
**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

ANA PAULA MELO

**AVALIAÇÃO COMPUTACIONAL DE ESTRATÉGIA PARA A
REDUÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA EM UM
HOTEL DE FLORIANÓPOLIS**

FLORIANÓPOLIS

2005

ANA PAULA MELO

**AVALIAÇÃO COMPUTACIONAL DE ESTRATÉGIA PARA A
REDUÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA EM UM
HOTEL DE FLORIANÓPOLIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como requisito parcial à obtenção do grau de
Engenheiro Civil no Curso de Graduação em
Engenharia Civil da Universidade Federal
de Santa Catarina.

Orientador: Prof. Roberto Lamberts, PhD.

Co-Orientador: Fernando Simon Westphal, M. Eng.

Florianópolis, dezembro de 2005.

ANA PAULA MELO

**AVALIAÇÃO COMPUTACIONAL DE ESTRATÉGIA PARA A REDUÇÃO DO
CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA EM UM HOTEL DE FLORIANÓPOLIS**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado como requisito parcial para
obtenção do título de
ENGENHEIRO CIVIL

Prof. Roberto Lamberts, PhD – Orientador

Prof. Lia Caetano de Bastos – Coordenadora de TCC

Banca Examinadora:

Fernando Simon Westphal, M. Eng. – Co-Orientador

Prof. EneDir Ghisi, PhD

“Eu acredito muito na sorte e
tenho constatado que quanto
mais duro eu trabalho mais
sorte eu tenho”.

Thomas Jefferson

AGRADECIMENTOS

À minha linda mãe, pela educação e pela amizade. Por ser uma grande amiga, ensinando-me a dar valor para as coisas simples da vida.

Ao meu pai, pelas conversas e conselhos nas horas difíceis. Por sempre me ensinar a ser persistente no meu ideal. Além de um grande exemplo na minha vida, é um maravilhoso companheiro para beber e esquecer dos problemas.

Ao professor e orientador Roberto Lamberts, pela oportunidade concedida de trabalhar no LabEEE e acreditar na concretização deste trabalho de TCC.

Ao Fernando Simon Westphal, pela confiança e paciência para resolver os problemas surgidos durante o trabalho. Por me ensinar a crescer como profissional e solucionar os problemas na visão de um engenheiro. Obrigada por toda a dedicação.

Ao professor Enedir Ghisi, por sempre demonstrar boa vontade para solucionar qualquer dúvida e aceitar compor a banca examinadora.

Aos meus amigos que fiz durante o curso de Engenharia Civil: Cecília, Rodrigo, Denis, Gabriela, Ricardo, Thiago e Rafael. Pela amizade e festas curtidas.

Aos meus amigos e irmãos de coração Fernanda e Luiza Scheer, e Victor Maravalhas, pelo companheirismo e amizade.

Aos amigos do LabEEE.

À todos que de alguma forma contribuíram para o meu crescimento.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Fachada do hotel.	6
Figura 2. Planta do pavimento térreo do Edifício I.....	7
Figura 3. Localização e orientação do hotel.	7
Figura 4. Proteções solares na janela.	9
Figura 5. Caldeira elétrica.	10
Figura 6. Medição do circuito de alimentação da lavadora de roupa.	15
Figura 7. Medição da caldeira elétrica.	16
Figura 8. Medição do quadro geral de energia elétrica do hotel.....	16
Figura 9. Interface do programa <i>Avalcon</i>	20
Figura 10. Consumo de energia elétrica do hotel ao longo dos 12 meses anteriores ao estudo.....	24
Figura 11. Divisão do subsolo.	25
Figura 12. Divisão do pavimento térreo.	25
Figura 13. Divisão do pavimento tipo.	25
Figura 14. Divisão do ático.....	26
Figura 15. Modelo base final.	29
Figura 16. Medição do dia 27/09/05 – Terça-Feira.	31
Figura 17. Medição do dia 02/10/05 – Domingo.	31
Figura 18. Ocupação dos quartos ao longo do ano.	32
Figura 19. Horário de ocupação dos quartos (zona 6 e 8).	33
Figura 20. Schedule de iluminação dos quartos (zona 6 e 8).	33
Figura 21. Horário de ocupação do bar (zona 2).	34
Figura 22. Ocupação da diretoria (zona 3).	34
Figura 23. Nova <i>schedule</i> de ocupação anual dos quartos.	42
Figura 24. Novo horário de ocupação dos quartos.....	43
Figura 25. Consumo mensal (Caso real X Modelo base).....	45
Figura 26. Uso final de energia elétrica no modelo base.	46
Figura 27. Lâmpadas sanca.....	47
Figura 28. <i>Retrofit</i> no sistema de iluminação.	48
Figura 29. <i>Retrofit</i> no sistema de condicionamento de ar.	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Componentes construtivos do hotel.	8
Tabela 2. Potência instalada por ambiente.	11
Tabela 3. Histórico de consumo e demanda nos últimos 12 meses.	23
Tabela 4. Propriedades térmicas dos materiais utilizados.	28
Tabela 5. Carga instalada e ocupação por ambiente.	30
Tabela 6. Taxa de metabolismo de cada zona térmica.	35
Tabela 7. Análise dos fluxos de ganho e perda de calor.	36
Tabela 8. Alternativas simuladas através do <i>EnergyPlus</i> para análise de sensibilidade sobre os parâmetros relacionados às janelas.	37
Tabela 9. Coeficiente de Influência de cada parâmetro analisado.	38
Tabela 10. Alternativas simuladas para o sistema de iluminação.	39
Tabela 11. Cálculo do C.I.	39
Tabela 12. Alternativas simuladas através da equação de Signor (1999), no programa <i>Avalcon</i>	40
Tabela 13. Coeficiente de influência dos parâmetros de janela e iluminação.	41
Tabela 14. Sistemas de condicionamento de ar.	43
Tabela 15. Características dos condicionadores de ar.	44
Tabela 16. Consumo mensal (Caso real X Modelo base)	45
Tabela 17. Valor da conta de energia elétrica (R\$).	51
Tabela 18. Valor da conta de energia elétrica (R\$).	52
Tabela 19. Valor da conta de energia elétrica (R\$).	53
Tabela 20. Valor da conta de energia elétrica (R\$).	54

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 JUSTIFICATIVAS.....	1
1.2 OBJETIVOS	4
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	5
2 CARACTERÍSTICAS DA EDIFICAÇÃO	6
3 METODOLOGIA.....	12
3.1 PROGRAMA DE SIMULAÇÃO UTILIZADO: ENERGYPLUS.....	12
3.2 HISTÓRICO DE CONSUMO E DEMANDA	14
3.3 MODELAGEM DO CASO BASE	14
3.3.1 Análise de sensibilidade através da equação de Signor (1999).....	18
3.4 SIMULAÇÃO DAS ALTERNATIVAS DE <i>RETROFIT</i>	20
3.5 ANÁLISE ECONÔMICA DAS ALTERNATIVAS DE <i>RETROFIT</i>	21
4 RESULTADOS	23
4.1 HISTÓRICO DE CONSUMO E DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA.....	23
4.2 MODELO CASO BASE	24
4.2.1 Arquitetura	24
4.2.2 Cargas internas	30
4.2.3 Padrões de uso	30
4.2.4 Infiltração	35
4.2.5 Análise de sensibilidade.....	35
4.2.6 Utilização da equação de Signor (1999).....	40
4.3 CORREÇÕES NO MODELO BASE.....	42
4.4 CALIBRAÇÃO	43
4.5 SIMULAÇÃO DAS ALTERNATIVAS DE <i>RETROFIT</i>	46
4.5.1 Proposta para o sistema de Iluminação.....	47
4.5.2 Proposta para o sistema de condicionamento de ar	48
4.5.3 Proposta de compra de um gerador e mudança de tarifa	50
4.6 ANÁLISE ECONÔMICA DAS ALTERNATIVAS DE <i>RETROFIT</i>	51
4.6.1 ANÁLISE ECONÔMICA PARA O SISTEMA DE ILUMINAÇÃO	52
4.6.2 ANÁLISE ECONÔMICA PARA O SISTEMA DE CONDICIONAMENTO DE AR	53

4.6.3 ANÁLISE ECONÔMICA PARA A COMPRA DO GERADOR E MUDANÇA DE TARIFA.....

.....**Erro! Indicador não definido.**

5

CONCLUSÕES.....Err

o! Indicador não definido.

5.1 CONCLUSÕES

GERAIS.....**Erro! Indicador não definido.**

5.2 DIFICULDADES

ENCONTRADAS.....**Erro! Indicador não definido.**

5.3 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....58

REFERÊNCIAS.....59

1 INTRODUÇÃO

1.1 JUSTIFICATIVAS

A humanidade vem dependendo cada vez mais de energia elétrica para viver. Por outro lado, o mundo acompanha um constante aumento no preço das tarifas, fato pelo qual vem se buscando soluções para a redução do consumo de energia elétrica.

Além do aspecto econômico, a produção de energia elétrica envolve grandes impactos ambientais e, em alguns casos, sociais.

No cenário competitivo dos tempos atuais, as empresas têm buscado a diminuição dos custos e eliminação de desperdícios sem a perda de qualidade de seus produtos. Uma ferramenta fundamental para atingir este objetivo é a implementação de programas e políticas de conservação e uso racional de energia, a serem estabelecidos através da introdução de novas tecnologias e mudanças de hábitos de consumo.

Diante desta situação, a arquitetura bioclimática torna-se uma solução relevante, na medida em que adota como parâmetros fundamentais de projeto a utilização de tecnologias passivas de condicionamento de ar e recursos naturais, objetivando a elaboração de projetos energeticamente eficientes e ambientalmente conscientes.

Em dezembro de 2002, o Ministério de Minas e Energia publicou o Plano de Trabalho de implementação da Lei de Eficiência Energética, Lei Nº 10.295 de 17 de outubro de 2001 (MEE, 2005). De acordo com este, deverão ser desenvolvidos mecanismos que promovam a eficiência energética nas edificações construídas no Brasil. Além de esclarecer que a eficiência energética em uma edificação não se dá apenas por meio do uso de equipamentos ou iluminação mais eficientes, mas também, por meio de projetos arquitetônicos eficientes elaborados com uma arquitetura adaptada ao clima, considerando: a iluminação natural integrada à artificial, o uso de ventilação natural, com orientação e forma planejadas, proteções solares corretas e especificação criteriosa de materiais de acabamento (especialmente no envelope da edificação), entre outros aspectos.

O plano ressalta ainda que, quando se concebe um projeto integrado da edificação, ganhos significativos em sustentabilidade podem ser atingidos, tornando extremamente favorável a relação custo/benefício. Da mesma forma, técnicas de restauração e modernização de edificações (*retrofits*) permitem aumentar substancialmente a eficiência energética de prédios existentes. Dessa maneira, é prevista

a viabilidade da implantação no Brasil de certificação energética em edifícios, como uma ampliação do Programa Brasileiro de Etiquetagem, já existente para alguns aparelhos elétricos (INMETRO, 2005).

De acordo com o PROCEL (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica), cujo objetivo é reduzir os desperdícios e os impactos negativos sobre o ambiente em edificações residenciais e comerciais, estima-se que o potencial de conservação em prédios já construídos pode atingir até 30% e em prédios novos, 50% (PROCEL, 2005).

O uso de simulação computacional permite analisar alternativas de aumento na eficiência energética quando a edificação está em fase de projeto ou até mesmo após a sua construção. Atualmente, existem diversos programas computacionais destinados à análise térmica e energética de edificações e seus sistemas (DOE, 2005), os quais permitem identificar a melhor solução para a redução de gastos com energia elétrica por um baixo custo. Antes de adotar qualquer medida na edificação, as alternativas são analisadas com o programa como forma de se obter a melhor opção para a redução de consumo ou do custo de manutenção.

As alternativas são investigadas utilizando-se o modelo da edificação devidamente calibrado. A etapa da calibração tem a função de ajustar as variáveis de entrada do modelo base, para que este tenha um desempenho semelhante ao do caso real.

Mendes (1999) relata que a calibração é uma etapa necessária e importante, pois consiste em comparar dados de desempenho real com o simulado, com objetivo de corrigir as variáveis de entrada para melhorar a fidelidade do modelo. Nesta etapa são corrigidos os dados de entrada correspondentes à iluminação, aos equipamentos e aos padrões de uso.

Segundo Pedrini (1997), mais do que aumentar a precisão, a calibração permite estudo de casos de forma parcimoniosa e também o melhoramento do programa conforme as necessidades e recursos disponíveis. Como os modelos são melhorados gradativamente, os recursos são justificados pelas deficiências evidenciadas no modelo e por suas influências sobre os resultados.

O Laboratório de Eficiência Energética (LabEEE), da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), utiliza programas computacionais de simulação termoenergética para propor alternativas de redução do consumo de energia de edificações. Na década de 90, o LabEEE utilizou o programa *VisualDOE2.6*, que é uma interface

gráfica do *DOE-2.1E*, para sistema operacional Windows. Desde 2001 o laboratório vem utilizando o programa *EnergyPlus*, desenvolvido a partir dos códigos do *DOE-2.1E* e *BLAST*.

Pedrini (1997) analisou através do programa *DOE-2.1E*, os diferentes métodos de construção e correção dos modelos e as suas influências sobre os resultados na simulação no edifício sede da ELETROSUL Centrais Elétricas S.A. Concluiu-se que todos os métodos apresentados contribuem para a modelagem da edificação, desde que seja respeitada uma ordem de abordagem: preenchimento de planilha de levantamento de dados e análise de sensibilidade do modelo, auditoria, levantamento de histórico de conta de energia, levantamento de memória de massa, monitoramento de consumo de energia por uso final e medição da eficiência dos resfriadores de líquido.

Grasso et al. (1998) analisaram uma proposta de *retrofit* para o sistema de iluminação no prédio da TELESC – Telecomunicações de Santa Catarina, localizado em Florianópolis, através de simulação no programa *VisualDOE*. Foi proposta a substituição de luminárias e lâmpadas ineficientes por lâmpadas de 32W para as salas de escritório e de 16W para corredores e banheiro, tendo todos os conjuntos reatores eletrônicos. Constatou-se que com a implementação do *retrofit*, o edifício economizaria 20% do consumo total de energia elétrica.

Westphal (1999) desenvolveu um estudo de *retrofit* no Condomínio FIESC (Federações das Indústrias do Estado de Santa Catarina) através de simulação computacional utilizando também o programa *VisualDOE*. Nas simulações das alternativas, chegou-se a conclusão que 34,3% de redução de consumo de energia são obtidos com a substituição do sistema de iluminação, e com a reforma do sistema de condicionamento de ar seria economizado 42,7% da energia consumida anualmente. A reforma total proporcionaria uma redução de 66,8% da demanda máxima anual.

Lee et al. (2001) realizaram simulações nos dois prédios do Departamento de Engenharia Civil da UFSC, que começaram a ser ocupados em maio de 2000. O projeto dos dois blocos respeitou conceitos de eficiência energética, visando servir de modelo para as futuras obras da UFSC. Foi instalado um sistema central de condicionamento de ar, proteções solares nas janelas, aproveitamento de luz natural através de prateleiras de luz e sistema de iluminação artificial composto por lâmpadas T8 de 32W, luminárias com refletor de alumínio de alta pureza e reatores com alto fator de potência. Estas medidas foram adotadas para promover maior eficiência energética aos prédios em questão. Para a avaliação das medidas implantadas foi utilizado o programa *VisualDOE*.

Alternativas menos eficientes, observadas em obras típicas da UFSC, também foram analisadas pelo programa para quantificação da economia obtida. Na análise de alternativas de economia, a redução do consumo anual de energia elétrica destes prédios foi de 24%. Já a redução obtida na demanda representou 64% do valor máximo registrado durante um ano. Nos sistemas de iluminação e condicionamento de ar a economia obtida equivale a 38% do consumo.

Grande parte dos trabalhos desenvolvidos sobre simulação energética de edificações, através de programas computacionais, é realizada em edifícios de escritórios e residenciais. Por este fato, optou-se em desenvolver este estudo em um hotel, através da utilização do programa *EnergyPlus*.

O *EnergyPlus* é um programa computacional utilizado para a simulação térmica e energética de modelos de edificações. O programa permite calcular as trocas de calor da edificação com o exterior e o consumo de energia elétrica dos diversos sistemas envolvidos. Para a análise dos dados de entrada o usuário pode solicitar variados tipos de relatórios referentes a cada etapa da simulação.

