

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

ALEXANDRE SHUJI ENDO

**AVALIAÇÃO DO USO DE SISTEMA DE DESUMIDIFICAÇÃO EM PRÉDIOS
COMERCIAIS**

SÃO PAULO

2010

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

ALEXANDRE SHUJI ENDO

**AVALIAÇÃO DO USO DE SISTEMA DE DESUMIDIFICAÇÃO EM PRÉDIOS
COMERCIAIS**

Trabalho de Formatura apresentado à
Escola Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do Título de
Engenheiro Mecânico.

Área de Concentração:
Engenharia Mecânica.

Orientador:
Alberto Hernandez Neto.

SÃO PAULO

2010

FICHA CATALOGRÁFICA

Endo, Alexandre Shuji

Avaliação de sistema de desumidificação em prédios comerciais / A.S. Endo. -- São Paulo, 2010.

47p.

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Mecânica.

1. Ar condicionado 2. Desumidificadores 3. Edifícios comerciais I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Mecânica II. t.

Dedicatória:

Dedico a meus pais e ao meu irmão que me apoiaram durante todo o período de formação.

Agracedimentos:

Ao professor Alberto por todo incentivo e apoio.

À Escola Politécnica da Universidade de São Paulo pela
oportunidade de crescimento pessoal e profissional.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	2
LISTA DE TABELAS.....	3
LISTA DE SÍMBOLOS.....	5
RESUMO.....	6
ABSTRACT.....	7
1. INTRODUÇÃO.....	8
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	11
2.1.Definição e aplicação do sistema de climatização.....	11
2.2.Sistemas de desumidificação.....	13
2.3.Estrutura do desumidificador por roda dessecante.....	15
2.4.Funcionamento do sistema.....	17
2.5.Aplicações de sistema de condicionamento de ar e desumidificador por roda dessecante.....	18
3. DESCRIÇÃO DO SISTEMA.....	23
4. FERRAMENTA DE SIMULAÇÃO- ENERGY PLUS 4.0.....	26
5. RESULTADOS.....	28
5.1.Consumo energético.....	28
5.2.Análise econômica.....	34
6. CONCLUSÃO.....	41
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	43
ANEXO A- PARÂMETROS DA EDIFICAÇÃO REFERÊNCIA.....	45
ANEXO B- TARIFAS EM BRASÍLIA-DF, RECIFE-PE, RIO DE JANEIRO-RJ, SANTA MARIA-RS E SÃO PAULO-SP.....	47

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1- Diagrama de um sistema de climatização simples.....	13
Figura 2.2- Diagrama de um sistema de climatização dedicado.....	13
Figura 2.3. Representação do sistema de desumidificação por roda dessecante.....	16
Figura 2.4. Representação do ciclo do dessecante.....	18
Figura 2.5- Economia total (RC) e elétrica (RE) do sistema com desumidificador em relação a um sistema tradicional.....	20
Figura 2.6- Diagrama do sistema de desumidificação em um sistema de climatização dedicado.....	20
Figura 2.7- Energia consumida pelos sistemas sem desumidificador (CD) e com desumidificador (DD) com uma vazão mássica de 0,833 kg/s.....	21
Figura 2.8- Energia consumida pelos sistemas sem desumidificador (CD) e com desumidificador (DD) com uma vazão mássica de 6,667 kg/s.....	22
Figura 2.9- Diagrama do sistema com dois chillers e um desumidificador utilizando o ar externo como regenerador.....	22
Figura 3.1- Modelo virtual do edifício referência.....	23
Figura 4.1- Típica tela do programa Energy Plus 4.0.....	27
Figura 5.1- Redução porcentual do consumo energético da edificação por cidade.....	33
Figura 5.2- Redução porcentual do consumo energético do sistema de condicionamento de ar por cidade.....	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1- Características do ambiente climatizado (MAZZEI et al, 2001).....	19
Tabela 3.1- Características de população e energia de um prédio comercial referência (ABNT, 2008).....	24
Tabela 5.1- Potência do regenerador do desumidificador e vazão nominal do ar em cada andar intermediário.....	29
Tabela 5.2- Energia elétrica gasta na edificação de Brasília-DF.....	30
Tabela 5.3- Energia elétrica gasta na edificação de Recife-PE.....	30
Tabela 5.4- Energia elétrica gasta na edificação de Rio de Janeiro-RJ.....	31
Tabela 5.5- Energia elétrica gasta na edificação de Santa Maria-RS.....	31
Tabela 5.6- Energia elétrica gasta na edificação de São Paulo-SP.....	32
Tabela 5.7- Tarifas cobradas para a edificação em Brasília-DF.....	36
Tabela 5.8- Tarifas cobradas para a edificação em Recife-PE.....	36
Tabela 5.9- Tarifas cobradas para a edificação em Rio de Janeiro-RJ.....	37
Tabela 5.10- Tarifas cobradas para a edificação em Santa Maria-RS.....	37
Tabela 5.11- Tarifas cobradas para a edificação em São Paulo-SP	38
Tabela 5.12- Economia anual com o uso do sistema de desumidificação.....	38
Tabela 5.13- Custos de sistema de desumidificação por cidade.....	40
Tabela 5.14- Tempo de retorno do sistema de desumidificação por cidade.....	40
Tabela A.1- Transmitância máxima (U) e composição de tetos, paredes e pisos (ASHRAE 90.1- 2004).....	43

Tabela A.2- Condutividade térmica dos materiais.....	43
Tabela A.3 – Espessura dos materiais para teto, paredes e piso.....	43
Tabela A.4- Características das janelas (ASHRAE 90-1-2004).....	43
Tabela A.5- Transmitância de cada material utilizada no programa Energy Plus.....	44
Tabela B.1- Tarifação horo-sazonal Azul.....	45
Tabela B.2- Tarifação horo-sazonal Verde.....	45

LISTAS DE SÍMBOLOS

P_{consumo}	(R\$)	Tarifa de consumo
P_{demanda}	(R\$)	Tarifa de demanda
$P_{\text{ultrapasagem}}$	(R\$)	Tarifa de ultrapassagem
P_{total}	(R\$)	Tarifa total
TCP	(R\$/kWh)	Tarifa de consumo de ponta
CMP	(kWh)	Consumo medido na ponta
TCFP	(R\$/kWh)	Tarifa de consumo fora de ponta
CMFP	(kWh)	Consumo medido fora de ponta
TD	(R\$/kW)	Tarifa de demanda
DC	(kW)	Demanda contratada
TU	(R\$/kW)	Tarifa de ultrapassagem
DM	(kW)	Demanda medida
TDP	(R\$/kW)	Tarifa de demanda na ponta
DCP	(kW)	Demanda contratada na ponta
TDFP	(R\$/kW)	Tarifa de demanda fora da ponta
DCFP	(kW)	Demanda contratada fora da ponta
TUP	(R\$/kW)	Tarifa de ultrapassagem na ponta
DMP	(kW)	Demanda medida na ponta
TUFP	(R\$/kW)	Tarifa de ultrapassagem fora da ponta
DMFP (kW)		Demanda medida fora da ponta

RESUMO

Conforto térmico é um assunto que desperta interesse na humanidade desde o seu domínio mundial. Uma das formas de atingir esse conforto é através da climatização de ambientes. Entretanto existe um grande impasse entre o condicionamento de ar e o consumo de energia. No Brasil, as edificações são responsáveis por 42% de todo o consumo de energia elétrica, dos quais 11% são apenas no setor comercial. Desses 11%, o condicionamento de ar é responsável por 48% do consumo energético.

Uma solução para esse alto consumo, já testado em campos militares e no setor industrial, é a aplicação de um desumidificador acoplado a um sistema de climatização. No presente trabalho, foi analisado o impacto energético e econômico de um desumidificador por roda dessecante em um sistema de ar condicionado aplicado em edificações comerciais para cinco cidades brasileiras: Brasília-DF, Recife-PE, Rio de Janeiro-RJ, Santa Maria-RS e São Paulo-SP.

Para a caracterização da envoltória e das condições dos ambientes climatizados foi utilizada as normas ASHRAE 90.1 e NBR-16401 e como ferramenta de simulação, o software Energy Plus®.

Percebeu-se que em todas as cidades ocorreram reduções energéticas. Para as cidades mais secas como São Paulo e Santa Maria, essas reduções foram de aproximadamente 3% da energia total consumida pelo prédio, enquanto que para as cidades mais litorâneas como Rio de Janeiro e Recife, essas reduções foram de 6% e 8%, respectivamente. Para Brasília, devido ao seu inverno não sofrer secas

prolongadas como nas regiões Sul e Sudeste, sua redução energética porcentual foi de 5%.

ABSTRACT

Thermal comfort is an issue that causes interest in humanity since its world dominance. One way of achieving this comfort is through cooling. However there are some discussions about the issues between the air conditioning and energyconsumption. In Brazil, buildings are responsible for 42% of all energyconsumption where 11% are only from the commercial sector. Among these 11%, air conditioning is responsible for 48% of energy consumption.

One solution to this high consumption, already proven in military camps and in the industrial sector is the application of a dehumidifier for outdoor air cooling system. In this study, we analyzed the energy and economic impact ia a dehumidifier using a desiccant wheel for air conditioning system used in commercial buildings in five Brazilian cities: Brasília-DF, Recife-PE, Rio de Janeiro-RJ, Santa Maria-RS and São Paulo-SP.

In order to characterize the envelope and air conditioned conditions, ASHRAE 90.1 and NBR-16401 standards were used and Energy Plus® was used as simulation tool.

