

Avaliação de estratégias para uso racional de energia em hospital

Fernando Sirota de Azevedo

fernando.sirota@gmail.com

Resumo. O presente trabalho tem como objetivo a proposição e a avaliação de soluções para um consumo mais racional de energia elétrica em edifícios hospitalares. Para isso, foi realizada uma auditoria energética, tomando como objeto de estudo o Instituto do Câncer do Estado de São Paulo – Edifício Octavio Frias de Oliveira (ICESP). Através de dados construtivos e operacionais da edificação, foi possível criar um modelo de simulação energética do mesmo, determinando assim os usos finais de energia, e suas respectivas parcelas na demanda total. O que se pode observar das simulações, é que a energia demandada pelo sistema de condicionamento de ar é responsável por 43% do consumo total, sendo que o restante é dividido quase que igualmente entre iluminação e equipamentos, médicos e de escritório. Das soluções propostas, as mais viáveis financeiramente são a mudança da temperatura de água gelada, de 5°C para 8°C, cuja redução é da ordem de 4,7%, e a combinação da substituição dos resfriadores por outros mais eficientes, com mancais magnéticos, e o aumento da temperatura da água gelada, cuja redução é da ordem de 12%.

Palavras chave. energia, hospital, auditoria, simulação.

1. Introdução

Com a escassez dos recursos naturais presentes no planeta, a discussão referente à melhor utilização dos mesmos tem se tornado cada vez mais importante. E a energia, em suas diversas formas, se insere nesse contexto como um componente de grande relevância. O uso racional de energia é um dos grandes desafios da atualidade, e para cada uma das aplicações, devem ser estudadas alternativas de redução de consumo, sem com isso, reduzir a qualidade do produto final dessa utilização, sendo este um dos principais propósitos desse trabalho.

Hospitais de pequeno, médio e grande porte são edificações caracterizadas por uma alta demanda de energia elétrica, devida, principalmente, à não interrupção de atividades durante o período noturno, o que não se verifica em edifícios comerciais e residenciais, por exemplo. Equipamentos médicos, uma parcela da iluminação, condicionamento de ar, entre outros, são exemplos de consumos de energia em hospitais que não são interrompidos no período noturno.

O perfil de consumo energético de um hospital depende do seu tamanho e das atividades nele realizadas. De acordo com a subdivisão elaborada por Szklo et al. (2004), baseada em pesquisa realizada considerando-se hospitais distribuídos em todo o Brasil, é possível dividir os hospitais em seis categorias: Hospitais grades; Hospitais de médio porte com alto nível de conforto; Hospitais de médio porte com baixo nível de conforto; Hospitais pequenos; Hospitais com menos de 50 leitos; e Hospitais com atendimento apenas pelo Sistema Único de Saúde (SUS).

Dentre os sistemas energéticos que compõem o perfil de consumo de um hospital, destacam-se o sistema de condicionamento de ar, sendo central ou descentralizado, o sistema de iluminação interna e externa, os equipamentos elétricos instalados, o sistema de aquecimento de água, para fins de esterilização de utensílios médicos, lavanderia e banhos, e elevadores. A Tab. (1) apresenta os indicadores médios para hospitais levantados por Szklo et al. (2004).

A ocupação do hospital, ou seja, o número de usuários e funcionários presentes na edificação em um determinado espaço de tempo, também é uma medida representativa do hospital. Segundo Sanz-Calcedo et al. (2011), ela é diretamente proporcional à área construída do edifício. Além disso, o consumo anual de energia elétrica é diretamente proporcional ao número de usuários.

De acordo com pesquisa realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2005), dos 77.004 estabelecimentos de saúde em atividade ou em atividade parcial, apenas 13.097 deles apresentavam sistema central de condicionamento de ar (17% do total), 6.053 apresentavam gerador de energia elétrica de emergência (7,86% do total).

O número de hospitais, no Brasil, com sistemas centrais de condicionamento de ar é muito baixo, o que mostra uma ineficiência no consumo energético para refrigeração, já que sistemas individuais têm um maior gasto de energia para suprir a mesma carga térmica que sistemas centrais, conforme Lagreca Filho (2003), além de não apresentarem uma filtragem eficiente do ar e controle de umidade, ambos fatores importantes para a qualidade do ar no interior do edifício.

Como solução pode-se considerar a utilização de resfriadores, que fornecem água ou fluido refrigerante, a baixas temperaturas, às salas climatizadas. Dentre as opções, aparecem os resfriadores de absorção, que ao contrário dos resfriadores por compressão de vapor, demandam pouca energia elétrica para a geração de fluido frio. Essa refrigeração do fluido é feita através do fornecimento de calor a uma solução (no caso de condicionamento de ar, de LiBr e H₂O), sendo esse calor fornecido de diversas formas.

Uma alternativa para o fornecimento de calor ao resfriador, muito estudada atualmente, é a aplicação de coletores solares, como desenvolvido em vários trabalhos (Eicker, Pietruschka, 2009; Mammoli et al., 2010 e Ortiz, 2010), o que demanda uma área livre considerável para a colocação dessas placas.

Além disso, pode-se estudar a possibilidade de geração de energia, como feito em vários trabalhos (Arcuri et al., 2007; Fumo et al., 2009 e Zieher, Poredos, 2006), ou seja, geração de energia elétrica e térmica, na forma de calor e de frio, a partir da queima de um combustível fóssil. No Brasil, a utilização de gás natural seria recomendada para essa operação, devido à sua abundância e à existência, em algumas cidades, de sistema de gás encanado. Isso evitaria a dependência de algumas instituições de saúde do fornecimento de eletricidade da rede.