A edificação adotada para a realização deste trabalho possui uma área total construída de 3500m² e consome um total de 67,38kWh/m².ano. O hotel possui 65 apartamentos, os quais são climatizados com sistema de condicionamento de ar do tipo de janela. A capacidade total instalada em condicionamento de ar equivale a 63 TR (toneladas de refrigeração). O aquecimento da água dos chuveiros e torneiras é realizado por uma caldeira elétrica, de potência de 54kW. O total de carga instalada de iluminação e demais equipamentos equivale a 29,60kW e 7,15kW, respectivamente.

1.2 OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo principal utilizar a simulação computacional para desenvolver um estudo de melhoria na eficiência energética de um hotel na cidade de Florianópolis. A este objetivo principal, estão ainda associados os objetivos específicos:

- a) Calibração do modelo virtual de um hotel utilizando a análise de sensibilidade através do programa *EnergyPlus*;
- b) Estimativa do uso final de energia elétrica do modelo base do hotel;

-
- c) Simulação de propostas de *retrofit* visando uma melhoria da eficiência energética no hotel;
 - d) Análise econômica das alternativas de *retrofit*.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho realizado está organizado em cinco capítulos. Este primeiro fez uma breve introdução ao conceito e a importância de simulação energética de edificações e apresentou os objetivos do estudo.

O segundo capítulo apresenta a caracterização da edificação analisada.

No terceiro capítulo é apresentada a metodologia do trabalho, e as variáveis que devem ser inseridas no programa para a calibração do modelo virtual da edificação. Esta etapa contém a descrição da análise sobre o histórico de consumo e demanda de energia elétrica, a metodologia de medições realizadas em campo, calibração do modelo base, propostas de *retrofit* e a análise econômica de cada proposta.

Os resultados das etapas do terceiro capítulo estão no quarto capítulo, onde são analisadas, caso a caso, as propostas para redução do consumo e custo de energia elétrica do hotel.

No quinto e último capítulo são apresentadas as conclusões finais deste trabalho e sugestões para trabalhos futuros.

2 CARACTERÍSTICAS DA EDIFICAÇÃO

A edificação considerada no presente trabalho é um hotel de grande porte (Figura 1), localizado no centro da cidade de Florianópolis. O estabelecimento está dividido em Edifício I, onde estão localizados 65 apartamentos distribuídos em 11 pavimentos tipo, sala de convenções, sala de jogos e de ginástica no ático, 1 bar no térreo, lavanderia e garagem para os hóspedes no subsolo; e Edifício II onde se encontram o restaurante, a cozinha, a copa e outra sala de convenções.



Figura 1. Fachada do hotel.

Como cada prédio possui o seu próprio quadro de medição do consumo de energia, optou-se por realizar este trabalho no Edifício I, já que neste estão localizados os apartamentos de hóspedes, o que o torna mais representativo de um hotel. Este bloco possui área construída de 3500 m². A Figura 2 apresenta a planta do pavimento térreo do Edifício I.

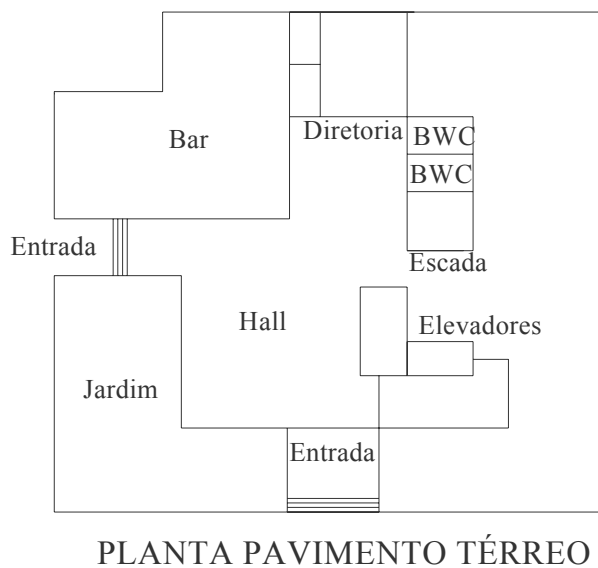


Figura 2. Planta do pavimento térreo do Edifício I.

As fachadas norte, leste e sul dos pavimentos tipo possuem 45% de área de janela com vidro comum de 3mm. A fachada oeste do Edifício I está em contato com a fachada leste do Edifício II. No pavimento térreo, nas fachadas noroeste e nordeste, e no ático na fachada nordeste existem vidros fumê de 6mm. A fachada principal do hotel está orientada para noroeste, como indica a Figura 3.

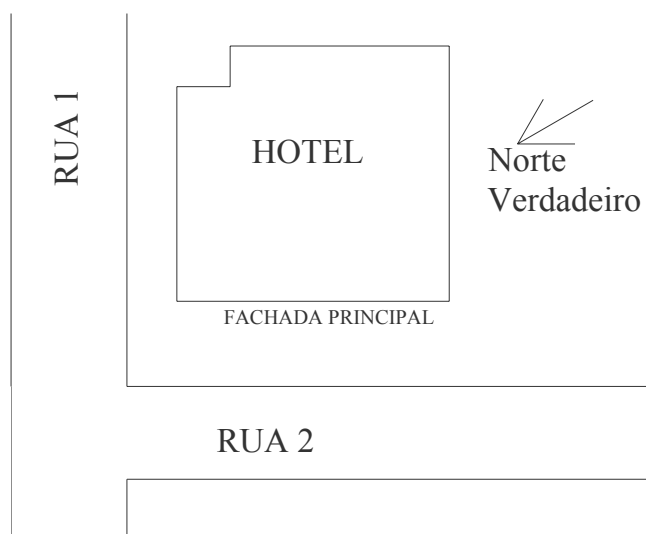


Figura 3. Localização e orientação do hotel.

Na Tabela 1 podem ser observados os componentes construtivos do prédio.

Tabela 1. Componentes construtivos do hotel.

Componentes construtivos	Materiais utilizados
Paredes	<ul style="list-style-type: none"> • argamassa de emboço de 2,5cm de espessura • bloco cerâmico com 6 furos • camada de ar com 0,16m²K/W de resistência térmica
Cobertura (sala de reuniões)	<ul style="list-style-type: none"> • concreto com 10cm de espessura • lã de vidro de 6cm de espessura • camada de ar com 0,21m²K/W de resistência térmica • telha de fibrocimento
Cobertura	<ul style="list-style-type: none"> • concreto com 10cm de espessura • camada de ar com 0,21m²K/W de resistência térmica • telha de fibrocimento
Piso	<ul style="list-style-type: none"> • concreto com 10cm de espessura
Laje	<ul style="list-style-type: none"> • concreto com 10cm de espessura

A edificação possui 3 cores externas: cinza claro, amarelo claro e marrom claro.

O entorno do hotel é composto por edificações de grande porte e lojas comerciais de médio porte.

Nas janelas dos quartos existem *brises* fixos de concreto e cortinas para atenuar a ação da radiação solar, encontrados na Figura 4.



Figura 4. Proteções solares na janela.

A iluminação artificial é composta por lâmpadas de diversos tipos (fluorescentes de 20 e 40W e incandescentes de 11, 25 e 60W), totalizando aproximadamente 29,60kW de potência instalada ($8,46\text{W}/\text{m}^2$).

A ocupação média anual do hotel gira em torno de 60%, tendo uma maior ocupação nos meses de janeiro a março por ser esta época de alta temporada em Florianópolis.

O bar é aberto ao público, com funcionamento de segunda a sábado das 17h às 24h.

A sala de reuniões tem capacidade para 40 pessoas e é utilizada em média uma vez por semana para eventos externos.

Há em funcionamento no hotel uma caldeira elétrica (Figura 5) de 36 kW de potência, para o aquecimento da água dos chuveiros e das torneiras dos quartos de hóspedes. Desde agosto deste ano a caldeira passou a operar com mais uma resistência de 18kW, pois esta não estava mais suprindo a necessidade do hotel, aumentando sua potência total para 54kW.



Figura 5. Caldeira elétrica.

Na lavanderia existem uma secadora e uma lavadora industrial, e uma lavadora convencional de 7kg. Os responsáveis pelo funcionamento deste setor trabalham em horário comercial das 8h às 18h.

Para a movimentação dos hóspedes o hotel dispõe de dois elevadores, situados no centro da edificação.

Cada quarto do hotel contém uma televisão de 20 polegadas, um *frigobar* com capacidade de 80 litros, lâmpadas fluorescente tubulares de 40W, fluorescentes compactas de 11W e incandescentes de 25 e 60W. Além disso, os quartos são equipados com sensores de ocupação, os quais acionam ou desligam as lâmpadas e equipamentos dependendo da presença ou não da chave no local do sensor.

O hotel não possui sistema de condicionamento de ar central, mas alguns ambientes são condicionados com aparelhos de janela e do tipo *split*. Os quartos são climatizados com condicionadores de ar de janela com capacidade de refrigeração de 10000 Btu/h. O *hall* é climatizado por um condicionador do tipo *split*, com capacidade de 24000 Btu/h. O bar, a diretoria e a sala de convenções são também climatizados por aparelhos do tipo *split*, com capacidade de 36000 Btu/h, 9000 Btu/h e 36000 Btu/h, respectivamente. A capacidade total instalada de condicionador de ar é de 755000 Btu/h, que equivale a 63TR (toneladas de refrigeração). A Tabela 2 apresenta a potência instalada de equipamentos e sistema de iluminação em cada ambiente.

Tabela 2. Potência instalada por ambiente.

Ambiente	Carga instalada (kW)	
	Iluminação	Equipamentos
Garagem	0,9	-
Lavanderia	0,4	54,76
Bar	0,86	11,24
Diretoria	0,22	2,85
Hall (<i>check in</i>)	0,8	-
Hall (<i>lobby</i>)	0,8	7,46
Quartos	0,3	2,98
Circulação	0,21	-
Sala de reuniões	0,45	10,44
Sala de jogos	0,2	-
Sala de ginástica	0,2	-

3 METODOLOGIA

A metodologia adotada segue as etapas propostas por Westphal e Lamberts (2005) através do programa *EnergyPlus* para a calibração do modelo base. A partir do modelo calibrado são simuladas as alternativas de reforma. Todas as etapas do trabalho são descritas neste capítulo.

3.1 PROGRAMA DE SIMULAÇÃO UTILIZADO: ENERGYPLUS

O *EnergyPlus* é um programa computacional, criado a partir dos programas *BLAST* e *DOE-2* e distribuído pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos, desenvolvido para simulação de carga térmica e análise energética de edificações e seus sistemas. O programa possui capacidade de simulação diferenciada, tais como “*time-step*” de cálculo menor que uma hora, sistema modular, possibilidade de cálculo de infiltração de ar diferenciada para cada zona térmica, cálculo de índices de conforto térmico e integração com outros sistemas (fotovoltaico, aquecimento solar, etc...).

O programa lê arquivos de entrada e apresenta arquivos de saída no formato de texto.

Segundo Strand et al. (2000), o *EnergyPlus* apresenta algumas características que o colocam à frente de diversos programas de simulações termoenergéticas:

- Solução simultânea e integrada em que a resposta do prédio e o sistema primário e secundário estão acoplados;
- Intervalos de tempos definidos pelo usuário, com fração de hora, para interação entre as zonas térmicas e o ambiente, e intervalos de tempo variável para interação entre a zona térmica e o sistema HVAC (automaticamente variável para assegurar uma solução estável);
- Arquivos de entrada, saída e climática que incluem condições ambientais horárias ou sub-horárias (até um quarto de hora) e relatórios padrões reajustáveis pelo usuário;
- Técnica de solução baseada no balanço de energia para as cargas térmicas prediais, que permite o cálculo simultâneo dos efeitos radiante e convectivo na superfície interior e exterior, durante cada intervalo de tempo;

-
- Condução de calor transiente através dos elementos do prédio como paredes, tetos, pisos, etc, usando funções de transferência;
 - Modelo de conforto térmico, baseado na atividade, temperatura de bulbo seco interna, umidade, etc;
 - Modelo de céu anisotrópico para cálculos mais complexos da radiação difusa sobre superfícies inclinadas;
 - Cálculo de balanço de calor de janelas que permite o controle eletrônico de persianas, balanço térmico camada por camada, o que permite a identificação do comprimento de onda da energia solar absorvida pelo vidro da janela;
 - Possui uma biblioteca versátil com diversos modelos comerciais de janela;
 - Controle da luz do dia, incluindo cálculos da iluminância interior, controle dos brilhos das luminárias e do efeito da iluminação artificial;
 - Sistemas de condicionamento de ar configuráveis, que permitem ao usuário simular sistemas típicos comuns e sistemas poucos modificados, sem ter que recompilar o código fonte do programa;
 - Cálculo da poluição atmosférica gerada pelo consumo de energia;
 - Links com outros ambientes de simulação populares.

O programa *EnergyPlus* integra vários módulos que trabalham juntos para calcular a energia requerida para aquecer ou resfriar um edifício usando uma variedade de sistemas e fontes de energia. Ele faz isso simulando o edifício e os sistemas associados em diferentes condições ambientais e operacionais. A essência da simulação está no modelo do edifício que utiliza princípios fundamentais de balanço energético.

O *EnergyPlus* apresenta ferramentas que ajudam a criar arquivos de entrada e realizar simulações, tais como o “*IDF Editor*” e “*EP-Launch*”. O *EP-Launch* fornece uma alternativa simples de realizar simulações, pois permite que o usuário selecione o arquivo de entrada de uma lista de arquivos recentes ou de arquivos de exemplos. Também permite uma fácil seleção do arquivo climático a ser utilizado. Após a realização da simulação, o *EP-Launch* apresenta, se for o caso, os erros ou alertas ocorridos. O “*IDF Editor*” é utilizado para criar os arquivos de entrada em formato “*idf*”, a partir de tabelas que agrupam os diferentes objetos disponíveis para um modelo.

3.2 HISTÓRICO DE CONSUMO E DEMANDA

Para calibrar o modelo da edificação, inserido no programa utilizado, é fundamental analisar seu histórico de consumo e demanda de energia elétrica. Tal análise serve também para verificar a adequação do contrato tarifário que envolve o tipo de demanda contratada, a ocorrência de faturamento por energia reativa excedente, e o tipo de tarifa contratada.

Segundo Westphal (1999) uma análise apurada do histórico de consumo e demanda de um edifício é consistente quando são utilizados pelo menos dados completos de um ciclo anual de medições, imediatamente anterior ao início do estudo. Quando possível, deve-se utilizar os registros de vários anos. A comparação dos dados do último ano de medições com os anteriores indica mudanças em padrões de consumo de energia do prédio, como instalação de centrais de processamento de dados, ou de novos aparelhos de climatização ou até mesmo a introdução de inovações tecnológicas, como microcomputadores e equipamentos elétricos.

O presente estudo contempla a análise das contas de energia elétrica do edifício registrada nos últimos 12 meses (novembro de 2004 a outubro de 2005), as quais foram fornecidas pela CELESC (Centrais Elétricas de Santa Catarina S.A.) através de solicitação do próprio hotel.

Como a tarifa aplicada ao hotel é do tipo convencional, não será possível analisar a memória de massa (informações com dados de medição de consumo do hotel a cada 15 minutos). Porém, a instalação de um medidor de energia portátil com capacidade de armazenamento de dados por longos períodos, torna possível monitorar a curva de carga do hotel e detectar os momentos em que os sistemas e equipamentos elétricos são acionados. Mais detalhes sobre as medições é apresentado no item seguinte.

3.3 MODELAGEM DO CASO BASE

Foram realizadas visitas técnicas para o levantamento dos dados característicos da edificação em estudo. Foi necessário inserir a planta do hotel no programa *AutoCad* para uma melhor visualização dos ambientes. Após uma análise, foi possível dividir o estabelecimento em zonas térmicas, ou seja, zonas com o mesmo padrão de uso, densidade de carga instalada (W/m^2) e sistema de condicionamento de ar.

Através de medições de consumo de energia elétrica no quadro de distribuição principal, pode-se identificar o padrão de uso dos sistemas de iluminação, de condicionamento de ar, e dos principais equipamentos em uso no hotel, aferindo-se os valores do modelo referentes à carga instalada.

Durante as visitas técnicas realizadas no hotel, percebeu-se a presença de equipamentos com elevada potência e em uso constante: caldeira e lavadora de roupas. A curva de carga destes equipamentos também foi monitorada durante uma semana.

