

## Estudo e simulação de sistemas de condicionamento de ar para hotéis

Carlos Manoel Argeu Steque Pradella

carlos.pradella@gmail.com

**Resumo.** O objetivo deste trabalho é simular o sistema de condicionamento de ar de um hotel com os ciclos de absorção e compressão de vapor e analisar o custo de cada um dos sistemas para avaliar a melhor solução do ponto de vista técnico e econômico.

**Palavras chave:** Simulação, Climatização, Absorção, Compressão, Hotel.

### 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, nos projetos 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 analisados serão os sistemas mais comuns no mercado, o sistema de refrigeração por compressão e o sistema de refrigeração por absorção.

### 2 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é a comparação entre dois sistemas de condicionamento de ar para um hotel, analisando o gasto de energia associado a cada um e os custos de aquisição e operação dos equipamentos para decidir qual a melhor alternativa a ser implantada.

Para isso será realizada a simulação no Energy Plus dos dois sistemas de refrigeração mais comumente encontrados no mercado, o sistema baseado no ciclo de compressão de vapor, com um *Chiller* elétrico, e o sistema baseado no ciclo de absorção, que utiliza calor como fonte de energia no *Chiller*.

Para a realização da simulação será utilizado o arquivo de clima da cidade de São Paulo e a geometria de um hotel da mesma cidade.

### 3 METODOLOGIA

O presente trabalho foi desenvolvido em quatro etapas:

### 3.1 Pesquisa Bibliográfica

Através da pesquisa bibliográfica foram coletados os dados de geometria e carga térmica do hotel, além de materiais a serem usados para descrever as paredes, pisos e tetos, além de mostrar que a simplificação para andares iguais com quatro zonas térmicas poderia ser usada no desenvolvimento do trabalho.

### 3.2 O Energy Plus

O *Energy Plus* é um programa que realiza balanços de energia e água em um edifício a partir de uma geometria e carga térmica definidas pelo usuário, podendo este escolher entre a simulação de um dia típico, com objetivo de apenas dimensionar o sistema a ser usado e avaliar as trocas de calor envolvidas, e a simulação anual, que mostra ao usuário o consumo de energia durante um ano todo, mostrando também a variação mensal do consumo de energia. Outro importante dado de entrada do programa é o arquivo de clima, que contém os dados climáticos para um ano tipo na localidade desejada.

O treinamento na ferramenta foi realizado através da leitura do manual do programa e da resolução de exercícios propostos pelo professor.

### 3.3 Definição e implantação da geometria do hotel

O hotel foi simplificado como sendo um conjunto de vinte andares idênticos, cada um formado por quatro zonas térmicas, que nada mais são do que espaços na edificação com propriedades parecidas, como temperatura, ocupação, incidência solar, entre outros. As quatro zonas consideradas não possuem divisórias internas, sendo as paredes internas ou externas a fronteira com outras zonas. As três zonas que representam os quartos são climatizadas, enquanto a zona que contém os não possui climatização, como pode ser observado na figura:

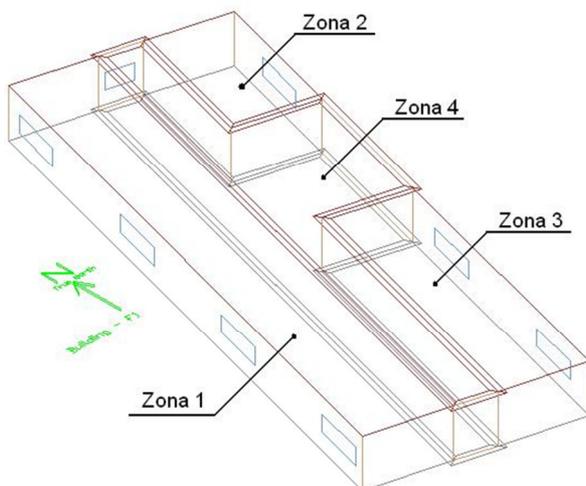


Figura 1 - Geometria utilizada na simulação

### 3.4 Simulação do sistema de compressão

O sistema de compressão de vapor funciona baseado na compressão de um fluido refrigerante que depois sofrerá expansão isoentálpica em uma válvula de expansão, o que causa a queda de sua temperatura, podendo então o fluido ser usado para retirar calor do fluido a ser resfriado.