Tabela 1 – Indicadores médios para hospitais brasileiros segundo Szklo et al. (2004)

Indicador	GH	HMcc	HMsc	HP	<50	SUS
Densidade de leitos (leitos/m ²)	0,0048	0,0143	0,0155	0,0191	0,0310	0,0300
Energia mensal total (kWh/leitos)	3301	2682	952	977	619	248
<i>Eletricidade</i>						
Eletricidade (%)	63,6	57,0	74,4	75,7	85,4	71,5
<i>Uso final de eletricidade (%)</i>						
Iluminação	26,04	23,45	21,85	21,80	30,40	30,00
Condicionamento de ar	41,02	27,23	23,89	24,84	51,20	15,40
Aquecimento de água	4,76	8,57	12,36	13,03	15,30	25,80
Total	71,82	59,25	58,10	59,67	96,90	71,20
<i>Indicadores físicos</i>						
Iluminação (W/m ²)	5,83	11,71	5,07	9,94	11,10	3,30
Ar-condicionado (TR/100m ²)	1,58	1,65	0,54	1,54	1,54	0,31
Água quente (m ³ /leito/mês)	2,27	2,33	2,04	2,20	1,35	0,93
Participação do sistema central de condicionamento de ar	54,1	61,0	0,0	15,3	0,0	0,0

Legenda: (GH) Hospitais grandes: acima de 450 leitos, com clínica geral, cirurgia, ginecologia - obstetrícia e pediatria

(HMcc) Hospitais de médio porte com alto nível de conforto: entre 150 e 450 leitos, com UTI, e alta demanda de ar condicionado

(HMsc) Hospitais de médio porte com baixo nível de conforto: entre 150 e 450 leitos, sem UTI e com baixa demanda de ar condicionado

(HP) Hospitais pequenos: entre 50 e 150 leitos. Não é possível definir uma composição básica devido à heterogeneidade dos hospitais

(<50) Hospitais com menos de 50 leitos: sem sistema central de condicionamento de ar e sem serviço de lavanderia próprio

(SUS) Hospitais com atendimento apenas pelo Sistema Único de Saúde: classificados separadamente, já que apresentam características semelhantes às de algumas das categorias acima

Uma alternativa para o fornecimento de calor ao resfriador, muito estudada atualmente, é a aplicação de coletores solares, como desenvolvido em vários trabalhos (Eicker, Pietruschka, 2009; Mammoli et al., 2010 e Ortiz, 2010), o que demanda uma área livre considerável para a colocação dessas placas.

Além disso, pode-se estudar a possibilidade de trigeração de energia, como feito em vários trabalhos (Arcuri et al., 2007; Fumo et al., 2009 e Zieher, Poredos, 2006), ou seja, geração de energia elétrica e térmica, na forma de calor e de frio, a partir da queima de um combustível fóssil. No Brasil, a utilização de gás natural seria recomendada para essa operação, devido à sua abundância e à existência, em algumas cidades, de sistema de gás encanado. Isso evitaria a dependência de algumas instituições de saúde do fornecimento de eletricidade da rede.

Alternativas de cogeração de energia podem ser estudadas, também visando a independência do hospital da rede de eletricidade, não ficando sujeito a eventuais quedas do sistema, como realizado por Renedo (2006). Isso inclui também a aplicação de novas tecnologias à geração de energia elétrica e térmica, como células-combustível, células fotovoltaicas, e coletores solares, estratégias avaliadas por Bizzari e Morini (2006).

Para implantação de soluções, como essas mencionadas anteriormente, é necessário verificar a viabilidade técnica das mesmas. Para tanto, deve-se ter conhecimento exato dos equipamentos que serão utilizados, e a melhor maneira de selecioná-los. A *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers* (ASHRAE), Sociedade Americana de engenheiros de aquecimento, refrigeração e condicionamento de ar, especifica essas tarefas em seus *Handbooks* (2008). Além disso, um livro lançado pela mesma instituição fornece alguns direcionamentos para reformulações em sistemas energéticos prediais, conceito chamado de *Green Buildings*, ou prédios sustentáveis (2006).

Como objeto de estudo desse trabalho foi utilizado o Instituto do Câncer do Estado de São Paulo (ICESP) – Edifício Octavio Frias de Oliveira, localizado na cidade de São Paulo, sob gestão, no período de elaboração desse trabalho, do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo.

2. Metodologia

Para que o impacto de determinadas soluções sobre o comportamento da edificação seja devidamente mensurado, deve-se ater a uma determinada metodologia de análise. Primeiramente, deve-se fazer uma auditoria energética do edifício, utilizando uma ferramenta computacional, obtendo um modelo representativo da atual situação do mesmo, para que possam ser aplicadas ao modelo potenciais soluções para redução do consumo energético. Posteriormente, com conhecimento das soluções que atingem os objetivos de consumo, analisá-las quanto à sua viabilidade.

2.1. Auditoria energética

Nessa seção será feita uma descrição dessa metodologia, segundo Zhu (2006).

2.1.1. Levantamento de informações sobre a edificação

A primeira tarefa a ser realizada em qualquer auditoria energética é a obtenção de informações pertinentes à estrutura e ao funcionamento da edificação a ser estudada.

Para que seja possível uma modelagem estrutural do edifício, é necessário o conhecimento da geometria do mesmo, assim como uma caracterização detalhada de sua envoltória, incluindo detalhes construtivos, como, por exemplo, materiais utilizados.

Além disso, é necessário um dimensionamento da carga térmica interna, o que inclui equipamentos, ocupação, iluminação, etc. Em se tratando da carga referente a equipamentos, deve-se fazer, preferencialmente, uma análise separada para os diferentes tipos de equipamentos presentes na edificação, e para cada uma das zonas térmicas a serem consideradas, sejam elas andares, salas, etc. São necessárias também as especificações de funcionamento dos resfriadores centrais, das eventuais torres de resfriamento, e das unidades de tratamento de ar (UTA). Essas informações estão disponíveis nos documentos de fabricação dos equipamentos.

Quanto à iluminação, devem-se levar em consideração as diferentes configurações para diferentes zonas térmicas, sejam essas diferenças devidas à presença de diferentes tipos de lâmpadas, de diferentes consumos energéticos, à quantidade de lâmpadas em cada zona, além, é claro, do período de funcionamento das mesmas.

