

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ - UNIOESTE
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

MÉTODO GRAUS-DIA PARA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO
ENERGÉTICO DE UMA EDIFICAÇÃO UNIFAMILIAR EM
DIFERENTES CONDIÇÕES CLIMÁTICAS.

AUREA LÚCIA VENDRAMIN

CASCAVEL – Paraná - Brasil

JULHO - 2007

AUREA LÚCIA VENDRAMIN

**MÉTODO GRAUS-DIA PARA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO
ENERGÉTICO DE UMA EDIFICAÇÃO UNIFAMILIAR EM
DIFERENTES CONDIÇÕES CLIMÁTICAS.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola, área de concentração em Engenharia de Sistemas Agroindustriais.

Orientador: Prof^o. Dr. Samuel Nelson Melegari de Souza

CASCADEL – Paraná - Brasil

JULHO - 2007

AUREA LÚCIA VENDRAMIN

**MÉTODO GRAUS – DIA PARA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO
ENERGÉTICO DE UMA EDIFICAÇÃO UNIFAMILIAR EM
DIFERENTES CONDIÇÕES CLIMÁTICAS.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola, área de concentração Engenharia de Sistemas Agroindustriais, **aprovada** pela seguinte banca examinadora:

Orientador: Prof^o Dr. Samuel Nelson Melegari de Souza
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, UNIOESTE

Prof^o. Dr. Jair Antonio Cruz Siqueira
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, UNIOESTE

Prof.^o Dr. Altevir Castro dos Santos.
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, UNIOESTE

Prof^o. Dr. Alexandre Sordi
Faculdade Assiz Gurgaz, FAG

Cascavel, 12 de julho de 2007.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, eterno e inseparável amigo!!!!

Ao meu querido orientador Prof^o. Dr. Samuel, pelo companheirismo e dedicação na elaboração deste trabalho.

Agradeço a minha mãe Ivone e ao tio Júlio, toda a compreensão e amor que me oferecem todos os dias, a minha amável irmã Mirian e ao meu noivo Alexandre pelo amor, carinho e encorajamento!!!

Aos professores da UNIPAR pela compreensão, e principalmente a Prof^a Célia Regina Martins Fontes pela ajuda e dedicação.

Aos amigos Milton, Alexandra, Graciella.

Dedico ao meu querido PAI, que está no céu !!!

Lute diante das coisas mais difíceis de sua vida com fé e esperança,
Deus jamais abandona àqueles que O invocam com sinceridade.
Abrace com amor e sabedoria a tua cruz e, mesmo que ela pese, escorregue,
o Pai não deixará você cair e nem se desesperar.
Ânimo! Ele te fortalecerá sempre!
Confie e seja perseverante!
Vá em frente e não desista,
para que um dia você possa olhar pra trás e dizer...

“Foi difícil, mas venci!”.

Aurea.

SUMÁRIO

| | |
|--|------|
| LISTA DE TABELAS | viii |
| LISTA DE FIGURAS | x |
| RESUMO | xii |
| ABSTRAT | xiii |
| 1 INTRODUÇÃO..... | 1 |
| 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 4 |
| 2.1 CONFORTO TÉRMICO | 4 |
| 2.1.1 Parâmetros do Conforto Térmico | 4 |
| 2.1.1.1 Temperatura do ambiente | 5 |
| 2.1.1.2 Umidade do ar | 5 |
| 2.1.1.3 Velocidade do vento | 6 |
| 2.1.1.4 Temperatura média radiante | 6 |
| 2.1.2 Trocas Térmicas entre o Corpo e o Ambiente..... | 6 |
| 2.2 ÍNDICES DE CONFORTO TÉRMICO | 7 |
| 2.2.1 Aspectos Históricos dos Índices de Conforto Térmico | 7 |
| 2.2.2 Classificação dos Índices de Conforto | 8 |
| 2.2.3 Escolha do Índice de Conforto Térmico..... | 8 |
| 2.2.4 A Carta Bioclimática | 9 |
| 2.2.5 Índices de Temperatura Efetiva..... | 9 |
| 2.2.6 Voto Médio Predito | 9 |
| 2.2.7 Massa Térmica e Aquecimento Solar | 10 |
| 2.2.8 Aquecimento Artificial ou Convencional..... | 10 |
| 2.3 DEMANDA DE ENERGIA NO BRASIL..... | 11 |
| 2.3.1 Aspectos Históricos do Desempenho Energético no Brasil | 11 |
| 2.3.2 Perfil da Demanda de Energia no Brasil | 13 |

| | | |
|-------|--|----|
| 2.4 | USO DE DADOS DE GRAUS-DIA NA DETERMINAÇÃO DE ENERGIA..... | 16 |
| 3 | MATERIAL E MÉTODOS..... | 21 |
| 3.1 | O MÉTODO GRAUS-DIA DE AQUECIMENTO E RESFRIAMENTO | 21 |
| 3.2 | DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE TOTAL DE PERDA DE CALOR (L)..... | 23 |
| 3.3 | DESEMPENHO ENERGÉTICO DA EDIFICAÇÃO..... | 26 |
| 4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES | 28 |
| 4.1 | PARTIÇÃO ANUAL DE HDD E CDD | 28 |
| 4.2 | PARTIÇÃO SAZONAL DE HDD E CDD | 30 |
| 4.3 | PARTIÇÃO MENSAL DE HDD E CDD..... | 37 |
| 4.4 | COEFICIENTE TOTAL DE PERDA DE CALOR..... | 42 |
| 4.5 | CONSUMO ANUAL DE ENERGIA NO AQUECIMENTO E RESFRIAMENTO DA EDIFICAÇÃO | 43 |
| 4.5.1 | Consumo Anual de Energia para Aquecimento | 43 |
| 4.5.2 | Consumo Anual de Energia Para Resfriamento | 50 |
| 5 | CONCLUSÕES | 57 |
| | REFERÊNCIAS | 59 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 - Variação do consumo final de energia e perfil energético residencial Brasil 2004-2005 | 15 |
| Tabela 2 - Propriedades físicas dos materiais | 25 |
| Tabela 3 - Graus-dia de temperatura média anual - HDD | 28 |
| Tabela 4 - Graus-dia de temperatura média anual - CDD | 30 |
| Tabela 5 - Graus-dia de temperatura aquecimento - Outono..... | 31 |
| Tabela 6 - Graus-dia de temperatura resfriamento - Outono..... | 31 |
| Tabela 7 - Graus-dia de temperatura aquecimento - Inverno | 32 |
| Tabela 8 - Graus-dia de temperatura resfriamento - Inverno | 33 |
| Tabela 9 - Graus-dia de temperatura aquecimento - Primavera. | 34 |
| Tabela 10 - Graus-dia de temperatura resfriamento - Primavera | 35 |
| Tabela 11 - Graus-dia de temperatura aquecimento - Verão..... | 36 |
| Tabela 12 - Graus-dia de temperatura resfriamento - Verão | 36 |
| Tabela 13 - Temperatura aquecimento - Mensal | 38 |
| Tabela 14 - Temperatura resfriamento - Mensal | 40 |
| Tabela 15 - Coeficiente de transferência de calor em $W/^{\circ}C$ - Vidros simples.. | 42 |
| Tabela 16 - Coeficiente de transferência de calor em $W/^{\circ}C$ - Vidros duplos ... | 42 |
| Tabela 17 - Consumo anual de energia para aquecer (kWh) - Cascavel..... | 43 |
| Tabela 18 - Consumo de energia para aquecer (kWh) com várias trocas de ar - Cascavel..... | 44 |
| Tabela 19 - Consumo de energia para aquecer (kWh) - Foz do Iguaçu | 45 |
| Tabela 20 - Consumo de energia para aquecer (kWh) com várias trocas de ar - Foz do Iguaçu | 46 |
| Tabela 21 - Consumo de energia para aquecer (kWh) - Curitiba..... | 47 |
| Tabela 22 - Consumo de energia para aquecer (kWh) com várias trocas de ar - Curitiba | 47 |

| | |
|--|----|
| Tabela 23 - Consumo de energia para aquecer (kWh) - Londrina | 48 |
| Tabela 24 - Consumo de energia para aquecer (kWh) com várias trocas de ar - Londrina..... | 49 |
| Tabela 25 - Consumo de energia para resfriamento (kWh) - Cascavel..... | 50 |
| Tabela 26 - Consumo de energia para resfriar (kWh) com várias trocas de ar - Cascavel..... | 51 |
| Tabela 27 - Consumo de energia para resfriamento (kWh) - Foz do Iguaçu | 52 |
| Tabela 28 - Consumo de energia para resfriar (kWh) com várias trocas de ar - Foz do Iguaçu | 53 |
| Tabela 29 - Consumo de energia para resfriamento (kWh) - Curitiba | 53 |
| Tabela 30 - Consumo de energia para resfriar (kWh) com várias trocas de ar - Curitiba | 54 |
| Tabela 31 - Consumo de energia para resfriamento (kWh) - Londrina | 55 |
| Tabela 32 - Consumo de energia para resfriar (kWh) com várias trocas de ar - Londrina..... | 56 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Consumo total de energia elétrica - Brasil - 1970-2005..... | 15 |
| Figura 2 - Planta baixa da residência. | 24 |
| Figura 3 - Variação de aquecimento anual..... | 28 |
| Figura 4 - Variação de resfriamento anual. | 30 |
| Figura 5 - Variação de aquecimento - Outono. | 31 |
| Figura 6 - Variação de resfriamento - Outono. | 32 |
| Figura 7 - Variação de aquecimento - Inverno..... | 33 |
| Figura 8 - Variação de resfriamento - Inverno. | 34 |
| Figura 9 - Variação de aquecimento - Primavera..... | 34 |
| Figura 10 - Variação de resfriamento - Primavera. | 35 |
| Figura 11 - Variação de aquecimento - Verão. | 36 |
| Figura 12 - Variação de resfriamento - Verão..... | 37 |
| Figura 13 - Variação de aquecimento mensal - Janeiro. | 39 |
| Figura 14 - Variação de aquecimento mensal - Fevereiro. | 39 |
| Figura 15 - Variação de resfriamento mensal - Julho. | 41 |
| Figura 16 - Consumo de energia com ITA = 0,5 - Cascavel..... | 44 |
| Figura 17 - Consumo de energia com aberturas em 20% - Cascavel..... | 44 |
| Figura 18 - Consumo de energia com ITA = 0,5 - Foz do Iguaçu. | 45 |
| Figura 19 - Consumo de energia com aberturas em 20% - Foz do Iguaçu. | 46 |
| Figura 20 - Consumo de energia com ITA = 0,5 - Curitiba..... | 47 |
| Figura 21 - Consumo de energia com aberturas em 20% - Curitiba..... | 48 |
| Figura 22 - Consumo de energia com ITA = 0,5 - Londrina. | 49 |
| Figura 23 - Consumo de energia com aberturas em 20% - Londrina. | 49 |
| Figura 24 - Consumo de energia com ITA = 0,5 - Cascavel..... | 51 |
| Figura 25 - Consumo de energia com aberturas em 20% - Cascavel..... | 51 |
| Figura 26 - Consumo de energia com ITA = 0,5 - Foz do Iguaçu. | 52 |

| | |
|--|----|
| Figura 27 - Consumo de energia com aberturas em 20% - Foz do Iguaçu. | 53 |
| Figura 28 - Consumo de energia com ITA = 0,5 - Curitiba. | 54 |
| Figura 29 - Consumo de energia com aberturas em 20% - Curitiba. | 54 |
| Figura 30 - Consumo de energia com ITA = 0,5 - Londrina. | 56 |
| Figura 31 - Consumo de energia com aberturas em 20% - Londrina. | 56 |

RESUMO

A necessidade da aplicação de dados climáticos para avaliação de desempenho energético em edificações unifamiliares tem se tornado cada vez mais importante. Atentando para esse fato, é necessário que essas variáveis sejam trabalhadas de forma a se obter resultados eficazes. Estudos na área são muito recentes no Brasil e existe também uma dificuldade no levantamento dos registros necessários. O presente trabalho utilizou um método de graus-dias para uma avaliação do desempenho energético de uma edificação unifamiliar que mostrou que na concepção de um projeto arquitetônico devem ser sempre considerados os materiais empregados na edificação e o tamanho das aberturas. O desempenho energético foi obtido por meio do modelo de graus-dias, considerando-se a localização da residência unifamiliar nas cidades de Cascavel, Curitiba, Foz do Iguaçu e Londrina. Para isso foram obtidos os dados climáticos dessas localidades e, em um segundo momento, foi obtido o coeficiente total de perda de calor na edificação unifamiliar pré-estabelecida avaliando-se assim as condições de conforto térmico o desempenho energético da edificação. O método de estimativa baseado nas informações de temperatura do ar usado neste estudo pode ser aplicado a outras localidades geográficas. Observou-se que graus-dias de aquecimento no inverno são de 77,78 para Curitiba e de 0,00 para Foz do Iguaçu na temperatura base de 14°C. E graus-dias de resfriamento 30,17 no inverno. A energia consumida em Foz do Iguaçu para aquecer a residência é de 4650.07 kWh anual e o consumo de energia anual para aquecer a residência em Curitiba é de 6277.02 kWh, para trocas de 50% de ITA em vidros duplos.

Palavras-chave: Método graus-dias, coeficiente total de perda de calor, desempenho energético de uma edificação.

**METHOD DEGREES - DAY FOR EVALUATION OF THE ENERGY
PERFORMANCE OF A CONSTRUCTION UNIFAMILIAR IN
DIFFERENT CLIMATIC CONDITIONS.**

ABSTRAT

The necessity of the application of climatic data for evaluation of energy performance in unifamiliares constructions if has become each more important time. Attempting against for this fact, one becomes necessary that these 0 variable are worked of form if to get resulted efficient. Studies in this area are very recent in Brazil and also exist a difficulty in the survey of the necessary registers. The present work used a method of degrees - days for an evaluation of the energy performance of a unifamiliar construction it showed - that in the conception of a project architectural it always must be taken in consideration of the materials used in the construction and size of the openings. The energy performance was gotten by means of the model of degrees - days, considering - the localization of the unifamiliar residence in, cities of Cascavel, Curitiba, Foz do Iguaçu and Londrina. For this the climatic data of such localities had been gotten and at as a moment, the energy performance of the construction was gotten the total coefficient of loss of heat in the unifamiliar construction daily pay-established evaluating thus the conditions of thermal comfort. The method of estimate based on the information of used temperature of air in this study can be applied to other geographic localities. It observed - that degrees - days of heating in the winter are of 77.78 for Curitiba and 0.00 for Foz do Iguaçu in the temperature base of 14°C. E degrees - days of cooling 30,17 in the winter. The energy consumed in Foz do Iguaçu to heat the residence is of 4650.07 kWh annual and the consumption of annual energy to heat the residence in Curitiba is of 6277.02 kWh, to change of 50% ITA in double glass.

Key-words: Method degrees - days, total Coefficient of loss of heat, energy performance of a construction.

1 INTRODUÇÃO

Fazer arquitetura pressupõe antes de tudo, conhecer a amplitude da própria definição de arquitetura, como manifestação humana que atende a requisitos sócio-culturais, filosóficos, físicos, estéticos, funcionais, econômicos, de conforto ambiental, entre outros.

Nesse sentido, segundo GOULART (1993), na tríade Viturviana, a arquitetura tinha que possuir três qualidades: durabilidade (técnica e resistência), conveniência (responder às necessidades dos usuários) e beleza (arte e estética).

Assim, atendendo às exigências de conforto térmico e eficiência energética na arquitetura e na engenharia, assumem significativa importância os estudos de insolação nas edificações, objetivando orientar os profissionais durante o processo de projeto, em especial nas etapas de partido geral, estudo preliminar e detalhe de elementos, buscando o melhor relacionamento clima x edificação, na busca da qualidade de conveniência.

Atender às necessidades dos usuários engloba entre outros requisitos, às necessidades de conforto ambiental, nas suas diferentes abordagens (térmica, terminotécnica, acústica, etc.).

O conhecimento do clima e da temperatura é considerado como uma das mais importantes variáveis do relacionamento entre o ser humano e o meio ambiente. É reconhecido que as condições de saúde humana, de energia e de conforto, são afetadas mais pelo clima do que por qualquer outro elemento do meio ambiente. Neste sentido, as condições do tempo e do clima são fatores relevantes na escolha da localização de obras, escolha de materiais, desenvolvimento do projeto, necessidade de condicionamento do ar e estruturas das moradias. Historicamente, em vários países, pode-se evidenciar que as

edificações construídas no passado eram bem melhor adaptadas ao clima do que as atuais.

Realmente, nossos ancestrais, por suas experiências de várias gerações, aprenderam a adaptar suas residências ao clima local. Exemplo dessa sabedoria pode-se comprovar no fato de que se construía edificações muito compactas, com paredes espessas e janelas estreitas nas regiões desérticas e secas. Em áreas quentes e secas, construía-se pátios internos, para os quais todos os cômodos se voltavam. Já em climas tropicais úmidos, ao contrário, utilizavam-se colunas que elevavam as casas e as tornavam bem ventiladas, além do fato de serem implantadas com espaçamentos entre elas. Além disso, temos exemplos conhecidos em ambientes polares que são os iglus dos esquimós (GOULART, 1993).