Utilizando a geometria descrita acima e o arquivo de clima referente à cidade de São Paulo foi implantado no *Energy Plus* o sistema de compressão, que utiliza um *chiller* (unidade de resfriamento) elétrico para gerar água fria que será utilizada para baixar a temperatura do ar ambiente.

### 3.5 Simulação do sistema de absorção

O ciclo de resfriamento por absorção funciona devido à diferença de concentrações da solução base, o que graças ao calor recebido s uma fonte externa pode manter um ciclo de resfriamento. Nesse ciclo, ao invés de energia elétrica temos como insumo o calor.

Nessa etapa do trabalho o *chiller* elétrico foi substituído por um de absorção, mantidas as mesmas condições do cenário anterior. Apesar do programa não calcular diretamente o consumo de gás do *chiller* de absorção, calcula o calor necessário para que esse possa funcionar. De posse das informações de consumo de calor fornecidas pelo programa e o PCI de gás natural é possível determinar o consumo de gás necessário para o funcionamento do sistema.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Resultados das simulações

#### 4.1.1 Sistema de 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). Também foi considerado para a simulação o compressor de parafusos e um COP de 4,2.

A simulação anual do sistema revelou um consumo de energia elétrica de 312.340 kWh, apenas para o *chiller*, e um consumo total de 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.

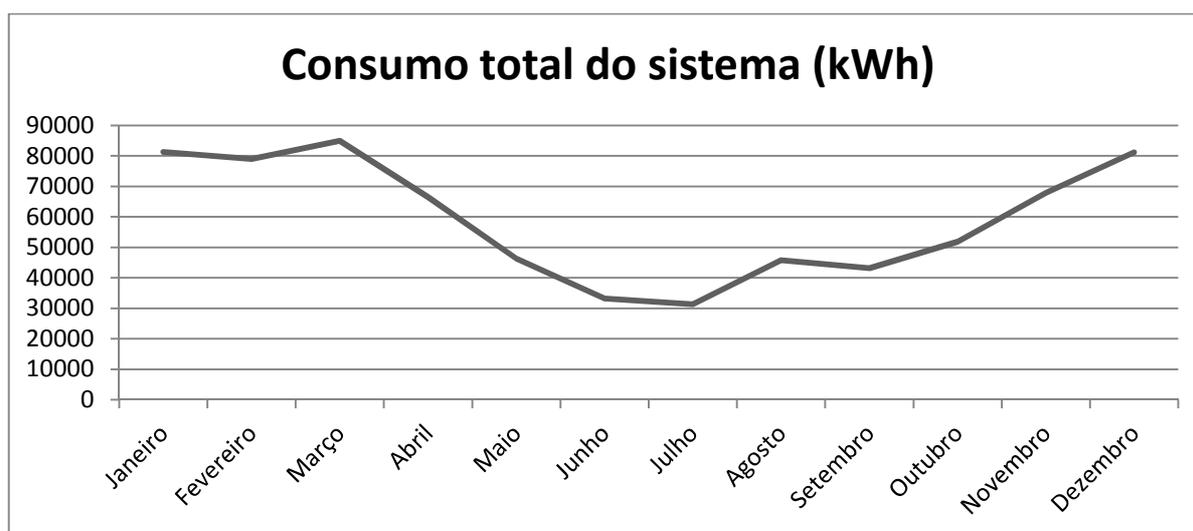


Figura 2 - Consumo de energia elétrica do sistema de compressão

#### 4.1.2 Sistema de 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 apesar do processo funcionar com calor proveniente da queima do gás natural, os equipamentos do ciclo, como bombas, controladores, ventiladores e o sistema de rejeição de calor, por exemplo, utilizam energia elétrica para funcionar.

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.

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:

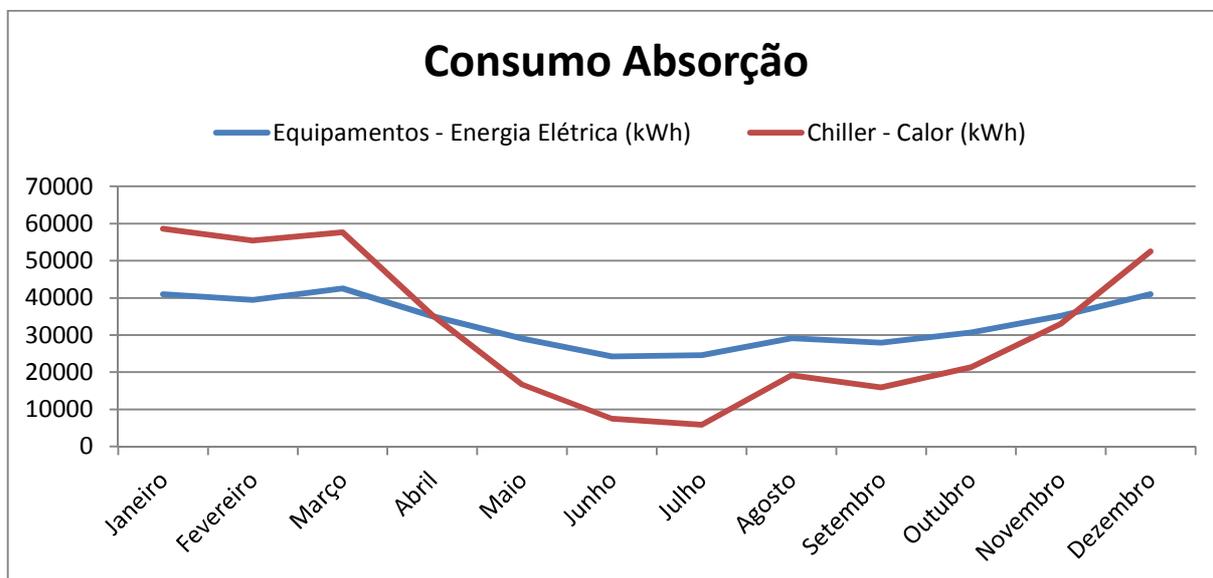


Figura 3 - Consumos de energia elétrica e calor do sistema com ciclo de absorção

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/m<sup>3</sup> de gás natural, obtemos o seguinte perfil de consumo de gás natural:

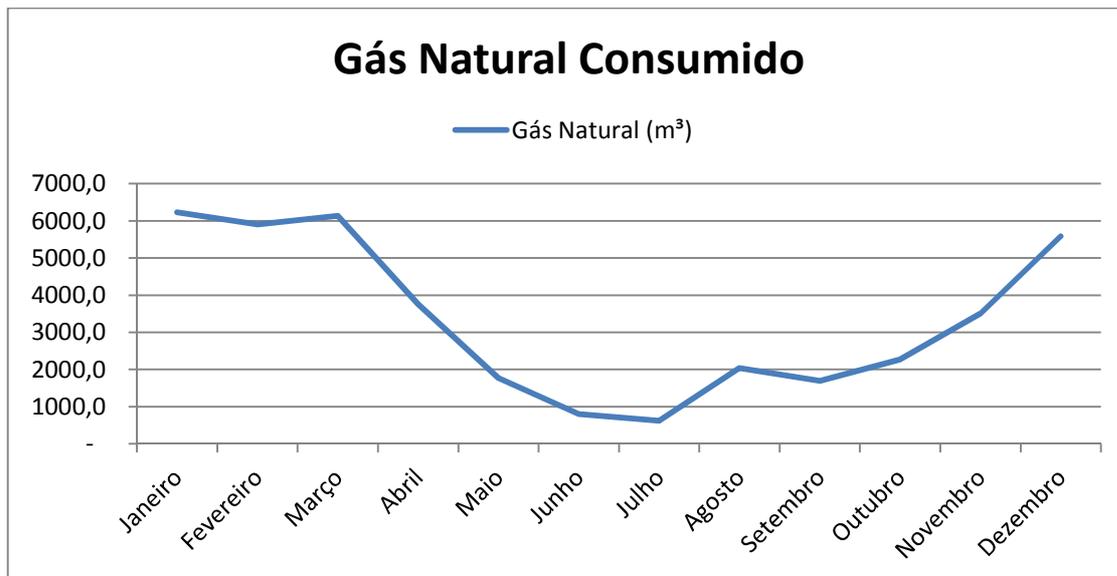


Figura 4 - Consumo de gás natural do *chiller* de absorção

## 4.2 Análise Econômica

### 4.2.1 Custo de aquisição

As simulações indicaram que para o referido hotel seria necessário um equipamento com capacidade de 120 Toneladas de Refrigeração (TR).

O custo de aquisição de um *Chiller* elétrico desse porte foi estimado em R\$ 4.000,00 por Tonelada de Refrigeração (TR), sendo o custo estimado do aparelho em R\$ 480.000,00.