Além disso, deve-se obter junto à concessionária provedora de energia elétrica, a memória de massa da edificação, ou seja, o perfil de consumo apresentado para um determinado período, normalmente, nos doze meses que antecedem a auditoria. Em caso da impossibilidade de obtenção da memória de massa do edifício, análise similar pode ser efetuada, porém com menor precisão, utilizando as contas de energia elétrica dos doze meses que antecedem a auditoria.

2.1.2. Modelagem computacional da edificação

A modelagem da geometria e da envoltória do edifício pode ser feita em aplicativos de desenho tridimensional que tenham compatibilidade com o aplicativo de simulação energética, ou diretamente no aplicativo de simulação. Para ambos os casos são necessárias as plantas do edifício e os materiais com que o mesmo foi construído. Dentre os aplicativos disponíveis para tal tarefa, foi utilizado nesse projeto o *Google SketchUp*, por apresentar uma interface de fácil utilização e por ser um *software* livre.

Já para efetuar as simulações de energia, foi utilizado o *EnergyPlus*, aplicativo distribuído gratuitamente pelo Departamento Americano de Energia (*U.S. Department of Energy*), uma ferramenta muito completa e poderosa, no que diz respeito a diferentes equipamentos relacionados à geração e consumo de energia. Nele é possível efetuar cálculos de carga térmica e consumo de energia para um determinado edifício nele configurado.

Introduzindo as informações da geometria, da ocupação, dos equipamentos instalados, do sistema de ar condicionado, entre outras características do edifício, é possível obter uma primeira aproximação do funcionamento real da edificação. Ainda assim são necessários, geralmente, alguns ajustes para que o modelo seja representativo da realidade, ou seja, ainda é necessária a calibração do modelo, que é feita comparando dados reais de consumo com aqueles simulados.

Uma vez atingida uma aproximação satisfatória, pode-se definir a matriz de consumo desagregado do edifício, que distingue claramente a parcela consumida de energia por cada um dos consumidores finais, sendo eles os equipamentos instalados, o sistema de condicionamento de ar, os elevadores, a iluminação, e os outros consumidores introduzidos no modelo.

2.2. Avaliação de potenciais ações para redução de consumo e análises técnicas e econômicas das mesmas

Uma vez calibrado o modelo, podem ser implementadas as soluções propostas, e mensurados os seus impactos no consumo de energia. A proposição de soluções depende, basicamente, da edificação, e do que nela já estiver instalado, é claro, de acordo com as tecnologias a disposição.

Para se analisar a viabilidade técnica de uma solução, deve-se considerar a existência de espaço físico para a sua aplicação, se há tecnologia bem desenvolvida para tal, e se há fornecedores para os equipamentos necessários.

Já a viabilidade econômica da solução deve ser analisada do ponto de vista do tempo de amortização do investimento realizado para sua implementação. Normalmente, um tempo de amortização curto, entre um e dois anos, é preferível. Porém, para algumas soluções, esse tempo pode ser mais longo, como por exemplo, por volta de dez anos. Nesse caso, depende da equipe de gestão do edifício a escolha de uma ou outra solução, levando-se em consideração o tempo necessário para o investimento realizado para redução de consumo de energia ser pago por essa economia.

3. Caracterização do edifício

O edifício tomado como objeto de estudo para esse projeto é o Instituto do Câncer do Estado de São Paulo – Octavio Frias de Oliveira (ICESP), localizado na Avenida Doutor Arnaldo, 251, no bairro de Cerqueira César, São Paulo.



Figura 1 - Instituto do Câncer do Estado de São Paulo

3.1. Dados gerais

O edifício apresenta área construída de 82.483,36 m², para uma área projetada de 4.647,16 m², composta de um edifício principal e duas torres, em um total de 28 andares, sendo quatro subsolos, construído em um terreno de 7.209,20 m².

Atendendo em especial pacientes diagnosticados com câncer, o ICESP apresenta uma grande diversidade de atividades, entre elas ambulatorios, radiologia, diagnóstico, medicina laboratorial, cirurgia, e internações. O hospital conta com um total de mais de 680 leitos, sendo mais de 100 deles berços, tendo, porém, apenas metade deles em atividade quando da elaboração desse projeto, mais de 40 salas cirúrgicas, e em torno de 140 consultórios.

3.2. Usos finais de energia elétrica

Dentre os usos finais de energia, destacam-se o sistema de condicionamento de ar, a iluminação interna, os equipamentos, tanto os de escritório quanto os de fins médicos e laboratoriais, e os elevadores.

3.2.1. Condicionamento de ar

O sistema de refrigeração do edifício é composto por três unidades resfriadoras de água de 500 toneladas de refrigeração (TR) cada, de coeficiente de desempenho (COP) de 5,1, quando trabalhando em plena carga, e ainda uma unidade resfriadora de água de 192,5 TR, com COP de 5,4 também a plena carga. Os resfriadores de 500 TR apresentam compressores centrífugos, fluido refrigerante R134a, e vazão de 250 m³/h de água gelada que passa pelo evaporador, entrando a 10,5°C e saindo a 4,5°C, conforme folhas de dados, para um total de 290 m³/h de água de condensação.

Já o resfriador de 192,5 TR tem compressor do tipo parafuso, fluido refrigerante R134a, com vazão de água gelada de 100 m³/h, entrando a 10,3°C e saindo a 4,5°C, e vazão de água de condensação de 115 m³/h. O funcionamento ou não das unidades resfriadoras depende da carga térmica a ser retirada.

As torres de resfriamento estão localizadas na cobertura do prédio anexo ao ICESP, sendo no total quatro torres, cada uma com capacidade para 250 m³/h de água.

Os condicionadores de ar, responsáveis pelo resfriamento do ar a ser insuflado nos ambientes, são de três tipos: *fancoil* modular, *fancoil* convencional e *fancolete*.

