

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL – PPGECC  
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM AMBIENTE CONSTRUÍDO E GESTÃO

ALEXANDRE BESSA MARTINS ALVES

ORIENTADOR: Aloísio Leoni Schmid

POTENCIAL DE CLIMATIZAÇÃO POR DUTOS SUBTERRÂNEOS SEGUNDO  
ZONA BIOCLIMÁTICA, PROFUNDIDADE E TRATAMENTO DA SUPERFÍCIE  
DO SOLO.

CURITIBA

2014

---

A474p

Alves, Alexandre Bessa Martins

Potencial de climatização por dutos subterrâneos segundo zona bioclimática, profundidade e tratamento da superfície do solo / Alexandre Bessa Martins Alves. – Curitiba, 2014.  
122f. : il. color. ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Construção Civil, 2014.

Orientador: Aloísio Leoni Schmid.  
Bibliografia: p. 91-96.

1. Solos - Temperatura. 2. Edifícios comerciais - Aquecimento e ventilação. 3. Permutadores térmicos. 4. Calor - Transmissão. I. Universidade Federal do Paraná. II. Schmid, Aloísio Leoni. III. Título.

CDD: 621.4022

---

**ALEXANDRE BESSA MARTINS ALVES**

**POTENCIAL DE CLIMATIZAÇÃO POR DUTOS SUBTERRÂNEOS  
SEGUNDO ZONA BIOCLIMÁTICA, PROFUNDIDADE E TRATAMENTO DA  
SUPERFÍCIE DO SOLO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil - PPGECC - Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia da Construção Civil.

Orientador: Prof. Dr.-Ing. Aloísio Leoni Schmid

CURITIBA

2014

## **TERMO DE APROVAÇÃO**

ALEXANDRE BESSA MARTINS ALVES

### **POTENCIAL DE CLIMATIZAÇÃO POR DUTOS SUBTERRÂNEOS SEGUNDO ZONA BIOCLIMÁTICA, PROFUNDIDADE E TRATAMENTO DA SUPERFÍCIE DO SOLO.**

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Construção Civil, Área de Concentração: Ambiente Construído e Gestão, Setor de Tecnologia, da Universidade Federal do Paraná, pela seguinte banca examinadora:

Orientador: \_\_\_\_\_

Prof. Dr. Ing. Aloísio Leoni Schmid

Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Construção Civil - UFPR

Examinador: \_\_\_\_\_

Prof. Dr. Sérgio Fernano Tavares

Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Construção Civil - UFPR

Examinador: \_\_\_\_\_

Prof. Dr. George Stanescu

Departamento de Engenharia Mecânica - UFPR

Curitiba, 28 de Março de 2014.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço à CAPES por financiar o período de estudos no mestrado, fato indispensável para a conclusão deste trabalho e importantíssimo para a boa formação científica de pesquisadores brasileiros.

À Universidade Federal do Paraná, pela possibilidade de aprofundar os estudos e disponibilizar espaço e corpo docente para a realização deste mestrado.

Aos professores do PPGECC, com os quais houve uma bela troca de experiências, muito conhecimento adquirido e sempre uma boa relação de amizade.

Aos meus colegas de mestrado, pela amizade próxima e por compartilhar do conhecimento, das ideias e de todas as etapas do nosso curso, especialmente aos amigos José Edwalto e Neilor.

Ao orientador Aloísio Schmid, assim como aos professores Sérgio Tavares, George Stanescu e Marcelo Medeiros pela contribuição acadêmica sempre prestativa e por aconselhar o encaminhamento deste trabalho.

Ao Padre Orides da Igreja Cristo Rei, assim como ao arquiteto Luiz Reis pela prestatividade e disponibilidade de tempo e recursos na realização de medições, testes e visitas técnicas à igreja.

À Ziza, pessoa fundamental para o sucesso de todos os mestrados do programa.

À Luciana pelas conversas, conselhos, paciência e por compartilhar de todos os momentos.

Aos meus pais pelo incentivo e compreensão, e acreditar sempre no sucesso dos seus filhos, assim como à todos os familiares que estiveram presentes neste período.

À todos os amigos e pessoas que de alguma forma contribuíram para a conclusão deste trabalho.

## RESUMO

O presente trabalho vem motivado pela busca de soluções mais eficientes, originárias de fontes renováveis para climatização de edifícios. O subsolo, que tem uma alta capacidade térmica, mantém sua temperatura mais constante que a temperatura do ar externo variando conforme a profundidade. Um sistema de climatização por dutos subterrâneos (SCDS) tira partido desta alta capacidade térmica do solo para a obtenção de temperaturas mais amenas, próximas da média de temperatura anual de uma região. Deste modo, com esta temperatura média é possível climatizar edifícios tanto no verão como no inverno. Neste trabalho, tem-se como objetivo explorar o potencial de climatização de um sistema de troca e armazenamento de calor por dutos subterrâneos, considerando as diferentes zonas bioclimáticas do território brasileiro e buscando descrever a influência de diferentes profundidades e diferentes tratamentos de superfície do solo. Foram escolhidas cidades para representar cada uma das zonas, sendo estas: Z01-Curitiba, Z02-Santa Maria, Z03-Belo Horizonte, Z04-Brasília, Z05-Vitória da Conquista, Z06-Campo Grande, Z07-Cuiabá e Z08-Belém. Para cumprimento do objetivo, duas principais etapas são estabelecidas: na primeira busca-se o entendimento dos fenômenos físicos atuantes neste sistema, através de referencial teórico, buscando o estado da arte sobre o assunto e também através de visita técnica a uma igreja localizada em Curitiba que possui um sistema do tipo solo-ar. Num segundo momento, tendo a pesquisa atingido um nível de descrição e discussão acerca dos principais fenômenos, vantagens e desvantagens na aplicação do sistema, parte-se para o cálculo do potencial de climatização por dutos subterrâneos nas oito zonas. Este cálculo, feito em graus-hora anuais, é realizado com base nos dados climáticos do INMET para as oito cidades representantes. Sabendo que ao aumentar a profundidade, diminui-se a amplitude de temperatura do subsolo, são comparados os potenciais de climatização para profundidades de 0,5 m e de 4,0 m, profundidades em que o comportamento térmico se diferencia ao longo de um ano. Posteriormente estuda-se a influência no gradiente de temperatura do subsolo em função de diferentes tratamentos da superfície, variando a absorvidade solar desta de 0% a 100%. Os resultados apontam que das oito zonas bioclimáticas, Z01 e Z02 têm grande demanda por aquecimento e boa resposta do subsolo, enquanto que Z06, Z07 e Z08 demandam grande quantidade de graus-hora anuais de resfriamento com um significativo potencial de climatização subterrâneo. Concluiu-se também que o tratamento da superfície tem grande influência no desempenho de SCDS, mesmo a 4,0 m de profundidade, tanto para fins de aquecimento como de resfriamento. Para Z07-Cuiabá ou Z08-Belém, por exemplo, o potencial de resfriamento sob uma superfície com 90% de absorvidade é praticamente anulado. A contribuição deste trabalho, além das conclusões e discussões dos resultados da pesquisa, tem a intenção de despertar para o estudo desta temática em outras regiões do Brasil, de clima quente, principalmente, onde os resultados demonstraram uma boa performance, contribuindo para a realização de outras pesquisas.

*Palavras-chave:* Temperatura do solo; climatização de edifícios; zonas bioclimáticas; trocador de calor com solo; temperatura sol-ar.

## ABSTRACT

*In this research, the motivation is for seeking more efficient solutions, from renewable sources of energy to heating and cooling buildings. The high thermal capacity presented by the underground soil maintains its temperature more constant than the air temperature, varying according to the depth. An earth-heat-exchanger (EHE) takes advantage of this high thermal capacity to obtain more comfortable temperatures, close to the annual average temperature to the region. In this way it's possible to condition buildings as well as in summer or winter seasons. In the present work the objective is to explore the potential of heating and cooling of the soil for a EHE application, considering the classification of the Brazilian territory in bioclimatic zones and describing the influence of depth and soil surface treatment. The cities chosen to represent each zone were: Z01-Curitiba, Z02-Santa Maria, Z03-Belo Horizonte, Z04-Brasília, Z05-Vitória da Conquista, Z06-Campo Grande, Z07-Cuiabá e Z08-Belém. To accomplish the objective two steps were established: first one was the theoretical referential, to support the understanding of physical fenomenos involving this system, and to frame this research in state-of-art about this subject, including technical visits on a church in Curitiba which has a earth-to-air-heat-exchanger (EAHE); on the second step the cooling and heat potential of the underground soil in the bioclimatic zones is calculated. This calculation, made in annual degrees-per-hour, is based in the INMET meteorological data for the eight cities. It is well known that increasing depth makes the soil temperature more constant, the climatization potential is compared 0,5 m and 4,0 m depth, where the thermal behavior through the year varies from one another. After that the influence of different kinds of surface treatment on the subsurface temperature gradient is studied, considering a solar absorption between 0% and 100%. The results point that from the eight bioclimatic zones, Z01 and Z02, which has a high heating demand, presented a significative contribution from the soil, while Z06, Z07 e Z08, which has a high amount of cooling demand, in annual degrees-per-hour, obtained a good response from the underground too. We concluded as well that the surface treatment has a huge influence on the EHE thermal performance, even on 4,0 m depth and including for heating and cooling. The contribution of this research, besides the discussion of the results itself, has the intention of wakening for researches in this field on another regions of the country, where any scientific discussion was found, especially in hot climate locations, where results demonstrated a significative performance.*

*Keywords: Underground temperature; building heating and cooling; Brazilian bioclimatic zones; earth-heat-exchanger (EHE); sunair temperature.*

# SUMÁRIO

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. INTRODUÇÃO.....</b>   | <b>13</b> |
| 1.1 Estrutura da dissertação .....  | 15        |
| 1.2 Problematização .....   | 15        |
| 1.3 Hipótese .....  | 17        |
| 1.4 Objetivo.....   | 18        |
| 1.5 Justificativa .....   | 18        |
| 1.6 Contextualização no programa.....   | 21        |
| <b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>   | <b>22</b> |
| 2.1 Generalidades .....   | 23        |
| 2.2 Meios de armazenamento de calor em edificações .....                                | 30        |
| 2.3 Conforto térmico nas edificações.....   | 35        |
| 2.4 Meios de estimar a demanda de climatização em edifícios .....                       | 37        |
| 2.5 Importância das variáveis no acoplamento ao solo .....                              | 41        |
| 2.6 Escala de tempo no armazenamento de calor .....                                     | 55        |
| <b>3 MÉTODO.....</b>  | <b>59</b> |
| 3.1 Definição da estratégia de pesquisa.....  | 59        |
| 3.2 Protocolo de coleta de dados.....   | 63        |
| <b>4. POTENCIAL DE CLIMATIZAÇÃO PARA OITO ZONAS BIOCLIMÁTICAS<br/>BRASILEIRAS .....</b> | <b>73</b> |
| 4.1 Desempenho térmico quanto à profundidade.....                                       | 73        |
| 4.2 Desempenho térmico sob diferentes tratamentos de superfícies.....                   | 80        |
| <b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>  | <b>86</b> |
| <b>6. SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS .....</b>   | <b>89</b> |
| <b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>  | <b>91</b> |
| <b>APÊNDICE .....</b>   | <b>97</b> |

|   |            |
|---|------------|
| DADOS PARA Z01 - CURITIBA.....              | 98         |
| DADOS PARA Z02 - SANTA MARIA .....          | 101        |
| DADOS PARA Z03 - BELO HORIZONTE.....        | 104        |
| DADOS PARA Z04 - BRASÍLIA .....             | 107        |
| DADOS PARA Z05 - VITÓRIA DA CONQUISTA ..... | 110        |
| DADOS PARA Z06 - CAMPO GRANDE .....         | 113        |
| DADOS PARA Z07 - CUIABÁ .....               | 116        |
| DADOS PARA Z08 - BELÉM.....                 | 119        |
| <b>ANEXO .....</b>                          | <b>122</b> |
| MÍDIA DIGITAL COM ARQUIVOS CLIMÁTICOS.....  | 122        |

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1 - Variação de temperatura em função da profundidade medida <i>in loco</i> .....                         | 24 |
| Figura 2 - Tipologias de SCDS, ciclo aberto (a) e ciclo fechado (b), sem relação de escala .....                 | 26 |
| Figura 3 - Sistema do tipo horizontal solo-ar .....  | 32 |
| Figura 4 - Sistema solo-ar de tipo linear instalado em loja .....  | 32 |
| Figura 5 - Sistema aberto de dois poços para troca de calor solo-água água-ar, sem relação de escala .....       | 33 |
| Figura 6 - Retardo térmico em função da massa térmica da edificação .....  | 35 |
| Figura 7 - Relação entre resistência térmica de um solo em função da umidade .....                               | 45 |
| Figura 8 - Relação de saturação e transmissão de calor em solo argiloso .....                                    | 47 |
| Figura 9 - Relação de saturação e transmissão de calor em solo de cascalho .....                                 | 47 |
| Figura 10 - Relação de saturação e transmissão de calor para solo de turfa .....                                 | 47 |
| Figura 11 - Relação de saturação e transmissão de calor em solo arenoso .....                                    | 48 |
| Figura 12 - Relação de saturação e transmissão de calor em solo siltoso .....                                    | 48 |
| Figura 13 - Desempenho térmico de resfriamento de um SCDS comparando diferentes profundidades da tubulação ..... | 49 |
| Figura 14 - Desempenho de um SCDS variando-se a velocidade do ar .....   | 52 |
| Figura 15 - Potenciais fontes de calor antrópicas na criação de ilhas de calor subterrâneas .....                | 54 |
| Figura 16 - Sistema de ciclo diário aplicado a uma estufa .....  | 56 |
| Figura 17 - Variação anual de temperatura no subsolo .....   | 57 |
| Figura 18 - Mapa mental da pesquisa .....  | 60 |
| Figura 19 - Zoneamento bioclimático brasileiro .....   | 64 |
| Figura 20 - Zona Bioclimática 01 .....   | 66 |
| Figura 21 - Zona Bioclimática 02 .....   | 66 |
| Figura 22 - Zona Bioclimática 03 .....   | 66 |
| Figura 23 - Zona Bioclimática 04 .....   | 66 |
| Figura 24 - Zona Bioclimática 05 .....   | 66 |
| Figura 25 - Zona Bioclimática 06 .....   | 66 |
| Figura 26 - Zona Bioclimática 07 .....   | 66 |
| Figura 27 - Zona Bioclimática 08 .....   | 66 |
| Figura 28 - Potencial de aquecimento anual para oito zonas bioclimáticas .....                                   | 74 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 29 - Potencial de resfriamento anual para oito zonas bioclimáticas ..... | 74 |
| Figura 30 - Temperatura anual do subsolo em Z01-Curitiba .....                  | 75 |
| Figura 31 - Potencial de aquecimento mês a mês em Z01-Curitiba .....            | 75 |
| Figura 32 - Temperatura anual do subsolo em Z08-Belém.....                      | 77 |
| Figura 33 - Potencial de resfriamento mês a mês em Z08-Belém.....               | 77 |
| Figura 34 - GHu aquecimento evapotranspiração .....                             | 80 |
| Figura 35 - GHu aquecimento 30% absorção.....                                   | 80 |
| Figura 36 - GHu aquecimento 60% absorção.....                                   | 81 |
| Figura 37 - GHu aquecimento 90% absorção.....                                   | 81 |
| Figura 38 - GHu resfriamento evapotranspiração .....                            | 82 |
| Figura 39 - GHu resfriamento 30% absorção.....                                  | 82 |
| Figura 40 - GHu resfriamento 60% absorção.....                                  | 82 |
| Figura 41 - GHu resfriamento 90% absorção.....                                  | 82 |
| Figura 42 - Superfícies aquecimento Z01 .....                                   | 83 |
| Figura 43 - Superfícies resfriamento Z01 .....                                  | 83 |
| Figura 44 - Superfícies aquecimento Z02 .....                                   | 83 |
| Figura 45 - Superfícies resfriamento Z02 .....                                  | 83 |
| Figura 46 - Superfícies aquecimento Z03 .....                                   | 83 |
| Figura 47 - Superfícies resfriamento Z03 .....                                  | 83 |
| Figura 48 - Superfícies aquecimento Z04 .....                                   | 83 |
| Figura 49 - Superfícies resfriamento Z04 .....                                  | 83 |
| Figura 50 - Superfícies aquecimento Z05 .....                                   | 84 |
| Figura 51 - Superfícies resfriamento Z05 .....                                  | 84 |
| Figura 52 - Superfícies aquecimento Z06 .....                                   | 84 |
| Figura 53 - Superfícies resfriamento Z06 .....                                  | 84 |
| Figura 54 - Superfícies aquecimento Z07 .....                                   | 84 |
| Figura 55 - Superfícies resfriamento Z07 .....                                  | 84 |
| Figura 56 - Superfícies resfriamento Z08 .....                                  | 84 |

## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1 - Valores de COP para produtos Carrier .....                         | 29 |
| Tabela 2 - Níveis de conforto térmico segunda a <i>ASHRAE</i> .....           | 36 |
| Tabela 3 - Valores de condutividade térmica para diversos tipos de solos..... | 43 |
| Tabela 4 - Coeficientes de correlação .....                                   | 46 |
| Tabela 5 - Dados climáticos das oito zonas .....                              | 67 |
| Tabela 6 - Potencial de aquecimento para as oito zonas .....                  | 78 |
| Tabela 7 - Potencial de resfriamento para as oito zonas .....                 | 79 |

# 1. INTRODUÇÃO

A necessidade do ser humano estar em conforto térmico dentro dos edifícios, somada à necessidade de economia energética, tem feito com que projetistas arquitetos e engenheiros utilizem cada vez mais soluções passivas ou de baixo consumo energético no controle de temperatura dos ambientes. Busca-se, dessa forma, cumprir um dos requisitos para edifícios mais sustentáveis, tanto do ponto de vista de sua concepção e construção, visto que o uso sucesso no uso dessas tecnologia parte de uma iniciativa de projeto, quanto de seu uso cotidiano, que atenda às necessidades do homem de forma menos agressiva ao meio ambiente, permitindo a manutenção dos recursos naturais.

Esta necessidade por conforto térmico vem fundamentada por questões fisiológicas do bem estar do homem, influenciando no seu desempenho intelectual, manual e cognitivo na realização das tarefas diárias, assim como no seu bem estar nas horas de descanso. No intuito de controlar a temperatura ambiente, países da Europa e América do Norte condicionam artificialmente o ar interno dos seus edifícios em tempo integral, sendo corriqueira a construção de edifícios selados para melhorar o rendimento do sistema de climatização. Apesar de diversas dessas regiões terem um clima mais rigoroso que no Brasil, e a adoção de sistemas de climatização artificial serem de fato necessários para manter-se a habitabilidade dos edifícios, vê-se que o estabelecimento de faixas restritas de conforto parece ser uma questão cultural. No Brasil, os edifícios, em geral, interagem com o ambiente externo de forma direta, seja pela construção de terraços e varandas ou edifícios que se abrem para a troca de calor direta.

Apesar desta constatação, dados presentes no Balanço Energético Nacional de 2011 mostram que houve um aumento considerável no consumo energético brasileiro. De 2001 a 2010, este aumento no consumo foi de 47%, enquanto que o aumento populacional foi de 11% e do PIB 40%. Isso demonstra um maior poder de compra da população brasileira neste período, e parte deste aumento se deve à aquisição de eletrodomésticos, inclusive para climatização de ambientes. Mas cabe ressaltar a necessidade de se pensar em edifícios de baixo consumo energético, inclusive com aproveitamento das condições climáticas locais para obtenção do conforto térmico e com baixo impacto ambiental.

Estratégias associadas ao projeto arquitetônico são a primeira etapa na obtenção do conforto térmico em edificações, onde são definidas a melhor implantação do

edifício, composição dos materiais, elementos de vedação e sombreamento, quantidade de massa edificada, tamanho das aberturas, etc. Estas definições são condicionadas, principalmente, à rotina de uso do edifício e às condições climáticas onde este se insere.

Porém em alguns climas, somente o abrigo construído não é suficiente para a obtenção do conforto térmico. Assim, se faz necessário o uso de soluções de climatização artificial auxiliares ou complementares, como é caso dos sistemas de ar condicionados, *splits*, sistemas *chiller*, resfriadores evaporativos e outros dispositivos. Neste trabalho serão estudados os sistemas de climatização por dutos subterrâneos, uma estratégia de baixo consumo energético, que aproveita a energia calorífica armazenada no subsolo para contribuir com a climatização de ambientes. Os principais fenômenos físicos atuantes num sistema deste tipo são aqui estudados e descritos, assim como também é avaliado o seu potencial de climatização para o Brasil.

## 1.1 Estrutura da dissertação

Neste primeiro capítulo será contextualizado o problema de pesquisa e o recorte que será dada ao tema, explicando o objetivo e justificando a relevância desta dissertação.

No segundo capítulo, uma revisão de literatura técnica é selecionada, baseada principalmente em periódicos científicos, mas também em livros e outros meios de conteúdo. Uma descrição do que é conhecido sobre o assunto é apresentada, assim como um detalhamento dos fatores que influenciam no desempenho de um sistema de climatização por dutos subterrâneos.

No terceiro capítulo a metodologia utilizada para este estudo é introduzida e detalhada passo a passo para justificar as estratégias de pesquisa adotadas e detalhar as etapas cumpridas para realização do objetivo desta pesquisa.

No quarto capítulo são apresentados os resultados que buscam responder ao problema da pesquisa e os mesmos são discutidos. No quinto são feitas as considerações finais e reflexões sobre este trabalho, enquanto que no sexto são propostas outras formas de abordar o tema e enriquecer o conhecimento no uso de geotermia para climatização de edifícios.

## 1.2 Problematização

O ser humano, na sua necessidade de abrigo, segurança e conforto, já utiliza a inércia térmica do solo de diferentes maneiras. Os trogloditas, por exemplo, habitavam (e alguns ainda habitam) cavernas, áreas escavadas ou falhas naturais em terrenos rochosos da Europa e Ásia. Já os esquimós habitam seus iglus com o acesso semienterrado, de forma que o calor produzido no seu interior não seja retirado por convecção, além de obter uma maior estabilidade térmica dentro dos espaços junto ao solo. Também os povos indígenas *pueblos*, habitantes de regiões mais áridas da América do Norte, já se utilizavam de sistemas de climatização passivos por túneis enterrados, usando a capacidade térmica do solo (IZARD e GUYOT, 1983). Ainda tem-se o exemplo das *Ice Houses* inglesas em que o gelo dos lagos congelados no inverno é

armazenado em buracos ou quartos subterrâneos para a utilização, no verão, na refrigeração de alimentos e climatização de ambientes (ROAF, 2001).

Atualmente esta propriedade térmica associada aos sistemas de climatização por dutos subterrâneos (SCDS) tem sido desenvolvida e pesquisada, em diferentes regiões do planeta, a fim de se obter uma melhoria do conforto térmico em edificações, com uma maior eficiência energética e utilizando-se de recursos naturais renováveis. Segundo Ozgener e Ozgener (2010) estes sistemas se mostram uma alternativa com diversos pontos positivos do ponto de vista da sustentabilidade e economia. Num SCDS um fluido, usualmente o ar ou a água, que está à temperatura ambiente, faz a troca de calor com o subsolo, que está a uma temperatura diferente, por meio de dutos enterrados, levando esta diferença de temperatura aos ambientes.

A estabilidade térmica de baixa profundidade percebida no subsolo ocorre de maneira gradual em relação à superfície, de forma que aumentando a profundidade são registradas temperaturas mais constantes. Dentre os agentes que influenciam neste gradiente pode-se citar a incidência solar sobre a superfície terrestre como o principal, além de todas as variáveis climáticas presentes nas latitudes e longitudes do globo terrestre, como índice pluviométrico, regime de ventos, propriedades físicas dos solo e diferentes níveis de radiação solar incidente. Sabe-se também que a presença de edificações e diferentes tratamentos da superfície do solo também influenciam neste gradiente de temperatura (LABS, 1989; MIHALAKAKOU *et al.*, 1997).

Durante as leituras realizadas para o embasamento técnico e busca da contextualização desta pesquisa num panorama mais abrangente, percebe-se que o problema matemático da troca de calor é tema de relevância científica, porém nos últimos 30 a 40 anos, já se mostra conhecido de forma detalhada o suficiente para aplicação em edifícios de diversos usos (TZAFÉRIS, 1992; OZGENER, 2011). Dessa forma, a busca por algoritmos de cálculo e dimensionamento de sistemas não são pretensões deste trabalho, cabe aqui difundir este conhecimento, e explorar a adaptabilidade a condições locais, tornando-o mais palpável ao projetista que busca formas inovadoras e eficientes de projeto de edificações.

Para que este se torne um sistema de climatização aceito e difundido entre arquitetos e engenheiros brasileiros, são necessários estudos que explorem o desempenho e viabilidade do mesmo, avaliando as condicionantes que atuam num

sistema desta natureza. Sendo a temperatura do subsolo para a troca de calor do solo com os dutos o ponto principal deste sistema, é colocado o seguinte problema de pesquisa: *qual o potencial de climatização do subsolo considerando seus valores de temperatura sob diferentes profundidades e tratamentos da superfície, nas condições climáticas brasileiras?*

### **1.3 Hipótese**

Devido às diferentes condições climáticas a que o extenso território brasileiro está sujeito, espera-se encontrar soluções adaptadas, para diferentes regiões, a partir do princípio da inércia térmica do solo. O melhor aproveitamento para aquecimento é esperado em cidades com média de temperatura anual entre os 13 °C e 18 °C, conforme apontam Kwork e Grondzik (2007). Já para resfriamento, nenhuma convenção precisa foi encontrada, porém sabe-se que quanto menor for a temperatura do subsolo no período mais quente e maior a amplitude de temperatura do ar externo, melhor desempenho terá um SCDS.

