

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO ESCOLA POLITÉCNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

ESTUDO E SIMULAÇÃO DE SISTEMAS DE CONDICIONAMENTO DE
AR PARA HOTÉIS

CARLOS MANOEL ARGEU STEQUE PRADELLA

São Paulo

2011

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO ESCOLA POLITÉCNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

ESTUDO E SIMULAÇÃO DE SISTEMAS DE CONDICIONAMENTO DE
AR PARA HOTÉIS

Carlos Manoel Argeu Steque Pradella

Relatório Parcial apresentado à
Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo para
a conclusão do curso de
Engenharia Mecânica

Área de Concentração:
Engenharia Mecânica

Orientador:
Prof. Dr. Alberto Hernandez
Neto

São Paulo
2011

SUMÁRIO

RESUMO	6
ABSTRACT	7
1. Introdução	8
2. Sistemas de Refrigeração	9
2.1 Ciclo de Compressão de vapor.....	9
2.2 Ciclo de absorção:.....	10
3. Refrigeração em Hotéis.....	12
3.1 Tipos de Energia	12
3.2 Refrigeração por compressão.....	12
3.3 Refrigeração por absorção.....	13
4. O Energy Plus	14
5. Metodologia	15
5.1 Pesquisa Bibliográfica.....	15
5.2 Simulações no Energy Plus.....	15
5.2.1 Implantação da geometria do Hotel	15
5.2.2 Localidade e Tipo de simulação.....	17
5.2.3 Simulação do sistema de refrigeração por compressão.....	18
5.2.4 Simulação do sistema de refrigeração por absorção	18
5.3 Análise Econômica.....	19
6. Resultados das Simulações	20
6.1 Refrigeração por compressão.....	20
6.2 Refrigeração por absorção.....	21
7. Análise Econômica.....	24
7.1 Custo dos equipamentos.....	24
7.1.1 <i>Chiller</i> Elétrico.....	24
7.1.2 <i>Chiller</i> de absorção	24
7.2 Custo de operação dos equipamentos	25
7.2.1 <i>Chiller</i> Elétrico.....	25
7.2.2 <i>Chiller</i> de absorção	26
7.2.3 Comparação entre os dois perfis de consumo	27
7.2.4 Substituição do sistema.....	28
8. Conclusão.....	29
9. Referências Bibliográficas	31

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Divisão do andar típico em zonas térmicas.....	16
Figura 2 - Consumo de energia elétrica no <i>chiller</i> elétrico.....	20
Figura 3 - Consumo total de energia elétrica do sistema de compressão	21
Figura 4 - Consumo de energia elétrica e calor do sistema com Chiller de absorção	22
Figura 5 - Consumo de gás natural do Chiller de absorção	23
Figura 6 - Custo de operação do sistema com ciclo de compressão	26
Figura 7 - Custo de operação do sistema com ciclo de absorção.....	27
Figura 8 - Comparação dos custos de operação dos sistemas simulados	27

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Propriedades dos materiais utilizados.....	17
Tabela 2 - Propriedades do vidro	17
Tabela 3 - Valores de carga térmica	17
Tabela 4 - Tabela de preços do gás natural.....	25

RESUMO

O presente trabalho tem por objetivo a simulação de dois tipos de sistemas de condicionamento de ar: um baseado no ciclo de refrigeração por compressão de vapor e outro baseado no ciclo de resfriamento por absorção, para um hotel situado na cidade de São Paulo. A comparação será realizada utilizando-se o aplicativo Energy Plus, onde serão feitas análises dos custos de aquisição e de operação dos sistemas e da viabilidade de seu uso na atividade.

ABSTRACT

The report has the objective the simulation of two kinds of cooling systems, one based on the compression cycle, and another on absorption cycle, to a hotel in the city of São Paulo. The comparison will be done using the software EnergyPlus, where operation and acquisition costs will be evaluated to determine the viability of using each system.

1. Introdução

O aumento do consumo de energia *per capita* registrado no mundo, tanto em países desenvolvidos quanto em emergentes, como o Brasil, em conjunto com a atual preocupação com a redução da emissão de poluentes decorrentes das atividades humanas, tem feito com que o custo da energia venha crescendo ao longo dos anos, tornando esse insumo um fator crucial na análise de viabilidade de novos projetos.

Devido a isso existe hoje, no projeto de novas edificações, uma grande preocupação com o conceito de eficiência energética, para tornar os edifícios mais eficientes e sustentáveis, gerando benefícios tanto pela economia de energia quanto pela boa imagem passada para os consumidores.

Sendo os sistemas de condicionamento de ar um dos maiores consumidores de energia em uma edificação, este trabalho tem como objetivo simular dois sistemas de condicionamento de ar para um hotel, possibilitando a análise de qual é o mais indicado em termos econômicos e ambientais.

Os sistemas aqui analisados serão os sistemas mais comuns no mercado: o sistema de refrigeração por compressão e o sistema de refrigeração por absorção.

2. Sistemas de Refrigeração

Existem vários tipos de sistemas de refrigeração, como os sistemas de compressão de vapor, absorção, magnético, acústico, entre outros.

Nesse trabalho serão analisados os tipos mais comumente utilizados em hotéis, o sistema de refrigeração por compressão e o sistema por absorção.

2.1 Ciclo de Compressão de vapor

Um ciclo padrão de compressão de vapor apresenta quatro elementos principais:

- Compressor;
- Condensador;
- Válvula de expansão;
- Evaporador.

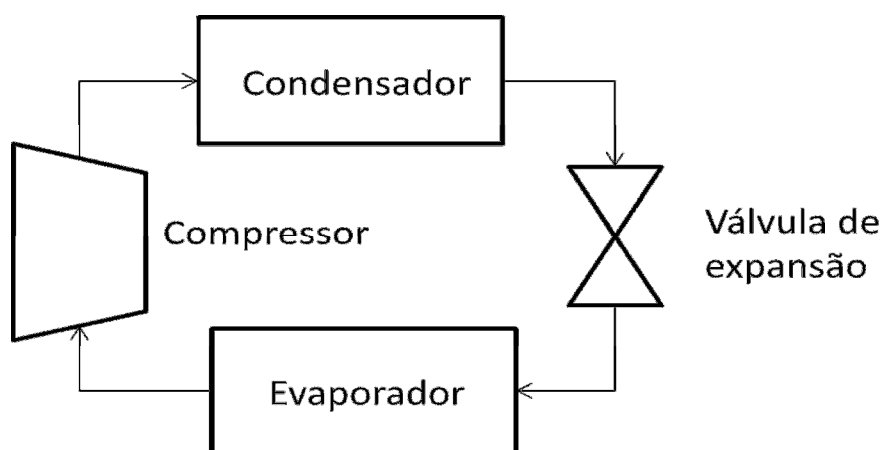


Figura 2.1: Ciclo de compressão de vapor.

