

CIDEL Argentina 2006
Congreso Internacional de Distribución Eléctrica

USO DE RECURSOS NATURAIS PARA REDUÇÃO DE CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA EM EDIFICAÇÕES

Marta Garcia Baltar, Luís Alberto Pereira e José Wagner Maciel Kaehler
PPGEE - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica
Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul
telefone: 55 51 3320 3540; e-mail: martagb@gmail.com, lpereira@ee.pucrs.br e kaehlerj@pucrs.br

Palavras-chaves — Eficiência energética, consumo de energia elétrica, conforto térmico, edificações, setor hospitalar.

Resumo — O artigo aborda o tema da promoção do combate ao desperdício de energia elétrica e de seu uso racional como um requisito a ser levado em conta desde a fase de projeto de edificações. Analisando os requisitos de conforto térmico das edificações no Brasil, constata-se que estes na prática não são cumpridos. Constata-se que a indústria da construção não tem como preocupação o conforto térmico de seus empreendimentos. Isso tem repercussão no consumo de eletricidade, uma vez que os usuários das edificações passam a utilizar equipamentos elétricos para suprir os requisitos de conforto desejados. Apesar da crescente disponibilidade de materiais e tecnologias para serem aplicados em projetos, a indústria da construção esquece ou omite o uso de recursos que a própria natureza coloca a disposição para que as construções possam dispor de conforto térmico. Assim desperdiçam grandes oportunidades de economizar energia, elevando os custos por não levar em consideração estes princípios desde o projeto arquitetônico até o produto final. Medidas como proteção adequada contra insolação, utilização de materiais de grande inércia térmica, uso da ventilação natural, são algumas das alternativas que podem ser utilizadas juntamente com materiais, equipamentos e tecnologias construtivas vinculadas à eficiência energética. Desta forma, o emprego de materiais e de novas técnicas de construção tem como consequência direta redução da necessidade do uso de energia elétrica e outros energéticos para o conforto térmico. Assim sendo, torna-se de interesse para a indústria da construção a discussão do uso destas tecnologias a partir da concepção dos empreendimentos, visando fomentar programas de edificações energeticamente eficientes a fim de enquadrar as obras dentro de padrões ambientalmente favoráveis agregando valores aos produtos oferecidos à sociedade. Este trabalho apresenta simulações realizadas através de métodos computacionais, que permitem avaliar alternativas arquitetônicas que minimizem a demanda de energia para fins de condicionamento térmico e atendam

todos os requisitos de conforto e assepsia dos quartos de internação de um estabelecimento hospitalar. Através das simulações constatou-se que com o isolamento térmico as trocas térmicas do interior com o exterior são minimizadas, conseqüentemente diminuindo o consumo energético do ar condicionado.

1. INTRODUÇÃO

A estrutura do setor elétrico brasileiro nas últimas décadas foi marcada por uma forte influência governamental e pela aplicação de tarifas reduzidas em relação ao mercado internacional. Como consequência, havia pouco interesse em medidas de redução de consumo ou no aumento da eficiência de processos até alguns anos atrás. Porém, devido a alterações recentes na estrutura do setor elétrico, existe atualmente uma preocupação muito grande com a redução do consumo e uso racional da energia elétrica, tanto da parte da iniciativa privada como de órgãos governamentais. Desta forma, é crescente o número de programas e projetos implantados visando estabelecer uma nova conscientização para o uso eficiente da energia elétrica. Programas com estas características também podem ser implantados na construção civil visando reduzir o consumo de energia e, além disso, assegurar o condicionamento térmico das edificações, tanto no inverno como no verão. Conforto térmico pode ser definido como o estado de espírito que reflete a satisfação com o ambiente térmico que envolve uma pessoa [1].