Espera-se portanto uma aplicabilidade do uso do subsolo para fins aquecimento nas zonas mais frias do Brasil, aqui representadas por Curitiba, com média de temperatura anual de 17,3 °C, e possivelmente Santa Maria, com média de temperatura anual de 19 °C. E para resfriamento em cidades em que a temperatura do subsolo nos dias mais quentes seja abaixo do necessário para manter o conforto térmico ou que tenham altas temperaturas, acima de 30 °C, nos períodos mais quentes. Vale ressaltar que em diversas cidades os dados oficiais de temperatura são coletados em regiões afastadas dos centros urbanos, principalmente em aeroportos, podendo destoar das médias de temperatura, sabidamente mais altas, encontradas em ambientes urbanos de alta concentração da ocupação do solo devido às ilhas de calor. Isto poderia vir a modificar a previsão de aplicabilidade dos SCDS.

É esperado também que em maiores profundidades se consiga um melhor aproveitamento do subsolo para climatização. Isto devido à maior inércia térmica percebida no subsolo a partir de 3 a 4 m de profundidade, onde a influência das temperaturas da superfície é menor ao longo do ano.

Além disso, espera-se ainda uma diferença no desempenho térmico quando tratamos a superfície do subsolo de maneiras distintas. Em Schmid e Reis (2011) constatou-se que um duto enterrado sob solo gramado tem desempenho diferenciado de outro sob asfalto, sendo este último menos favorável ao resfriamento. Assim como Mihalakakou *et al.* (1997) que encontra diferenças em solo gramado e solo sem recobrimento.

## **1.4 Objetivo**

Apresentado o problema de pesquisa, este trabalho busca avaliar o potencial de climatização do subsolo para aplicação de um sistema de troca e armazenamento de calor por dutos subterrâneos, ou sistema de climatização por dutos subterrâneos (SCDS), considerando as diferentes zonas bioclimáticas do território brasileiro, segundo a NBR15220:3 (2005), a diferentes profundidades e sob diferentes tratamentos da superfície do solo, visando soluções condizentes com o potencial do subsolo e com os dados climáticos apresentados para cada zona bioclimática.

Para cada uma das zonas bioclimáticas, foi escolhida uma cidade representante, baseada, principalmente na disponibilidade de dados durante o desenvolvimento desta pesquisa.

## **1.5 Justificativa**

A busca pelo uso de recursos variados e energias renováveis é um dos assuntos em pauta entre pesquisadores e profissionais da área da construção civil desde a crise do petróleo de 1973. Quando se fala em pesquisa sobre ventilação por dutos subterrâneos, pode-se enquadrar o tema nessa busca, já que este sistema tira partido de um fenômeno natural, que é a capacidade do subsolo, a aproximadamente 4 m de profundidade, manter uma temperatura constante próxima da média anual da superfície do solo (LABS, 1989).

A importância do estudo desta técnica de climatização pode ser justificada por diferentes aspectos, os quais serão apresentados a seguir: aspectos ambientais, econômicos, tecnológicos e sociais.

### **1.5.1 Aspectos ambientais**

A preocupação mundial com os gases nocivos à atmosfera foi tratada em acordos mundiais como o Protocolo de Quioto e o Protocolo de Montreal. A fim de atender a tais acordos, no Brasil foram criados o Plano Nacional para Eliminação Gradual do CFC - clorofluorcarboneto (BRASIL, 2002) e o Programa Brasileiro para Eliminação dos HCFCs - hidroclorofluorcarbonos (BRASIL, 2012), que dentre outras ações, visam à implementação de novas tecnologias de baixa emissão de gases.

Segundo o Instituto Brasil Verdade (2012), desde a implementação do Plano Nacional para Eliminação Gradual do CFC em 2002 a redução na emissão do gás, até 2007, foi de aproximadamente 95%, porém aponta-se que os remanescentes estão presentes nos aparelhos domésticos e comerciais de refrigeração, além de condicionadores de ar automotivos, resfriadores centrífugos e inaladores.

O SCDS aqui considerado não faz uso de nenhum compressor, CFC ou qualquer outro gás refrigerante, contribuindo diretamente para a redução das emissões de gases do efeito estufa na atmosfera (DENG *et al.*, 2012, OZGENER, 2011). Este sistema trabalha com a circulação e tratamento térmico do ar atmosférico ou da água subterrânea, através da troca de calor com o subsolo.

### **1.5.2 Aspectos econômicos**

Segundo o Balanço Energético Nacional (BRASIL, 2011), o aumento no consumo de energia elétrica no Brasil de 2001 a 2010 foi de 309.729 GWh para 455.660 GWh (47% de aumento), sendo que os setores residencial, comercial e público juntos tiveram um aumento proporcional de 145.574 GWh para 213.665 GWh (46% de aumento). Para o setor residencial, o consumo *per capita* teve um aumento no mesmo período, de 0,424 MWh/ *per capita* para 0,569 MWh/*per capita*, ou seja, cerca de 34%.

Os dados apresentados mostram que o desenvolvimento econômico do país nestes últimos anos tem gerado maior consumo energético da população, e dessa forma, se torna importante falarmos de técnicas de climatização passiva ou de baixo consumo. Mesmo que o SCDS necessite de energia elétrica para o funcionamento dos ventiladores

ou bombas d'água, ele ainda se mostra uma estratégia econômica de climatização (OZGENER, 2011).

Um fator de encarecimento do sistema é a escavação, principalmente em regiões onde se deve evitar a camada de congelamento do solo e se faz necessário maior profundidade da tubulação (KWORK e GRONDZIK, 2007), fator este com que o nosso país pouco tem a se preocupar para implementação deste sistema. Porém, de acordo com os mesmos autores, se a escavação for feita em conjunto com outras etapas da obra, como as de infraestrutura, pode-se diluir o custo de implementação do sistema.

### **1.5.3 Aspectos tecnológicos**

O sistema apresenta uma configuração bastante simples quanto às instalações e modo de funcionamento, o que requer baixa manutenção. A experimentação por novos materiais, aplicações, condicionantes e otimização do sistema ainda vem sendo feita por pesquisadores que trabalham neste assunto (MENBERG *et al.*, 2013; LEE *et al.*, 2012; DENG *et al.*, 2012; AMPOFO *et al.*, 2011; OZGENER, 2011; SCHMID e REIS, 2011).

Este que se apresenta como um tema difundido e pesquisado em países da Europa e América do Norte há aproximadamente 30 ou 40 anos (OZGENER, 2011; FLORIDES e KALOGIROU, 2007; LABS, 1989), tem no Brasil, alguns exemplos de aplicação. O arquiteto João Filgueiras Lima aplicou um sistema similar no hospital da rede Sarah Kubitscheck em Fortaleza (LELÉ, 2000). Na região metropolitana de Curitiba tem-se o sistema implantado na Igreja Cristo Rei e em estabelecimento comercial (SCHMID e REIS, 2011), além do projeto de instalação nas estações tubo de transporte coletivo (CZELUSNIAK, 2012). No banco de teses e dissertações da CAPES, foram encontradas três teses e uma dissertação sobre o tema (VAZ, 2011; RODRIGUEZ, 2005; VILELA, 2004; de BONI, 2003).

Segundo Lund (2005) o interesse no assunto não é só de pesquisadores, mas também do mercado de climatização. No mundo todo existem mais de 550.000 unidades instaladas do sistema e são instaladas por volta de 66.000 anualmente. O autor completa ainda que 80% dos sistemas são de uso residencial.

#### **1.5.4 Aspectos sociais**

Aplicando o SCDS como uma estratégia de adequação das temperaturas nas edificações, obtemos conforto térmico com baixo consumo de energia, e que pode ser eficaz tanto no verão como no inverno, dependendo das condições climáticas do local. Este sistema pode ser usado em residências, edifícios industriais, comerciais ou aplicações em área rural (por exemplo, produção de cogumelos e estufas, que necessitam temperaturas constantes para florescer). Ainda pode ser utilizado em edifícios públicos como escolas, postos de saúde e escritórios ou grandes espaços, como igrejas, teatros e galpões.

#### **1.6 Contextualização no programa**

As estratégias de conforto térmico em edificações foram abordadas em algumas oportunidades no programa de mestrado. Machado (2008) estudou o conforto térmico em residências modernistas em Curitiba, Winck (2010) desenvolveu um atenuador de ruídos que permitisse a ventilação forçada em edificações residenciais, Mazzarotto (2011) estudou o desempenho térmico de fachadas ventiladas em edifícios curitibanos e Pertschi (2005) realizou medições das condições térmicas urbanas em São José dos Pinhais comparando-as com morfologias de ocupação do solo. Porém nenhuma destas dissertações apresenta um vínculo direto com o presente trabalho.

No portal CAPES, foram encontradas três teses de doutorado e uma dissertação relacionadas ao tema: Vaz (2011), no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFRGS, faz um estudo experimental e numérico da aplicação do sistema por dutos subterrâneos; Rodriguez (2005), no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da UFRGS, faz um estudo numérico da transferência de calor e umidade através do solo com o sistema de climatização; Vilela (2004), no Programa de Pós-Graduação em Energia da USP, estuda um método experimental para determinar a potencialidade do uso de energia geotérmica para fins de climatização; e Boni (2003), com sua dissertação no Mestrado de Modelagem Matemática, em Ijuí, Rio Grande do Sul, avalia um modelo matemático de transferência de calor não estacionária solo-ar.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo busca-se introduzir o tema em sua complexidade, explorando os fatores de maior efeito no desempenho de um sistema deste tipo, sejam por conta das condições climáticas, físicas, ambientais ou temporais.

Interessante notar que as temáticas de pesquisa sofreram uma evolução sistemática. Ao analisar a bibliografia aqui descrita, percebe-se que a partir da crise do petróleo, do início da década de 70, de onde se despertou para a questão do aproveitamento dos recursos naturais renováveis como fonte de energia, houve uma maior quantidade de pesquisas nesse campo.

Enquanto nas décadas de 70 e 80 os estudos parecem retomar o interesse em determinar comportamentos termofísicos dos solos, em que medições são realizadas e os métodos matemáticos de predição destes comportamentos são testados (VAN ROOYEN e WINTERKORN, 1975 e JOHANSEN, 1975), nas décadas seguintes métodos mais apurados são obtidos e comprovados com maior eficiência (LABS, 1989; BECKER, 1992; MIHALAKAKOU, 1994) dando base então, para que na última década, houvesse grande quantidade de estudos mais específicos relacionados a sistemas de climatização por dutos subterrâneos, inclusive com auxílio de outros dispositivos que visam o baixo consumo em climatização de ambientes (OZGENER e HEPSBALI, 2005; YILDIZ *et al.*, 2011; LEE *et al.*, 2012; DENG *et al.*, 2012), como coletores solares e painéis fotovoltaicos.

Dentre todos os trabalhos apresentados na revisão bibliográfica que se segue, destacam-se os trabalhos de Labs (1989), que nos apresenta o estado da arte sobre a interação de edifícios e dos SCDS com o subsolo para os Estados Unidos, onde existe desde então o mapeamento do comportamento térmico do subsolo e o entendimento científico de fatores que influenciam neste comportamento; Tzaféris *et al.* (1992) que faz uma análise comparativa testando a precisão de oito modelos matemáticos para prever o desempenho térmico de SCDS; Kwork e Grondzik (2007), que determinam pré-requisitos para dimensionamento e instalação de SCDS, com comentários práticos baseados em diversas experiências, principalmente nos Estados Unidos; e Florides e Kalogirou (2007) e Ozgener (2011) que apresentam um levantamento mais atualizado sobre a abordagem dada a esta temática atualmente.

## 2.1 Generalidades

Segundo Labs (1989) a definição das propriedades térmicas do solo, para solucionar problemas de troca de calor na aplicação em arquitetura e engenharia, é um assunto complexo de ser dominado na prática, já que as condições reais não conformam uma simples geometria, homogênea, nem condições térmicas estacionárias que são resolvidas por análise teórica. As propriedades térmicas do solo são difíceis de serem determinadas, já que variam conforme o tempo e a umidade.

Para a aplicação de qualquer tipologia de sistema de climatização por dutos subterrâneos, que chamaremos aqui de SCDS, é necessário o conhecimento do comportamento térmico do solo na medida em que se aumenta sua profundidade e influência de fatores climáticos, como radiação solar, média e amplitude de temperatura anual, velocidade e frequência de ventos, umidade do ar e índice pluviométrico (FLORIDES e KALOGIROU, 2007). Estes influenciam no gradiente de temperatura do solo, e precisam ser considerados quando se projeta um sistema deste tipo. Além disso, é preciso conhecer as propriedades estruturais e termofísicas do solo assim como o tipo de recobrimento da superfície (grama, terra, asfalto, etc.).

A transmissão de calor no solo ocorre de quatro modos distintos: no interior do solo por condução, convecção, e evaporação ou condensação e com o meio externo por radiação e convecção. Estes quatro modos são apresentados a seguir:

- **Condução:** este processo ocorre quando há transferência de calor de uma zona para outra de um mesmo corpo ou corpos diversos em íntimo contato, e é o mais importante quando se trata de solos. É um fenômeno que pode ser percebido em todas as partes que constituem o solo, nas partículas sólidas, na água e no ar. Quanto mais densa a porção seca e maior o grau de saturação de água no solo, maior será a quantidade de calor transferida por condução (BECKER *et al.*, 1992), pois há um maior contato entre as partículas sólidas e a água, a qual conduz melhor o calor do que o ar;

- **Convecção:** neste processo, o calor é transmitido pelo movimento das partículas de um fluido no meio. Este mecanismo não envolve transferência de calor por átomos ou moléculas como ocorre na condução, a convecção é o fluxo de calor macroscópico, em que são carregadas partes da substância de uma região quente para uma região fria. Ocorre com líquidos e gases, entretanto, em solos, a convecção normalmente é

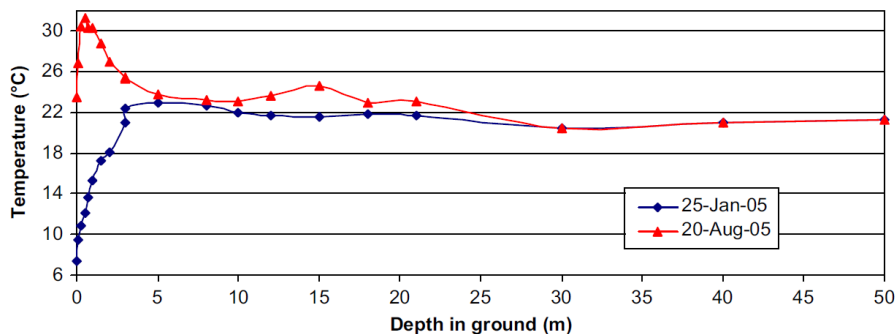
desprezada (JOHANSEN, 1975). Na superfície do solo, também existe a troca de calor por convecção com o meio externo, principalmente onde há ventos fortes. Neste caso as temperaturas da superfície do solo é afetada, e conseqüentemente a temperatura do subsolo abaixo.

- **Radiação:** por meio desse processo, a transmissão de calor ocorre sem contato físico entre os corpos, através de ondas eletromagnéticas. O calor é transmitido entre dois corpos em diferentes temperaturas, mesmo sem qualquer meio físico entre os mesmos. O principal elemento de radiação é o sol, do qual o solo retém o calor recebido em diferentes gradientes de temperatura conforme a profundidade.

- **Evaporação/condensação:** o aumento da temperatura em certas regiões de solos não saturados provoca a evaporação da água, com conseqüente aumento da pressão de vapor local. O vapor d'água se transporta para regiões de menor pressão de vapor através de difusão, se condensando nestas regiões. Através desse processo, uma quantidade significativa de calor pode ser transferida (JOHANSEN, 1975).

A incidência da radiação sobre o planeta é o principal regulador de temperatura, assim como acontece no caso particular do solo. Este, por possuir alta capacidade térmica, passa a ter valores mais constantes na medida em que se aumenta a profundidade (Figura 1). O fenômeno, desta forma, ocorre até certo limite de profundidade, pois na medida em que se aproxima do núcleo terrestre, as temperaturas tendem a se elevar gradativamente.

Figura 1 - Variação de temperatura em função da profundidade medida *in loco*.



Fonte: Florides e Kalogirou, 2007

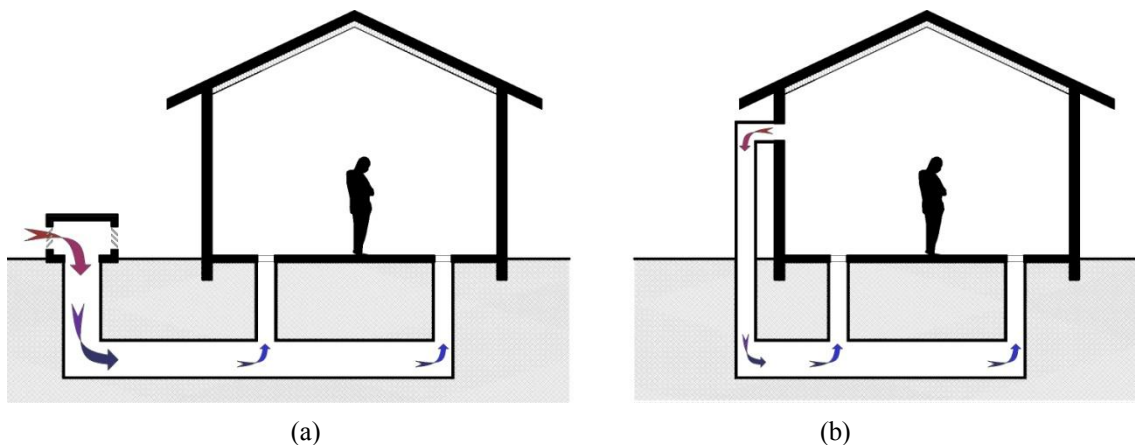
Considerando a temperatura no subsolo para uso em climatização, Popiel *et al.* (2001) fazem uma divisão do solo em três zonas térmicas, sendo elas:

- Zona superficial, com profundidade de até 1 metro, sofre influência direta das variações climáticas atmosféricas de curto prazo;
- Zona rasa, que compreende profundidades entre 1 a 8 m para solo secos e leves, até 20 m para solos pesados, arenosos e úmidos. É onde a temperatura permanece constante e próxima à média anual, variando conforme as estações climáticas;
- Zona profunda, com profundidades maiores que 8 a 20 m, onde a temperatura é constante, aumentando levemente em função do gradiente térmico da crosta terrestre.

Sobre a zona superficial, portanto, as variações climáticas de curto prazo, sejam semanas ou poucos meses, irão interferir diretamente. Dessa forma o recobrimento dado à superfície pode ter diferentes influências no comportamento térmico do solo. Popiel *et al.* (2001) comprovaram que uma superfície recoberta com grama curta é mais eficiente, quando se quer resfriar um ambiente (e indiferente quando se quer aquecer), do que uma superfície em terra nua, obtendo-se à 1,5 m de profundidade variação de 4 °C entre as duas situações. Schmid e Reis (2011) também puderam constatar que um duto movido a ar, enterrado a 3 m sobre superfície em asfalto, recebendo radiação solar direta, sofre grande influência da temperatura superficial, ao tomar por referência outro duto, igual, instalado sob jardim sombreado, variando em até 4 °C de um para outro.

Estes fatores influenciam diferentes tipologias de sistemas de trocadores de calor com o solo. Os SCDS são compostos por tubulação enterrada que realiza troca de calor com o solo, fazendo uso de ventiladores ou bombas d'água a fim de movimentar o fluido armazenado, e assim climatizar ambientes. Este fluido condicionado termicamente, que usualmente é o ar ou a água, pode aquecer as zonas desejadas nos períodos mais frios, e/ou refrigerá-las nos períodos mais quentes. Isso ocorre devido à capacidade térmica do solo, em que numa profundidade de aproximadamente 3 a 4 m, a temperatura permanece relativamente constante, sendo esta a média anual da temperatura registrada (LABS, 1989).

Figura 2 - Tipologias de SCDS, ciclo aberto (a) e ciclo fechado (b), sem relação de escala



Fonte: do autor

Considerando-se uma classificação mais ampla dos sistemas de acoplamento do edifício com o solo, estes podem ser de ciclo aberto, quando existe o contato do fluido com o meio externo, ou de ciclo fechado, quando não há este contato (Figura 2). Estes dois tipos de tratamento do sistema são classificados por Labs (1989) como troca de calor indireta, pois dependem de um mecanismo de interação entre o ambiente interno e o solo.

A partir desta classificação ainda se tem dois principais fluidos usados para fazer a troca de calor com o subsolo, o ar e a água, chamados portanto de trocadores de calor solo-ar e solo-água, respectivamente. Os trocadores de calor solo-ar são apresentados de duas formas básicas, pegando o ar externo ou retratando o interno, como mostrado na Figura 2. Já os solo-água podem tirar proveito de águas subterrâneas, lagos, cisternas enterradas ou caixa d'água.

Segundo Ozgener (2011) são colocadas como principais vantagens deste sistema, em relação a outros equipamentos de climatização para troca de calor:

- menor consumo de energia;
- menor poluição do ar;
- não necessidade, em regiões tropicais e mediterrâneas, de um sistema complementar para as épocas mais frias do ano;

- não necessidade de compressor, clorofluorcarboneto (CFC) ou qualquer outro gás refrigerante;
- uso do ar [ou da água] como fluido de climatização;
- simplicidade técnica do sistema, requerendo pouca manutenção;

Ao passo que como desvantagens são apontadas:

- alto custo inicial, devido às escavações que devem ser feitas para a instalação das tubulações. Porém, em longo prazo, a economia com o consumo energético se torna vantajosa, pois o sistema apresenta uma média de coeficiente de performance (COP)<sup>1</sup> superior a 3;
- condensação que ocorre no interior do tubo, o que prejudica o desempenho do sistema, portanto é necessário um controle de umidade;
- risco à qualidade do ar, pois com o tempo de uso é possível o desenvolvimento de micro-organismos no interior das tubulações. É necessário que se instale um filtro ou higienizador do ar lançado no ambiente.

Segundo resultados de Abrams *et al.*(1980 *apud* LABS, 1989) e Akridge (1982 *apud* LABS, 1989) a partir de estudos paramétricos, são expostas uma série de características de um SCDS para regiões quente e úmidas, que são:

- Tubos com diâmetros menores são mais eficientes;
- Preferência pela utilização de vários tubos pequenos;
- Não necessidade de longas tubulações, pois o ar atinge a mesma temperatura do solo rapidamente;
- Profundidade da tubulação, a maior possível;
- Maior eficiência dos sistemas de ciclo fechado para refrigeração, pois nos sistemas de ciclo aberto a temperatura do ar externo é maior, aumentando a temperatura do solo e a umidade relativa.
- Relativismo quanto ao material do tubo, dado que a resistência térmica do solo é alta;

---

<sup>1</sup> O coeficiente de performance (COP) é medido pela relação da quantidade de aquecimento ou esfriamento promovida pelo sistema sobre a energia necessária para o funcionamento do sistema. Como exemplo, no experimento de Ozgener (2011) o sistema obteve um COP de 15.8 diário para o resfriamento do ar e um COP de 10.09 para todo o período de experimento.

- Incapacidade de ser o único sistema de ar condicionado a trabalhar para climatização dos ambientes.

Kwork e Grondzik (2007) apresentam alguns parâmetros e diretrizes de projeto para a implementação de um SCDS, considerando a integração ao projeto de arquitetura. Os autores atentam para os custos da escavação e integração com outras instalações subterrâneas, as quais podem ocorrer numa mesma etapa de obra, diluindo o custo final do sistema. Além disso, alertam para a necessidade de planejamento para um futuro aumento de demanda de sistema, ou seja, prever ampliação no comprimento da tubulação enterrada.

Kwork e Grondzik (2007) estabelecem como pré-requisito, para que o sistema seja viável, a temperatura do subsolo ter média anual registrada entre 13°C e 18°C, e estimam dimensões aproximadas dos componentes necessários. Para um sistema na horizontal, é prevista uma capacidade de aquecimento ou resfriamento de 35-60 kWh por metro linear de tubulação, com escavação de 1,2-1,9 m de profundidade. Para um sistema na vertical, sugere-se um poço de 45-140 m de profundidade, e para uma área de contato de 9 a 18 m<sup>2</sup> consegue-se 3,5 kW de aquecimento ou resfriamento.

Florides e Kalogirou (2007) também estabelecem dimensões aproximadas, baseadas em pesquisas de outros autores. Para um sistema na horizontal, também chegam a um resultado de 35-60 kWh por metro linear de tubulação, porém com dutos enterrados a 1,5-2 m. Para um sistema na vertical, de dois poços, que utiliza água de lençol freático como fluido de climatização, eles devem ter de 20-300 m de profundidade com diâmetro de 10-15 cm. Para sistemas de um poço somente, estima-se um desempenho de 50W para cada m de profundidade do poço.