Após a crise energética da década de 1970, o alto consumo energético para condicionamento térmico artificial adquiriu significativa importância, pelos problemas sócio-econômico-ambientais inerentes, condição que encaminhou a arquitetura para um resgate histórico na sua relação com o meio ambiente, situação conceitualmente clara, mas que na prática não se manifestou rapidamente. Tornou-se prioridade, em muitos países, a implantação de programas de conservação de energia e condicionamento térmico natural. Várias pesquisas têm sido desenvolvidas nessa área, buscando, inicialmente, os parâmetros que possam balizar o conforto térmico humano (ANDRADE, 2006).

As análises de dados climáticos com a finalidade de aplicá-los às edificações estão comprometidas pela falta de dados meteorológicos confiáveis e acessíveis.

Já, segundo Victor Olgyay citado por GOULART (1993), o processo de construir uma edificação adaptada ao clima, pode ser dividido em quatro passos, dos quais o último é a expressão arquitetônica. O primeiro passo em direção ao ajuste ambiental é o levantamento de elementos climáticos de um dado local e a análise desses dados meteorológicos. Sendo o homem a medida fundamental na arquitetura e o abrigo projetado para satisfazer suas necessidades biológicas, o

segundo passo é avaliar cada impacto do clima em termos psico-fisiológicos. Como terceiro passo, uma solução tecnológica deve ser aplicada para cada problema conforto-clima. No estágio final, estas soluções combinadas de acordo com sua importância, resultariam em harmonia entre homem, clima e edificação.

A análise do clima de cada região deve apresentar características próprias e a adoção de qualquer estratégia exige uma pesquisa voltada a ela.

Por meio deste trabalho, obteve-se com maiores conhecimentos e foram apresentados diferentes elementos caracterizadores do desempenho térmico das edificações, definidores das condições térmicas internas das edificações, elementos estes determinados ao longo do processo pelo cálculo de graus-dia e com base neste conhecimento de causa verificou-se a forma de aplicar os dados climáticos para projetos novos e para exame de construções existentes, considerando a abrangência, a funcionalidade do método e as precisões envolvidas, dando respostas confiáveis e tendo como objetivo específico a utilização dos dados de temperatura média para a obtenção dos Graus-dias de aquecimento e resfriamento para partições anuais, partições mensais e partições sazonais nas cidades de Cascavel, Curitiba, Foz do Iguaçu e Londrina; a determinação do Coeficiente Total de Perda de Calor (L), para uma edificação residencial unifamiliar e a obtenção do consumo de energia da edificação para as partições pré-estabelecidas e localidades.

Com isto, pode-se ter uma visão inicial do desempenho energético das edificações, de forma a compreender as diferentes exigências humanas inerentes à arquitetura e à engenharia, entendidas como uma manifestação humana que engloba ciência, tecnologia e arte.

Dessa forma, o presente estudo foi direcionado à avaliação de desempenho energético com dados climáticos para uma edificação residencial unifamiliar a ser localizada nas cidades de Cascavel, Curitiba, Londrina e Foz do Iguaçu no estado do Paraná.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CONFORTO TÉRMICO

Uma das principais formas de consumo de energia, com a manutenção das condições de conforto térmico, é mais preciosamente o aquecimento das habitações. Reduzir o consumo doméstico de energia, melhorando o nível de conforto, implica melhorar o rendimento da instalação produtora de calor; e reduzir ao máximo as perdas desse calor para o exterior. Definir conforto térmico é bastante difícil, pois, além dos fatores físicos, envolve uma gama de fatores pessoais que tornam sua definição bastante subjetiva.

Dessa forma, o conforto térmico pode ser visto e analisado sob dois pontos de vista: pessoal ou ambiental. Do ponto de vista pessoal, define-se conforto térmico como uma condição mental que expresse satisfação com o ambiente térmico. Do ponto de vista físico, confortável é o ambiente cujas condições permitam a manutenção da temperatura interna sem a necessidade de serem acionados os mecanismos termoreguladores, ou seja, é necessário que o organismo humano se encontre em balanço térmico com o meio ambiente, (FROTA; SCHIFFER, 2001).

2.1.1 Parâmetros do Conforto Térmico

O conforto térmico, segundo FROTA e SCHIFFER (2001), depende de vários fatores, ambientais ou pessoais, governados por processos térmicos, como convecção, radiação, evaporação e, eventualmente, condução. De acordo

BARBOSA (1997), o conforto térmico humano e sua resposta fisiológica, ao estresse térmico, dependem da produção de calor metabólico, do nível de fatores ambientais (velocidade do vento, temperatura do ar, umidade relativa e temperatura média radiante) e do tipo de vestimenta que o indivíduo estiver usando. O efeito conjugado desses fatores é que definirá o grau de conforto ou desconforto térmico sentido pelas pessoas. Dessa forma, os parâmetros mais importantes do conforto térmico são:

2.1.1.1 Temperatura do ambiente

A temperatura do ambiente afeta a perda de calor conectivo do corpo humano e a temperatura do ar expirado. Assim, a perda de calor pelo aquecimento e umidificação do ar expirado é influenciada pela temperatura do ar. Uma temperatura elevada é um verdadeiro obstáculo à dissipação de calor por convecção e pode, inclusive, causar um aporte de calor se for mais quente que a temperatura da pele.

2.1.1.2 Umidade do ar

A umidade do ar é outro fator meteorológico que influencia o conforto térmico. Ela interfere diretamente em três mecanismos de perda de água do corpo humano, a saber: a difusão de vapor d'água através da pele (transpiração imperceptível), a evaporação do suor da pele e a umidificação do ar respirado. Por exemplo, à medida que a temperatura do meio se eleva e a perda de calor por condução e convecção é prejudicada, há um aumento na eliminação de calor por evaporação, fazendo com que a transpiração se torne perceptível. Se o ar estiver saturado essa evaporação não é possível, caso em que a pessoa ganha calor enquanto a temperatura do ambiente mantém-se superior à da pele. Caso

contrário, sob um ar seco, a perda de calor pelo corpo ocorre mesmo em altas temperaturas. Em todos os casos, entretanto, a perda de água ocorre na forma gasosa. O resultado final é a perda de calor pelo corpo humano.

2.1.1.3 Velocidade do vento

Assim como a temperatura do ar, a velocidade do vento é determinante na troca de calor por convecção entre o corpo e meio ambiente. Quanto mais intensa for a ventilação, maior será a quantidade de calor trocada entre o corpo humano e o ar, conseqüentemente menor será a sensação de calor. O termo *windchill*, criado por Paul Simple (1939-1940), expressa o efeito de resfriamento decorrente da perda de calor provocada pelo vento, fazendo com que a sensação térmica corresponda a de uma temperatura muito inferior à realmente observada.

2.1.1.4 Temperatura média radiante

Corresponde à temperatura média das superfícies opacas visíveis que participam no balanço radiativo com a superfície exterior do vestuário. Este termo é particularmente difícil de definir com exatidão quer pela dificuldade em corretamente avaliar os fatores de forma, quer pela influência da componente refletiva.

2.1.2 Trocas Térmicas entre o Corpo e o Ambiente

A quantidade de calor liberado pelo organismo é função da atividade desenvolvida. Este calor será dissipado por meio de mecanismos de trocas térmicas entre o corpo e o ambiente envolvendo:

- Trocas secas: condução, convecção e radiação;
- Trocas úmidas: evaporação.

O calor perdido para o ambiente por trocas secas é denominado calor sensível e é função das diferenças de temperatura entre o corpo e o ambiente. O calor perdido por trocas úmidas é denominado calor latente, envolve mudanças de fase—o suor (líquido) e passa para o estado gasoso através da evaporação (FROTA; SCHIFFER, 2001).

2.2 ÍNDICES DE CONFORTO TÉRMICO

Com o intuito de avaliar o efeito conjunto das variáveis de conforto térmico, adotam-se diferentes índices de conforto térmico.

De forma geral, esses índices são desenvolvidos fixando-se um tipo de atividade e a vestimenta do indivíduo para, a partir daí, relacionar as variáveis do ambiente que proporcionam as trocas de calor entre o corpo e o ambiente. Além disso, devem ser consideradas outras variáveis como sexo, idade, biotipo e hábitos alimentares, dependendo da abrangência da análise.

Todos esses dados procuram englobar, num único parâmetro, o efeito conjuntos dessas variáveis e reunir, sob a forma de cartas ou nomogramas, as diversas condições ambientais que proporcionam respostas semelhantes ou até iguais por parte dos indivíduos (PAPST; GHISI; LAMBERTS, 2000).

2.2.1 Aspectos Históricos dos Índices de Conforto Térmico

Em 1916, a Comissão Americana da Ventilação efetuou os primeiros estudos e pesquisas acerca da influência das condições termohigrométricas sobre o rendimento no trabalho. O foco principal do estudo era o trabalho físico do

operário, devido ao interesse de produção surgido com a Revolução Industrial e às situações especiais de guerra, quando tropas eram deslocadas para regiões de diferentes tipos de clima (FROTA; SCHIFFER, 2001).

Naquela pesquisa, foram aplicadas variações de temperatura no ambiente e verificou-se o aumento ou redução no rendimento dos operários. Outro fator observado foi a correlação de ambientes termicamente desconfortáveis com índices elevados de acidentes no trabalho.

2.2.2 Classificação dos Índices de Conforto

Diferentes aspectos formam a base do desenvolvimento dos índices de conforto térmico e podem ser classificados como a seguir:

- Índices biofísicos: baseiam-se na troca entre o corpo e o ambiente;
- Índices fisiológicos: baseiam-se nas reações fisiológicas originadas por condições conhecidas;
- Índices subjetivos: baseiam-se nas sensações subjetivas de conforto experimentadas em condições variadas.

2.2.3 Escolha do Índice de Conforto Térmico

A escolha de um ou outro índice de conforto deve estar relacionada às condições ambientais com a atividade desenvolvida pelo indivíduo, pela maior ou menor importância de um ou de outro aspecto do conforto.

Existem inúmeros índices de conforto térmico, porém, para fins de aplicação às condições ambientais correntes em edifícios como: habitações, escolas, escritórios, etc., e para o clima brasileiro, de acordo com FROTA e SCHIFFER (2001), destacam três índices principais:

- Carta bioclimática;

- Temperatura efetiva;
- Voto médio predito.

2.2.4 A Carta Bioclimática

Estas cartas associam informações sobre a zona de conforto térmico, o comportamento climático do local e as estratégias de projeto indicadas para cada período do ano.

2.2.5 Índices de Temperatura Efetiva

Este índice, criado por Yaglow e Houghten, em 1923, é definido com a correlação entre as sensações de conforto e as condições de temperatura, umidade e velocidade do ar. É um índice subjetivo e as correlações são apresentadas sob a forma de nomograma (FROTA: SCHIFFER, 2001).

2.2.6 Voto Médio Predito

Este método foi desenvolvido por Fanger, em 1972, e é um índice de conforto que analisa a sensação de conforto em função da porcentagem de pessoas insatisfeitas (*Predicted Percentage of Dissatisfied* - PPD) e do voto médio predito (*Predicted Mean Vote* - PMV) (ANDREASI, 2001).

Esse índice prevê o voto de um grande grupo de pessoas com base numa escala, utilizando valores entre -3 e +3, muito quente e muito frio, respectivamente. Porém, devido às diferenças individuais é difícil especificar um

ambiente térmico que satisfaça a todos, sempre haverá uma percentagem de insatisfeitos (BARBOSA, 1997).

2.2.7 Massa Térmica e Aquecimento Solar

Esta estratégia pode ser descrita como uma associação de outras duas: o aquecimento solar passivo aliado à massa térmica para resfriamento. Essa zona situa-se entre temperaturas de 14 à 20°C. Considera-se como sendo uma zona de transição, na qual a análise e a precisão dos dados merecem um pouco mais de atenção, visto que podem levar a conclusões diferentes dependendo da região em estudo.

Neste caso, pode-se adotar componentes construtivos com maior inércia térmica, além de aquecimento solar passivo e isolamento térmico, para evitar perdas de calor.

2.2.8 Aquecimento Artificial ou Convencional

Este tipo de estratégia deve ser utilizado quando as condições de conforto ambiental internas não são conseguidas por sistemas de aquecimento solar passivo em todos os ambientes da moradia. Isto ocorre normalmente em regiões frias, com temperatura média diária inferior a aproximadamente 10°C, por dois meses ou mais. A região da carta bioclimática que aponta uma intervenção que se utiliza aquecimento artificial ou convencional.

A necessidade de aquecimento depende de fatores como: padrões da moradia, vestimenta, idade, atividade dos ocupantes, dentre outros.

O aquecimento da edificação pode ser obtido pela utilização de dutos que coletam em fachadas mais ensolaradas o calor necessário e o distribuem para o

restante da edificação, porém este método é muito caro e requer que o período de inverno tenha abundância de radiação solar.

Uma ressalva ao aquecimento artificial encontra-se em suas fontes de calor, que podem ser as mais diversas, porém, as oriundas da combustão de gás, carvão, madeira ou óleo podem ser perigosas aos ocupantes da edificação, caso não se tomem os cuidados necessários. Em se tratando da combustão, vários pesquisadores alertam sobre o oxigênio absorvido do ambiente pelo sistema, o que poderá asfixiar ou sufocar seus ocupantes, pela inalação da fumaça ou ausência do suprimento adequado de oxigênio, além do risco de incêndio, ocasionado pela utilização desse tipo de fonte de calor (ANDRADE, 2006).

Porém, a maioria dos sistemas de aquecimento artificial utilizados atualmente tem como principal fonte à energia elétrica, mesmo sendo esta uma opção economicamente inferior às demais. Vale ressaltar que a utilização desse tipo de sistema, associado ao aquecimento solar passivo constitui uma alternativa para a redução do consumo de energia da moradia.

2.3 DEMANDA DE ENERGIA NO BRASIL

2.3.1 Aspectos Históricos do Desempenho Energético no Brasil

O desenvolvimento da eletricidade trouxe, já no começo do século XIX, importantes variações no interior das residências e edifícios. Até o aparecimento da energia elétrica, o gás era o alimento dos sistemas de aquecimento, refrigeração e iluminação das moradias, cujo consumo foi substituído pela eletricidade (GOULART, 1993).

Nas primeiras redes elétricas urbanas o usuário recebia a energia sob a forma de corrente contínua, que era produzida em pequenas centrais dispersas pela rede urbana, com pouca segurança no fornecimento. Posteriormente, elas foram substituídas por outras de corrente alternada, que permitem o uso de transformadores com os quais se tornou possível e fácil a elevação de tensão, possibilitando o transporte a grandes distâncias. Essa substituição permitiu a interconexão das redes, tornando assim o fornecimento de energia elétrica mais confiável. Começa então o uso crescente de eletricidade nos edifícios e residências.

À medida que os problemas técnicos foram sendo resolvidos, a energia elétrica foi penetrando nas atividades humanas e substituindo as outras formas de energia. Isso ocorreu pela facilidade de sua geração, proveniente de diversas fontes de energia como: mecânica, térmica, nuclear radiante e química, o seu transporte por meio de condutores elétricos à enorme distância com perdas relativamente pequenas e a facilidade de seu uso, fazendo da eletricidade um tipo de energia com vantagens sobre as outras.

Atualmente, boa parte das atividades econômicas são movidas pela energia elétrica; o seu uso e versatilidade se faz tanto maior quanto maiores forem os recursos técnicos e financeiros dos países. O consumo de energia elétrica constitui-se de um verdadeiro índice indicativo do desenvolvimento de uma nação.

Com base na lei da Física, “nada se perde, tudo se transforma”; segundo COSTA (1991), energia elétrica tem sua geração proveniente de outros tipos de energia. No Brasil, a riqueza em potenciais hídricos fez com que, praticamente todos os sistemas de produção de energia elétrica em operação, fossem constituídos por centrais hidrelétricas.

2.3.2 Perfil da Demanda de Energia no Brasil

Segundo o Ministério de Minas e Energia - MME, o Balanço Energético Nacional 2006 - Ano base 2005, é uma versão consolidada dos principais parâmetros da oferta e do consumo de energia no Brasil, sumariando os resultados de produção, transformação e consumo de energia no ano de 2005, bem como dos recursos, reservas e capacidades instaladas e da autoprodução de energia elétrica no país (BRASIL, 2007).

Para contextualizar a apreciação desse macro indicador energético, bem como do detalhamento sobre a autoprodução de energia elétrica, o documento é iniciado com um capítulo que trata do comportamento da energia em 2005 e seu consumo no Brasil.

Partindo de informações agregadas de produção, oferta e consumo de energia relativos ao ano de 2005 e divulgadas por diversos agentes do setor, é possível, já nos primeiros meses de 2006, compor um quadro conciso que reflete o desempenho da Oferta Interna de Energia - OIE no Brasil no exercício anterior. Em termos agregados, a OIE em 2005 atingiu o montante de 218,7 milhões de toneladas equivalentes de petróleo, significando um crescimento de 2,3%, em relação a 2004. O agregado da oferta de derivados de petróleo apresentou um crescimento de 1,2% em 2005, com retração do consumo final de óleo diesel, de 0,8%, os consumos de gasolina automotiva, óleo combustível e outros derivados apresentaram, respectivamente, crescimentos de 0,2%, 0,9% e 5,3%. O consumo de eletricidade cresceu 4,2% no agregado, com destaque para o setor comercial e público. Os grandes destaques são o etanol e o gás natural, que apresentaram crescimento em seu consumo de 3,6% e 10,1%, respectivamente, com expansão nos setores de transporte e industrial. O setor industrial foi o maior responsável pelo aumento no consumo final de energia de 1970 a 2005. A participação do setor aumentou de 27,7%, em 1970, para 37,5%, em 2005. Em relação ao ano de 2004, o consumo de energia no setor industrial cresceu de $72,2 \times 10^6$ tep para $73,5 \times 10^6$ tep, representando um acréscimo de 1,3%.