A prática atual entre os projetistas e construtores tem sido pautada pela desconsideração dos recursos que a natureza coloca à disposição. Tais recursos podem ser usados e são capazes de colaborar de forma eficaz para proporcionar o máximo de conforto térmico. Dentre estes recursos salientam-se: a proteção adequada contra a insolação no verão; o amortecimento das variações de temperatura por meio de materiais de grande inércia térmica; a ventilação com ar tomado em microclimas favoráveis; o aproveitamento da insolação no inverno e o isolamento racional de superfícies externas para proteger os ambientes habitados contra trocas indesejáveis de calor e condensação. A consideração destes recursos

naturais, desde a elaboração do projeto arquitetônico permite, na maior parte do Brasil, construir edificações com condicionamento térmico aceitável aliado a um mínimo consumo de energia.

Grande parte das construções atuais são construídas em concreto, sem proteção contra insolação, sem inércia térmica (uso de materiais leves), não levando em consideração os recursos naturais disponíveis. Esta prática nem sempre proporciona conforto adequado para os usuários, além de acarretar um consumo de energia maior do que necessário.

O artigo divide-se em oito partes, nesta primeira parte são apresentados os aspectos fundamentais do conforto térmico bem como a sua relação com a matriz energética brasileira. A segunda parte apresenta aspectos sobre o consumo de energia nas edificações. A terceira parte aborda o conforto térmico como requisito de eficiência energética. A quarta parte apresenta medidas para a redução do consumo de energia nas edificações. A quinta parte é referente ao conforto térmico no setor hospitalar. A sexta parte mostra os principais dados que foram obtidos com o programa de simulação numérica, o *EnergyPlus*. A sétima parte se refere a um estudo de caso no setor hospitalar e a oitava parte apresenta a conclusão.

2. ENERGIA X CONFORTO TÉRMICO

A importância do consumo de energia elétrica relacionado ao conforto térmico pode ser melhor avaliado considerando-se distribuição do consumo de energia e a matriz energética brasileira, onde nos últimos anos evoluiu o relacionado aos setores residencial, comercial e público. A energia elétrica no setor de edificações residencial, comercial e público é utilizada desde o processo de fabricação dos materiais até a fase final de construção, sendo também utilizada em função da ocupação e operação das edificações, como elevadores, bombas, equipamentos de automação, e de forma mais intensiva em sistemas de iluminação e condicionamento térmico.

As edificações dos setores residencial, público e comercial, consomem 42% do total de energia elétrica gerada no Brasil [2], sendo o aquecimento responsável por 26% do consumo de energia elétrica no setor residencial e o ar condicionado por 48% nos setores público e comercial. Nas Figuras 1 e 2 é possível observar a distribuição dos usos finais nos diferentes setores.

O potencial de redução do consumo em edificações pode ser resumido da seguinte forma:

- 20 a 30% da energia elétrica consumida seria suficiente para o funcionamento das edificações;

- 30 a 50% da energia elétrica consumida é desperdiçada devido a fatores como: falta de

controles adequados da instalação; falta de manutenção e também por mau uso;

- 25 a 45% da energia elétrica é consumida indevidamente devido a má orientação da edificação e principalmente pelo projeto inadequado de suas fachadas[3].

Pelos dados anteriores, pode-se verificar que existe um grande potencial de economia de energia relacionado com o uso da energia para fins de conforto térmico.

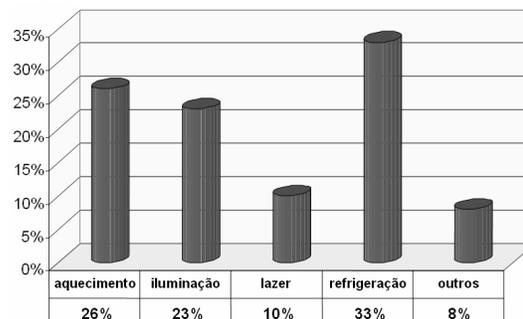


Figura 1 - Usos finais no setor residencial [3]