3.2.2. Iluminação interna

Foram utilizadas para a iluminação interna, em sua grande maioria, lâmpadas fluorescentes de 16 e 32 W, instaladas em luminárias adequadas a cada tipo de ambiente. No caso de ambientes que visam o conforto dos pacientes e funcionalidade a enfermeiras e médicos, combinam-se luminárias fluorescentes tubulares e compactas. Em salas cirúrgicas, além da iluminação geral com lâmpadas fluorescentes, são utilizados focos cirúrgicos com lâmpadas

scyalíticas. Em locais de espera foi adotada uma iluminação mais amena, utilizando-se lâmpadas fluorescentes compactas.

Os corredores apresentam, além da iluminação para o período diurno, uma iluminação de vigia, utilizada como iluminação noturna, permanentemente ligada.

3.2.3. Equipamentos médicos e de escritório

Equipamentos de escritório, como computadores e periféricos, encontram-se em escritórios médicos, escritórios de engenharia e de automação predial. Já equipamentos com finalidade médica, tanto com baixa quanto com alta potência, podem ser encontrados em leitos, UTIs, laboratórios, consultórios e salas de cirurgia.

3.2.4. Elevadores

O edifício conta com 18 elevadores utilizados de maneira exclusiva, sendo que a utilização é dividida para uso de pacientes, acompanhantes e funcionários, nutrição e copa, central de armazenamento de materiais, centro cirúrgico, heliporto, emergências, e limpeza e higienização.

4. Resultados

4.1. Modelo de Simulação

Em posse dos documentos “*as built*” de construção civil do edifício, foi possível criar um modelo de simulação da envoltória. E a partir dos dados de ocupação, equipamentos e atividades de cada uma das áreas, criou-se um modelo preliminar da edificação como um todo.

4.1.1. Modelagem da envoltória e subdivisão em zonas térmicas

Inicialmente foi necessário determinar como seria feita a divisão em zonas térmicas, visando obter um modelo simplificado da edificação. De acordo com a distribuição físico-funcional da edificação, pode-se dividir os andares em cinco subgrupos. Esses subgrupos são: Térreo, Clínica e Laboratórios, Leitos, Cirurgia e Subsolos.

O térreo será considerado separadamente no modelo por apresentar uma área maior, quando comparado aos outros pavimentos. Os quatro subsolos apresentam layout semelhante ao do piso térreo e, portanto, as suas subdivisões em zonas térmicas serão feitas como a do térreo

Foram considerados como andares de clínica e laboratórios os andares em que são realizadas atividades diagnósticas, de escritório, e técnicas. Assim, essa caracterização engloba os seguintes andares: do 1º ao 8º pavimento, o 15º e o 23º pavimentos, totalizando 10 andares. Os leitos e as unidades de terapia intensiva e semi-intensiva estão agrupados nos seguintes pavimentos: do 9º ao 11º andar, e do 16º ao 22º andar. As cirurgias são efetuadas no 12º, 13º e 14º pavimentos.

Uma vez definidas as zonas térmicas a serem consideradas, foi possível fazer o modelo, no aplicativo Google SketchUp, da edificação. Cada uma das zonas definidas anteriormente será simulada com um fator multiplicativo, correspondente ao número de andares com tal aplicação. Assim, por exemplo, o andar de leitos implementado no Google SketchUp representa os dez andares de leitos do hospital.

As torres leste e oeste, por apresentarem, para todos os pavimentos, as mesmas atividades, serão representadas no modelo por apenas uma zona térmica cada, a ser multiplicada pelas 23 pavimentos.

As dimensões da envoltória são fiéis às presentes nos documentos “*as built*” disponibilizados pelo ICESP, assim como as dimensões e a localização das janelas presentes na edificação. Na Fig. (2) é mostrado o modelo da envoltória.

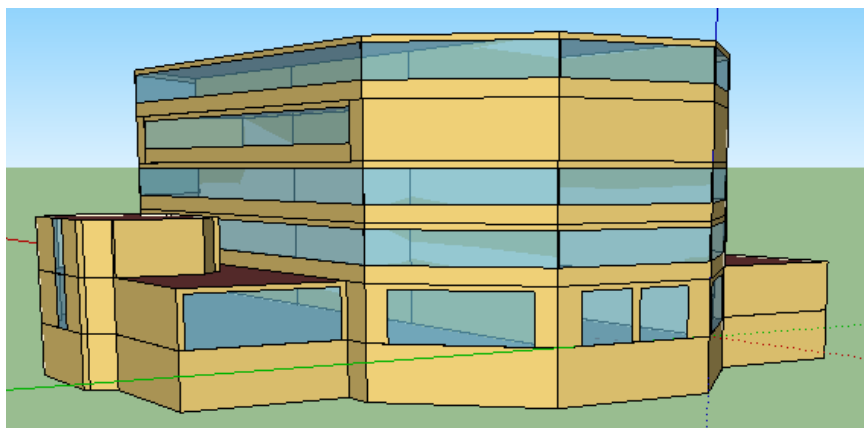


Figura 2 - Modelo virtual da envoltória

4.1.2. Configuração do modelo em *EnergyPlus*

Além de configurar a envoltória do edifício, é necessário configurar materiais de construção, as cargas térmicas, sistema de condicionamento de ar, e os períodos de simulação no *EnergyPlus*.

Os materiais construtivos que constituem paredes, pisos e forros foram configurados de acordo com os materiais utilizados na construção do edifício. Isso se aplica também às janelas e portas de vidro encontradas nas fachadas.

Devido à dificuldade em determinar o cronograma de atividades referentes à ocupação, iluminação, ao funcionamento do sistema de condicionamento de ar e de elevadores, do ICESP, para viabilizar a simulação, foram tomados como base os valores sugeridos pela ASHRAE (2007). Porém, esses valores são relativos a clínicas e estabelecimentos médicos sem grande atividade no período noturno, o que não representa o ICESP de maneira satisfatória. Assim, os cronogramas de leitos e cirurgias foram modificados.