A medição do circuito de alimentação da lavadora de roupa (Figura 6) foi realizada com sistema de aquisição de sinais de corrente elétrica (*HOBO*) modelo H08-006-04, com registros a cada 2 minutos. A caldeira foi monitorada através do aparelho *ACR Smart Reader 3 Plus* (Figura 7) com registros a cada 5 minutos e a medição no quadro de distribuição principal do hotel (Figura 8) efetuou registros de consumo a cada 15 minutos através de um analisador trifásico modelo *Fluke 434*. Todas as medições tiveram a duração de 1 semana, entre os dias 27 de setembro a 03 de outubro do ano de 2005.



Figura 6. Medição do circuito de alimentação da lavadora de roupa.



Figura 7. Medição da caldeira elétrica.



Figura 8. Medição do quadro geral de energia elétrica do hotel.

A caldeira elétrica com volume de 2500 litros foi dimensionada no programa *EnergyPlus*.

A orientação do prédio em relação ao norte verdadeiro foi obtida através da planta da edificação, assim como a relação da área de janela por área de fachada.

As propriedades térmicas dos materiais utilizados foram estabelecidas através do programa E2-Ar Condicionado (interface simplificada do programa *EnergyPlus*) e da biblioteca do próprio *EnergyPlus*.

A absorvância térmica do hotel foi estabelecida através da norma de Projeto de Normalização em Conforto Ambiental-Térmica.

Foram inseridas as edificações vizinhas ao prédio no programa *EnergyPlus* para se ter o conhecimento da influência destas em relação ao hotel.

As características dos condicionadores de ar foram adquiridas nos catálogos dos fabricantes (ELETROLUX, 2005), (YORK, 2005) e na página da internet do Inmetro (INMETRO, 2005).

Neste estudo, a calibração será auxiliada por uma análise de sensibilidade (WESTPHAL e LAMBERTS, 2005), a qual permite minimizar o tempo gasto no processo de ajuste do modelo.

Estão associadas a cada etapa:

- 1) Calibrar as cargas constantes, como iluminação e equipamentos, e caracterizar a edificação (geometria, divisão em zonas, janelas, coberturas, pisos);
- 2) Inserir um sistema de condicionamento de ar fictício, denominado de “*purchased air*”. A carga total de aquecimento ou de resfriamento adicionada ou extraída no edifício é analisada apenas para os dias típicos ou de pico de carga (inverno e verão). O fluxo de calor total é obtido através de integração ao longo dos dias simulados. As fontes de calor com valores mais elevados indicarão quais parâmetros devem receber atenção especial na próxima etapa do processo de calibração;
- 3) Analisar os dados de entrada relacionados com as trocas de calor mais significativas, verificando a participação das cargas no consumo total de energia elétrica do hotel para dias extremos de temperatura e radiação solar;

- 4) Verificar as variáveis com maior influência e incertezas e ajustá-las com a utilização do Coeficiente de Influência (Lam e Hui, 1995) dado pela Eq (1). Com os resultados obtidos através desta equação pode-se identificar o parâmetro com uma maior influência no consumo da edificação;

$$CI = \frac{\Delta OP \div OP_{BC}}{\Delta IP \div IP_{BC}} \quad (1)$$

Onde ΔOP e ΔIP representam respectivamente as variações dos dados de saída e entrada, enquanto que os símbolos OP_{BC} e IP_{BC} representam as variáveis de saída e entrada do modelo caso base. Este coeficiente de sensibilidade é adimensional e representa o percentual de variação nos dados de saída devido ao percentual de alteração aplicado nos dados de entrada.

- 5) Substituir o sistema de condicionamento de ar fictício pelo real, e simular o modelo para um ano inteiro (8760 horas), comparando o consumo mensal estimado com o real;
- 6) Fazer os ajustes finais, concluindo a etapa de calibração do modelo.

Na simulação do modelo para um ano, utiliza-se um arquivo climático do tipo TRY (*Test Referency Year*) de 1963, o qual inclui dados da região da cidade de Florianópolis, e representa um ano climático médio dentro de uma série de 30 anos (GOULART, 1993).

3.3.1 Análise de sensibilidade através da equação de Signor (1999)

Signor (1999) realizou 7168 simulações paramétricas com o programa *VisualDOE* e obteve, através de regressão linear, uma equação para estimar o consumo de edificações em função de 10 parâmetros arquitetônicos, para 14 cidades brasileiras, incluindo Florianópolis.

Paralela a análise de sensibilidade através do *EnergyPlus*, o grau de influência dos parâmetros modificados também foram analisados através da equação (Eq 2) de Signor (1999).

$$C = 21,37 \frac{A_{cob}}{A_{total}} + 18,21 \frac{A_{cob} \cdot U_{cob} \cdot \alpha_{cob}}{A_{total}} + 15,77 \frac{A_{fach}}{A_{total}} + 117,25 \frac{A_{fach} WWR \cdot SC}{A_{total}} - 63,84 \frac{A_{fach} WWR \cdot SC \cdot PF}{A_{total}} + 6,69 WWR \cdot SC - 0,83 PF + 3,24 ILD \quad (2)$$

Onde:

WWR → relação área de janela por área de fachada.

SC → coeficiente de sombreamento dos vidros. Expressa a porcentagem de radiação solar que passa pelo vidro considerado, comparando ao vidro padrão comum de 3mm de espessura.

PF → fator de projeção. Relação associada às janelas dos prédios, considerando seus *brises* (elemento arquitetônico para dar sombreamento às janelas).

U → transmitância térmica. Demonstra o quanto condutor de calor é a parede ou o telhado; depende dos materiais que constituem cada elemento.

α → absorvidade. Relação da radiação absorvida pela radiação refletida por um determinado elemento.

$A_{telhado}/A_{total}$ → número de pavimentos da edificação. A cobertura é um elemento muito importante na definição das cargas térmicas. Este fator é determinante do nível de consumo de energia elétrica, tendo um efeito maior quanto mais baixo for o prédio.

$A_{fachada}/A_{total}$ → área de fachada. Relacionada diretamente com o consumo, pois este elemento é que separa o interior e o exterior do prédio.

ILD → Densidade de cargas internas. Divide-se em:

LPD: quantidade de potência de iluminação instalada em um determinado ambiente dividida pela sua área.

EPD: densidade de carga de equipamentos.

OccD: quantidade de pessoas por m² e suas atividades.

Esta análise é realizada para comparar se os parâmetros de maior influência analisados através do *EnergyPlus* são os mesmos obtidos com a equação de Signor, elaborada com o *VisualDOE*. Desta forma, o uso da equação poderia preceder a modelagem da edificação no *EnergyPlus*, orientando o analista na caracterização dos parâmetros mais influentes no desempenho térmico do modelo.

O programa utilizado para tal fim foi o *Avalcon* (Figura 9), no qual se introduziu a equação para o clima de Florianópolis. No programa inserem-se dados referentes ao envelope do prédio, às cargas internas, ao padrão de uso e aos dados da janela e cobertura. Após a inserção dos dados, o programa calcula o consumo anual em kWh/m².

Figura 9. Interface do programa *Avalcon*.

3.4 SIMULAÇÃO DAS ALTERNATIVAS DE *RETROFIT*

Segundo Ghisi (1997), *retrofit* é o termo utilizado para a definição de algum tipo de reforma. Mas, para profissionais e pesquisadores preocupados com a eficiência energética das edificações, este termo é empregado para definir reformas que visem a conservação de energia elétrica dos estabelecimentos envolvidos.

A análise dos resultados fornecidos pelo modelo calibrado será de extrema importância para a elaboração de propostas de *retrofíts*. Serão propostas para o hotel:

- a) A troca das lâmpadas fluorescentes de 40W, presentes em alguns dos quartos, por lâmpadas do mesmo tipo com 32W. Todas as lâmpadas terão um refletor de alumínio anodizado de alta pureza e reator eletrônico;
- b) A troca dos aparelhos de condicionamento de ar do tipo janela e *splits* por um sistema de condicionamento central, com resfriador de líquido, torre de arrefecimento, circuito de água gelada e climatizadores (fan-coils) em cada zona condicionada.
- c) A compra de um gerador a diesel para funcionar no horário de ponta visando à redução das despesas com a eletricidade do prédio, juntamente com alteração do contrato tarifário.

3.5 ANÁLISE ECONÔMICA DAS ALTERNATIVAS DE *RETROFIT*

Nos investimentos de alternativas de *retrofits*, calculados através da viabilidade econômica deve-se apenas considerar como investimento os equipamentos que vão proporcionar uma melhor eficiência para a edificação em estudo. Visto que na maioria das vezes o custo acaba sendo mais caro que o previsto pelo fato da mudança de outros equipamentos que não estejam relacionados à eficiência do prédio (WESTPHAL, 1999).

Para a análise da contas de energia elétrica do modelo base e das alternativas de *retrofit* propostas será utilizado o programa E2-Tarifas, desenvolvido pelo LabEEE (2005).

Primeiramente, inserem-se no programa as tarifas de consumo e demanda correspondentes ao grupo tarifário do hotel (A4). Como as tarifas estão sem a incidência de tributos, adicionou-se uma cobrança de ICMS de 25%.

Após a simulação de cada alternativa no programa *EnergyPlus*, os valores de consumo e demanda estimados são inseridos no programa separados por: consumo em horário de ponta e fora de ponta, e demanda em horário de ponta e fora de ponta.

O hotel está enquadrado na tarifa convencional. Para simular as tarifas verde e azul foi necessário estabelecer a demanda contratada para os horários de ponta e fora de ponta, em período seco e úmido.

Com estes dados, o E2-Tarifas calcula a fatura mensal, em reais (R\$), de cada alternativa inserida no programa, analisando diferentes opções de contrato de fornecimento.

A viabilidade econômica de cada proposta é definida pelo cálculo e análise dos índices de Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e *Payback* Corrigido (HOCHHEIM, 2003).

O VPL de um fluxo de caixa é obtido pela soma de todos os valores de fluxo de caixa, trazidos para a data presente. Ou seja, descontam-se os valores futuros para a data presente e somam-se estes valores descontados com o valor que o fluxo de caixa apresenta na data inicial.

TIR é a taxa que iguala os recebimentos futuros aos investimentos feitos no projeto. Um projeto é considerável viável se a TIR for maior que a TMA.

Payback Corrigido mede o tempo necessário para recuperar o capital investido no projeto, considerando a Taxa Mínima de Atratividade (TMA).

Adotou-se a TMA como o rendimento líquido de 12% a.a., que poderia ser alcançado com aplicação em fundos de renda fixa, por ser uma aplicação segura e estável do mercado financeiro.

4 RESULTADOS

A metodologia deste trabalho foi aplicada na simulação do hotel, utilizando o programa *EnergyPlus*. Os resultados obtidos em cada etapa estão apresentados neste capítulo.

4.1 HISTÓRICO DE CONSUMO E DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA

Uma primeira análise nas contas de energia elétrica foi realizada para a identificação do consumo do hotel em kWh/mês e os gastos com energia elétrica. Os dados das contas de energia elétrica de um ciclo completo de 12 meses, no período de novembro de 2004 a outubro de 2005, são mostrados na Tabela 3.

Tabela 3. Histórico de consumo e demanda nos últimos 12 meses.

Data	Consumo (kWh)	Demanda			Total (R\$)
		Contratada	Medida	Faturada	
Nov-04	12300	80	46	80	4287,23
Dez-04	15908	80	49	80	5211,49
Jan-05	23452	80	82	82	6888,93
Fev-05	22304	80	82	82	6491,01
Mar-05	22304	110	118	118	7448,87
Abr-05	24928	100	98	100	7368,88
Mai-05	22632	100	72	100	6771,88
Jun-05	11480	100	59	100	4300,54
Jul-05	13940	100	62	100	5470,77
Ago-05	20186	100	80	100	5690,82
Set-05	24764	100	82	100	6892,65
Out-05	21648	100	82	100	7437,57
Total	245850				78183,95

Nos meses de novembro a dezembro de 2004 percebeu-se que a demanda contratada era muito superior à demanda medida, representando uma despesa desnecessária.

Em agosto de 2005 o estabelecimento adicionou uma nova potência de 18kW à caldeira, ocasionando um aumento no consumo de energia a partir desse mês. Este aumento no consumo é ilustrado na Figura 10.

Nos meses de verão, pode-se perceber um aumento do consumo de energia elétrica do prédio em virtude do uso do sistema de condicionamento do ar.

Observou-se, que antes de janeiro, o consumo mensal era bastante inferior ao dos outros meses. Isto se deve ao fato que, nestes meses a conta do consumo da caldeira era separada do consumo do restante do prédio. Este fato também ocorre nos meses de junho e julho de 2005, quando o faturamento da caldeira não entrou na conta principal de energia elétrica do prédio.

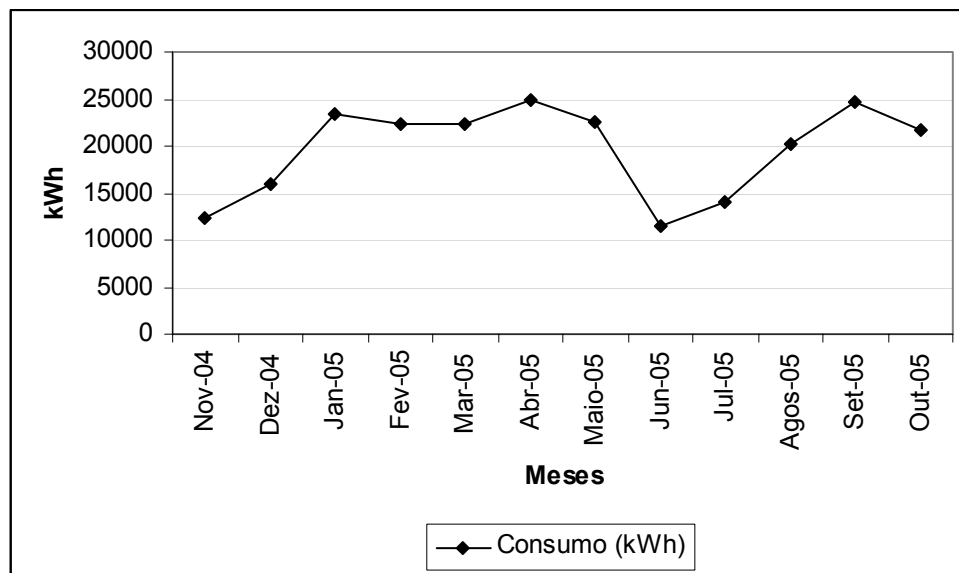


Figura 10. Consumo de energia elétrica do hotel ao longo dos 12 meses anteriores ao estudo.

4.2 MODELO CASO BASE

As etapas seguintes correspondem ao processo de calibração do modelo denominado “caso base”, que representa o hotel na sua condição atual.

4.2.1 Arquitetura

Após uma análise das características do hotel através do programa *AutoCad*, dividiu-se o prédio em 11 zonas, ilustradas na Figura 11, Figura 12, Figura 13 e na Figura 14. Observa-se que na divisão do subsolo e do pavimento térreo as zonas resultaram em áreas menores que as áreas originais. Optou-se em adotar este procedimento para se ter uma melhor caracterização da geometria do prédio.

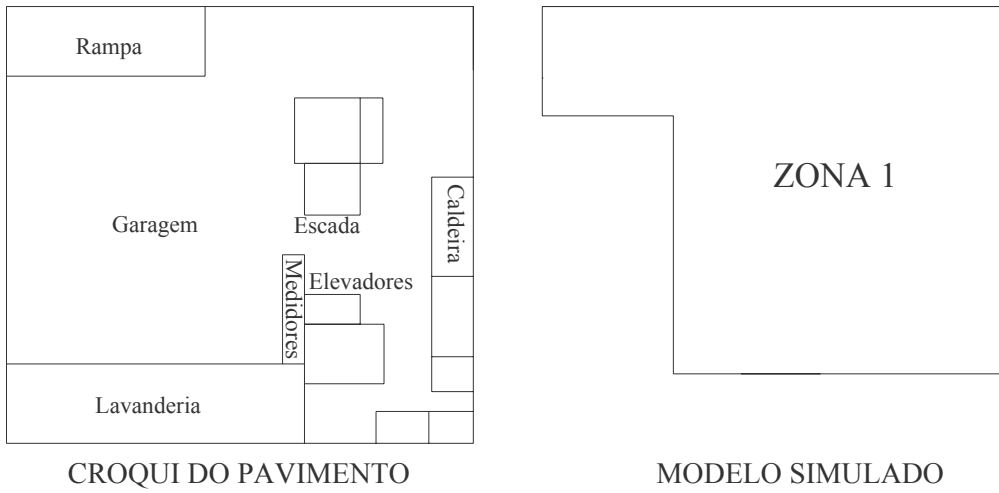


Figura 11. Divisão do subsolo.

