2009
- Pauliello, R.J., “Análise técnica do aproveitamento eólico e solar para a conversão em energia elétrica”, São Paulo, 2006, Trabalho de formatura apresentado à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
- Re-FOCUS, “Concentrator Photovoltaic Technologies: Solar Review and Market Prospects”, www.re-focus.net, July/August 2005.
- Silicon Solar Inc, “SunMaxxTM Information Guide: Evacuated Tube Solar Collectors”, Bainbridge, 2008, www.siliconsolar.com, acesso em 05/05/2009
- SOLCO, “Solar Cooling: Overview and Recommendations”, 2009, www.solcoproject.com, acesso em 05/05/2009
- SOLID, “Solare Klimatisierung”, 2009, www.solid.at, acesso em 13/04/2009
- Stoecker, W.F.; Jones, J.W. "Refrigeração e Ar Condicionado", McGraw-Hill, 1985
- Tassou, S.A., Chaer, I., Sugiarta, N., Ge, Y.-T., Marriott, D., “Application of tri-generation systems to the food retail industry”, Energy Conversion and Management 48, 2007
- TUMA, www.empresastuma.com.br, acesso em 10/11/2009

Theoretical review and analysis of economic solar cooling systems with absorption chiller

André Kawae Suzuki

andre.kawae@gmail.com

Prof. Dr. José Roberto Simões Moreira

jrsimoes@usp.br

Abstract. Concern about the availability of energy has marked the beginning of this millennium. Because in the summer, energy demand increases dramatically due to the widespread use of air conditioning, the innovative technologies that dominate the field of refrigeration, today is a very interesting way to save energy. In this paper we will consider two possibilities to use solar energy in air conditioning systems: solar cells and absorption chillers powered by solar collectors. Technologies and practices that already exist in the market were researched to draw conclusions about their applications and feasibility.

Keywords. *Solar energy, thermal energy, air conditioning and ventilation systems*