O consumo do agregado derivado de petróleo pelo setor industrial apresentou uma elevação absoluta de 3,6% em 2005, mantendo-se em 15,8% do consumo de energia no setor. O consumo de energia elétrica cresceu 1,9% nesse setor no período, mantendo sua participação no total do setor industrial de 20,5%.

O crescimento da autoprodução de energia elétrica, nos 11 anos entre 1994 e 2005, significou uma taxa média de crescimento de 9,8% a.a., enquanto, no mesmo período, o consumo total de energia elétrica apresentou uma taxa média de crescimento de 3,8% a.a. As fontes primárias utilizadas nas centrais elétricas de autoprodução, que apresentaram maior crescimento no período desses 11 anos, foram o gás natural, com taxa média de crescimento de 23,6% a.a. e a energia hidráulica, com taxa média de crescimento de 13,0% a.a., enquanto a capacidade instalada de geração de energia elétrica total cresceu 3,3% entre 2004 e 2005, passando de 90,73 GW para 93,16 GW, a capacidade instalada de geração de energia elétrica em centrais elétricas auto produtoras cresceu 6,6%, passando de 6,63 GW para 7,06 GW, segundo BRASIL (2007).

O comportamento dos indicadores de ocupação e renda se reflete no consumo de energia do setor residencial, em particular no consumo de energia elétrica, como mostrado na Tabela 1. De fato, o consumo de energia elétrica da classe residencial passou de 78,6 TWh em 2004 para 83,2 TWh, um crescimento de 5,8%. Entretanto, este valor é ainda 0,5% inferior ao consumo da classe residencial no ano 2000 (igual a 83,6 TWh), anterior ao racionamento de energia elétrica.

Tabela 1 - Variação do consumo final de energia e perfil energético residencial Brasil 2004-2005

| Consumo Final de Energia | Unidade ¹ | 2004 | 2005 | % 05 / 04 ² |
|---------------------------------|-------------------------------------|---------|---------|------------------------|
| Consumo Final | 10 ⁶ tep | 191,2 | 195,9 | 2,5 |
| Derivados de Petróleo | 10 ⁹ bbl/dia | 1.841,5 | 1.863,8 | 1,2 |
| Gasolina | 10 ⁹ bbl/dia | 304,5 | 305,2 | 0,2 |
| Óleo Diesel | 10 ⁹ bbl/dia | 701,0 | 696,6 | -0,6 |
| Óleo Combustível | 10 ⁹ bbl/dia | 127,9 | 130,6 | 2,2 |
| Querosene de Aviação | 10 ⁹ bbl/dia | 49,2 | 53,5 | 8,9 |
| Eletricidade Total | TWh | 359,6 | 375,2 | 4,3 |
| Eletricidade Industrial | TWh | 172,1 | 175,4 | 1,9 |
| Eletricidade Residencial | TWh | 78,6 | 83,2 | 5,8 |
| Eletricidade Comercial | TWh | 50,1 | 53,5 | 6,8 |
| Etanol | 10 ⁹ bbl/dia | 229,0 | 241,1 | 5,3 |
| Gás Natural | 10 ⁶ m ³ /dia | 53,3 | 57,5 | 7,9 |
| Perfil Energético Residencial | Unidade | 2004 | 2005 | % 05 / 04 ² |
| Residências com Eletricidade | % | 96,8 | 97,2 | 0,4 |
| Residências com GLP/Gás Natural | % | 97,5 | 97,5 | 0,0 |

¹ A unidade é: bbl/dia = barril por dia.

² Variação entre os anos 2004 e 2005.

Fonte: BRASIL (2007).

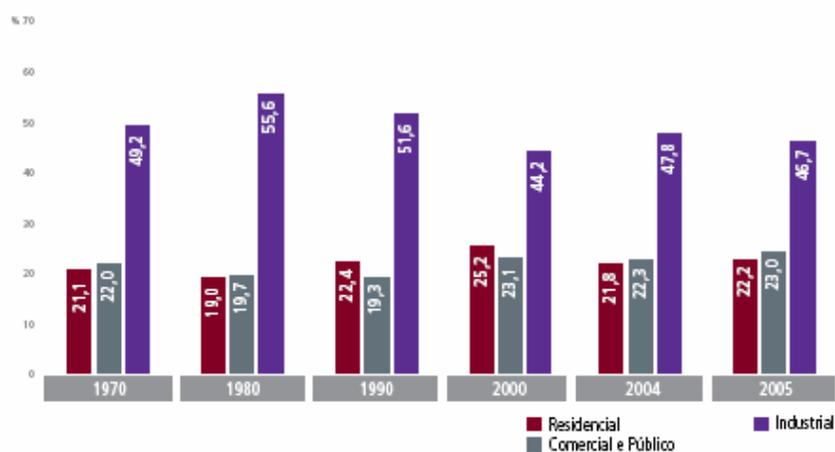


Figura 1 - Consumo total de energia elétrica - Brasil - 1970-2005.

Fonte: BRASIL (2007).

A variação de consumo de energia no Brasil mostra que, com o decorrer dos anos, especialmente depois da revolução industrial ocorrida em 1970, houve um aumento 6,4% até o ano de 1980 no consumo industrial; Sabe-se que existem outras fontes de energia renováveis, diminuindo assim, cada vez mais, o consumo de energia industrial. O consumo da energia comercial e residencial oscila em função da demanda dos usuários, mas em compensação está bastante equilibrada, pois tem sido utilizado o gás natural e a energia solar para substituição da energia elétrica.

Segundo GHISI *et al.* (2007), o consumo de eletricidade residencial no Brasil teve um aumento de 39 Twh a 84 Twh por ano, entre 1987 a 2000 e a região sul e sudeste são as principais responsáveis por esse aumento. O crescimento foi de 6,1% ao ano. Nesse estudo, ele observou as variações do consumo de energia em função de zonas bioclimáticas no Brasil. Para o consumo de energia nas regiões quentes como Norte e Nordeste, localizados na zona 8, observou-se uma variação, com o uso do ar condicionado, de 0,14 a 0,28 kWh/dia e na zona 2, região fria, como o sul do Brasil observou-se uma variação de consumo de energia de 0,02 kWh/dia.

2.4 USO DE DADOS DE GRAUS-DIA NA DETERMINAÇÃO DE ENERGIA.

Os cálculos de consumo de energia, para as quatro estações do ano, são de importância vital em qualquer projeto de construção para fins de aquecimento ou resfriamento. Existem simulações em computadores, baseadas no princípio da termodinâmica, que são resolvidos numericamente pela consideração inicial e condições limiars adicionadas à geometria arquitetônica dos espaços utilizáveis da residência. Contudo, seus usos requerem uma série de observações, que não são dados muito reais em aplicações práticas, porque as condições climáticas não são previsíveis com a segurança necessária. Em geral, o consumo de energia de

uma residência depende de três componentes complementares: condições climáticas externas, *design* da arquitetura e tipo de material utilizado na execução da obra. Os dois últimos componentes são bem mais determinantes e controláveis. Porém, as condições climáticas são dependentes da natureza e não controláveis de nenhuma forma confiável. Sendo assim, são as condições climáticas que geram ingredientes incertos, até mesmo nos níveis de cálculos requisitados. Conseqüentemente, os cálculos médios de requerimento de energia são adotados por alocações de fontes de energia. Deve-se enfatizar que neste estágio a média da temperatura de graus-dia não constitui precisamente uma avaliação do impacto de massa térmica.

O método graus-dia de cálculo da energia é baseado no princípio que as perdas de energia da construção são proporcionais às diferenças de temperatura interna e externa. A energia é adicionada ou retirada da construção quando há perda para manter as condições ideais de conforto no ambiente durante as estações frias e quentes (DUFFIE; BECKMAN, 1991).

De acordo com DURMAYAZ, KADIOGLU e SEN (2000) e SAILOR e PAVLOVA (2003), o número total de graus-dia de aquecimento pode ser expresso pela equação:

$$ED = \sum_{0}^{n} (T_b - T_o)$$

Em que: “Ti” ou “Tb” são as temperaturas internas ou base adotadas e “To” é a temperatura média das temperaturas externas medidas em uma estação meteorológica. Portanto, graus-dia de aquecimento são calculados quando “To < Tb” e de resfriamento “To > Tb”.

A temperatura base corresponde aos requisitos de conforto humano e varia de um lugar para outro, o que afeta a data inicial da construção da estação quente. Em geral, também é possível ajustar a temperatura dentro de cada intervalo de tempo como desejado, mas, em estudos práticos, é adotada mais

freqüentemente como uma constante. A base e o desenho interno de temperaturas aéreas, que são mantidas constantes, são usados na Alemanha como $T_b = 15^\circ\text{C}$ e $T_i = 20^\circ\text{C}$, juntamente com uma série de T_o , variando seu tempo para este estudo. Usando essa consideração, uma soma detalhada do conceito de graus-dia é apresentada por DURMAYAZ, KADIOGLU e SEN (2000).

Segundo SARAÇ e SATMAN (2003), o Método de Graus-dia foi usado para determinar o consumo de gás natural para aquecimento residencial na Turquia. Nesse estudo foram escolhidas cidades localizadas próximas aos gasodutos já existentes, em construção ou planejados. Graus-dia, população e registros da distribuição dos moradores dessas cidades foram utilizados para estimar a demanda por gás natural nacional. O estudo indicou que o consumo potencial na Turquia, em 2023, poderá ser de até $14,92 \text{ Gm}^3$ se 100% das residências usarem gás natural para aquecimento. Os resultados permitem localizar a distribuição de demanda de energia e identificar as áreas nas quais o consumo é maior. O método estimativo foi validado com sucesso pela comparação com dados reais de consumo de gás natural para o aquecimento no inverno na Turquia.

Na Turquia, o aquecimento, visando o conforto, é feito por meio de aquecimento a gás, ao passo que no Brasil é por ar condicionado.

A demanda por energia da Turquia tem aumentado rapidamente devido a fatores como industrialização e o rápido aumento da população. Numa tentativa de assegurar fatores adicionais de energia, em 1984, foi assinado um acordo prevendo o suprimento de gás natural entre os governos da Turquia e da antiga União Soviética. A primeira linha de distribuição, vinda da fronteira da Bulgária e se estendendo até Ankara, foi construída em 1988. As cinco cidades ao longo da rota, Istanbul, Izmit, Bursa, Eskisehir e Ankara, foram ligadas à linha de distribuição em um período de 8 anos. Dessa forma, em dezembro de 2001, cerca de 2,6 milhões de usuários dessas cidades são beneficiados com o suprimento de gás natural.

A Turquia consumiu 15,5 Gm³ de gás natural em 2001, aproximadamente 14% do consumo total de energia. O setor residencial consome 20% do gás natural. O setor de geração de energia consome a maior parcela: 55%. De acordo com as projeções da Companhia de Energia da Turquia - BOTAS, a demanda por gás pode chegar a 55 Gm³ em 2010 e 82 Gm³ em 2020. O fornecimento de gás vai aumentar verticalmente nos próximos 20 anos. A BOTAS faz projeções em que a demanda por gás natural do setor residencial será de 12% do total de gás consumido em 2020. Aumentará dos atuais 3 Gm³ para 9,8 Gm³ nos próximos 20 anos. Um extenso sistema de gasoduto estará sendo desenvolvido para garantir a disponibilidade do gás aos usuários em 57 cidades e espera-se que estejam concluídos até 2005.

MARTINAITIS (1998) apresentou dados sobre graus-dia, os quais são dados climáticos de históricos climáticos da Lituânia, arquivados durante um período de vários anos, em 20 cidades, localizadas em 5 diferentes zonas climáticas na Arábia Saudita. A informação e os dados apresentados no trabalho foram úteis para muitos engenheiros e pesquisadores do campo da conservação de energia em edifícios. Também a necessidade de dispositivos de dados climáticos em um formato útil para cálculos de energia dinâmica foi enfatizando. Observou também que para temperaturas altas o graus-dia é maior e para baixas temperaturas a carga de resfriamento no verão é menor porque ela depende do graus-dia.

SAID, HABIB e IQBAL (2003) descrevem um método para o cálculo de graus-dia como meio de duração-função da temperatura aérea cumulativa, proposta para o aquecimento estacional, conjuntamente regulando a temperatura que determina os limites de aquecimento estacional nessa função. Os resultados dos cálculos recebidos sob o clima Lituânio foram comparados com os dados atuais. Os resultados dos cálculos mensais de graus-dia recebidos sem regular o limite das temperaturas dentro da função, têm sido comparados com os métodos de cálculos de outros pesquisadores. O método provou ser aceitável e útil em

resolver problemas de consumo de energia, em relação ao do tempo de vida do edifício.

Os requisitos para aquecedores de estações frias em residências podem ser estimados com o método "Graus-Horas", nos níveis de conforto humano e gravação de temperaturas meteorológicas disponíveis para determinadas áreas. Segundo STATHOPOULOU (2006), tais estimativas são especialmente significantes para cidades cujo consumo de combustível fóssil deve ser eliminado, em favor de alternativas mais limpas de energia, para reduzir a poluição.

Tradicionalmente, graus-dia de aquecimento são calculados a uma temperatura base de 18°C e graus-dia de resfriamento são determinados a uma temperatura base de 22°C para uma residência típica e não ensolarada. Contudo, o valor médio de T_b varia amplamente de uma residência para outra, devido à grande diferenciação pessoal de preferências pelo controle do termostato e do reajuste do termostato em função de diferentes características das residências, tais como: insolação termal, vazamento de gás e ganhos solares. Assim, graus-dia com uma temperatura base de 18°C em aquecimento ou 22°C em resfriamento devem ser empregados com precaução.

A temperatura base tradicionalmente usada tem sido questionada por vários autores. SAID, HABIB e IQBAL (2003) descobriram que uma temperatura base de aquecimento na escala de 18°C a 21°C é aceitável na Arábia Saudita, dependendo do seu nível de insolação. A temperatura base de resfriamento recomendada fica entre 23°C e 25,5°C para residências sem insolação e entre 25,5°C e 27,8°C para residências bem ensolaradas. KODAH e SHAAWARI (2003) citados por SAID, HABIB e IQBAL (2003) recomendam que uma temperatura base de aquecimento de 15,5°C na Jordânia é apropriada. Badescu e Zamfir (2003) citados por SAID, HABIB e IQBAL (2003) relatam que uma temperatura base de 18°C para cálculos de graus-dia de aquecimento é apropriada para salas-de-estar e banheiros na Romênia.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Esta pesquisa nasceu da observação dos problemas de conforto térmico vivenciado no cotidiano das residências da região de Cascavel - PR. A seguir, foram descritos os procedimentos metodológicos que a nortearam, quais sejam: caracterização da pesquisa, delimitação do tema, pesquisa bibliográfica e documental, técnicas de coleta de dados e técnicas de análise e interpretação dos dados.

A etapa inicial do trabalho foi o levantamento bibliográfico abordando o assunto proposto, o método simples de estabelecer a análise de energia nas construções pelo Método Graus-dia, por meio de consulta a bibliotecas universitárias e municipais, em material cedido pelo Departamento de Engenharia da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, e, ainda, em pesquisas na Internet, em busca de informações complementares.

3.1 O MÉTODO GRAUS-DIA DE AQUECIMENTO E RESFRIAMENTO

O método graus-dia é o mais conhecido e simples método usado na indústria de aquecimento e resfriamento, para estimar o consumo de energia de aquecimento e resfriamento. Dados climáticos precisos e confiáveis são cruciais para simulações de energia e análises em edificações residenciais. Os dados climáticos usados em análises de energia determinam a precisão e as características dos resultados. Assim, o banco de dados usado em uma análise de energia deveria cobrir um longo período e depende de valores recentes. Neste

estudo, temperaturas externas mínimas e máximas de anos recentes foram usadas para a determinação dos graus-dia de resfriamento e aquecimento para as cidades de Cascavel, Curitiba, Foz do Iguaçu e Londrina, todas do estado do Paraná.

Foram utilizados dados de temperaturas média diárias, medidos durante 9 anos. Cinco temperaturas bases diferentes, entre 14°C e 22°C foram escolhidas no cálculo dos graus-dia de aquecimento. No caso dos graus-dia de resfriamento, 6 diferentes temperaturas bases na escala de 18°C a 28°C foram usadas.

As temperaturas aéreas externas registradas na estação meteorológica da SIMEPAR, durante o período de 1997 a 2006, foram usadas para calcular o significado horário sobre os anos em questão de temperaturas aéreas externas, (T_o) para cada dia na estação quente. Para cada hora do dia, as variações do total de duração e dos números totais de graus-dia de aquecimento na estação quente fornecida e, horariamente, a temperatura média em áreas externas sobre a estação quente.