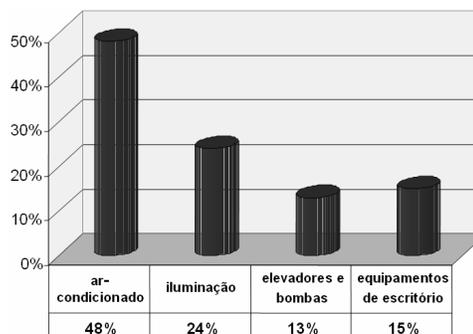


Figura 2 - Usos finais nos setores público e comercial [4]

3. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NAS EDIFICAÇÕES

A conservação de energia e o uso responsável das fontes energéticas foram as alternativas encontradas por muitos países para vencer a crise do petróleo na década de 70. Como consequência, o uso racional de energia passou a ser uma opção vantajosa, devido ao fato de que reduzindo o consumo de energia elétrica não haveria necessidade de realizar novas instalações de fontes de energia [6]. O avanço tecnológico passou a oferecer equipamentos mais eficientes e o conceito de eficiência energética passou a vigorar no cotidiano das pessoas. De acordo com [7] o conceito de eficiência energética está estritamente vinculado ao serviço energético disponibilizado e se refere à cadeia energética como um todo, isto é, desde a extração (ex. extração de petróleo) ou transformação (ex. geração hídrica) até o uso final (ex. ar condicionado).

Nas edificações o consumo de energia elétrica é necessário para atender os requisitos de conforto dos usuários, tanto térmico quanto luminoso, e também em equipamentos de circulação (ex. elevadores, escadas rolantes), comunicação (ex. máquinas), entre outros. A eficiência energética está relacionada a aspectos de consumo, sendo que no requisito de conforto a avaliação da eficiência energética relaciona-se com aspectos culturais e de hábitos, juntamente com considerações de ordem fisiológica, sendo estes responsáveis pela concepção do projeto arquitetônico.

Com um bom planejamento, é possível construir um edifício que demande 45% menos energia que outro com as mesmas características. Para tanto, é necessário adequar os recintos habitáveis às condições climáticas locais, usando materiais e técnicas apropriadas, tendo em vista o uso racional de energia [5]. Existem também estudos aplicados à demanda final de energia por setor econômico, que incorporam modelos de revisão do potencial de economia de energia, quando considerada a eficiência energética dos equipamentos mais modernos. Para o setor comercial, estes estudos mostram ser possível diminuir a demanda de energia em até 50%, com projetos de edifícios energeticamente eficientes [8].

4. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E CONFORTO TÉRMICO

A eficiência energética do sistema de condicionamento térmico encontra-se diretamente relacionada às características das edificações, clima, uso e tipo de ar condicionado. Através da interação destas características é possível determinar o desempenho energético e o conforto térmico das edificações. Além disso, o desempenho energético está ligado às trocas de calor de uma edificação com o meio ambiente, que variam de acordo com a temperatura ambiente, velocidade dos ventos, radiação solar e umidade relativa do local que se encontra inserida a construção, além das condições de ocupação e de operação da edificação. Além disso a eficiência energética está diretamente relacionada com as questões ambientais, tendo em vista que a energia é obtida a partir do meio-ambiente e, após ser transformada e utilizada, é rejeitada em sua totalidade de volta ao meio ambiente sob diferentes formas de rejeitos [7].

Atualmente, devido a globalização da economia, o gerenciamento energético tem recebido atenção, principalmente nos requisitos de eficiência e competitividade. Assim, faz-se necessário a adoção de medidas que proporcionem a racionalização no uso de energia, eliminando desperdícios. Desta forma a racionalização energética nas edificações passou a ser prioritária. Isto exige uma revisão dos padrões vigentes,

sobretudo nos grandes centros urbanos, onde a concentração de edificações resulta numa demanda de energia bastante elevada.

Um dos maiores responsáveis pelo consumo elevado de energia elétrica é o sistema de ar condicionado, devido a este fato, os projetos arquitetônicos devem englobar desde o princípio o processo de aquecimento e resfriamento ambiental que tem como finalidade atender o conforto humano nos ambientes habitados.