Já o custo de um aparelho de absorção da mesma capacidade foi estimado em US\$ 138.000,00. Considerando-se a cotação atual do dólar e as projeções futuras de cotação da moeda podemos considerar a conversão da moeda em R\$ 1,75 por dólar, o que faz com que o preço do aparelho seja estimado em R\$ 422.625,00.

### 4.2.2 Custos de operação

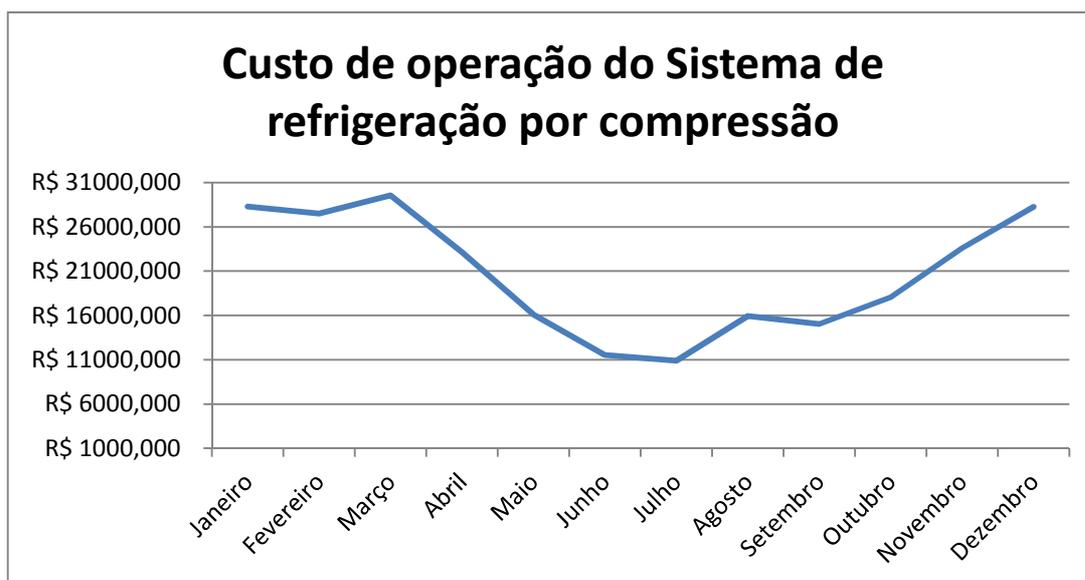
Para o cálculo do custo de operação foi considerado, para o custo da energia elétrica, o taxa média paga pelo consumidor comercial no mês de Julho de 2011, presente no site da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) que acrescida de ICMS foi estimada em R\$ 348,10 por Megawatt-hora (MWh).

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 1 – Custo 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

Para o equipamento elétrico, o custo de operação foi aferido através da multiplicação do consumo de energia elétrica total do sistema pela tarifa definida, obtendo-se o custo mostrado no gráfico abaixo:



**Figura 5 - Custo de operação do sistema com chiller elétrico**

Já 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. Os custos devido ao consumo de energia elétrica foram definidos do mesmo modo que para o sistema de compressão, enquanto que para o gás natural foi utilizado o consumo do combustível e a tarifa de acordo com a tabela 1.

O gráfico abaixo apresenta os custos de energia elétrica, gás natural e total para o sistema:

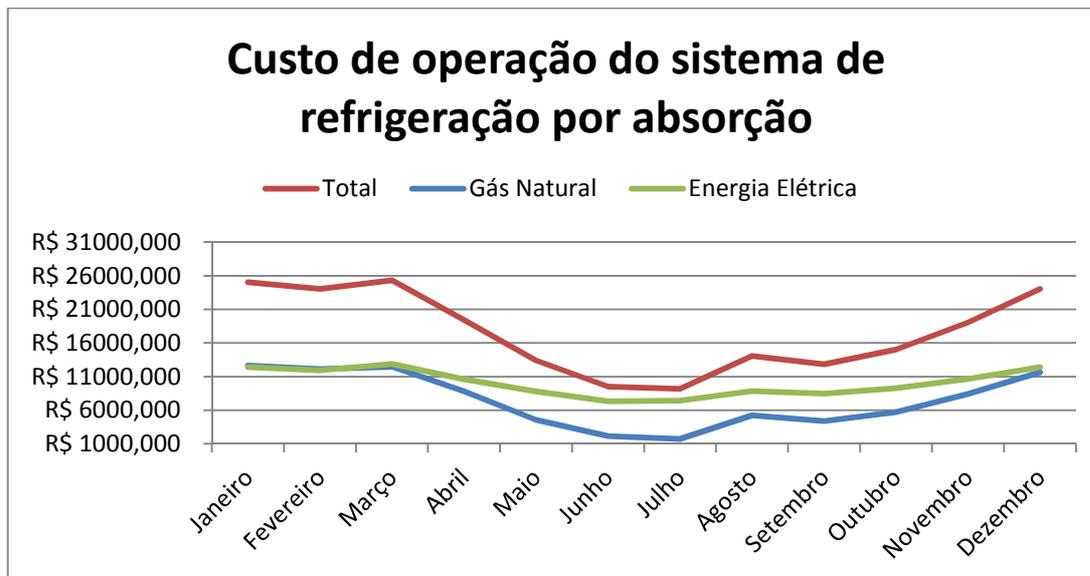


Figura 6 - Custos de operação do sistema com chiller de absorção

## 5 ANÁLISE ECONÔMICA

Através dos custos de aquisição e operação de cada sistema foi possível a análise da viabilidade da utilização de cada um deles, tanto na situação da aquisição de um novo sistema de condicionamento de ar quanto na situação de substituição de um sistema existente.

Na situação da aquisição de um novo sistema, em que não exista uma instalação antiga ou em que esta precise ser trocada devido ao tempo de uso, é clara a vantagem do sistema de absorção, que apresenta menor custo de aquisição e operação.

Já para a substituição de um aparelho de compressão existente por um novo de absorção, precisamos considerar o tempo de amortização do capital investido na substituição. Foi considerado o retorno de 25% do custo de aquisição de uma máquina novo ao substituir a antiga, além de uma remuneração de 0,5% sobre o capital investido, devendo o investimento ser recuperado através da diferença entre os custos operacionais do sistema antigo em relação ao novo sistema.

Utilizando-se a metodologia acima descrita e os valores apresentados no trabalho, chegou-se a um tempo de amortização de 136 meses, o que se mostra satisfatório se considerarmos que o aparelho tem uma vida útil avaliada em 240 meses.

## 6 CONCLUSÃO

Como esperado, o sistema de absorção mostrou-se menos eficiente em relação à energia gasta, mas ainda tem custo inferior de operação quando comparado ao sistema de compressão, devido ao menor preço do gás natural em relação à energia elétrica, o que permite a conclusão de que para esse tipo de estabelecimento é viável o uso de sistemas de condicionamento de ar por absorção quando é necessária uma nova instalação na edificação, pois além de menor preço de manutenção o sistema também possui menor preço de aquisição.

Quando se avalia a substituição de um sistema de compressão pré-existente por um novo de absorção, este também mostra-se vantajoso, pois após a análise econômica foi verificado que o capital investido retorna antes do fim da vida útil do aparelho.

Também é importante ressaltar que além dos custos de operação e aquisição mais baixos, o sistema de absorção pode ser projetado em conjunto com outros sistemas que utilizam calor como insumo, tal como cozinha e chuveiros, além da possibilidade de funcionar a partir de um rejeito de turbina a gás, situações em que a vantagem em relação ao sistema de compressão aumentaria muito.

## 7 AGRADECIMENTOS

Um agradecimento deve ser feito àqueles que colaboraram para que este trabalho fosse desenvolvido. Em especial gostaria de agradecer ao meu orientador, professor Alberto Hernandez Neto, pela paciência e disponibilidade para tirar minhas dúvidas. Gostaria de agradecer a todos os amigos que me ajudaram e apoiaram durante a realização deste trabalho.

## 8 REFERÊNCIAS

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

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.

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

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.

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

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

## 9 DIREITOS AUTORAIS

As informações contidas neste documento estão autorizadas a serem utilizadas livremente. Ao usuário cabe qualquer responsabilidade sobre suas decisões.

### **Simulation and analysis of air conditioning systems in hotels**

**Carlos Manoel Argeu Steque Pradella**

carlos.pradella@gmail.com

**Abstract.** The report has the objective the simulation of two kinds of cooling systems on Energy Plus, one based on the compression cycle, and another on absorption cycle, to a Hotel in the city of São Paulo. Analyzing the simulation results, operation and acquisition costs will be evaluated to determine the viability of using each system.

**Keywords:** Simulation, Air conditioning, Absorption, Compression, Hotel.