O funcionamento do ciclo de compressão de vapor se dá da seguinte forma:

O fluido refrigerante no estado gasoso entra no compressor, saindo com alta pressão e temperatura.

No condensador, o fluido refrigerante a alta temperatura perde calor com o ambiente externo, condensando-se.

Na válvula de expansão o fluido refrigerante diminui sua pressão e temperatura, transformando-se em uma mistura de líquido saturado com vapor saturado.

No evaporador, o refrigerante vaporiza-se, roubando calor do ambiente a ser resfriado, e volta ao compressor para reiniciar o ciclo.

2.2 *Ciclo de absorção:*

O ciclo de absorção guarda algumas semelhanças com o ciclo de compressão de vapor, como a presença de condensador, válvula de expansão e evaporador.

Por outro lado, o ciclo de absorção não apresenta compressor, apresentando apenas uma pequena bomba que eleva a pressão de uma solução aquosa, o que faz com que o consumo de energia elétrica do ciclo seja muito pequeno, pois sendo o trabalho de compressão a integral da multiplicação entre o volume específico e diferencial de pressão, temos que é muito mais fácil comprimir um líquido que um gás. O preço pago por essa “economia” é que precisamos de uma fonte quente para manter o funcionamento do gerador, onde a solução concentrada é separada em uma concentrada e uma menos concentrada.

Os equipamentos principais de um ciclo por absorção são:

- Condensador;
- Válvula de expansão;
- Evaporador;
- Absorvedor;
- Bomba;
- Válvula redutora de pressão;
- Gerador;

Abaixo vemos a configuração desses equipamentos num ciclo de absorção típico:

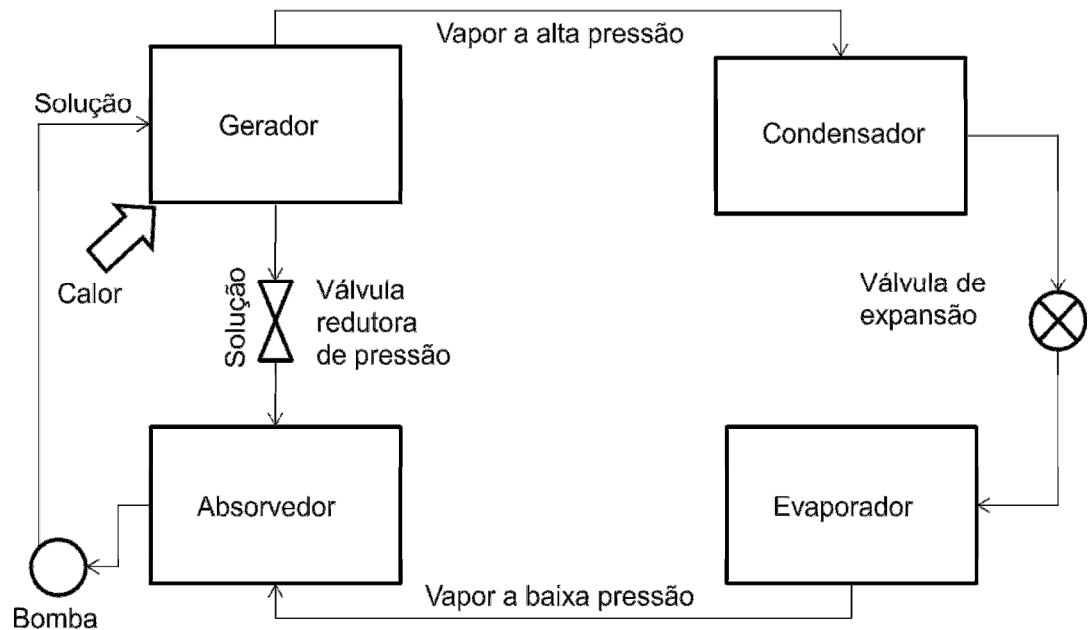


Figura 2.2: Ciclo de absorção

Nesse ciclo, o vapor de baixa pressão que sai do evaporador é absorvido por uma solução líquida no absorvedor, rejeitando calor através de um sistema de resfriamento para que o aumento de temperatura não cesse a absorção. A bomba recebe o líquido a baixa pressão do absorvedor e entrega com maior pressão ao gerador.

No gerador, a adição de calor de uma fonte a alta temperatura expulsa o vapor da solução, já a fase líquida volta para o absorvedor através da válvula redutora de pressão, enquanto que o vapor a alta pressão vai ao condensador.

No condensador, o vapor rejeita calor para a atmosfera e se condensa. Passa então pela válvula de expansão, resfriando-se, e chega ao evaporador, onde se vaporiza, roubando então calor do ambiente, para depois reiniciar o ciclo no absorvedor.

As principais soluções usadas são a de amônia e a de brometo de lítio.

3. Refrigeração em Hotéis

Hotéis são um tipo muito singular de edificação quanto ao consumo de energia, devido às inúmeras diferenças como os serviços oferecidos, as taxas de ocupação, a localização e outros.

O tipo e a quantidade de energia consumida variam de acordo com o país onde estes se encontram. Em países com estações mais definidas, grande parte do consumo dos hotéis em meses frios se deve ao aquecimento, enquanto que em regiões mais quentes o aquecimento praticamente inexistente, tornando o condicionamento de ar uma importante fonte de consumo, fazendo que uma diminuição do consumo de energia devido ao condicionamento tenha um grande impacto na redução do consumo total de energia do hotel.

3.1 *Tipos de Energia*

Hotéis utilizam quase que exclusivamente em seus processos, como fonte de energia, energia elétrica e combustíveis, sendo os combustíveis mais comuns o Gás Natural, o GLP (Gás Liquefeito de Petróleo) e o Diesel.

Além dessas fontes, existem também alguns hotéis que utilizam aquecedores solares para gerar água quente.