A análise de energia desempenha um papel importante no desenvolvimento de um projeto otimizado para uma edificação residencial e até mesmo de um edifício. Contudo existem diferentes métodos de análise de energia, que variam em complexidade. O método graus-dia é o mais simples. Os requisitos mensais/anuais de resfriamento e aquecimento de residências, específicos em diferentes localizações, podem ser estimados por meio do conceito de graus-dia. O método presume que as energias necessárias para uma residência são proporcionais à diferença entre a temperatura do meio (ambiente) e a temperatura base. A temperatura base é a temperatura interna abaixo ou acima, cujo aquecimento ou resfriamento é necessário.

Graus-dia de aquecimento - *HDD* podem ser determinados usando a seguinte expressão:

$$HDD = \sum_{0}^n (T_b + T_m) + \quad (01)$$

Em que T_b é a temperatura base e T_m é a temperatura média diária externa. Graus-dia de resfriamento - *CDD* e podem ser calculados de maneira análoga:

$$CDD = \sum_{0}^n (T_m - T_b) + \quad (02)$$

O sinal positivo acima, entre os números nas equações 01 e 02 indicam que somente as diferenças positivas devem ser somadas, o n é igual ao número de dias.

Os resultados foram apresentados no formato de tabelas e gráficos. Foram feitas partições anuais, mensais e sazonais, sendo estes dados de inverno, outono, primavera e verão, para o cálculo de *HDD* e *CDD*.

3.2 DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE TOTAL DE PERDA DE CALOR (L)

O coeficiente total de perda de calor depende da arquitetura da construção e dos materiais utilizados. Este estudo tomou como base a residência convencional, localizada no Laboratório de Análise de Sistemas Alternativos de Energia no *campus* da UNIOESTE, no Bairro Universitário, em Cascavel – PR. Presume-se que a temperatura interna de $T_b = 22^{\circ}\text{C}$ é mantida em cada espaço da residência. A dimensão externa da residência tem uma área de $51,23 \text{ m}^2$, altura de $2,70 \text{ m}$ e o volume de fachada externa no valor de $V=138,32 \text{ m}^3$.

Este trabalho considerou as cidades de Cascavel, Curitiba, Foz do Iguaçu e Londrina e apresentou um estudo detalhado para requerimentos práticos de energia e suas temperaturas médias. Como forma de avaliar o desempenho energético em edificações que já estejam construídas, decidiu-se por escolher a casa convencional de alvenaria com 51,23m², construída com tijolo deitado de 6 furos em Cascavel - Paraná, conforme Figura 2.

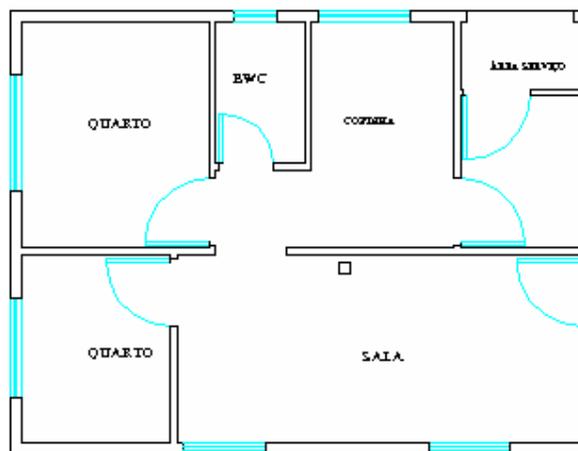


Figura 2 - Planta baixa da residência.

Nota: Desenho elaborado pela autora.

As propriedades físicas e térmicas dos materiais de construção da edificação residencial são mostradas na Tabela 2. Os valores fornecidos nesta tabela foram os dados-base para o cálculo do valor total da resistência termal para a laje, as paredes externas, o piso e as aberturas.

Tabela 2 - Propriedades físicas dos materiais

| ELEMENTO | ÁREA | MATERIAL | U - FATOR W/m ² K |
|------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------------------|
| Laje | 51,23m ² | Pré-moldado | 0,71 |
| Paredes externas | 138,32 m ³ | Tijolo 6 furos-argamassa | 0,86 |
| Aberturas | 20, 30, 40 e 50% | Vidro simples | 5,91 |
| | | Vidro duplo | 3,46 |
| Piso | 51,23 m ² | | 0,12 |

Fonte: DURMAYAZ, KADIOGLU e SEN (2000).

De acordo com ASHRAE (1997), ventilação natural é a corrente de ar externo formada pelo vento e pelas pressões térmicas por aberturas intencionais na edificação. As aberturas de ventilação natural incluem, especialmente, o projeto de aberturas internas e externas. A infiltração do nível de ar descontrolado é trocado por aberturas não-intencionais que ocorrem sob dadas condições, e a área de perda de ar é uma medida dos elementos de construção da edificação. Quanto maior a área de escape de ar de um edifício, maior é o seu grau de infiltração. Assumiu-se, para efeitos de cálculos do trabalho, que a média estacional de troca de ar por hora ITA (Índice de Troca de Ar), devido à ventilação e infiltração da edificação, pode ser, por exemplo, ITA = 0,5, ITA = 1,0, ITA = 1,5, ITA = 2,0. A área de aberturas de vidro A = 9,97 m², pode ser 20% (1,99 m²), 30% (2,99 m²), 40% (3,98 m²) e 50% (4,98 m²), da área total do exterior das paredes. O telhado, paredes externas e áreas de piso seguem: 51,23 m², 44,50 m² e o volume total da edificação é V = 138,32m³. Assim, o coeficiente total de perda de calor da edificação residencial L (W/°C), para vidros individuais simples e duplos, mas com a porcentagem da área vidrada variando das paredes exteriores, GAP e I são calculados como a equação 03:

$$L = \sum UA + I (\delta C_p) ar \times V/3,6 \quad (03)$$

Em que: U é o coeficiente global de transferência de calor, A é a área dos ambientes, V é o volume da construção interna, desde que a capacidade térmica

volumétrica do ar seja $(\delta C_p)_{ar} = 1,2 \text{ kJ/m}^3\text{K}$, em que δ é a densidade de energia e C_p é o calor específico.

3.3 DESEMPENHO ENERGÉTICO DA EDIFICAÇÃO.

Usando HDD e CDD, o consumo anual de energia para aquecimento (Q_h) e os requisitos anuais de resfriamento (Q_c), podem ser calculados, respectivamente, como:

$$Q_h = L \times \text{HDD} \times \frac{24}{1000} \quad (04)$$

$$Q_c = L \times \text{CDD} \times \frac{24}{1000} \quad (05)$$

Em que: Q_h e Q_c resultados são dados em kWh.

Mesmo que a análise de dados climáticos para o projeto de sistemas de aquecimento, resfriamento e cálculos de consumo de energia tenha sido completada há vários anos, para países desenvolvidos, este assunto só recentemente tem sido considerado na Turquia. Os estudos de dados climáticos na Turquia iniciaram-se com a construção de edifícios modernos, comerciais e domésticos, o início do uso do gás natural e em função de uma possível crise de energia. Contudo, alguns estudos independentes têm sido executados nos últimos anos para compilar dados climáticos, porém ainda não existem bancos de dados bem estabelecidos e confiáveis que possam ser usados diretamente por *designers* e gerentes de energia.

Nem todas as cidades do Estado do Paraná foram consideradas nos estudos existentes e, em alguns estudos, os resultados foram baseados nos dados

obtidos durante um curto prazo de tempo (somente alguns anos) ou os dados medidos nos anos recentes não foram usados. Em alguns estudos, os resultados foram apresentados somente por uma temperatura base.

A necessidade de preencher as lacunas nos dados climáticos para as quatro maiores cidades do estado do Paraná proporcionou o estímulo para este projeto que inclui a produção de dados de projeto, graus-dia e armazenamento de dados para aquecimento e resfriamento. Neste trabalho, foram relatados os resultados do estudo de graus-dia.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 PARTIÇÃO ANUAL DE HDD E CDD

Utilizando as equações 01 e 03, de graus-dia de aquecimento e resfriamento anual para várias temperaturas bases foram obtidos, para cada cidade, no período de 1997 a 2006 os valores mostrados na Tabela 3.

Tabela 3 - Graus-dia de temperatura média anual - HDD

| TEMPERATURA | HDD | | | | | |
|---------------|----------|--------|--------|---------|---------|----|
| | MÉDIA °C | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 |
| LONDRINA | 1,93 | 36,02 | 187,09 | 470,37 | 894,34 | |
| CASCADEL | 4,58 | 62,35 | 270,23 | 604,84 | 1070,37 | |
| FOZ DO IGUAÇU | 0,00 | 13,26 | 114,18 | 349,36 | 704,33 | |
| CURITIBA | 89,11 | 351,78 | 748,91 | 1246,73 | 1867,11 | |

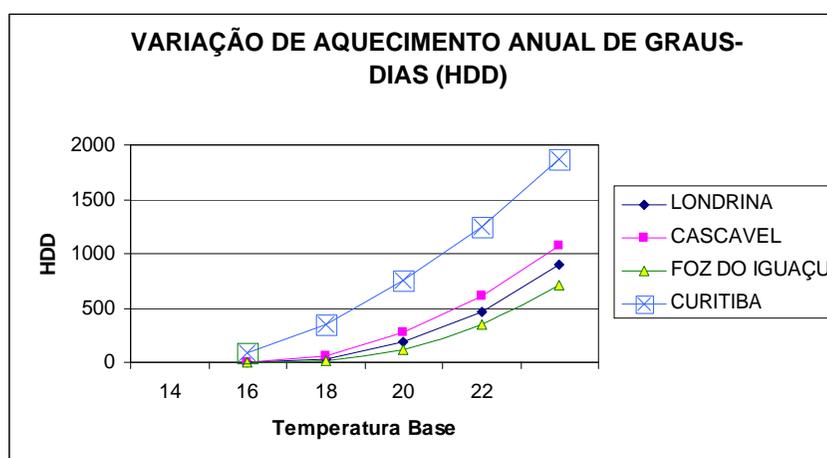


Figura 3 - Variação de aquecimento anual.

A Tabela 3 mostra o aquecimento anual de graus-dia com 14°C, 16°C, 18°C, 20°C e 22°C de temperaturas base. Como pode ser verificado na Figura 3, diferenças significativas entre os valores de graus-dia de aquecimento para diferentes localizações são evidentes para a mesma temperatura base. Por exemplo, o graus-dia de aquecimento anual para Foz do Iguaçu é de 114,18, enquanto para Curitiba é de 748,91, numa temperatura base de 18°C. Isto mostra que uma edificação em Curitiba precisa de 6,56 vezes mais energia de aquecimento que uma edificação localizada em Foz do Iguaçu, ambas tendo as mesmas características. SAID, HABIB e IQBAL (2003) determinaram para a cidade de Turoif, na Turquia, com uma temperatura base de 18°C obteve graus-dia de aquecimento anual de 2122. Observou-se que esse dado está próximo da temperatura base de 22°C para a cidade de Curitiba. Pode-se observar que a cidade de Turoif tem temperaturas médias anuais menores nas estações que necessitam de aquecimento.

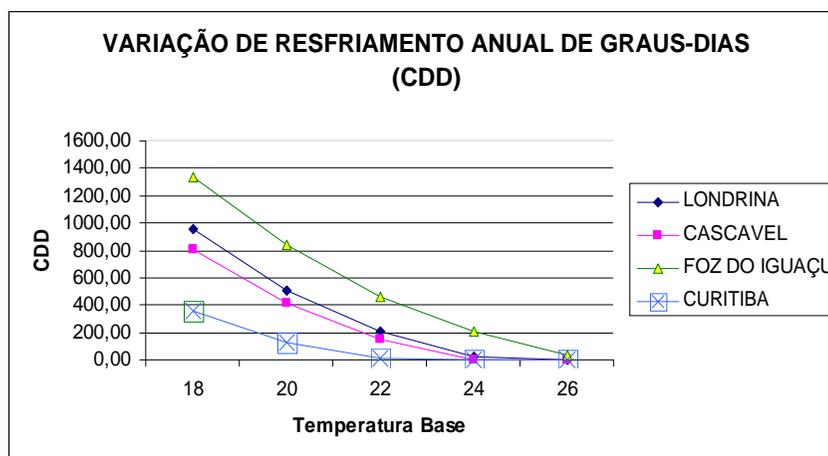
O resfriamento anual de graus-dia para temperaturas bases de 18°C, 20°C, 22°C, 24°C, 26°C e 28°C para 4 cidades do Paraná, estudadas nesta pesquisa, é mostrado na Tabela 4. A análise da Figura 4 revela que há diferenças significantes entre os valores de graus-dia de resfriamento para diferentes cidades na mesma temperatura base, enquanto que a necessidade de resfriamento em Cascavel e Curitiba é menor.

Observou-se que a necessidade de resfriamento é menor para Curitiba e Cascavel e maior para a cidade Foz do Iguaçu com um valor de graus-dia de resfriamento de 464,82 a uma temperatura base de 22°C.

Observou-se na Tabela 4 que, para temperatura base de 24°C, não há necessidade de resfriamento para cidades como Cascavel e Curitiba, ou seja, um gasto mínimo de energia. SAID, HABIB e IQBAL (2003) determinaram para a cidade de Turoif, na Turquia com uma temperatura base de 18°C obteve graus-dia de resfriamento anual de 2736 e, nessa mesma temperatura base, verificou-se que Foz do Iguaçu aproxima-se deste valor.

Tabela 4 - Graus-dia de temperatura média anual - CDD

| TEMPERATURA | CDD | | | | | | |
|---------------|----------|--------|--------|--------|-------|------|-------|
| | MÉDIA °C | 18 | 20 | 22 | 24 | 26 | 28,00 |
| LONDRINA | 958,51 | 509,79 | 201,77 | 18,24 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| CASCABEL | 808,70 | 411,31 | 144,84 | 3,90 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| FOZ DO IGUAÇU | 1338,67 | 841,85 | 464,82 | 206,32 | 36,52 | 0,00 | 0,13 |
| CURITIBA | 355,37 | 121,20 | 9,58 | 1,29 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

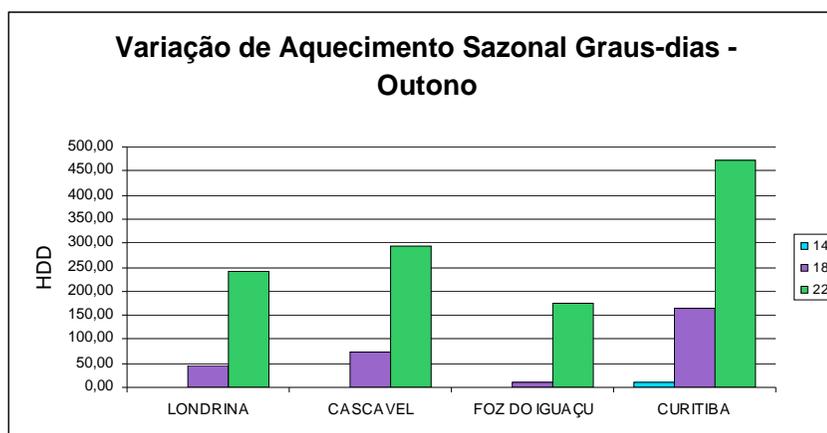
**Figura 4 -** Variação de resfriamento anual.

4.2 PARTIÇÃO SAZONAL DE HDD E CDD

Com os dados de temperaturas médias, utilizando-se as equações 01 e 02 para calcular o HDD e o CDD para cada estação do ano entre 1997 e 2006, obtendo-se os resultados mostrados na Tabela 5 e Figura 5.

Tabela 5 - Graus-dia de temperatura aquecimento - Outono

| TEMPERATURA | HDD | | | | | |
|---------------|----------|-------|--------|--------|--------|----|
| | MÉDIA °C | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 |
| LONDRINA | 0,00 | 3,37 | 44,61 | 132,36 | 241,79 | |
| CASCADEL | 0,00 | 8,30 | 72,17 | 172,69 | 294,09 | |
| FOZ DO IGUAÇU | 0,00 | 0,00 | 10,60 | 72,16 | 175,09 | |
| CURITIBA | 9,24 | 72,37 | 164,48 | 294,22 | 472,78 | |

**Figura 5** - Variação de aquecimento - Outono.

A Figura 5 mostra as variações de graus-dia de aquecimento no Outono com as temperaturas bases de 14, 18 e 22°C. Verificou-se que a cidade de Curitiba tem maior necessidade de aquecimento, por estar com temperaturas médias menores que as temperaturas bases convencionais.

Tabela 6 - Graus-dia de temperatura resfriamento - Outono

| TEMPERATURA | CDD | | | | | | |
|---------------|----------|--------|--------|-------|-------|------|------|
| | MÉDIA °C | 18 | 20 | 22 | 24 | 26 | 28 |
| LONDRINA | | 214,37 | 116,12 | 39,54 | 0,28 | 0,00 | 0,00 |
| CASCADEL | | 170,28 | 84,80 | 20,21 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| FOZ DO IGUAÇU | | 284,15 | 159,71 | 76,64 | 18,86 | 0,00 | 0,00 |
| CURITIBA | | 63,70 | 7,44 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

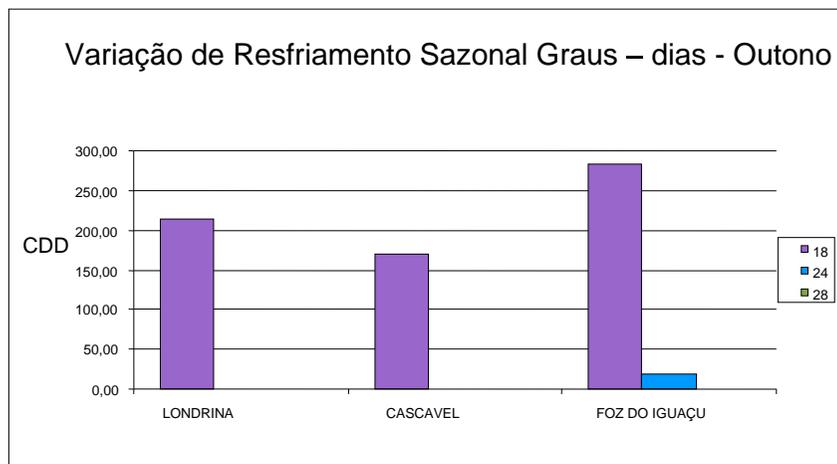


Figura 6 - Variação de resfriamento - Outono.