It was noticed that in all cities occurred reductions of energy. For cities with lower levels of humidity like Sao Paulo and Santa Maria, these reductions were approximately 3% of total energy consumed by the building, while cities closers to the sea like Rio de Janeiro and Recife, these reductions were 6% and 8%, respectively. In Brasilia, due to its winter conditions have no prolonging dry climate as cities of the south and southeast, its energy reduction percentage was 5%.

1- INTRODUÇÃO

O homem é considerado um ser diferente dos outros que habitam a Terra devido a sua capacidade de pensar e, através do pensamento, modificar o mundo ao seu redor para a sua sobrevivência. A humanidade, desde o seu domínio mundial, tem buscado formas de facilitar a sua vida e torná-la mais confortável. É dentro desse contexto que o homem, há séculos, busca formas de tornar o seu ambiente mais agradável. Uma das formas de avaliar esta condição é pela avaliação do conforto térmico.

As áreas de refrigeração e climatização estão relacionadas, embora cada uma tenha seu campo específico de atuação. A aplicação mais disseminada da refrigeração é, sem dúvida nenhuma, a climatização, apesar da grande importância encontrada no setor da refrigeração industrial. À exemplo da refrigeração, a climatização encontra aplicações outras distintas do simples resfriamento. Climatização de conforto é definida como o processo de condicionamento de ar objetivando o controle de sua temperatura, umidade, pureza e distribuição no sentido de proporcionar conforto aos ocupantes do recinto condicionado. Assim, condicionamento de ar inclui processos, tais como, aquecimento, regulação de velocidade e qualidade do ar (STOECKER, 1985).

Os sistemas de climatização, entretanto, tem uma área muito abrangente de atuação. Muito além dos sistemas de climatização residenciais e veiculares

amplamente conhecidos devido a sua grande representatividade no mercado, o condicionamento de ar também afeta o setor industrial e comercial. Alguns processos industriais exigem: aquecimento e resfriamento utilizados, por exemplo, no teste de motores em diferentes tipos de climas sem precisar se deslocar; controle de umidade para o caso de impressões; controle de qualidade do ar para processos de alta precisão ou para indústria de embalagem de alimentos (STOECKER, 1985). Para o caso do setor comercial, o fato de grandes quantidades de pessoas ficarem em ambientes fechados durante boa parte do dia, exige, além de um controle de umidade e temperatura para atingir o conforto térmico dos trabalhadores, um bom controle na qualidade do ar.

Sistemas de climatização, apesar de todas as suas qualidades, tem como grande problema o seu alto consumo de energia. No Brasil, as edificações são responsáveis por 42% de todo o consumo de energia elétrica, dos quais 23% no setor residencial, 11% no setor comercial e 8% no setor público. No caso dos prédios comerciais, o condicionamento de ar é responsável por 48% do consumo energético (MME, 2007). Faz-se necessário, então, estudar formas de diminuir esse alto custo energético que os sistemas de climatização impõem.

Não é de hoje, entretanto, que o mundo enfrenta o problema do alto consumo energético. Devido à crise do petróleo em 1970, estudos para melhorar o consumo de energia em sistemas de climatização foram feitos. Testes com diferentes fluidos refrigerantes, bombas e compressores mais eficientes e diferentes técnicas para a diminuição da energia consumida apareceram. O resultado foram máquinas e sistemas mais complexos e mais eficientes.

Em 2001, devido à alta demanda de energia, ao baixo investimento no setor energético e à falta de chuvas no país, o Brasil enfrentou uma das maiores crises energéticas de sua história. O governo da época, com o objetivo de diminuir o consumo energético brasileiro, adotou uma política de racionalização no consumo de eletricidade. Através de um sistema de metas em que a redução do consumo gerava bônus ao consumidor e o não cumprimento das metas gerava punições, o governo conseguiu obter o resultado desejado. Essas medidas forçadas fizeram com que a população se conscientizasse da importância do consumo energético (PELLEGRINI, 2009).

Entretanto, o risco de um novo racionamento ainda existe apesar da garantia do governo na suficiência energética até 2016. A falta de investimentos no setor, o atraso na liberação de licenças ambientais, o problema do abastecimento de gás natural para termelétricas são alguns dos problemas enfrentados pelo governo para aumentar a capacidade elétrica no país. De maneira geral, a questão da geração de energia está ligada ao crescimento econômico e novas formas de diminuir o consumo energético são sempre bem vindas (PELLEGRINI, 2009).

Sistemas desumidificadores eram utilizados nos Estados Unidos em indústrias e campos militares com bons resultados. Hoje em dia, tenta-se estender essa tecnologia a sistemas residenciais e comerciais como forma de melhorar o consumo de energia dos sistemas de ar condicionado. Dentro desse contexto, o objetivo desse trabalho é analisar o impacto energético de um sistema de desumidificação em uma climatização dimensionado para uma edificação comercial de referência.

2- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os sistemas de climatização são projetados para controlar a temperatura e a umidade de um ou mais ambientes. O calor sensível e latente emitido pelos ocupantes dos locais condicionados, a temperatura e a umidade da cidade onde o sistema está localizado, o calor emitido pela iluminação e pelos equipamentos e as infiltrações pelas portas e janelas são alguns tipos de cargas térmicas imposta aos ambientes climatizados.

Nesse trabalho, entretanto, não serão apresentados os métodos de cálculo de carga térmica e dimensionamento do sistema, visto que isto é feito por um programa de simulação (Energy Plus®) que será apresentado no capítulo 4. Este capítulo, então, será dedicado apenas a definição de sistemas de climatização, sistemas de desumidificação e um sistema desumidificador por roda dessecante. Por fim, alguns resultados de sistemas de desumidificação por roda dessecante serão apresentados.

2.1- DEFINIÇÃO E APLICAÇÃO DO SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO

Os sistemas de refrigeração são cada vez mais usados na sociedade contemporânea devido as suas necessidades em processos industriais, condicionamento de alimentos, conforto e outros diversos motivos. Sua aplicação mais disseminada é com certeza a climatização. Muitas vezes confundido, os sistemas de climatização não são apenas responsáveis pelo controle das condições termo-hidrométricas do ambiente. Condicionamento de ar para aplicação em conforto

térmico é definido como o processo de tratamento de ar objetivando o controle de sua temperatura, umidade, pureza e distribuição no sentido de proporcionar conforto aos ocupantes do recinto condicionado (STOECKER, 1985). Portanto, além de resfriamento, a desumidificação ou o aquecimento do ar fornecido ao ambiente também são formas de atuações dos sistemas de climatização.

Existem diversos tipos de sistemas de climatização. Eles podem ser simples utilizando vazão de ar constante e sistema de compressão de vapor a ar. Entretanto, esse tipo de sistema tem uma limitação potencial. Sistemas de grande porte, normalmente utilizam sistemas de compressão de vapor resfriados à água, utilizando tubulações de água gelada, resfriadores e torres de resfriamento. Locais onde existem grandes diferenças entre picos e vales da ocupação dos ambientes durante o dia, normalmente precisam de um controle na vazão de ar para não resfriar demais nos momentos em que a ocupação está muito baixa. Sistemas de climatização podem ser ainda de duto simples ou com uma rede de dutos, dependendo da planta do local.

A maioria dos sistemas de climatização é projetada para que o ar de mistura passe pela serpentina de refrigeração (Figura 2.1). Outro tipo de sistema encontrado é do tipo dedicado (Figura 2.2) em que a mistura entre o ar de renovação e o ar de retorno acontece depois que o ar externo de renovação passa pela serpentina.

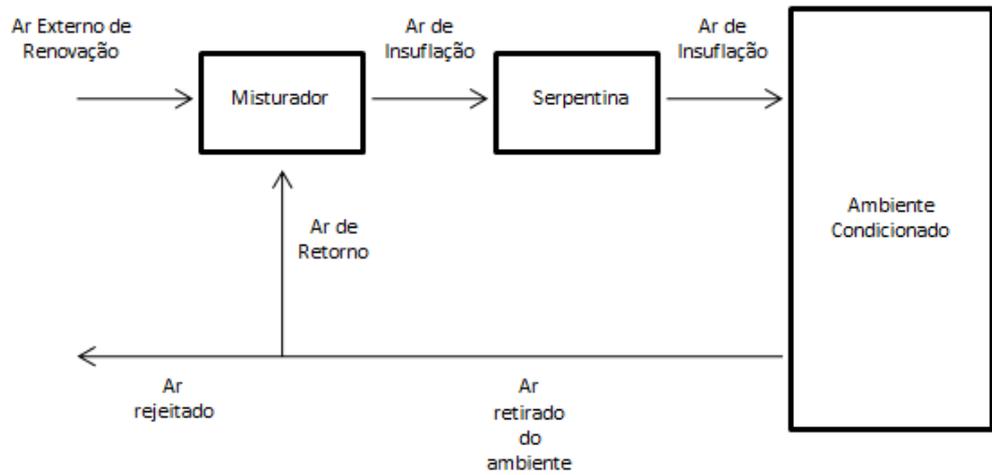


Figura 2.1- Diagrama de um sistema de climatização simples

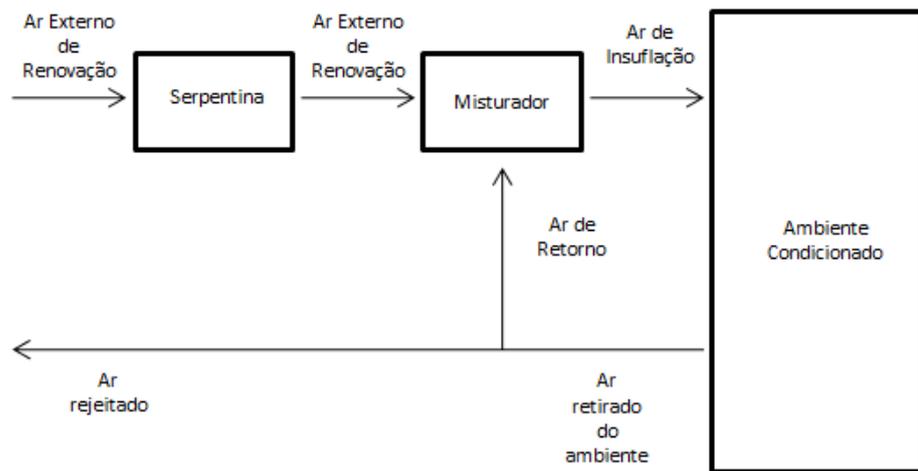


Figura 2.2- Diagrama de um sistema de climatização dedicado

2.2- SISTEMAS DE DESUMIDIFICAÇÃO

Todos os sistemas de ar condicionado têm como característica reduzir a umidade do ar que é retirado do ambiente exterior. Isto ocorre devido ao fato da

temperatura de evaporação ser menor do que a temperatura de condensação do vapor d'água do ar insuflado, condensando a água no processo de resfriamento.