3.2 *Refrigeração por compressão*

É o tipo de refrigeração mais comum, encontrado em edificações de todo tipo, e em todas escalas de tamanho.

Sua maior vantagem é que é ligado diretamente à rede elétrica, não necessitando de linhas de combustível para ser alimentado.

Como desvantagem apresenta o fato do alto custo da energia elétrica, o que torna sua operação muito cara.

3.3 *Refrigeração por absorção*

Sistemas de refrigeração por absorção, apesar de serem menos eficientes em relação aos sistemas de refrigeração por compressão, vêm aumentando sua participação no mercado devido ao custo reduzido de seus insumos energéticos quando comparados à eletricidade.

Importante lembrar também que tratando-se da climatização de hotéis, o fato de o ciclo de absorção ter como principal insumo o calor, faz com que exista a possibilidade de aproveitar o rejeito de outros processos para alimentar o ciclo, diminuindo assim o consumo de energia elétrica ou combustíveis necessários, ou a substituição insumos de outros processos pelo calor não aproveitado pelo ciclo.

4. O Energy Plus

O Energy Plus é um programa desenvolvido pelo Departamento de Energia dos EUA que permite a modelagem de edifícios para que através do consumo de energia de cada um de seus sistemas seja possível analisar sua eficiência, permitindo que se possa variar os parâmetros de forma a otimizar o edifício como um todo.

O programa possui uma interface simples que pode ser melhorada através de programas auxiliares que permitem uma melhor visualização dos dados de saída e geometria dos ambientes que estão sendo simulados. A definição dos parâmetros da simulação é feita através de diversos menus disponíveis ao usuário.

Nesses menus é possível geometria, materiais, condições climáticas, geração interna de energia, período de simulação, equipamentos presentes no ambiente e outros. Também é possível ao usuário escolher os dados que deseja que sejam simulados, assim como a parametrização do ambiente.

O programa realiza os balanços de energia e de água a partir das condições definidas pelo usuário, podendo este optar tanto pela simulação de dias escolhidos de forma a permitir o dimensionamento do sistema necessário para atender à demanda da edificação quanto à simulação por um período mais longo, de um ano, que permite avaliar o consumo de energia do sistema e a variação deste no tempo.

O ambiente a ser simulado é imputado no programa através das informações de geometria do local e dos materiais utilizados na confecção de suas paredes, teto e piso, podendo o usuário agrupar espaços semelhantes em “zonas térmicas”, que são os espaços que serão considerados na simulação.

5. Metodologia

O trabalho foi realizado de acordo com as seguintes etapas:

5.1 *Pesquisa Bibliográfica*

As informações relevantes para o desenvolvimento do trabalho foram coletadas através de pesquisa em estudos sobre condicionamento de ar em hotéis, possibilitando a definição do tipo de simulação, e a geometria a ser usada para a simulação.

Analisando os estudos sobre o tema foi possível constatar que a instalação de sistemas de absorção, além de trazer uma possível redução de custos de operação do sistema, possibilita a integração do sistema de condicionamento com outros sistemas que apresentam calor como a necessidade de calor como insumo.

Também foi possível coletar dados de geometria, materiais e ocupação para a execução da simulação, além de mostrar que a simplificação de se construir um andar típico e multiplicar o consumo obtido pelo número de andares é bastante satisfatória.

5.2 *Simulações no Energy Plus*

5.2.1 Implantação da geometria do Hotel

Nessa etapa foi implantada no programa a geometria a ser usada para a simulação do hotel.

Através da análise da disposição dos quartos e corredores nos andares do hotel foi possível a construção de um andar típico simplificado que servisse de base para as simulações.

A geometria escolhida consistia em quatro zonas, sendo três delas condicionadas, representando os quartos, e uma delas não condicionada, representando o *Hall* de elevadores e os corredores.

As zonas térmicas foram construídas de forma que cada uma delas possuisse apenas uma janela, e que não houvesse paredes dentro de uma mesma zona térmica.

Uma representação das zonas térmicas utilizadas pode ser vista na figura abaixo:

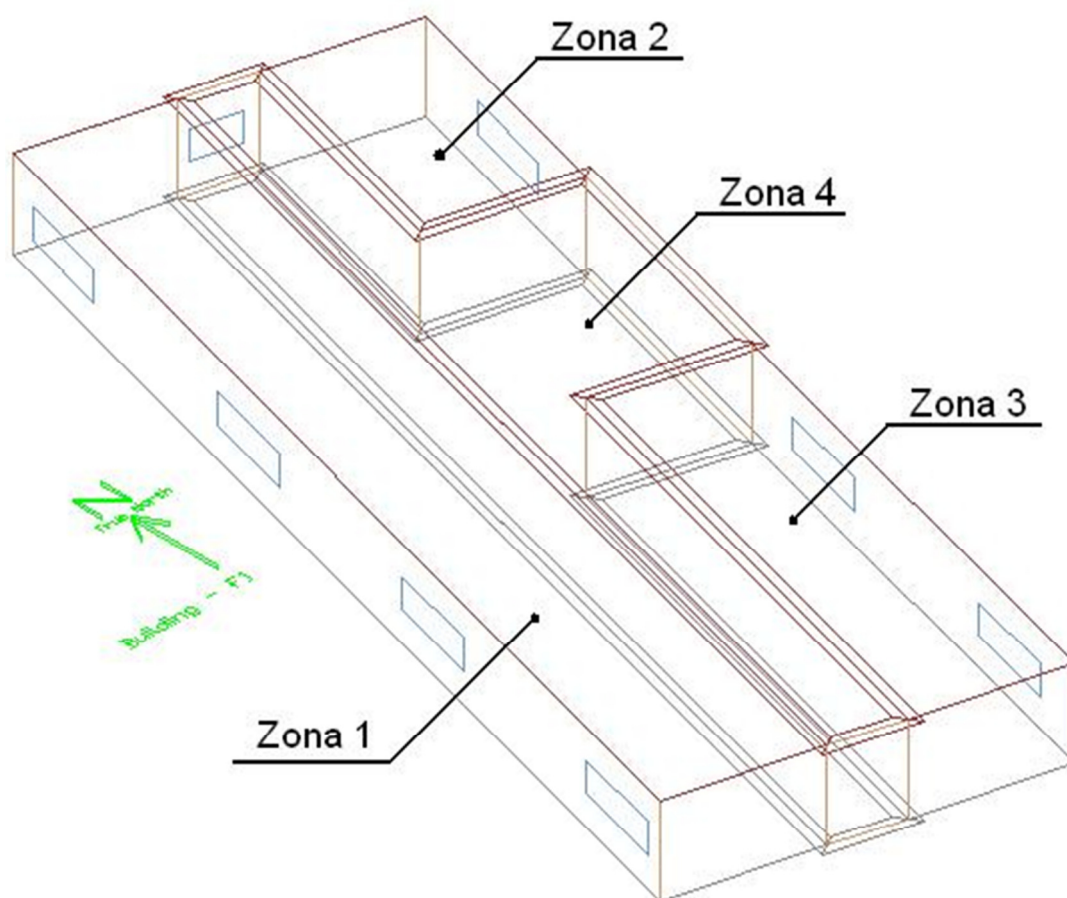


Figura 1 - Divisão do andar típico em zonas térmicas

Para essa geometria, os tetos foram considerados como formados por gesso e lajota, as paredes internas de uma camada de isolante envolvida por duas camadas de gesso, os pisos como uma laje de concreto envolta por duas camadas de reboco, e as paredes externas como uma camada de isolante entre camadas duplas de gesso.

Os materiais citados acima possuem as seguintes propriedades:

Tabela 1 - Propriedades dos materiais utilizados

Material	Condutividade Térmica (W/m·K)	Densidade (kg/m³)	Calor Específico (J/kg·K)	Espessura (mm)
Reboco	1,15	2000	100,0	25
Isolante	0,045	N/D	N/D	50
Lajota	1,5	1800	830,0	100
Concreto	1,5	1800	830,0	100
Gesso	0,35	875	840	15

Para as janelas, foi utilizado vidro com as seguintes propriedades:

Tabela 2 - Propriedades do vidro

Material	Condutividade Térmica (W/m·K)	Transmitância Visível	Transmitância Solar	Espessura (mm)
Vidro	0,12	0,15	0,1	8,1

Devido às similaridades existentes na edificação, esse foi considerado como sendo a soma de vinte andares típicos, todos com a mesma configuração.

Utilizando dados médios sobre o fluxo de hóspedes em um hotel entre 2004 e 2006, podemos utilizar os seguintes valores de geração de carga térmica (MARIANA, F. B.):

Tabela 3 - Valores de carga térmica

Zona	Ocupação (pessoas)	Iluminação (W)	Equipamentos (W)	Infiltração (m³/s)
1	20,8	1488	402	0,1231
2	5,2	372	108	0,0305
3	10,4	744	216	0,0611
4	1,8	224	0	0,0921

5.2.2 Localidade e Tipo de simulação

O Energy Plus permite a escolha do tipo de simulação e a localidade em que se deseja simular o funcionamento do modelo Implantado.

O presente trabalho utiliza como referência para simulação a cidade de São Paulo, usando para isso os dados do arquivo de clima da cidade, que pode ser encontrado no próprio site do programa.

Cada um dos sistemas, depois de devidamente implantados, serão simulados pelo período de um ano, possibilitando assim a identificação do consumo de energia da edificação e a variação do consumo durante o ano.

5.2.3 Simulação do sistema de refrigeração por compressão

O sistema de refrigeração por compressão tem como base um *chiller* elétrico, sendo o COP do equipamento um dos parâmetros de entrada para o programa.

A capacidade de refrigeração necessária é calculada levando-se em conta as cargas térmicas existentes na edificação.

Os resultados da simulação desse sistema serão apresentados ao longo do trabalho.

5.2.4 Simulação do sistema de refrigeração por absorção

Nessa etapa, foram usados a mesma geometria e parâmetros do sistema de compressão, apenas substituindo no sistema o *chiller* elétrico por um de absorção.

Para o equipamento de absorção, o programa não utiliza o valor do COP como parâmetro de entrada, utilizando apenas os parâmetros de carga térmica e curvas de consumo dos equipamentos.

É importante ressaltar que o *Energy Plus* não calcula diretamente o consumo de gás natural do sistema, uma vez que para esse tipo de equipamento o programa considera que a edificação importa calor como insumo do ciclo, sendo possível então, através da quantidade de calor utilizado, inferir o consumo de gás natural.

5.3 *Análise Econômica*

Após a simulação dos dois sistemas mencionados acima, foi possível aferir a capacidade de refrigeração dos sistemas a serem usados e o consumo de energia (elétrica e calor) de cada um deles.

Com a capacidade do sistema foi possível definir o preço, e com a energia consumida os custos de operação. Através da comparação dos valores foi possível quantificar o tempo necessário para que o menor custo de operação do sistema de absorção recupere o investimento na substituição.

6. Resultados das Simulações

6.1 Refrigeração por compressão

A simulação anual do hotel no *Energy Plus*, utilizando o sistema de refrigeração com o *Chiller* elétrico e arquivo de clima da cidade de São Paulo, indicou que seria necessário um sistema com capacidade de refrigeração de 120 (cento e vinte) toneladas de refrigeração (TR).

O sistema foi dimensionado utilizando-se um compressor de parafusos e um valor definido de COP de 4,2.

O gráfico abaixo contém os dados de consumo mensal de energia elétrica do *Chiller* de compressão:

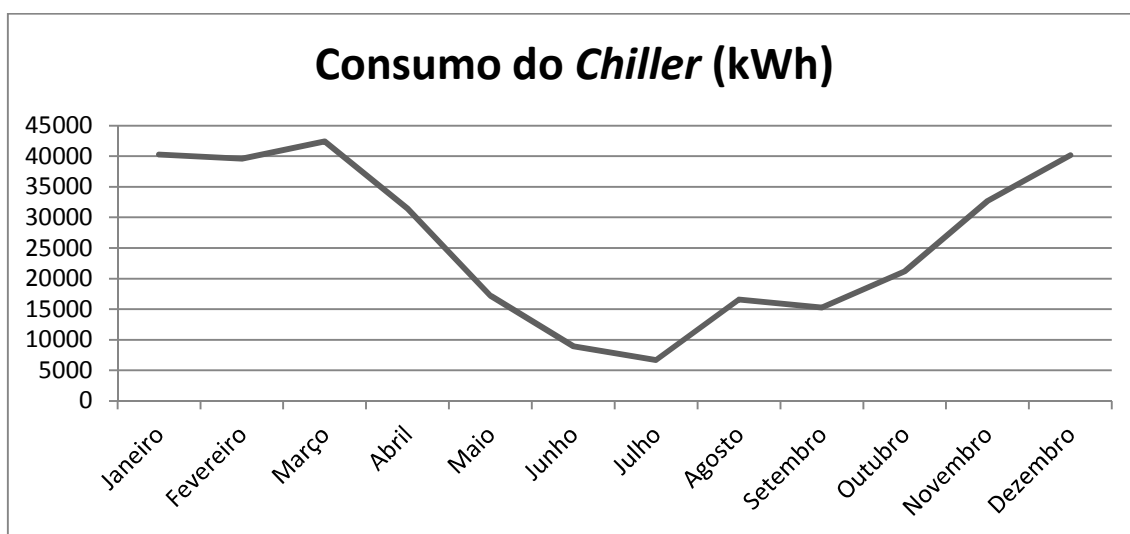


Figura 2 - Consumo de energia elétrica no *chiller* elétrico

Além do *Chiller*, o sistema possui mais equipamentos movidos a energia elétrica, como bombas, ventiladores e o sistema de rejeição de calor. Somando-se o consumo desses equipamentos com o consumo do *Chiller* é possível obter o consumo total do sistema, que é apresentado no gráfico abaixo:

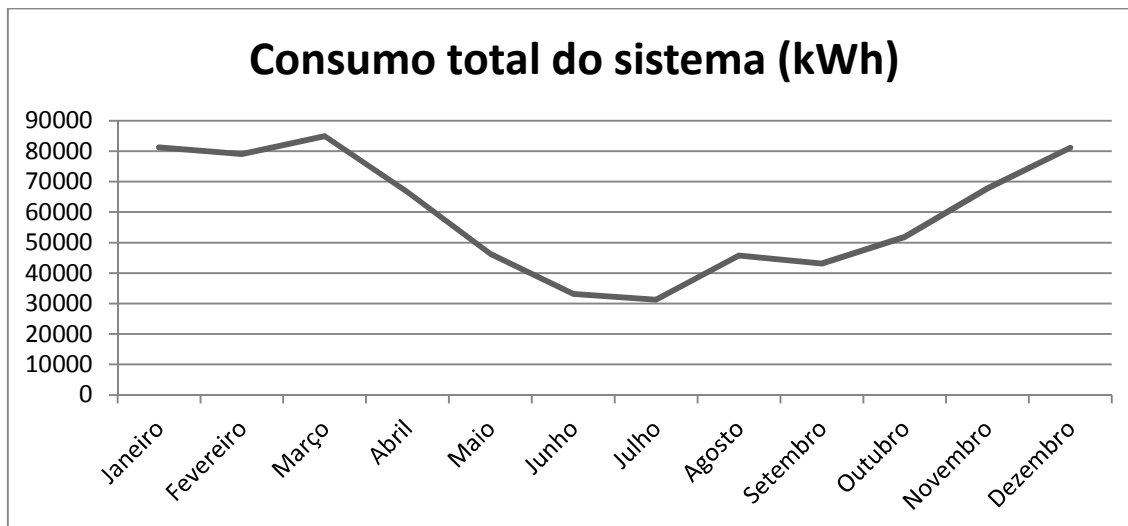


Figura 3 - Consumo total de energia elétrica do sistema de compressão

A partir dos dados de consumo apresentados acima, será possível o cálculo do custo de operação do sistema.

Ao consolidar os resultados pelo período de um ano, o sistema de refrigeração utilizando o *Chiller* elétrico, localizado na cidade de São Paulo e usando a geometria definida ao longo deste trabalho, apresentou um consumo anual total de energia elétrica de 312.340 kWh, apenas para o *chiller*. Considerando o consumo total do sistema, isto é, somando-se a isso os consumos de bombas, ventiladores e torre de resfriamento, o consumo total chega a 712.219 kWh, sendo 195.583 kWh devido aos ventiladores, 159.582 kWh devido a bombas e 44.714 kWh consumidos pelo sistema de rejeição de calor.

6.2 Refrigeração por absorção

Assim como para o sistema de compressão, a simulação indicou para o sistema de absorção a necessidade de um sistema com capacidade de refrigeração de 120 (cento e vinte) toneladas de refrigeração (TR), o que era esperado por se tratar da simulação do mesmo hotel, com o mesmo perfil de distribuição da carga térmica e situado na mesma localidade.

Para o sistema de absorção, existem dois tipos de consumo de energia, pois o *Chiller* funciona com calor proveniente da queima do gás natural, enquanto que os demais equipamentos utilizam energia elétrica para seu funcionamento.

No gráfico abaixo, são apresentados o consumo de energia do *Chiller*, em kWh de energia térmica, e a energia consumida pelos outros equipamentos do sistema, em kWh de energia elétrica:

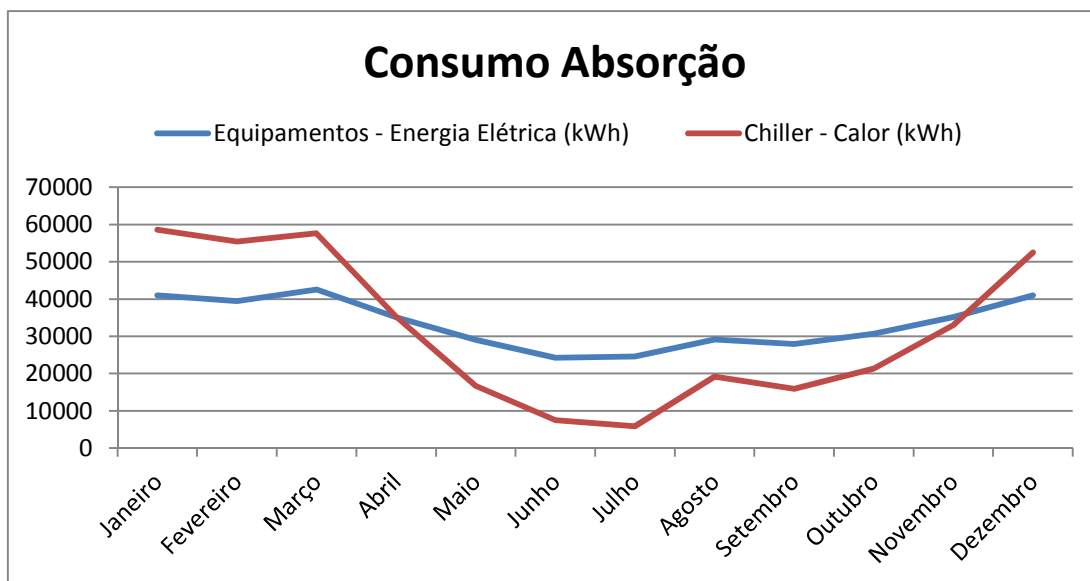


Figura 4 - Consumo de energia elétrica e calor do sistema com Chiller de absorção

À partir do resultado do consumo de energia do *Chiller* é possível estimar o consumo de gás natural do equipamento usando o poder calorífico inferior (PCI) do referido combustível.