Para o cálculo da carga térmica devida à ocupação, foi considerado que as pessoas estão em atividade semelhante à de escritório, ou seja, entre 1,0 e 1,2 met, equivalente a 130 W. Já quanto à densidade de pessoas em cada uma das zonas térmicas, foi assumido que em área de repouso de pacientes há um total de 0,15 pessoas/m², enquanto que em áreas de consultório e salas de espera foi considerado um total de 0,3 pessoas/m². Nos locais de cirurgia, e também nas áreas de elevadores, considerou-se uma densidade de 0,1 pessoas/m².

A iluminação foi considerada como sendo de 10 W/m². Já a potência instalada de equipamentos foi considerada de 9,5 W/m² para leitos, escritórios, salas de espera, consultórios e salas cirúrgicas, de 11W/m² para o subsolo, e de 3,5 W/m² para elevadores.

Para se fazer uma melhor comparação entre o modelo de simulação e o edifício real, no que diz respeito ao consumo energético, é usual considerar-se um período de 12 meses. Assim, as simulações foram efetuadas iniciando-se em 1º de janeiro, e terminando-se em 31 de dezembro. Com isso é possível comparar os consumos em todas as estações do ano. Como arquivo base de condições climáticas, foi usado um registro de 18 anos de monitoramento horário climático, o *International Weather for energy Calculations* (IWEC), disponibilizado pela ASHRAE (2001), referente à cidade de São Paulo.

4.2. Simulações

Os dados de consumo de energia fornecida pela concessionária, no caso a ELETROPAULO, entre os meses de janeiro de 2010 e outubro de 2011, são apresentados na Fig. (3).

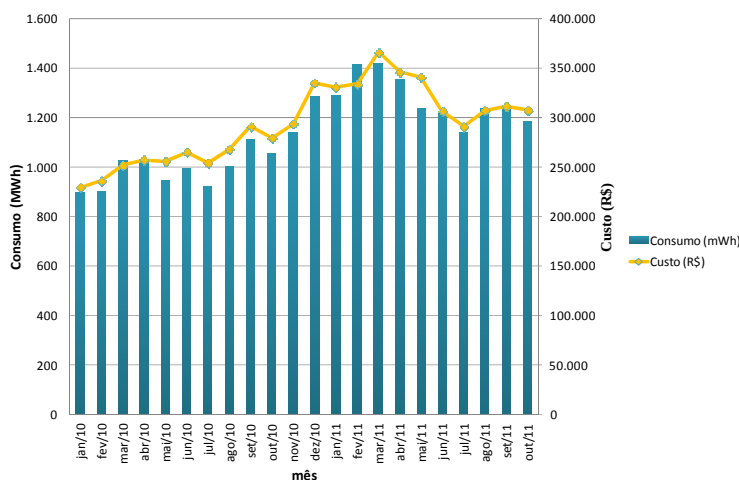


Figura 3 – Consumo de energia do ICESP entre janeiro de 2010 e outubro de 2011

No perfil de consumo pode-se observar um salto no consumo de energia de um ano para o outro, quando comparados, entre si, os consumos dos primeiros meses de cada um dos anos. Esses aumentos apresentam-se entre 20% e 50%, comparando-se os meses entre janeiro e outubro. Esse aumento pode ser explicado por um crescimento na ocupação do edifício, como, por exemplo, na abertura de novos leitos e maior número de consultas médicas, além de um aumento na potência total instalada, através da colocação de novos equipamentos médicos ou de escritório.

Com isso, não é possível considerar todo o período entre janeiro de 2010 e outubro de 2011 para fazer comparações entre o consumo real e o consumo obtido através das simulações. Isso se deve ao fato de as simulações considerarem um ano inteiro de ocupação do edifício, sem considerar, entretanto, aumento na ocupação ou de potência instalada. Assim, a comparação de consumos energéticos levará em conta apenas os meses entre janeiro e outubro de 2011, podendo considerar que, no ano em questão, a ocupação e a potência instalada não se alteraram. As duas curvas de consumo, real do edifício e obtida através da simulação, são apresentadas na Fig. (4).

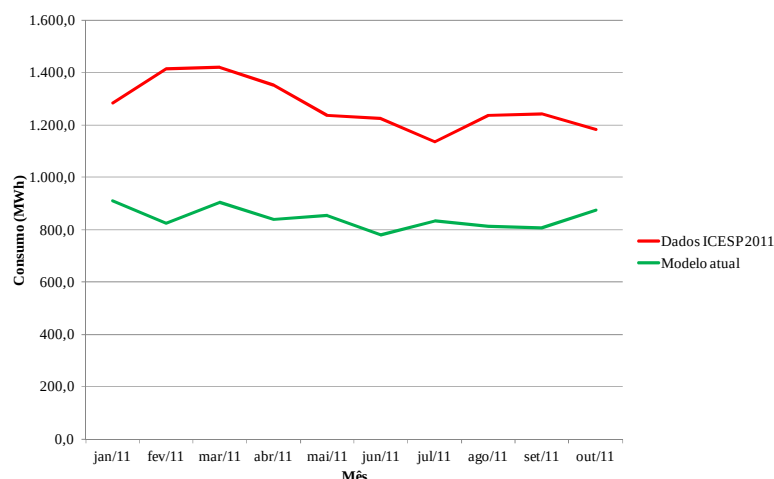


Figura 4 - Comparação de consumos ICESP – Simulação

No que diz respeito ao comportamento das curvas entre os meses, as curvas apresentam grande semelhança, com picos nos períodos mais quentes do ano, já que é nessa época que o consumo do sistema de ar condicionado se intensifica, e consumos mais baixos nas épocas mais frias do ano. Porém, observa-se ainda a existência de um patamar entre todos os meses do ano simulado. Esse erro se deve, em grande parte, à dificuldade em se definir um cronograma de atividades próximo ao encontrado no ICESP. Uma aproximação foi feita para tentar aproximar o cronograma ao do edifício real, porém ainda manteve-se um erro como mostrado anteriormente. Mas, como as curvas apresentam um mesmo comportamento, o modelo pode ser considerado válido para a análise.