Entretanto a condensação do vapor d'água do ar representa uma quantidade de calor significativa a ser retirada pelo sistema, visto que um maior teor de umidade aumenta a entalpia do ar na entrada do evaporador do sistema. Uma solução para esse problema é justamente reduzir o teor de umidade do ar antes que ele entre no sistema de condicionamento de ar, diminuindo assim a sua entalpia de entrada. Obviamente, essa solução só será viável se a energia gasta para retirar a umidade seja suficiente para compensar o sistema de ar condicionado sem o desumidificador.

Uma forma de desumidificar o ar sem gastar energia é utilizar materiais que possuam como sua propriedade a absorção de água. A maioria dos materiais, por exemplo, atraem a umidade criando uma área na superfície de baixa pressão de vapor. A diferença dos materiais comuns e os materiais utilizados como dessecante nos desumidificadores é justamente a quantidade de umidade que eles podem retirar (MUNTERS, 2002).

Quando o dessecante se torna úmido e quente, ou seja, após atrair a umidade do ar, sua superfície fica com alta pressão de vapor, repassando a umidade para o ar ao seu redor que deve ter pressão menor de vapor. É através desse ciclo de atração e repulsão de umidade que os desumidificadores funcionam.

Os dessecantes são divididos em dois grupos: absorventes ou adsorventes. Os dessecantes adsorventes são normalmente sólidos e captam a umidade de maneira

similar de uma esponja, ou seja, absorvem o vapor d'água do ar devido às características físicas do material. No caso dos dessecantes absorventes, estes são normalmente líquidos ou sólidos que se tornam líquidos em contato com a água e têm como característica sofrer mudanças químicas ou físicas devido à absorção do vapor d'água do ar (MUNTERS, 2002).

Existem diversos tipos de desumidificadores, porém será estudado o sistema desumidificador por roda dessecante, por ser simples e representar uma boa parcela do mercado.

2.3- ESTRUTURA DO DESUMIDIFICADOR POR RODA DESSECANTE

O desumidificador é constituído por uma roda de material semi-cerâmico, onde o dessecante é colocado. Na roda, existe uma divisão que separa a entrada de ar externo e a saída de ar de regeneração que pode ser ar externo ou ar rejeitado pelo sistema de climatização. Um motor gira essa roda lentamente fazendo com que a área exposta para cada fluxo de ar esteja em constante mudança. A figura 2.3 mostra uma representação desse sistema.

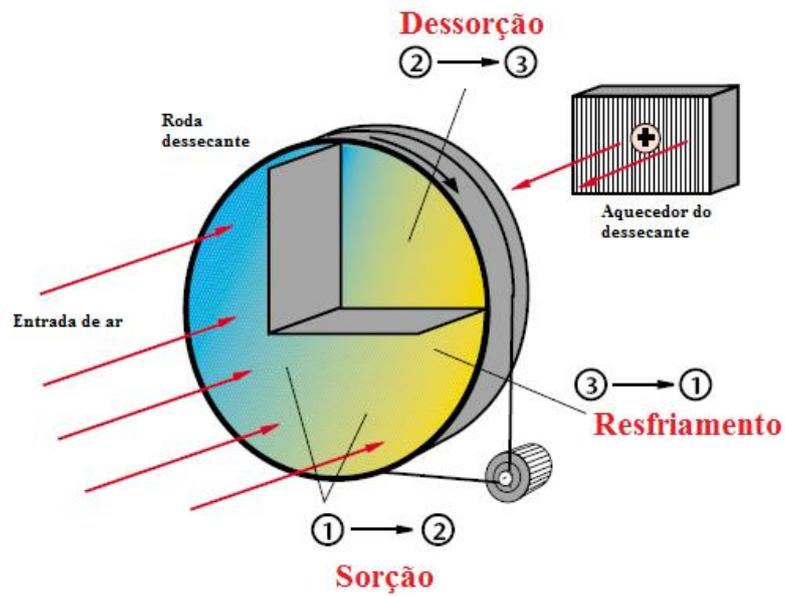


Figura 2.3. Representação do sistema de desumidificação por roda dessecante (MUNTERS, 2002).

A grande vantagem desse tipo de desumidificador é o seu baixo peso e a sua superfície porosa que admite diferentes tipos de dessecantes (líquido ou sólido). Com essas características pode-se projetar uma roda específica para cada sistema de condicionamento de ar, utilizando-se um desumidificador com boa eficiência (MUNTERS, 2002).

A principal desvantagem desse sistema é o seu alto custo inicial para a manufatura da roda dessecante.

2.4- FUNCIONAMENTO DO SISTEMA

O ar externo passa pela roda e o dessecante retira a umidade do ar. À medida que isso acontece, o dessecante vai se aproximando da sua saturação, levando a um aumento na pressão do vapor, mecanismo chamado de sorção.

Quando a roda dessecante gira, a área saturada entra em contato com o fluxo de ar vindo do sistema de condicionado. Esse fluxo de ar é pré-aquecido através de um trocador de calor que recebe o fluxo de ar quente rejeitado pelo sistema que é aquecido pela roda dessecante, tem como característica a baixa umidade e, quando esse fluxo de ar entra em contato com a roda, faz com que o vapor d'água do dessecante seja retirado, aumentando a sua pressão e temperatura, mecanismo chamado de dessorção.

A área da roda com baixa quantidade de vapor d'água volta ao estágio inicial onde recebe o fluxo de ar externo, onde uma pequena parcela de ar retira o calor do dessecante para que ele consiga sorver mais umidade, processo chamado de resfriamento.

A figura 2.4 mostra a variação da pressão, temperatura e umidade do vapor durante todo o processo da roda dessecante.

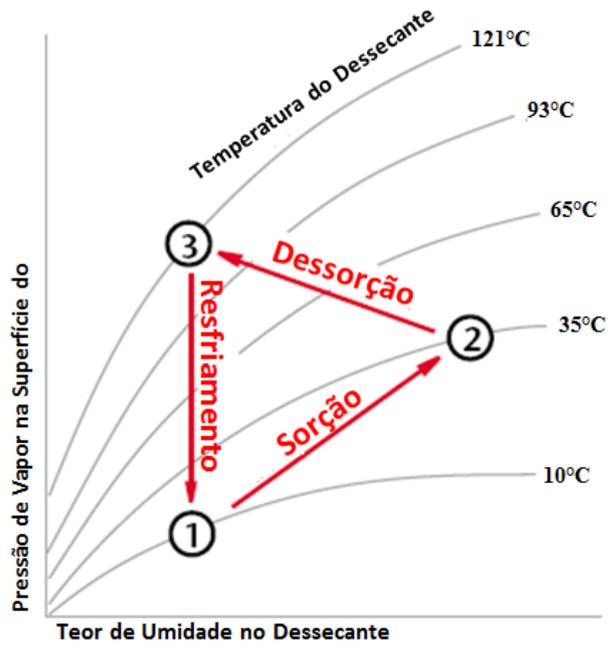


Figura 2.4. Representação do ciclo do dessecante (MUNTERS, 2002).

2.5- APLICAÇÕES DE SISTEMA DE CONDICIONAMENTO DE AR E DESUMIDIFICADOR POR RODA DESSECANTE

MAZZEI et al (2001) realizaram um estudo em Nápoles- Itália que analisou um sistema de climatização de duto único, uma zona climatizada, no verão das cidades de Milão, Genova, Roma, Foggia, Crotone e Trapani; com uma roda dessecante de silicato metálico com temperatura de regeneração entre 40 a 80°C (aquecimento do ar de regeneração feita através da queima de gás), espessura de 200mm e velocidade angular de 0,5 rpm e envoltória com as características mostradas na tabela 2.1, climatizada a temperatura de 25°C e umidade relativa entre 40 e 55%.

Tabela 2.1- Características do ambiente climatizado (MAZZEI et al, 2001).

Carga térmica por iluminação e equipamentos	9 a 13W/m ²
Nível de ocupação	0,25 pessoas/m ²
Vazão de renovação	6,5 l/(s pessoa)
Infiltração	0,3 Volume do ambiente/hora
Área condicionada	400m ²
Altura do pé direito	4m

Os resultados desse estudo, apresentados na figura 2.5, mostram que a redução no consumo de energia elétrica total (RC) do prédio foi entre 20-40% com o uso do sistema de desumidificação. Esse resultado positivo é ainda ampliado se analisado apenas o consumo de energia elétrica (RE). Constatou-se que as reduções do consumo da energia elétrica eram de 80-90% se comparado com um sistema tradicional.