Sendo o PCI do gás estimado em 9,4 kWh/m³ de gás natural, obtemos o seguinte perfil de consumo de gás natural:

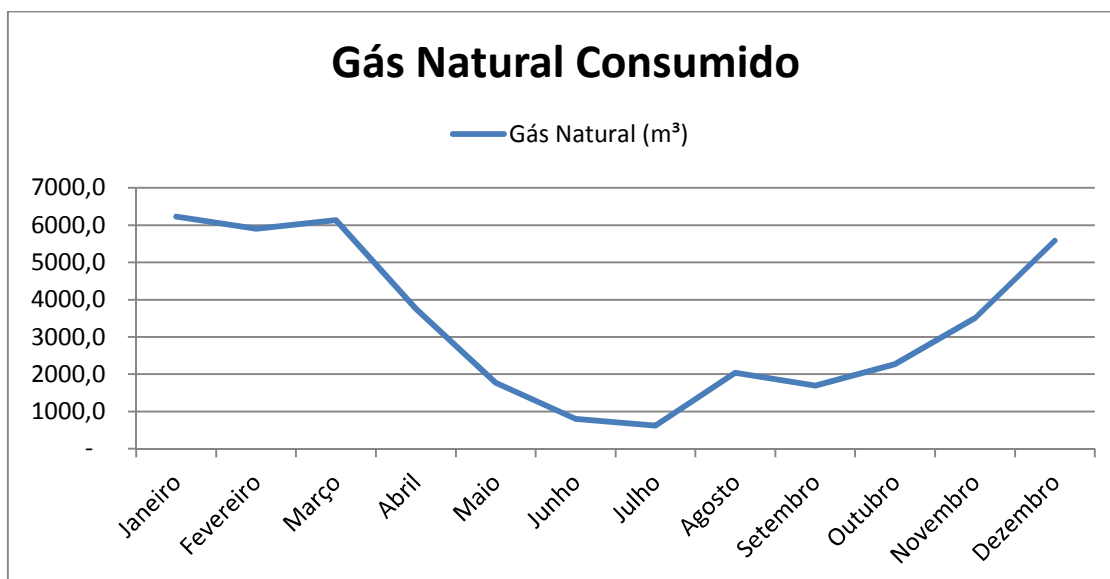


Figura 5 - Consumo de gás natural do Chiller de absorção

Ao consolidar o resultado para o ano de simulação, encontramos o valor de consumo total de energia elétrica de 399.878 kWh de energia elétrica pelo sistema, sendo 195.582 kWh consumidos pelos ventiladores, 159.582 kWh pelas bombas e 44.713 kWh para rejeição de calor.

Já o *Chiller* sozinho consome 379.088 kWh de vapor para atender à carga térmica do ambiente simulado.

7. Análise Econômica

Nesta seção será apresentada a comparação de custos entre os dois sistemas, com o objetivo de definir qual a melhor alternativa entre os dois sistemas.

Serão analisados dois tipos de situação, sendo a primeira um novo hotel, em que é preciso escolher um dos dois sistemas para ser instalado, e a segunda a substituição do *chiller* elétrico por um de absorção.

7.1 *Custo dos equipamentos*

7.1.1 *Chiller Elétrico*

O custo de um equipamento elétrico típico desse porte pode ser estimado em R\$ 4.000,00 por Tonelada de Refrigeração (TR).

Sendo necessário um aparelho com capacidade de 120 TR, o custo total estimado do aparelho é de R\$ 480.000,00.

7.1.2 *Chiller de absorção*

O custo de um *Chiller* de absorção da marca LG, tipo fogo direto, incluindo o custo de transporte internacional até São Paulo, considerando-se a capacidade de 120 TR, foi estimado em US\$ 138.000,00.

Analizando a cotação atual do dólar e as projeções de cotação futura da moeda em relação ao Real, pode-se definir uma taxa média de conversão de R\$ 1,75 por *dólar*, o que permite quantificar o preço final do equipamento em R\$ 422.625,00.

7.2 Custo de operação dos equipamentos

Para o cálculo do custo de operação foi considerado, para o custo da energia elétrica, o taxa média paga pelo consumidor comercial no mês de Julho de 2011, presente no site da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) que acrescida de ICMS foi estimada em R\$ 348,10 por Megawatt-hora (MWh).

Já para o gás natural foi utilizado o custo fornecido pelo site da Comgás (companhia responsável pelo fornecimento do combustível na cidade de São Paulo), que varia de acordo com a tabela abaixo:

Tabela 4 - Tabela de preços do gás natural

Classes	Volume m³/mês	Valores sem ICMS		Valores com ICMS	
		Fixo - R\$/mês	Variável - R\$/m³	Fixo - R\$/mês	Variável - R\$/m³
1	0 – 0	23,42	0	26,61	0
2	0,01 a 50,00 m³	23,42	2,849741	26,61	3,238342
3	50,01 a 150,00 m³	38,06	2,556958	43,25	2,905634
4	150 a 500,00 m³	67,33	2,362994	76,51	2,68522
5	500 a 2.000,00 m³	153,71	2,190205	174,67	2,488869
6	2.000,01 a 3.500,00 m³	708,52	1,912835	805,14	2,173676
7	3.500,01 a 50.000,00 m³	2.657,01	1,356545	3.019,33	1,541528
8	> 50.000,00 m³	7.048,75	1,268711	8.009,94	1,441717

7.2.1 Chiller Elétrico

A obtenção do custo de operação do sistema de refrigeração por compressão foi feita através da multiplicação do consumo total de energia elétrica do sistema, já apresentado anteriormente, pela tarifa de energia elétrica definida.