Para que seja realizado o aquecimento ambiental podem ser utilizadas duas alternativas: o aquecimento por meios artificiais e o aquecimento por meios naturais. Na primeira alternativa, o aquecimento é baseado na energia elétrica ou combustível fósseis, devido ao uso de equipamentos e instalações específicas (ex. aquecedores, ar condicionado caldeiras, entre outros). Na segunda alternativa, o aquecimento é fornecido através do calor gerado pelo sol, podendo ser utilizado como forma de melhorar as condições de conforto quando a temperatura de um determinado ambiente estiver entre 10,5°C e 20°C.

Quando a temperatura ficar entre 14°C e 20°C o aquecimento pode ser obtido através do aquecimento solar passivo com isolamento térmico, que ocorre quando se utilizam os ganhos de calor interno (ex. pessoas, aparelhos elétricos, entre outros) evitando a perda de calor da edificação para o exterior, através de isolamento térmico ou pelo uso de massa térmica com aquecimento solar passivo. Neste caso, o calor solar fica armazenado nas paredes das edificações e é devolvido para o interior do ambiente nas horas mais frias, quase sempre no período noturno. Quando a temperatura ficar entre 10,5°C e 14°C o uso do aquecimento solar passivo é indicado, porém o isolamento deve ser mais intenso, pois quanto mais baixas as temperaturas, maiores serão as perdas de calor [2].

5. CONFORTO TÉRMICO NO SETOR HOSPITALAR

Como descrito anteriormente, questões relacionadas ao desempenho térmico das edificações são de grande importância, porém, neste artigo será destacado o setor hospitalar, devido ao fato de que o conforto térmico é essencial para a recuperação dos pacientes. As edificações hospitalares necessitam atender condições mínimas de conforto requeridas pelos usuários, para que não comprometa o processo de cura e restabelecimento dos pacientes.

Algumas edificações hospitalares apresentam partidos arquitetônicos e sistemas construtivos sem levar em conta as características da área e do clima, caracterizando um espaço que não satisfaz as necessidades básicas de conforto térmico. Certamente, estas condições interferem negativamente na motivação e restabelecimento dos

seus pacientes. Desta forma, este artigo tem como objetivo analisar os índices de conforto térmico de um hospital, em um dia típico de inverno, propondo soluções para atender as necessidades de conforto térmico, visando um ambiente agradável com o mínimo consumo energético.

Através de métodos computacionais foi possível simular e avaliar recursos naturais que minimizem a demanda de energia para fins de condicionamento térmico e atenda todos os requisitos de conforto e assepsia dos quartos de internação do estabelecimento hospitalar, de acordo com os índices de temperatura especificados na NBR-6401, Tabela 1. Os recursos serão utilizados para possibilitar a diminuição do consumo de energia e conseqüentemente poderão melhorar o perfil da curva de carga da edificação, reduzindo as despesas operacionais com energia elétrica.

Tabela 1 – Condições internas para inverno

Temperatura de Bulbo Seco (TBS) - °C	Umidade Relativa (UR) - %
20 - 22	35 - 653

Fonte: NBR – 6401, 1980 [9]

6. SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS

As simulações computacionais realizadas para avaliar o estudo de diferentes alternativas arquitetônicas que minimizam a demanda energética para fins de conforto térmico nos quartos de internação do Hospital Bruno Born foram realizadas com o programa *EnergyPlus*.