No que diz respeito à distribuição dos consumos de energia, para os três usos finais principais, equipamentos, iluminação e condicionamento de ar, foi possível, a partir da simulação do modelo, obter a matriz de consumo desagregado do hospital. O que se pode observar é uma preponderância do consumo em condicionamento de ar, 43,3% do total, sobre os consumos com iluminação, 27,9%, e equipamentos, 28,8%, sendo eles médicos e de escritório.

O consumo do sistema de ar condicionado considera não apenas o consumo com a geração de água gelada nos resfriadores, responsável por quase 79% dessa demanda, mas também pelas bombas de água gelada primária e secundária e bombas de água de condensação, responsáveis por 15%, pelos ventiladores responsáveis por levar o ar resfriado aos difusores, cuja parcela representa 4%, e pelos ventiladores das quatro torres de resfriamento, sendo esses responsáveis por 2% do total consumido com o condicionamento do ar.

É possível fazer uma comparação entre a matriz de consumo desagregado obtida na simulação com aquela verificada por Szklo (2004), levantada a partir de diagnóstico energético de 20 hospitais brasileiros, além de entrevistas com muitos outros hospitais no país. Essas informações foram apresentadas na Tab. (1).

A partir da subdivisão adotada por Szklo, o ICESP se enquadra nas características de um hospital de grande porte (GH). Segundo o estudo, o consumo final de energia elétrica para o condicionamento de ar em hospitais desse grupo é em torno de 41%, enquanto que a iluminação é responsável por 26%.

4.3. Impacto de soluções para redução do consumo de energia

Em posse de um modelo de simulação que represente a edificação real, no que diz respeito ao consumo energético, é possível verificar o impacto de soluções de redução de consumo na demanda de energia. Uma vez mensurada essa redução, pode-se fazer uma análise econômica da solução.

4.3.1. Compressores com mancais magnéticos

Compressores com mancais magnéticos apresentam elevada eficiência, quando comparados a compressores convencionais, devido à redução das perdas por atrito. Apesar do alto investimento demandado, o tempo de retorno do investimento é razoável, uma vez que a redução no consumo de energia, quando aplicado a unidades resfriadoras, pode chegar a 0,28 kW/TR, conforme informação de fabricantes. Para esse estudo, será considerado o compressor DANFOSS TURBOCOR, com aplicação em refrigeração no Brasil pelas Indústrias TOSI.

Em se tratando dos três resfriadores de 500 TR, esses serão substituídos por três resfriadores do modelo MS600F1L2W2H1, também com R134a como fluido refrigerante, com capacidade nominal de 600 TR, porém limitados eletronicamente a 528 TR, prática comum para a TOSI, visando alto nível de desempenho, isso porque o compressor é controlado para trabalhar em uma condição de maior eficiência. Com isso, o COP das unidades passa, quando operando em carga total, de 5,1 para 6,2. O resfriador de 192,5 TR não será substituído.

A substituição dos três resfriadores de 500 TR faz com que a redução de consumo de energia elétrica para resfriamento da água caia em 17,7%, o que leva a uma redução média mensal de 6,28% no total consumido.

Deve-se ressaltar que os resfriadores instalados no edifício, quando da elaboração desse trabalho, se encontram em boa condição de uso, e longe do final de sua vida útil. Assim, no caso da substituição dos mesmos por outros mais eficientes, pode-se considerar que eles ainda podem ser utilizados em outras edificações.

4.3.2. Modificação no *setpoint* das unidades resfriadoras

Atualmente, as unidades resfriadoras estão configuradas para fornecer água gelada a 5°C. Serão verificados, nessa etapa, os impactos de diferentes estratégias de controle no consumo de energia dos resfriadores.

Considerando a manutenção da carga térmica a ser retirada dos ambientes climatizados, e que o coeficiente global de troca de calor entre a água gelada e o ar não sofre grande alteração com a mudança da temperatura da água, não há necessidade de se aumentar a vazão de água gelada, não levando assim a um aumento do consumo de energia com as bombas de água gelada primária e secundária.

Como não foi possível obter as curvas de desempenho dos resfriadores da TRANE, instalados no ICESP quando da elaboração desse trabalho, o impacto do aumento do *setpoint* será obtido de maneira aproximada. Conforme indicam as folhas de dados dos resfriadores, as temperaturas de condensação e de evaporação do fluido refrigerante são, respectivamente, 37,11°C e 3,28°C. Portanto, é possível obter o rendimento do ciclo termodinâmico real, quando comparado ao ciclo real de Carnot. Essa relação entre o COP real e o COP do ciclo de Carnot será considerada constante para a análise, e de 62,5%.

Outra hipótese considerada é a de que a diferença entre as temperaturas de entrada e saída da água e a temperatura de mudança de fase do fluido refrigerante será constante com a mudança de temperatura de água gelada. Assim, aumentando o *setpoint* de 5,0°C para 6,0°C, o COP dos resfriadores aumenta para 5,27. Já para água gelada de 7,0°C, o COP aumenta para 5,46, e para 8°C, o COP atinge 5,66 em carga total. A partir de simulações, modificando o COP dos resfriadores, é possível obter o consumo anual de energia para cada uma das situações.

O aumento de temperatura da água gelada para 6°C faz com que o consumo de energia dos resfriadores caia em 5,2%, o que representa uma diminuição média de 1,8% no consumo de energia. Já para 7°C essa redução média do total consumido é de 3,4%, e para 8°C de 4,7%, para reduções de demanda dos resfriadores de 9,8% e 13,6%, respectivamente.

4.3.3. Combinação das duas soluções propostas

Fazendo a substituição dos resfriadores de 500 TR da TRANE pelos de 600 TR da TOSI, limitados eletronicamente, como explicitado no Item 4.3.1, é possível se fazer uma análise semelhante à feita no Item 4.3.2 para as mudanças de temperatura de água gelada. Porém, em posse da folha de dados dos resfriadores MS600F1L2W2H1, é possível obter resultados mais próximos da realidade dos resfriadores.