Os estudos apresentaram apenas análises tarifárias nas cidades de Milão e Roma. Aplicando as tarifas italianas ao consumo energético do sistema, chegou-se ao tempo de retorno de 5 anos para Milão e 7 anos para Roma.

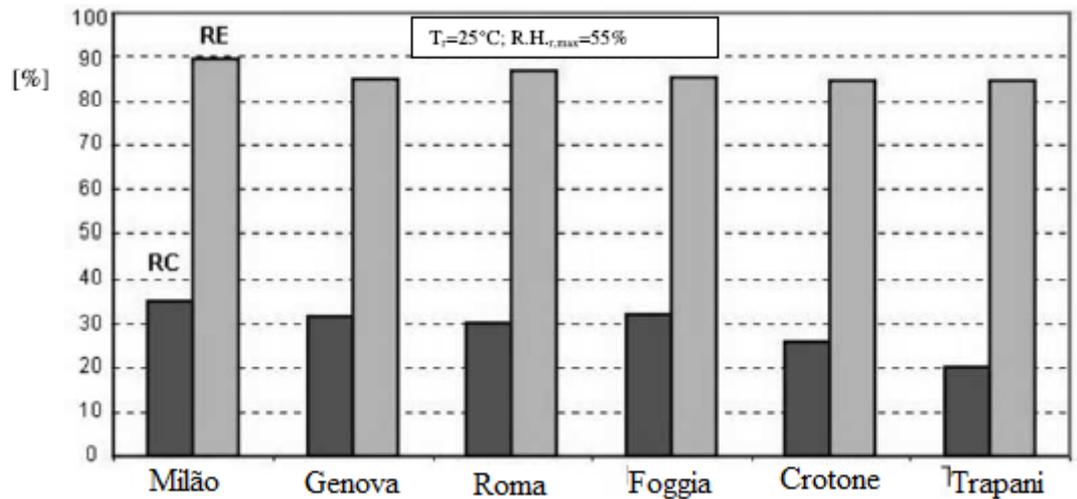


Figura 2.5- Economia total (RC) e elétrica (RE) do sistema com desumidificador em relação a um sistema tradicional (MAZZEI et al, 2001).

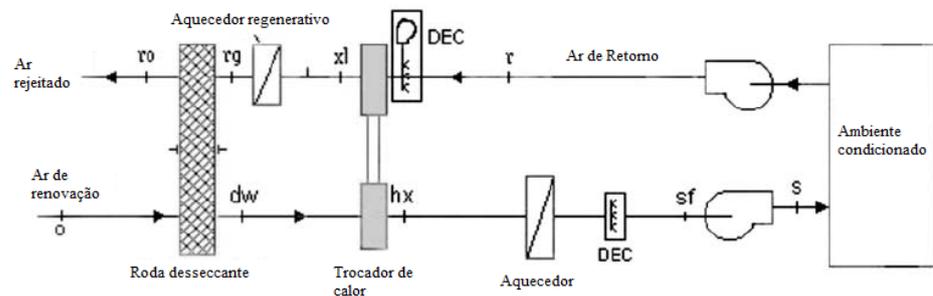


Figura 2.6- Diagrama do sistema de desumidificação em um sistema de climatização dedicado (MAZZEI et al, 2001).

LIU et al, 2005, realizaram estudo que mostra alguns resultados interessantes sobre desumidificadores por roda dessecante atuando em sistemas de climatização dedicado. O sistema de climatização estudado era composto por dois “chillers”, onde um deles era responsável apenas pela retirada do calor sensível do ambiente. Nesse caso, o desumidificador era colocado no outro “chiller”, que retirava calor latente e sensível do sistema (Figura 2.9). A roda dessecante era feita de sílica gel, tinha 1,525 metros de diâmetro, espessura de 0,2 metros, tinha velocidade angular de 0,4 rpm e

utilizava o ar externo como regenerador. O ar externo estava a 35°C e umidade absoluta igual a 18g de vapor d'água/kg de ar seco. O ambiente deveria estar condicionado a 26° e umidade absoluta igual a 11,6 g de vapor d'água/kg de ar seco. O calor sensível era de 200kW e o ambiente ainda produzia 0,004kg/s de umidade. A regeneração do desumidificador poderia ser feita por 3 fontes: eletricidade, gás ou solar (LIU et al- 2005). Com duas vazões de ar diferentes e fixas equivalentes a 0,833 kg/s e 6,6667kg/s obteve-se os seguintes resultados:

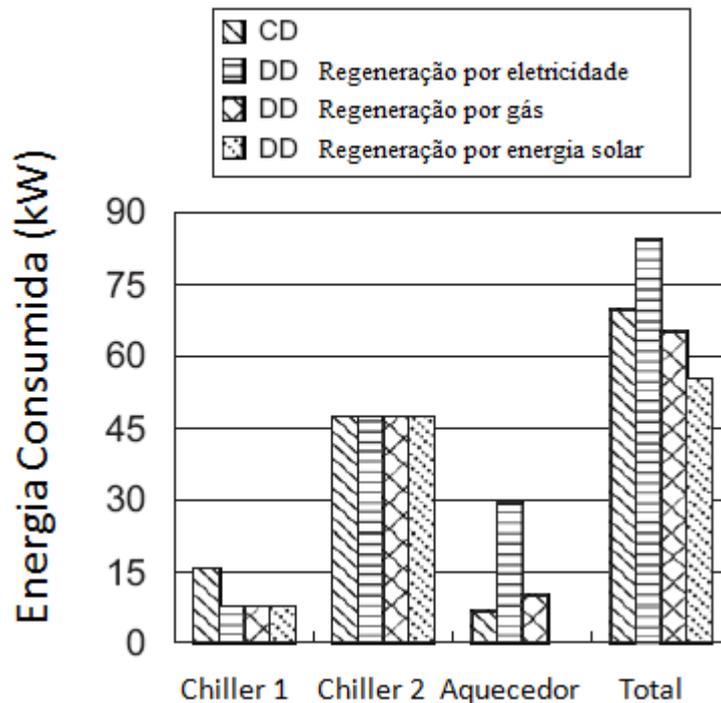


Figura 2.7- Energia consumida pelos sistemas sem desumidificador (CD) e com desumidificador (DD) com uma vazão mássica de 0,833 kg/s (LIU et al, 2005).

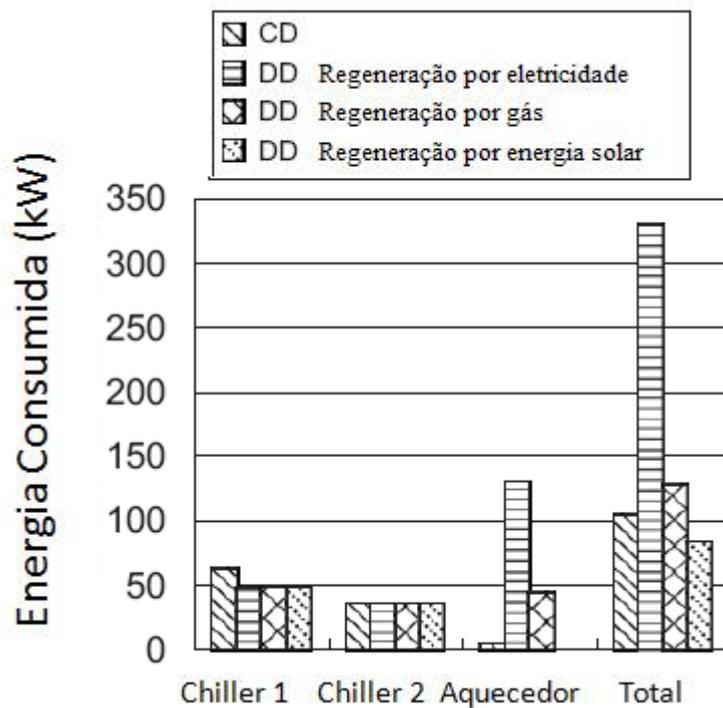


Figura 2.8- Energia consumida pelos sistemas sem desumidificador (CD) e com desumidificador (DD) com uma vazão mássica de 6,667 kg/s (LIUet al, 2005).

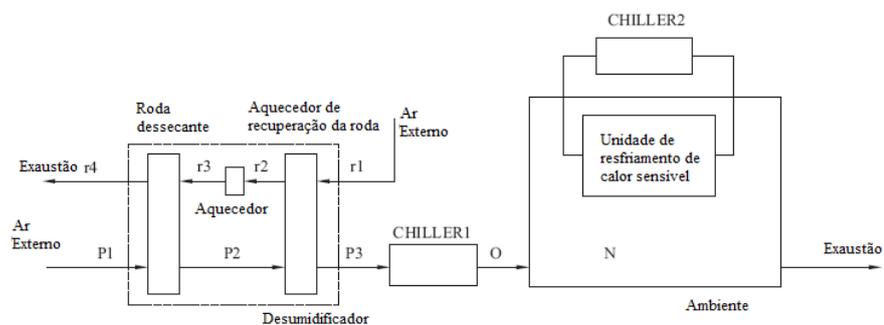


Figura 2.9- Diagrama do sistema com dois chillers e um desumidificador utilizando o ar externo como regenerador (LIUet al, 2005).

Conclui-se que dependendo do tipo de energia do regenerador que é utilizado, o sistema com desumidificador consome mais energia do que um sistema de climatização simples (LIUet al, 2005).