A eficiência energética de sistemas de climatização é usualmente medida pelo COP (coeficiente de performance) do conjunto de equipamentos que compõe o sistema. Este valor é obtido quando a quantidade de aquecimento ou arrefecimento é relacionada com a quantidade de energia necessária para o seu funcionamento.

Nos catálogos comerciais de empresas de aparelhos de climatização é possível obter essa relação. Através destes materiais (CARRIER, 2013), por exemplo, sabe-se que o COP médio para aparelhos de ar condicionado de janela é em torno de 3,00,

enquanto que aparelhos do tipo *split*, já apresentam valores um pouco superiores. Alguns equipamentos da linha de produtos são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Valores de COP para produtos Carrier

| Tipologia                 | Capacidade de refrigeração (W) | Consumo energético (W) | COP  |
|---------------------------|--------------------------------|------------------------|------|
| Ar condicionado de janela | -                              | -                      | -    |
| SC-7500                   | 2196                           | 670                    | 3,28 |
| SC-10000                  | 2928                           | 970                    | 3,02 |
| SC-12000                  | 3514                           | 1165                   | 3,02 |
| SC-17500                  | 5125                           | 1900                   | 2,70 |
| Aparelhos Split           | -                              | -                      | -    |
| SC-7500                   | 2196                           | 678                    | 3,24 |
| SC-9000                   | 2635                           | 814                    | 3,24 |
| SC-12000                  | 3514                           | 1085                   | 3,24 |
| SC-18000                  | 5270                           | 1741                   | 3,03 |
| Chiller + fancoil         | -                              | -                      | -    |
| 30XW150 + AE7000          | 652700                         | 137517                 | 4,75 |
| 30XW175 + AE9000          | 598200                         | 137468                 | 4,35 |
| 30XW185 + AE12000         | 626700                         | 140277                 | 4,47 |
| 30XW200 + AE18000         | 672100                         | 147749                 | 4,55 |

Fonte: Adaptado de Carrier, 2013.

Quando se trata de sistemas de climatização por dutos subterrâneos, os valores de COP variam de acordo com o tipo de sistema; solo-água ou solo-ar, além de especificações e elementos complementares. No experimento de Ozgener (2011), um sistema do tipo solo-ar, assistido por placas fotovoltaicas, obteve um COP de 15,8 diário para o resfriamento do ar e um COP de 10,09 para todo o período de experimento. Em Ampofo *et al.* (2011), em que se estudou um sistema do tipo solo-água que aproveita o lençol freático existente, observou-se que um COP de até 16 é atingido com 50% de eficiência da bomba d'água.

Nas pesquisas científicas com dutos subterrâneos, onde o COP foi registrado, os valores são bem superiores aos dos sistemas convencionais de climatização. Porém vale ressaltar que em diversas ocasiões o uso da energia geotérmica de superfície não é suficiente para suprir a carga térmica necessária de climatização de um edifício. Mesmo assim a associação de dutos subterrâneos com outras estratégias de climatização, como um ar condicionado ou sistema *chiller* se mostra uma alternativa de economia a longo prazo pois torna o edifício energeticamente mais eficiente.

Matematicamente, o problema da transferência de calor no subsolo assume diferentes níveis de complexidade, sendo o fenômeno tratado pelos pesquisadores por

meio de cálculo unidimensional, bidimensional ou tridimensional<sup>2</sup>. Dessa forma o tratamento matemático do problema físico se mostra plausível para efeito de dimensionamento e previsão de desempenho de um SCDS. Por estes autores encontra-se à disposição uma gama de diferentes algoritmos de eficiência científica comprovada por meio de medições (TZAFÉRIS, 1992).

## **2.2 Meios de armazenamento de calor em edificações**

Todos os elementos que compõem uma edificação têm propriedades de armazenamento de calor. O calor específico e a densidade de um determinado material irão influenciar na quantidade de calor armazenado por um determinado volume de massa. Dessa forma, edifícios com elementos construtivos leves ou de baixo poder calorífico tendem a perder maior quantidade de calor para o ambiente externo, sendo estas mais sensíveis a variações de temperatura do clima local. Da mesma forma, quando se tem grande diferença de temperatura entre o meio externo e interno e pretende-se climatizar um ambiente artificialmente, este dispositivo tende a ser menos econômico, pois gasta-se mais energia ao tentar manter a temperatura interna constante.

Em contrapartida, edifícios de maior massa conseguem armazenar calor com mais eficiência, pois têm uma maior capacidade térmica nos seus elementos, com isso é possível manter temperaturas mais constantes em relação à variação de temperatura do meio externo ao longo de um período, e assim climatizar estes edifícios pode ser energeticamente mais eficiente. Do ponto de vista bioclimático, cada tipo de construção tende a ser mais bem adaptado a um tipo de clima, como estabelece a NBR 15220:3 (2005).

O armazenamento de calor em uma edificação irá depender ainda de valores de transmitância térmica entre o invólucro e o meio externo, e mesmo entre ambientes internos ou diferentes andares (perda de calor por condução). Além disso, uma taxa de renovação do ar é necessária para manter-se a qualidade do ar interno ou mesmo para

---

<sup>2</sup> Para citar alguns autores que tratam do assunto da modelagem matemática, temos: Tzaferis *et al.* (1992), Mihalakakou *et al.* (1994), Bojic *et al.* (1997), Bojic (2000), Boni (2003), Paepe e Janssens (2003), Rodriguez (2005), Ghosal e Tiwari (2006), Badescu (2007), Thiers e Peuportier (2008), Bansal *et al.* (2009), Tittlein *et al.* (2009), Bansal *et al.* (2010), Schmid e Reis (2011), Vaz (2011).

ventilação natural de ambientes (perda de calor por convecção). Este ar, quando vindo do meio externo, irá carregar em sua massa a temperatura do ar externo, que conseqüentemente influenciará na temperatura interna do recinto (massa térmica de ar).

Quando falamos em taxa de ventilação, estamos também falando em aparelhos de condicionamento térmico, onde estão incluídos os SCDS além de ar condicionado, *split*, *chiller* e outros. Em SCDS esta climatização se dá por meio de troca de calor solo-ar, em que o ar é o fluido de climatização, ou por troca de calor solo-água, em que a água é o fluido que percorre os dutos. Estes dois sistemas são apresentados a seguir, assim como a influência da massa térmica da edificação.

### **2.2.1 Sistema solo-ar**

Em sistemas deste tipo, a troca de calor ocorre entre o solo e o ar que percorre os dutos enterrados, podendo este mesmo princípio apresentar diversas configurações de sistema. As mais comuns estão representadas na Figura 2, ciclo aberto ou ciclo fechado.

Se, por exemplo, o ar externo estiver mais frio que o subsolo, este é captado por meio de ventiladores, passando pelos dutos enterrados onde o solo fornecerá calor ao ar que será insuflado para o interior do ambiente. Este sistema pode ainda ser associado a um condicionador de ar, um coletor solar ou outros meios de climatização para melhorar o condicionamento térmico desta aplicação (YILDIZ *et al.*, 2011; BOJIC, 2000).

Diversos autores estudaram o assunto, entre eles Bansal *et al.* (2009 e 2010) que avaliam a performance desse sistema para as estações mais rigorosas na Índia, Tzaferis *et al.* (1992) que compara oito diferentes algoritmos de precisão comprovada para estimar o desempenho de sistemas do tipo solo-ar, Mihalakakou *et al.* (1992 e 1994) que estuda a modelagem matemática e aplicação do sistema do tipo solo-ar, Schmid e Reis (2011) que propõem um ábaco de dimensionamento para este tipo de sistema e descrevem sua aplicação em igreja e loja, e Rodriguez (2005) que busca resolver o problema tridimensional da transferência simultânea de calor e umidade em solos não saturados, que compõem o sistema solo-ar, utilizando simulação numérica.

Figura 3 - Sistema do tipo horizontal solo-ar



Fonte: Kwork e Grondzik, 2007

Figura 4 - Sistema solo-ar de tipo linear instalado em loja



Fonte: Schmid e Reis, 2011

Devido à menor capacidade térmica relativa do ar em comparação à água, um sistema deste tipo pode exigir grandes áreas de terreno para obter o efeito necessário na climatização do ambiente (Figura 3 e Figura 4). Isto acarreta além de maior ocupação do terreno, maiores gastos com escavação, o que é o principal fator de custo na implantação desses sistemas.

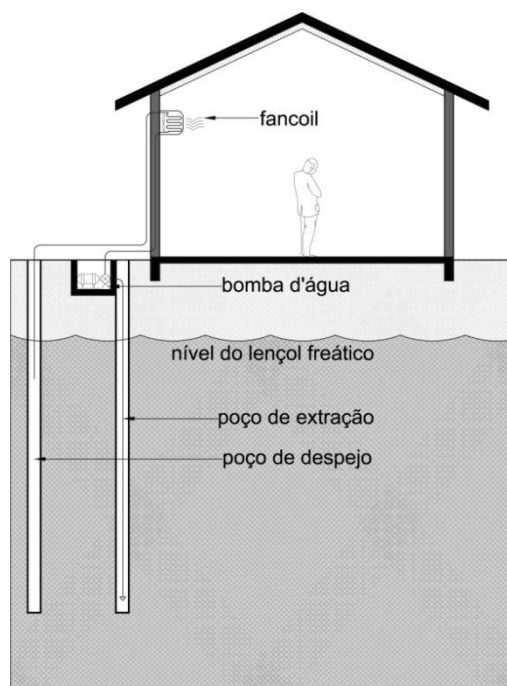
### 2.2.2 Sistemas solo-água e água-ar

O fluido que realiza a troca de calor com o solo neste tipo de sistema é a água, seja por tubulações enterradas em um ciclo fechado ou num reservatório enterrado, seja num ciclo aberto como por extração direta de aquífero ou lençol freático. Após esta etapa de troca de calor com o solo, ao entrar no edifício, um aparelho *fancoil* fará a troca de calor da água com o ar (Figura 5). Este princípio de troca de calor, dada suas variadas formas, geometrias e abordagens, pode apresentar diferentes desempenhos como aponta o trabalho de Deng *et al.* (2012), que compara três tipologias de sistemas solo-água.

Ampofo *et al.* (2011) estudam a implantação de um destes sistemas no metrô de Londres, usando na ocasião um aquífero próximo como fonte de energia a fim de refrigerar as áreas de passageiros. Nesta situação, tendo em vista o grande volume de água presente neste aquífero, consegue-se climatizar os ambientes a uma temperatura praticamente constante, sendo esta a própria temperatura da água no subsolo, em torno dos 12 °C. Isto é possível em aquíferos de grande escala ou em sistemas onde a água

devolvida ao subsolo após a troca de calor, não é devolvida no mesmo local, já que esta se encontra a uma temperatura diferente (Figura 5).

Figura 5 - Sistema aberto de dois poços para troca de calor solo-água água-ar, sem relação de escala



Fonte: do autor

Lee *et al.* (2012) comparam a troca de calor do solo com a água em tubulação tipo U, ou seja, um mesmo duto que desce até o subsolo e retorna, realizando a troca de calor no percurso. Esta tubulação é enterrada em um poço com diversas disposições da tubulação e diferentes materiais de estabilização do poço. A quantidade de dutos que percorrem pelo subsolo aumenta a área de troca de calor com o solo, tornando o sistema mais eficiente.

Deng *et al.* (2012) comparam desempenhos de três diferentes sistemas com uso da água para a climatização de uma residência na China. Aqui um sistema com reservatório d'água enterrado é simulado para que sua saturação quanto aos níveis de temperatura seja testada. Num sistema deste tipo assim como numa tubulação tipo U, a maior preocupação é quanto à saturação da temperatura, ou seja, para que se pudesse funcionar continuamente seria necessário que o calor trocado entre solo e água fosse

idêntico ao calor trocado entre água e ar. Dificilmente as duas formas de troca de calor são idênticas, dessa forma é necessário que o sistema tenha períodos sem funcionamento para que possa haver a recuperação térmica do fluido, ou então que se tenha uma quantidade de água suficiente para que a troca seja irrelevante, como no caso de Ampofo *et al.* (2011), realizada em um aquífero de largas proporções.

Se tratamos de um reservatório enterrado, sua geometria também influencia no aproveitamento da temperatura da água. Se, por exemplo, tivermos um mesmo volume de água em um cilindro esbelto, este sofrerá maior estratificação de temperatura<sup>3</sup> se estiver com o eixo na vertical, por sofrer convecção natural.

Assim como num sistema solo-ar, o sistema solo-água pode ser complementado com outros equipamentos e sistemas de climatização (OZGENER e HEPBASLI, 2007; TRILLAT-BERDAL *et al.*, 2007), sendo os mais utilizados os coletores solares e as bomba de calor.

### **2.2.3 Paredes e lajes espessas**

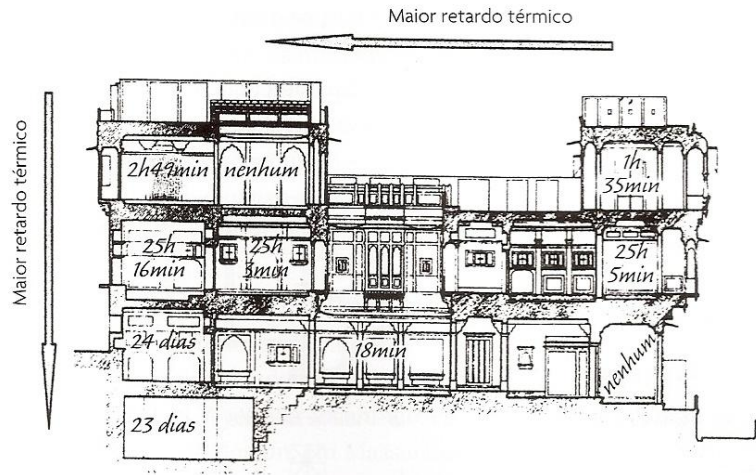
As condições de aplicação de um SCDS, além de dependerem de todos os fatores diretamente ligados ao sistema, como geometria, dimensões, e condições de clima e do solo, irão depender das características da edificação a ser climatizada. A quantidade de massa construída presente em uma edificação pode aumentar a capacidade térmica da mesma, assim como ocorre com o subsolo. Dessa forma, a envoltória e os elementos internos de um edifício serão determinantes na manutenção da temperatura ambiente. Ou seja, quanto mais espessas são as paredes e lajes, maior será a capacidade térmica da edificação.

Alta massa térmica é usada como estratégia tradicional em edificações de regiões de clima árido ou desértico, que apresentam grande amplitude térmica. Este fenômeno acarreta um atraso térmico dentre os cômodos, e se este estiver enterrado, o efeito pode ser ainda potencializado (Figura 6).

---

<sup>3</sup> Quando existe troca de calor não estacionária num fluido, haverá diferenças de temperatura em diferentes regiões da mesma massa, chamado estratificação da temperatura. Num cilindro esbelto posto na vertical, o efeito convectivo natural deixará o fundo mais frio e o topo mais quente.

Figura 6 - Retardo térmico em função da massa térmica da edificação



Fonte: Roaf *et al.*, 2009

Em contrapartida, quando se pretende refrigerar um ambiente interno, deve-se estar atento à produção de calor interna do ambiente, seja por alguma atividade, como uma cozinha ou pela quantidade de pessoas em um auditório ou igreja.

Em visita técnica à igreja Cristo Rei, em Curitiba, que possui SCDS do tipo solo-ar, foi possível perceber o comportamento térmico da edificação diante da rotina de uso, tratamento da envoltória e desempenho do sistema. Naquele local, quando se pretende refrigerar a igreja, a alta carga térmica provocada pela lotação e por radiação de calor advinda do telhado, de fibrocimento, não dão condições de o sistema suprir a demanda de resfriamento.

### 2.3 Conforto térmico nas edificações

Duas principais correntes de pensamento visam determinar condições ótimas de conforto térmico, o PMV e PPD (FANGER, 1982), e o conforto adaptativo (NICOL e HUMPFREYS, 2002), estas duas teorias são apresentadas a seguir.

### 2.3.1 PMV e PPD

Um estudo baseado em *survey* e tratamento estatístico realizado na década de 70 e 80 por Fanger (1982), em que obteve-se resposta de diversas pessoas quanto à satisfação ou insatisfação às condições de conforto térmico em uma estável câmara climática, formulou uma das principais correntes de análise de conforto térmico em edifícios. Este trabalho se tornou base das normas internacionais *ISO 7730* (1994) e *ASHRAE 55* (1992).

Este estudo colocou de forma matemática as reações do corpo humano às condições externas de clima. Dentre as variáveis que atuam neste nível de satisfação, são consideradas temperatura do ar, umidade, temperatura média radiante, vestimenta, nível de atividade metabólica e velocidade do vento.

Tabela 2 - Níveis de conforto térmico segundo a *ASHRAE*

| Descrição               | Equivalente numérico |
|-------------------------|----------------------|
| Muito quente            | 3                    |
| Quente                  | 2                    |
| Confortavelmente quente | 1                    |
| Confortável             | 0                    |
| Confortavelmente frio   | -1                   |
| Frio                    | -2                   |
| Muito Frio              | -3                   |

Fonte: *ASHRAE*, 2009

Com estes dados de entrada, calcula-se as porcentagens de *PMV* e *PPD*<sup>4</sup>, que preveem um percentual de pessoas termicamente satisfeitas e insatisfeitas, respectivamente. Aplicando estas condições a um ambiente, garante-se que o controle de temperatura trará satisfação térmica ao usuário. Uma escala de conforto é estabelecida pela *ASHRAE*, conforme a Tabela 2 e tende a mensurar níveis de conforto térmico.

---

<sup>4</sup> *PMV* - *Predicting Mean Vote* (Voto Médio Previsto); *PPD* - *Percentage of People Dissatisfied* (Percentual de Pessoas Insatisfeitas)

### **2.3.2 Conforto adaptativo**

A teoria de conforto adaptativo (HUMPHREYS *et al.*, 2013; NICOL e HUMPHREYS, 2002) é baseada numa flexibilidade quanto aos níveis de conforto térmico. Esta flexibilidade está relacionada ao modo como os seres humanos conseguem se adaptar a um possível desconforto térmico adicionando ou retirando peças de roupas ou ainda ao se acostumar com um certo tipo de clima. Dessa forma os níveis de conforto térmico dependem das condições climáticas locais, podendo numa região mais fria a temperatura de conforto ser mais baixa, assim como numa região tropical a temperatura de conforto pode ser mais elevada (NICOL, 2004).

Este estudo apresentado pelo autores, também obtido através de *survey* como Fanger (1982) e tratamento estatístico dos resultados, foi conduzido em campo, medindo situações do cotidiano. Isto, em certo grau, pode ser desfavorável, visto a maior possibilidade de ruído nas medições, apontado inclusive pelos próprios autores. Porém reflete condições reais dos indivíduos.

O princípio desta teoria parte da premissa de que uma pessoa em desconforto térmico tomará atitudes para restabelecer condições aceitáveis de conforto, e. g., uma pessoa sentindo calor, poderá abrir uma janela ou trocar de roupa, enquanto que uma pessoa sentindo frio pode abrir uma cortina veneziana, deixando o sol adentrar o ambiente, ou reforçar a vestimenta.

## **2.4 Meios de estimar a demanda de climatização em edifícios**

Para um projeto eficiente de climatização de um edifício, métodos de avaliação da demanda por climatização podem ser utilizados com maior ou menor precisão, a depender da fase em que se está projetando ou das condições em que o edifício se encontra. Alguns meios de estimar esta demanda são apresentados neste item.

### **2.4.1 Graus-dia**

A fim de medir a demanda anual de energia requerida para aquecimento ou resfriamento, visando a obtenção de níveis habitáveis de conforto, um dos métodos é o

cálculo da quantidade de graus-dia. Este método mede a necessidade de climatização baseado na diferença entre valores de temperatura média de cada dia do ano e uma temperatura de conforto estabelecida. É simplificado na análise de energia, e segundo *ASHRAE* (2009) são apropriados se o uso da edificação e a eficiência do equipamento de ar condicionado são constantes.

Segundo a *ASHRAE* (2009) cap. 19, apesar de computadores calcularem com facilidade o consumo de energia de um edifício, o conceito de graus-dia permanece sendo ferramenta valiosa para uma estimativa mais simplificada de demanda energética de climatização, principalmente nas fases iniciais de projeto.

#### **2.4.2 Temperatura BIN**

Segundo *ASHRAE* (2009), quando existem variações térmicas em um edifício, como acréscimo de carga térmica devido ao uso, ocupação e diferentes taxas de ventilação, trabalhar com uma temperatura fixa, como a média do dia, no cálculo da demanda de energia de climatização pelo método dos graus-dia se mostra pouco eficiente.

Para refinar o cálculo, podem ser usadas as temperaturas *BIN*, que são as variações de temperaturas durante o dia em intervalos de tempo. Por exemplo, Goulart *et al.* (1998) divide as temperaturas *BIN* das cidades estudadas em quatro blocos de 6 horas (1-6, 7-12, 13-18, 19-24), estipulando a quantidade de horas em que a temperatura do ar se encontra dentro de uma faixa de temperatura em cada um destes intervalos. Dessa forma, calcula-se a demanda conforme a variação de temperatura do ar externo com uma maior precisão.

#### **2.4.3 Graus-hora**

O cálculo de graus-hora se dá pela diferença de temperatura de um determinado ambiente com a temperatura necessária à índices de conforto aceitáveis hora a hora. Para calcular a necessidade de aquecimento é realizada a diferença entre a temperatura de conforto, ou temperatura base, menos a temperatura média da hora do dia. Para resfriamento temos a situação inversa. Quando se calcula graus-dia, usa-se como base a

temperatura média do dia em relação à temperatura base, dessa forma o método graus-hora se mostra mais refinado, já que analisa todas as horas de um dia.

Porém na *ASHRAE* (2009) é relatado que para períodos mais quentes esta situação nem sempre é verdadeira, visto que pode-se diminuir a carga térmica abrindo-se janelas, por exemplo, desde que a temperatura externa seja menor que a temperatura máxima de conforto. Já em situações de aquecimento, o edifício está fechado, com uma taxa mínima de renovação de ar. Somando os dias do ano calculados um a um, ou de uma estação, é possível ter uma demanda de energia anual ou por um período arbitrário.

#### **2.4.4 Cálculo da carga térmica**

Este método de determinar demanda energética de climatização, calcula a quantidade de calor sensível e latente que deve ser retirada ou colocada no recinto a fim de proporcionar condições de conforto desejadas. Essa carga térmica pode ser introduzida no ambiente condicionada por ação da condução, insolação, ocupação, equipamentos e iluminação, infiltração de ar, ventilação e dos próprios dutos ar condicionado (CREDER, 2006).

Visto que as condições a que um ambiente está sujeito não são constantes ao longo de um dia ou de um ciclo anual, ou seja, as diferenças de temperatura entre ambiente interno e externo variam ao longo de um dia e ao longo do ano, assim como os níveis de radiação solar, ocupação, uso dos equipamentos e taxas de ventilação natural, a análise da carga térmica pode ser realizada de modo estacionário ou não estacionário.

No modo de cálculo estacionário, a carga térmica é calculada para um período determinado, como o verão ou o inverno, baseado em características climáticas extremas destes períodos, visando suprir a demanda máxima de climatização (CREDER, 2006), ou seja, se o cálculo prevê as condições mais desfavoráveis, consequentemente consegue-se suprir demandas intermediárias de climatização.

Em cálculos mais sofisticados, não estacionários, busca-se uma otimização ou automação dos equipamentos de climatização, ou ainda uma forma precisa de avaliar estratégias passivas de climatização. Neste método todos os fatores de variação das condições ambientes são registradas e consideradas no ajuste do funcionamento dos

equipamentos de condicionamento de ar, sendo necessária uma análise temporal e transitória da carga térmica no recinto. Este tipo de análise da carga térmica tem sido utilizada, e. g., para avaliar o potencial de ventilação noturna em edifícios como em Santamouris *et al.* (2010).

Para projetos de climatização no Brasil, métodos de cálculos normatizados de transmitância térmica, capacidade térmica, atraso térmico e fator solar nos componentes de edificações são encontrados na NBR 15220:2 (ABNT, 2005). Porém certos fatores como a rotina de uso, equipamentos e iluminação não fazem parte do cálculo.

#### **2.4.5 Softwares de desempenho**

Em casos detalhados, onde a transferência de calor e carga térmica em um edifício compartimentado se mostra um cálculo muito complexo, principalmente nas análises não estacionárias, recorre-se a *softwares* de simulação de desempenho de edifícios.

Um dos *softwares* mais difundidos entre projetistas e pesquisadores é o *Energy Plus* (USDOE, 2013), que trabalha com cálculos para troca de calor de edifícios de forma não estacionária, onde o projetista descreve as condições de localização, uso, ocupação, materiais, geometria do edifício, equipamentos de climatização, iluminação, etc. Os dados de saída são do tipo arquivo de texto *ACSII*, compatível com qualquer forma de análise gráfica posterior.

Outro software de desempenho, desenvolvido na Universidade Federal do Paraná é o Mestre (SCHMID, 2001), de uso local, simula o comportamento térmico de edificações em múltiplas zonas, desenvolvido em linguagem Java para aplicação didática dos alunos do curso de Arquitetura e Urbanismo. Assim como no *Energy Plus* é possível se definir a geometria das zonas, temperatura do ar externo e do solo, e trabalhar com diferentes materiais de uma edificação.