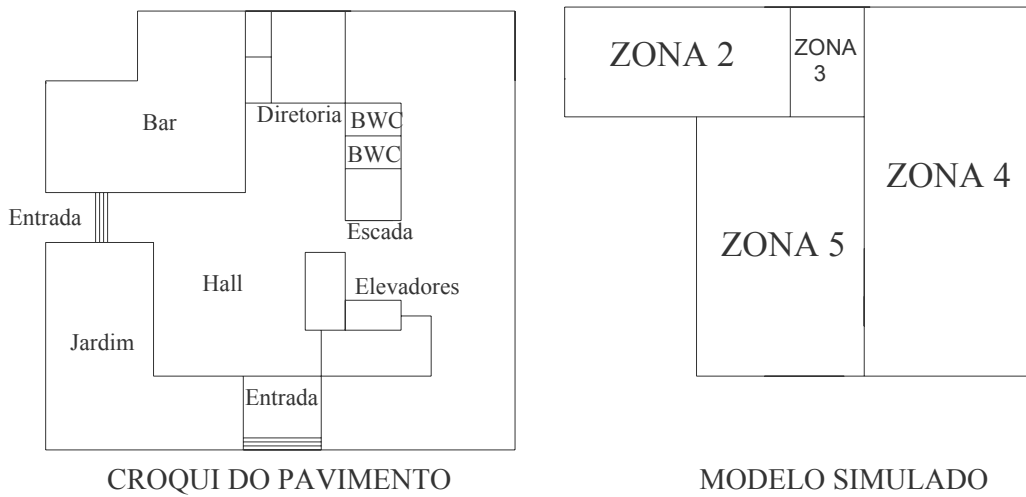


Figura 12. Divisão do pavimento térreo.

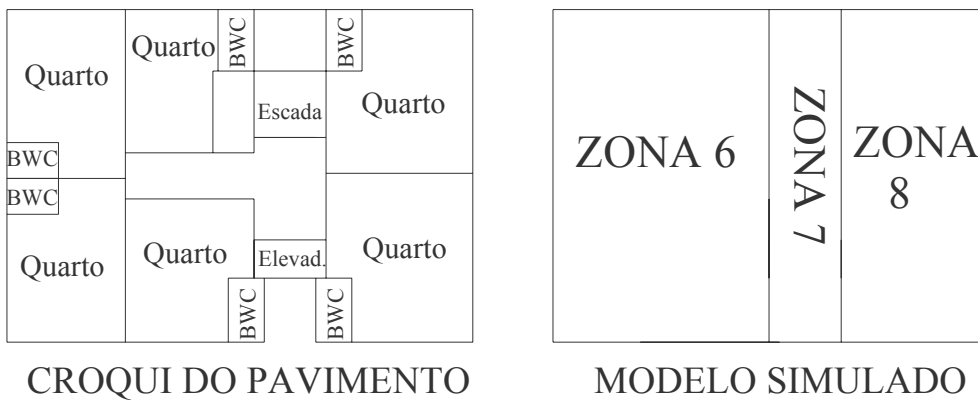


Figura 13. Divisão do pavimento tipo.

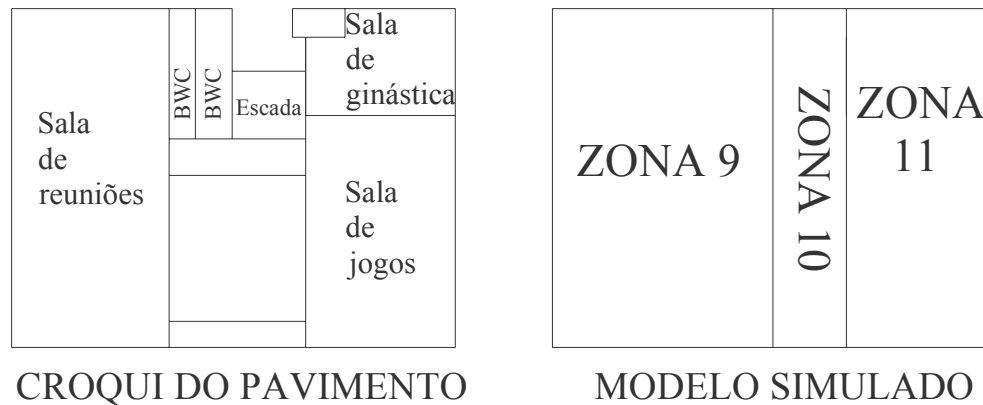


Figura 14. Divisão do ático.

O subsolo foi dividido em uma única zona por possuir todos os ambientes não condicionados e padrão de uso semelhante.

Os ambientes do pavimento térreo foram representados através de 4 zonas. O bar foi incluído na zona 2, a qual é condicionada com um aparelho do tipo *split* e possui um horário de funcionamento diferente do restante. Na zona 3 está a diretoria, que funciona em horário comercial e também é condicionada com um aparelho do tipo *split*. A zona 4, a qual não é condicionada, é utilizada pelos hóspedes para entrada e saída do prédio. A zona 5 é o hall do hotel, condicionada com um aparelho do tipo *split* e com funcionamento de 24 horas por dia.

Para o pavimento tipo, a divisão resultou em 3 zonas. Nas zonas 6 e 8 estão os quartos, os quais são condicionados com aparelhos de janela. A zona 7 (não condicionada) é a circulação entre os quartos e o elevador.

O pavimento ático foi dividido de acordo com as zonas do pavimento tipo. A sala de reuniões (zona 9) se sobrepõe a zona 6, a zona 10 (circulação) se sobrepõe a zona 7 e a zona 11 (sala de jogos e ginástica) se sobrepõe a zona 8. Esta divisão simplificou a caracterização da geometria do prédio no programa *EnergyPlus*.

Com o modelo geométrico finalizado, inseriram-se as características do hotel, como os materiais construtivos das paredes e das janelas de acordo com os dados obtidos em visitas, e pela análise das plantas.

Na composição dos componentes construtivos (de fora para dentro) utilizou-se:

-
- Paredes:
- argamassa de emboço
 - bloco cerâmico com 6 furos
 - camada de ar
 - bloco cerâmico com furos
 - argamassa de emboço

- Cobertura (sala de reuniões):
- telha de fibrocimento
 - camada de ar
 - lã de vidro
 - camada de concreto

- Cobertura:
- telha de fibrocimento
 - camada de ar
 - camada de concreto

- Pisos e lajes:
- camada de concreto

As propriedades térmicas dos materiais utilizados podem ser observadas na Tabela 4.

Tabela 4. Propriedades térmicas dos materiais utilizados.

Materiais utilizados	Propriedades térmicas
Concreto	<ul style="list-style-type: none"> • espessura: 10cm • condutividade: 1.75 W/m²K • densidade: 2400kg/m³ • calor específico: 1000J/kgK • absorvância térmica: 0.9 • absorvância solar: 0.5 • absorvância visível: 0.5
Bloco cerâmico 6 furos	<ul style="list-style-type: none"> • espessura: 6.6cm • condutividade: 0.9 W/m²K • densidade: 840kg/m³ • calor específico: 0.92J/kgK • absorvância térmica: 0.9 • absorvância solar: 0.5 • absorvância visível: 0.5
Argamassa	<ul style="list-style-type: none"> • espessura: 2.5cm • condutividade: 1.15 W/m²K • densidade: 2000kg/m³ • calor específico: 1000J/kgK • absorvância térmica: 0.9 • absorvância solar: 0.5 • absorvância visível: 0.5
Telha de fibrocimento	<ul style="list-style-type: none"> • espessura: 7.0cm • condutividade: 0.95 W/m²K • densidade: 1900kg/m³ • calor específico: 840J/kgK • absorvância térmica: 0.9 • absorvância solar: 0.5 • absorvância visível: 0.5
Lã de vidro	<ul style="list-style-type: none"> • espessura: 6.0cm • condutividade: 0.045 W/m²K • densidade: 900kg/m³ • calor específico: 700J/kgK • absorvância térmica: 0.9 • absorvância solar: 0.7 • absorvância visível: 0.7
Camada de ar (parede)	• resitência térmica: 0.16m ² K/W
Camada de ar (cobertura)	• resitência térmica: 0.21m ² K/W

A fachada principal possui um azimute de 315° (ângulo medido em sentido horário entre o norte verdadeiro e a reta ortogonal à fachada).

O estabelecimento possui proteções solares nas janelas dos quartos. As proteções são de concreto com um comprimento de 0,5 metro e uma inclinação de 30° em relação as fachadas. Foram consideradas também as cortinas dos quartos, admitindo-se um material de transmitância solar de 0,4 e refletância de 0,5. Foi escolhido este tipo de material para a cortina por esta possuir valores médios dos materiais analisados, podendo assim saber o quanto esta irá influenciar no consumo do prédio na análise de sensibilidade.

O pavimento tipo foi inserido uma única vez, em uma altura média entre o pavimento térreo e o ático. Para a representatividade das cargas do pavimento tipo no programa *EnergyPlus*, este foi multiplicado 11 vezes. O modelo final pode ser visualizado em 3 dimensões na Figura 15.

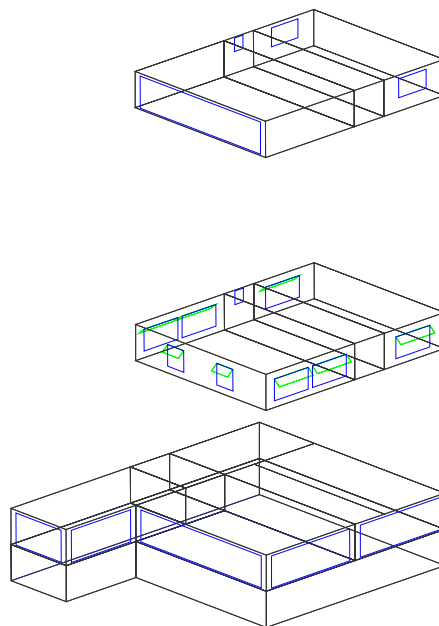


Figura 15. Modelo base final.

4.2.2 Cargas internas

Após a definição da arquitetura do modelo base, os parâmetros relacionados às cargas internas foram analisados e inseridos no programa: iluminação, equipamentos, padrões de uso e sistema de condicionamento de ar. A quantidade de carga instalada por ambiente pode ser observada na Tabela 5.

Tabela 5. Carga instalada e ocupação por ambiente.

Zona	Nº pessoas	Carga instalada (kW)				Equipamentos
		Ilum.	Equip.	Capacidade nominal dos aparelhos instalados	Caldeira	
Zona 1 (Subsolo)	10	1,3	0,76	-	54	<ul style="list-style-type: none"> • caldeira • lavadora de roupa
Zona 2 (Bar)	15	0,86	0,080	10,44	-	<ul style="list-style-type: none"> • balcão frigorífico • condicionador de ar
Zona 3 (Diretoria)	1	0,22	0,24	2,61	-	<ul style="list-style-type: none"> • computador • condicionador de ar
Zona 4 (Hall)	6	0,8	-	-	-	-
Zona 5 (Hall)	3	0,8	0,05	6,96	-	<ul style="list-style-type: none"> • televisão • condicionador de ar
Zona 6 (Quartos)	8	1,21	0,32	11,60	-	<ul style="list-style-type: none"> • frigobar de 80l • televisão • condicionador de ar
Zona 7 (Circ.)	0	0,21	-	-	-	-
Zona 8 (Quartos)	4	0,76	0,16	5,8	-	<ul style="list-style-type: none"> • frigobar de 80l • televisão • condicionador de ar
Zona 9 (Sala reuniões)	40	0,45	-	10,44	-	<ul style="list-style-type: none"> • condicionador de ar
Zona 10 (Circ.)	0	0,67	-	-	-	-
Zona 11 (Sala gin./jogos)	2	0,38	0,74	-	-	<ul style="list-style-type: none"> • esteira
Total		29,60	7,15	221,85	54	

4.2.3 Padrões de uso

Pelo fato do estabelecimento simulado ser um hotel, não existe um horário regrado de acionamento e desligamento dos equipamentos e iluminação. O prédio nunca está totalmente desocupado, e com todas as luminárias desligadas. O hotel deve estar sempre apto a oferecer o melhor conforto para os seus hóspedes a qualquer hora do dia.

O acionamento dos equipamentos e do sistema de iluminação dos quartos, além dos sistemas de condicionamento de ar, é realizado pelos hóspedes e segue um padrão difícil de ser representado genericamente.

As medições realizadas no quadro geral do hotel, na caldeira e na lavadora de roupas auxiliaram na definição dos padrões de uso desses equipamentos.

A Figura 16 apresenta a curva de carga de um dia típico de semana e a Figura 17 apresenta a curva para o domingo monitorado.

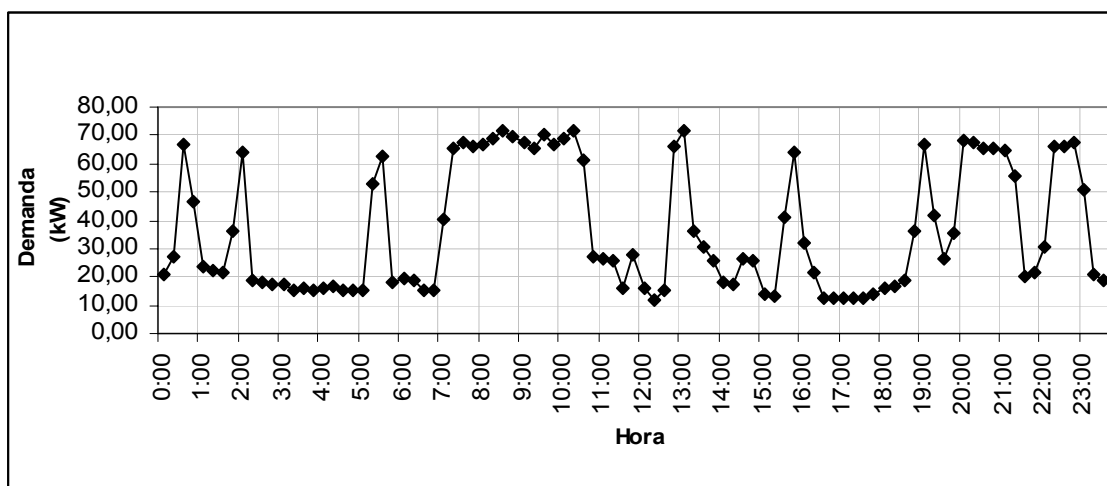


Figura 16. Medição do dia 27/09/05 – Terça-Feira.

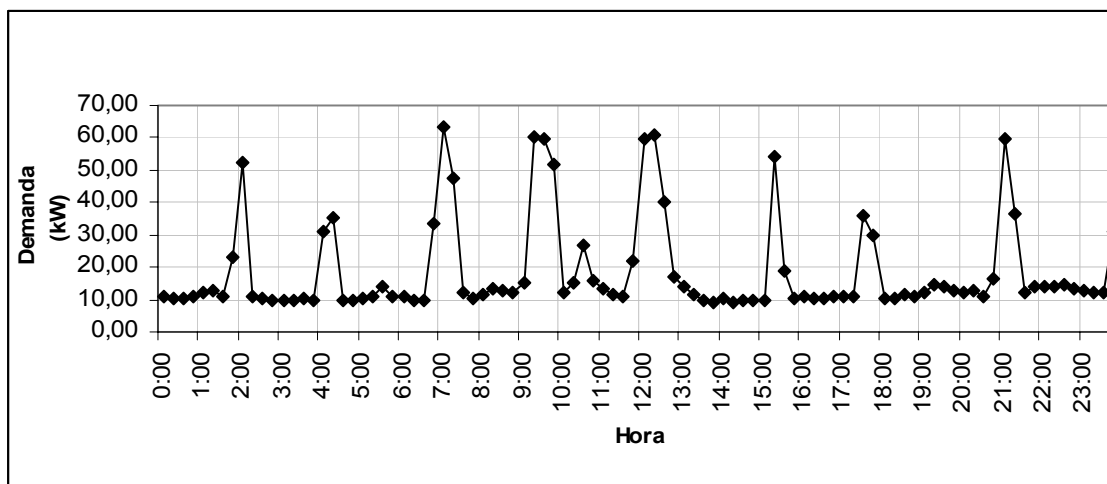


Figura 17. Medição do dia 02/10/05 – Domingo.

Para o dia de semana analisado, verifica-se uma maior utilização das funcionalidades do hotel no período das 07h30 às 11h e das 19h às 21h, horários de saída e retorno dos hóspedes, respectivamente.