O resultado dessa operação foi consolidado no gráfico abaixo:

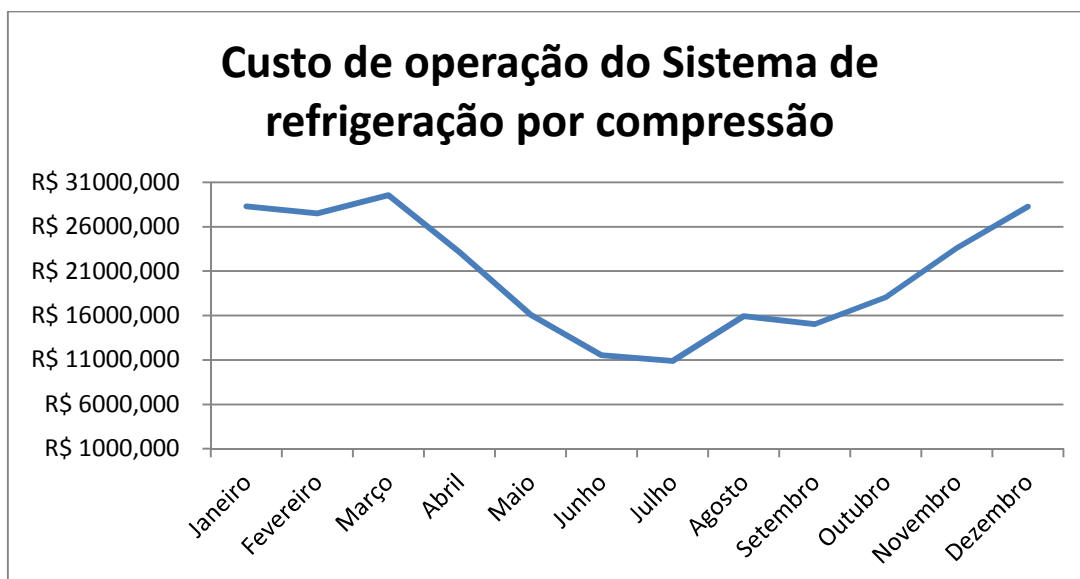


Figura 6 - Custo de operação do sistema com ciclo de compressão

7.2.2 Chiller de absorção

Para o sistema de absorção, foi preciso avaliar tanto os custos do gás natural consumido pelo *Chiller* como os custos da energia elétrica consumida pelos sistemas auxiliares.

Para os equipamentos que funcionam com energia elétrica foi usada a mesma tarifa usada no *Chiller* elétrico, enquanto que para o gás natural foram utilizados os custos da tabela 1.

Com isso, foi possível obter os custos mostrados no gráfico abaixo:

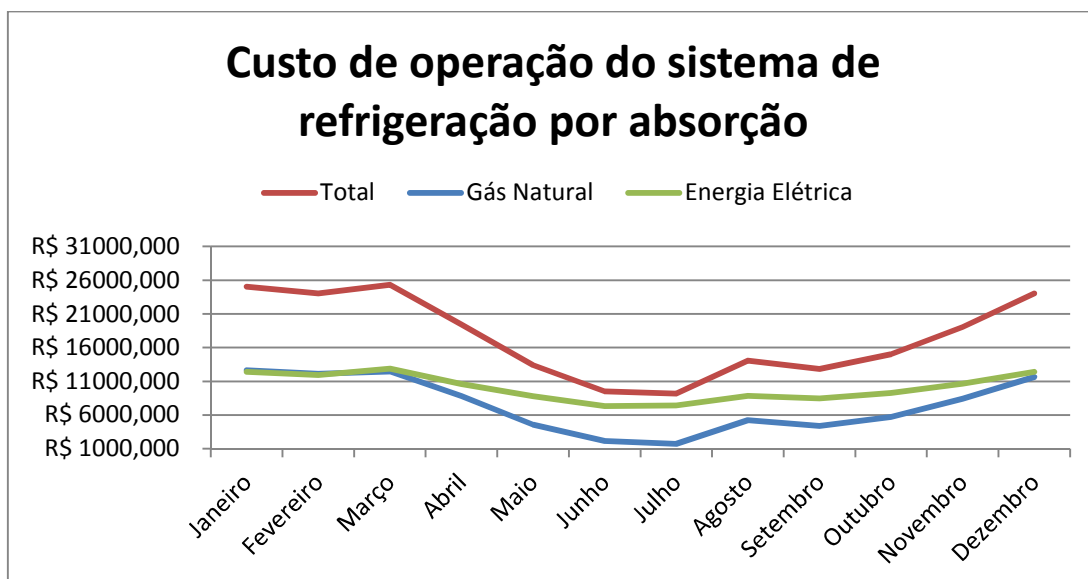


Figura 7 - Custo de operação do sistema com ciclo de absorção

7.2.3 Comparação entre os dois perfis de consumo

Com a quantificação do custo total de operação dos dois sistemas foi possível a comparação dos resultados através do gráfico abaixo:

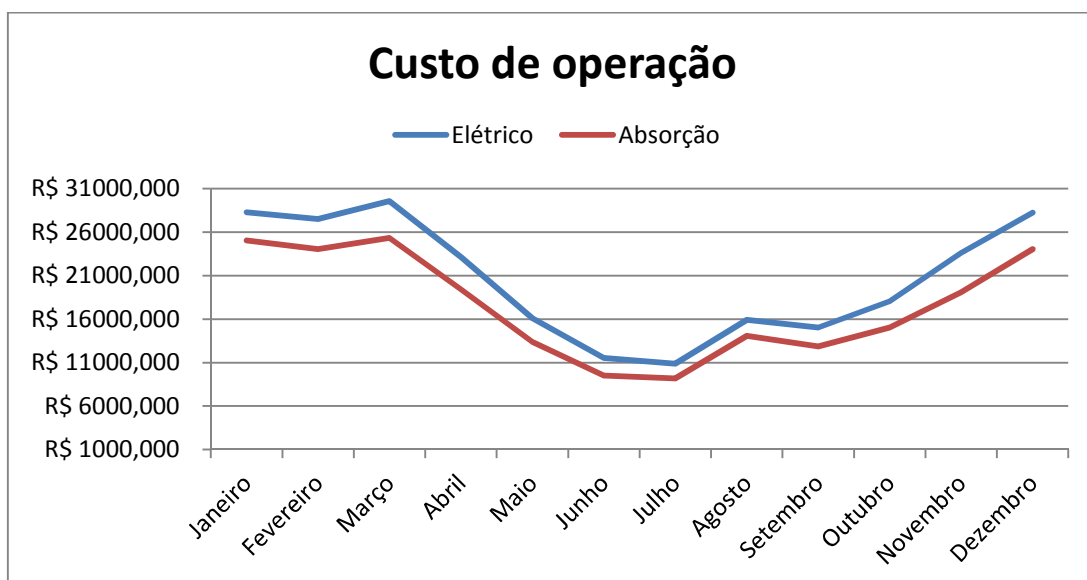


Figura 8 - Comparação dos custos de operação dos sistemas simulados

Através da análise do gráfico é possível notar que o sistema de absorção tem um consumo mais elevado que o sistema de compressão.

Analizando o consumo total durante o ano, o sistema de compressão tem um custo de operação de R\$ 247.951,61, enquanto o sistema de absorção tem um custo anual de R\$ 211.011,89.

Como esperado, o sistema de compressão, apesar do menor gasto de energia, apresenta maior custo de operação, pois a energia proveniente do gás natural tem menor custo em relação à energia elétrica, fazendo com que o sistema de absorção tenha vantagem ao se comparar o custo de operação dos sistemas.

7.2.4 Substituição do sistema

Sendo o sistema de absorção mais barato e com menor custo de operação, é fácil concluir que esse é o sistema mais vantajoso em caso de novas instalações. Nesses casos não é vantajoso o uso do sistema de compressão tanto no curto quanto no longo prazo.

Já para situações em que o estabelecimento já possui um sistema instalado, é necessária a análise do tempo necessário para que a troca seja vantajosa ao cliente, onde devem ser considerados a diferença entre o custo de aquisição de um novo sistema e a quantia recuperada com a venda do aparelho antigo, que devem ser compensadas pelo custo de operação inferior. Também deve ser considerado o custo de oportunidade ao imobilizar o capital na compra do novo sistema.

Considerando-se os custos de operação e aquisição expostos, e considerando que seria possível recuperar um quarto do valor do equipamento usado em caso de sua substituição (venda do aparelho antigo), além de uma remuneração sobre o capital de 0,5% ao mês, foi possível estimar o tempo necessário para que o investimento na troca do aparelho fosse recuperado, que para essa situação foi estimado em 136 meses.

Lembrando que a simulação foi feita com base na cidade de São Paulo. Para cidades com diferentes climas e diferentes tarifas de gás e energia elétrica poderíamos ter resultados diferentes.

8. Conclusão

Foram apresentados ao longo do trabalho os resultados das simulações anuais dos sistemas de condicionamento de ar baseados nos ciclos de compressão e absorção, permitindo que para as condições explicitadas ao longo do estudo os sistemas pudessem ser comparados em termos de seus custos e gasto de energia.

Para que a simulação fosse executada foi inicialmente necessário a definição da geometria do hotel a ser simulado, assim como os materiais que seriam usados e as propriedades destes, e a inserção dos dados no *Energy Plus*, para depois inserir no programa o sistema de condicionamento por compressão, e foram feitas simulações deste sistema até que fosse obtido um resultado satisfatório, sendo então modificado o programa para que fosse simulado o sistema de absorção.

Realizadas as simulações, os resultados mostraram que, como esperado, o sistema de absorção apresenta maior gasto de energia na forma de calor.

Apesar de ser menos eficiente, ao se comparar os custos de operação dos sistemas, o sistema de absorção é beneficiado pelo menor custo do gás natural em relação à energia elétrica, mostrando então que este sistema é o que apresenta menor custo de operação.

Ao se comparar a aquisição de uma nova máquina, o sistema de absorção mostra-se muito mais vantajoso, pois além de apresentar menor custo de operação apresenta também menor custo de aquisição. Já para a situação em que é analisada a troca de um aparelho já existente de compressão por um novo de absorção, há de se calcular o tempo de retorno do investimento para troca de sistema, que para essa situação foi de cento e trinta e seis meses, tempo que apesar de ser longo, ainda está dentro da vida útil do aparelho.

Devido a limitações de tempo, não foi possível a análise de como o sistema de absorção poderia se integrar com os outros sistemas do hotel que utilizam calor como insumo, como a cozinha e a água quente utilizada pelos hóspedes, o que poderia aumentar a vantagem da instalação de absorção sobre a de compressão reduzindo assim o tempo de retorno do investimento.

Outra possibilidade de análise seria a inserção de uma turbina a gás que gerasse energia elétrica para o uso geral do hotel e gases quentes de escape que poderiam ser usados no sistema de absorção ou até mesmo na cozinha, aumentando assim a eficiência da edificação como um todo.

9. Referências Bibliográficas

ASHRAE, AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **Energy Standard for buildings except low-rise residential buildings**. ASHRAE Standard 90.1 - 2004.140. Atlanta, 2004. 179 p.

ASHRAE, AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **Standard method of test for the evaluation of building energy analysis computer programs**. ASHRAE Standard 140 - 2001.140. Atlanta, 2001. 91 p.

CARLO, J. C. **Desenvolvimento de Metodologia de Avaliação da Eficiência Energética do Envoltório de Edificações Não-residenciais**. 2008. 215 p. Tese (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil) – PPGEC, Universidade de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

MARIANA, F. B. **Avaliação de edificações para eficiência energética**. Escola Politécnica da USP. Trabalho de graduação da engenharia mecânica. 2008.

ORTIGOSA, A. S. P. **Modelagem, simulação e otimização de um ciclo comercial de produção de água gelada por absorção de amônia** -- São Paulo, 2007. Trabalho de formatura.

RAJAGOPALAN PRIYADARSINI, **A study on energy performance of hotel buildings in Singapore** – Energy and Buildings 41 (2009) 1319–1324

SEMIH ÖNÜT, **Energy efficiency assessment for the Antalya Region hotels in Turkey**- Energy and Buildings 38 (2006) 964–971

STOECKER, W. F. **Refrigeração e ar condicionado**; São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1985.