3- DESCRIÇÃO DO SISTEMA

Para definir um sistema de climatização, precisa-se, anteriormente, conhecer a envoltória do ambiente a ser climatizado. Muitas características do prédio comercial podem ser definidas por meio de normas como ASHRAE 90.1- 2004 e NBR16401. Algumas características são definidas como padrão para aplicações comerciais como as suas dimensões.

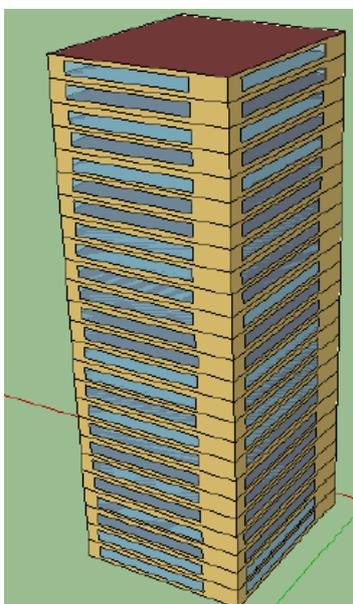


Figura 3.1- Modelo virtual do edifício referencial.

O prédio analisado tem 35 metros de comprimento por 30 metros de largura, pé direito de 3,5 metros e 25 andares. A construção é de estrutura metálica e com piso de viga de aço. A densidade de pessoas, as cargas térmicas por iluminação, equipamentos e pessoas são definidas pela norma NBR 16401 e são mostradas na tabela 3.1. A ocupação, a iluminação e os equipamentos foram considerados invariantes entre as 8 e as 22 horas.

Tabela 3.1- Características de população e energia de um prédio comercial referência (ABNT,2008).

Densidade de pessoas (pessoa/m²)	0,14
Densidade de carga de equipamentos (W/m²)	10,7
Densidade de carga de iluminação (W/m²)	11
Calor liberado pelas pessoas (W)	130

Verificando a norma ASHRAE 90.1-2004 encontra-se a transmitância máxima para tetos, paredes e pisos de uma edificação comercial referência para um prédio de estrutura metálica e piso de viga de aço. Junto à norma NBR16401 encontram-se os materiais que os compõe. Esses valores são mostrados na tabela A.1 do anexo A. Sabendo a condutividade térmica dos materiais que compõem a construção (tabela A.2), define-se a espessura de cada camada. A espessura de cada material é mostrada na tabela A.3.O mesmo pode ser feito para as janelas e os valores encontrados são mostrados na tabela A.4.

Como os valores de referência são máximos, o cálculo da espessura pode ser feita de maneira iterativa para tentar maximizar a transmitância. Dessa forma, com a espessura calculada e as condutividades térmicas, a transmitância encontrada para cada elemento é mostrada na tabela A.5.

O condicionamento do ar utilizado pelo prédio é feito por um sistema dedicado (figura 2.2) com resfriamento a ar. A vazão de ar insuflada no ambiente é controlada por um sistema de volume de ar variável. O sistema possui ainda, um tipo de desumidificador por roda dessecante que utiliza o ar rejeitado pelo sistema para a regeneração.

Os desumidificadores apresentados nesse sistema de condicionamento de ar garantem que a umidade absoluta do ar na saída da roda dessecante seja de 0,01 kg de água por kg de ar seco. O regenerador do desumidificador nada mais é que um trocador de calor do tipo contra corrente que utiliza energia elétrica para aquecer o ar rejeitado e resfriar o ar de renovação.

4- FERRAMENTA DE SIMULAÇÃO- ENERGY PLUS 4.0

Para dimensionar um sistema de ar condicionado, é necessário calcular todos os tipos de carga térmica que o ambiente climatizado recebe. O calor latente e sensível emitido pelas pessoas, a carga térmica sensível emitida pelos equipamentos e pela iluminação, a radiação do sol que passa através dos vidros e das paredes e as infiltrações pelas frestas de janelas e portas são algumas das cargas térmicas que devem ser calculadas antes de dimensionar o sistema de climatização.

Além desses cálculos, deve ser levada em conta a renovação de ar, responsável por boa parcela da energia consumida pelo sistema, e o dimensionamento dos ventiladores que são responsáveis pela movimentação do ar pela rede de dutos. A própria rede de dutos tem uma grande parcela de responsabilidade, pois deve garantir a menor perda de carga possível e o balanceamento do sistema que garante a mesma pressão na saída dos dutos.

Todos esses cálculos envolvidos no dimensionamento do sistema podem ser considerados simples, mas muito demorados e exaustivos para a aplicação de um sistema de climatização em um edifício comercial de referência. É por esse motivo que um programa de simulação conhecido como Energy Plus® será utilizado nesse trabalho.

O Energy Plus® 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. Além de ser disponível gratuitamente, ele tem diversas vantagens como:

- a) Intervalos de tempos definidos pelo usuário;
- b) Relatórios padrões reajustáveis pelo programador;
- c) Possui grande biblioteca com diversos modelos comerciais;
- d) Sistemas de condicionamento de ar configuráveis;
- e) Possui compatibilidade com outros programas, tais como o Google Sketch Up®, que o auxilia no desenho da planta das edificações.

A grande desvantagem do Energy Plus® é a sua interface complexa e de difícil entendimento. Como podemos observar na figura 4.1, existem diversas guias que possuem diferentes entradas de dados. Essas entradas de dados, muitas vezes são ligadas a outras entradas de outras guias, o que torna difícil encontrar erros de programação e exige muita experiência no programa para utilizá-lo com fluidez.

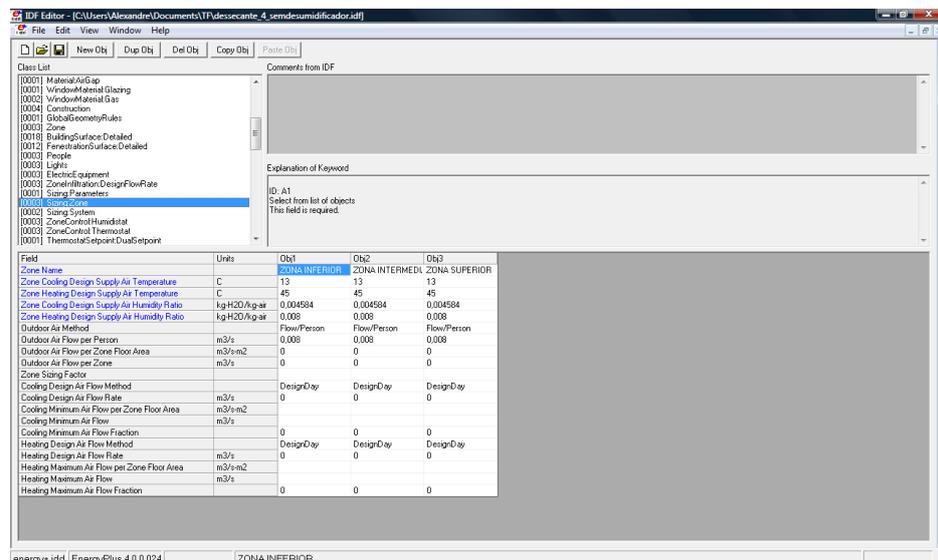


Figura 4.1- Típica tela do programa Energy Plus 4.0

5- RESULTADOS

O sistema analisado foi simulado de duas formas. A primeira simulação continha o sistema com o desumidificador ligado das 8 horas até às 22 horas, simulando um período de trabalho de um escritório comercial. A segunda simulação continha o mesmo sistema de climatização ligado no mesmo período, mas nesse caso com o sistema de desumidificação e de regeneração desligados. Estas simulações foram feitas para avaliar o nível de redução de consumo de energia que seria obtido com o uso do sistema de desumidificação.

Vale ressaltar que a edificação foi simplificada para um prédio de apenas três andares, onde o andar intermediário representa todos os andares contidos entre o andar térreo e o andar superior. A grande diferença entre todos os andares intermediários e os andares superior e térreo é que o intermediário troca calor com outros andares através do teto e do piso, enquanto o andar superior troca calor com o ambiente externo através do teto e o andar inferior troca calor com a terra através do piso. Obviamente, isso só é possível se considerarmos também que todos os andares intermediários têm a mesma ocupação, iluminação, equipamentos e infiltrações.

5.1- CONSUMO ENERGÉTICO

Os modelos propostos foram simulados em um período de um ano em cinco cidades diferentes do Brasil: Brasília-DF, Recife-PE, Rio de Janeiro-RJ, Santa Maria-RS e São Paulo-SP. Essas cidades foram escolhidas devido à disponibilidade de seus dados para a simulação, além de terem diferentes características geográficas e

climáticas. É devido a essas diferenças climáticas que a potência dos regeneradores dos desumidificadores e a vazão de ar nominal são diferentes nas 5 cidades e são mostradas na tabela 5.1.

Tabela 5.1- Potência do regenerador do desumidificador e vazão nominal do ar em cada andar intermediário.

Cidades	Potência do regenerador do desumidificador(W)	Vazão nominal de ar (m³/s)
Brasília-DF	58.437,48	0,64
Recife-PE	65.510,43	0,61
Rio de Janeiro-RJ	62.180,70	0,60
Santa Maria-RS	62.100,61	0,60
São Paulo-SP	57.903,83	0,63

Os resultados em relação ao consumo energético são divididos em duas partes para facilitar a análise dos resultados. A primeira parte é em relação ao consumo total pela edificação, ou seja, soma-se o gasto energético do sistema de climatização ao gasto dos equipamentos e da iluminação. A segunda parte leva em conta apenas o consumo do sistema de condicionamento de ar. Os resultados das cinco cidades podem ser vistos nas tabelas 5.2, 5.3, 5.4, 5.5 e 5.6.