Para dimensionamento específico de sistemas de climatização por dutos subterrâneos, tem-se ainda a ferramenta DutoSub (SCHMID e REIS, 2011), também desenvolvida na Universidade Federal do Paraná, e que analisa a transferência de calor em dutos enterrados do tipo solo-ar baseado no método de diferenças finitas. Entra-se

com dados climáticos, geometria da tubulação, materiais e características termofísicas do solo e rotina de uso. Os dados de saída são consumo energético, potencial de climatização e diferença de temperatura entre o ar externo e a saída do duto.

#### **2.4.6 Procel Edifica**

No selo Procel Edifica, a avaliação do desempenho térmico de edificações é calculada em fórmula baseada em regressão linear, feita a partir de centenas de casos simulados no *Energy Plus*. É uma abordagem expedita, que procura economizar tempo, mas guarda sempre a probabilidade de algum erro entre a fórmula e a edificação com suas particularidades.

### **2.5 Importância das variáveis no acoplamento ao solo**

Este que se apresenta um problema de grande complexidade, devido à quantidade e variabilidade de fatores que influenciam no seu desempenho, pode ser dimensionado através de diversos algoritmos (TZAFERIS *et al.*, 1992; VAZ, 2011; RODRIGUEZ, 2005; BONI, 2003; DENG *et al.*, 2012; GHOSAL e TIWARI, 2006), incluindo ou não incluindo alguns fatores a fim de detalhar ou simplificar a solução matemática.

A seguir os principais fatores encontrados nas diferentes formulações são abordados para um melhor entendimento de sua influência no desempenho dos SCDS, sendo elas: temperatura do ar, amplitude de temperatura anual, amplitude de temperatura diária, condutividade térmica dos solos, profundidade, temperatura sol-ar da superfície, velocidade de vazão, comprimento da tubulação, influência dos materiais e efeitos térmicos percebidos no meio urbano.

#### **2.5.1 Temperatura do ar**

As temperaturas registradas durante um ano irão definir a média de temperatura, a qual é uma aproximação da temperatura do subsolo em torno dos 3 m de profundidade. Conforme se aumenta a profundidade essa aproximação se torna mais

realista. Segundo Kwork e Grondzik (2007) um SCDS se torna viável quando uma região apresenta média de temperatura entre os 13 °C e 18 °C.

Em sistemas do tipo solo-ar, a captação do ar externo, o qual realizará troca de calor com subsolo e será insuflado no interior do ambiente, é a fonte de energia primária na climatização dos ambientes. Dessa forma, quanto maior for a diferença de temperatura maior quantidade de calor trocado será necessária durante o percurso enterrado, podendo exigir maiores comprimentos de tubulação, porém com maior efeito percebido do sistema.

### **2.5.2 Amplitude de temperatura anual**

O efeito sazonal do sistema é potencializado em regiões de grande amplitude térmica anual, já que a temperatura do subsolo tem maior diferença em relação à temperatura do ar externo nas estações de temperaturas extremas, ou seja, um sistema com as mesmas condições de geometria, dimensões e características do solo teria maior eficiência numa região de maior amplitude de temperatura anual (GHOSAL E TIWARI, 2006; BOJIC *et al.*, 1997).

No subsolo, a amplitude de temperatura anual também é percebida. As variações de temperatura do subsolo acompanham as curvas de amplitude de temperatura do ar, porém com atraso e menor intensidade, devido à alta capacidade térmica do mesmo.

### **2.5.3 Amplitude de temperatura diária**

Além da relação direta da temperatura do ar externo no desempenho do sistema, Schmid e Reis (2011) alertam para o fato de que altas amplitudes diárias de temperatura provocam a necessidade de um cuidadoso controle da temperatura externa para se definir que operação é vantajosa. Isto porque em algumas ocasiões a temperatura do ar externo já é suficiente para a climatização do ambiente, enquanto que em outras situações, a entrada de ar externo à temperaturas indesejadas, sejam elas muito quentes ou muito frias, exigem a ativação do sistema. Dessa forma, não é descartada a possibilidade de se manter o sistema desligado em alguns intervalos e aproveitar a temperatura do ar externo disponível.

Ao mesmo tempo, a amplitude diária de temperatura, mais frio no período noturno e mais quente ao meio do dia, gera a possibilidade de o subsolo, que se mantém a temperatura constante climatizar um ambiente neste períodos extremos (GAUTHIER *et al.*, 1997 *apud* Rodriguez, 2005).

## 2.5.4 Condutividade térmica dos solos

De maneira geral, a condutividade térmica dos solos pode variar entre 1,19 W/mK e 3,40 W/mK, sendo difícil se obter valores típicos para cada tipo de solo devido aos detalhes de cada um (WITTE *et al.*, 2002). Todos os solos conhecidos estão entre os valores de 0,1 W/mK e 6,0 W/mK (HUKSEFLUX, 2013). E ainda Florides e Kalogirou (2007) apresentam uma tabela com a condutividade térmica de alguns tipos de solos (Tabela 3). Os principais fatores que influenciam na condutividade térmica de um solo incluem composição mineral, densidade, temperatura e grau de umidade (BECKER *et al.*, 1992).

Tabela 3 - Valores de condutividade térmica para diversos tipos de solos

| Geology                               | Thermal conductivity, $\lambda_{\text{eff}}$ (W/m K) | Resistance, $R_b$ (K/(W/m)) |
|---------------------------------------|--|-----------------------------|
| Silt and clay (Quaternary/Tertiary)   | 1.6  | –                           |
| Mesozoic sediments                    | 2.7–2.8  | 0.10–0.18                   |
| Marl (“Emschermegel”, Cretaceous)     | 1.5–2.0  | 0.11–0.12                   |
| Sand/silt, marl (Cretaceous)          | 2.3  | 0.08 <sup>a</sup>           |
| Sand and clay (Quaternary/Tertiary)   | 2.8  | 0.11                        |
| Sand and clay (Quaternary/Tertiary)   | 2.2–2.3  | 0.07–0.08 <sup>a</sup>      |
| Marl, clayey                          | 2.5  | 0.12                        |
| Marl, sandstone, limestone (Mesozoic) | 4.0  | 0.08 <sup>a</sup>           |
| Silt, sandy (Quaternary/Tertiary)     | 3.4  | 0.06 <sup>a</sup>           |

Fonte: Florides e Kalogirou, 2007.

A composição mineral dos solos influencia a sua condutividade térmica na medida em que são compostos por diferentes elementos, e portanto com propriedades físicas diferentes, mesmo que dentro de uma determinada faixa. Por exemplo, areias com maior quantidade de quartzo geralmente têm maior condutividade térmica que

areias com alta presença de plagioclásio e piroxênios<sup>5</sup> (KERSTEN, 1949 *apud* BECKER *et al.*, 1992).

A densidade do material irá influenciar na concentração de porção sólida num determinado espaço, de forma que em maior concentração, o contato entre as partes se torna mais presente, conduzindo melhor o calor pelo material.

Quanto à influência da temperatura na condutividade térmica de um determinado solo, esta somente é relevante quando se trata do ponto de congelamento, já que o gelo (1,6 W/mK) tem maior condutividade térmica que a água (0,6 W/mK) (BECKER *et al.*, 1992).

A presença de umidade é apontada por Labs (1989), que apresenta uma série de pesquisas, de diferentes autores, como fundamental na condutividade térmica em diferentes tipos de solo. A concentração de umidade no solo lhe altera as propriedades físicas<sup>6</sup>, e também a condutividade térmica. A presença da água preenche os espaços vazios entre os grânulos do solo e permite a este ter menor resistência térmica, ou seja, maior condutividade térmica (Figura 7). Porém, existe um limite o qual este valor da condutividade começa a se apresentar mais estável, determinado pela saturação do solo, o qual dependerá de cada tipo de solo.

Em Becker (1992) são citados diversos autores<sup>7</sup> que elaboraram métodos de predição da condutividade térmica dos solos em função do regime de saturação, baseados em medições de diferentes tipos de solos. Porém são apontadas restrições no uso de cada um destes métodos, cada um destes se mostra específico a um determinado tipo de solo, com limites na taxa de saturação. Dessa forma, é proposto pelos autores um método de predição numérico para cinco diferentes tipos de solos, definidos quanto à sua textura: areia grossa ou cascalho, areia, silte, argila e turfa<sup>8</sup>, podendo-se prever a condutividade térmica em função da saturação do solo. A única limitação do método

---

<sup>5</sup> O plagioclásio ou plagioclase é uma série de diversos minerais da família dos feldspatos, que são classificados conforme a percentagem presente de anortita e albita. As piroxenas ou piroxênios são um importante grupo de inossilicatos encontrados em múltiplas rochas ígneas e metamórficas.

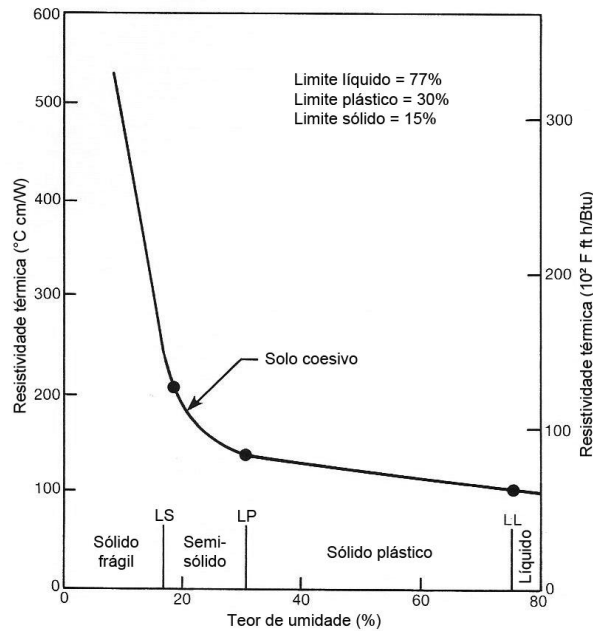
<sup>6</sup> Com relação à presença de umidade, o solo pode apresentar-se seco/ sólido (com presença de água higroscópica), úmido/ semi-sólido (presença de água capilar), molhado/ plástico (presença de água gravitacional) ou saturado/ líquido (águas subterrâneas). Fonte: Salomone, Kovacs e Wechesler, 1982 *apud* Labs, 1989.

<sup>7</sup> Van Rooyen e Winterkorn (1975), Johansen (1975), De Vries (1952), Gemant (1952) e Kersten (1949)

<sup>8</sup> Tradução livre do inglês: "gravels, sands, silts, clays, and peats"

numérico é referente ao cascalho, em que a fórmula não foi validada para uma saturação acima de 40%. A seguir é apresentada a formulação proposta pelos autores.

Figura 7 - Relação entre resistência térmica de um solo em função da umidade.



Fonte: traduzido de Salomone, Kovacs e Wechsler, 1982 *apud* Labs 1989.

As variáveis básicas que definem a saturação no solo são definidas como a densidade seca, massa específica e umidade. Densidade seca,  $\rho_s$ , massa específica,  $\rho_e$ , umidade,  $w$ , e saturação,  $S$ , são definidas como:

$$\rho_s = \frac{M_s}{V_t}; \quad \rho_e = \frac{M_s}{V_s}; \quad w = \frac{M_a}{M_s}; \quad S = \frac{V_a}{V_v} \quad (2a,b,c,d)$$

Onde  $M_s$  é a massa das partículas sólidas do solo,  $V_t$  é o volume total,  $V_s$  é o volume das partículas sólidas,  $M_a$  é a massa de água,  $V_a$  é o volume de água e  $V_v$  é o volume de vazios.

Nestas definições matemáticas é possível perceber a diferença conceitual entre umidade e saturação do solo, em que umidade é a massa de água embutida nas partículas sólidas, enquanto saturação é o volume de água presente nos espaços vazios entre as partículas.

Se a fórmula 2 for combinada, de forma que se objetive definir a saturação do solo, chega-se a seguinte expressão, onde  $\rho_w$  é a densidade da água:

$$S = \frac{\rho_s W}{\rho_w \left(1 - \frac{\rho_s}{\rho_w}\right)} 100\% \quad (3)$$

Em função da saturação, ainda é possível obter a condutividade térmica dos cinco diferentes tipos de solos apresentados anteriormente. A fórmula (4) foi obtida por Becker *et al.* (1992) através da análise comparativa com resultados experimentais:

$$S = \lambda_1 + [\sinh(\lambda_2 k + \lambda_3) - \sinh(\lambda_4)] \quad (4)$$

Na fórmula,  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ ,  $\lambda_3$  e  $\lambda_4$  são coeficientes de correlação referentes a cada tipo de solo, em que os valores são dados pela Tabela 4. Quando a saturação é nula, a fórmula (4) é reduzida a:  $\lambda_2 k + \lambda_3 = \lambda_4$ . Isto representa que o coeficiente  $\lambda_4$  é relacionado à condutividade térmica do solo seco.

Tabela 4 - Coeficientes de correlação

| Tipos de solos | congelado<br>não cong. | $\lambda_1$ |      |      | $\lambda_2$       |                   |      | $\lambda_3$ |      |      | $\lambda_4$        |                     |       |
|----------------|------------------------|-------------|------|------|-------------------|-------------------|------|-------------|------|------|--------------------|---------------------|-------|
|                |                        | Min.        | Méd. | Max. | Min.              | Méd.              | Max. | Min.        | Méd. | Max. | Min.               | Méd.                | Max.  |
| Argila         | congelado              | 23.5        | 14.5 | 14.0 | 0.25              | 0.25              | 0.25 | -2.0        | -2.5 | -3.0 | -1.75              | -2.0                | -2.0  |
|                | não cong.              | 33.5        | 27.0 | 14.0 | 0.29              | 0.26 <sup>5</sup> | 0.32 | -1.6        | -1.5 | -3.0 | -1.31              | -0.97               | -1.72 |
| Cascalho       | congelado              | 25.4        | 11.0 | 11.3 | 0.29              | 0.35              | 0.3  | -2.1        | -3.0 | -2.8 | -1.23              | -1.6                | -0.85 |
|                | não cong.              | 16.5        | 6.5  | 8.3  | 0.32              | 0.38              | 0.2  | -1.9        | -3.0 | -1.8 | -1.1               | -1.48               | -0.8  |
| Turfa          | congelado              |             | 12.0 |      |                   | 0.4               |      |             | -2.6 |      |                    | -2.52               |       |
|                | não cong.              |             | 28.0 |      |                   | 0.86 <sup>5</sup> |      |             | -2.9 |      |                    | -1.46 <sup>75</sup> |       |
| Areia          | congelado              | 26.0        | 10.0 | 15.0 | 0.26 <sup>5</sup> | 0.24              | 0.17 | -1.0        | -2.2 | -1.8 | -0.73 <sup>5</sup> | -1.62 <sup>5</sup>  | -0.44 |
|                | não cong.              | 6.4         | 6.8  | 6.8  | 0.8               | 0.4               | 0.5  | -3.2        | -2.9 | -7.5 | -2.0               | -1.5                | -2.0  |
| Silte          | congelado              | 38.0        | 19.5 | 18.5 | 0.24              | 0.27              | 0.2  | -1.2        | -1.8 | -2.0 | -0.96              | -1.53               | -1.8  |
|                | não cong.              | 28.0        | 17.0 | 22.0 | 0.4               | 0.4               | 0.25 | -1.0        | -2.6 | -2.2 | -0.6               | -1.6                | -0.95 |

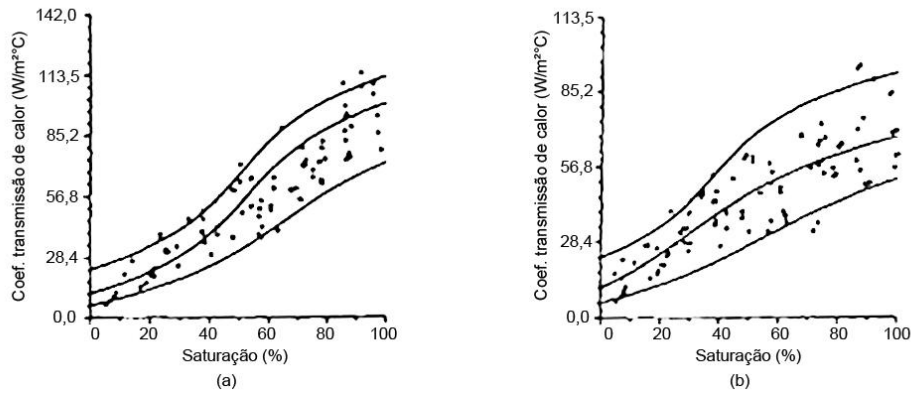
Fonte: traduzido de Becker *et al.*, 1992

Através destas fórmulas o autor apresenta faixas de coeficientes de transmissão de calor<sup>9</sup> para os diferentes tipos de solo, que podem ser vistos entre

<sup>9</sup> Originalmente em Becker *et al.* (1992) com unidades de coeficiente de transmissão de calor em Btu.in/Ft<sup>2</sup>.h.°F, aqui convertidos para W/m<sup>2</sup>°C. As imagens (a) são referentes a solos congelados e (b) a não congelados.

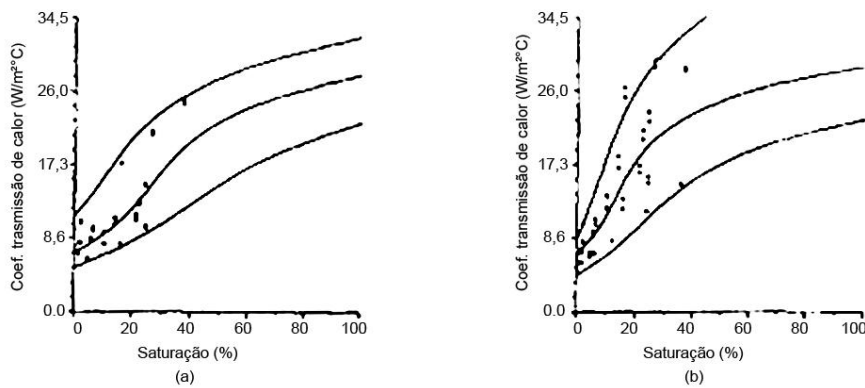
Figura 8 e Figura 12 . Para os solos de cascalho ou areia grossa é projetada a predição numérica, mas esta não teve validação com dados experimentais.

Figura 8 - Relação de saturação e transmissão de calor em solo argiloso



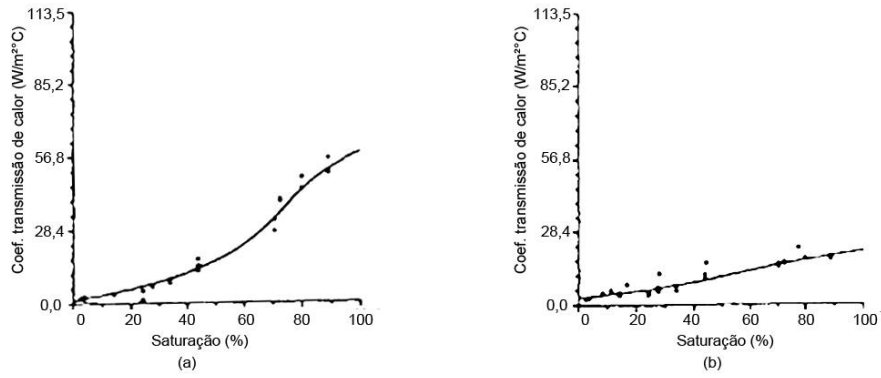
Fonte: traduzido de Becker *et al.*, 1992

Figura 9 - Relação de saturação e transmissão de calor em solo de cascalho



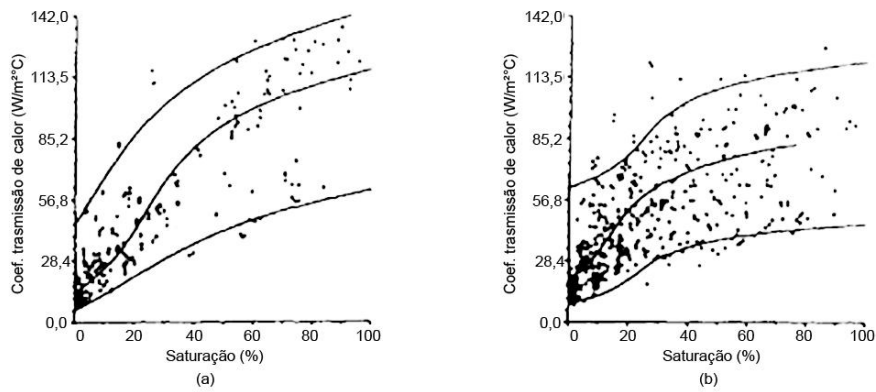
Fonte: traduzido de Becker *et al.*, 1992

Figura 10 - Relação de saturação e transmissão de calor para solo de turfa



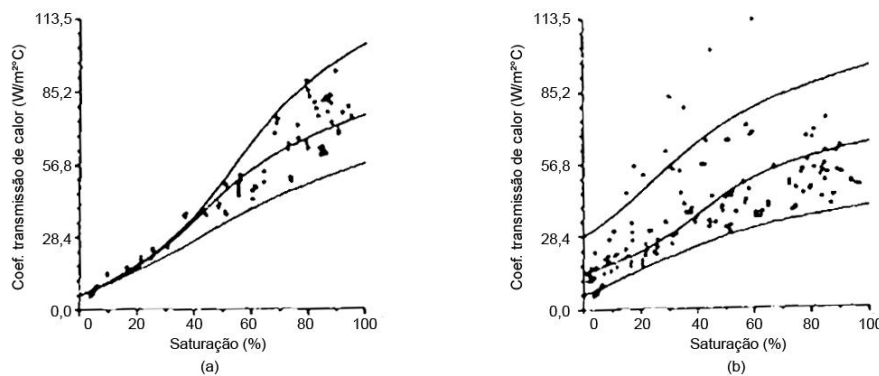
Fonte: traduzido de Becker *et al.*, 1992

Figura 11 - Relação de saturação e transmissão de calor em solo arenoso



Fonte: traduzido de Becker *et al.*, 1992

Figura 12 - Relação de saturação e transmissão de calor em solo siltoso



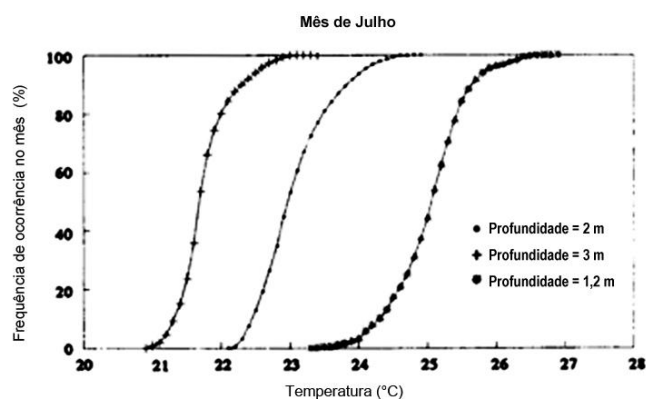
Fonte: traduzido de Becker *et al.*, 1992

Este estudo de Becker *et al.* (1992) se torna interessante na medida que, para Curitiba, podem ser determinados índices de condutividade térmica para os seus principais tipos de solo, baseado em dados apresentados em Kormann (2002), como classificação dos solos, densidade, saturação e presença de umidade para a formação geológica da região.

### 2.5.5 Profundidade

Devido a estabilidade térmica percebida nos solo, a profundidade em que se trabalha com dutos enterrados para climatização é determinante no desempenho térmico do sistema. Em Mihalakakou *et al.* (1994), através de modelagem numérica transitória realizada para sistema solo-ar do tipo horizontal, é possível perceber a influência dessa temperatura no desempenho final do sistema, como mostra a Figura 13. A três metros de profundidade, fica evidente o desempenho superior do sistema, mantendo a temperatura quase em todo o período abaixo de 23 °C.

Figura 13 - Desempenho térmico de resfriamento de um SCDS comparando diferentes profundidades da tubulação



Fonte: traduzido de Mihalakakou *et al.* (1994)

Segundo Labs (1989) a predição da temperatura em solos homogêneos e não perturbados é reconhecida como um problema clássico na teoria de condução de calor. Kusuda (1968 *apud* LABS,1989) e Kusuda e Achenbach (1965 *apud* LABS,1989), através de estudos estatísticos de diversos dados de investigação térmica do subsolo nos Estados Unidos, concluíram que pode-se estimar a temperatura do subsolo usando a

temperatura do ar como chave para uma análise teórica. Dessa forma, assumindo um solo homogêneo e de difusividade térmica constante, a temperatura a qualquer profundidade  $z$  e tempo  $t$  pode ser obtido pela equação 1:

$$T_{z,t} = T_m - A_s \exp \left[ -z \left( \frac{\pi}{365\alpha} \right)^{1/2} \right] \cos \left\{ \frac{2\pi}{365} \left[ t - t_0 - \frac{z}{2} \left( \frac{365}{\pi\alpha} \right)^{1/2} \right] \right\} \quad (1)$$

Onde,  $T_{z,t}$  = temperatura do solo no tempo  $t$  e profundidade  $z$  (°C),  $T_m$  = temperatura média anual do solo (°C),  $A_s$  = amplitude de variação da temperatura da superfície,  $z$  = profundidade em relação à superfície (m),  $\alpha$  = difusividade térmica do solo (m<sup>2</sup>/h),  $t$  = tempo a partir do início do calendário anual (dias); e  $t_0$  = fase constante.