Outros picos também podem ser observados, mas com uma utilização de no máximo 30 minutos.

No final de semana medido, os picos ocorrem em horas alternadas, não possuindo horário com uma maior utilização. Os hóspedes de finais de semana, geralmente estão no hotel para descansar e sem obrigações, iniciando as suas atividades no horário que melhor lhe agradam.

Os picos de carga observados nos gráficos se devem ao acionamento da caldeira, a qual possui uma carga de 54kW. Os equipamentos da lavanderia não influenciam muito na carga total da edificação, uma vez que estes são pouco utilizados. Somente a lavadora doméstica possui um funcionamento diário, mas com uma potência baixa, de 0,76kW. Observa-se que o acionamento da caldeira está relacionado com a solicitação de água quente feita nos horários prováveis em que os hóspedes utilizam os chuveiros, durante a manhã e início da noite.

Para representar a média de 60% de ocupação anual, foi necessário criar uma *schedule* de verão e inverno (Figura 18) para a caracterização do padrão de uso dos quartos. Considerou-se que, no verão todos os quartos do hotel estão sendo utilizados, e no inverno somente os quartos da zona 8 estão em uso. O horário de ocupação e a *schedule* de iluminação dos quartos considerados estão representados pela Figura 19 e Figura 20, respectivamente.

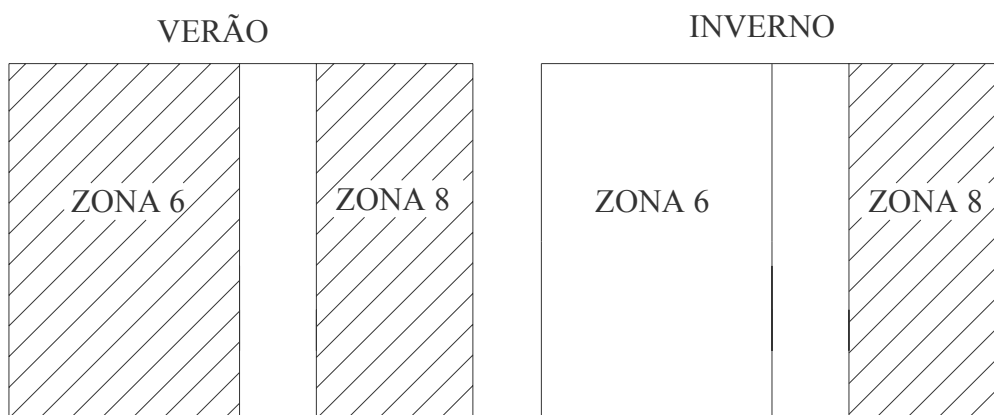


Figura 18. Ocupação dos quartos ao longo do ano.

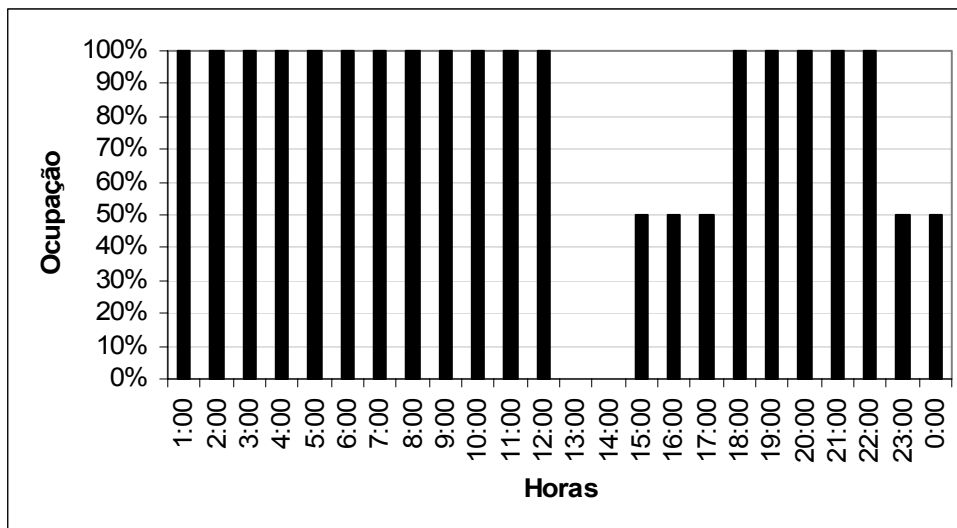


Figura 19. Horário de ocupação dos quartos (zona 6 e 8).

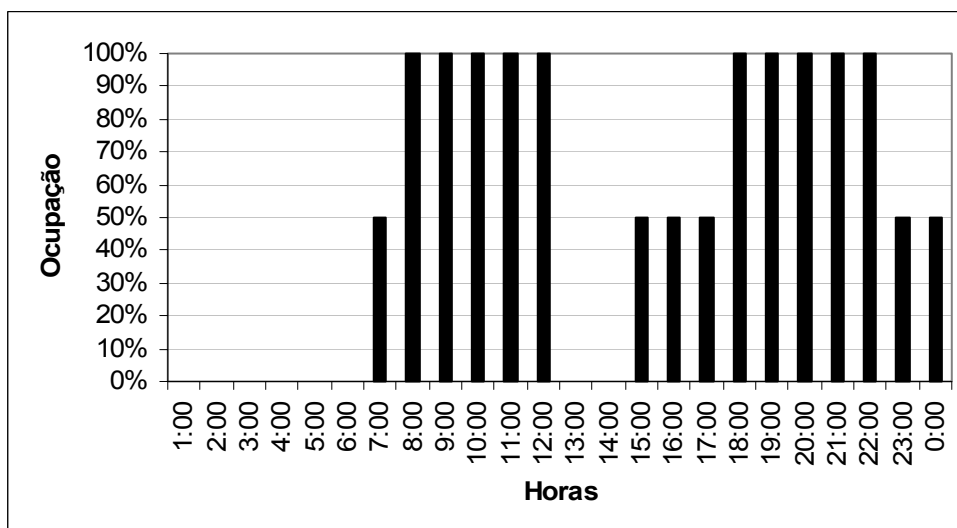


Figura 20. Schedule de iluminação dos quartos (zona 6 e 8).

A televisão e o sistema de condicionamento de ar presentes nos quartos possuem a mesma *schedule* de funcionamento adotada para a ocupação dos quartos. Para o *frigobar* dos quartos a *schedule* adotada foi de 24h em funcionamento.

No ambiente da zona térmica 1 (garagem e lavanderia), nas zonas térmicas 4 e 5 (*hall*) e na zona 11 (sala de jogos e ginástica), o padrão de uso é constante (24h por dia), visto que estes ambientes devem sempre estar preparados para atender aos hóspedes. A *schedule* de iluminação e dos equipamentos destas zonas foram as mesmas adotadas na ocupação delas.

Para o bar, criou-se uma *schedule* de ocupação como mostra a Figura 21, conforme o seu horário de funcionamento, para todos os dias, exceto domingo. O balcão frigorífico existente no bar tem uma *schedule* de funcionamento de 24h, e o sistema de condicionamento de ar e iluminação possuem uma *schedule* conforme o horário de ocupação da zona.

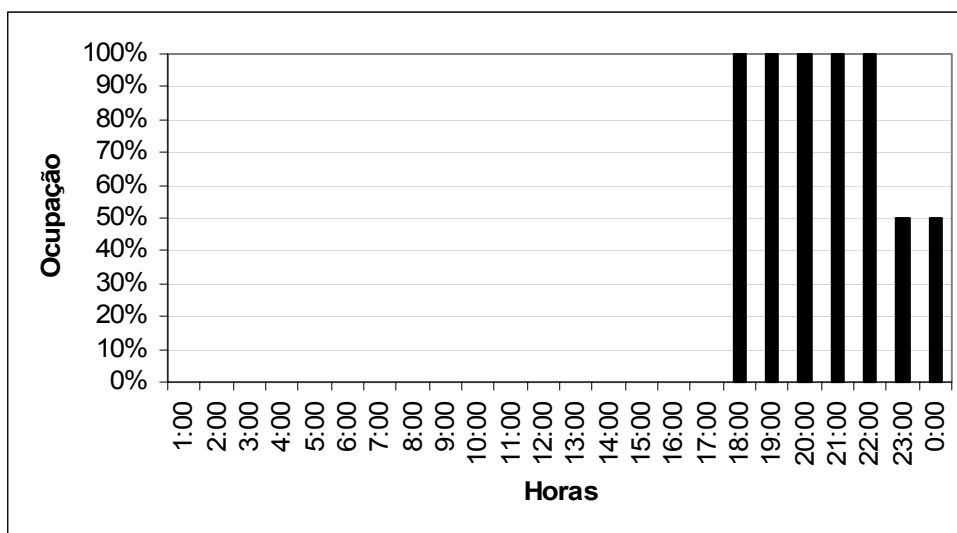


Figura 21. Horário de ocupação do bar (zona 2).

Para a zona térmica da diretoria, a *schedule* de ocupação, iluminação e funcionamento do sistema de condicionamento de ar adotada foi a de horário comercial, das 8h às 18h, representada pela Figura 22. Salienta-se que no *EnergyPlus* a definição de 100% de uso na hora 9, por exemplo, significa que o sistema está em uso desde o início da hora 8 até o início da hora 9.

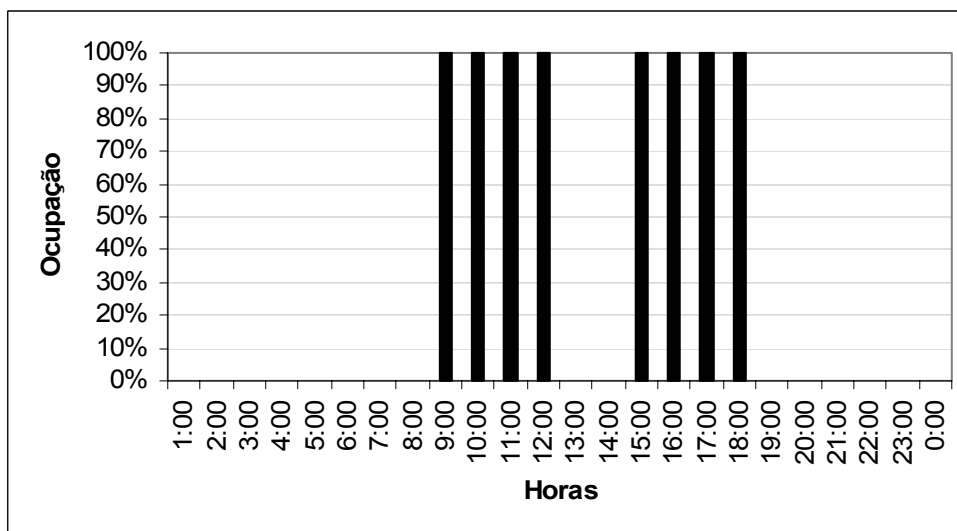


Figura 22. Ocupação da diretoria (zona 3).

Para a sala de reuniões adotou-se um padrão de uso conforme a ocupação média semanal desta zona térmica, a qual corresponde a um dia da semana. O horário adotado foi o mesmo da zona térmica 3, mostrado na figura acima.

Nas áreas de circulação do hotel (zonas 7 e 10), optou-se por adotar uma *schedule* de ocupação nula, pelo fato de nenhum hóspede permanecer muito tempo nesta área.

A taxa de metabolismo adotada para as atividades decorrentes em cada zona foi a sugerida pelo *EnergyPlus Input/Output Reference* (Tabela 6), assim como o valor de fração radiante de 0,58, o qual indica a quantidade de calor liberado por radiação pela pessoa para o ambiente.

Tabela 6. Taxa de metabolismo de cada zona térmica.

Zona	Ocupação	Metabolismo (W/pessoa)
Zona 1	Garagem/Lavanderia	160
Zona 2	Bar	100
Zona 3	Diretoria	70
Zona 4	Hall (check in)	100
Zona 5	Hall (lobby)	70
Zona 6	Quartos	80
Zona 7	Circulação	100
Zona 8	Quartos	80
Zona 9	Sala de reuniões	100
Zona 10	Circulação	100
Zona 11	Sala de jogos/ginástica	200

4.2.4 Infiltração

A taxa de infiltração é um parâmetro difícil de ser estimado, o que fez com que se adotasse uma taxa de remoção de ar de uma troca de ar por hora para dar início à análise de sensibilidade, que irá indicar se a infiltração é muito relevante ou não.

4.2.5 Análise de sensibilidade

Não foi possível realizar a calibração das cargas constantes (não dependentes do clima) como previsto pela metodologia adotada, pois não foi possível monitorar o consumo por uso final.

A etapa de análise de sensibilidade é caracterizada pela utilização de um sistema de condicionamento de ar fictício e ideal (*purchased air*), o qual calcula a quantidade de calor a ser retirada ou adicionada em cada zona térmica condicionada, para atingir a temperatura de controle.

O *purchased air* foi inserido através de uma macro fornecida pelo programa (Arquivo: HVACTemplates.imf), onde o usuário define uma temperatura de controle de aquecimento e resfriamento dos ambientes condicionados. A temperatura de aquecimento adotada neste trabalho foi de 18⁰C e a de resfriamento adotada foi de 24⁰C.

Para economizar tempo, as simulações foram realizadas apenas para os dias de projeto da região de Florianópolis, onde se adota para o verão o dia 21 de janeiro e no inverno o dia 21 de julho (GOULART, 1998).

A

Tabela 7 apresenta o somatório dos fluxos de calor nas zonas condicionadas, onde se pode identificar qual parâmetro tem maior representatividade no total.

Tabela 7. Análise dos fluxos de ganho e perda de calor no dia 21 de janeiro.

Fluxos de calor	kWh	%
Janelas	493,69	35,63
Iluminação	252,17	18,20
Paredes	231,97	16,74
Pessoas	110,16	7,95
Piso	100,43	7,25
Equipamentos	86,92	6,27
Cobertura	85,61	6,18
Parede em contato com solo	18,58	1,34
Infiltração	6,16	0,44
Soma Total	1385,68	100,00

Analisando os resultados obtidos, percebe-se que as trocas de calor pelas janelas correspondem a 35,63% do consumo total, seguidos pela iluminação com 18,20% de participação.

Em razão disto, alguns parâmetros de entrada relacionados aos ganhos pelas janelas foram modificados para verificar a influência destes no consumo final da edificação.

Foram gerados quatro novos casos com a modificação dos parâmetros:

- a) WWR (razão da área de janela/área de fachada);
- b) Espessura do vidro;
- c) Transmissividade + Absortância do vidro (Ts + Abs);
- d) Mudança no ângulo das proteções solares externas (*brises*).

Os valores analisados no modelo base são os *outputs* (dados de saída). Através de solicitação de variáveis no programa *EnergyPlus*, pode-se saber a carga térmica de cada ambiente condicionado.

A carga térmica é calculada pelo *purchased air*, o qual remove do ambiente a energia total (sensível e latente), proveniente do ar externo e do ar do ambiente da zona térmica, para que a temperatura e a umidade interna permaneçam como foi estipulada pelo usuário na inserção da macro.

Na Tabela 8 são apresentadas as alternativas simuladas e seus resultados para o dia 21 de janeiro.

Tabela 8. Alternativas simuladas através do *EnergyPlus* para análise de sensibilidade sobre os parâmetros relacionados às janelas.

Modelo	Input		Output-Carga Térmica (kWh) - 21 jan		Δ Output kWh
	Caso Base	Alternativa	Caso Base	Alternativa	
Brises (grau)	30	20	1825,83	1823,92	-1,91
Cor do vidro (Ts+Abs)	0,925	0,937	1825,83	1851,00	25,17
Espessura do vidro (mm)	3	6	1825,83	1837,61	11,78
WWR (%)	45	25	1825,83	1796,00	-29,83

Com a utilização da Eq. (1), calcula-se o coeficiente de influência de cada parâmetro modificado, os quais são encontrados na Tabela 9.

Tabela 9. Coeficiente de Influência de cada parâmetro analisado.

Modelo	Δ input %	Δ output %	$CI = \left(\frac{\Delta out}{\Delta in} \right)$
Brises (Θ)	-33,33	-0,10	0,00
Cor do vidro (Ts+Abs)	1,30	1,38	1,06
Espessura do vidro (mm)	100,00	0,65	0,01
WWR (%)	-44,44	-1,63	0,04

A Tabela 8 mostra que a mudança da variável WWR foi a que mais reduziu a carga térmica do hotel, mas analisando o Coeficiente de Influência (Tabela 9) esta variável seria menos significativa do que a cor do vidro, com C.I. de 0,04 contra 1,06 deste último.