Na Tabela 6 observa-se que, no outono, o valor de graus-dia aumenta com a diminuição da temperatura base. Verificou-se que, quanto mais SE aproxima do inverno, as edificações tornam-se mais frias, por isso a importância da utilização de materiais de construção adequados. Assim, atendendo às exigências de conforto térmico na arquitetura e na engenharia, assumindo significativa importância durante o processo de projeto, em especial, nas etapas de parte geral, estudo preliminar, deve-se buscar o melhor relacionamento clima e edificação.

Tabela 7 - Graus-dia de temperatura aquecimento - Inverno

| TEMPERATURA | HDD | | | | | |
|---------------|----------|-------|--------|--------|--------|--------|
| | MÉDIA °C | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 |
| LONDRINA | | 1,93 | 32,65 | 141,77 | 317,13 | 505,13 |
| CASCADEL | | 4,58 | 54,06 | 192,88 | 379,34 | 567,34 |
| FOZ DO IGUAÇU | | 0,00 | 13,26 | 102,11 | 263,76 | 447,94 |
| CURITIBA | | 77,78 | 248,53 | 436,53 | 624,53 | 812,53 |

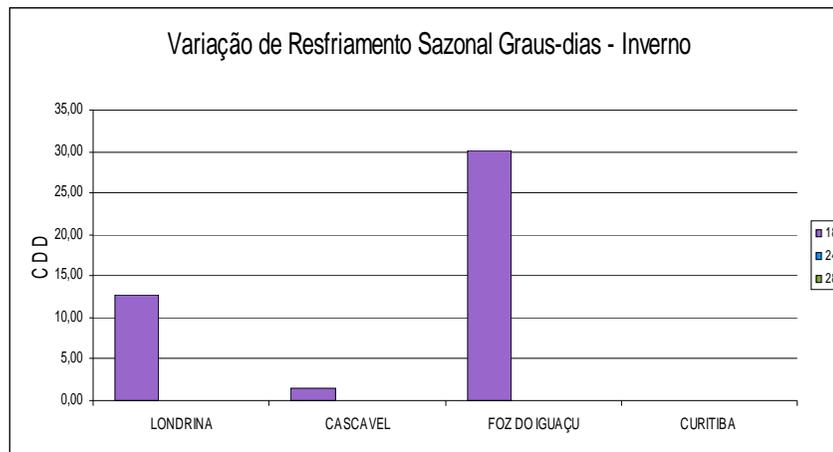


Figura 8 - Variação de resfriamento - Inverno.

Observa-se na Tabela 9, os graus-dia de aquecimento para a primavera, período que começa a ter temperaturas amenas e com pouca variação, dependendo do projeto arquitetônico. Nesta época poucas edificações estarão propícias a aquecimento alternativo.

Tabela 9 - Graus-dia de temperatura aquecimento - Primavera.

| TEMPERATURA | HDD | | | | | |
|---------------|-------|-------|--------|--------|--------|----|
| | MÉDIA | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 |
| LONDRINA | 0,00 | 0,00 | 0,71 | 20,88 | 140,45 | |
| CASCADEL | 0,00 | 0,00 | 5,17 | 51,97 | 196,66 | |
| FOZ DO IGUAÇU | 0,00 | 0,00 | 1,46 | 13,44 | 81,09 | |
| CURITIBA | 2,10 | 30,89 | 145,47 | 311,06 | 489,04 | |

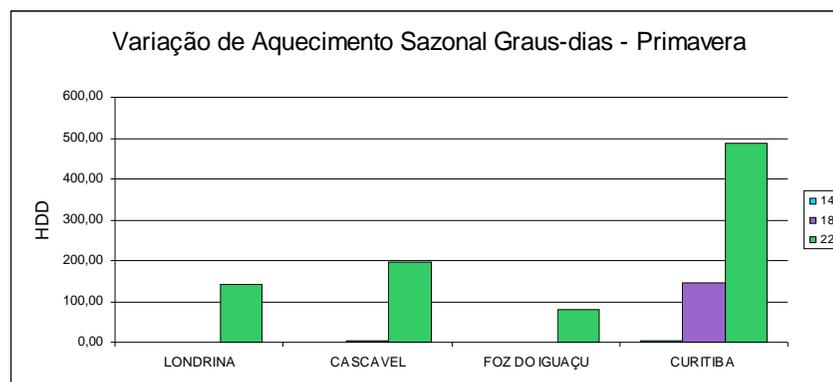
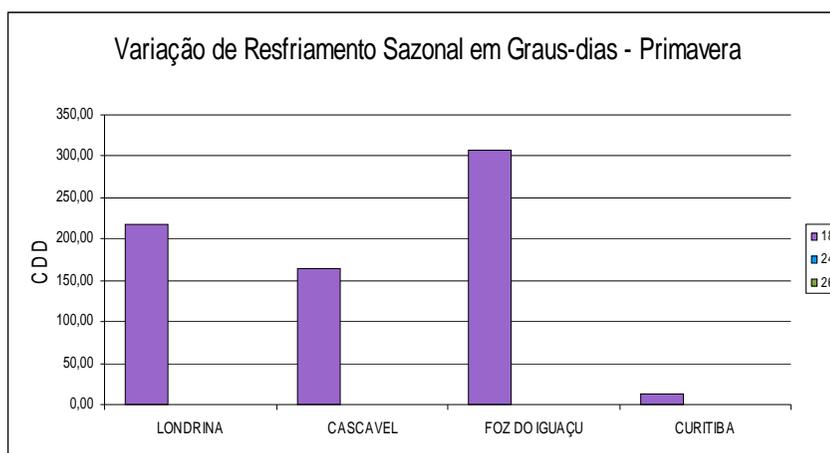


Figura 9 - Variação de aquecimento - Primavera.

Tabela 10 - Graus-dia de temperatura resfriamento - Primavera

| TEMPERATURA | CDD | | | | | | |
|---------------|----------|--------|-------|------|------|------|------|
| | MÉDIA °C | 18 | 20 | 22 | 24 | 26 | 28 |
| LONDRINA | 218,09 | 60,26 | 1,83 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| CASCADEL | 164,77 | 33,57 | 0,26 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| FOZ DO IGUAÇU | 306,53 | 140,51 | 30,16 | 0,46 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| CURITIBA | 12,42 | 0,02 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

Observou-se na Tabela 10 que, na primavera, não há necessidade de resfriamento para cidades como Cascavel, Curitiba e Londrina. Isso porque é uma estação amena, em termos de temperatura.

**Figura 10** - Variação de resfriamento - Primavera.

No verão, observa-se na Tabela 11, que se a temperatura base foi reduzida, as funções do termostato deveriam ser aplicadas ao edifício e infiltrações de ar deveriam ser minimizadas, assim haveria melhor conforto térmico dentro das edificações. Outro fator que afeta o valor da temperatura base é a radiação solar. As edificações deveriam ser construídas de maneira que recebessem a máxima radiação solar possível durante a estação quente e duração mínima durante a estação fria. A redução na temperatura base de 18 para 16° C diminui o aquecimento de graus-dia. Esse seria o melhor método a ser utilizado

para a estação mais quente, como a de verão. Assim, a melhoria seria refletida para todas as estações do ano.

Tabela 11 - Graus-dia de temperatura aquecimento - Verão

| TEMPERATURA | HDD | | | | | |
|---------------|----------|------|------|-------|-------|-------|
| | MÉDIA °C | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 |
| LONDRINA | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 6,98 |
| CASCADEL | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,84 | 0,84 | 12,27 |
| FOZ DO IGUAÇU | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,21 |
| CURITIBA | 0,00 | 0,00 | 2,43 | 16,93 | 16,93 | 92,76 |

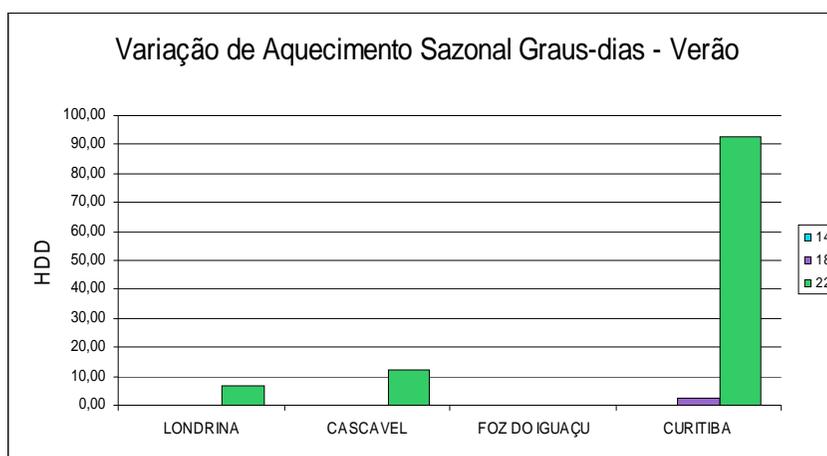


Figura 11 - Variação de aquecimento - Verão.

Tabela 12 - Graus-dia de temperatura resfriamento - Verão

| TEMPERATURA | CDD | | | | | |
|---------------|----------|--------|--------|--------|-------|------|
| | MÉDIA °C | 18 | 20 | 22 | 24 | 26 |
| LONDRINA | 513,41 | 333,41 | 160,39 | 17,96 | 0,00 | 0,00 |
| CASCADEL | 472,10 | 292,94 | 124,38 | 3,90 | 0,00 | 0,00 |
| FOZ DO IGUAÇU | 717,82 | 537,82 | 358,02 | 187,00 | 36,52 | 0,13 |
| CURITIBA | 279,25 | 113,75 | 9,58 | 1,29 | 0,00 | 0,00 |

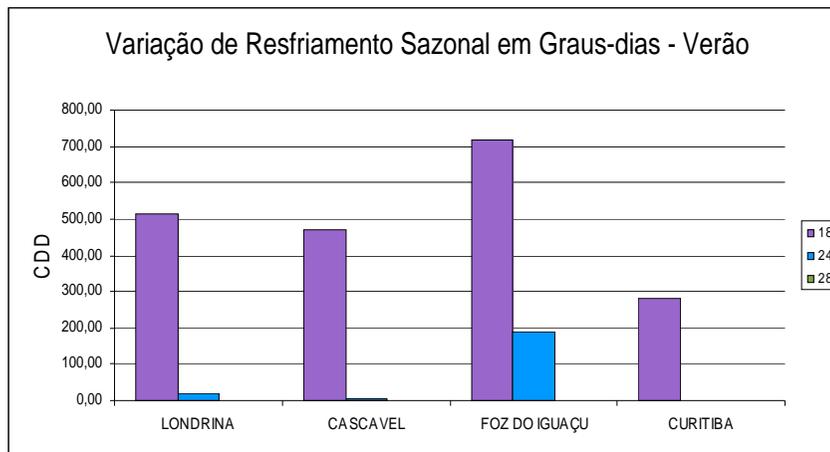


Figura 12 - Variação de resfriamento - Verão.

O valor de graus-dia de aquecimento e resfriamento é, geralmente, alto ou baixo para as cidades quando se leva em conta a altitude. MARTINAITIS (1998) observou que para altas temperaturas o graus-dia é maior, aumentando-se a carga de resfriamento no verão.

4.3 PARTIÇÃO MENSAL DE HDD E CDD

Com os mesmos dados agora somados por mês, usamos as equações 01 e 02, para calcular o HDD, entre 1997 a 2006. Com as mesmas temperaturas bases anteriores, foram obtidos dados e gráficos como se pode verificar na Tabela 13.

Tabela 13 - Temperatura aquecimento - Mensal

| TEMPERATURA | | HDD | | | | |
|-------------|---------------|---------------------|--------|--------|--------|--------|
| MÉDIA °C | | Temperatura Base °C | | | | |
| | | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 |
| JAN | LONDRINA | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| JAN | CASCADEL | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| JAN | FOZ DO IGUAÇU | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| JAN | CURITIBA | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 22,25 |
| FEV | LONDRINA | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| FEV | CASCADEL | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| FEV | FOZ DO IGUAÇU | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| FEV | CURITIBA | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 19,70 |
| MAR | LONDRINA | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| MAR | CASCADEL | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| MAR | FOZ DO IGUAÇU | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| MAR | CURITIBA | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,31 | 30,65 |
| ABR | LONDRINA | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 8,38 |
| ABR | CASCADEL | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,74 | 21,15 |
| ABR | FOZ DO IGUAÇU | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 3,43 |
| ABR | CURITIBA | 0,00 | 0,00 | 1,31 | 30,19 | 88,34 |
| MAI | LONDRINA | 0,00 | 0,00 | 10,88 | 58,63 | 119,68 |
| MAI | CASCADEL | 0,00 | 0,81 | 33,21 | 92,29 | 154,29 |
| MAI | FOZ DO IGUAÇU | 0,00 | 0,00 | 3,42 | 43,05 | 103,60 |
| MAI | CURITIBA | 0,28 | 27,55 | 78,34 | 138,90 | 200,90 |
| JUN | LONDRINA | 0,00 | 11,22 | 61,58 | 121,58 | 181,58 |
| JUN | CASCADEL | 0,00 | 9,90 | 55,42 | 115,10 | 175,10 |
| JUN | FOZ DO IGUAÇU | 0,00 | 0,03 | 12,09 | 50,56 | 109,52 |
| JUN | CURITIBA | 19,62 | 75,48 | 135,48 | 195,48 | 255,48 |
| JUL | LONDRINA | 1,93 | 23,45 | 80,64 | 142,64 | 204,64 |
| JUL | CASCADEL | 4,58 | 37,19 | 88,23 | 149,10 | 211,10 |
| JUL | FOZ DO IGUAÇU | 0,00 | 9,93 | 52,28 | 107,51 | 169,51 |
| JUL | CURITIBA | 46,66 | 108,31 | 170,31 | 232,31 | 294,31 |
| AGO | LONDRINA | 0,00 | 1,36 | 26,39 | 83,50 | 145,50 |
| AGO | CASCADEL | 0,00 | 11,01 | 59,37 | 120,96 | 182,96 |
| AGO | FOZ DO IGUAÇU | 0,00 | 2,33 | 32,41 | 92,87 | 154,87 |
| AGO | CURITIBA | 14,45 | 66,99 | 128,99 | 190,99 | 252,99 |
| SET | LONDRINA | 0,00 | 0,00 | 7,60 | 55,04 | 115,04 |
| SET | CASCADEL | 0,00 | 3,44 | 33,77 | 93,38 | 153,38 |
| SET | FOZ DO IGUAÇU | 0,00 | 0,97 | 13,98 | 52,74 | 108,92 |
| SET | CURITIBA | 8,11 | 58,94 | 118,94 | 178,94 | 238,94 |
| OUT | LONDRINA | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 5,23 | 57,14 |
| OUT | CASCADEL | 0,00 | 0,00 | 0,24 | 20,95 | 80,09 |
| OUT | FOZ DO IGUAÇU | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 2,63 | 36,07 |
| OUT | CURITIBA | 0,00 | 9,50 | 67,54 | 129,54 | 191,54 |
| NOV | LONDRINA | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 3,75 | 41,43 |
| NOV | CASCADEL | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 10,47 | 57,32 |
| NOV | FOZ DO IGUAÇU | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 18,21 |
| NOV | CURITIBA | 0,00 | 5,01 | 39,48 | 96,21 | 156,21 |
| DEZ | LONDRINA | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 20,95 |
| DEZ | CASCADEL | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,84 | 34,97 |
| DEZ | FOZ DO IGUAÇU | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,21 |
| DEZ | CURITIBA | 0,00 | 0,00 | 8,51 | 53,87 | 115,80 |

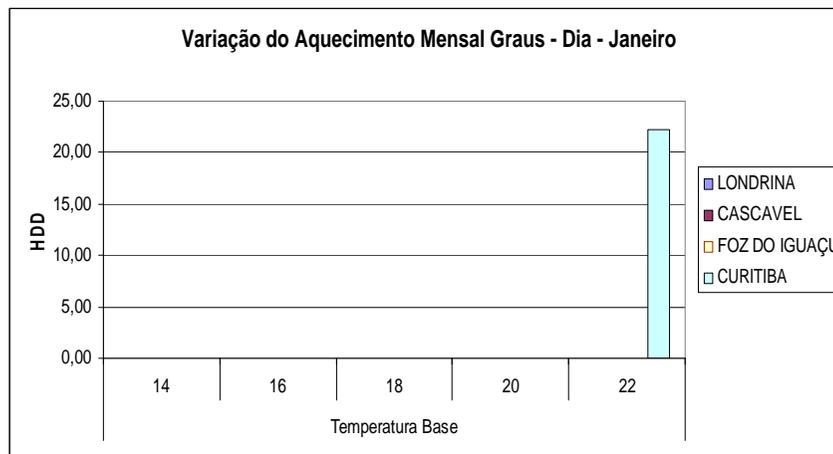


Figura 13 - Variação de aquecimento mensal - Janeiro.