Esta fórmula é uma referência citada em diversos trabalhos ao buscar o comportamento teórico do subsolo a diversas profundidades, condicionada à temperatura da superfície do subsolo, sendo relatada em Labs (1989), e reinterpretada em Mihalakakou *et al.* (1992) e Badescu (2007). Outros métodos de estimar a temperatura no subsolo também são encontradas na bibliografia, porém calcula-se a temperatura no interior do duto enterrado a uma certa profundidade, em função da troca de calor de um fluido com o subsolo em diferentes pontos de um mesmo duto (BOJIC *et al.* 1997). Em outros métodos de determinação do potencial de climatização, os dados para temperatura do subsolo são conhecidos ou estimados com base em dados de temperatura anual como em Schmid e Reis (2011).

## 2.5.6 Temperatura sol-ar da superfície

Entendida como a correção de temperatura de uma determinada superfície em função da radiação solar recebida, direta e indiretamente, é a temperatura sol-ar – e não a temperatura do ar - que tem efeito significativo no desempenho de SCDS de baixa profundidade. A temperatura da superfície influenciará diretamente na temperatura do subsolo, e quanto mais absorptiva for uma superfície exposta a radiação solar, maior influência esta exercerá na temperatura do solo, ou seja, a temperatura sol-ar é a temperatura do ar acrescido o fator radiação solar. Para se calcular esta temperatura para uma determinada superfície, pode-se usar a equação 2, fundamental na transferência de

calor, e encontrada na NBR15220:2 (ABNT, 2005) ou ainda ASHRAE (2009) como fator solar:

$$q_{sol}\alpha = h(T_{sol-ar} - T_{ar}) \quad (2)$$

Onde:  $q_{sol}$  = radiação solar global recebida pela superfície;  $\alpha$  = absortividade da superfície;  $h$  = coeficiente de convecção;  $T_{sol-ar}$  = temperatura sol-ar;  $T_{ar}$  = temperatura do ar.

Outro método de cálculo da temperatura da superfície é relatado por Mihalakakou *et al.* (1992), em que estima-se a temperatura a qualquer dia do ano. Porém neste método necessita-se do conhecimento do comportamento térmico do subsolo para definição da temperatura da superfície. Sendo o cálculo representado pela fórmula:

$$T_{sup} = T_m - A_s \cos(2\pi/365(t - t_0)) \quad (3)$$

Onde:  $T_{sup}$  = temperatura da superfície;  $T_m$  = temperatura média anual do subsolo;  $A_s$  = amplitude de temperatura da superfície;  $t$  = tempo a partir do início do calendário anual (dias);  $t_0$  = fase constante

Em superfícies não pavimentadas e com a presença de vegetação rasteira, há efeito oposto ao da radiação solar, que seria a perda de calor latente por evapotranspiração. Neste fenômeno de resfriamento evaporativo, a presença do vapor de água no ar, proveniente das plantas, diminui a temperatura do ar sem acréscimo ou decréscimo de energia (YELLOTT, 1989).

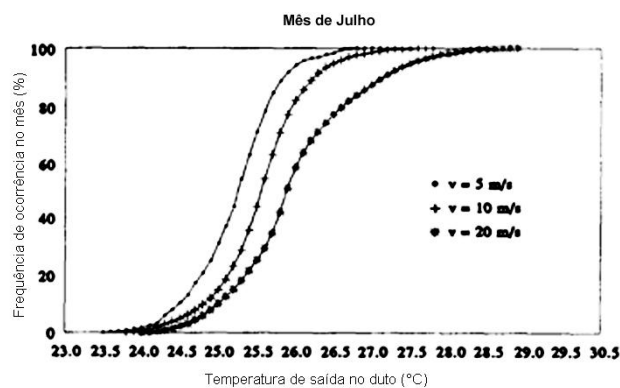
Popiel *et al.* (2001) comprovaram que uma superfície recoberta com grama curta é mais eficiente quando se pretende resfriar um ambiente (e indiferente quanto se quer aquecer), do que uma superfície em terra nua, obtendo-se à 1,5 m de profundidade variação de 4 °C entre as duas situações. Schmid e Reis (2011) também puderam constatar que na ventilação de uma igreja por dutos subterrâneos, enterrados a 3 m sobre superfície em asfalto, há diferença de até 4 °C entre o ar de insuflamento proveniente de um duto instalado sob uma rua asfaltada, e outro duto idêntico, instalado sob o gramado.

### 2.5.7 Velocidade do ar

Na medida em que aumenta-se a velocidade com que um fluido percorre um trocador de calor, o tempo de troca de calor é diminuído. Por outro lado, quando se trata de um SCDS, o sistema deve ter uma capacidade de vazão que permita preencher um determinado recinto com o ar a uma temperatura desejada, ou seja, um volume de ar a cada unidade de tempo é necessário para que a carga térmica de uma edificação seja devidamente climatizada.

Em Mihalakakou *et al.* (1994) o estudo paramétrico mostra que, para um mesmo diâmetro de tubulação, a variação na velocidade de vazão provoca significativa diferença no desempenho de um SCDS (Figura 14).

Figura 14 - Desempenho de um SCDS variando-se a velocidade do ar



Fonte: traduzido de Mihalakakou *et al.*, 1994

### 2.5.8 Comprimento da tubulação

Na medida que se aumenta o comprimento das tubulações enterradas, e conseqüentemente se aumenta a superfície de contato entre o solo e o duto enterrado, a troca de calor se torna mais eficiente, contribuindo para um melhor desempenho do sistema. Em estudo paramétrico realizado por Ghosal e Tiwari (2006) diversos fatores que influenciam no desempenho térmico são avaliados, inclusive o comprimento da tubulação. Em Mihalakakou (1994) o mesmo estudo é realizado e pode-se observar efeito similar.

### **2.5.9 Influência dos materiais**

Segundo Abrams *et al.*(1980) e Akridge (1982) *apud* Labs (1989), para um sistema de troca de calor solo-ar, o material do qual é feita a tubulação não apresenta resistência térmica significativa, devido à grande capacidade térmica do solo.

Da mesma forma, Bansal *et al.* (2009 e 2010), que fazem um comparativo entre um sistema com dutos metálicos e outro em PVC, concluem que existe uma diferença muito pouco representativa entre os resultados para os dois materiais, se todas as outras condições são as mesmas. Dessa forma, a escolha do material deriva de outras condicionantes, como custo, resistência à corrosão, durabilidade e adequação às condições de projeto.

Quando tratamos de um trocador de calor solo-água, em que são escavados poços verticais, a questão dos materiais pode ser mais significativa. Devido à profundidade do poço, é necessário que se faça uma contenção para estabilizar as paredes do poço, e, esta contenção deve garantir um bom contato na troca de calor além de ser um material bastante condutivo.

Lee *et al.* (2007) fazem o monitoramento *in loco* de seis poços comparando cimento e bentonita como materiais de grauteamento da escavação, além de aditivos. Neste caso, a diferença nos materiais aplicados se mostrou significativa, uma vez que o cimento obteve resultados para uma condutividade térmica efetiva de 7,4% a 10,1% superior a bentonita, além de um custo 40% menor, dentro da realidade local.

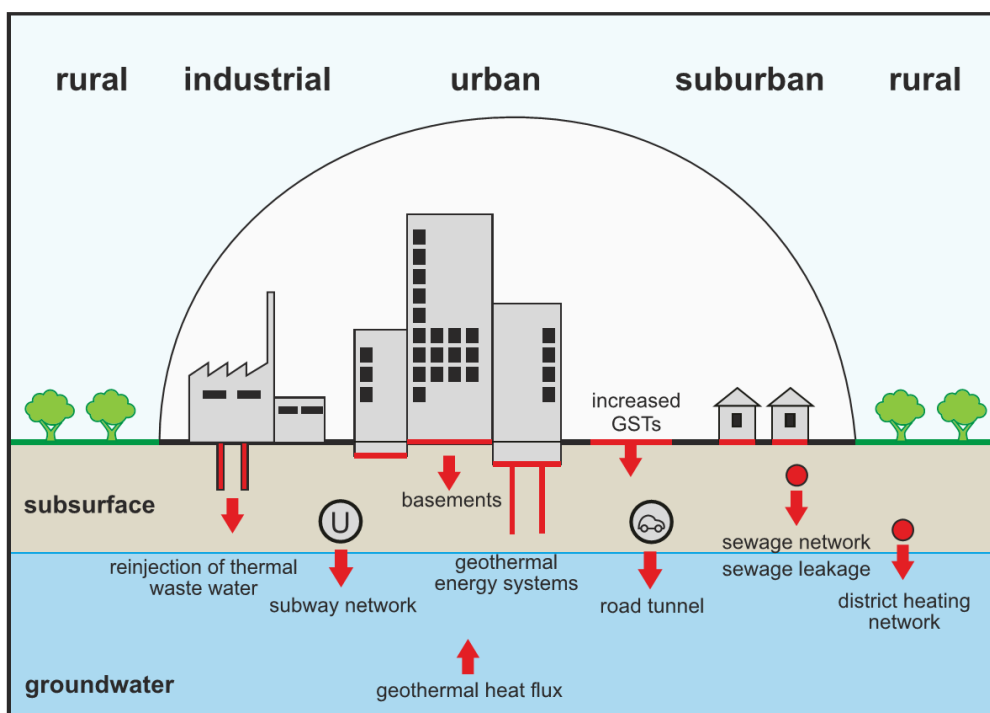
### **2.5.10 Efeitos térmicos percebidos no meio urbano**

Devido a fatores presentes nos centros urbanos como poluição do ar, fontes de calor antrópicas, tratamento das superfícies menos arborizadas e mais impermeáveis e absorptivas, como asfalto e concreto, que no meio rural ou natural, além de bloqueio das brisas por parte das construções, é percebido o fenômeno das ilhas de calor urbanas.

Em regiões de média latitude, de clima temperado e frio, a ilha de calor tem maior efeito no período noturno, quando as temperaturas mais baixas são amenizadas. Por outro lado, em regiões de clima subtropical e tropical, o calor é potencializado ao longo do dia (MENDONÇA, 2003).

Menberg *et al.* (2013) estudam ainda a influência do que os autores chamam ilhas de calor subterrâneas<sup>10</sup>, registrando aumento de temperatura em aquíferos sob áreas urbanas por volta de 1,9 °C a 2,4 °C em seis cidades alemãs. Outros estudos descritos pelo autor apontam ainda um aumento de até 3,5 °C. Este fenômeno também é intensificado conforme o grau de urbanização (Figura 15), sendo que a rede de infraestrutura subterrânea, perda de calor pelas lajes e subsolo de edifícios, além de sistema de trocadores de calor subterrâneos são os principais agentes apontados.

Figura 15 - Potenciais fontes de calor antrópicas na criação de ilhas de calor subterrâneas



Fonte: Menberg *et al.* (2013)

<sup>10</sup> Referido no artigo como *subsurface urban heat island*, o fenômeno é pouco conhecido e não há ainda indicações claras de seus efeitos ambientais (MENBERG *et al.*, 2013), mas outros estudos têm documentado o fenômeno em megacidades asiáticas (TANIGUCHI e UEMURA, 2005; TANIGUCHI *et al.*, 2009).

A troca de calor das edificações com o subsolo, já abordado em outras situações, interfere diretamente nas isotermas de temperatura percebidas ao longo do ano, como mostram Mihalakakou (1995) e Kusuda *et al.* (1983 *apud* Labs, 1989). A carga térmica interna da edificação transferida para o subsolo, assim como a própria massa térmica em contato com a superfície causam uma perturbação térmica do solo.

Associado à própria edificação temos ainda o tratamento das superfícies em meio urbano, caracterizada por pouco recobrimento permeável e grande presença de áreas asfaltadas ou pavimentadas.

Quanto à infraestrutura subterrânea, o aumento da carga térmica é problema levantado por Ampofo *et al.* (2011) que o relata na rede de metrô de Londres, devido ao aumento do número de pessoas em circulação, maiores exigências dos freios dos vagões, iluminação e outros equipamentos. Na ocasião é estudada a implantação de SCDS do tipo solo-água.

## **2.6 Escala de tempo no armazenamento de calor**

São observadas diferentes formas de adaptação de um sistema por dutos subterrâneos quanto às escalas de tempo. Aqui são abordadas estas diferenças, entre um ciclo diário e um ciclo sazonal.

### **2.6.1 Ciclo de 24h: dia e noite**

O uso racional da energia em edificações, principalmente do setor comercial em que a carga térmica durante o dia é elevada, a ventilação natural noturna é colocada como uma solução comum. Em alguns edifícios automatizados, as janelas são abertas automaticamente durante a noite para refrescar os ambientes internos, reduzindo a necessidade de refrigeração mecânica durante o dia.

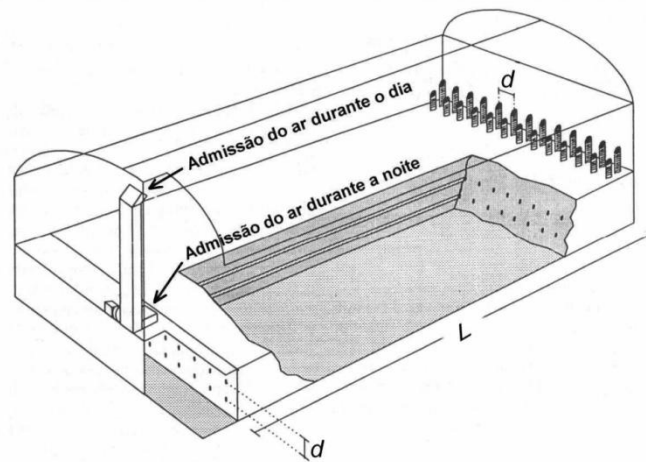
Em Rodriguez (2005) é detalhado este mesmo princípio, porém auxiliado por uma SCDS em uma estufa (Figura 16):

"O funcionamento do sistema armazenador-trocador de calor no solo é dividido em duas etapas; a primeira contém o armazenamento da energia no solo envolvente aos

dutos, sendo esta etapa realizada durante o dia. Em contraste, a segunda etapa, realizada durante a noite, corresponde à recuperação de parte da energia calórica armazenada no solo interno da estufa solar. Durante o dia, o ar quente, da parte superior do interior da estufa, é bombeado para dentro do feixe de dutos que devolvem o ar mais frio, com temperatura inferior à temperatura de entrada, uma vez que o escoamento interno de ar efetuou troca térmica com o solo envolvente que estava a uma temperatura mais baixa. Durante a noite, ocorre o inverso: o ar mais frio do interior da estufa, captado na extremidade próxima à superfície do solo, é bombeado para dentro dos dutos, que devolvem o ar a uma temperatura superior à de entrada, já que o solo encontra-se a uma temperatura mais elevada do que a temperatura do ar interno da estufa."

Esta instalação relatada acima, de ciclo fechado, aproveita a convecção natural dentro do ambiente para estabilizar a temperatura interna próximo da média diária de temperatura.

Figura 16 - Sistema de ciclo diário aplicado a uma estufa



Fonte: Gauthier *et al.*, 1997 *apud* Rodriguez, 2005.

O processo de recuperação térmica é muito importante para um SCDS, principalmente se este trabalha com ciclo fechado. Por exemplo, se quisermos refrigerar um ambiente com sistemas de armazenamento de água no subsolo, a água sai a uma determinada temperatura e retorna à cisterna com uma temperatura maior. Ao longo de um período de funcionamento, esta água tende a se aproximar da temperatura do ar

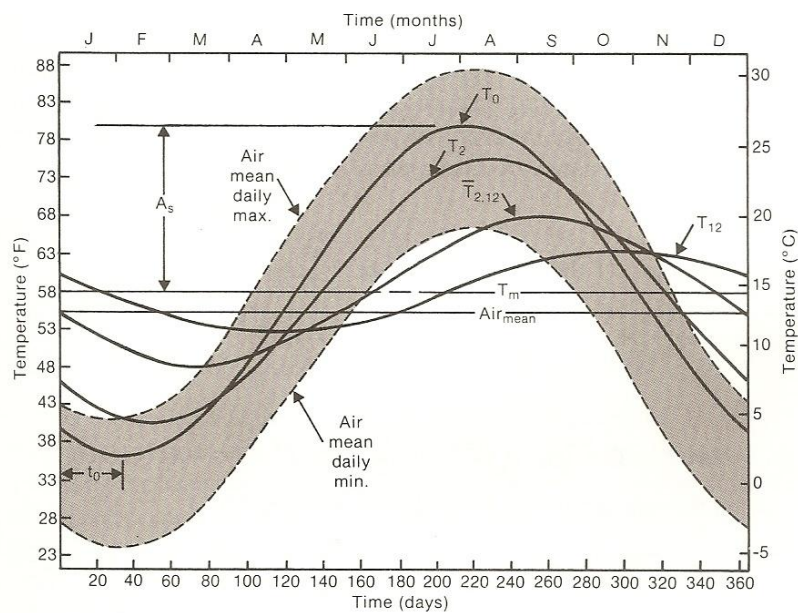
externo, necessitando de um período sem funcionamento para que se recupere termicamente.

Em Deng *et al.* (2012) este fenômeno é estudado, e conclui-se que a troca térmica da água com o ar ocorre de forma mais intensa e rápida, enquanto a troca térmica da água com o solo se dá de maneira mais lenta e gradual, visto que a massa de água enterrada é maior que a massa de água de troca calor com o ar.

### 2.6.2 Ciclo de 365 dias: estações do ano (armazenamento sazonal)

Ao longo do ano, a temperatura do ar sofre consistente variação, ao menos em latitudes médias e altas, definindo as diferentes estações do ano. Já o subsolo, devido a sua alta capacidade térmica, tende a manter a temperatura mais constante que a do ar.

Figura 17 - Variação anual de temperatura no subsolo<sup>11</sup>



Fonte: Labs, 1989

Como visto anteriormente quanto maior a profundidade maior será o efeito térmico do subsolo de manter-se a uma temperatura constante. Labs (1989) aponta que

<sup>11</sup> legenda da imagem:  $T_0$  - superfície;  $T_2$  - 0,6 m de profundidade;  $T_{12}$  - 3,7 m de profundidade;  $T_{2,12}$  - média entre o intervalo  $T_2$  e  $T_{12}$ .

ao longo do ano a influência da profundidade na temperatura do subsolo, acarreta em uma redução da amplitude de temperatura e de atraso térmico dos picos (Figura 17). Este atraso térmico chega a ser de meses e influencia diretamente no desempenho de SCDS.

Segundo Izard e Guyot (1983), o atraso térmico dos picos de temperatura pode chegar a um mês por volta de um metro de profundidade, a até seis meses para zonas mais profundas. Muitos sistemas, por razões de economia com escavações principalmente, utilizam profundidades em torno de 1,5 a 4,0 m (KWORK e GRONDZIK, 2007).

Dessa forma, nas estações de primavera e outono, a temperatura do subsolo nesta região estará mais próxima das temperaturas do ar no inverno e verão, respectivamente. Ou seja, nos primeiros meses de outono o solo deverá atingir o pico de temperatura, ao mesmo tempo em que as temperaturas se tornam mais amenas. Essa maior proximidade nos valores das temperaturas faz com que o sistema tenha menor desempenho térmico nos períodos de equinócio, ao mesmo tempo em que é menos exigido um controle de temperatura artificial.

### 3 MÉTODO

Tomando por base os autores Yin (2001) e Robson (2002), de forma a atender com consistência os requisitos apresentados pelo problema de pesquisa, pela hipótese e pelo objetivo, tratamos aqui das etapas metodológicas para a obtenção dos resultados.

#### 3.1 Definição da estratégia de pesquisa

Para definição da abordagem do tema e estratégia da pesquisa, este estudo baseia-se em três pontos principais, sendo estes:

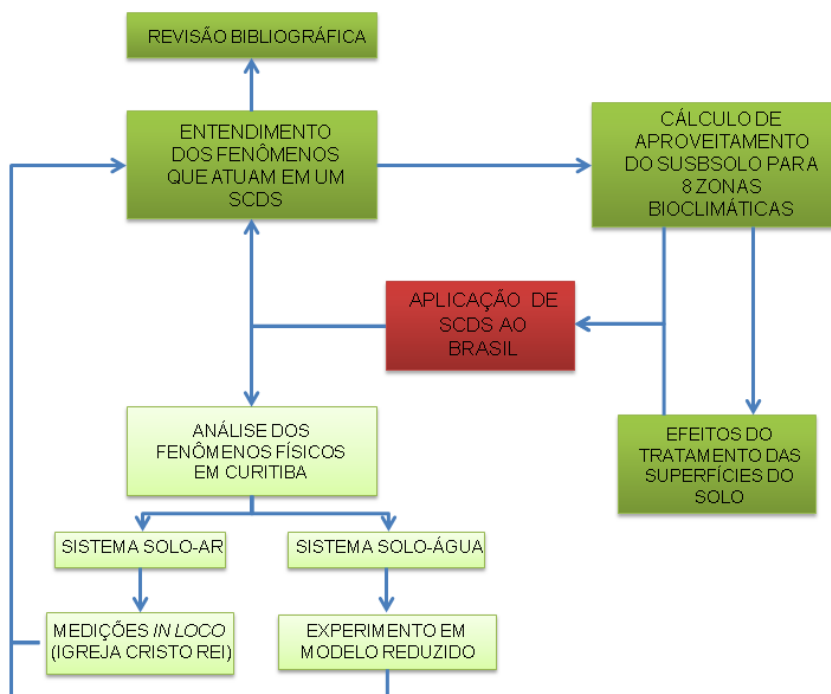
*Revisão bibliográfica e análise dos fenômenos físicos:* exposição dos fenômenos atuantes e predominantes num SCDS, entendimento do estado da arte na pesquisa até o presente momento, enquadramento do problema de pesquisa dentro da situação do tema no contexto nacional; complementando a revisão bibliográfica, como já citado anteriormente, mas de maneira empírica, experimentações e análises *in loco* foram realizadas, a fim de perceber os fenômenos físicos que influenciam no desempenho de um SCDS para Curitiba, Paraná. Além disso, a percepção dos fenômenos ajudou a formular o problema de pesquisa com maior clareza, e enriquecer a discussão acerca do tema. Para isso foram realizadas visitas técnicas à igreja Cristo Rei, um dos poucos edifícios equipados com um SCDS em Curitiba, a qual é climatizada por um sistema do tipo solo-ar. Além disso, foi criado um modelo reduzido do tipo solo-água, pois se acredita que neste tipo de sistema há uma economia de espaço com dutos enterrados, devido à capacidade térmica da água ser 4.000 vezes maior que do ar, ou seja, a água tem uma maior capacidade de carregar calor acumulado em seu volume;

*Simulação experimental:* com base no referencial teórico e nas medições e análises, formulou-se o problema de pesquisa, " *qual o potencial da troca de calor entre o solo e um fluido enterrado, considerando seu uso como um sistema de climatização por dutos subterrâneos, nas condições climáticas brasileiras?*" de forma que através de manipulação dos dados climáticos quantitativos em planilha de Excel, para as oito zonas bioclimáticas brasileiras, buscou-se informações sobre a adaptação de um SCDS. Neste estudo, são consideradas duas condições para os dutos enterrados: a 0,5 m de profundidade (em que a amplitude de temperatura é maior durante o ano, visto que em profundidades mais rasas a influência da temperatura do ar sobre o solo é maior), e a 4,0

m de profundidade (em que as temperaturas permanecem mais próximas da média de temperatura anual da superfície). Além disso, também através da simulação em planilha, é estudada a influência do tratamento da superfície do solo nas temperaturas percebidas do subsolo. Conseqüentemente esta temperatura afeta o desempenho do sistema, que depende principalmente da temperatura do ar externo e da temperatura do subsolo.

Para entendimento da pesquisa como um todo é apresentado aqui o mapa mental da pesquisa (Figura 18). As cores mais fortes são as etapas mais importantes da pesquisa.

Figura 18 - Mapa mental da pesquisa



### 3.1.1 Unidade de análise

A unidade de análise deste trabalho é o comportamento teórico do subsolo em diferentes zonas bioclimáticas. Entendendo que a análise teórica parte de algumas hipóteses matemáticas para a solução do problema.

### **3.1.2 Delimitação do trabalho**

O presente trabalho se limita a estudar a adaptação dos SCDS às condições climáticas brasileiras, através da diferença de graus-hora anuais entre o subsolo e a temperatura do ar. Além disso, visa estudar o efeito da profundidade e do tratamento das superfícies do solo na perturbação térmica do subsolo.

Questões de otimização do desempenho térmico do sistema, seja pela complementaridade com outros dispositivos de climatização ou equipamentos de redução do consumo energético ou ainda de geração de energia de forma passiva, como placas fotovoltaicas, são conhecidos, mas não serão avaliados. Assim como a otimização pelo estudo detalhado dos fatores mecânicos-físicos, buscando materiais de melhor performance na troca de calor, buscando configurações ótimas de geometria do sistema ou detalhando fatores de influência externos, não compõem o escopo deste trabalho, mesmo considerando sua relevância ao tratar-se do assunto.

Este estudo apresenta dados baseados em medições do comportamento climático das diversas cidades, sem uma aplicação em edifício específico, visto que sua disposição volumétrica, posicionamento, materiais da envoltória e condições do entorno particularizam os resultados. Os resultados obtidos nesta pesquisa têm a finalidade de comparação entre as diferentes zonas bioclimáticas, avaliando a adaptação deste sistema no Brasil.

