

INFLUÊNCIA DO ENVELOPE CONSTRUTIVO NO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DE UM HOTEL EM FLORIANÓPOLIS - SC

Cecília Ponte Soares Facó (1); EneDir Ghisi (2); Claudia Morishita (3)

(1) Engenheira Civil, cecilia_faco@yahoo.com.br

(2) PhD, Professor do Departamento de Engenharia Civil, enedir@labeee.ufsc.br

(3) Arquiteta, Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil,
claudiamorishita@labeee.ufsc.br

Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, Cx Postal 476, Florianópolis-SC, 88040-900, Tel.: (48) 3721 5184

RESUMO

O objetivo deste artigo é avaliar a influência do envelope construtivo no consumo de energia elétrica de uma edificação por meio de simulação computacional. Utilizou-se o programa VisualDOE, versão 2.61. A edificação escolhida foi um hotel, ainda em construção, localizado na cidade de Florianópolis – SC. Foram avaliados os efeitos da variação da infiltração de ar externo e da divisão do pavimento tipo em 3 e 11 zonas no modelo a ser simulado no programa. Pelo fato das cargas internas de iluminação e equipamentos serem elevadas, optou-se por analisar separadamente o caso baseado na edificação real e um caso fictício com carga reduzida a um terço, sendo assim possível analisar a influência da carga interna no consumo de energia elétrica. Definiu-se as alternativas para melhoria da eficiência energética da edificação, simulando diferentes tipos de vidros, de paredes, áreas de janela na fachada, absorvâncias de fachada e larguras de elementos de proteção solar horizontais. Ao analisar os resultados dos processos de simulação e estudo das alternativas, pode-se afirmar que a edificação estudada não se classifica no padrão das edificações hoteleiras anteriormente estudadas em outras pesquisas. Conclui-se que o envelope construtivo da edificação em estudo está, de forma geral, adequado às condições climáticas em que a edificação está inserida, pois os percentuais de economia obtidos com as alternativas simuladas são relativamente baixos. Isto se deve ao fato da edificação utilizar paredes com baixa transmitância térmica e janelas com vidros adequados.

Palavras-chave: simulação computacional, eficiência energética, envelope construtivo.

ABSTRACT

The objective of this article is to analyse the influence of the envelope on the energy consumption of a building by using computer simulation. Version 2.61 of the VisualDOE computer programme was used. The building chosen for analysis was a hotel, still under construction, located in Florianópolis, southern Brazil. The influence of air infiltration and division of the floor plan of the model into 3 and 11 thermal zones on the energy consumption results were estimated. As internal lighting and equipment thermal loads are high, it was deemed necessary to study the case set from the real building and a case with thermal load reduced to one third of the original figure. Thus, it was possible to assess the influence of internal loads on the energy consumption of the building. Different types of glasses, walls, window areas, façade absorptance and solar protection horizontal components width were the alternatives assessed to improve the energy efficiency of the building. By analysing the results, it is possible to conclude that the building envelope is adequate to the climatic conditions in which it is located, once the potential for energy savings obtained by simulating different alternatives for the envelope were quite small. This is due to the fact that the building is constructed with low transmittance walls and proper window glazing.

Keywords: computer simulation, energy efficiency, building envelope.

1. INTRODUÇÃO

É inegável o papel da energia elétrica no desenvolvimento social e econômico de uma nação. Após a crise energética enfrentada pelo Brasil em 2001, o tema da conservação e uso racional de energia elétrica passou a ser debatido como nunca havia sido anteriormente (ELETROBRÁS, 2001).

De acordo com dados do Procel Info (2007), em edifícios públicos e comerciais, o consumo de ar condicionado representa 47% do consumo total de energia elétrica enquanto a iluminação representa 22%. Em Florianópolis, de acordo com dados fornecidos pela concessionária de energia elétrica - Centrais Elétricas de Santa Catarina S.A., para o ano de 2004, o consumo do setor comercial em Florianópolis foi de aproximadamente 35% (CELESC, 2005).

O estudo do envelope construtivo e suas respectivas trocas de calor (condução, convecção e radiação) entre o ambiente interno e externo é de extrema importância, pois exercem grande influência no desempenho térmico e energético de uma edificação (LAMBERTS et al., 1997). Um edifício energeticamente eficiente deve obedecer basicamente a três critérios: máquinas e materiais que sejam adequados à localidade, prover de facilidades e serviços de acordo com seu uso pretendido e operar de tal maneira que apresente baixo uso de energia quando comparado a edifícios similares (MEIER et al., 2002).

O estudo realizado por Deng e Brunett (2000) em 16 hotéis em Hong Kong mostra que o sistema de condicionamento de ar representa cerca de 32% do consumo total de energia elétrica neste tipo de edificação. São discutidos os fatores que influenciam o consumo de energia em hotéis tais como data de construção, classe do hotel, ocupação, dentre outros, além das dificuldades em avaliar o desempenho energético, tais como variabilidade nos padrões de uso dos apartamentos e seus equipamentos e das áreas de lazer.

Há várias alternativas que reduzem a carga térmica do edifício e conseqüentemente a energia utilizada para condicionamento do ar, tais como escolha correta de materiais e cores da fachada, correta orientação do edifício, redução da área envidraçada e uso de isolamentos térmicos.

A simulação computacional de edificações permite, através da modelagem da edificação e da definição dos seus padrões de uso e ocupação, realizar estudos acerca da influência do envelope construtivo no seu desempenho térmico.