Tabela 5.2- Energia elétrica gasta na edificação de Brasília-DF

Energia elétrica gasta na edificação Brasília-DF			
	Sem desumidificador (kWh)	Com desumidificador (kWh)	Redução porcentual
Janeiro	342.867	316.601	8%
Fevereiro	312.345	290.166	7%
Março	345.406	316.110	8%
Abril	331.330	307.314	7%
Mai	330.588	322.535	2%
Junho	305.160	307.360	-1%
Julho	313.212	315.185	-1%
Agosto	322.768	318.665	1%
Setembro	324.232	316.211	2%
Outubro	341.001	320.759	6%
Novembro	328.885	308.026	6%
Dezembro	341.175	315.287	8%
Anual	3.938.969	3.754.219	5%

Tabela 5.3- Energia elétrica gasta na edificação de Recife-PE

Energia elétrica gasta na edificação Recife-PE			
	Semdesumidificador (kWh)	Com desumidificador (kWh)	Reduçãooporcentual
Janeiro	366.782	349.549	5%
Fevereiro	331.258	315.571	5%
Março	368.324	354.413	4%
Abril	354.866	337.716	5%
Mai	365.639	339.145	7%
Junho	352.573	311.504	12%
Julho	363.549	315.415	13%
Agosto	363.413	319.669	12%
Setembro	352.405	311.122	12%
Outubro	365.533	327.823	10%
Novembro	354.868	328.701	7%
Dezembro	366.811	348.549	5%
Anual	4.306.021	3.959.177	8%

Tabela 5.4- Energia elétrica gasta na edificação de Rio de Janeiro-RJ

Energia elétrica gasta na edificação			
Rio de Janeiro-RJ			
	Sem desumidificador (kWh)	Com desumidificador (kWh)	Redução porcentual
Janeiro	361.925	340.742	6%
Fevereiro	326.939	309.655	5%
Março	361.595	338.596	6%
Abril	347.432	320.176	8%
Mai	344.567	322.410	6%
Junho	319.116	312.503	2%
Julho	324.180	320.833	1%
Agosto	338.443	323.666	4%
Setembro	323.602	310.226	4%
Outubro	347.196	319.927	8%
Novembro	343.576	310.104	10%
Dezembro	361.270	328.205	9%
Anual	4.099.841	3.857.043	6%

Tabela 5.5- Energia elétrica gasta na edificação de Santa Maria-RS

Energia elétrica gasta na edificação			
Santa Maria-RS			
	Sem desumidificador (kWh)	Com desumidificador (kWh)	Redução porcentual
Janeiro	354.477	331.165	7%
Fevereiro	321.557	295.957	8%
Março	345.593	322.650	7%
Abril	312.658	305.312	2%
Mai	292.688	293.729	0%
Junho	280.295	276.632	1%
Julho	287.173	288.318	0%
Agosto	295.842	295.439	0%
Setembro	286.012	286.309	0%
Outubro	314.948	311.886	1%
Novembro	319.677	310.594	3%
Dezembro	349.143	328.457	6%
Anual	3.760.063	3.646.448	3%

Tabela 5.6- Energia elétrica gasta na edificação de São Paulo-SP

Energia elétrica gasta na edificação São Paulo			
	Sem desumidificador (kWh)	Com desumidificador (kWh)	Redução porcentual
Janeiro	346.958	319.236	8%
Fevereiro	316.123	289.161	9%
Março	345.936	323.500	6%
Abril	319.847	311.322	3%
Mai	309.918	313.201	-1%
Junho	287.973	292.434	-2%
Julho	295.842	300.005	-1%
Agosto	304.071	304.239	0%
Setembro	297.977	300.612	-1%
Outubro	315.085	313.932	0%
Novembro	314.457	309.028	2%
Dezembro	340.487	319.351	6%
Anual	3.794.674	3.696.021	3%

Analisando as tabelas 5.2 a 5.6, percebe-se que os resultados são coerentes: existe uma redução maior no consumo energético nos meses de verão, devido às altas temperaturas e umidades locais, clima propício para um melhor rendimento na aplicação do sistema de desumidificação. No caso de Recife, a maior redução no consumo energético se localiza nos meses de inverno, devido ao maior volume de chuva nessa época do ano que eleva a umidade do ar (ARAÚJO et al, 2001).

De maneira geral, os sistemas de desumidificação são responsáveis por reduções entre 3% a 8% do consumo energético da edificação. Podemos perceber, entretanto, que, em geral, existe um maior consumo de energia do sistema com desumidificador nos meses de inverno quando a umidade local é menor. Considerando, então, que o desumidificador não funciona nos meses secos, percebe-se reduções ainda maiores como mostrados na figura 5.1.

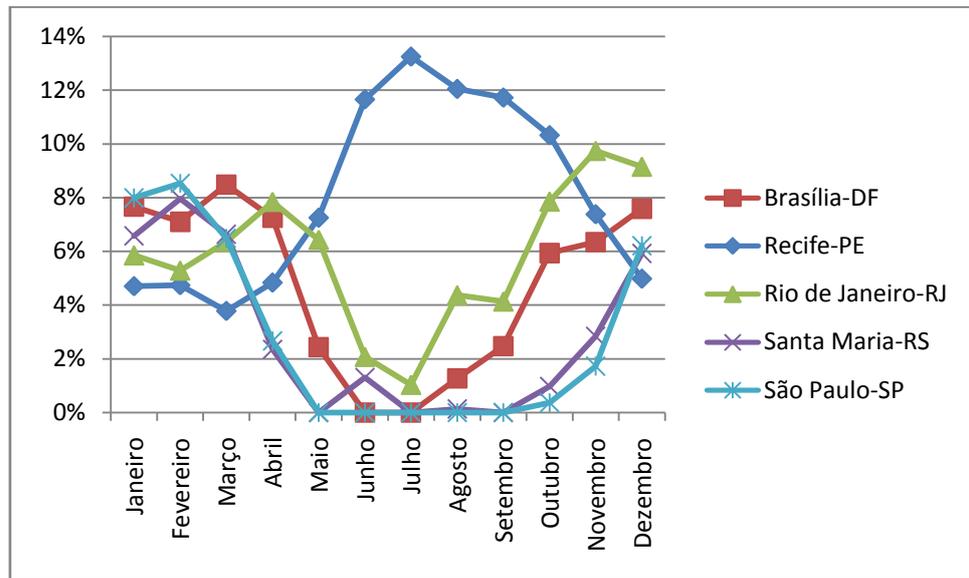


Figura 5.1- Redução porcentual do consumo energético da edificação por cidade.

Ao comparar os resultados obtidos desse novo sistema com desumidificador em relação ao consumo apenas do sistema de climatização, percebe-se uma redução bem acentuada como mostrado na figura 5.2. Para esse cenário, as reduções estão na faixa entre 16% a 29% do consumo energético do sistema de condicionamento do ar durante um ano.

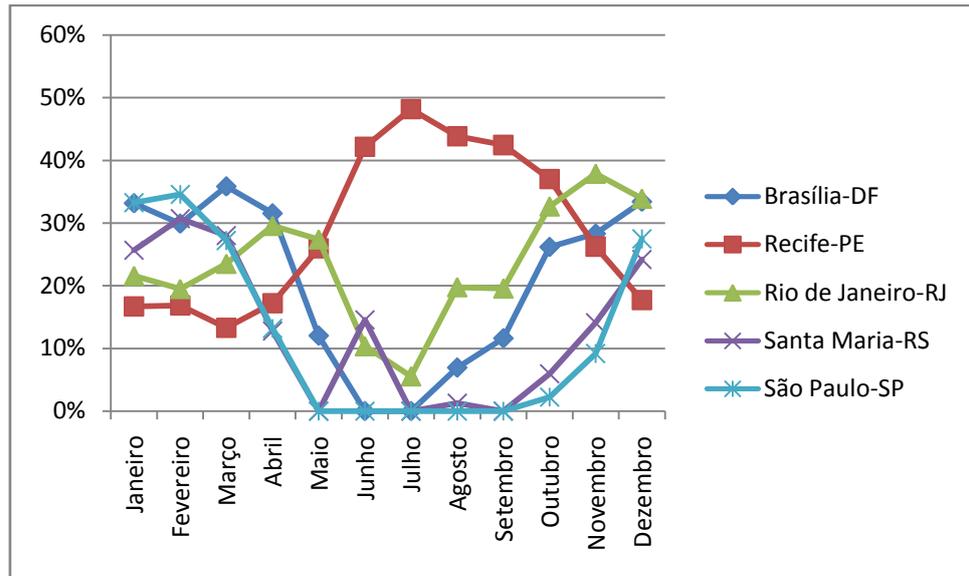


Figura 5.2- Redução percentual do consumo energético do sistema de condicionamento de ar por cidade.

5.2- ANÁLISE ECONÔMICA

Os métodos de cálculo de tarifação utilizados são baseados na tarifação horo-sazonal, ou seja, leva em conta o consumo energético nos horários com tarifas mais altas (tarifa na ponta) ou mais baixas (tarifa fora da ponta) e nos meses úmidos, compreendidos entre dezembro a abril e nos meses secos, compreendidos entre maio e novembro.