Entende-se ainda que para a obtenção dos resultados são necessárias a formulação de hipóteses matemáticas. Dessa forma é colocado como condição do cálculo que trata-se neste estudo de solo termicamente não perturbado, homogêneo e propriedades térmicas constantes. Além disso, o cálculo adotado aqui prevê uma troca térmica entre o SCDS e o subsolo com 100% de eficiência, ou seja, representa valores máximos de climatização a partir desta fonte.

### **3.1.3 Justificativa da escolha a partir do objetivo**

Tendo em vista o objetivo deste trabalho, que é avaliar o potencial de uso do subsolo para climatização no território nacional, procede-se aos testes propostos por Yin (2001) para definir a estratégia:

- trata de assunto contemporâneo? Sim
- responde a pergunta do tipo como ou porque? Sim (isto limita a estudo de caso ou experimento)
- requer controle sobre as variáveis? Sim (isto limita a experimento)

Logo a estratégia a ser adotada será do tipo fixo, experimental, utilizando a simulação e manipulação de dados climáticos para obtenção de resultados.

### **3.1.5 Testes de validade**

Como testes de validade propostos por Robson (2002), três principais elementos devem ser analisados na consistência de uma pesquisa: validade de constructo, validade interna e validade externa.

*Validade de constructo:* este trabalho se baseia primeiramente na leitura de diversos outros trabalhos sobre o mesmo assunto, de onde pôde-se ter um parecer da abordagem feita sobre o tema desta pesquisa em outros contextos globais e históricos. À medida que a leitura foi se aprimorando, as discussões acerca do tema foram tomando o direcionamento desejado. Se o problema da transferência de calor é matematicamente solúvel, apesar de sua complexidade, como mostram diversos autores na revisão bibliográfica apresentada, o que impede a aplicação deste princípio físico do subsolo em território nacional não é uma abordagem específica, em cima do detalhamento das variáveis físico-mecânicas do sistema, mas sim uma abordagem quanto a adaptação deste conceito às condições climáticas locais.

Dessa forma, a abordagem feita aqui tende a explorar condições de aplicação do subsolo como fonte de energia na climatização de ambientes, sob um olhar comparativo entre as diferentes regiões bioclimáticas brasileiras, analisando a situação a partir de dados quantitativos.

*Validade interna:* na medida em que o problema de pesquisa é baseado em dados quantitativos, os quais são produto de medições *in loco* das condições climáticas em estações meteorológicas, e a manipulação destes dados para os resultados da pesquisa é feita através de fórmulas consagradas na literatura, a relação causal é garantida.

*Validade externa:* abordando diferentes zonas bioclimáticas do território nacional, este trabalho se mostra relevante para pesquisadores, arquitetos e engenheiros que atuam em todo o Brasil, além de a rastreabilidade dos dados e dos métodos adotados neste trabalho serem relatados da forma mais precisa possível, a fim de contribuir cientificamente para a evolução e discussão deste tema.

Sob esta condição, sabe-se ainda que a replicação deste método adotado e obtenção dos resultados a partir dele estão condicionados às mesmas formulações de hipóteses matemáticas, dados climáticos, condições de solo e tratamento dos resultados aplicados a este trabalho.

### **3.2 Protocolo de coleta de dados**

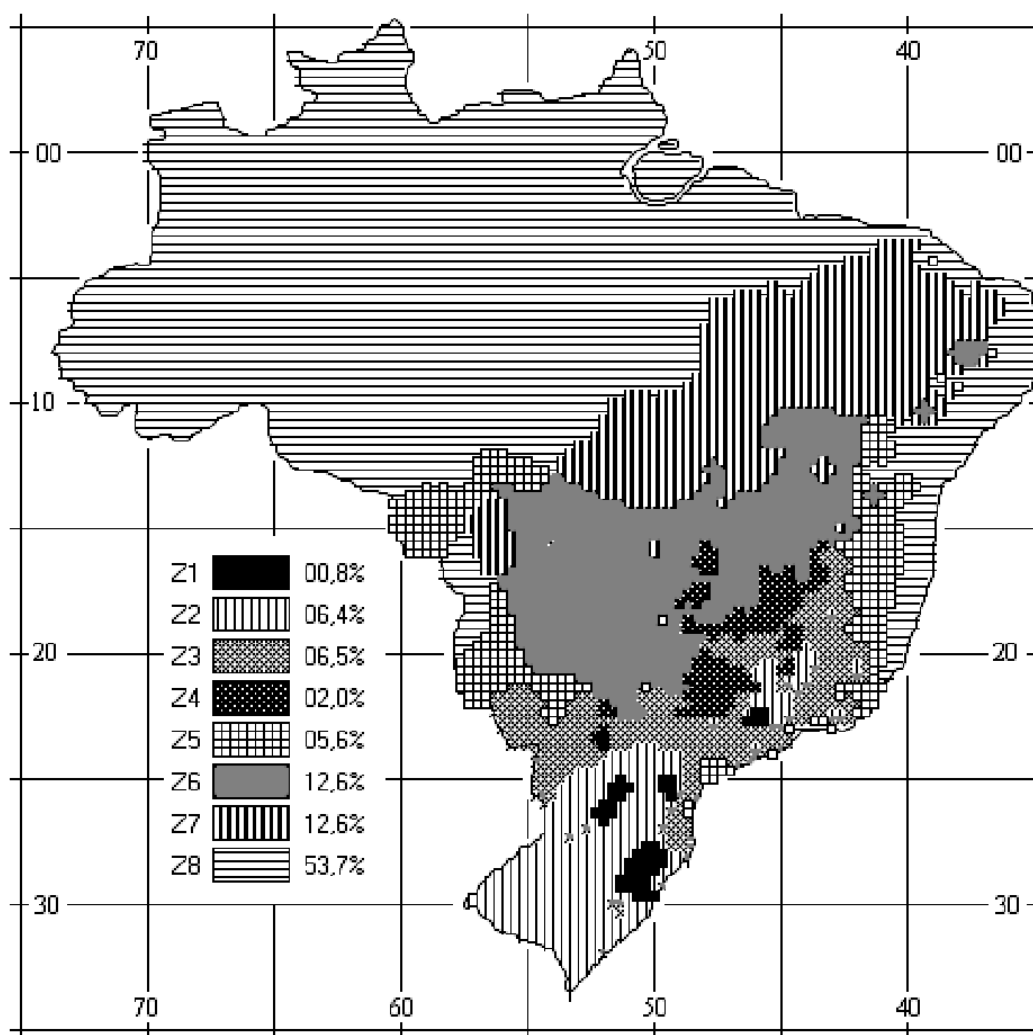
Tendo em vista o objetivo deste trabalho, as etapas para a obtenção dos dados necessários, em ordem cronológica, procedeu da seguinte maneira:

- revisão bibliográfica e análise dos fenômenos físicos atuantes: para entendimento do enquadramento do tema no panorama atual das pesquisas e dos fatores que influenciam no uso do subsolo para climatização de edifícios;
- definição das zonas bioclimáticas brasileiras e cidades representantes: segundo classificação NBR 15220:3 (ABNT, 2005);
- obtenção de dados climáticos: temperatura do ar externo, umidade relativa e radiação solar hora a hora para cada mês, das cidades representantes de cada zona (RORIZ, 2012);
- definição da faixa de conforto;
- cálculo dos graus-hora necessários para aquecimento e resfriamento;
- cálculo da temperatura no subsolo à diversas profundidades;
- definição do potencial de climatização útil para cada cidade: medido em graus-hora anuais, para diagnóstico das condições nas diferentes zonas bioclimáticas;
- estudo exploratório do efeito de diferentes tratamentos de superfície do solo num SCDS;

### 3.2.3 Definição das zonas bioclimáticas brasileiras

A classificação das oito zonas bioclimáticas segundo a NBR 15220:3 (ABNT, 2005) se dá por homogeneidade climática, considerando as médias máximas, mínimas e de umidade relativa, conforme metodologia apresentada nos anexos da norma, e é dividida conforme Figura 19.

Figura 19 - Zoneamento bioclimático brasileiro



Fonte: ABNT, 2005

As cidades incluídas em cada uma destas zonas bioclimáticas encontram-se relacionadas na norma, e através desta foram selecionadas representantes de cada uma das regiões para o estudo do aproveitamento do subsolo para a climatização, sendo elas: Z01 - Curitiba/ PR, Z02 - Santa Maria/ RS, Z03 - Belo Horizonte/ MG, Z04 - Brasília,

Z05 - Vitória da Conquista/ BA, Z06 - Campo Grande/ MS, Z07 - Cuiabá/ MT, e Z08 - Belém/ PA. O critério de escolha foi baseado na disponibilidade de dados climáticos em bases seguras e de fácil acesso.

Vale ressaltar que durante o processo de trabalho desta pesquisa foram disponibilizados dados para 411 cidades brasileiras em LABEEE (2013). Porém nesta época os resultados desta pesquisa já estavam sendo coletados.

### *3.2.3.1 Caracterização das zonas bioclimáticas*

Segundo a NBR 15220:3 (ABNT, 2005), as zonas são classificadas conforme três dados de entrada: temperatura média das mínimas, temperatura média das máximas e média mensal da umidade relativa. Esses dados são plotados na carta bioclimática proposta por Givoni (1992) e classificados em oito zonas.

A classificação nestas zonas ocorre de acordo com a presença ou ausência de temperaturas dentro das zonas estipuladas na carta e representadas pelas letras ABCDEFGHIJK, as quais se referem às estratégias de projeto a serem adotadas. Dessa forma são apresentadas as faixas de variações de temperatura e umidade e, conseqüentemente, a classificação de cada uma das zonas bioclimáticas entre a Figura 20 e a Figura 27.

Está em fase de estudo e aprovação uma nova classificação para as zonas bioclimáticas brasileiras, promovido pela ANTAC<sup>12</sup>, porém até o presente momento a norma ainda não está oficializada, portanto a divisão aqui segue a convenção em vigência atual.

---

<sup>12</sup> Roriz (2012b) e Roriz (2012c)

Figura 20 - Zona Bioclimática 01

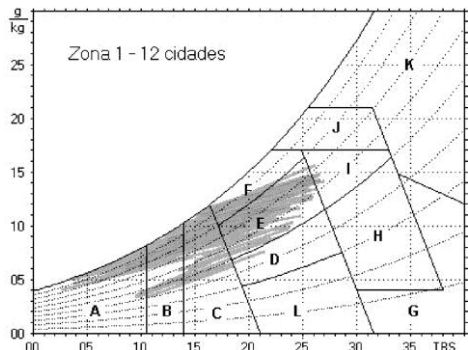


Figura 21 - Zona Bioclimática 02

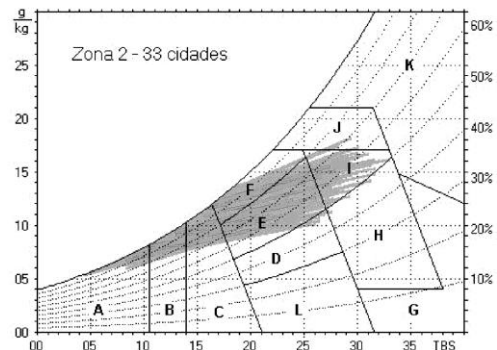


Figura 22 - Zona Bioclimática 03

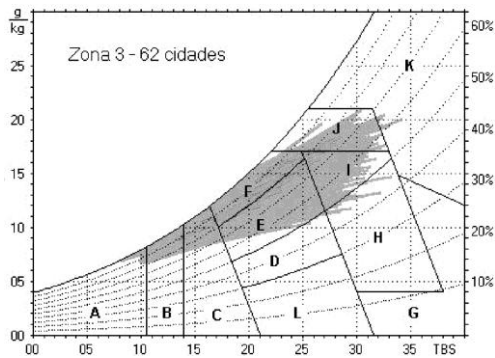


Figura 23 - Zona Bioclimática 04

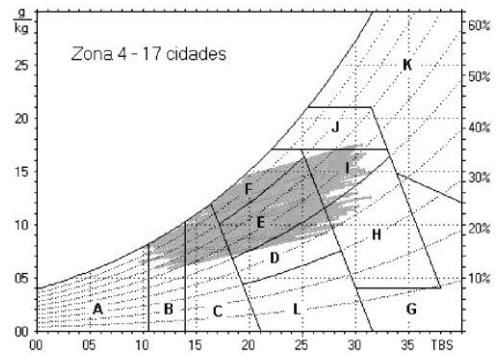


Figura 24 - Zona Bioclimática 05

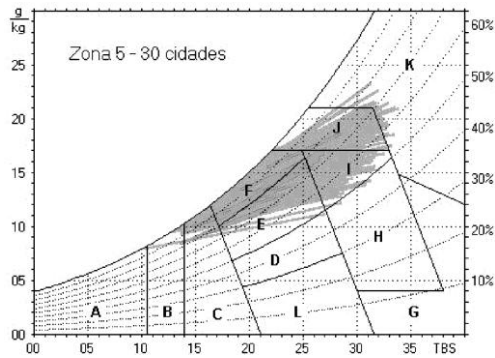


Figura 25 - Zona Bioclimática 06

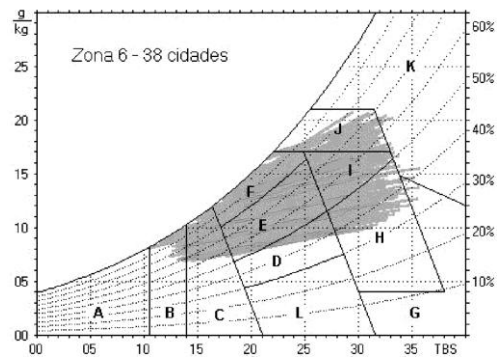


Figura 26 - Zona Bioclimática 07

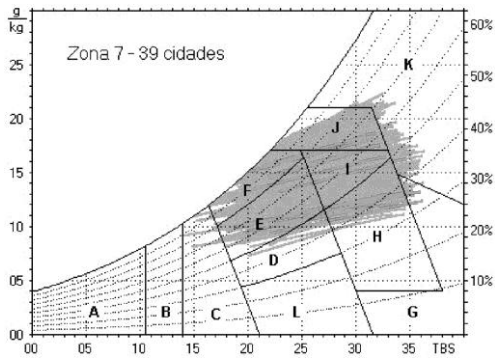
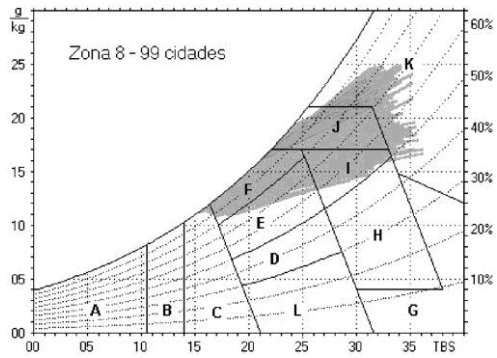


Figura 27 - Zona Bioclimática 08



Fonte: ABNT, 2005

### 3.2.4 Obtenção dos dados climáticos

Os dados climáticos foram obtidos nos arquivos climáticos, baseados nas medições do INMET - Instituto Nacional de Meteorologia, e encontrados no banco de dados do LABEE (2013). Este conjunto de arquivos, elaborado e relatado por Roriz (2012a) são baseados em medições realizadas entre 2000 e 2010, de onde foram extraídos dados de temperatura de bulbo seco, umidade relativa e radiação solar global hora a hora. Alguns dados resumidos que caracterizam os climas em cada uma destas cidades é apresentado na Tabela 5.

Tabela 5 - Dados climáticos das oito zonas

| Zonas Bioclimáticas      | Ano de referência | Temp. média °C | T. média mín. °C | T. média máx. °C | Amplit. anual média °C | Umid. % |
|--------------------------|-------------------|----------------|------------------|------------------|------------------------|---------|
| Z01-Curitiba             | 2008              | 17,3           | 8,8              | 28,6             | 19,8                   | 78,4    |
| Z02-Santa Maria          | 2003              | 19,0           | 7,3              | 32,9             | 25,6                   | 75,7    |
| Z03-Belo Horizonte       | 2009              | 21,8           | 14,3             | 30,7             | 16,4                   | 68,3    |
| Z04-Brasília             | 2001              | 21,1           | 14,6             | 29,4             | 14,7                   | 66,2    |
| Z05-Vitória da Conquista | 2009              | 20,6           | 13,6             | 30,3             | 16,7                   | 79,6    |
| Z06-Campo Grande         | 2008              | 23,4           | 13,4             | 33,5             | 20,1                   | 65,6    |
| Z07-Cuiabá               | 2009              | 26,3           | 16,7             | 36,4             | 19,7                   | 70,6    |
| Z08-Belém                | 2010              | 27,2           | 22,9             | 33,8             | 10,9                   | 80,4    |

Os dados detalhados estarão disponíveis em mídia digital como anexo deste trabalho, ou ainda podem ser acessados diretamente pela internet em <http://www.labee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos>.

### 3.2.5 Definição da faixa de conforto

Como explicado acima, o conforto térmico, qual sintetizado por Fanger, é o resultado da interação de quatro variáveis ambientais (temperatura, umidade e velocidade do ar, e campo radiante) e duas pessoais (roupa e taxa metabólica). Ao estabelecer-se uma temperatura como de conforto, as outras variáveis ou são assumidas constantes, ou devem ser adaptadas.

Diversas discussões sobre temperatura de conforto são conhecidas na literatura, como mostrado anteriormente no capítulo 2, de forma que os valores ideais podem variar conforme algumas condicionantes, como nível de atividade física, vestimenta, além das condicionantes climáticas. Em estudos de graus-hora, Goulart (1993) adotam 14 °C, 15 °C, 16 °C, 17 °C e 18 °C para temperatura base de aquecimento e 27 °C, 28 °C e 29 °C para temperatura base de resfriamento, a fim obter maiores informações sobre a demanda de energia para climatização.

Neste estudo, visando controlar a quantidade de dados parametrizados, atendendo ao objetivo da pesquisa, adotou-se os valores de  $T_C = 18$  °C para aquecimento e  $T_C = 27$  °C para resfriamento, aproximadamente em acordo com a faixa de conforto prevista na ASHRAE (2009)<sup>13</sup> e dentro da faixa mais restrita usada no estudo de Goulart (1993).

### **3.2.6 Cálculo dos graus-hora necessários para aquecimento e resfriamento**

Os graus-hora necessários são calculados pela diferença de temperatura entre as temperaturas base da faixa de conforto e a temperatura do ar externo. Por exemplo, para obter a demanda de aquecimento em função do tempo, calcula-se através da fórmula 1:

$$GH_n(t) = T_C(t) - T_{AR}(t) \quad (1)$$

onde,  $GH_n$  = os graus-hora necessários;  $T_c$  = temperatura base de conforto e;  $T_{ar}$  = a temperatura do ar externo. Quando os valores forem positivos e diferentes de zero significa que há demanda. Para obter a demanda de resfriamento inverte-se a subtração.

---

<sup>13</sup> Aproximadamente, pois em ASHRAE (2009) a faixa de conforto não estabelece valores rígidos, os valores variam ainda conforme condições de metabolismo, vestimenta, temperatura média radiante, umidade do ar e ventos.

### 3.2.7 Cálculo da temperatura no subsolo a diversas profundidades

Um estudo parametrizado dos valores de temperatura do subsolo a cada 0,5 m foi realizado, variando entre 0,5 m a 4,0 m de profundidade. A variação de temperatura do subsolo ao longo do ano e a diversas profundidades foi calculada através da fórmula 2 apresentada em Labs (1989):

$$T_{z,t} = T_m - A_s \exp \left[ -z \left( \frac{\pi}{365\alpha} \right)^{1/2} \right] \cos \left\{ \frac{2\pi}{365} \left[ t - t_0 - \frac{z}{2} \left( \frac{365}{\pi\alpha} \right)^{1/2} \right] \right\} \quad (2)$$

onde,  $T_{z,t}$  = temperatura do solo no tempo  $t$  e profundidade  $z$  (°C),  $T_m$  = temperatura média anual do solo (°C),  $A_s$  = amplitude de variação da temperatura da superfície,  $z$  = profundidade em relação à superfície (m),  $\alpha$  = difusividade térmica do solo (m<sup>2</sup>/h),  $t$  = tempo a partir do início do calendário anual (dias); e  $t_0$  = fase constante<sup>14</sup> (dias).

Esta fórmula matemática foi escolhida por ter compatibilidade com os dados climáticos disponíveis, atendendo ao objetivo desta pesquisa. Além de que muitos dos trabalhos que tratam deste tema também fazem uso deste método, que tem precisão científica comprovada, conforme apresentado na revisão bibliográfica.

Nesta expressão matemática, a porção  $\left( \frac{\pi}{365\alpha} \right)^{1/2}$  é descrita por alguns pesquisadores como a inércia térmica de uma material de espessura  $z$ , enquanto que a expressão matemática  $\frac{1}{2} \left( \frac{365}{\pi\alpha} \right)^{1/2}$  refere-se ao atraso térmico da variação de temperatura à qualquer profundidade  $z$ .

Assume-se para o uso desta fórmula que o solo é homogêneo e de difusividade térmica constante. A difusividade térmica do solo adotada foi de  $2,3 \times 10^{-3}$  m<sup>2</sup>/h, sendo este o mesmo valor adotado<sup>15</sup> nos arquivos climáticos do LabEEE (2013).

---

<sup>14</sup> Usa-se  $T_0$  para corrigir o hemisfério onde aplica-se a fórmula, ou para estudar um intervalo de tempo. Por exemplo, se  $T_0=0$ , assume-se que estamos calculando a temperatura para o hemisfério norte. Para o hemisfério sul, adota-se  $T_0=365/2$ .

<sup>15</sup> Este valor refere-se a solos bastante condutivos, já que em Labs (1982, pág. 208) é relatado estudo em que valores:  $1.3 \times 10^{-3}$  m<sup>2</sup>/h,  $2.1 \times 10^{-3}$  m<sup>2</sup>/h e  $2.9 \times 10^{-3}$  m<sup>2</sup>/h são atribuídos a solos "secos", "médios" e "úmidos", respectivamente.

### 3.2.8 Definição do potencial de climatização

Neste estudo, o potencial de climatização é calculado com base em dados climáticos de cada cidade, não considerando variações térmicas que um edifício pode causar na temperatura ambiente percebida pelo usuário, mesmo sabendo ser este fenômeno real. Esta abordagem do tema desvincula o potencial de climatização do sistema das soluções particularizadas adotadas no projeto arquitetônico, isto porque a implantação do edifício, materiais de construção e soluções de sombreamento e isolamento térmico irão influenciar diretamente na temperatura interna dos ambientes.

A definição do potencial de climatização para esta análise se baseia na diferença de temperatura entre subsolo e temperatura do ar, de forma que o cálculo do potencial de climatização foi realizado para duas situações distintas: com 0,5 m de profundidade, em que a amplitude de temperatura é maior durante o ano, visto que em profundidades mais rasas a influência da temperatura do ar e radiação solar são maiores; e com 4,0 m de profundidade, em que as temperaturas permanecem mais próximas da média anual de temperatura, mais estabilizadas em relação à superfície.

Para obtenção dos resultados foram calculados os graus-horas disponíveis de climatização para as duas situações, assim como os graus-hora úteis. O primeiro pode ser definido como toda a hora em que há diferença de temperatura entre subsolo e temperatura do ar, gerando uma disponibilidade de climatização que pode ser aproveitada ou não. Enquanto que graus-hora úteis serão os que de fato podem ser usados como potencial de climatização, limitados à faixa de conforto estabelecida.

Os graus-hora disponíveis foram obtidos pela diferença entre a temperatura do subsolo à profundidade  $z$  e a temperatura do ar externo. Por exemplo, para obter os graus-hora disponíveis de aquecimento em função do tempo, calcula-se:

$$GH_d(t) = T_{s,z}(t) - T_{AR}(t) \quad (3)$$

onde,  $GH_d$  = graus-hora disponíveis;  $T_{s,z}$  = temperatura do subsolo a profundidade  $z$ ;  $T_{AR}$  = temperatura do ar externo. Quando os valores forem positivos e diferentes de zero significa que há demanda. Para obter a demanda de resfriamento inverte-se a subtração.

Os graus-hora úteis são o menor valor hora a hora entre os graus-hora necessários  $GH_n$  e os graus-hora disponíveis  $GH_d$ . Isto porque quando o número de  $GH_d$  for maior do que os  $GH_n$ , usasse somente o necessário, e vice-versa. São então somados os graus-hora úteis para todas as horas do ano para determinar o potencial de climatização do subsolo para uma determinada zona.

### 3.2.9 Estudo da influência de diferentes tratamentos de superfície do solo

Nesta etapa também é realizado um estudo parametrizado para diferentes tratamentos de superfície do solo. As diferentes superfícies são tratadas por diferentes valores de absorvidade da radiação solar<sup>16</sup>, em intervalos de 0,1 ou 10%, variando entre 0% a 100% de absorvidade. Dessa forma a temperatura da superfície é calculada pela fórmula (4):

$$T_{sol-ar}(t) = T_f(t) + \frac{\alpha(I_d + I_s)}{h} \quad (4)$$

em que,  $I_d$  = radiação solar direta;  $I_s$  = radiação solar difusa;  $\alpha$  = absorvidade da superfície;  $h$  = coeficiente de convecção da superfície;  $T_{sol-ar}$  = temperatura da superfície sob efeito da radiação solar;  $T_f$  = temperatura do ar; busca-se ter a temperatura do subsolo à determinada profundidade, conforme fórmula (2), apresentada anteriormente.