Os principais resultados obtidos foram:

a) **Índices de PMV:** avaliação do conforto térmico através do modelo de FANGER, também denominado PMV – Voto Médio Previsto, determinado através de uma equação geral de conforto segundo a combinação das variáveis: temperatura do ar, temperatura radiante média, velocidade do ar, umidade relativa, atividade física e vestimenta. O PMV consiste em um valor numérico que representa as respostas subjetivas de sensação de desconforto por frio e calor, sendo um índice representativo da sensação térmica que utiliza uma escala de sete ou nove pontos [10].

b) **Temperatura interna dos quartos:** variação da temperatura da edificação em função das diferentes combinações de alternativas de projeto (ex. tipos de vidro) para manter o conforto térmico necessário no ambiente.

c) **Consumo elétrico.**

As simulações foram realizadas no dia 21 de Julho, dia típico de inverno, estipulado pela ASHRAE [10]. Para garantir que o condicionamento de ar tenha rendimento satisfatório, trabalhou-se com 99,6% de frequência de ocorrência cumulativa anual para o inverno. O índice de PMV foi analisado de acordo com a escala de sete pontos, descritos na Tabela 2.

Tabela 2 - Escala de sensação térmica de 7 pontos

Valor da Sensação Térmica (PMV)	Descrição
+ 3	Muito quente
+ 2	Quente
+ 1	Ligeiramente quente
0	Confortável
- 1	Ligeiramente frio
- 2	Frio
- 3	Muito frio

Fonte: Lamberts, 1997 [2]

7. ESTUDO DE CASO

O estudo de caso foi realizado no Hospital Bruno Born, localizado no município de Lajeado, Vale do Taquari, a 117 km de Porto Alegre, RS, Brasil. O hospital simulado possui 13 quartos de internação, totalizando uma área de 225,21 m², localizada no 2º pavimento da edificação, conforme a planta baixa apresentada na Figura 3. Os dados sobre construção, ocupação e equipamentos elétricos do Hospital, levantados *in loco* estão descritos na Tabela 3.



Figura 3 – Planta baixa da área simulada do hospital

Tabela 3 – Dados do Hospital Bruno Born

	QUARTO 1 ao QUARTO 6 ABERTURAS OESTE	QUARTO 7 ao QUARTO 13 ABERTURAS LESTE
PAREDES EXTERNAS	rebocada na cor amarela - 3 cm tijolo maciço - 19 cm rebocada na cor branca - 3 cm	rebocada na cor amarela - 3 cm tijolo maciço - 19 cm rebocada na cor branca - 3 cm
PAREDES INTERNAS	rebocada na cor branca - 3 cm tijolo furado - 9 cm rebocada na cor branca - 3 cm	rebocada na cor branca - 3 cm tijolo furado - 9 cm rebocada na cor branca - 3 cm
PISO	reboco na cor azul - 3 cm laje de concreto - 10 cm argamassa - 1 cm lajota - 1 cm	reboco na cor azul - 3 cm laje de concreto - 10 cm argamassa - 1 cm lajota - 1 cm
FORRO	lajota - 1 cm argamassa - 1 cm laje de concreto - 10 cm reboco na cor azul - 3 cm	lajota - 1 cm argamassa - 1 cm laje de concreto - 10 cm reboco na cor azul - 3 cm
JANELA	vidro simples 3 mm	vidro simples 3 mm
PORTAS	madeira 3 cm	madeira 3 cm
Nº DE LEITOS	2	1
AR CONDIC.	---	7500 btu's
FUNCIONAM. AR CONDIC.	---	08h - 15h 19h - 23h
ILUMINAÇÃO	2 lâmp. fluor. e 2 reatores (32W) 2 lâmp. fluor. compactas (16W)	2 lâmp. fluor. e 2 reatores (32W) 1 lâmp. fluor. e 1 reator (16W)
FUNCIONAM. ILUMINAÇÃO	lâmp. fluor. (32W) - 17h - 20h lâmp. compac. (16W) - 20h - 22h	lâmp. fluor. (32W) - 17h - 20h lâmp. fluor. (16W) - 20h - 22h
EQUIPAM. ELÉTRICOS	ventilador (65W)	frigorbar (70W) televisão (60W)
FUNCIONAM. EQUIPAM. ELÉTRICOS	---	frigorbar - 24h/dia televisão - 9h - 23h

Foram realizadas 3 simulações no programa *EnergyPlus*, sendo uma de acordo com o caso real, onde somente os quartos com aberturas para o leste possuem ar condicionado, e as demais com ar condicionado em todos os quartos e diferentes tipos de vidros, com o objetivo de ilustrar que recursos naturais diminuam o consumo energético.