Dentre os programas de simulação desenvolvidos em outros países se destacam o NBSLD, o COMFIE, o BLAST, o ESP-r, o TRNSYS, o DOE e o EnergyPlus, sendo estes dois últimos os mais utilizados pelos pesquisadores (LAMBERTS et al., 2005).

Iqbal e Al-Homoud (2006) investigaram o impacto de diferentes medidas de conservação de energia elétrica no consumo anual e mensal de um edifício de escritórios, através do programa VisualDOE. O estudo foi desenvolvido em um edifício de seis andares, utilizando calibração do caso-base através de faturas de energia elétrica de quatro anos consecutivos.

Os programas de simulação são reconhecidos como ferramentas capazes de reproduzir o comportamento energético de uma edificação, desde que o usuário saiba manipulá-lo e insira corretamente os dados de entrada para a análise. Estes processos de simulação são importantes não apenas para edifícios em fase de projeto como também para edifícios já construídos nos quais se deseja que sejam feitas adaptações no sentido de usar racionalmente a energia elétrica.

2. OBJETIVO

O objetivo deste artigo é apresentar o potencial de economia de energia elétrica em uma edificação hoteleira em fase de construção na cidade de Florianópolis, através de simulação computacional utilizando o programa Visual DOE (versão 2.61), submetendo o projeto original a alterações no seu envelope construtivo.

3. MÉTODO

As duas principais etapas deste trabalho são: 1) Modelagem da edificação no programa; 2) Propostas de melhoria na eficiência energética por meio de alterações no envelope construtivo.

3.1. Modelagem da edificação no programa

O empreendimento estudado é um hotel projetado pelo escritório Marchetti & Bonetti, localizado em Florianópolis-SC. Sua construção foi finalizada em 2006, mas estava em fase de construção durante a realização deste trabalho. Trata-se de um hotel de alto luxo localizado à Avenida Beira Mar constituído de 16 pavimentos sendo 12 pavimentos tipo, cada um com área de 407,30 m² e um total de 116 suítes.

As fachadas laterais e frontal são revestidas com placas de granito afastadas da parede, sendo que esta é composta de blocos maciços de concreto celular rebocados internamente, e a fachada dos fundos, composta

por blocos de concreto celular é rebocada em ambos os lados e pintada na cor cinza. A pele de vidro da fachada frontal é dupla e composta por vidro refletivo prata de 8mm, bem como os vidros laterais. Entre os pavimentos tipo da fachada frontal e em parte das fachadas laterais são instalados elementos horizontais de proteção solar de painéis *reynobond* (chapas mistas de alumínio de alta resistência e polietileno de baixa densidade) de largura variável, avançando em média 30 cm da fachada. A Figura 1 mostra a planta baixa do pavimento tipo, que mede 23mx18m e a Figura 2 mostra uma foto da edificação em fase de construção (junho de 2006). O norte magnético (108°) foi determinado por meio de bússola e o norte geográfico (90° em relação à fachada frontal) por meio do programa Declinação Magnética.

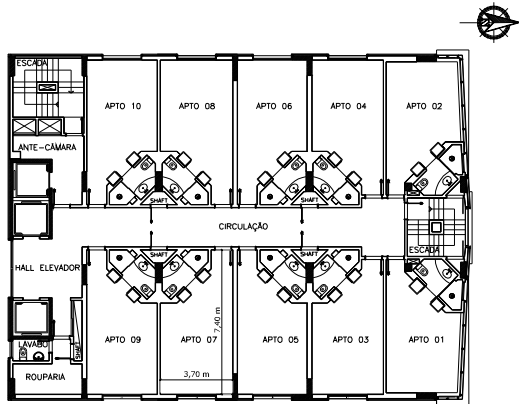


Figura 1- Planta baixa do pavimento tipo.



Figura 2 - Imagem da fachada em fase de construção (junho 2006).

3.1.1. Geometria e entorno da edificação

A geometria de uma edificação é representada através de zonas térmicas no programa VisualDOE. Essas são definidas a partir da observação de características semelhantes entre ambientes vizinhos, e para cada zona definem-se propriedades térmicas dos elementos construtivos. Um conjunto de zonas forma um bloco, para o qual são definidas as propriedades construtivas do envoltório.

Os pavimentos subsolo, térreo, mezanino e ático foram inseridos no modelo dentro de um único bloco que possui uma única zona não condicionada e nenhum tipo de dispositivo consumidor de energia. Apesar de não fazerem parte do objeto de estudo, esses pavimentos isolam os pavimentos tipo do contato direto com o solo e da radiação direta na cobertura, precisando também ser modelados.

No pavimento tipo, somente as suítes são condicionadas artificialmente, portanto, para avaliar a influência da divisão das zonas térmicas no consumo de energia, duas situações foram analisadas: divisão do pavimento tipo em 3 e 11 zonas térmicas. A Figura 3 mostra a divisão do pavimento tipo em 3 zonas térmicas e a Figura 4, em 11 zonas térmicas.

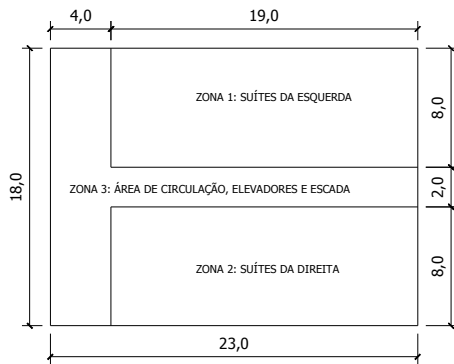


Figura 3 – Divisão do pavimento tipo em 3 zonas térmicas.