Optou-se por esta fórmula por ela atender o objetivo desta pesquisa com os dados disponíveis para o cálculo, sendo esta fórmula também reconhecida na literatura para o cálculo do fator solar sobre superfícies opacas.

A aplicação do cálculo parte da hipótese de que existe uma camada de material com uma resistência térmica<sup>17</sup> de  $2 \times 10^{-4}$  K/W cobrindo o solo a ser utilizado para os

---

<sup>16</sup> Uma superfície asfaltada apresenta valores de absorvidade  $\alpha=0,98$  ou 98%, enquanto que uma calçada cimentada um  $\alpha=0,7$  ou 70%.

<sup>17</sup> Este valor é equivalente a uma camada de 0,1 m de concreto sobre o solo.

duto enterrado. Este material é quem está sujeito à variação de absorvidade referida na fórmula anterior, simulando uma superfície com variação gradual do branco até uma superfície mais escura, altamente absorviva.

Uma superfície recoberta por vegetação rasteira também é estudada, assumindo que as temperaturas em sua superfície, devido à presença de umidade das plantas, e perda de calor por evapotranspiração é equivalente a temperatura de bulbo úmido. Neste fenômeno de resfriamento evaporativo, a presença do vapor de água no ar diminui a temperatura do ar sem acréscimo ou decréscimo de energia (YELLOTT, 1989).

## **4. POTENCIAL DE CLIMATIZAÇÃO PARA OITO ZONAS BIOCLIMÁTICAS BRASILEIRAS**

Para cada uma das zonas bioclimáticas, uma cidade representante foi escolhida para o estudo. As zonas e as cidades são: Z01 - Curitiba/ PR, Z02 - Santa Maria/ RS, Z03 - Belo Horizonte/ MG, Z04 - Brasília/ DF, Z05 - Vitória da Conquista/ BA, Z06 - Campo Grande/ MS, Z07 - Cuiabá/ MT, e Z08 - Belém/ PA.

Nesta análise comparativa, inicialmente são demonstrados os resultados considerando a absorvidade da superfície igual a zero, ou seja, sem a influência da radiação solar. Considera-se dessa maneira apenas as condições de temperatura do ar externo para o cálculo de graus-hora.

Num segundo momento, quando serão discutidos os resultados da influência do tratamento da superfície do solo no desempenho de climatização, será considerada a incidência da radiação solar assim como a perda de calor por evapotranspiração.

### **4.1 Desempenho térmico quanto à profundidade**

Quanto à necessidade de climatização, as zonas 1 e 2 são as que apresentaram maior demanda por aquecimento, necessitando de 19.403,2 graus-hora (gh) e 18.529,3gh, respectivamente, enquanto que nas zonas 6, 7 e 8 houve maior demanda por resfriamento, necessitando de 5995,9gh, 14060,5gh e 11244,3gh, respectivamente. Nas zonas 3, 4 e 5 os valores são bastante similares tanto para resfriamento como para aquecimento e de menor necessidade de climatização, devido ao clima mais ameno a que estão sujeitas.

Quanto a temperatura do subsolo, para as diversas cidades, em 0,5 m ou em 4,0 m de profundidade, a aplicação da Fórmula 2 mostra que a média da temperatura anual do subsolo, considerando a absorvidade solar igual a zero, é igual a média de temperatura do ar, para ambos os casos. Porém a 0,5 m de profundidade existe uma variação de temperatura ao longo do ano, com amplitude menor que a temperatura do ar externo e com uma certa defasagem de tempo, enquanto que a temperatura a 4,0 m permanece constante e igual a média da temperatura do ar anual para a região. Esta

diferença no comportamento da temperatura do subsolo gerou diferenças na quantidade de graus-hora de climatização.

Figura 28 - Potencial de aquecimento anual para oito zonas bioclimáticas

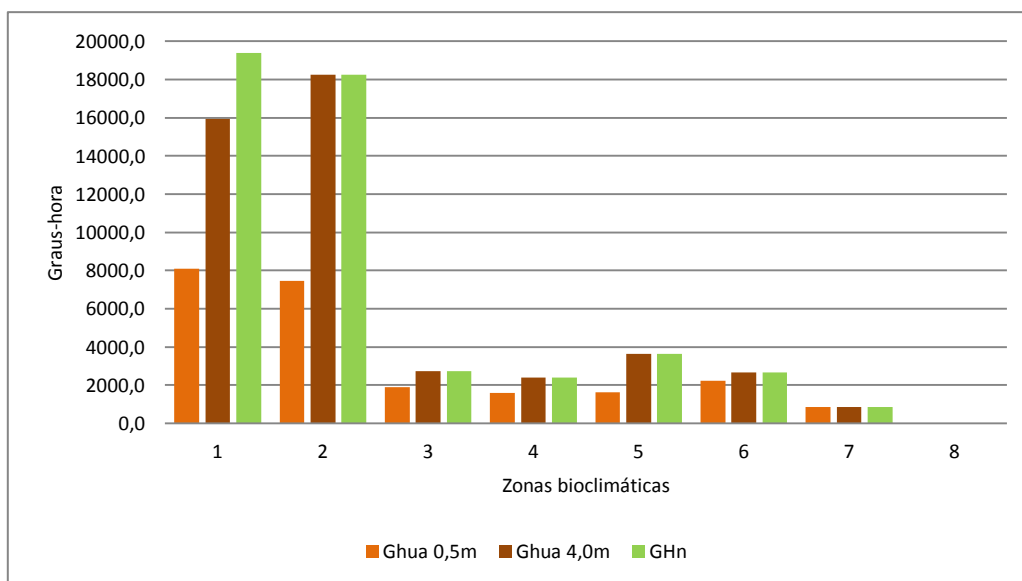
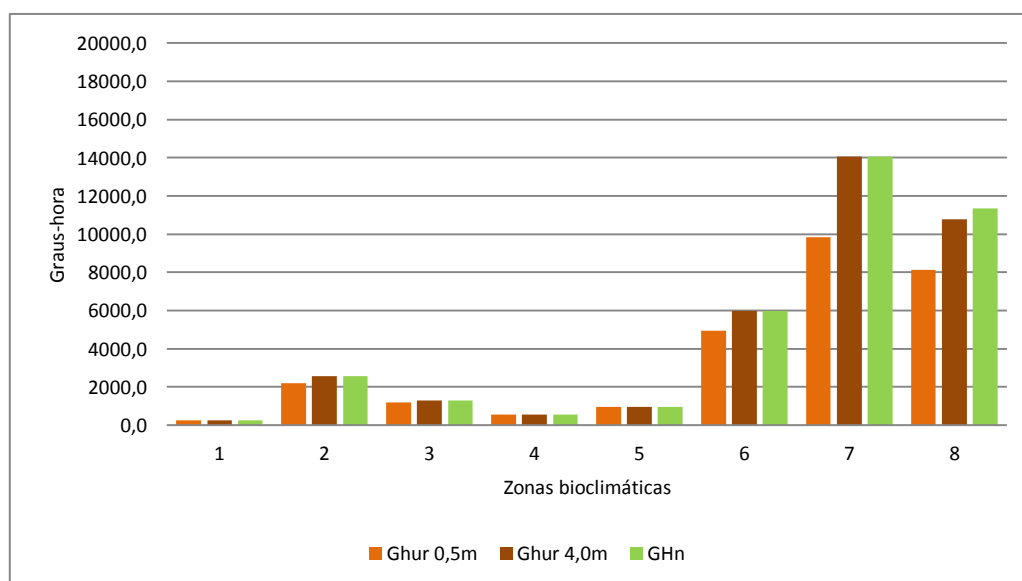


Figura 29 - Potencial de resfriamento anual para oito zonas bioclimáticas



A variação do potencial de aquecimento e arrefecimento em função da profundidade pode ser percebida em praticamente todas as zonas, com maior ênfase onde se tem maior demanda de climatização, e onde o clima é mais rigoroso. Na Figura 28 e na Figura 29 são demonstrados os resultados comparativos entre as zonas

bioclimáticas. Para estes resultados a absorvidade solar da superfície do solo foi tomada como zero, ou seja, esta não influencia nos resultados.

Figura 30 - Temperatura anual do subsolo em Z01-Curitiba

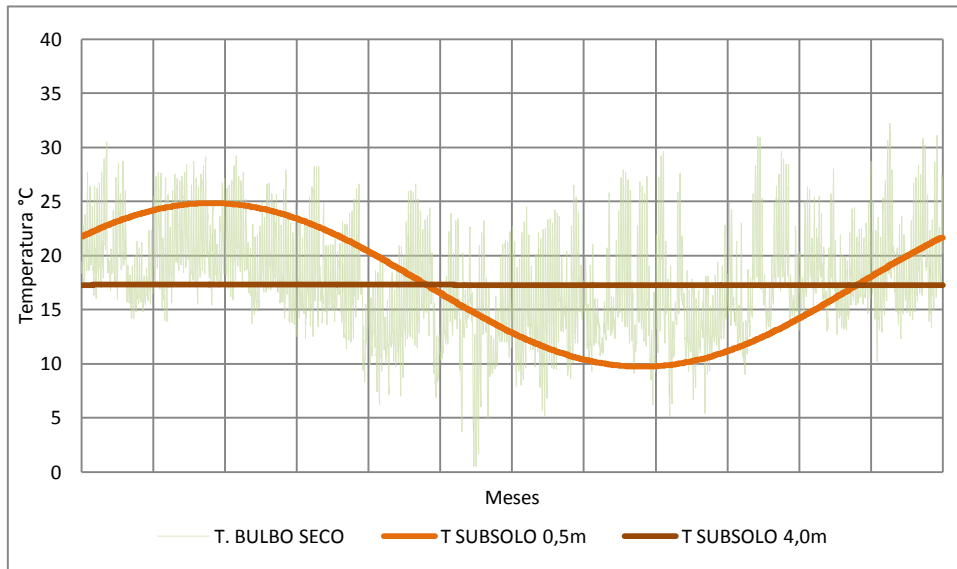
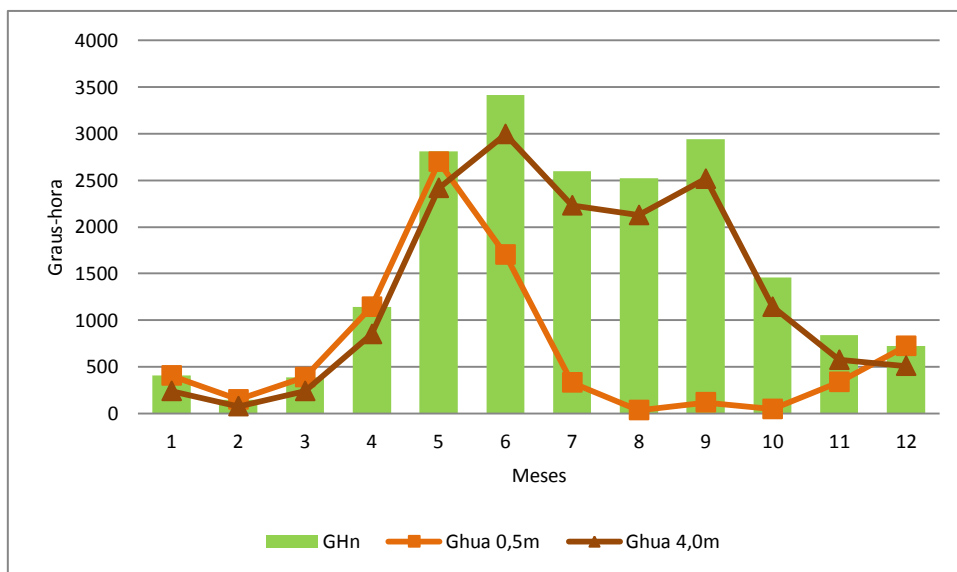


Figura 31 - Potencial de aquecimento mês a mês em Z01-Curitiba



Percebe-se, portanto, que para este estudo teórico, em algumas das zonas, a demanda por climatização pode ser totalmente suprida pela energia disponível no subsolo, como no caso das zonas 2 a 7 para aquecimento e para as zonas 1 a 7 para resfriamento. Embora estes resultados nos levem a concluir dessa forma, vale ressaltar que um sistema de troca de calor deste tipo não possui 100% de eficiência, havendo

perda de calor seja por resistência térmica nas trocas ou trocas indesejadas com o meio externo até chegar ao ambiente a ser climatizado, pelo rendimento dos equipamentos como ventiladores e bombas d'água, ou ainda pela diferença de temperatura do ambiente interno e a temperatura do ar externo tido aqui como referência.

Ao analisar a Figura 28 é percebida uma diferença no potencial de aquecimento a 0,5 m e a 4,0m de profundidade para a Z01-Curitiba ou Z02-Santa Maria, por exemplo. Isto se deve ao fato de haver maior amplitude da variação de temperatura próximo à superfície do solo, enquanto que em maiores profundidades a temperatura permanece constante, igual a média anual de temperatura do ar.

Nos meses mais frios, quando se necessita de um solo mais aquecido, o subsolo a 0,5 m de profundidade perde calor com maior rapidez, apesar de apresentar certa defasagem de temperatura, como mostra a Figura 30. Enquanto que a temperatura mínima do ano é medida no mês de junho, a temperatura mínima do subsolo a 0,5 m de profundidade é calculada entre os meses de agosto e setembro, uma defasagem de 2 a 3 meses. Porém mesmo com esta defasagem de temperatura a amplitude da variação, entre os 25 °C e 10 °C, faz com que o potencial de climatização seja reduzido em relação a zona mais profunda, como mostra a Figura 31.

Da mesma forma acontece com as diferenças mais significativas para resfriamento, como em Z08-Belém. Nos meses mais quentes, quando se necessita de temperaturas mais baixas no subsolo, a 0,5 m de profundidade este sofre aumento de temperatura em decorrência do ar externo e aquece facilmente, como mostra a Figura 32, atingindo mais de 30 °C entre fevereiro e março para esta cidade, e faz com que o potencial de climatização seja reduzido (Figura 33). Mesmo apresentando uma menor amplitude de temperatura anual e mesmo de variação entre as estações do ano do que em Z01, visto anteriormente, a diferença no desempenho quanto a profundidade ainda se torna evidente.

Ao testar a hipótese que baseia este trabalho, vimos que, para aquecer ambientes, a literatura indica viabilidade de uso do subsolo para instalação de SCDS para localidades com média de temperatura anual entre 12 °C e 18 °C. Neste estudo as cidades mais frias, aqui representadas por Z01-Curitiba e Z02-Santa Maria, com média de temperatura anual de 17,3 °C 19 °C, respectivamente, são as que apresentam maior demanda de graus-hora anuais de aquecimento, ao mesmo tempo em que apresentam

potencial de climatização significativo para suprir esta demanda energética (Tabela 6). Conclui-se que esta hipótese apresentada é corroborada com os resultados desta pesquisa.

Figura 32 - Temperatura anual do subsolo em Z08-Belém

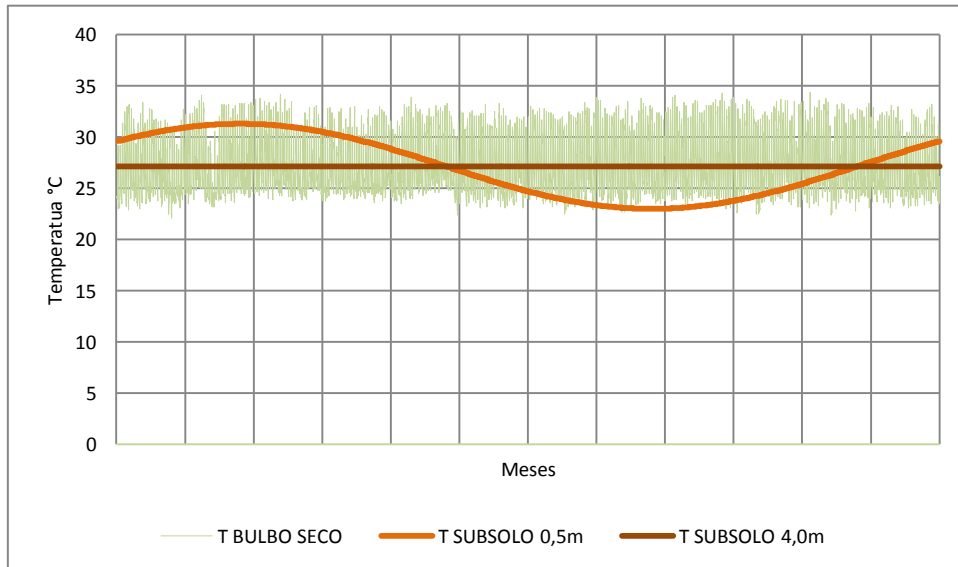
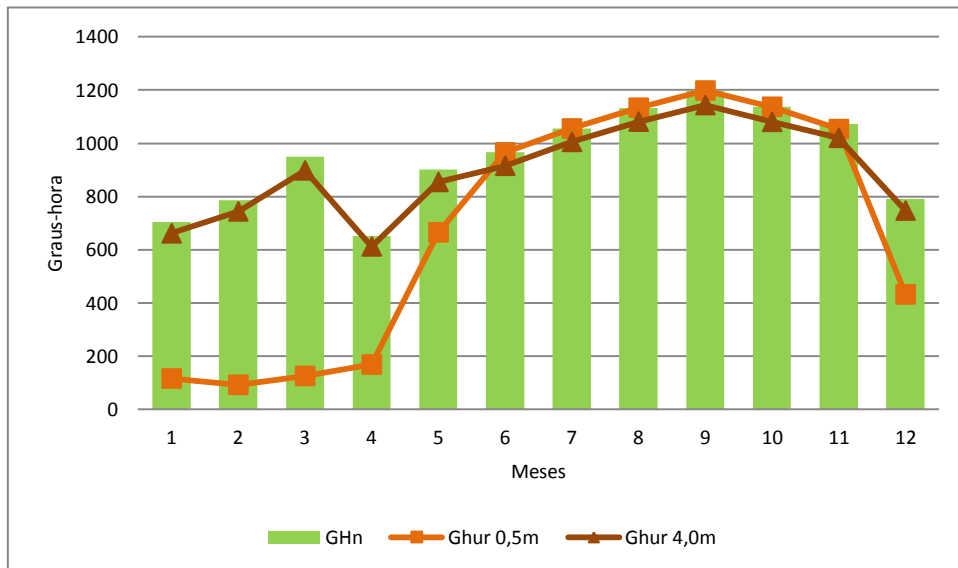


Figura 33 - Potencial de resfriamento mês a mês em Z08-Belém



A partir de Z03-Belo Horizonte, com média de temperatura anual de 21,8 °C, apesar de os valores percentuais de potencial de climatização serem altos, chegando a 100% quando a 4,0 m de profundidade, a demanda de energia é reduzida em relação a Z01 e Z02, tornando o uso da energia geotérmica menos útil.

Tabela 6 - Potencial de aquecimento para as oito zonas

| Zonas                    | GHn     | GHu 0,5m | %     | GHu 4,0m | %     |
|--------------------------|---------|----------|-------|----------|-------|
| Z01-Curitiba             | 19403,2 | 8084,6   | 41,7% | 15924,5  | 82,1% |
| Z02-Santa Maria          | 18259,3 | 7454,1   | 40,8% | 18259,3  | 100%  |
| Z03-B. Horizonte         | 2726,9  | 1911,7   | 70,1% | 2726,9   | 100%  |
| Z04-Brasília             | 2404,4  | 1583,6   | 65,8% | 2404,4   | 100%  |
| Z05-Vitória da Conquista | 3649,0  | 1629,2   | 44,6% | 3649,0   | 100%  |
| Z06-Campo Grande         | 2684,7  | 2246,1   | 83,6% | 2684,7   | 100%  |
| Z07-Cuiabá               | 850,6   | 850,6    | 100%  | 850,6    | 100%  |
| Z08-Belém                | 0       | 0        | -     | 0        | -     |

Mesmo estas duas zonas (Z01 e Z02) citadas terem tido resultados que corroboram a hipótese deste trabalho, vê-se que existe ainda uma diferença significativa quanto a profundidade em que se utiliza a temperatura do subsolo. Neste caso o uso de dutos enterrados a 4,0 m evidencia um potencial superior de climatização, como mostra a Tabela 6.

Ao tratar do resfriamento de ambientes, era esperado que cidades que tivessem temperatura do subsolo abaixo da temperatura de conforto, ou temperaturas do ar extremas, quando em dias mais quentes, obtivessem melhor aproveitamento da energia geotérmica de baixa profundidade. Cuiabá (Z07), com média de temperatura anual de 26,3 °C e temperatura máxima média de 36,4 °C foi onde o aproveitamento do subsolo se mostrou mais útil, mas também em Z08-Belém ( $T_m = 27,2$  °C e  $T_{máx.m.} = 33,8$  °C) e Z07-Campo Grande ( $T_m = 23,4$  °C e  $T_{máx.m.} = 33,5$  °C), a aplicação de um SCDS se mostrou viável (Tabela 7).

Comparando os resultados de aquecimento e de resfriamento para as oito zonas bioclimáticas, se vê que a profundidade em que se enterra os dutos quando se pretende resfriar um ambiente parece sofrer menor variação de potencial que quando se pretende aquecer um ambiente. Porém, este efeito aparente decorre das diferenças no clima das cidades estudadas. Nas cidades mais frias, a ocorrência de temperaturas menores que 18 °C e maiores que 27 °C é mais recorrente, ou seja, existe maior amplitude de temperatura anual, tanto acima da temperatura máxima de conforto quanto abaixo da

mínima. Enquanto que nas cidades mais quentes, com valores médios de temperatura anual mais elevados, em torno de 26 e 27 °C, e com temperaturas máximas altas, a necessidade por resfriamento é maior ao longo do ano.

Tabela 7 - Potencial de resfriamento para as oito zonas

| Zonas                    | GHn     | GHu 0,5m | %     | Ghu 4,0m | %     |
|--------------------------|---------|----------|-------|----------|-------|
| Z01-Curitiba             | 254,0   | 254      | 100%  | 254      | 100%  |
| Z02-Santa Maria          | 2564,9  | 2192,6   | 85,5% | 2564,9   | 100%  |
| Z03-Belo Horizonte       | 1303,0  | 1183,3   | 90,8% | 1303,0   | 100%  |
| Z04-Brasília             | 544,8   | 544,8    | 100%  | 544,8    | 100%  |
| Z05-Vitória da Conquista | 953,1   | 953,1    | 100%  | 953,1    | 100%  |
| Z06-Campo Grande         | 5995,9  | 4949,9   | 82,5% | 5995,9   | 100%  |
| Z07-Cuiabá               | 14060,5 | 13894,4  | 98,8% | 14060,5  | 100%  |
| Z08-Belém                | 11344,3 | 8140,6   | 71,7% | 10763,7  | 94,9% |

A partir destes resultados apresentados, conclui-se portanto, que existe um potencial de climatização no subsolo brasileiro que consegue atender uma parte da demanda por condicionamento do ar em ambientes, conforme esperado na hipótese apresentada deste trabalho. As zonas mais frias, Z01 e Z02 apresentaram um melhor potencial de aquecimento comparando a temperatura do ar externo com o subsolo, enquanto que as zonas mais quentes, Z08, Z07 e Z06 apresentaram melhor potencial de arrefecimento.

Diferenças significativas foram encontradas para o perfil de temperatura do subsolo a 0,5 m e a 4,0 m de profundidade, sendo que em maior profundidade consegue-se o melhor desempenho térmico ao instalarmos um SCDS, quando se pretende aquecer ou resfriar um edifício. A estabilidade térmica do subsolo a 4,0 m é o principal fator que contribui para isso.

## 4.2 Desempenho térmico sob diferentes tratamentos de superfícies

Com relação ao tratamento das superfícies do solo, temos duas situações, sendo uma primeira em um solo recoberto por vegetação rasteira, perdendo calor para o ambiente externo por evapotranspiração, e uma segunda considerando um solo coberto por superfície com resistência térmica de  $2 \times 10^{-4} \text{ m}^2\text{K/W}$ , uma superfície de concreto com 0,1 m de espessura, considerando nestes níveis de 0 a 100% de absortividade na superfície.

Dessa forma, quando tratamos dos resultados quanto à demanda de aquecimento (Figura 34 a Figura 37), esta é decrescida significativamente quando temos uma superfície recoberta por vegetação rasteira (Figura 34), tanto a 0,5 de profundidade como a 4,0 m. Para Z01-Curitiba, este decréscimo representa 46,4% do potencial de aquecimento em relação aos resultados apresentados com 0% de absortividade solar no item anterior.

Com 60% de absorção da radiação (Figura 36), e conseqüentemente, com um solo mais aquecido, a oferta de ar quente advinda do subsolo aumenta, e o potencial útil de aquecimento para todas as cidades passa a ser de 100% a 4,0 m de profundidade. Isso porque a esta profundidade a temperatura do subsolo aumenta, mas ainda permanece estável ao longo do ano, suprimindo toda a demanda de aquecimento. Já o aumento no potencial de aquecimento a 0,5 m de profundidade não é tão significativo quanto o anterior pois a variação de temperatura do subsolo acompanha com maior sensibilidade a curva de temperatura do ar externo e se apresenta mais quente quando o ar externo também está mais elevado e não necessita de estratégias de aquecimento para conforto térmico.