A tarifação horo-sazonal verde exige um contrato específico da concessionária no qual se pactua a demanda independente da hora do dia e pode ter dois valores de demandas para o período seco e para o período úmido. O cálculo da tarifa paga por essa modalidade tarifária é definida pelas equações 1, 2, 3 e 4, onde as tarifas dependem da época do ano (FIESP, 2001).

$$P_{consumo} = TCP \times CMP + TCFP \times CMFP \quad (1)$$

$$P_{demanda} = TD \times DC \quad (2)$$

$$P_{ultrapassagem} = TU \times (DM - DC) \quad (3)$$

$$P_{total} = P_{consumo} + P_{demanda} + P_{ultrapassagem} \quad (4)$$

A tarifação horo-sazonal azul um contrato específico da concessionária no qual se pactua a demanda na ponta e fora da ponta, podendo ter tarifas diferentes no período seco e no período úmido. O cálculo da tarifa paga por essa modalidade tarifária é definida pelas equações 5, 6, 7 e 8, onde as tarifas dependem da época do ano (FIESP, 2001).

$$P_{consumo} = TCP \times CMP + TCFP \times CMFP \quad (5)$$

$$P_{demanda} = TDP \times DCP + TDFP \times DCFP \quad (6)$$

$$P_{ultrapassagem} = TUP \times (DMP - DCP) + TUFPP \times (DMFP - DCFP) \quad (7)$$

$$P_{total} = P_{consumo} + P_{demanda} + P_{ultrapassagem} \quad (8)$$

Para edificações comerciais, com base em informações das concessionárias AES ELETROPAULO (AES ELETROPAULO, 2010), CEB (CEB, 2010), CEEE (CEEE, 2010), CELPE (CELPE, 2010), LIGHT (LIGHT, 2010), a faixa de tarifação aplicada é a A4. As tabelas B1 e B2 apresentam, respectivamente, as tarifas horo-sazonais azul e verde para as cinco diferentes cidades. O cálculo da tarifa paga para as concessionárias foram feitas pela ferramenta de simulação Energy Plus®. Dessa forma, os resultados obtidos são apresentados nas tabelas 5.7 a 5.12.

Tabela 5.7- Tarifas cobradas para a edificação em Brasília-DF

	Tarifação Verde		Tarifação Azul	
	Sem desumidificador (R\$)	Com desumidificador (R\$)	Sem desumidificador (R\$)	Com desumidificador (R\$)
Janeiro	128.516,28	118.671,04	107.667,59	99.419,50
Fevereiro	115.862,24	107.635,09	102.827,35	95.525,78
Março	126.421,85	115.699,24	108.050,05	98.885,66
Abril	120.865,13	112.104,39	104.645,13	97.060,07
Mai	129.786,16	126.624,62	109.543,81	106.875,36
Junho	117.269,43	117.269,43	103.126,56	103.126,56
Julho	120.060,01	120.060,01	103.018,71	103.018,71
Agosto	125.647,12	124.049,90	107.423,75	106.058,19
Setembro	119.387,99	116.434,52	107.117,32	104.467,40
Outubro	131.210,97	123.422,22	110.739,13	104.165,60
Novembro	126.728,63	118.691,07	108.555,59	101.670,63
Dezembro	121.295,75	112.091,96	105.492,77	97.488,09
Anual	1.483.051,56	1.412.753,48	1.278.207,76	1.217.761,56

Tabela 5.8- Tarifas cobradas para a edificação em Recife-PE

	Tarifação Verde		Tarifação Azul	
	Sem desumidificador (R\$)	Com desumidificador (R\$)	Sem desumidificador (R\$)	Com desumidificador (R\$)
Janeiro	127.460,69	121.472,03	102.732,61	97.905,79
Fevereiro	113.866,98	108.474,71	97.863,19	93.228,79
Março	124.957,46	120.238,02	103.017,61	99.126,81
Abril	119.843,69	114.051,87	100.976,22	96.096,23
Mai	131.878,17	122.322,35	107.293,96	99.519,50
Junho	123.108,74	108.768,58	104.686,25	92.492,01
Julho	126.871,93	110.074,05	105.973,70	91.942,75
Agosto	129.574,34	113.977,48	106.060,10	93.293,65
Setembro	119.193,87	105.230,73	103.956,58	91.778,43
Outubro	131.187,89	117.653,97	106.828,45	95.807,56
Novembro	127.267,65	117.883,28	105.563,67	97.779,70
Dezembro	121.395,53	115.351,75	102.534,16	97.429,40
Anual	1.496.606,92	1.375.498,82	1.247.486,50	1.146.400,62

Tabela 5.9- Tarifas cobradas para a edificação em Rio de Janeiro-RJ

	Tarifação Verde		Tarifação Azul	
	Sem desumidificador (R\$)	Com desumidificador (R\$)	Sem desumidificador (R\$)	Com desumidificador (R\$)
Janeiro	119.515,12	112.520,06	107.667,59	101.365,95
Fevereiro	107.747,36	102.051,17	102.827,35	97.391,27
Março	117.567,39	110.089,59	108.050,05	101.177,60
Abril	112.399,85	103.582,10	104.645,13	96.435,73
Mai	120.696,06	112.934,84	109.543,81	102.499,72
Junho	109.055,99	106.796,04	103.126,56	100.989,48
Julho	111.651,12	110.498,38	103.018,71	101.955,09
Agosto	116.846,92	111.745,18	107.423,75	102.733,45
Setembro	111.026,17	106.436,93	107.117,32	102.689,65
Outubro	122.021,08	112.437,47	110.739,13	102.041,61
Novembro	117.852,68	106.371,19	108.555,59	97.979,84
Dezembro	112.800,31	102.476,34	105.492,77	95.837,61
Anual	1.379.180,07	1.297.939,29	1.278.207,76	1.203.097,00

Tabela 5.10- Tarifas cobradas para a edificação em Santa Maria-RS

	Tarifação Verde		Tarifação Azul	
	Sem desumidificador (R\$)	Com desumidificador (R\$)	Sem desumidificador (R\$)	Com desumidificador (R\$)
Janeiro	101.027,99	94.383,93	84.612,24	79.047,76
Fevereiro	90.596,87	83.384,21	79.799,18	73.446,15
Março	97.248,17	90.792,12	46.328,87	43.253,22
Abril	88.596,08	86.514,48	42.265,50	41.272,46
Mai	90.065,45	90.065,45	79.863,47	79.863,47
Junho	84.281,72	83.180,29	78.767,00	77.737,64
Julho	86.158,00	86.158,00	75.514,11	75.514,11
Agosto	89.196,82	89.075,31	76.844,66	76.739,98
Setembro	82.580,58	82.580,58	75.541,02	75.541,02
Outubro	94.705,57	93.784,82	81.040,67	80.252,78
Novembro	95.334,87	92.626,11	82.853,13	80.499,02
Dezembro	95.156,97	89.519,11	83.436,84	78.493,38
Anual	1.094.949,06	1.062.064,43	886.866,69	861.660,99

Tabela 5.11- Tarifas cobradas para a edificação em São Paulo-SP

	Tarifação Verde		Tarifação Azul	
	Sem desumidificador (R\$)	Com desumidificador (R\$)	Sem desumidificador (R\$)	Com desumidificador (R\$)
Janeiro	128.516,28	118.247,81	107.667,59	99.064,93
Fevereiro	115.862,24	105.980,40	102.827,35	94.057,25
Março	126.421,85	118.222,64	108.050,05	101.042,36
Abril	120.865,13	117.643,67	104.645,13	101.855,98
Mai	129.786,16	129.786,16	109.543,81	109.543,81
Junho	117.269,43	117.269,43	103.126,56	103.126,56
Julho	120.060,01	120.060,01	103.018,71	103.018,71
Agosto	125.647,12	125.647,12	107.423,75	107.423,75
Setembro	119.387,99	119.387,99	107.117,32	107.117,32
Outubro	131.210,97	130.730,83	110.739,13	110.333,90
Novembro	126.728,63	124.540,70	108.555,59	106.681,41
Dezembro	121.295,75	113.766,22	105.492,77	98.944,22
Anual	1.483.051,56	1.441.282,97	1.278.207,76	1.242.210,21

Tabela 5.12- Economia anual com o uso do sistema de desumidificação

	Tarifação Verde		Tarifação Azul	
Brasília-DF	R\$	70.298,08	R\$	60.446,20
Recife-PE	R\$	121.108,11	R\$	101.085,88
Rio de Janeiro-RJ	R\$	81.240,78	R\$	75.110,76
Santa Maria-RS	R\$	32.884,64	R\$	25.205,70
São Paulo-SP	R\$	41.768,59	R\$	35.997,55

Como já havíamos observado no consumo elétrico, a maior economia em tarifas providenciada pelo sistema de desumidificação acontecem nas cidades de Recife-PE e no Rio de Janeiro-RJ. Isso acontece principalmente pela alta umidade local durante todo o ano, fazendo com que exista uma maior economia elétrica refletindo diretamente na redução tarifária. A economia em uma edificação no Recife-PE pode chegar a R\$ 121.108,11 se considerarmos a tarifação horo-sazonal verde, enquanto no Rio de Janeiro-RJ, esse valor pode chegar a R\$ 81.240,78.

São Paulo-SP e Santa Maria-RS não conseguem diminuir o consumo energético da mesma forma que Recife-PE e Rio de Janeiro-RJ devido à baixa umidade nos períodos de inverno. Suas reduções percentuais são próximas de 0% nesses meses, diminuindo a margem ganha nos períodos de verão. A economia tarifária pode chegar a R\$41.768,59 e a R\$32.884,64 em São Paulo-SP e Santa Maria-RS respectivamente.

Devido a problemas do programa Energy Plus® para os dados do clima de Brasília-DF, seu resultado pode ser considerado intermediário com economia tarifária pode chegar a R\$ 70.298,08 na tarifação horo-sazonal verde.

Como forma de analisar as economias tarifárias, será calculado o valor presente líquido (VPL). O VPL é um método que determina o valor presente de pagamentos futuros descontados a uma taxa de juros determinada. É através dessa teoria que será calculado o tempo de retorno de investimento, fazendo iterativamente o cálculo do VPL até que esse valor se torne positivo.