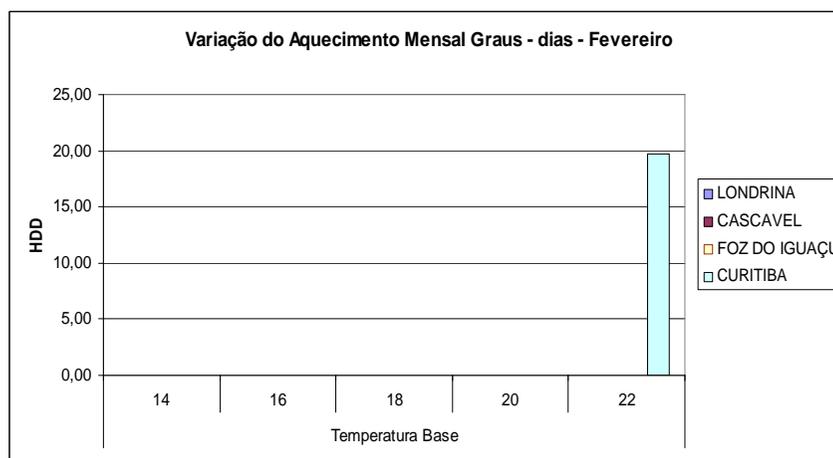


Figura 14 - Variação de aquecimento mensal - Fevereiro.

Nos meses de janeiro e fevereiro a única cidade que precisa ser aquecida, quando necessitar de uma temperatura superior a 22°C, é Curitiba, situação que decorre dos efeitos climáticos.

Pode-se verificar que até em meses de pleno verão as residências necessitam ser resfriadas. Sendo esta uma das maiores influências: a latitude, combinando-se sobre o aquecimento de graus-dia, com a diminuição da latitude referente às outras cidades estudadas como Cascavel, Foz do Iguaçu e Londrina as edificações precisam ser resfriada no decorrer desses dois meses. A influência de fatores climáticos ocorre também com as outras cidades estudadas.

Com os mesmos dados utilizaram-se as equações 01 e 02, para calcular o CDD, durante os mesmos anos, e com as mesmas temperaturas bases, foram obtidos dados e gráficos de resfriamento, como se pode observar na Tabela 14.

Tabela 14 - Temperatura resfriamento - Mensal

| TEMPERATURA | | CDD | | | | | |
|-------------|---------------|------------------|--------|--------|-------|-------|------|
| MÉDIA °C | | Temperatura Base | | | | | |
| | | 18 | 20 | 22 | 24 | 26 | 28 |
| JAN | LONDRINA | 187,69 | 125,69 | 63,69 | 6,38 | 0,00 | 0,00 |
| JAN | CASCADEL | 175,64 | 113,64 | 51,64 | 0,38 | 0,00 | 0,00 |
| JAN | FOZ DO IGUAÇU | 266,30 | 204,30 | 142,30 | 80,30 | 19,08 | 0,00 |
| JAN | CURITIBA | 101,88 | 39,88 | 0,13 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| FEV | LONDRINA | 169,46 | 111,46 | 53,46 | 4,69 | 0,00 | 0,00 |
| FEV | CASCADEL | 154,35 | 96,35 | 38,35 | 0,46 | 0,00 | 0,00 |
| FEV | FOZ DO IGUAÇU | 233,67 | 175,67 | 117,67 | 59,67 | 6,57 | 0,00 |
| FEV | CURITIBA | 97,74 | 39,74 | 1,44 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| MAR | LONDRINA | 185,97 | 123,97 | 61,97 | 7,09 | 0,00 | 0,00 |
| MAR | CASCADEL | 171,06 | 109,06 | 47,06 | 3,05 | 0,00 | 0,00 |
| MAR | FOZ DO IGUAÇU | 245,43 | 183,43 | 121,43 | 59,43 | 10,87 | 0,13 |
| MAR | CURITIBA | 101,36 | 39,67 | 8,01 | 1,29 | 0,00 | 0,00 |
| ABR | LONDRINA | 131,69 | 71,69 | 20,06 | 0,08 | 0,00 | 0,00 |
| ABR | CASCADEL | 106,39 | 48,13 | 7,54 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| ABR | FOZ DO IGUAÇU | 156,46 | 96,46 | 39,89 | 6,11 | 0,00 | 0,00 |
| ABR | CURITIBA | 32,97 | 1,85 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| MAI | LONDRINA | 15,20 | 0,95 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| MAI | CASCADEL | 2,91 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| MAI | FOZ DO IGUAÇU | 23,82 | 1,45 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| MAI | CURITIBA | 1,45 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| JUN | LONDRINA | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| JUN | CASCADEL | 0,31 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| JUN | FOZ DO IGUAÇU | 22,57 | 1,05 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| JUN | CURITIBA | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| JUL | LONDRINA | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| JUL | CASCADEL | 1,13 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| JUL | FOZ DO IGUAÇU | 6,77 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| JUL | CURITIBA | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| AGO | LONDRINA | 4,89 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| AGO | CASCADEL | 0,41 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| AGO | FOZ DO IGUAÇU | 1,54 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| AGO | CURITIBA | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| SET | LONDRINA | 12,55 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| SET | CASCADEL | 0,39 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| SET | FOZ DO IGUAÇU | 25,06 | 3,82 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| SET | CURITIBA | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

Continua...

Conclusão

| TEMPERATURA | | CDD | | | | | |
|-------------|--|------------------|--|--|--|--|--|
| MÉDIA °C | | Temperatura Base | | | | | |

| | | 18 | 20 | 22 | 24 | 26 | 28 |
|-----|---------------|--------|-------|-------|------|------|------|
| OUT | LONDRINA | 66,86 | 10,08 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| OUT | CASCADEL | 44,15 | 2,86 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| OUT | FOZ DO IGUAÇU | 88,03 | 28,66 | 0,10 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| OUT | CURITIBA | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| NOV | LONDRINA | 79,09 | 22,84 | 0,52 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| NOV | CASCADEL | 62,93 | 13,41 | 0,26 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| NOV | FOZ DO IGUAÇU | 110,89 | 50,89 | 9,10 | 0,32 | 0,00 | 0,00 |
| NOV | CURITIBA | 3,27 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| DEZ | LONDRINA | 105,10 | 43,10 | 2,05 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| DEZ | CASCADEL | 89,03 | 27,87 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| DEZ | FOZ DO IGUAÇU | 158,12 | 96,12 | 34,33 | 0,49 | 0,00 | 0,00 |
| DEZ | CURITIBA | 16,71 | 0,07 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

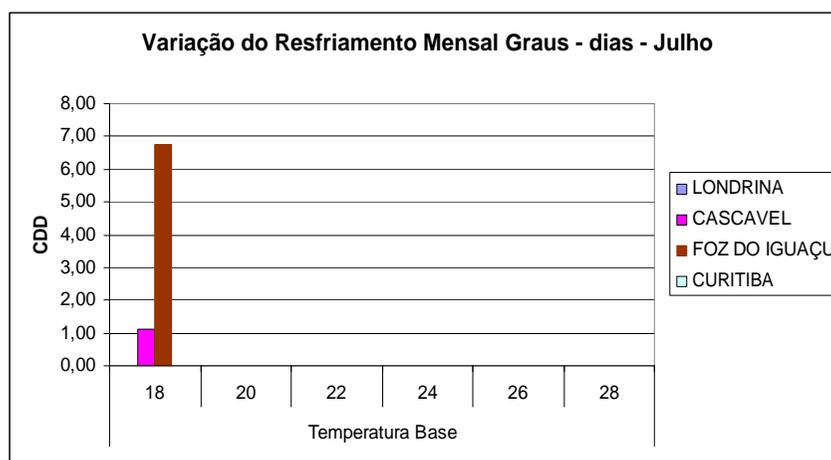


Figura 15 - Variação de resfriamento mensal - Julho.

O valor de graus-dia de resfriamento aumenta significativamente no mês de julho com a diminuição da temperatura base, como se pode verificar na Figura 15, sendo assim, as propriedades térmicas do edifício e hábitos deveriam ser alterados, para aumentar a temperatura base no interior das edificações. Aumentando-se a temperatura base acima da tradicionalmente usada: 22°C, diminuiu-se a necessidade de resfriamento para todas as cidades estudadas. Porém, um resfriamento bem insignificante é solicitado para a cidade de Foz do Iguaçu, especialmente por ter uma baixa altitude. Aumentar a temperatura base de 18 para 20°C resulta em, aproximadamente, 100% de queda nos graus-dia de resfriamento. Ocorre aumento nos graus-dia de resfriamento no mesmo nível,

quando a temperatura base é alterada para 22°C e assim, sucessivamente. Como pode ser visto na Tabela 14, o requerimento de resfriamento é essencialmente zero para todas as cidades estudadas; contudo, uma quantidade substancial de resfriamento é necessária para cada cidade.

4.4 COEFICIENTE TOTAL DE PERDA DE CALOR

Como se observou na metodologia, quando maior a área de abertura de ar num edifício, maior será o grau de infiltração, pode-se verificar o índice de troca de ar (ITA), em diversas proporções de porcentagem de aberturas, pois a infiltração de ar descontrolada depende do projeto das aberturas e sua amplitude.

A **Tabela 2** mostra o coeficiente de perda de calor na edificação “L” utilizando a equação 3, com aberturas de vidros simples e vidros duplos, para a cuja planta é mostrada na Figura 1.

Tabela 15 - Coeficiente de transferência de calor em W/°C - Vidros simples

| | 0,5 ACH | 1,0 ACH | 1,5 ACH | 2,0 ACH |
|-----|---------|---------|---------|---------|
| 20% | 75,79 | 98,85 | 121,90 | 144,95 |
| 30% | 81,70 | 104,76 | 127,81 | 150,86 |
| 40% | 87,56 | 110,61 | 133,66 | 156,72 |
| 50% | 93,47 | 116,52 | 139,57 | 162,63 |

Tabela 16 - Coeficiente de transferência de calor em W/°C - Vidros duplos

| | 0,5 ACH | 1,0 ACH | 1,5 ACH | 2,0 ACH |
|-----|---------|---------|---------|---------|
| 20% | 70,92 | 93,97 | 117,03 | 140,08 |
| 30% | 74,38 | 97,43 | 120,49 | 143,54 |
| 40% | 77,80 | 100,86 | 123,91 | 146,96 |
| 50% | 81,26 | 104,32 | 127,37 | 150,42 |

4.5 CONSUMO ANUAL DE ENERGIA NO AQUECIMENTO E RESFRIAMENTO DA EDIFICAÇÃO

4.5.1 Consumo Anual de Energia para Aquecimento

Usando HDD, obteve-se o consumo anual de aquecimento “Qh”, na partição anual; e descritos na equação 04, em termos, os resultados são dados em kWh; em que “L” é o coeficiente global de transferência de calor definido nas tabelas descritas no capítulo 4.4 em W^o/C, para cada porcentagem de troca de ar nos ambientes, o HDD é o coeficiente de aquecimento graus-dia. O desempenho energético da edificação unifamiliar foi calculado anualmente e é apresentado a seguir.

O consumo de energia anual para aquecer uma edificação com aberturas de 20, 30, 40 e 50% e índice de troca de ar de 0,5 em Cascavel é mostrado na Tabela 17.

Utilizou em HDD para temperaturas base de 22°C.

Tabela 17 - Consumo anual de energia para aquecer (kWh) - Cascavel.

| 22°C CASCABEL | ESTIMATIVA DE CONSUMO DE ENERGIA PARA AQUECER (kWh) | |
|------------------|--|--------------------------|
| | Vidros simples 0,5 ITA | Vidros duplos 0,5 ITA |
| Abertura % | | |
| 20% | 1947,07 | 1821,82 |
| 30% | 2098,89 | 1910,71 |
| 40% | 2249,19 | 1998,70 |
| 50% | 2401,01 | 2087,58 |

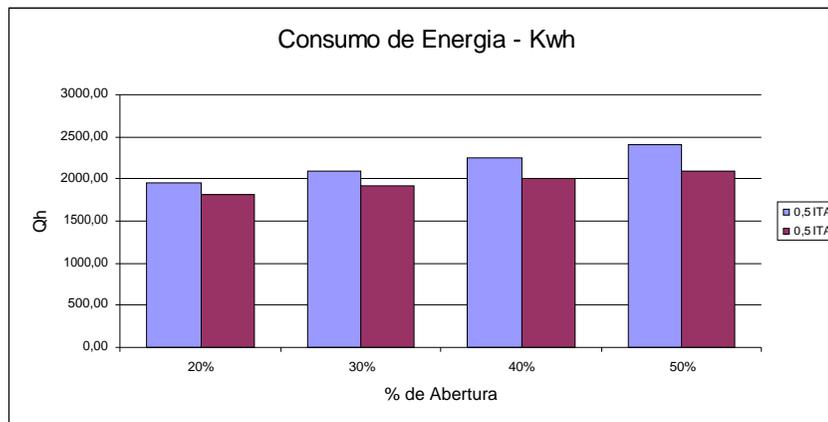


Figura 16 - Consumo de energia com ITA = 0,5 - Cascavel.

A Tabela 18 e o gráfico da Figura 17 mostram o consumo anual de energia para Cascavel, variando-se os índices de ar e mantendo-se a abertura em 20% da área total:

Tabela 18 - Consumo de energia para aquecer (kWh) com várias trocas de ar - Cascavel

| 22°C | ESTIMATIVA DE CONSUMO DE ENERGIA PARA AQUECER 20% | | | |
|----------------|---|---------|---------|---------|
| | (kWh) | | | |
| CASCADEL | 0,5 ITA | 1,0 ITA | 1,5 ITA | 2,0 ITA |
| Vidros simples | 1947,07 | 2539,28 | 3131,50 | 3006,25 |
| Vidros duplos | 1821,82 | 2414,04 | 3006,25 | 3598,47 |

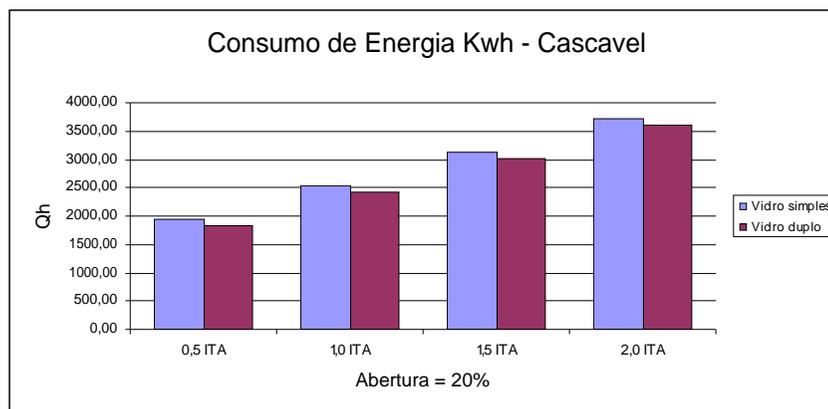


Figura 17 - Consumo de energia com aberturas em 20% - Cascavel.

O consumo de energia para aquecer uma edificação unifamiliar na cidade de Cascavel, com o mínimo de troca de ar de 0,5 (ITA) é de, no mínimo, 1821.82 kWh por ano.

Para Foz do Iguaçu o consumo anual de energia para aquecer uma edificação com aberturas de 0,5 (ITA), para aberturas de 20, 30, 40 e 50% é mostrado na Tabela 19:

Tabela 19 - Consumo de energia para aquecer (kWh) - Foz do Iguaçu

| 22°C FOZ DO IGUAÇU | | ESTIMATIVA DE CONSUMO DE ENERGIA PARA AQUECER (kWh) | |
|-----------------------|----------------|--|--|
| Abertura % | Vidros simples | Vidros duplos | |
| | 0,5 ITA | 0,5 ITA | |
| 20% | 1099,31 | 1198,80 | |
| 30% | 1185,03 | 1257,29 | |
| 40% | 1269,89 | 1315,19 | |
| 50% | 1355,61 | 1373,68 | |

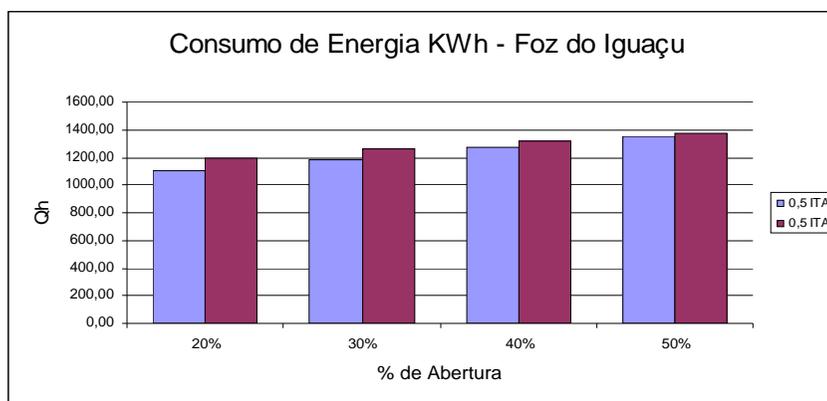


Figura 18 - Consumo de energia com ITA = 0,5 - Foz do Iguaçu.