A primeira simulação realizada foi a do caso real, onde foi analisado o ar condicionado de 7500 Btu/h é suficiente para manter os ocupantes em conforto. De acordo com os resultados das figuras a seguir nota-se que os ocupantes não se encontram na faixa de conforto, nem nas horas que o ar condicionado está ligado, pois o índice de PMV possui somente escala menor que -1 e a máxima temperatura foi de 15,73°C às 14 horas e às 22 horas no quarto 7, onde deveria estar entre 20 - 22°C. Outro resultado importante é o consumo diário de 35,28 kW, sendo o ar condicionado o maior consumidor de energia, pois a curva de carga atinge o ápice nos horários em que ele está em funcionamento.

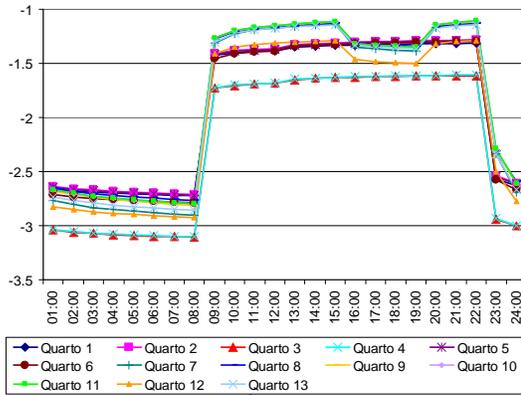


Figura 4 – Índice de PMV

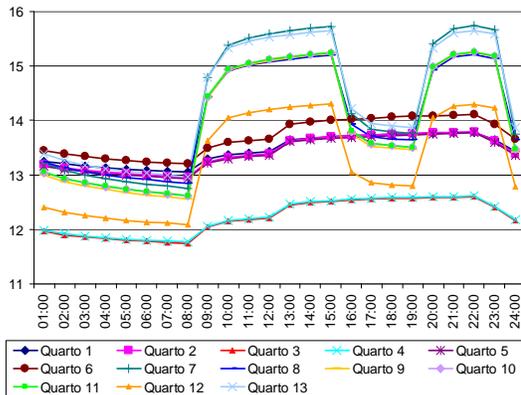


Figura 5 – Temperatura interna dos quartos

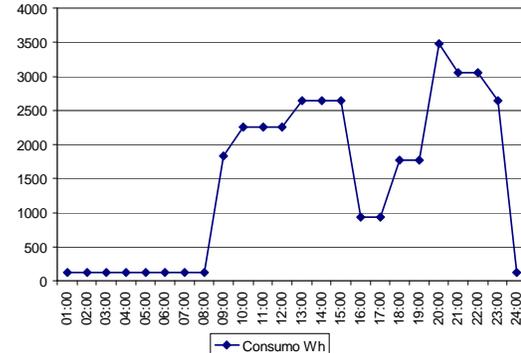


Figura 6 – Consumo de energia

A segunda simulação foi realizada com os dados reais da construção, porém com o ar condicionado funcionando 24 horas por dia em todos os quartos e com a potência necessária para suprir os índices de conforto. Com esta simulação nota-se que os ocupantes se encontram na faixa de conforto durante o dia, entretanto no período em que os pacientes estão dormindo é normal que o PMV seja negativo, pois neste momento a taxa de utilização de energia gasta durante a realização de atividades físicas (taxa metabólica) é menor. Neste estudo foi verificado que realmente o ar condicionado é o maior consumidor de energia elétrica, devido ao fato do consumo diário ter sido 176,83 kW.