Tabela 5.13- Custos de sistema de desumidificação por cidade.

Cidade	Custo
Brasília	R\$ 160.000,00
Recife	R\$ 140.000,00
Rio de Janeiro	R\$ 140.000,00
Santa Maria	R\$ 140.000,00
São Paulo	R\$ 150.000,00

Considerando a taxa de juros de longo prazo do BNDES em 2010 (BNDES, 2010), equivalente a 0,48% ao mês e os custos de inserção dos sistemas de

desumidificação apresentados na tabela 5.13, verificou-se tempos de retorno entre 1 ano e 5 meses a 5 anos, como pode-se averiguar na tabela 5.14.

Tabela 5.14- Tempo de retorno do sistema de desumidificação por cidade.

Cidade	Tempo de retorno
Brasília	2 anos e 4 meses
Recife	1 ano e 5 meses
Rio de Janeiro	1 ano e 11 meses
Santa Maria	5 anos
São Paulo	4 anos e 1 mês

6- CONCLUSÃO

As análises dos sistemas de desumidificação nas cinco cidades brasileiras apresentaram resultados positivos em relação a reduções energéticas. Em todas as cidades foi observado reduções percentuais no consumo total de energia elétrica do prédio.

No caso de São Paulo-SP e de Santa Maria-RS, cidades com invernos frios e secos, as reduções energéticas no consumo total do prédio foram de 3% para ambas as cidades. Nos meses de maio a outubro, as reduções percentuais foram praticamente nulas piorando o resultado para essas duas cidades. Aplicando as tarifas em cada uma das duas cidades, as reduções anuais foram de R\$32.884,64 e R\$41.768,59 para Santa Maria-RS e São Paulo-SP respectivamente. O tempo de retorno para o sistema de desumidificação foi de 5 anos para Santa Maria-RS e 4 anos e 1 mês para São Paulo-SP.

Para Recife-PE e Rio de Janeiro-RJ, cidades litorâneas que tem como característica serem quentes e úmidas praticamente o ano todo, as reduções energéticas no consumo total do prédio foram de 8% e 6% respectivamente. Com essa grande redução no consumo da energia elétrica, as reduções tarifárias anuais chegam a R\$121.108,11 para Recife-PE e R\$81.240,78 para Rio de Janeiro-RJ. O tempo de retorno do projeto encontrado para Recife-PE foi de 1 ano e 5 meses, enquanto que para o Rio de Janeiro-RJ foi de 1 ano e 11 meses; valores muito abaixo dos encontrado nas cidades de São Paulo-SP e Santa Maria-RS.

Especificamente para Brasília-DF, devido a problemas na base de dados climáticos utilizados pela ferramenta de simulação Energy Plus®, observou-se reduções no consumo de energia total do prédio de 5% e reduções tarifárias anuais de R\$70.298,08. O tempo de retorno para inserção do sistema de desumidificação foi de 2 anos e 4 meses.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AES ELETROPAULO. Tarifas de Energia. São Paulo, 2010. Disponível em:

<<http://www.aeseletropaulo.com.br/clientes/ClientesCorporativos/informacoes/Paginas/TarifasdeEnergia.aspx>>. Acesso em: 20 Set. 2010.

ARAÚJO, R., MAGNOLI, D. Geografia do Brasil. São Paulo, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16401**: Instalações de Ar Condicionado- Sistemas Centrais e Unitários. Rio de Janeiro, 2008.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. ASHRAE STANDARD- Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings- SI EDITION. Atlanta, 2004.

BANCO NACIONAL DO DESENVOLVIMENTO. Taxa de juros de longo prazo. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em:

<http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes_pt/Institucional/Apoio_Financeiro/Custos_Financeiros/Taxa_de_Juros_de_Longo_Prazo_TJLP/index.html>. Acesso em: 20 Set. 2010.

CEB. Tarifas. Brasília, 2010. Disponível em:

<<http://www.ceb.com.br/CebNovo/arquivos/Pdf/Tarifas%20THS%20092010.pdf>>.

Acesso em: 20 Set. 2010.

CEEE. Tarifa horo-sazonal azul. Porto Alegre, 2009. Disponível em:

<http://www.ceee.com.br/pportal/ceee/archives/Tabela_Horo_Azul_2009.pdf>. Acesso em: 20 Set. 2010.

CEEE. Tarifa horo-sazonal verde. Porto Alegre, 2009. Disponível em:

<http://www.ceee.com.br/pportal/ceee/archives/Tabela_Horo_Verde_2009.pdf>.

Acesso em: 20 Set. 2010.

CELPE. Valor da Tarifa. Recife, 2010. Disponível em:

<http://www.celpe.com.br/Aplicacoes/Orientacao/orientacoes_energia.asp?c=17&tensao=Baixa>. Acesso em: 20 Set. 2010.

FIESP. Manual de Tarifação. São Paulo, 2001.

LIGHT. Valor da tarifa. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em:

<<http://www.light.com.br/web/institucional/atendimento/informacoes/tarifas/tarifas.asp?mid=868794297227722772287226>>. Acesso em: 20 Set. 2010.

LIU, W., LIAN, Z., RADERMACHER, R., YAO, Y. Energy consumption analysis on a dedicated outdoor air system with rotary desiccant wheel. Xangai, 2005.

MAZZEI, P., MINICHELLO, F., PALMA, D. Desiccant HVAC systems for commercial buildings. Nápoles, 2001.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Regulamentação de eficiência energética para edificações comerciais e públicas. Brasília, 2007. Disponível em:

<http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/programa/eficiencia_energica/notatecnica_2007_dde.pdf>. Acesso em: 20 Set. 2010.

MUNTERS CORPORATION DEHUMIDIFICATION DIVISION. The

Dehumidification Handbook. 2. ed. Amesbury, 2002.

PELLEGRINI, L.F.. Análise e otimização termo-econômica-ambiental aplicada à produção combinada de açúcar, álcool e eletricidade. São Paulo, 2009.

STOECKER, W. F., JONES, J. W. Refrigeração e ar condicionado- McGraw-Hill Brasil. São Paulo, 1985.

ANEXO A- PARÂMETROS DA EDIFICAÇÃO REFERÊNCIA

Tabela A.1- Transmitância máxima (U) e composição de tetos, paredes e pisos

(ASHRAE 90.1- 2004).

Elementos	Transmitância – U (W/m ² K)	Composição*
Teto	0,369	Concreto, ar e gesso
Paredes	0,642	Reboco, tijolo e reboco
Piso	1,986	Concreto

*Composição no sentido externo-interno.

Tabela A.2- Condutividade térmica dos materiais.

Material	Condutividade – K (W/mK)
Concreto	1,919
Gesso	0,01138
Reboco	1,15
Tijolo	0,1165

Tabela A.3 – Espessura dos materiais para teto, paredes e piso.

Elementos	Concreto	Ar	Gesso	Reboco	Tijolo
Teto	0,20	0,03	0,02	-	-
Paredes	-	-	-	0,02+0,02	0,16
Piso	0,20	-	-	-	-

Tabela A.4- Características das janelas (ASHRAE 90-1-2004)

Elemento	Transmitância – U (W/m ² K)	Coefficiente de ganho térmico solar	Composição	Espessura (mm)
Janela	6,93	0,25	Vidro, ar e vidro	3;1; 3

Tabela A.5- Transmitância de cada material utilizada no programa Energy Plus.

Elemento	Transmitância – U (W/m²K)
Teto	0,312
Paredes	0,642
Piso	1,986
Vidro	4,88

ANEXO B- TARIFAS EM BRASÍLIA-DF, RECIFE-PE, RIO DE JANEIRO-RJ, SANTA MARIA-RS E SÃO PAULO-SP

Tabela B.1- Tarifação horo-sazonal Azul (AES ELETROPAULO, 2010; CEB, 2010; CEEE, 2010; CELPE, 2010; LIGHT, 2010).

Cidade	Demanda R\$/kW				Consumo R\$/kWh			
	Ponta	F.de	Ultrapas.	Ultrapas.	Ponta	Ponta	F. de	F. de
		Ponta	Ponta	Ponta	F. de Ponta	Seca	Úmida	Ponta
							Seca	Úmida
Brasília	31,4462033	7,8078883	94,3386101	23,4236651	0,3356721	0,3047357	0,2138583	0,1959216
Recife	49,18	13,43	147,54	40,29	0,21690	0,19638	0,13608	0,12418
Rio de Janeiro	41,99	10,84	125,98	32,53	0,23707	0,21486	0,14961	0,13673
Santa Maria	36,12	7,71	108,35	23,13	0,21134	0,19172	0,13409	0,12271
São Paulo	32,39	7,99	97,17	23,97	0,24904	0,22621	0,15912	0,14587

Tabela B.2- Tarifação horo-sazonal Verde (AES ELETROPAULO, 2010; CEB, 2010; CEEE, 2010; CELPE, 2010; LIGHT, 2010).

Cidade	Demanda R\$/kW			Consumo R\$/kWh		
	Normal	Ultrapas.	Ponta	Ponta	F. de	F. de
			Seca	Úmida	Ponta	Ponta
					Seca	Úmida
Brasília	7,8078883	23,4236651	1,0659511	1,0350147	0,2138583	0,1959216
Recife	13,43	40,29	1,35952	1,339	0,13608	0,12418
Rio de Janeiro	10,84	32,53	1,21215	1,18994	0,14961	0,13673
Santa Maria	7,71	23,13	1,04998	1,03036	0,13409	0,12271