A Tabela 20 e a Figura 19 mostram o consumo de energia para aquecimento para a cidade de Foz do Iguaçu, variando-se o índice de ar e mantendo-se a temperatura base em 20%.

Tabela 20 - Consumo de energia para aquecer (kWh) com várias trocas de ar - Foz do Iguaçu

| 22°C FOZ DO IGUAÇU | ESTIMATIVA DE CONSUMO PARA AQUECER (kWh) | | | | 20% |
|-----------------------|---|---------|---------|---------|-----|
| Abertura % | 0,5 ITA | 1,0 ITA | 1,5 ITA | 2,0 ITA | |
| Vidros simples | 1099,31 | 1433,68 | 1768,04 | 2102,40 | |
| Vidros duplos | 1198,80 | 1588,50 | 1978,19 | 2367,88 | |

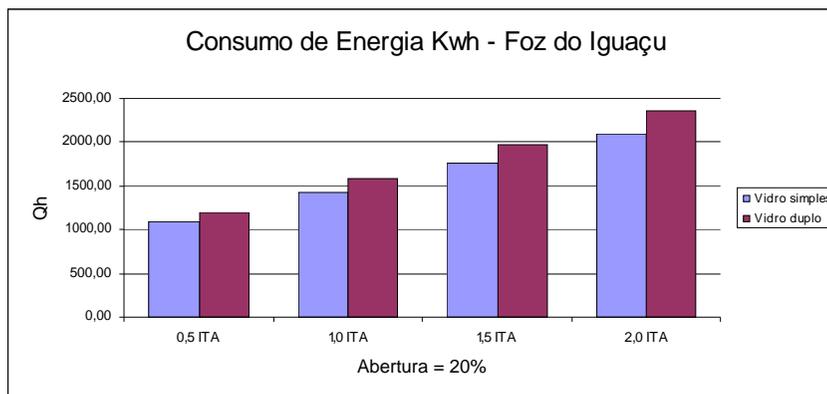


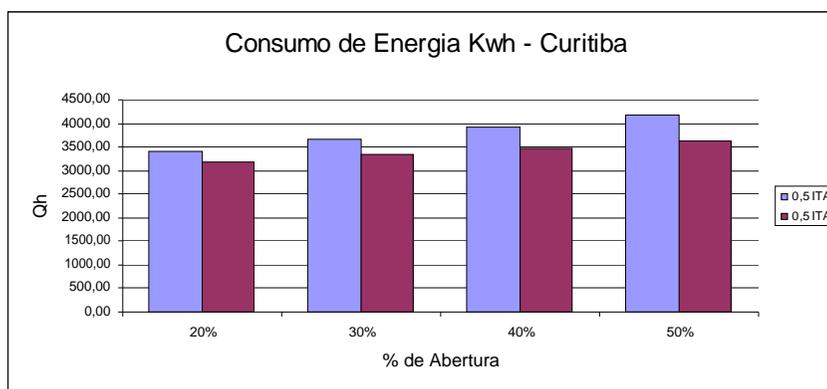
Figura 19 - Consumo de energia com aberturas em 20% - Foz do Iguaçu.

Como se pode verificar o consumo de energia em Foz do Iguaçu para aquecer é muito menor, além de se verificar que é uma das cidades mais quentes, entre as estudadas, com temperaturas médias elevadas, mesmo com aberturas de 20% e pequenos índices de trocas de ar, a edificação é pouco prejudicada em termos de conforto e o gasto de energia é menor, praticamente a metade quanto o índice de troca de ar é alto.

As tabelas 21 e 22 e as figuras 20 e 21 mostram os resultados obtidos para Curitiba - PR:

Tabela 21 - Consumo de energia para aquecer (kWh) - Curitiba

| 22°C CURITIBA | ESTIMATIVA DE CONSUMO DE ENERGIA PARA AQUECER (kWh) | |
|------------------|--|--------------------------|
| Abertura % | Vidros simples 0,5 ITA | Vidros duplos 0,5 ITA |
| 20% | 3396,39 | 3177,91 |
| 30% | 3661,22 | 3332,96 |
| 40% | 3923,40 | 3486,45 |
| 50% | 4188,23 | 3641,50 |

**Figura 20** - Consumo de energia com ITA = 0,5 - Curitiba.**Tabela 22** - Consumo de energia para aquecer (kWh) com várias trocas de ar - Curitiba

| 22°C CURITIBA | ESTIMATIVA DE CONSUMO DE ENERGIA PARA AQUECER (kWh) | | | |
|------------------|--|---------|---------|---------|
| Abertura % | 0,5 ITA | 1,0 ITA | 1,5 ITA | 2,0 ITA |
| Vidros simples | 3396,39 | 4429,42 | 5462,46 | 6495,49 |
| Vidros duplos | 3177,91 | 4210,95 | 5243,98 | 6277,02 |

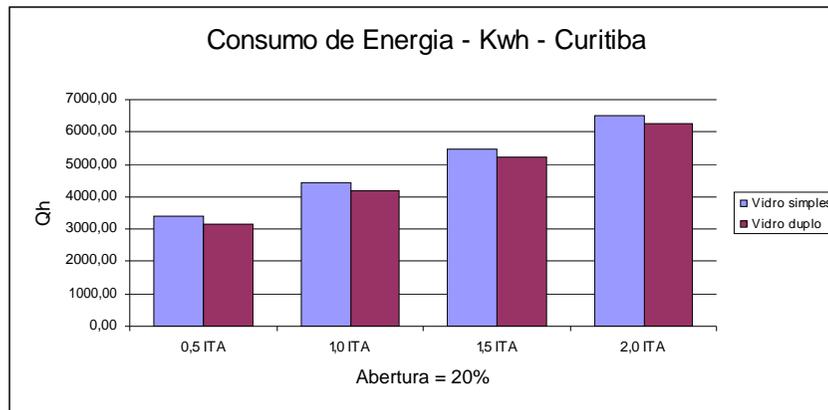


Figura 21 - Consumo de energia com aberturas em 20% - Curitiba.

Para Curitiba quanto menor a troca de ar, menor será o consumo de energia para aquecimento e, assim, quanto maior o consumo maior a troca de ar. Isso significa que, quanto mais aberturas nas edificações em Curitiba, e se estiverem instaladas para o lado leste, podem ser maiores, pois o vidro adicionado à geometria arquitetônica dos espaços fará com que o ambiente conserve energia com mínima troca de calor, como se estudou para o coeficiente de 0,5 ITA, verificada em vidros duplos $Q_h = 3177.91$ kWh. Cálculo que se pode comparar com o mesmo método, na cidade de Foz do Iguaçu com uma variação de 37,72% menor o consumo de energia, sendo seu valor de $Q_h = 1198.80$ kWh.

As tabelas 23 e 24 e as figuras 22 e 23 mostram os resultados obtidos para Londrina.

Tabela 23 - Consumo de energia para aquecer (kWh) - Londrina

| 22°C LONDRINA | ESTIMATIVA DE CONSUMO DE ENERGIA PARA AQUECER (kWh) | |
|------------------|--|--------------------------|
| Abertura % | Vidros simples 0,5 ITA | Vidros duplos 0,5 ITA |
| 20% | 1626,91 | 1522,21 |
| 30% | 1753,77 | 1596,48 |
| 40% | 1879,36 | 1670,00 |
| 50% | 2006,22 | 1744,27 |

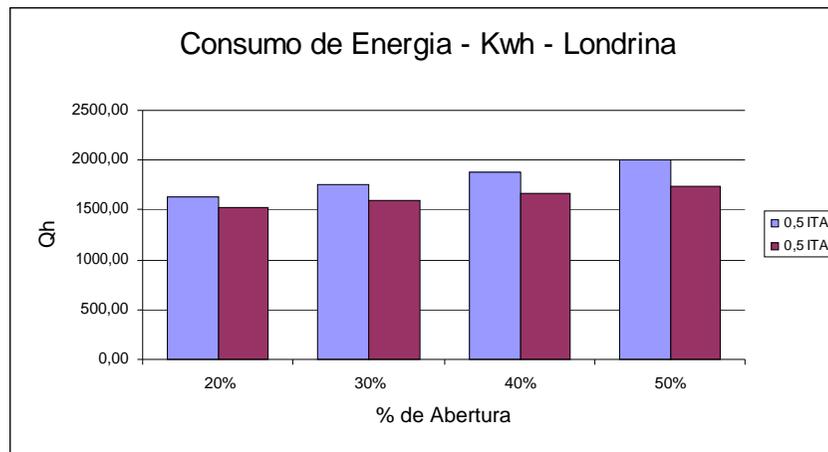


Figura 22 - Consumo de energia com ITA = 0,5 - Londrina.

Tabela 24 - Consumo de energia para aquecer (kWh) com várias trocas de ar - Londrina

| 22°C LONDRINA | ESTIMATIVA DE CONSUMO DE ENERGIA PARA AQUECER 20% (kWh) | | | |
|------------------|--|---------|---------|---------|
| Abertura % | 0,5 ITA | 1,0 ITA | 1,5 ITA | 2,0 ITA |
| Vidros simples | 1626,91 | 2121,75 | 2616,59 | 3111,43 |
| Vidros duplos | 1522,21 | 2017,03 | 2511,85 | 3006,67 |

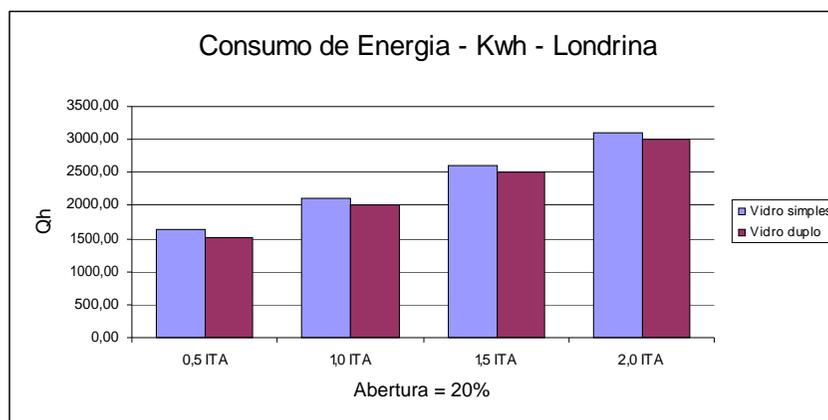


Figura 23 - Consumo de energia com aberturas em 20% - Londrina.

Para aquecer Londrina verifica-se na Tabela 24 que para uma abertura de 20% de vidros simples com o índice de troca de ar igual a 0,5 ITA, que foi o

menor índice de troca de ar estabelecido neste estudo, no período entre 1997 a 2006, encontrou-se um valor de consumo anual de 1626.91 kWh. Uma cidade que pode ser comparada à Londrina é Cascavel, porém houve uma variação de 320.16 kWh em maio entre as duas cidades. Então, admite-se que Londrina mesmo que tenha uma edificação igual a Cascavel, o seu consumo de energia para aquecer esta mesma residência será de mais de 19.68%.

4.5.2 Consumo Anual de Energia Para Resfriamento

Usando o coeficiente de resfriamento graus-dia - CDD, o consumo anual de resfriamento “Qc”, descritos na equação 05, os resultados são dados em kWh; em que o “L” é o coeficiente global de transferência de calor definido nas tabelas descritas no capítulo 4.4 em W°C, para cada porcentagem de troca de ar nos ambientes. O desempenho energético da edificação unifamiliar foi calculado anualmente como apresentado a seguir.

Para Cascavel, o consumo de energia anual para resfriar uma edificação unifamiliar com aberturas de 0,5 ITA, para as porcentagem de 20, 30, 40 e 50% de área de aberturas, pode ser observada na Tabela 25.

Tabela 25 - Consumo de energia para resfriamento (kWh) - Cascavel

| 22° CASCABEL | ESTIMATIVA DE GASTO DE ENERGIA PARA RESFRIAR (kWh) | |
|-----------------|---|------------------------|
| | Vidro simples 0,5 ITA | Vidro duplo 0,5 ITA |
| Abertura % | | |
| 20% | 263,47 | 246,52 |
| 30% | 284,02 | 258,55 |
| 40% | 304,36 | 270,46 |
| 50% | 324,90 | 282,49 |

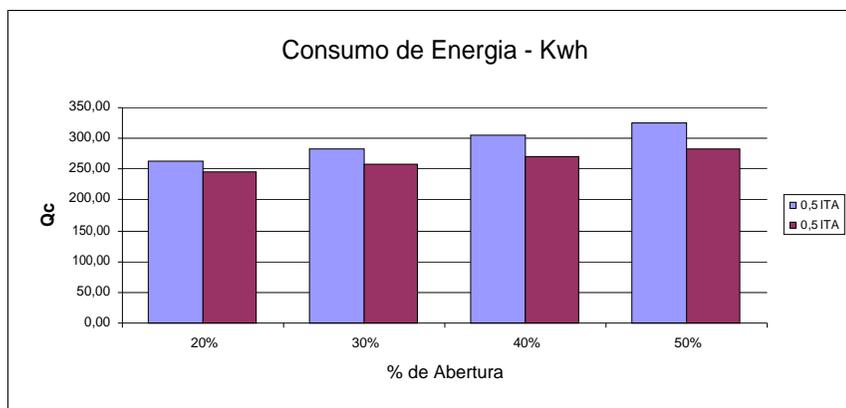


Figura 24 - Consumo de energia com ITA = 0,5 - Cascavel.

A Tabela 26 e a Figura 25 mostram o consumo de energia anual para Cascavel.

Tabela 26 - Consumo de energia para resfriar (kWh) com várias trocas de ar - Cascavel

| 22°C CASCABEL | ESTIMATIVA DE CONSUMO DE ENERGIA PARA RESFRIAR 20% | | | |
|------------------|--|---------|---------|---------|
| | (kWh) | | | |
| | 0,5 ITA | 1,0 ITA | 1,5 ITA | 2,0 ITA |
| Vidros simples | 263,47 | 343,61 | 423,75 | 503,88 |
| Vidros duplos | 246,52 | 326,66 | 406,80 | 486,94 |

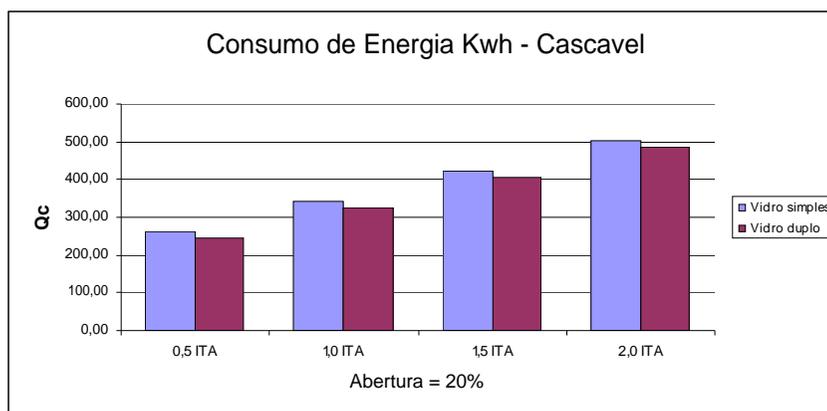


Figura 25 - Consumo de energia com aberturas em 20% - Cascavel.

Para utilização de resfriamento em vidros simples ou duplos para a cidade de Cascavel, a variação da estimativa de consumo de energia anual é de mínima diferença, vale lembrar, então, que para a cidade de Cascavel, pode-se utilizar vidros simples que tem um custo menor e o consumo por ano será de cerca de 6.43% a mais de energia para resfriar este mesmo ambiente.

Em Foz do Iguaçu, pode-se observar no decorrer nas tabelas 27 e 28 e nas figuras 26 e 27, um aumento no consumo de energia bem mais significativo no valor de 31,60% a mais de consumo de energia de resfriamento, no mesmo vidro simples e em abertura de 20% com índice de troca de ar de 0,5 ITA, como se pode observar na Tabela 28 e comparar com a Tabela 26, que se refere à cidade de Cascavel.

Tabela 27 - Consumo de energia para resfriamento (kWh) - Foz do Iguaçu

| 22°C FOZ DO IGUAÇU | ESTIMATIVA DE GASTO DE ENERGIA PARA RESFRIAR (kWh) | |
|-----------------------|---|------------------------|
| Abertura % | Vidro simples 0,5 ITA | Vidro duplo 0,5 ITA |
| 20% | 845,54 | 791,15 |
| 30% | 911,47 | 829,75 |
| 40% | 976,74 | 867,96 |
| 50% | 1042,67 | 906,56 |

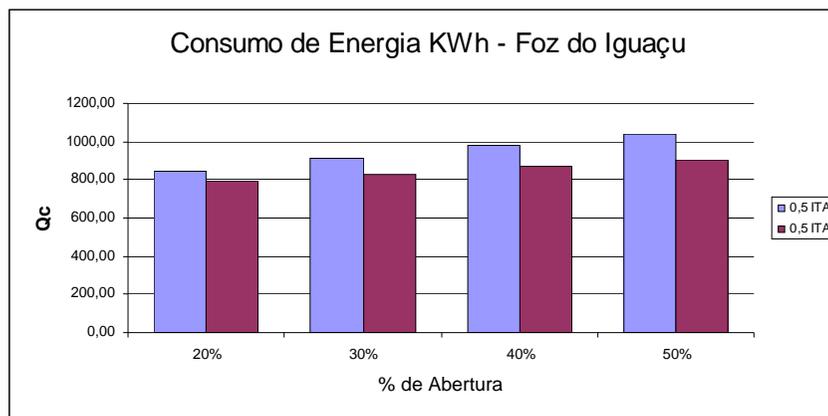


Figura 26 - Consumo de energia com ITA = 0,5 - Foz do Iguaçu.