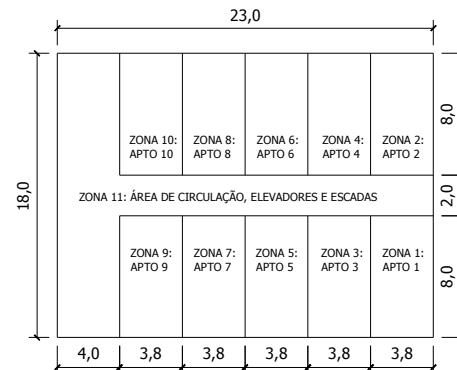


Figura 4 – Divisão do pavimento tipo em 11 zonas térmicas.

O entorno da edificação foi pesquisado a partir de visitas ao local e consultas aos projetos, especialmente no que se refere às edificações adjacentes que podem eventualmente causar sombras, sendo então inseridas no programa determinando-se as coordenadas em que se encontram e suas dimensões.

3.1.2. Definição do caso-base

Foram criados inicialmente 10 modelos para avaliar a influência das duas opções de zonas térmicas e de infiltração no consumo de energia elétrica da edificação. Para cada opção de zona térmica a infiltração

(trocas de ar por hora) foi variada entre 0,0 e 2,0 trocas/h em intervalos de 0,5 trocas/h. Paralelamente, outros 10 modelos foram criados com a carga interna (equipamentos e iluminação) reduzida a um terço (modelo “carga reduzida”) para análise destes parâmetros, permanecendo as outras características inalteradas.

Foi criado um modelo denominado “carga reduzida”, com um terço da carga de iluminação e equipamentos do modelo original denominado “carga alta”. Este procedimento foi tomado pelo fato dos resultados das primeiras simulações apresentarem altos valores de consumo de energia, criando desconfiância de que este problema pudesse ser advindo das altas cargas internas.

3.1.3. Definição das aberturas

Na Tabela 1 pode se observar as características relacionadas às aberturas de cada fachada. As esquadrias das fachadas laterais e de fundo possuem abertura horizontal basculante e a pele de vidro da fachada frontal não possui aberturas.

Tabela 1 – Caracterização das esquadrias e vidros.

Fachada	Número de Esquadrias	Dimensão das Esquadrias (m)			Vidros			Largura das proteções horizontais (m)
		Altura	Largura	Altura de Peitoril	Tipo	Cor	Espessura (mm)	
Frontal	2	2,70	3,60	0	laminado duplo	prata neutro	8 + câmara de ar + 6	0,3
Lateral Esquerda	1	2,70	1,20	0	laminado duplo	prata neutro	8 + câmara de ar + 6	0,3
	4	2,00	2,00	0,40	laminado simples		8	não há
Lateral Direita	1	2,70	1,20	0	laminado duplo	prata neutro	8 + câmara de ar + 6	0,3
	4	2,00	2,00	0,40	laminado simples		8	não há
Fundos	1	2,00	2,80	0,40	laminado simples	prata neutro	8	não há
	1	2,00	0,90	0,40				não há

3.1.4. Propriedades térmicas dos elementos construtivos

As propriedades térmicas dos elementos construtivos foram calculadas como recomenda a norma NBR 15220-2 (ABNT, 2005). Para cálculo da transmitância térmica a norma, além de considerar a resistência térmica do componente e a resistência superficial interna, considera também a resistência superficial externa. Esta, apesar de não ter seu valor exposto no programa, é considerada nos cálculos durante a simulação. Para os elementos transparentes, foram utilizados os vidros da base de dados do programa. Por não ser possível criar ou modificar os existentes, foram escolhidos aqueles que mais se assemelhavam aos vidros da edificação em estudo, cujas propriedades constam na Tabela 2.

Tabela 2 – Propriedades dos vidros da edificação, fornecidas pelo fabricante.

Propriedade / Tipo de vidro	Duplo Prata 8mm + Ar 6mm + Incolor 6mm	Simples Prata 8mm
Transmitância à radiação solar	0,13	0,14
Refletância à radiação solar	0,33	0,33
Absortância à radiação solar	0,58	0,58
Fator solar	0,18	0,27
Coefficiente de sombreamento	0,2	0,3
Transmitância térmica (W/m ² .K)	2,6	5,6

A absortância foi obtida através da medição da refletância das paredes externas, com o uso de um espectrômetro da marca Alta II. As refletâncias individuais para cada cor do espectro foram calculadas utilizando a cor branca como referência, sendo que esta tem refletância considerada 90%.

3.1.5. Carga interna

As cargas internas de cada zona são representadas pelos sistemas de iluminação e equipamentos através da densidade de potência instalada por área (W/m²), bem como pelo número de pessoas (m²/pessoa).

A potência instalada em iluminação foi obtida através do projeto luminotécnico (ARQUIDESC, 2004). Nas suítes foram desconsideradas as lâmpadas utilizadas com pouca frequência, tais como as dos abajoures.

Já a potência instalada em equipamentos foi determinada a partir de levantamento realizado no apartamento modelo da edificação, sendo os consumos dos equipamentos obtidos com os fabricantes.

Para a distribuição de pessoas, visto que o hotel possui apenas suítes com cama de casal ou duas camas de solteiro, é possível assumir que cada suíte acomodará duas pessoas.

3.1.6. Sistema de condicionamento de ar

O hotel conta com sistema central de ar condicionado que funciona apenas para resfriamento que opera com duas unidades geradoras de água gelada (*chillers*) além de três bombas de água gelada. Os *fan-coils* são do

tipo comercial, de fabricação seriada. Através do memorial descritivo (ISOAR, 2004) e dos manuais técnicos do *chiller*, foram obtidas as informações necessárias para modelagem que são: capacidade nominal de resfriamento de cada unidade, temperatura de entrada e de saída de água gelada.