A mudança do parâmetro cor do vidro teve um acréscimo de apenas 0,012 (Ts+Abs) e representou um aumento de 25,17kWh na carga térmica do modelo base. No parâmetro WWR, foi reduzido em 15% e provocou uma redução de 29,83kWh na carga térmica. Em valores absolutos, a variação ocorrida na carga térmica, com a alteração dos dois parâmetros foi muito próxima. Porém a variação aplicada nos dados de entrada foi muito diferente, em função da incerteza existente acerca de cada variável. Enquanto que a dúvida sobre a definição da cor do vidro pode representar uma pequena variação numérica nas suas propriedades, a dúvida sobre a área de janelas pode ser grande, principalmente quando o analista não dispõe das plantas do prédio e fazem estimativas a partir de fotos ou da medição de poucas janelas.

A mudança do ângulo dos *brises* de 30° para 20° provocou em uma redução 1,91kWh (0,10% do consumo final real) para a edificação. Na mudança da espessura do vidro de 3mm para 6mm procedeu em um aumento de 11,78kWh (0,64% do consumo final real). O WWR inicial foi calculado somando todas as janelas e dividindo pela soma total das áreas das fachadas do pavimento, resultando num total de 45%. Reduziu-se a área das janelas tanto na altura como no comprimento, resultando num WWR de 25%.

Após a análise dos parâmetros mais representativos de ganho de calor pela janela, foram simulados 2 novos casos, baseados no ganho de calor pelo sistema de iluminação: carga instalada e padrão de uso. Aumentou-se o valor da carga total

instalada no hotel em 10% e para o padrão de uso dos quartos aumentou-se 2 horas a mais de uso.

A razão destes aumentos nos parâmetros mais representativos pelo ganho de calor pela janela foi realizada para obter o quanto a mudança destes valores representam na carga térmica. A Tabela 10 apresenta os resultados obtidos com a troca desses parâmetros.

Tabela 10. Alternativas simuladas para o sistema de iluminação.

Modelo	Input		Output-Carga Térmica (kWh) - 21 jan		Δ Output kWh
	Caso Base	Alternativa	Caso Base	Alternativa	
Carga instalada (kW)	27,45	33,00	1825,83	1954,76	128,93
Padrão de uso dos quartos (horas)	8	10	1825,83	2034,11	208,28

A Tabela 11, mostra a utilização do C.I. para identificar o impacto de cada parâmetro no consumo final.

Tabela 11. Cálculo do C.I.

Modelo	Δ input %	Δ output %	$CI = \left(\frac{\Delta out}{\Delta in} \right)$
Carga instalada (kW)	20,21	7,06	0,35
Padrão de uso dos quartos (horas)	25,00	11,41	0,45

O parâmetro de padrão de uso dos quartos foi o que teve uma maior representatividade de ganho de carga térmica para o modelo, provocando em um aumento de 11,41%. A mudança da carga instalada de iluminação provocou um acréscimo de 7,06% na carga térmica.

A mudança do padrão de uso dos quartos foi o que provocou o maior aumento na carga térmica, mas analisando o C.I., esta variável seria menos significativa do que a cor do vidro, com C.I. de 1,06 contra 0,45.

A utilização do C.I. deve ser mais bem estabelecida, uma vez que cada parâmetro tem certa influência quando analisada sobre uma determinada faixa de variação. Cada parâmetro considerado deve possuir uma faixa de valores para a modificação, ou seja, um intervalo de incerteza, possibilitando a definição correta da representatividade de cada item ao longo desta incerteza.

4.2.6 Utilização da equação de Signor (1999)

A análise de sensibilidade, realizada através do programa *EnergyPlus*, foi também realizada com a equação de Signor (1999) para melhor conhecer a influência dos parâmetros relacionados à caracterização das janelas e do sistema de iluminação.

Os resultados dos 6 casos simulados no *Avalcon* podem ser observados na Tabela 12.

No *Avalcon*, ao invés da carga térmica retirada pelo sistema de condicionamento de ar, a análise se concentra sobre o consumo de energia elétrica estimado para a edificação.

O envelope do hotel inserido no programa *Avalcon* é bem simplificado. A geometria é basicamente um retângulo, as janelas são igualmente distribuídas em todas as fachadas, todas as zonas possuem o mesmo número de pessoas e a mesma potência de carga instalada por m^2 (W/m^2). O sistema de condicionamento de ar existente no programa é do tipo de janela, e quando solicitado é inserido em todas as zonas.

Tabela 12. Alternativas simuladas através da equação de Signor (1999), no programa *Avalcon*.

Modelo	Input		Output-Consumo de energia (kWh/m^2) - 21 jan		Δ Output
	Caso Base	Alternativa	Caso Base	Alternativa	
Brises (m)	0,4	0,6	122,25	117,71	-4,54
Cor do vidro (Ts+Abs)	0,925	0,937	122,25	117,28	-4,97
Espessura do vidro (mm)	3	6	122,25	120,93	-1,32
WWR (%)	40	25	122,25	110,28	-11,97
Carga instalada (W/m^2)	8	12	122,25	135,09	12,84
Padrão de uso dos quartos (horas)	12	24	122,25	229,87	107,62

A Tabela 13 apresenta os resultados do Coeficiente de Influência, calculados através da Eq. (1).

Tabela 13. Coeficiente de influência dos parâmetros de janela e iluminação.

Modelo	Δ input %	Δ output %	$CI = \left(\frac{\Delta out}{\Delta in} \right)$
Brises (m)	50,00	-3,71	-0,07
Cor do vidro (Ts+Abs)	1,30	-4,06	-3,12
Espessura do vidro (mm)	100,00	-1,08	-0,01
WWR (%)	-44,44	-9,79	0,22
Carga instalada (kW)	50	10,50	0,21
Padrão de uso dos quartos (horas)	100	88,03	0,88

A mudança no fator de projeção dos brises de 0,4 metros para 0,6 metros resultou numa redução do consumo do modelo base de 4,54 kWh/m², ocasionado pelo fato da janela estar mais protegida da radiação solar.

A troca da cor do vidro claro 3mm com fator solar de 87%, para um vidro verde de fator solar 72%, resultou numa redução de 4,06% no consumo final do modelo base.

Na alteração da espessura do vidro de 3mm para 6mm e na relação WWR também foi possível notar uma redução no consumo, de 1,32 e 11,97 kWh/m², respectivamente.

Os parâmetros relacionados ao ganho de calor pela iluminação provocaram um aumento do consumo de energia do modelo base para 10,5% e 88,03%, respectivamente.

Analisando os resultados obtidos pelo programa *Avalcon*, nota-se que todos os parâmetros relacionados com o ganho de calor pela janela reduziram o consumo de energia elétrica. Este fato está relacionado ao padrão de uso selecionado, uma vez que o programa possui horas de ocupação de uso de 8, 10,12 e 24 horas. Para o hotel, o padrão de uso e ocupação adotado deveria ser de 24 horas, mas assim o consumo anual resultaria em um valor muito maior que o real. Então, optou-se pela utilização do padrão de uso de 12 horas.

A mudança dos parâmetros de carga instalada e padrão de uso dos quartos provocaram um grande impacto sobre o consumo final da edificação, ocasionando um aumento de 12,84kWh/m² e 107,62kWh/m², no consumo de energia, respectivamente.

4.3 CORREÇÕES NO MODELO BASE

Após a análise dos parâmetros, podem-se identificar quais variáveis de entrada geram uma maior diferença no consumo final do hotel. Estas variáveis de maior influência devem receber atenção especial para se gerar uma representação do modelo base o mais próximo do caso real.

Na análise dos parâmetros relacionados com os ganhos de calor pela janela, notou-se uma grande influência do percentual de área de janela na área de fachada (WWR), em ambas as análises.

Optou-se por não modificar qualquer parâmetro relacionado com o ganho de calor através das janelas, visto que os dados de entrada condizem com a realidade do hotel. Através de visitas técnicas e com os dados da planta da edificação pode-se observar a inclinação dos *brises*, a cor e espessura dos vidros e a área de janelas nas fachadas. Em outros planos, estes parâmetros não possuem incertezas, quanto ao levantamento de dados.

Para os parâmetros do sistema de iluminação, notou-se que os dois casos analisados provocaram um grande impacto nas duas análises realizadas.

Diante destes resultados, realizou-se um novo levantamento da quantidade de carga instalada de iluminação, revisando cada potência das lâmpadas pertencentes a cada zona térmica. Como não se obteve muita diferença na nova revisão, optou-se por manter a quantidade de carga instalada utilizada no cálculo do modelo base.

Para o padrão de uso dos quartos, modificou-se a *schedule* de ocupação, a qual vai influenciar diretamente o acionamento dos sistemas de iluminação. Nos meses de inverno, acrescentou-se uma ocupação de 50% nos quartos da zona 6 (Figura 23) e diminuiu-se o horário de ocupação destes (Figura 24).

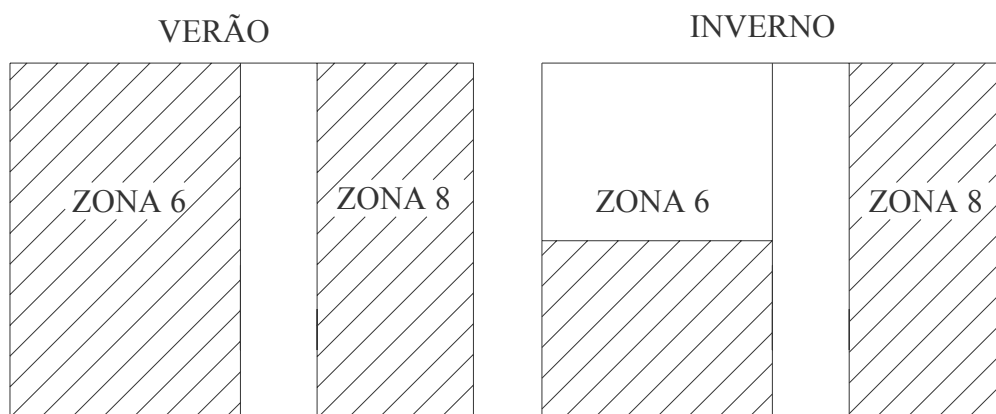


Figura 23. Nova *schedule* de ocupação anual dos quartos.

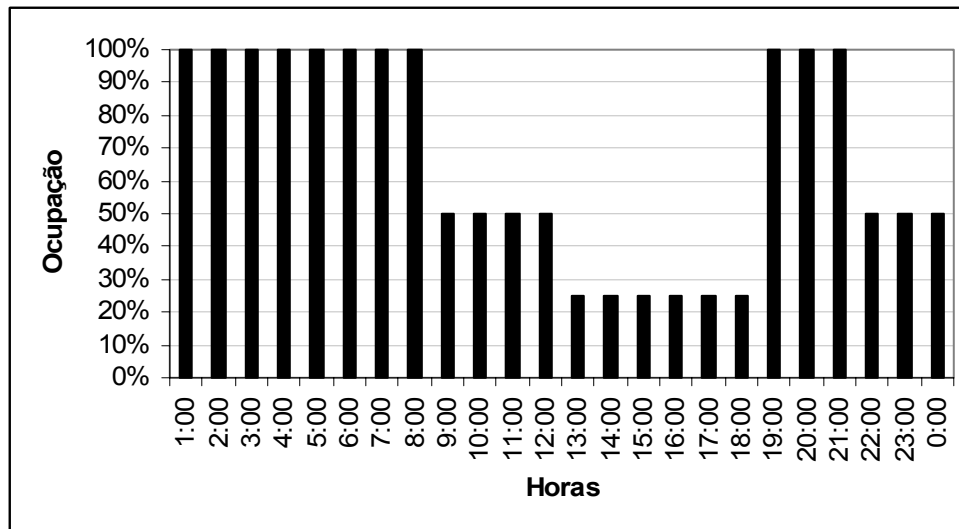


Figura 24. Novo horário de ocupação dos quartos.

4.4 CALIBRAÇÃO

Concluída a identificação dos parâmetros com maior influência sobre o modelo base e ajustado o padrão de uso dos quartos, pode-se inserir o sistema de condicionamento de ar real do prédio. A Tabela 14 apresenta o tipo, capacidade (Btu/h) e a marca do sistema real pertencente a cada zona.

Tabela 14. Sistemas de condicionamento de ar.

Zona	Tipo	BTU/h	Marca	Categoria Inmetro
Zona 2	Split	36000	York	B
Zona 3	Split	9000	LG	A
Zona 5	Split	24000	York	B
Zona 6	Janela	10000	Eletrolux	A
Zona 8	Janela	10000	Eletrolux	A
Zona 9	Split	36000	Elgin	B

Para inserir o modelo real foi utilizada uma macro desenvolvida no LabEEE, na qual são colocadas as informações da zona térmica e os padrões de uso de cada sistema de condicionamento de ar. Depois de executada a macro para modelar os aparelhos de

cada zona, insere-se o coeficiente de performance (COP), e a taxa de insuflamento (m^3/s) de ar de cada aparelho. Na Tabela 15 podem ser observadas as características dos condicionadores de ar, juntamente com a carga de pico máximo estimada pelo sistema *purchased air* para efeito de comparação.

Tabela 15. Características dos condicionadores de ar.

Zona	Carga Instalada (W)		COP ($W_{\text{térmico}}/W_{\text{elétrico}}$)	Insuflamento de ar (m^3/s)
	Purchased Air	Real		
Zona 2	12750	10440	2,81	0,425
Zona 3	3907	2610	2,96	0,139
Zona 5	11918	6960	2,59	0,289
Zona 6	94027	127600	2,98	0,555
Zona 8	73106	63800	2,98	0,278
Zona 9	10460	10440	2,81	0,425

Observou-se que a carga estipulada pelo *purchased air* através do *EnergyPlus* é maior para todas as zonas, exceto para a zona 6 a qual contém uma parte do total dos quartos. Este resultado demonstra que os aparelhos instalados para estas zonas podem não atender a carga térmica dos ambientes em algumas horas do ano, gerando condições de desconforto para seus ocupantes.

Após as inserções destes dados, o modelo base foi simulado para um ano completo, com arquivo climático TRY. O resultado da comparação do caso real com o modelo base pode ser observado na Figura 25, com barras de erro de 20% em torno do consumo real.

Optou-se por não utilizar as edificações vizinhas ao hotel pelo fato da diferença no consumo mensal do hotel ficar menor que 1% de diferença. Podendo assim, se ter uma maior representatividade dos parâmetros que mais influem na edificação.

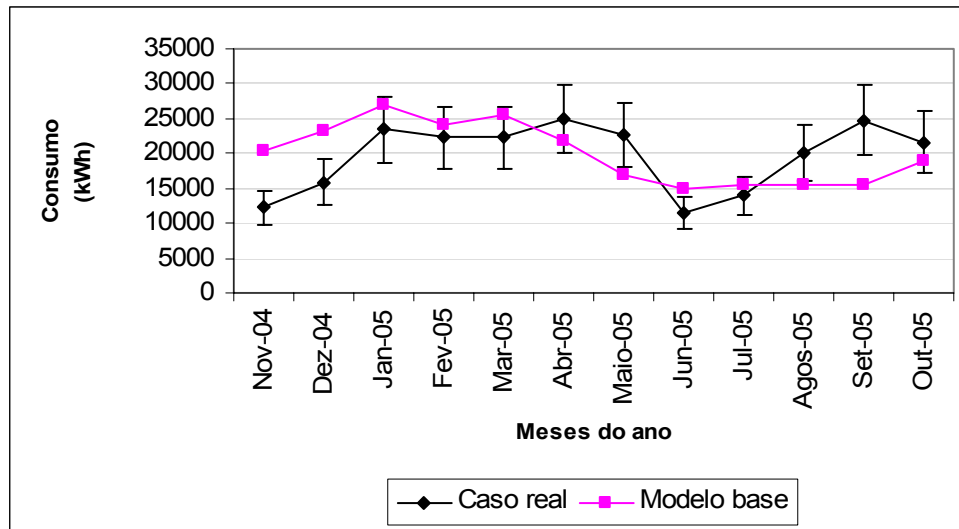


Figura 25. Consumo mensal (Caso real X Modelo base)

Tabela 16. Consumo mensal (Caso real X Modelo base)

Data	Consumo mensal (kWh)		Diferença (kWh)	Diferença (%)
	Caso real	Modelo base		
Nov-04	12300	20376	8076	65.66
Dez-04	15908	23189	7281	45.77
Jan-05	23452	26828	3376	14.40
Fev-05	22304	23971	1667	7.47
Mar-05	22304	25504	3200	14.35
Abr-05	24928	21925	-3003	-12.00
Mai-05	22632	16811	-5821	-25.72
Jun-05	11480	14965	3485	30.36
Jul-05	13940	15358	1418	10.18
Agos-05	20186	15350	-4836	-23.96
Set-05	24764	15526	-9238	-37.30
Out-05	21648	18912	-2736	-12.64
TOTAL	235846	238716	2870	-1.22

O consumo anual do modelo base resultou em um valor de 1,22% (2870kWh) em relação ao caso real, como pode ser observado na Tabela 16. Foi inserido no programa *EnergyPlus* o total de 3333,34m² de área construída para a calibração do modelo base, resultando em um consumo anual equivalente a 71,61kWh/m².ano, enquanto que o consumo real nos últimos 12 meses equivale a 67,38kWh/m².ano.