Tabela 28 - Consumo de energia para resfriar (kWh) com várias trocas de ar - Foz do Iguaçu

| 22°C FOZ DO IGUAÇU | ESTIMATIVA DE GASTO DE ENERGIA PARA RESFRIAR 20% (kWh) | | | |
|-----------------------|---|---------|---------|---------|
| Abertura % | 0,5 ITA | 1,0 ITA | 1,5 ITA | 2,0 ITA |
| Vidro simples | 845,54 | 1102,71 | 1359,89 | 1617,06 |
| Vidro duplo | 791,15 | 1048,32 | 1305,50 | 1562,67 |

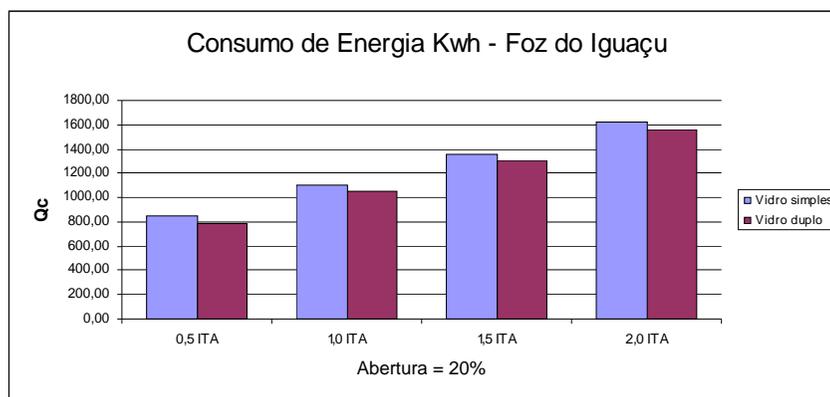


Figura 27 - Consumo de energia com aberturas em 20% - Foz do Iguaçu.

Os requisitos de consumo anual de energia para resfriamento na cidade de Curitiba para a edificação escolhida neste trabalho são os apresentados nas tabelas 29 e 30 e figuras 28 e 29.

Tabela 29 - Consumo de energia para resfriamento (kWh) - Curitiba

| 22°C CURITIBA | ESTIMATIVA DE GASTO DE ENERGIA PARA RESFRIAR (kWh) | |
|------------------|---|------------------------|
| Abertura % | Vidro simples 0,5 ITA | Vidro duplo 0,5 ITA |
| 20% | 17,43 | 16,31 |
| 30% | 18,79 | 17,10 |
| 40% | 20,13 | 17,89 |
| 50% | 21,49 | 18,68 |

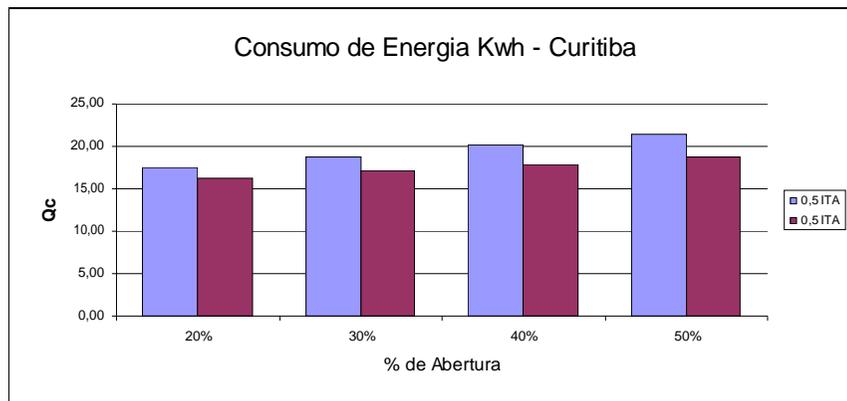


Figura 28 - Consumo de energia com ITA = 0,5 - Curitiba.

Tabela 30 - Consumo de energia para resfriar (kWh) com várias trocas de ar - Curitiba

| 22°C CURITIBA | ESTIMATIVA DE CONSUMO DE ENERGIA PARA RESFRIAR 20% | | | |
|------------------|--|---------|---------|---------|
| | (kWh) | | | |
| Abertura % | 0,5 ITA | 1,0 ITA | 1,5 ITA | 2,0 ITA |
| Vidro simples | 17,43 | 22,73 | 28,03 | 33,33 |
| Vidro duplo | 16,31 | 21,61 | 26,91 | 32,21 |

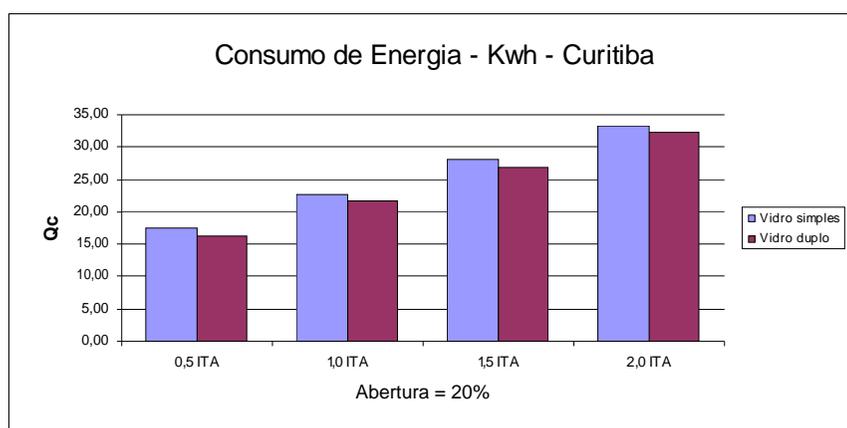


Figura 29 - Consumo de energia com aberturas em 20% - Curitiba.

Como se pode observar no conjunto das tabelas, o consumo de energia para resfriar é mínimo em Curitiba, por ser uma cidade de temperaturas médias anuais mais frias que as outras cidades estudadas.

Os profissionais da área da arquitetura e engenharia devem dar maior importância em estabelecer materiais que mantenham esse índice de aquecimento alterado e procurar estabelecer em seus anteprojetos a melhor implantação de canteiro para uma melhor insolação dos ambientes, para que a perda de energia seja a menor possível. Curitiba é uma das cidades críticas em função de temperaturas médias mínimas anuais, conforme dados da SIMEPAR.

Os ancestrais do homem, por suas experiências de várias gerações, aprenderam adaptar suas residências ao clima e ao local. O homem moderno é, sem dúvida, responsáveis em aprimorar essas experiências, dando continuidade a mais nobre função de construir locais de melhor conforto humano. Uma cidade na qual se verifica o consumo de energia de resfriamento, é a cidade de Londrina, como mostram as tabelas 31 e 32 e nas figuras 30 e 31.

Tabela 31 - Consumo de energia para resfriamento (kWh) - Londrina

| ESTIMATIVA DE CONSUMO DE ENERGIA PARA RESFRIAR | | |
|--|---------------|-------------|
| 22° | (kWh) | |
| LONDRINA | Vidro simples | Vidro duplo |
| Abertura % | 0,5 ITA | 0,5 ITA |
| 20% | 367,03 | 343,42 |
| 30% | 395,65 | 360,18 |
| 40% | 423,98 | 376,76 |
| 50% | 452,60 | 393,52 |

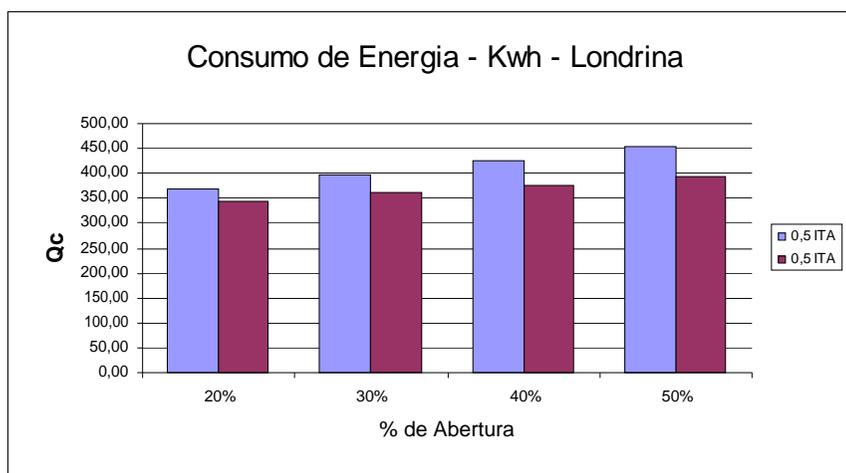
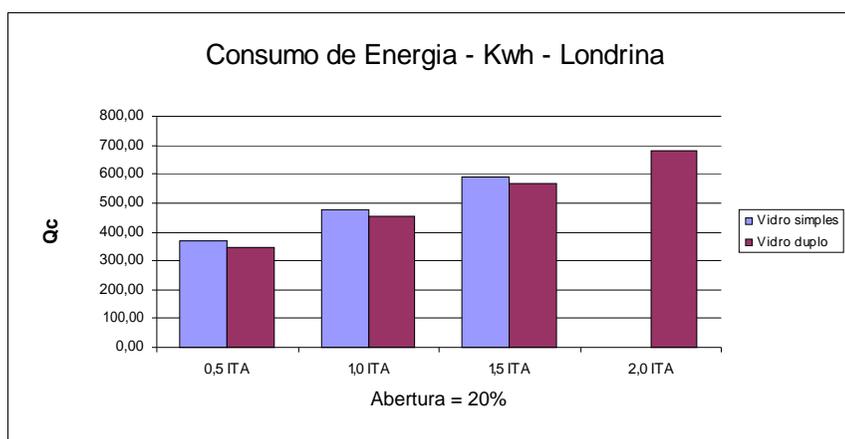


Figura 30 - Consumo de energia com ITA = 0,5 - Londrina.**Tabela 32** - Consumo de energia para resfriar (kWh) com várias trocas de ar - Londrina

| 22°C LONDRINA | ESTIMATIVA DE CONSUMO DE ENERGIA PARA RESFRIAR (kWh) | | | |
|------------------|--|---------|---------|---------|
| Abertura % | 0,5 ITA | 1,0 ITA | 1,5 ITA | 2,0 ITA |
| Vidro simples | 367,03 | 478,67 | 590,30 | 701,94 |
| Vidro duplo | 343,42 | 455,06 | 566,69 | 678,33 |

**Figura 31** - Consumo de energia com aberturas em 20% - Londrina.

O consumo de energia anual para resfriamento de Londrina está mais próximo de Cascavel, entre 20 e 30% de abertura, tanto em vidros simples quanto em vidros duplos, mas a partir de aberturas maiores, como as solicitadas no decorrer do trabalho, que foram as de 40 e 50% as variações já diferem e verificou-se que Cascavel tem um consumo anual de energia menor para resfriar que Londrina que, por estar mais ao Norte do estado do Paraná, tem seu clima diferenciado de Cascavel, que se encontra no Centro-Oeste do estado.

5 CONCLUSÕES

O desempenho energético foi obtido por meio do modelo de graus-dia, considerando-se a localização da residência unifamiliar nas cidades de Cascavel, Curitiba, Foz do Iguaçu e Londrina. Para isso foram obtidos os dados climáticos de tais localidades e, em um segundo momento, foi obtido o coeficiente total de perda de calor na edificação unifamiliar pré-estabelecida, avaliando-se assim as condições de conforto térmico o desempenho energético da edificação.

O método de estimativa baseado nas informações de temperatura do ar, usado neste estudo, pode ser aplicado a outras localidades geográficas. Este trabalho apresenta o aquecimento e resfriamento de graus-dia com temperaturas de bases variáveis para as cidades de Cascavel, Foz do Iguaçu e Londrina, dados que são determinados com base em medição de dados de longa duração. Temperaturas bases de 18, 20, 22, 24, 26 ou 28°C são usadas na determinação de resfriamento de graus-dia. O aquecimento e resfriamento de graus-dia anuais são dados em formas tubulares para todas as cidades. O resfriamento e o aquecimento de graus-dia também são apresentados nos gráficos. Os valores de ambos, aquecimento e resfriamento de graus-dia, exibem grandes flutuações por todas as cidades. Enquanto Curitiba e Cascavel requerem comparativamente mais energia de calor, eles precisam menos ou nenhum resfriamento.

Apresenta também estudo sobre estimativas de requerimentos de energia de aquecimento e resfriamento para uma edificação residencial e estimação de consumo de energia das cidades, baseados em registros de temperaturas na estação meteorológica de SIMEPAR. Os requerimentos de energia de aquecimento e cálculos de consumo de energia são baseados parametricamente em vidrarias simples e duplas, método de estimativa baseado nas informações de

temperatura do ar usados neste estudo para todas as cidades pode facilmente ser aplicado similarmente em qualquer parte do mundo.

Concluiu-se que para aquecer Londrina verifica-se na Tabela 24 que para uma abertura de 20% de vidros simples com o índice de troca de ar igual a 0,5 ITA, que foi o menor índice de troca de ar estabelecido neste estudo, no período entre 1997 a 2006, encontrou-se um valor de consumo anual de 1626.91 kWh. Uma cidade que pode ser comparada à Londrina é Cascavel, porém houve uma variação de 320.16 kWh em maio entre as duas cidades. Então, admite-se que Londrina mesmo que tenha uma edificação igual a Cascavel, o seu consumo de energia para aquecer esta mesma residência será de mais de 19.68%.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, S. F. de **Estudo de estratégias bioclimáticas no clima de Florianópolis.** 1996. Disponível em: http://www.eps.ufsc.br/disserta96/suely/index/ind_sue.htm. Acesso em: 10 de outubro de 2006.

ANDREASI, W. A. **Avaliação do impacto de estratégias bioclimáticas na temperatura interna de edificações no Passo do Lontra, Pantanal do Estado do Mato Grosso do Sul.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina Florianópolis, 2001.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, RESFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS, Inc. - ASHRAE. **Handbook fundamentals.** Atlanta: ASHRAE, 1997.

BARBOSA, M. J. **Desenvolvimento de uma metodologia para avaliação e especificação do desempenho térmico de edificações térreas unifamiliares.** 1997. f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. **Desempenho Energético no Brasil – 2006.** Disponível em: <http://www.mme.gov.br>. Acesso em: 16/06/07.

BÜYÜKALACA O.; BULUT H.; YILMAZ T. Analysis of variable-base heating and cooling degree-day for Turkey. **Applied Energy**, Turkey, n. 69, p. 269-283, 2001.

COSTA, E. C. da. **Física aplicada à construção**. Conforto térmico. 4. Ed. São Paulo - SP: Edgard Blücher, 1991. 264 p.

DUFFIE, J. A., BECKMAN, W. A. **Solar Engineering of thermal process's**. 2. ed. London: John Wiley & Tons, 1991. 919 p.

DURMAYAZ A.; KADIOGLU, M.; SEN Z. An application of the degree-hours method to estimate the residential heating energy requirement and fuel consumption in Istanbul. **Energy**, Istanbul, Turkey. p. 25, 1245-1256, 2000.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico**. 5. Ed. São Paulo - SP: Studio Nobel, 2001.

GHISI, E. *et al.* Electricity end uses in the residential sector of Brazil. **Energy Policy**, n. 1, p. 01-10, 2007.

GOULART, S. V. G. **Dados climáticos para avaliação do desempenho térmico de edificações em Florianópolis**. 1993. 111 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1993.

MARTINAITIS V. **Analytic calculation of degree-day for the regulated heating season**. Energy and Buildings, n. 28, p. 185-189, 1998.

PAPST, A. L.; GHISI, E.; LAMBERTS, R. **Apostila de desempenho térmico de edificações**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) - Laboratório de Desempenho Térmico em Edificações (LabEEE). 2000.

RORIZ, M.; Evaporative cooling of buildings in the state of São Paulo. In: AGRIBUILDING, 2001. Campinas - SP. **Anais...** Campinas – SP:, 2001. p.

SARAK H.; SATMAN A. The degree-day method to estimate the residential heating natural gas consumption in Turkey: a case study. **Energy**, Turkey, v. 28, p. 929-939, 2003.

SAID, S. A. M.; HABIB, M. A.; IQBAL. M. O. Database for building energy prediction in Saudi Arabia. **Energy Conversion and Management**, Saudi Arabia. v. 44, p. 191-201, 2003.

SAILOR, D. J.; PAVLOVA, A. A. Air conditioning market saturation and long term response of residential cooling energy demand to climate change. **Energy**, v. 28, p. 941-951, 2003.

STATHOPOULOU. Marina. **Solar Energy**. v. 80, n. 04, p. 414-422. 2006.