O sistema utilizado no programa foi o *Four Pipe Fan Coil*, sendo necessário anular os aquecedores para que o programa não calculasse a carga de aquecimento. O programa tem capacidade de modelar com precisão o desempenho do *chiller*, desde que se especifiquem as curvas de desempenho de forma apropriada.

O programa exige que se determine algum tipo de climatização para todas as zonas. Portanto, para as áreas não condicionadas tomou-se o cuidado de induzir o programa a desconsiderar este consumo. Para isto foi inserido o sistema *Floor Panel Heating* que consiste em um painel embutido no forro ou no piso, para circulação de água quente. Porém, ao inserir este sistema, foi anulada a capacidade dos aquecedores.

3.1.7. Padrões de uso

É necessário definir padrões de ocupação e de uso horário semanal e mensal para cada sistema consumidor de energia elétrica. Devido ao fato do objeto de estudo ser um hotel, que possui uso muito variável, foram consultados funcionários de dois outros hotéis além da consulta aos padrões utilizados por Melo (2005). A partir das ocupações diárias obtidas destes dados, foi feita a média aritmética para cada mês do período de Setembro de 2002 a Fevereiro de 2005. Reunindo as médias desses 30 meses, foi obtida novamente a média aritmética para cada mês do ano (Janeiro a Dezembro), obtendo-se o valor médio mensal para cada mês.

Foram criados dois tipos de *schedules* para cada um dos doze meses do ano: dias de semana e finais de semana e foram definidos padrões diários diurnos e noturnos do uso de iluminação e equipamentos nos apartamentos.

Para o sistema de condicionamento de ar, estabeleceu-se que durante os meses de junho, julho e agosto não há acionamento do ar condicionado. Durante os demais meses do ano, foi determinado funcionamento ininterrupto dos *fan-coils* para manter a temperatura interna em 24°C.

3.1.8. Arquivo de dados climáticos

Foi utilizado o arquivo de dados climáticos do tipo TRY (Test Reference Year) do ano de 1963, para a cidade de Florianópolis, corrigido por Carlo (2005).

3.2. Propostas de melhoria na eficiência energética

As propostas de melhorias estão relacionadas ao envelope construtivo. A cobertura não foi modificada, pois este estudo considera apenas o pavimento tipo e acima do último pavimento tipo há ainda o pavimento técnico e o ático (área de lazer).

3.2.1. Vidros

É possível notar que houve no projeto escolha criteriosa em relação ao desempenho dos vidros, pois foram utilizados vidros duplos reflexivos com baixo fator solar para a pele de vidro da fachada frontal e nas janelas laterais. As simulações para comparação foram realizadas utilizando-se a base de dados do VisualDOE, variando o fator solar e as demais propriedades ópticas de 13 tipos de vidros simples e 8 de vidros duplos, sendo que ao variar o vidro simples as propriedades do vidro duplo permanecem constantes e vice-versa.

3.2.2. Percentual de janela na fachada

A fachada frontal possui 97% de área de janelas e as laterais 29%. Para a fachada frontal as percentagens foram variadas entre 50 e 90% em intervalos de 10%. Não foram simuladas percentagens menores que 50% devido à vista para a Av. Beira Mar; para as laterais, as percentagens foram variadas entre 15 e 35% em intervalos de 5%, tanto para o caso de carga alta quanto para o de carga reduzida.

3.2.3. Absortância

A variação nas cores das fachadas foi realizada no sentido de se diminuir a absortância e, portanto, a carga térmica transferida para dentro do ambiente. Foram simulados casos com alteração entre 10 e 100% na absortância, tanto para o revestimento em granito quanto para a pintura, em intervalos de 10%. Analogamente aos vidros, ao se alterar o granito a pintura permanece como no caso-base e vice-versa.

3.2.4. Paredes

Com base na avaliação dos valores de transmitância térmica de diversas paredes, foram selecionadas as seguintes alternativas a serem simuladas relativas às paredes:

1. Substituição dos blocos maciços de concreto celular das paredes por tijolos cerâmicos de 6 furos;
2. Substituição dos blocos maciços de concreto celular das paredes por tijolos cerâmicos de 8 furos;
3. Substituição de todas as paredes por paredes de tijolos cerâmicos de 2 furos, rebocadas;
4. Substituição de todas as paredes por paredes de tijolos cerâmicos de 4 furos, rebocadas;
5. Substituição de todas as paredes por paredes de tijolos cerâmicos maciços de 25 cm de largura, rebocadas.

3.2.5. Elementos horizontais de proteção solar

Os elementos de proteção solar existentes são horizontais e possuem em média 30 cm de largura. Foram simulados casos com variações entre 35 e 75 cm, em intervalos de 5 cm.

4. RESULTADOS

A seguir são apresentados os resultados relativos ao processo de modelagem e simulação das propostas. São apresentadas as *schedules* de ocupação, iluminação e equipamentos além dos resultados das simulações do caso-base e as propostas para melhoria na eficiência energética.

4.1. Propriedades térmicas dos elementos construtivos

No cálculo das propriedades térmicas dos elementos construtivos, as diferenças entre os valores calculados de acordo com a NBR 15220-2 e os valores fornecidos pelo programa podem ser consideradas pequenas e, portanto, foram utilizadas as propriedades calculadas pelo VisualDOE, conforme observado na Tabela 3.