Nos meses de novembro e dezembro o modelo ficou com consumo bem acima do real, pois nesses meses do ano de 2004, o consumo da caldeira estava sendo incluída em uma conta de energia elétrica separada. Este fato também pode ser observado nos

meses de junho e julho do ano de 2005, quando novamente o modelo base superou o consumo real pelo mesmo motivo.

Nos meses de maio e setembro, notou-se que o modelo base possui um consumo abaixo da margem de 20% de diferença. Presumiu-se que nestes meses, o hotel deve ter registrado uma ocupação maior que o previsto pelo simulador. Por motivos pessoais, o responsável pelo hotel não pode nos informar a taxa de ocupação dos quartos no ano da simulação (novembro de 2004 a outubro de 2005). A única informação concreta da taxa de ocupação foi que o hotel possui 60% de ocupação média anual. A partir deste conhecimento, o simulador estipulou a ocupação dos quartos do hotel no ano de 2005.

O uso final de energia elétrica do modelo calibrado é apresentado na Figura 26, sendo que o sistema de maior participação no consumo anual é a iluminação, com 35% de representatividade, seguida da caldeira, com 25% de participação.

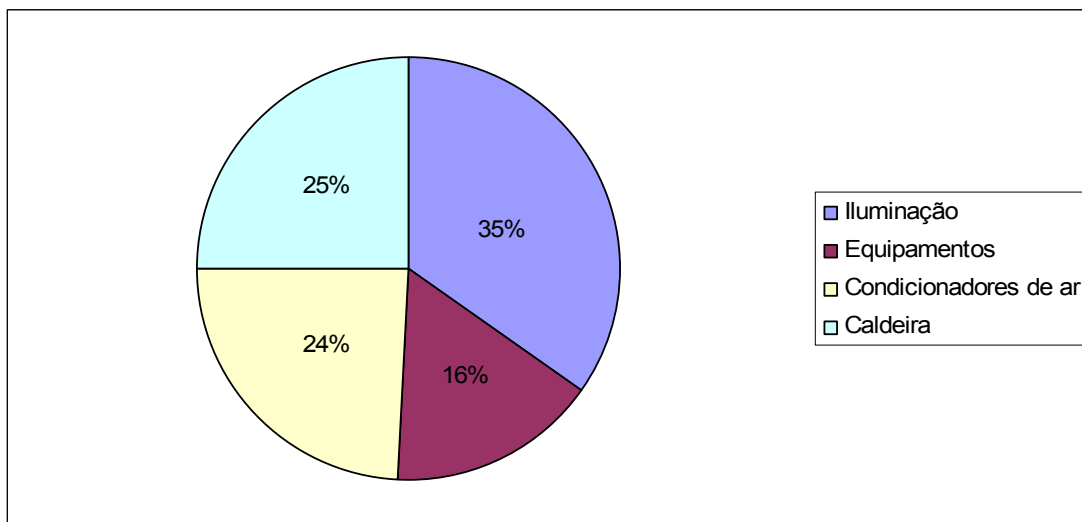


Figura 26. Uso final de energia elétrica no modelo base.

Foram analisadas alternativas de *retrofits* com base nos resultados obtidos dos usos finais, como apresenta o item seguinte.

4.5 SIMULAÇÃO DAS ALTERNATIVAS DE *RETROFIT*

Analisando o hotel através de visitas técnicas e dos resultados levantados com a simulação do modelo base, pode-se constatar que algumas mudanças poderiam ser realizadas para uma possível redução no consumo de energia elétrica da edificação.

Estas mudanças são propostas de melhoria que estão apresentadas nos itens seguintes.

4.5.1 Proposta para o sistema de Iluminação

Os quartos da zona 8 e dois quartos da zona 6 possuem um total de 8 lâmpadas fluorescentes de 40 W, enquanto que o restante dos quartos possuem 4 lâmpadas fluorescentes de 40 W. Essas lâmpadas estão instaladas em sancas, conforme mostra a Figura 27.



Figura 27. Lâmpadas sanca.

A proposta de *retrofit* em iluminação é baseada na troca destas lâmpadas existentes nas zonas 6 e 8 por 6 lâmpadas fluorescentes de 32W, e também na troca das lâmpadas dos outros quartos por 3 lâmpadas fluorescentes de 32W. Todas as lâmpadas trocadas incluem um refletor de alumínio anodizado de alta pureza.

Esta proposta foi baseada no projeto realizado por Westphal et al. (2004), no qual se desenvolveu um projeto de *retrofit* para o sistema de iluminação do Hospital São José, localizado em Porto Alegre, RS. A proposta propõe a substituição de lâmpadas de 40W por lâmpadas de 32W instaladas em sancas de gesso com refletores de alumínio, e também na troca dos reatores eletromagnéticos existentes por reatores eletrônicos de alta qualidade. Estimou-se, naquele caso, que o *retrofit* irá proporcionar uma economia de 44% em relação ao sistema atual.

Os quartos da zona 8 e dois quartos da zona 6 possuem $20\text{W}/\text{m}^2$ cada e os outros quartos da zona 6 possuem $15\text{W}/\text{m}^2$. Com a substituição das luminárias os quartos passariam a ter $11\text{W}/\text{m}^2$ e $8\text{W}/\text{m}^2$ de potência instalada, respectivamente. O reator convencional com perdas de 25% seria substituído por um reator eletrônico com perdas estimadas em 10%.

Após a simulação verificou-se uma redução do consumo de energia do hotel em todos os meses do ano. A redução do consumo anual foi de 10,55% (24960kWh). No mês de outubro, observou-se a redução máxima de 13,15% (2487kWh) do consumo final comparado com o modelo base, como mostra a Figura 28.

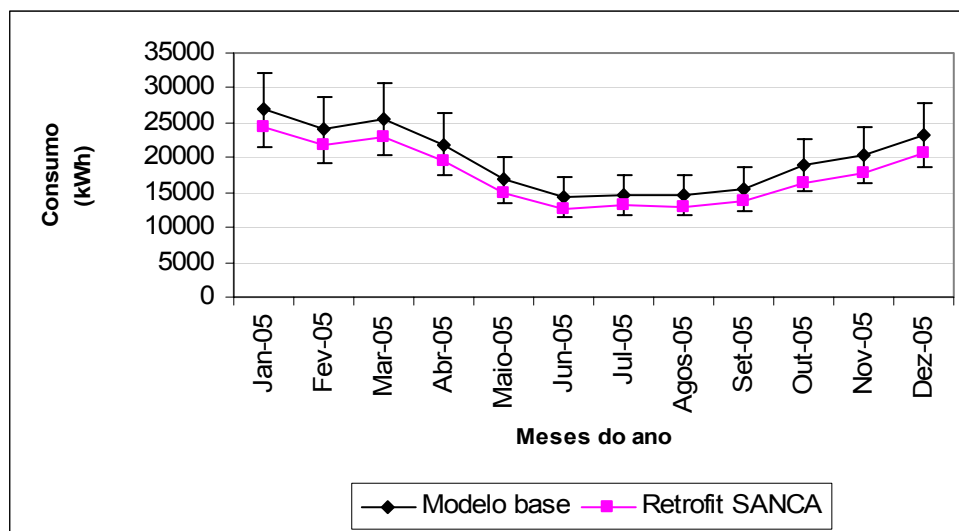


Figura 28. Retrofit no sistema de iluminação.

4.5.2 Proposta para o sistema de condicionamento de ar

Esta proposta propõe a inclusão de um sistema de condicionamento central de água gelada no lugar dos condicionadores de ar de janela e do tipo *split*.

Para inserir esta variável no programa utilizou-se uma macro desenvolvida a partir de dados existentes no arquivo Templates (HVACTemplates-Autosize.imf) do próprio programa *EnergyPlus*.

A central de água gelada é composta por um resfriador de líquido (*chiller*) de condensação a água com COP (coeficiente de performance) de 6,96W/W (Watts de capacidade de refrigeração por Watt elétrico consumido) e bombas, para promover a circulação de água gelada através dos *fan-coils*.

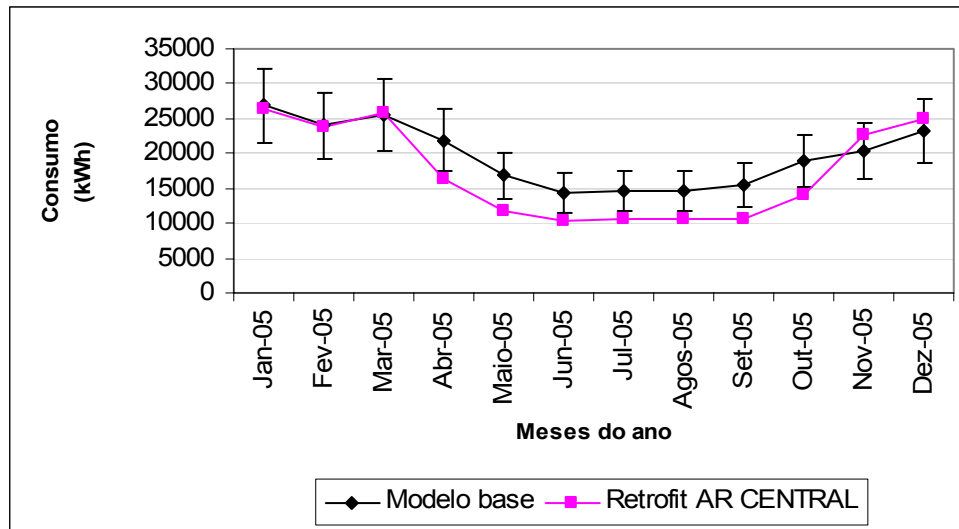


Figura 29. Retrofit no sistema de condicionamento de ar.

Analisando a Figura 29, observa-se que nos meses de abril a outubro há redução no consumo de energia elétrica. No mês de setembro verifica-se uma redução de 31% do consumo final quando comparado ao modelo base. Estes fatos estão relacionados por serem meses de inverno, nos quais o sistema de condicionamento de ar é menos utilizado.

Nos meses de novembro a março o consumo final do ar central é semelhante ao consumo dos equipamentos já existentes, por ser a época em que o hotel foi simulado com 100% de ocupação. Analisando estes meses, observa-se que o consumo do novo sistema de condicionamento de ar é semelhante ou supera o consumo do sistema já existente. Este fato acontece, pois o *chiller* que compõe o sistema de ar central está em funcionamento 24 horas por dia para prover água gelada aos climatizadores de todas as zonas (quartos, *hall*, sala de reuniões e bar).

Esta diferença também está relacionada com o sistema de condicionamento de ar do modelo base, já que quando o hóspede deixa o quarto o sistema é desligado, não consumindo energia. No novo sistema, parte do *chiller* fica em operação para atender as demais áreas do prédio.

4.5.3 Proposta de compra de um gerador e mudança de tarifa

Esta proposta é baseada na compra de um gerador de energia elétrica a diesel para ser utilizado pelo estabelecimento em horário de ponta, com a contratação de uma tarifa horo-sazonal.

Denomina-se horário de ponta o intervalo de 3 horas consecutivas, definido em acordo com a concessionária local, compreendido entre 17h30 e 22h30, de segunda à sexta-feira, exceto feriados nacionais. Devido a maior demanda das redes de distribuição neste horário, um novo consumidor para ser atendido custará mais a concessionária neste período do que em qualquer outro horário do dia, por isso a energia é mais cara.

A aplicação de tarifas diferenciadas de acordo com o horário do dia "horário de ponta", e "fora de ponta", períodos do ano "seco e úmido" é chamada de Estrutura Tarifária Horo-Sazonal, que é classificada em azul e verde.

O período úmido compreende os meses de dezembro a abril e o período seco os meses de maio a novembro.

As tarifas de eletricidade possuem dois pontos básicos na definição de seu preço, o fator relativo à demanda de potência (kW) e o fator relativo ao consumo de energia (kWh).

A tarifa horo-sazonal azul estimula a redução da demanda e consumo no horário de ponta procurando reduzir o uso do sistema elétrico nesse período.

Nesta categoria, os consumidores pagam pelo consumo, pela demanda e por baixo fator de potência, mediante três tipos de tarifação: convencional, horo-sazonal azul e horo-sazonal verde.

Para o hotel a proposta seria a contratação da tarifa horo-sazonal verde, a qual não cobra a demanda em horário de ponta.

Geralmente a utilização de grupos geradores atende a situações de emergência quando há uma interrupção de energia fornecida pela concessionária (*blackout*), neste caso o equipamento entra em funcionamento automaticamente, permitindo que o empreendimento continue a funcionar, e também para os horários de ponta, quando o gerador supre a carga necessária para o abastecimento.

Analisando as medições realizadas no hotel e os resultados das simulações, constatou-se que em horário de ponta a maior carga foi de 100 kW. Com esta

informação foi recomendada a compra de um gerador de potência de 125 kVA para suprir as necessidades de carga do hotel com certa folga.

4.6 ANÁLISE ECONÔMICA DAS ALTERNATIVAS DE *RETROFIT*

Cada alternativa de *retrofit* foi incorporada no modelo base e simulada para quantificar as economias no consumo, tendo este como parâmetro de comparação.

As fórmulas de cálculo do Valor Presente Líquido, da Taxa Interna de Retorno e do *Payback* foram inseridas em planilha eletrônica, nas quais são preenchidas com o custo do investimento inicial, a Taxa Mínima de Atratividade, o período de análise do investimento e o valor residual para cada alternativa.

Considerou-se um valor residual (lucro na venda de qualquer equipamento que seja substituído) igual a zero para um período de análise até 10 anos.

A Tabela 17 mostra a comparação em reais (R\$) das contas de energia elétrica do caso real e do modelo base.

Tabela 17. Valor da conta de energia elétrica (R\$).

Mês	Caso Real	Modelo Base	Diferença
Janeiro	6888,93	8993,12	2104,19
Fevereiro	6491,01	8311,22	1820,21
Março	7448,87	8662,2	1213,33
Abril	7368,88	7815,11	446,23
Maio	6771,88	6645,02	-126,86
Junho	4300,54	6222,89	1922,35
Julho	5470,77	6312,58	841,81
Agosto	5690,82	6310,75	619,93
Setembro	6892,65	6351,02	541,63
Outubro	7437,57	7125,73	311,84
Novembro	4287,23	7460,70	-3173,47
Dezembro	5211,49	8104,31	-2892,82
TOTAL	74260,64	88314,65	-14054,01

Nos meses de novembro e dezembro, assim como nos meses de junho e julho, observa-se uma diferença de valores devido a ausência do consumo da caldeira, como já explicado anteriormente.

Nos outros meses onde o valor da conta do modelo base ultrapassou a do caso real, o modelo calibrado apresentou valores em kWh acima dos reais.

O modelo base resultou num acréscimo de 18,92% do valor da conta de energia elétrica quando comparado ao caso real.

4.6.1 ANÁLISE ECONÔMICA PARA O SISTEMA DE ILUMINAÇÃO

A substituição das luminárias resultou em uma redução anual de 10,65% do valor da conta de energia elétrica do modelo base, como pode ser observado na Tabela 18.

Tabela 18. Valor da conta de energia elétrica (R\$)

Mês	Modelo Base	Retrofit de iluminação	Diferença
Janeiro	8993,12	8187,31	-805,81
Fevereiro	8311,22	7584,19	-727,03
Março	8662,2	7880,72	-781,48
Abril	7815,11	6991,38	-823,73
Mai	6645,02	5959,49	-685,53
Junho	6222,89	5436,46	-786,43
Julho	6312,58	5506,93	-805,65
Agosto	6310,75	5498,23	-812,52
Setembro	6351,02	5680,82	-670,20
Outubro	7125,73	6276,84	-848,89
Novembro	7460,70	6617,75	-842,95
Dezembro	8104,31	7284,78	-819,53
Total	88314,65	78904,90	-9409,75

Para a implementação da proposta de *retrofit* da iluminação, o hotel precisará um investimento inicial de R\$ 8.157,60 reais. Neste valor estão incluídos: os reatores eletrônicos, refletor e as luminárias.