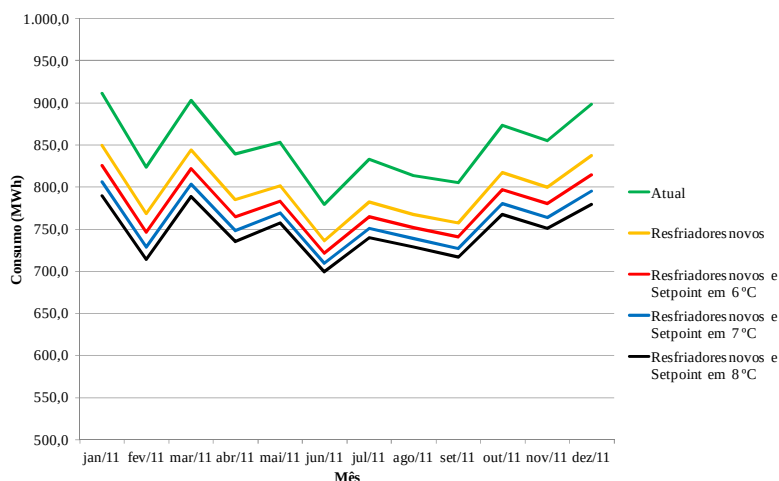


Figura 5 – Impacto da combinação das soluções

Para um *setpoint* de 5°C, o COP dos resfriadores é 6,2. Aumentando esse *setpoint* para 6°C, o COP aumenta para 6,6. Já para 7°C, o COP chega a 7,0 em carga total. Finalmente, com temperatura de água gelada de 8°C o COP é de 7,4.

Fazendo simulações para essas outras três condições, os consumos anuais de energia são os mostrados na Fig. (5). Como já foi observado no Item 4.3.2, a substituição dos resfriadores, mantendo-se as condições de operação, faz com que o consumo total de energia caia em 6,28%. Agora, modificando-se o *setpoint* para 6°C, a redução de energia chega a 8,56%, sendo que os resfriadores apresentam uma redução de 24,3%. Para 7°C a queda na demanda de energia é ainda maior, de 10,4% do total, e para 8°C esse valor chega a 11,9%.

No próximo item será feita uma análise financeira das soluções, verificando-se as suas viabilidades econômicas.

4.4. Análise financeira de soluções para redução de consumo de energia

A partir dos resultados apresentados nos itens anteriores é possível verificar o impacto financeiro de suas implementações.

Dos resultados apresentados anteriormente, o que gera uma maior economia de energia é a combinação das duas soluções, para um *setpoint* de 8°C, cuja redução é de, em média, 11,9%. Assim, será feita uma análise de fluxo de caixa para a mesma, verificando a sua viabilidade. Além disso, será verificado o retorno financeiro da modificação da temperatura da água para 8°C sem, contudo, substituir os resfriadores.

4.4.1. Combinação das duas soluções propostas

Antes de se fazer a análise financeira dessa solução, são necessárias algumas hipóteses. Elas são decorrentes de não se ter, no momento da elaboração desse relatório, as contas de energia dos meses de novembro e dezembro de 2011. Com isso, é necessário determinar qual o consumo desses meses para poder usá-los como comparação com o resultado da implementação da solução. Assim, será considerado que o desvio do valor real e do valor simulado será a média dos meses anteriores, no caso, 33,5%.

A partir disso pode-se analisar o impacto da substituição dos resfriadores e a mudança do *setpoint* da máquina para 8°C em termos financeiros, levando-se em consideração que a redução percentual de consumo apresentada pelo modelo pode ser transposta para a situação real. O que se pode observar é que a economia mensal média da implementação dessa solução é um pouco superior a R\$38.000,00.

Segundo a TOSI, fabricante dos resfriadores, cada uma das unidades custa em torno de R\$1.200.000,00, considerando também os custos de instalação das máquinas. Por isso, será considerado que o investimento inicial da solução é de R\$3.600.000,00. Para essa situação, a TIR é de 9,47%. Apesar de ser uma taxa de juros baixa quando comparadas às de financiamento direto com bancos, existem algumas alternativas. A principal delas é um financiamento do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES).

Como o Instituto do Câncer se trata de um hospital público, o BNDES apresenta algumas linhas de financiamento com juros inferiores à atratividade. É o caso do BNDES Finame, financiamento através de instituições financeiras credenciadas, para produção ou aquisição de máquinas e equipamentos novos fabricados no Brasil por empresas credenciadas no BNDES, como é o caso da TOSI. Nessa linha de financiamento, a taxa de juros é composta por três parcelas: A taxa de juros de longo prazo, que no ano de 2011 foi de 6% a.a.; a remuneração básica do BNDES, de 0,9% a.a.; e a taxa de intermediação financeira, de 0,5%. Isso totaliza uma taxa de juros total de 7,4%. Para essa taxa, o VPL da implementação é de R\$477.313,57.

4.4.2. Mudança da temperatura de água gelada para 8°C

Utilizando as mesmas hipóteses do Item 4.4.1 é possível obter o impacto financeiro da mudança de *setpoint* dos resfriadores para 8°C. O retorno financeiro anual é de R\$182.879,87 e o investimento, como comentado anteriormente, é nulo.

5. Conclusões

Uma vez criado o modelo de simulação, baseado em dados construtivos e de funcionamento do edifício estudado, que representa satisfatoriamente a edificação real, foi possível verificar o impacto gerado pela implementação das soluções propostas.

As duas mais atrativas, a mudança de *setpoint* dos resfriadores, saindo de 5°C de água gelada para 8°C, e a substituição dos resfriadores por outros mais eficientes, com mancais magnéticos, combinada com a mudança de *setpoint* se mostraram viáveis técnica e economicamente. A primeira delas não demanda investimento, ao contrário da segunda, que necessita de um financiamento, que pode ser fornecido pelo BNDES, através da linha Finame.