Tabela 3 – Transmitância térmica pelo VisualDOE e pela NBR 15220-2 (2005) e capacidade térmica.

Elemento Construtivo	Transmitância Térmica (W/m ² .K)			Capacidade Térmica (kJ/m ² .K)
	VisualDOE	NBR 15220-2 (2005)	Diferença (%)	
Parede externa	0,667	0,748	11	196,60
Parede externa da fachada dos fundos	0,746	0,909	18	184,00
Parede interna	0,746	0,909	18	184,00
Laje em contato com solo	2,564	2,509	-2	920,00
Laje dos pavimentos tipo	0,370	0,368	-1	187,55
Laje dos demais pavimentos	4,000	3,911	-2	345,00
Laje de cobertura	4,000	3,911	-2	345,00

4.2. Carga Interna

A potência instalada em iluminação em cada suíte é de 725W (25,9W/m²) e a de equipamentos 222W (7,9W/m²). Na circulação, a potência instalada em iluminação é de 1490 (13,5W/m²).

4.3. Curvas de desempenho dos chillers

Para elaborar as curvas de desempenho foram utilizadas informações contidas no Manual Técnico do *chiller*. A curva CAPFT (*Capacity as a Function of Temperature*) relaciona a capacidade de refrigeração do *chiller* às temperaturas de saída da água gelada e de bulbo seco. A curva EIRFT (*Energy Input Ratio as a Function of Temperature*) relaciona o EIR às temperaturas de saída de água gelada e de bulbo seco. Os valores de EIR utilizados são frações de eficiência em relação ao valor nominal de 1,096 kW/TR do EIR. A curva EIRPLR adotada relaciona a eficiência do *chiller* quando em operação parcial.

4.4. Padrões de uso

As taxas de ocupação máxima correspondentes aos valores médios percentuais mensais de ocupação obtidos conforme citado no item 3.1.7 podem ser observados na Tabela 4. Foram criados padrões de ocupação horários, para cada mês, para dias de semana e finais de semana.

Tabela 4 – Média mensal de ocupação.

Mês	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Média (%)	77,2	56,1	52,5	60,1	58,5	47,2	58,1	49,5	68,0	70,9	72,9	56,0

Para os equipamentos foi considerado o valor constante de 17% que representa o funcionamento do frigobar. Para a *schedule* horária de dias de semana, a qual foi elaborada para cada mês, assumiu-se os parâmetros observados na Tabela 5.

Tabela 5 – Padrões de uso – ocupação, iluminação e equipamentos.

Ocupação ¹		Iluminação ²		Equipamentos	
horário	Ocupação (%)	horário	Uso (%)	horário	Uso (%)
18h1min - 7h	100	00h-5h / 11h1min-13h	0	00h-5h / 11h1min-13h	0 ³
07h1min-11h / 13h1min-18h	65	5h1min-11h / 13h1min-18h	50	5h1min-11h / 13h1min-18h	50
11h-13h	0	18h1min-23h59min	100	18h1min-23h59min	100

¹ Para finais de semana das 7h1min-9h e das 16h1min-18h a ocupação é de 65% e das 9h1min-11h e das 13h1min-16h de 35%

² Para áreas de circulação do pavimento tipo considerou-se uso constante de 50% do sistema de iluminação

³ Exceto frigobar

Obs.: a ocupação máxima (100%) refere-se ao valor médio mensal para cada mês

4.5. Escolha do caso-base

No modelo carga alta, a divisão do pavimento em 11 zonas provocou um aumento no consumo de energia elétrica de aproximadamente 5% em relação ao modelo de 3 zonas, feito repercutido, principalmente, no consumo de energia dos *fan-coils*. O gráfico de consumo de energia em função do número de zonas e infiltração, para os modelos de carga alta, pode ser observado na Figura 5.

Nos modelos de carga reduzida, cujo gráfico consta na Figura 6, a diferença no consumo de energia em relação à diferença no número de zonas foi muito variável, pois se observou que este modelo sofre maior interferência do clima externo, variando de acordo com a infiltração. A diferença foi menor para as menores infiltrações e maior para as maiores infiltrações. Por exemplo, para os modelos cuja infiltração é 0 trocas/h, a diferença foi de 3,3% e para os modelos cuja infiltração é 2,0 trocas/h a diferença é de 7,7%.

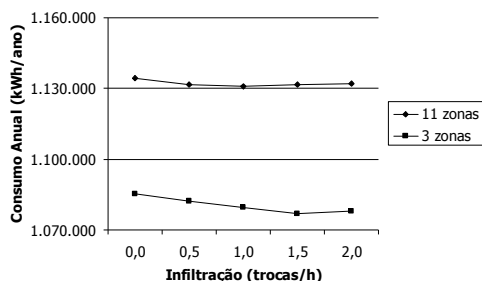


Figura 5 – Consumo de energia em função do número de zonas e infiltração – modelo carga alta.

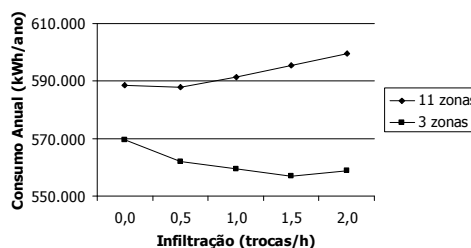


Figura 6 – Consumo de energia em função do número de zonas e infiltração – modelo carga reduzida.