O cálculo da TIR resultou em um valor de 115% a.a. para o período de estudo de 10 anos, o que torna a proposta é viável. E para o cálculo do *payback* deste investimento, chegou-se ao resultado que em 1 ano o hotel já vai ter lucrado o que será gasto na reforma.

4.6.2 ANÁLISE ECONÔMICA PARA O SISTEMA DE CONDICIONAMENTO DE AR

Na implementação de um sistema de condicionamento de ar central em substituição aos aparelhos de janela, o hotel terá uma redução de 18,61% do valor da conta de energia elétrica do modelo base. Esta comparação está apresentada na Tabela 19.

Tabela 19. Valor da conta de energia elétrica (R\$)

Mês	Modelo Base	AC Central	Diferença
Janeiro	8993,12	8216,11	-777,01
Fevereiro	8311,22	7562,36	-748,86
Março	8662,2	8068,54	-593,66
Abril	7815,11	5756,30	-2058,81
Mai	6645,02	4644,03	-2000,99
Junho	6222,89	4293,96	-1928,93
Julho	6312,58	4375,19	-1937,39
Agosto	6310,75	4393,96	-1916,79
Setembro	6351,02	4415,23	-1935,79
Outubro	7125,73	5149,45	-1976,28
Novembro	7460,70	7210,47	-250,23
Dezembro	8104,31	7791,93	-312,38
Total	88314,65	71877,53	-16437,12

O investimento para a troca dos aparelhos de janela e *splits* do hotel por um sistema central de água gelada é de aproximadamente R\$ 225.000,00.

Apesar da diferença em reais na conta de energia elétrica, o cálculo da TIR para um período de estudo de 10 anos resultou em um valor inferior à TMA. Calculou-se então, a TIR para um período de estudo de 20 anos (tempo aproximado de vida útil deste sistema), e mesmo assim o valor resultou em 3,92% a.a., valor ainda muito inferior à TMA de 12% a.a. Concluindo-se portanto que a proposta analisada não é viável.

4.6.3 ANÁLISE ECONÔMICA PARA A COMPRA DO GERADOR E MUDANÇA DE TARIFA

Analisando a proposta de uso do gerador com a mudança da tarifa para horosazonal verde, verificou-se uma redução de 53,58% do valor do consumo de energia elétrica do modelo base, como indicado na Tabela 20.

Tabela 20. Valor da conta de energia elétrica (R\$).

Mês	Modelo Base	Gerador	Diferença
Janeiro	8993,12	4568,59	-4424,53
Fevereiro	8311,22	4206,23	-4104,99
Março	8662,2	4357,17	-4305,03
Abril	7815,11	3864,15	-3950,96
Mai	6645,02	3240,51	-3404,51
Junho	6222,89	2971,15	-3251,74
Julho	6312,58	3016,34	-3296,24
Agosto	6310,75	3014,19	-3296,56
Setembro	6351,02	343,42	-6007,60
Outubro	7125,73	3545,4	-3580,33
Novembro	7460,70	3871,87	-3588,83
Dezembro	8104,31	3991,3	-4113,01
Total	88314,65	40990,32	-47324,33

Como o gerador trabalha em horário de ponta, o consumo neste período de 17h30 às 20h30 é nulo. Sendo assim, não haverá despesas de energia elétrica neste período.

Para a implementação desta proposta serão investidos R\$ 65.000,00 na compra do gerador e R\$ 3.350 mensais para a compra de diesel.

O cálculo da TIR resultou em um valor muito inferior a TMA, para o período de estudo de 10 anos. Analisando a proposta para um período de estudo de 20 anos, a TIR permaneceu em um valor muito inferior a TMA. Pela análise dos resultados obtidos, concluiu-se que esta alternativa também não é viável.

5 CONCLUSÕES

5.1 CONCLUSÕES GERAIS

Para a realização deste trabalho, utilizou-se um hotel na cidade de Florianópolis, com uma área construída de 3500m². A simulação computacional foi realizada através do programa *EnergyPlus*.

O *EnergyPlus* é um programa de simulação termo-energética de edificações, capaz de analisar diversas alternativas. Mas, o usuário deve possuir uma base de conhecimento multidisciplinar e conhecimento do programa, antes de inserir os dados de entrada. A leitura do Manual “*Getting Started with Energyplus*” e a simulação do modelo 600 da *ASHRAE STANDARD 140* foram de extrema importância para o treinamento no programa e a conclusão do trabalho.

Através da metodologia adotada para a realização deste trabalho, foi possível avaliar as características mais importantes do hotel e realizar uma calibração do modelo em um curto espaço de tempo. Foram necessários 4 meses de treinamento para o aprendizado do programa *EnergyPlus* e 3 meses para a simulação do modelo base e as alternativas de *retrofit*.

Na análise dos fluxos de calor do modelo inicial, verificou-se que as janelas compõem 40% do fluxo total de calor, sendo o parâmetro de maior influência do modelo base, seguido do sistema de iluminação com 18% de influência.

Utilizando a metodologia da análise de sensibilidade e a equação de Signor (1999) foi possível analisar a influência na mudança dos parâmetros de ganhos de calor pela janela e sistema de iluminação.

Para as variáveis da janela, o parâmetro mais representativo foi a relação da área de janela/área de fachada. Através da análise de sensibilidade, com a utilização do programa *EnergyPlus*, este parâmetro analisado resultou em uma diferença de 1,63% (29,83kWh) da carga térmica do modelo em um dia típico. Pelo programa *Avalcon*, a diferença foi de 9,79% (11,97kWh/m²) do consumo final de energia elétrica.

Nos ganhos de calor pelo sistema de iluminação, a variável que mais influenciou foi o padrão de uso dos quartos do hotel. O resultado da análise de sensibilidade, através do programa *EnergyPlus* e *Avalcon*, foi de 11,41% (208,28kWh) e 88,03% (107,62kWh/m²) de aumento na carga térmica e no consumo de energia elétrica do hotel, respectivamente.

Optou-se por não realizar a troca de nenhum parâmetro relacionado com os ganhos de calor pela janela, pelo fato de não possuir incertezas dos dados de entrada para a simulação do modelo base. Esta análise foi realizada para o conhecimento da representatividade destas variáveis em uma edificação de mesmo porte e padrões de uso da edificação analisada neste trabalho, servindo como base para projetos futuros.

O padrão de uso dos quartos, correspondente aos ganhos de calor pelo sistema de iluminação, foi a variável que representou a maior influência no ganho de calor comparado com todas as análises realizadas. A partir deste resultado, foi trocada a *schedule* de ocupação dos quartos para um menor tempo de permanência dos hóspedes, a qual influencia diretamente no sistema de iluminação e acrescentou-se uma ocupação de 50% dos quartos da zona 6 no inverno, representando melhor o consumo real da edificação.

Pelo fato do programa *Avalcon* possuir uma facilidade na troca das variáveis e ser rápido no processo de simulação, conclui-se que este poderia ser utilizado como ponto de partida para a análise energética do edifício. Através da utilização deste programa, pode-se obter um rápido conhecimento das variáveis com maior influência no consumo anual.

Com a verificação dos dados de entrada e a troca dos padrões de uso dos quartos, simulou-se o modelo base para o ano inteiro para comparar o consumo final do caso real com o modelo base. Observou-se a variação de 1,20% (2870kWh) a mais no consumo anual de energia elétrica do hotel. Em alguns meses nota-se uma variação significativa no consumo mensal. Isto ocorre pelo fato da edificação ser um hotel, sendo difícil estimar os horários de acionamento dos sistemas. Existem períodos em que a ocupação é maior do que outros meses, porém isto varia com fatores externos, como congressos na cidade, feriados, época de alta temporada e eventos.

Os padrões de uso estimados para o hotel foram baseados na medição realizada no quadro geral de distribuição de energia elétrica da edificação e pela informação de dados de ocupação média anual do próprio hotel. A determinação das *schedules* de ocupação do hotel foi uma variável complicada de analisar, uma vez que cada hóspede tem sua rotina particular.

Com o modelo base calibrado, analisaram-se propostas de *retrofit* visando a redução no consumo e no custo de energia elétrica do hotel, tornando este mais eficiente energeticamente. Foram propostos *retrofit* no sistema de iluminação, condicionamento de ar, e a compra de um gerador a diesel com uso em horário de ponta adotando tarifa

horo-sazonal verde. Para cada proposta foi realizada uma análise econômica dos investimentos.

A proposta de *retrofit* para o sistema de iluminação proporcionaria uma economia anual no custo final de 10,65% (R\$ 9.409,75) e em um ano o hotel já reembolsaria o investimento gasto com o projeto de reforma. No *retrofit* do sistema de condicionamento de ar, a economia no custo final seria de 18,61% (R\$ 16.437,12) ao ano. Mas, analisando a viabilidade econômica desta alternativa, constatou-se que o investimento (R\$ 225.000,00) não seria viável para um período de estudo de 10 anos. A TIR do investimento resulta em um valor inferior a TMA de 12% a.a. A utilização de um gerador a diesel no horário de ponta, com a mudança da tarifa em vigor para a horo-sazonal verde, proporcionaria uma redução de 58,53% (R\$ 47.324,33) do valor da conta de energia elétrica anual do hotel. Apesar da grande diferença monetária observada, constatou-se que o valor do cálculo da TIR resulta em um valor muito inferior a TMA adotada, fato este que torna a alternativa não viável ao hotel.

Analisando as propostas sugeridas, conclui-se que o *retrofit* no sistema de iluminação é a única alternativa viável ao hotel.

5.2 DIFICULDADES ENCONTRADAS

Durante o decorrer do trabalho surgiram dificuldades, como:

- a) O excesso de detalhes dos dados inseridos no programa *EnergyPlus*. Foi necessária uma busca de informações a respeito de cada input (dado de entrada) inserido no programa.
- b) A análise da conta de energia elétrica, pelo fato do consumo da caldeira estar separada da conta principal em alguns meses.
- c) Os padrões de uso dos equipamentos e sistemas de iluminação. Apesar da medição do quadro geral de distribuição de energia elétrica do hotel, este dado não foi suficiente para estimar a taxa de ocupação dos quartos e a administração do hotel não forneceu maiores detalhes sobre a lotação do estabelecimento.

5.3 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com base nos resultados e dificuldades encontradas para a realização deste trabalho, sugere-se como recomendações para trabalhos futuros:

- a) Realizar medições em particular de cada ambiente e equipamento instalado, podendo ter um conhecimento da representatividade do consumo de cada item e a própria *schedule* de funcionamento;
- b) Analisar outros hotéis para uma comparação dos resultados obtidos;
- c) Simular sistema de aquecimento solar para diminuir o uso da caldeira;
- d) Incorporar a influência dos dados climáticos na análise de sensibilidade.

REFERÊNCIAS

ASHRAE STANDARD. Standard Method of Test for the Evaluation of Building Energy Analysis Computer Programs. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. USA, Atlanta. 2001. 91 f.

ABRAVA. Revista mensal da Associação Brasileira de refrigeração, ar condicionado, ventilação e aquecimento. São Paulo: Ed. 218, outubro de 2004. 49p.

CELESC. Centrais Elétricas de Santa Catarina S.A. Desenvolvido pelo estado de Santa Catarina. Apresenta as tarifas de energia elétrica para o estado. Disponível em: <<http://www.celesc.com.br/atendimento/fatura.php>> . Acesso em: 11 nov. 2005.

DOE. Department of Energy. Desenvolvido pelo governo dos Estados Unidos das América. Apresenta trabalhos que buscam como resultados a eficiência energética. Disponível em: <http://www.eere.energy.gov/buildings/tools_directory>. Acesso em: 09 set. 2005.

ELETROLUX. Desenvolvido pela própria empresa. Apresenta características de produtos, como variados tipos de sistema de condicionamento de ar. Disponível em: <http://eden.eletrolux.com.br/Internet_Brasil/produtos.html> . Acesso em: 09 set. 2005.

ENERGYPLUS. U.S. Department of Energy, Energy Efficiency and Renewable Energy, Office. Desenvolvido pelo governo dos Estados Unidos da América. Apresenta o programa *EnergyPlus*. Disponível em: <<http://energyplus.gov>> . Acesso em: 20 maio 2005.

GHISI, E. Desenvolvimento *de uma Metodologia para Retrofit em Sistemas de Iluminação*: estudo de caso na Universidade Federal de Santa Catarina. 1997. 305 f. Dissertação em Mestrado. Departamento de Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis.

GOULART, S. V.G. 1993. *Dados Climáticos para Avaliação de Desempenho Térmico em Florianópolis*. 124 f. Dissertação em mestrado. Departamento de Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis.

GRASSO R.; GHISI E.; LAMBERTS R. 1998. Avaliação Energética do Edifício Sede da TELESC: Retrofit do Sistema de Iluminação e Simulação. VII ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA NO AMBIENTE CONSTRUÍDO - ENTAC 98.

HOCHHEIM, Norberto. Apostila de Planejamento Econômico e Financeiro. Florianópolis, SC. 2003. 96 p.

INMETRO. Ministério de desenvolvimento, indústria e comércio exterior. Desenvolvido pelo governo brasileiro. Apresenta tabelas de consumo/eficiência dos condicionares de ar. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/tabelas.asp>> Acesso em: 27 out. 2005.

LabEEE. Laboratório de Eficiência Energética de Edificações. Desenvolvido pelo próprio laboratório. Apresenta o programa E2-Tarifas. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/edois>> . Acesso em: 28 julho 2005.

LAMBERTS R. 1997. Eficiência Energética: estudo de melhoria de *retrofit* para um edifício comercial em Florianópolis. IV ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO - ENCAC 97.

LEE A.; WESTPHAL F. S.; LAMBERTS, R. 2001. *Calibração de um modelo de simulação através de medições de curto prazo*: estudo de caso no departamento de engenharia civil da UFSC. VII Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído – ENCAC 2001.

MENDES, N. 1999. *Simulação Computacional do Edifício Sede de Telepar, Análise Energética e Propostas de Retrofit*. V Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído – ENCAC 1999.

MME. Ministério de Minas e Energia. Desenvolvido pelo governo de Minas Gerais. Apresenta textos sobre o Plano de Trabalho de Implementação da Lei de Eficiência Energética. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br>> . Acesso em: 03 out. 2005.

PEDRINI, A. *Desenvolvimento de Metodologia de Calibração de Modelos para Simulação Térmica e Energética de Edificações*. 1997. 191 f. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis.

PROCEL. Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. Desenvolvido pelo governo brasileiro. Apresenta textos sobre a conservação de energia elétrica. Disponível em: <<http://www.procel.gov.br>> . Acesso em: 12 de nov. 2005.

SIGNOR, R. *Análise de Regressão do Consumo de Energia Elétrica Frente a Variáveis Arquitetônicas para Edifícios Comerciais Climatizados em 14 Capitais Brasileira*. 1999. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis.

STRAND, R. K. et al. 2000. *Energyplus: A new-generation energy analysis and calculation engine for building design*. Association of Collegiate Schools of Architecture Technology Conference, Cambridge, MA, July 2000.

WESTPHAL, F.S. *Estudo de Melhoria na Eficiência Energética de um Edifício Comercial: Auditoria, Simulação Energética e Análise Econômica*. 1999. 129 f. Trabalho de Conclusão de Curso. Departamento de Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis.

WESTPHAL, F.S. *Desenvolvimento de um Algoritmo para Estimativa do Consumo de Energia Elétrica de Edificações não Residenciais a partir de Dados Climáticos Simplificados*. 2002. 94 f. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis.

WESTPHAL F. S.; LAMBERTS, R. 2005. *Building Simulation Calibration Using Sensitivity Analysis*. IBPSA, Montreal, September 2005.

WESTPHAL F.S.; MARINOSKI D. L.; MATOS M.; LAMBERTS R. 2004. *Relatório de retrofit do sistema de iluminação interna no Hospital de São José*. Relatório interno. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. Departamento de Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis.

YORK. Desenvolvido pela própria empresa. Apresenta características de produtos, como variados tipos de sistema de condicionamento de ar. Disponível em: <<http://yorkbrasil.com/site/content/home/>> . Acesso em: 09 set. 2005.