Alguns aprimoramentos ainda podem ser feitos no modelo. O primeiro deles visa aproximar ainda mais o modelo da condição de operação real do ICESP, e é um monitoramento preciso do cronograma de funcionamento do edifício, estudando a variação de ocupação, iluminação e funcionamento dos equipamentos instalados para as diferentes horas do dia, e para dias de semana, finais de semana e feriados. Isso faria com que o patamar entre a curva de consumo real e a de simulação diminuísse consideravelmente.

Outro complemento é a introdução das curvas reais dos resfriadores considerados, ou seja, qual o funcionamento dos mesmos em carga parcial e carga total para diferentes temperaturas de água gelada e água de condensação. Essas informações não são de fácil acesso com os fabricantes e, por isso, não foram consideradas. Isso faria com que o consumo de energia simulado dos resfriadores se aproximasse mais do consumo real.

Como etapa complementar desse trabalho poderia ser feito um estudo de índices de consumo de energia em hospitais no Brasil, algo ainda pouco feito para hospitais, mas já consolidado em edifícios de escritórios, centros comerciais e hotéis. Além disso, outras soluções poderiam ser avaliadas para o ICESP, uma vez em posse desse modelo em *EnergyPlus*.

Agradecimentos

O autor agradece a colaboração dos responsáveis pela administração predial do ICESP, ao fornecer as informações referentes à edificação necessárias para a elaboração desse trabalho.

Referências

- ARCURI, P.; FLORIO, G.; FRAGIACOMO, P. A mixed integer programming model for optimal design of trigeneration in a hospital complex. *Energy*, Cosenza, Itália, vol. 32, p. 1430 – 1447, 2007.
- ASHRAE 2008 HANDBOOK; HEATING, VENTILATING, AND AIR-CONDITIONING SYSTEMS AND EQUIPMENT. American Society of heating, refrigerating and air-conditioning engineers, 2008.
- ASHRAE Greenguide: the design, construction, and operation of sustainable buildings. American Society of heating, refrigerating and air-conditioning engineers. 2^a ed. Atlanta, GA, 2006. 394 p.
- ASHRAE. International Weather for Energy Calculations (IWECC weather files): Users Manual and CD-ROM, Atlanta, GA. 2001.
- BIZZARRI, G.; MIRINI, G. L. New technologies for an effective energy retrofit of hospitals. *Applied Thermal Engineering*, Ferrara, Itália, vol. 26, p. 161 – 169, 2006.
- BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. Oferece informações de linhas de financiamento e taxas de juros aplicáveis. Disponível em: <www.bndes.gov.br>. Acesso em novembro de 2011.
- EICKER, U.; PIETRUSCHKA, D. Design and performance of solar powered absorption cooling systems in office buildings. *Energy and Buildings*, Stuttgart, Alemanha, vol. 41, p. 81 – 91, 2009.
- FUMO, N.; MAGO, P. J.; CHAMRA, L. M. Energy and economic evaluation of cooling, heating, and power systems based on primary energy. *Applied Thermal Engineering*, Mississippi, EUA, vol. 29, p. 2665 – 2671, 2009.
- ESTATÍSTICAS DA SAÚDE – ASSISTÊNCIA MÉDICO-SANITÁRIA 2005. Rio de Janeiro: IBGE, 2005.
- LAGRECA FILHO, H. Escolha de sistemas de ar condicionado. 71 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.
- MAMMOLI, A. et al. Energetic, economic and environmental performance of a solar-thermal-assisted HVAC system. *Energy and Buildings*, Albuquerque, EUA, vol. 42, p. 1524 – 1535, 2010.
- ORTIZ, M. et al. Modeling of a solar-assisted HVAC system with a thermal storage. *Energy and Buildings*, Albuquerque, EUA, vol. 42, p. 500 – 509, 2010.
- RENEDO, C. J. et al. Study of different cogeneration alternatives for a Spanish hospital center. *Energy and Buildings*, Santander, Espanha, vol. 38, p. 484 – 490, 2006.
- SANZ-CALCEDO, J. G. et al. Influence of the number of users on the energy efficiency of health centers. *Energy and Buildings*, Badajoz, Espanha, vol. 43, p. 1544 – 1548, 2011.
- SZKLO, A. S.; SOARES, J. B.; TOLMASQUIM, M. T. Energy consumption indicators and CHP technical potential in the Brazilian hospital sector. *Energy Conversion and Management*, Rio de Janeiro, Brasil, vol. 45, p. 2075 – 2091, 2004.
- U.S. DEPARTMENT OF ENERGY: energy efficiency & renewable energy. Oferece a informações e possibilidade de baixar o aplicativo *EnergyPlus*. Disponível em: <apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus>. Acesso em abril de 2010.
- ZHU, Y. Applying computer-based simulation to energy auditing: A case study. *Energy and Buildings*. Miami, EUA, vol. 38, p.421 – 428, 2006.
- ZIEHER, D.; POREDOS, A. Economics of trigeneration system in a hospital. *Applied Thermal Engineering*, Ljubljana, Slovênia, vol. 26, p. 680 – 687, 2006.

Evaluation of strategies for the rational use of energy in hospitals

Fernando Sirota de Azevedo

fernando.sirota@gmail.com

Abstract: This study intends to propose and evaluate solutions for a more rational energy consumption in hospitals and health care facilities. Through an energy auditing, taking the Cancer Institute of the State of São Paulo (ICESP) as the model site, and in possession of its constructive and operational data, it was possible to create a simulation model, which represents satisfactorily the real building, determining the distribution of energy end use, that was divided in three categories: Heating, Ventilating and Air conditioning (HVAC), Lighting and Equipments. After simulations, it was observed that the HVAC systems are responsible for 43% of the total energy demand, and the rest is almost equally divided between the lighting system and the equipments. The more viable solutions evaluated, changing the cold water temperature setpoint, from 5°C to 8°C, which doesn't involve initial investments, and substituting the water chiller for others more efficient, with magnetic bearings, with an initial cost of R\$3.600.000,00, also changing the cold water temperature, reduce total energy consumption in 4,7% and 11,9%, respectively.

Keywords: energy, hospital, auditing, simulation.