Optou-se por utilizar como caso-base para as simulações o modelo que possui 3 zonas e cuja infiltração é 0,5 trocas por hora, pela facilidade de modelagem, menor tempo de simulação e pelo fato da variação no número de zonas e a utilização de menores taxas de infiltração apresentar diferenças no consumo que podem ser consideradas pequenas. No entanto, para todas as simulações, serão testados os modelos de carga interna reduzida a fim de comparar seus resultados com os modelos de carga interna alta.

4.5.1. Usos finais de energia elétrica

Ao analisar os usos finais de energia elétrica para o caso-base, observa-se que no modelo original devido às altas cargas internas o consumo do sistema de climatização é equivalente ao consumo de iluminação. Ao reduzir a carga interna, encontram-se valores mais coerentes relativos à iluminação. O consumo de energia elétrica por uso final pode ser observado na Tabela 6 e os gráficos com as respectivas porcentagens nas Figuras 7 e 8. Na Figura 9 é apresentado o consumo mensal do caso-base para o período de 12 meses.

Tabela 6 – Consumo de energia elétrica por uso final – caso-base.

Carga Interna	Consumo de Energia (kWh)					
	Iluminação	Equipamentos	Resfriamento	Bombas	Fan-Coils	Total
Alta	474.659	147.269	300.574	16.467	143.303	1.082.272
Reduzida	158.168	49.025	227.880	16.304	110.701	562.078

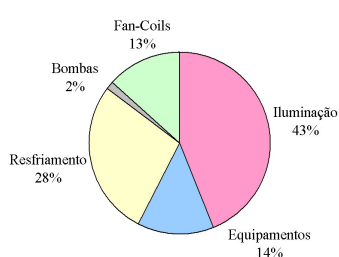


Figura 7 – Usos finais de energia elétrica para o modelo de carga alta.

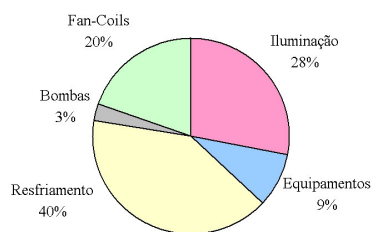


Figura 8 – Usos finais de energia elétrica para o modelo de carga baixa.

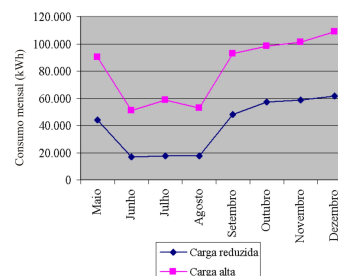


Figura 9 – Consumo mensal do caso-base.

4.6. Propostas de melhoria na eficiência energética

A partir do caso-base, cinco parâmetros do envelope construtivo foram variados para analisar sua influência no consumo final de energia elétrica da edificação.

4.6.1. Vidros

Foram analisados 13 tipos de vidros simples e 8 tipos de vidros duplos nas simulações, cujas propriedades podem ser observadas nas Tabelas 7 e 8. Na Tabela 9 estão as porcentagens de redução no consumo de energia, em variação linear, quando se varia intervalos de 10% no valor de cada uma das propriedades. Valores negativos indicam que a redução no valor da propriedade acarreta em aumento de consumo. Os vidros simulados que apresentaram maior potencial de economia foram exatamente os que possuem menores valores para estas propriedades, tanto para vidros simples quanto para vidros duplos.

Tabela 7 – Alternativas para substituição dos vidros simples.

Propriedades	modelo-base	cód. 1400	cód. 1402	cód. 1403	cód. 1404	cód. 1405	cód. 1406	cód. 1408	cód. 1409	cód. 1411	cód. 1414	cód. 1415	cód. 1416	vidro comum
Transmitância à radiação solar	0,110	0,066	0,159	0,040	0,060	0,100	0,150	0,040	0,100	0,110	0,070	0,100	0,120	0,837
Refletância à radiação solar	0,270	0,341	0,220	0,150	0,130	0,110	0,220	0,130	0,110	0,250	0,130	0,100	0,090	0,075
Absortância à radiação solar	0,620	0,593	0,621	0,810	0,810	0,790	0,630	0,830	0,790	0,640	0,800	0,800	0,790	0,088
Fator Solar	0,252	0,195	0,310	0,222	0,250	0,292	0,305	0,227	0,282	0,253	0,252	0,292	0,314	0,860
Coefficiente de Sombreamento	0,29	0,23	0,36	0,26	0,29	0,34	0,35	0,26	0,33	0,29	0,29	0,34	0,37	1,00
Transmitância Térmica (W/m².K)	5,11	4,90	5,41	4,93	5,11	5,29	5,44	4,93	5,05	4,99	4,99	5,23	5,35	7,00

Tabela 8 – Alternativas para substituição dos vidros duplos.

Propriedades	modelo - base	cód.2400	cód.2401	cód.2407	cód.2417	cód.2421	cód.2433	cód.2434	cód. 2456
Transmitância à radiação solar	0,088	0,053	0,053	0,127	0,080	0,119	0,080	0,080	0,096
Refletância à radiação solar	0,271	0,341	0,341	0,222	0,111	0,222	0,111	0,111	0,091
Absortância à radiação solar	0,641	0,606	0,606	0,651	0,809	0,659	0,809	0,810	0,813
Fator Solar	0,175	0,142	0,128	0,223	0,191	0,216	0,204	0,187	0,226
Coefficiente de Sombreamento	0,20	0,17	0,15	0,26	0,22	0,25	0,24	0,22	0,26
Transmitância Térmica (W/m².K)	2,35	2,79	2,26	2,47	2,42	2,48	2,84	2,33	2,94

Tabela 9 – Redução no consumo de energia quando propriedades são reduzidas em 10%.