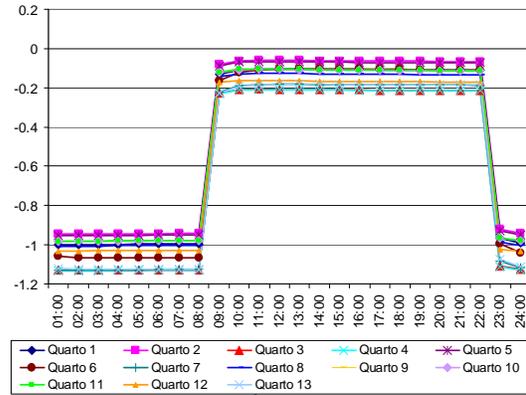


Figura 7 – Índice de PMV

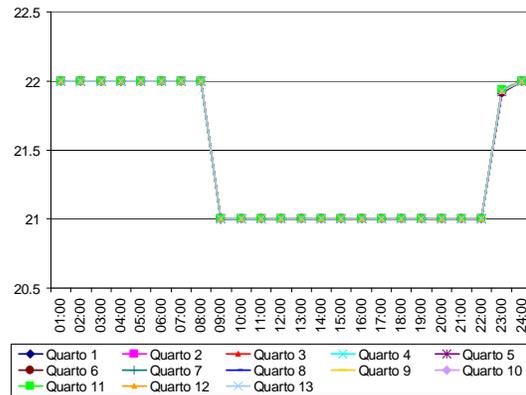


Figura 8 – Temperatura interna dos quartos

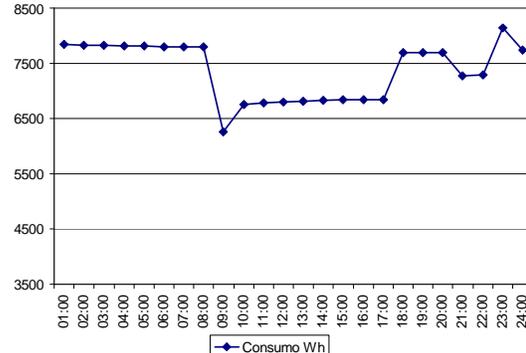


Figura 9 – Consumo de energia

Com o intuito de diminuir o consumo energético e manter os ocupantes dos quartos em conforto foi realizada uma simulação utilizando vidros duplos com película externa na cor cinza média e com 0,5 cm de espaço de ar entre eles. Nesta simulação os ocupantes permaneceram na faixa de conforto durante o dia, e no período noturno o PMV se manteve negativo, devido a taxa metabólica ser menor. Com este estudo pode-se verificar que com uma técnica construtiva simples de isolamento térmico é possível diminuir as trocas térmicas do interior com o exterior, mantendo o calor interno e conseqüentemente utilizando menos energia no uso do ar condicionado. Nesta simulação o consumo energético foi 121,43 kW.