Propriedades	CARGA INTERNA ALTA		CARGA INTERNA REDUZIDA	
	Vidros Simples (%)	Vidros Duplos (%)	Vidros Simples (%)	Vidros Duplos (%)
Transmitância à radiação solar	0,18	1,16	0,34	2,20
Refletância à radiação solar	-0,32	-0,42	-0,61	-0,76
Absortância à radiação solar	-0,14	0,39	-0,27	0,70
Fator Solar	0,24	1,25	0,44	2,32
Coefficiente de Sombreamento	0,20	1,1	0,38	2,05

4.6.2. Percentual de janela na fachada

Tanto para o modelo com carga alta quanto para o de carga reduzida, a diminuição do percentual de janela na fachada ocasiona economia de energia elétrica. O modelo de carga reduzida mostrou-se mais sensível a esta variação mostrando maior percentual de economia. Os valores variam de 0,7 a 2,5% para o caso de carga alta e de 1,5 a 6,5% para o caso de carga reduzida, conforme apresentado nas Tabelas 10 e 11.

Tabela 10 – Efeito das alternativas de percentual de janela na fachada perante o consumo de energia - Fachada frontal.

WWR (%)	CARGA ALTA			CARGA REDUZIDA		
	Consumo de Energia (kWh/ano)	Economia (kWh/ano)	Percentual de Economia (%)	Consumo de Energia (kWh/ano)	Economia (kWh/ano)	Percentual de Economia (%)
50	1.055.125	27.147	2,5	525.496	36.582	6,5
60	1.057.909	24.363	2,3	530.978	31.100	5,5
70	1.062.638	19.634	1,8	538.930	23.148	4,1
80	1.071.378	10.894	1,0	551.300	10.778	1,9
97 (caso-base)	1.082.272	-	-	562.078	-	-

Tabela 11 – Efeito das alternativas de percentual de janela na fachada perante o consumo de energia - Fachada lateral.

WWR	CARGA ALTA			CARGA REDUZIDA		
	Consumo de Energia (kWh/ano)	Economia (kWh/ano)	Percentual de Economia (%)	Consumo de Energia (kWh/ano)	Economia (kWh/ano)	Percentual de Economia (%)
15	1.057.760	24.512	2,3	536.961	25.117	4,5
20	1.066.387	15.885	1,5	545.658	16.420	2,9
25	1.074.314	7.958	0,7	553.798	8.280	1,5
30 (caso-base)	1.082.272	-	-	562.078	-	-
35	1.089.703	-7.431	-0,7	569.859	-7.781	-1,4

4.6.3. Absortância

Foram variadas as absortâncias de todas as fachadas: as revestidas em granito (frontal e laterais) e as com pintura (fundos) de modo que quando um elemento construtivo (granito ou pintura) é variado, o outro permanece com as propriedades originais.

Para ambos os elementos, quanto maior a absortância, maior o consumo. Esta influência se mostra aproximadamente linear para ambos os modelos (carga alta e reduzida) ao se variar a absortância em intervalos de 10%, conforme observado na Figura 10. No caso-base, a absortância utilizada para o granito foi de 70% e para a pintura de 30%. Para o modelo de carga reduzida os percentuais de economia são maiores, o que mostra maior sensibilidade deste modelo. As alterações nas absortâncias nas fachadas de granito causam uma maior economia que nas fachadas de pintura, conforme observado na Tabela 12.

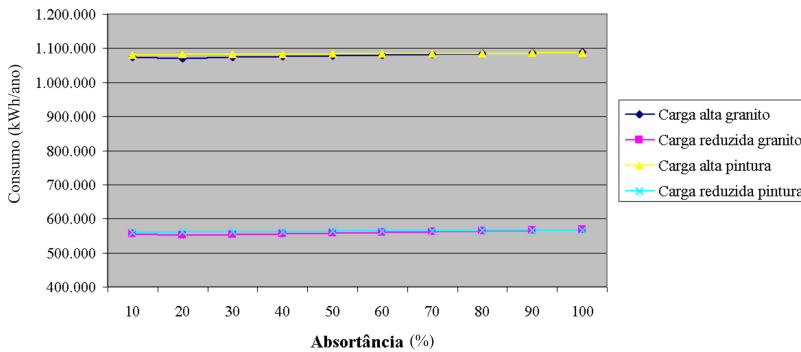


Figura 10 – Variação do consumo de energia em função da absortância das paredes.

Tabela 12 – Redução no consumo de energia quando as absortâncias são reduzidas em 10%.

Carga interna alta	Granito	0,50%
	Pintura	0,18%
Carga interna reduzida	Granito	0,94%
	Pintura	0,33%

4.6.4. Paredes

As paredes foram modeladas no caso-base com blocos maciços de concreto celular, rebocados em uma das faces e revestidos externamente com placas de granito afastadas por câmara de ar cujas propriedades dos elementos construtivos podem ser observadas na Tabela 13. A fachada dos fundos é composta pelos mesmos blocos, porém rebocados em ambas as faces. As alternativas simuladas descritas no item 3.2.4 têm o intuito de avaliar os efeitos da variação na transmitância e capacidade térmicas no consumo de energia da edificação, conforme apresentado na Tabela 14. Nesta tabela, percentuais negativos na variação das propriedades das paredes indicam redução no valor da propriedade e percentuais negativos de economia de energia indicam redução no consumo em relação ao caso-base. Porém, a variação destas propriedades não exerceu bom potencial de economia no consumo de energia.

Tabela 13 – Propriedades dos elementos construtivos das paredes externas. Fonte: NBR 15220-2 (ABNT, 2005).

Propriedades	Placa de Granito	Bloco concreto celular	Reboco
--------------	------------------	------------------------	--------

Tabela 14 – Percentuais de economia de energia nas paredes simuladas.

Parede	Variação Transmitância Térmica (%)	Variação Capacidade Térmica (%)	Percentual de economia	
			Carga alta (%)	Carga reduzida (%)

Densidade de massa aparente (kg/m ³)	2600	500	2100	Tijolos 6 furos	133	1	-0,20	-0,10
Conductividade térmica (W/m.K)	3,00	0,17	1,15	Tijolos 8 furos	168	-17	0,10	0,50
Calor específico (kJ/kg.K)	0,84	1,00	1,00	Tijolos maciços 25cm	229	134	-0,20	0,10
				Tijolos 2 furos	262	-18	-0,20	0,40
				Tijolos 4 furos	262	-1	0,20	1,00

Para o clima de Florianópolis, as paredes utilizadas no caso-base possuem boas propriedades, fazendo com que seu desempenho energético seja adequado.

4.6.5. Elementos horizontais de proteção solar

A largura dos elementos horizontais, que em média é de 30 cm, foi variada em intervalos de 5 cm, entre 35 e 75 cm. Um aumento de 5 cm promove redução de 0,18% no consumo de energia para o modelo carga alta e de 0,32% para o modelo carga reduzida, ambos em variação linear. Na simulação com a largura máxima de 75 cm, a economia no consumo do modelo carga alta foi de 1,6% e no modelo carga reduzida de 2,9%. A economia obtida é baixa devido ao fato de que o vidro utilizado possui boa eficiência energética e por haver elementos horizontais de proteção solar na fachada frontal. Simulando o modelo sem utilização destes elementos, o consumo no modelo carga alta cresceu em 1,1% e 2,1% no modelo carga reduzida.

5. CONCLUSÕES

Através dos processos de simulação, realizando-se a modelagem e alterações nas propriedades do envelope construtivo do projeto original, foi possível estudar o potencial de economia de energia elétrica desta edificação hoteleira em estudo.

O envelope construtivo mostrou-se compatível com as condições climáticas em que a edificação está inserida, pois os percentuais de economia obtidos com as alternativas simuladas são relativamente baixos. O número de zonas a serem inseridas na modelagem da edificação no programa mostrou ser de grande influência na análise do potencial de economia das alternativas simuladas e o percentual de área de janela na fachada se mostrou como sendo o item que apresenta maior impacto na economia de energia elétrica dentre os itens avaliados.

Obtendo-se as propriedades térmicas dos componentes da edificação, bem como definindo o padrão de ocupação e uso de equipamentos, foi possível simular, através do programa computacional VisualDOE versão 2.61, o comportamento da edificação após substituição de certos elementos construtivos, fechamentos e elementos arquitetônicos, definindo quais destes itens acarretam maior economia de energia elétrica.

6. REFERÊNCIAS

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-2**. Desempenho Térmico de Edificações. Parte 2: Métodos de Cálculo da Transmitância Térmica, da Capacidade Térmica, do Atraso Térmico e do Fator Solar de Elementos e Componentes de Edificações. Rio de Janeiro, 2005. 21p.
- ARQUIDES. **Projeto Luminotécnico**: Hotel Sofitel Florianópolis. 2004.
- CARLO, J. C. **Processamento de Arquivos Climáticos para Simulação do Desempenho Energético de Edificações**. Florianópolis: Laboratório de Eficiência Energética em Edificações – LABEEE - UFSC, 2005. Relatório técnico.
- CELESC – **Centrais Elétricas de Santa Catarina S. A.** Florianópolis, SC, 2005.
- DENG, Shi-Ming; BURNETT, J. A Study of Energy Performance of Hotel Buildings in Hong Kong. **Building and Environment**, v. 31, issue 1, p. 07 - 12, 2000.
- ELETROBRÁS. **Conservação de Energia**: Eficiência Energética de Instalações e Equipamentos. Itajubá, MG: FUPAI, 2001.
- IQBAL, I.; AL-HOMOUD, M. S. Parametric Analysis of Alternative Energy Conservation Measures in an Office Building in Hot and Humid Climates. **Building and Environment**, Article in Press, jun. 2006.
- ISOAR. **Projeto de Climatização**: Hotel Sofitel Florianópolis. 2004.
- LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R.. **Eficiência Energética na Arquitetura**. São Paulo: PW, 1997. 192 p.
- LAMBERTS, R.; GHISI, E.; PAPST, A. L.; CARLO, J. C. **Desempenho Térmico de Edificações**. Apostila da Disciplina ECV 5161. Florianópolis, 2005.
- MEIER, A.; OLOFSSON, T.; LAMBERTS, R. **What is an Energy - Efficient Building?** In: IX ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA NO AMBIENTE CONSTRUÍDO (IX ENTAC), 2002, Foz do Iguaçu. **Anais...** p. 3 – 12.
- MELO, A. P. **Avaliação Computacional de Estratégia para a Redução do Consumo de Energia em um Hotel de Florianópolis**. 2005. 62 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC.
- PROCEL INFO. **Avaliação do Mercado de Eficiência Energética no Brasil**: Pesquisa na Classe Comercial – AT. Disponível em: <http://www.eletronbras.com/pci/main.asp?TeamID={5A821C3B-5204-4335-A5FC-2313F8F692E2}>. Acesso em: 27 fev. 2009.