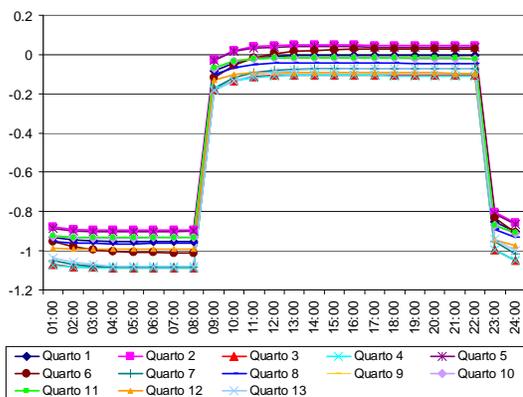


Figura 10 – Índice de PMV

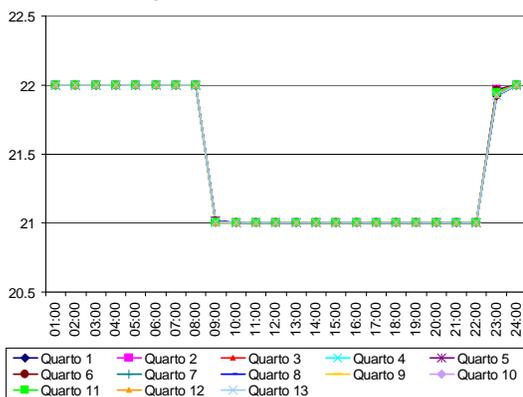


Figura 11 – Temperatura interna dos quartos

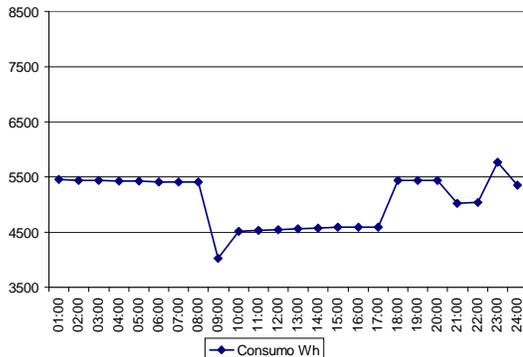


Figura 12 – Consumo de energia

8. CONCLUSÃO

As soluções construtivas e os materiais utilizados nas edificações são responsáveis pelo consumo de energia das edificações. Considerando o custo da energia elétrica e a sua importância estratégica, todos os setores que utilizam energia de forma excessiva deveriam adotar medidas para seu uso racional.

A correta utilização de materiais construtivos possibilita o uso de recursos naturais que minimizam os gastos energéticos nos sistemas de climatização, conforme apresentado neste artigo.

Analisando os gráficos dos índices de PMV e de temperaturas internas dos quartos foi possível notar que somente utilizando o ar condicionado 24 horas por dia com a potência necessária para suprir os índices de conforto os ocupantes encontram-se em níveis satisfatórios de conforto. Entretanto, analisando as curvas de consumo de energia notou-se que o uso de vidros com diferentes propriedades físicas diferem no consumo energético diário, pois com o vidro duplo com película o consumo energético diário foi de 121,43 kW, isto é 55,4 kW a menos do que com vidro simples. Sendo assim, se conclui que através de matérias construtivas adequadas para o conforto térmico é possível diminuir o consumo energético nas edificações.

BIBLIOGRAFIA

- [1] TOLEDO, L. M. A., *Diagnóstico Energético: Arquitetura e Eficiência Energética*. GEPEA (Grupo de Energia do Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas da Escola Politécnica da USP), São Paulo
- [2] LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R., *Eficiência Energética na Arquitetura*. PW Editores, São Paulo, 1997.
- [3] MASCARÓ, J. L.; MASCARÓ, L. E. R., *Incidência das variáveis projetivas e de construção no consumo energético dos edifícios*, 2ª edição, Sagra-DC Luzzatto, Porto Alegre, 1992.
- [4] AAE, Agência para aplicação de energia, *Manual de Administração de Energia*. São Paulo, 1997.
- [5] PROCEL, Programa Nacional de Conservação de Energia, *Manual de Conservação de Energia Elétrica – Prédios Públicos e Comerciais*. Eletrobrás, 1994.
- [6] BALESTIERE, J. A. P., *Cogeração: geração combinada de eletricidade e calor*. Editora da UFSC, Florianópolis, 2002.
- [7] KAEHLER, J. W. M., *Un outil d'Aide à la Décision et de Gestion des Actions pour la Maîtrise de la Demande d'Énergie - de la Conception au Développement*, Tese de Doutorado - Ecole Nationale Supérieure des Mines, Paris, 1993.
- [8] PATUSCO, João Antônio Moreira (Coord.), *Balço Energético Nacional*, Ministério das Minas e Energia. Brasília, 2003.
- [9] ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas, *NBR 6401 Instalações centrais de ar-condicionado – Parâmetros básicos de projeto*. Rio de Janeiro, 1980.
- [10] ASHRAE, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., *ASHRAE Handbook Fundamentals*. Atlanta, 2001.