Figura 34 - GHu aquecimento evapotranspiração

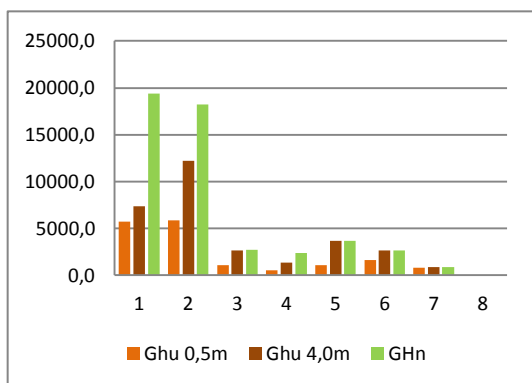


Figura 35 - GHu aquecimento 30% absorção

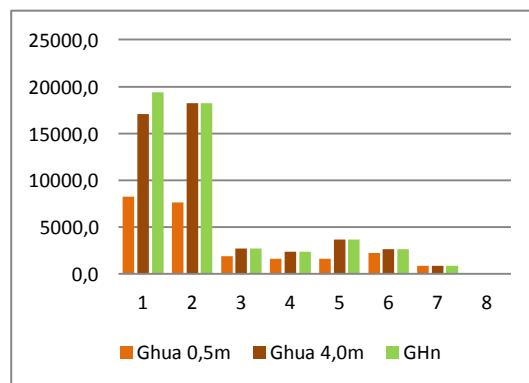


Figura 36 - GHu aquecimento 60% absorção

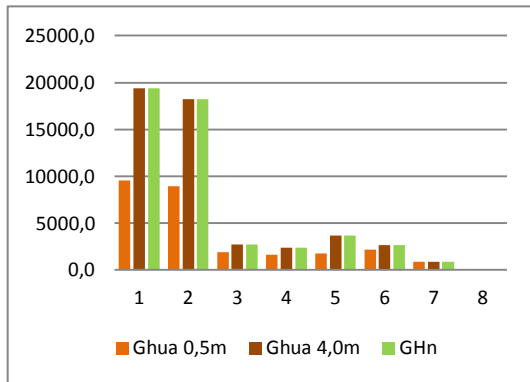
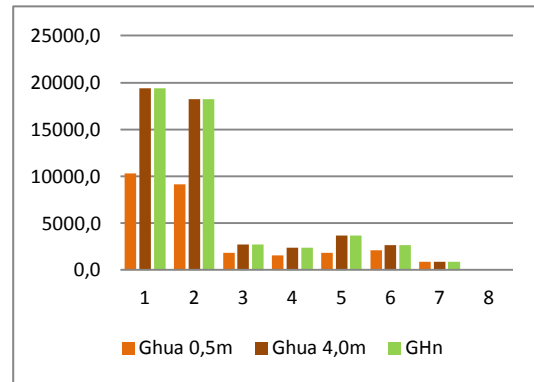


Figura 37 - GHu aquecimento 90% absorção



Quando tratamos dos resultados para resfriamento (Figura 38 a Figura 41), percebe-se que enterrar dutos sob um solo gramado aumenta o potencial de resfriamento, tanto a 0,5 m de profundidade como a 4,0 m (Figura 38), pois a perda de calor por evapotranspiração ou resfriamento evaporativo da superfície reduz os valores de temperatura do subsolo ao longo do ano.

Com 30% de absorvidade solar (Figura 39) o potencial de arrefecimento a 0,5 m de profundidade começa a decair, principalmente nas cidades mais exigidas, como Z07 e Z08. Com um maior aumento da absorvidade, 60% (Figura 40) e 90% (Figura 41), se sofre maior perda relativa de potencial a 4,0 m de profundidade, e sob o mesmo efeito de quando se pretende aquecer ambientes, a temperatura do subsolo nesta profundidade aumenta sem perder a estabilidade térmica. Dessa maneira, o potencial de resfriamento para as zonas 7 e 8 em determinado momento passa a ser menor a 4,0 m do que a 0,5 m de profundidade.

Em Belém, por exemplo, com 60% de absorvidade, a temperatura do solo a 4,0 m da superfície é de 28,8 °C e com 90% de absorção tem-se 31,8 °C, enquanto que a média de temperatura do ar externo é de 27,2 °C. Esses valores de temperatura superam a temperatura máxima de conforto estabelecida, de 27 °C, diminuindo significativamente o potencial de resfriamento de um SCDS. Já quando analisamos a temperatura sobre um solo com superfície gramada, a média de temperatura do subsolo é de 24,4 °C, 2,6 °C abaixo da temperatura máxima de conforto. A 0,5 m da superfície a variação de temperatura acompanha a variação da curva de temperatura do ar com menor amplitude e com defasagem, sendo menos perceptível a perda de potencial de resfriamento com o aumento da absorção da radiação solar pela superfície.

Estes resultados nos mostram que, se ao projetar um SCDS para Z08-Belém ou Z07-Cuiabá, por exemplo, ao enterrar os dutos sobre uma superfície recoberta por asfalto ( $\alpha > 90\%$ ) o potencial de arrefecimento é praticamente anulado, devido ao aumento excessivo da média da temperatura no subsolo. Porém, se um sistema deste tipo estiver enterrado sobre solo gramado sua melhor performance é garantida, tanto a 0,5 m como a 4,0 m de profundidade.

Figura 38 - GHu resfriamento evapotranspiração

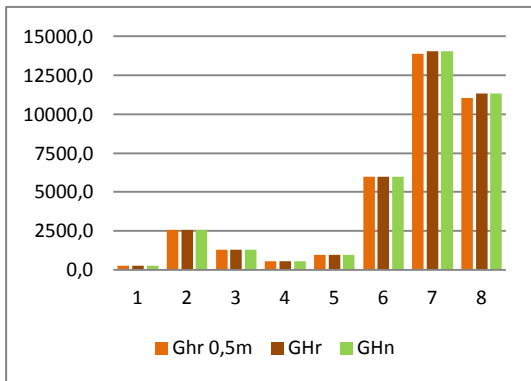


Figura 39 - GHu resfriamento 30% absorção

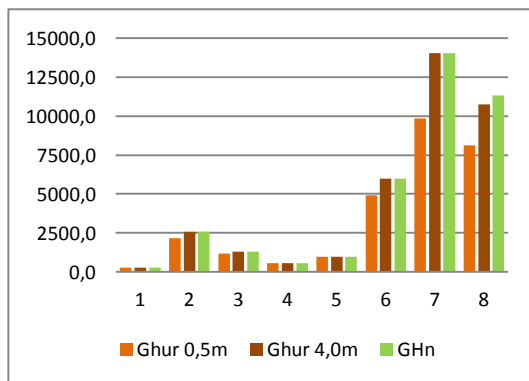


Figura 40 - GHu resfriamento 60% absorção

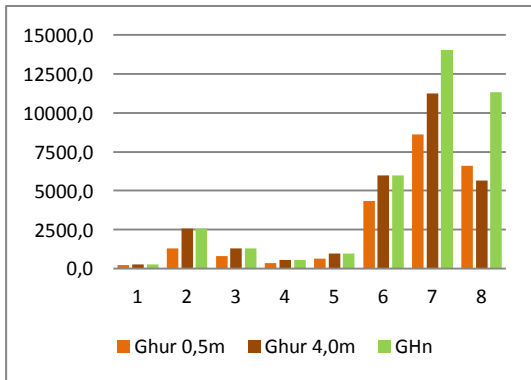
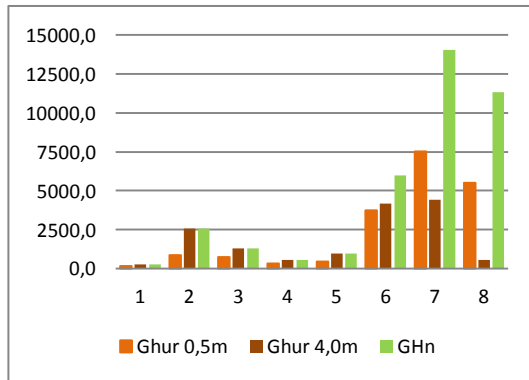


Figura 41 - GHu resfriamento 90% absorção



Comparando a influência de diferentes níveis de absorvidade da superfície no desempenho de aquecimento e resfriamento para para as diferentes cidades(Figura 42 a Figura 56), percebe-se que o aumento deste fator nem sempre tem uma influência direta no potencial de climatização do subsolo, mesmo para resfriamento. No caso de Z01 (Figura 43), Z02 (Figura 45) e Z05 (Figura 51) não existe alteração de potencial de resfriamento a 4,0 m de profundidade mesmo condicionado a diferentes tratamentos de superfície.

Figura 42 - Superfícies aquecimento Z01

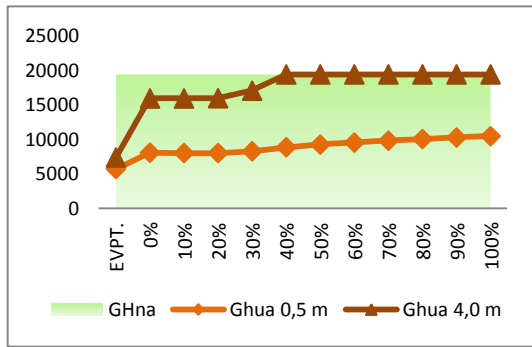


Figura 43 - Superfícies resfriamento Z01

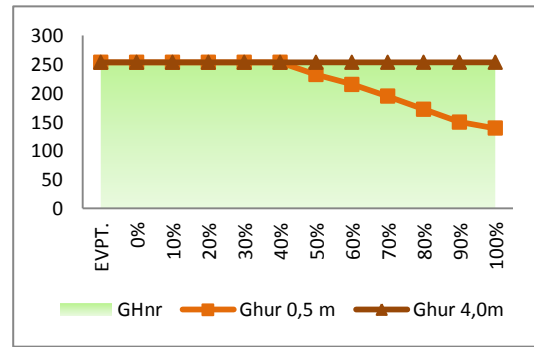


Figura 44 - Superfícies aquecimento Z02

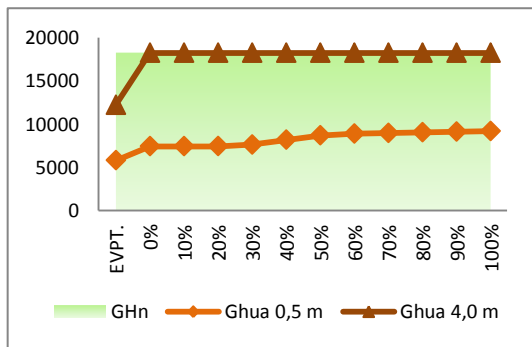


Figura 45 - Superfícies resfriamento Z02

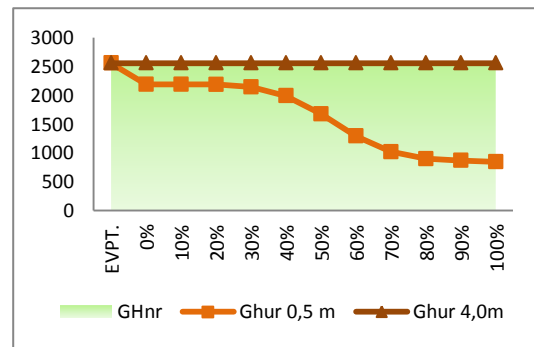


Figura 46 - Superfícies aquecimento Z03

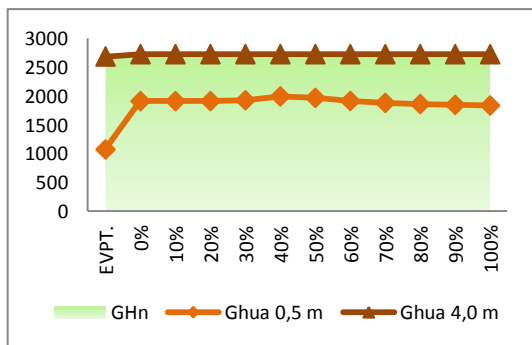


Figura 47 - Superfícies resfriamento Z03

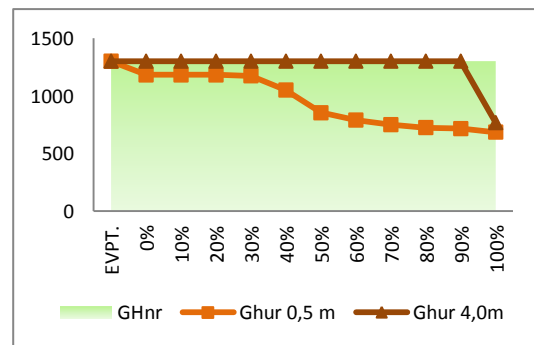


Figura 48 - Superfícies aquecimento Z04

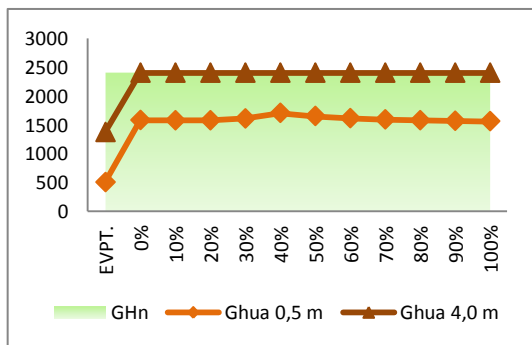


Figura 49 - Superfícies resfriamento Z04

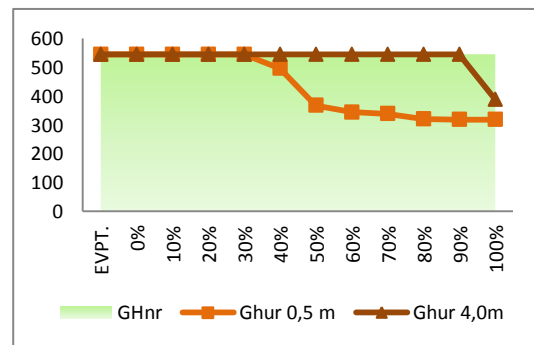


Figura 50 - Superfícies aquecimento Z05

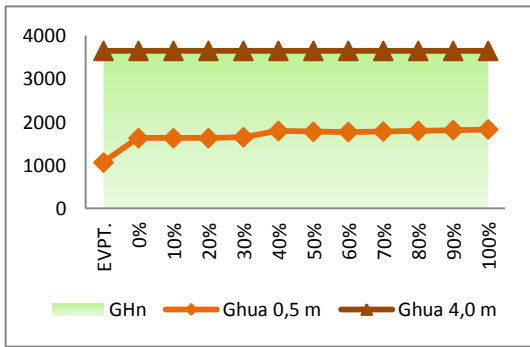


Figura 51 - Superfícies resfriamento Z05

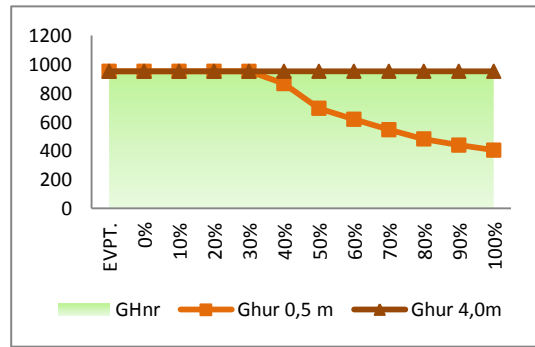


Figura 52 - Superfícies aquecimento Z06

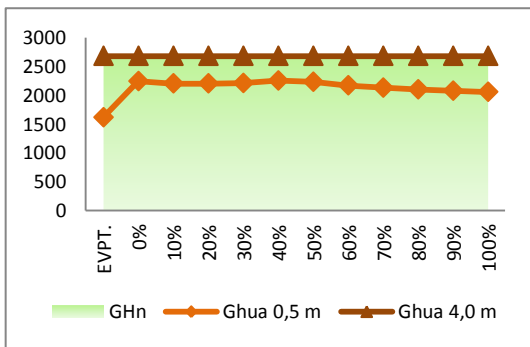


Figura 53 - Superfícies resfriamento Z06

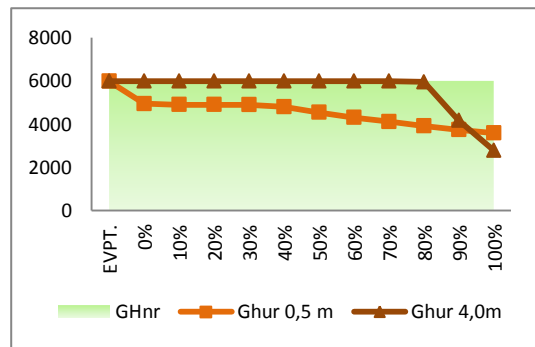


Figura 54 - Superfícies aquecimento Z07

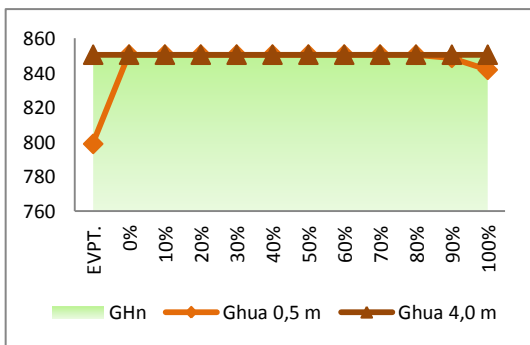


Figura 55 - Superfícies resfriamento Z07

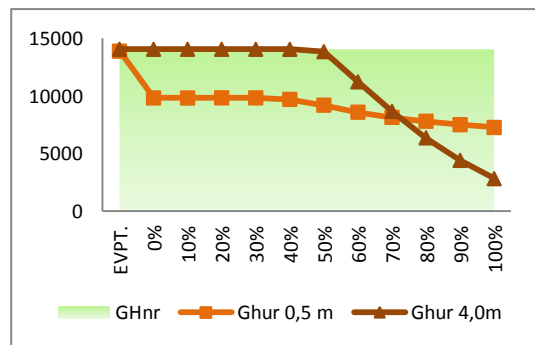
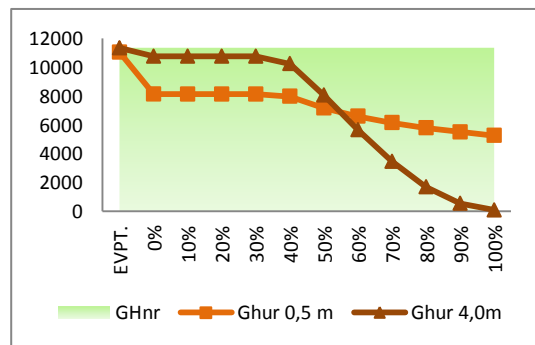


Figura 56 - Superfícies resfriamento Z08



A demanda por aquecimento, para alguns casos como Z05 (Figura 50), Z06 (Figura 52) e Z07 (Figura 54) também é suprida mesmo sob solo gramado, não sofrendo influência no potencial de climatização. Porém para a maioria das cidades a influência no tratamento das superfícies se mostra fator de importância na aplicação de SCDS.

Conclui-se com os resultados aqui apresentados portanto, que em locais onde existe maior demanda de climatização, seja para aquecimento ou resfriamento, devido às condições climáticas locais, a sensibilidade quanto ao tratamento dado à superfície do solo se torna mais evidente. Dessa forma, ao enterrar dutos sob um solo com tratamento correto da superfície, se consegue potencializar o desempenho de um SCDS, ou seja, numa região onde a necessidade se faz por aquecimento, enterrar dutos sob uma calçada absorviva pode aumentar o desempenho do sistema, assim como numa região muito quente, enterrar dutos sob solo gramado aumenta o potencial de resfriamento do sistema.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho se buscou comparar o potencial de uso do subsolo para climatização por dutos subterrâneos em oito diferentes zonas bioclimáticas brasileiras, motivado não somente pela exploração científica do tema em si, mas também como forma de estimular o aproveitamento geotérmico do subsolo no Brasil, para fins de climatização de edifícios, em outras regiões onde ainda não se teve acesso a relatos de produção científica sobre esta temática.

Com os resultados aqui apresentados foi visto que assim como existe o potencial de uso do subsolo para climatização em cidades como Curitiba, de clima temperado úmido, existe também um potencial para cidades quentes, como foi o caso de Cuiabá e Belém, principalmente. Os sistemas de climatização dessa natureza são muito utilizados em países frios como Canadá, Estados Unidos e em países da Europa. Este estudo traz a possibilidade de aplicação também em países de clima tropical como o Brasil. Vale ressaltar que este sistema muitas vezes não é o único meio de climatização de um edifício, podendo este responder a toda demanda de energia exigida ou ser um sistema complementar a outras estratégias.

O método para obtenção dos resultados de demanda e potencial de climatização foi o de graus-hora, baseado em dados climáticos de cada uma das oito cidades: Z01-Curitiba, Z02-Santa Maria, Z03-Belo Horizonte, Z04-Brasília, Z05-Vitória da Conquista, Z06-Campo Grande, Z07-Cuiabá, Z08-Belém. Dados de temperatura de bulbo seco, umidade do ar e radiação solar hora-a-hora para período de um ano alimentaram os resultados desta pesquisa. Este método adotado se mostrou de grande utilidade e coerência na obtenção dos resultados propostos, porém sabe-se que para o potencial demonstrado nos resultados desta pesquisa é necessário ainda descontar a perda de calor nas trocas com o sistema de climatização, a carga térmica gerada no interior da edificação em função de seu uso e condições de projeto, além do comportamento térmico não uniforme do subsolo.

Em outras pesquisas sobre esta mesma temática a que esta se propôs, este método não foi identificado. Em geral métodos mais complexos de cálculo, envolvendo diversas outras variáveis, buscando resolver problemas específicos da troca de calor não estacionária, são tema destas pesquisas. Porém esta abordagem que trata de resolver problemas específicos da aplicação de um sistema a determinadas condições de clima,

geometria, tipologia de sistema e outras condições, no presente momento, não atenderia ao objetivo proposto desta dissertação.

Como comentado anteriormente, optou-se aqui por fazer o comparativo das diferentes zonas bioclimáticas baseado somente em dados meteorológicos, excluindo variações térmicas a que um edifício está sujeito. Um mesmo projeto arquitetônico não dispõe do mesmo desempenho térmico em Curitiba e em Belém, por exemplo, diferentes formas de proteção solar, transmitância térmica da envoltória e soluções de ventilação e iluminação podem ser utilizadas para uma melhor solução nestes climas tão diferentes entre si. Dessa forma, um estudo teórico de simulação como este, apesar de trabalhar com dados climáticos medidos *in loco*, necessita de uma série de formulações e simplificações matemáticas que viabilizem sua conclusão em tempo hábil e permitam uma clareza na leitura dos resultados.

Diferenças na demanda de climatização, usando o mesmo método dos graus-hora, foram percebidas em relação a outra tradicional publicação que aborda o assunto no Brasil<sup>18</sup>, porém os dados climáticos utilizados na presente dissertação são de 2001 a 2010, mais recentes que os utilizados nesta outra publicação, de 1961 a 1970. Para Curitiba, por exemplo, percebeu-se uma queda na demanda de aquecimento de mais de 25 % nos cálculos desta pesquisa, e em Brasília esse valor chega a 62 %, enquanto que para Belém houve aumento de 32 % na demanda de arrefecimento. Isto ocorre pelo aumento das temperaturas medidas entre estes dois períodos, o que é uma conclusão propriamente dita desta pesquisa, por não se tratar de seu escopo, mas vale comentar esse dado quanto ao possível efeito das ilhas de calor urbanas nesses últimos 40 anos de medição.

Outra questão que diz respeito ao método que deve ser discutida é sobre as profundidades adotadas como limites do trabalho. Se são estudados casos extremos de aplicação, a 0,5 m e a 4,0 m, em que no primeiro existe sensível variação de temperatura do ar anual, que acompanha a amplitude térmica com menor intensidade e certa defasagem, e no segundo a temperatura permanece constante ao longo do ano, próximo a média da temperatura da superfície, porque não estudar profundidades intermediárias, como 2,0 ou 1,0 m? Optou-se dessa forma por se entender que dentro deste intervalo

---

<sup>18</sup> Goulart *et al.* (1998)

estudado o potencial mais adequado a cada caso deve ser calculado pontualmente, sendo este estudo um referencial para diversas cidades, mostrando aqui justamente os comportamentos extremos do uso de diferentes profundidades do subsolo.

Foi quantificado neste trabalho a influência do tratamento da superfície do solo no desempenho de um SCDS, mostrando que este tratamento deve ser previsto e trabalhado de diferentes formas ao considerar o uso do subsolo para climatização em cidades com diferentes climas. Um SCDS para fins arrefecimento pode ter seu potencial quase que anulado se instalado sob uma via asfaltada ( $\alpha > 90\%$ ), porém se estiver sob uma superfície com grama rasteira consegue-se a melhor performance do sistema devido ao resfriamento evaporativo da superfície. Ao contrário disso, para fins de aquecimento, a instalação de um sistema sob uma superfície absorptiva pode contribuir consideravelmente para o aumento do potencial de climatização, visto que aumenta-se a média de temperatura do subsolo, principalmente a 4,0 m de profundidade onde esta é constante ao longo do ano, correspondendo a média da temperatura da superfície do solo.

Diferente do que ocorre em países onde há uma variação de temperatura anual de temperaturas negativas até acima de 30 °C, em que um SCDS tem alto potencial de climatização tanto para o verão como para o inverno, percebe-se que para um bom desempenho de um SCDS nas zonas bioclimáticas brasileiras é indicado um perfil de uso predominante, ou seja, em Curitiba ou Santa Maria, o melhor uso do princípio da capacidade térmica do subsolo é percebido para aquecimento de ambientes, enquanto que para Campo Grande, Cuiabá e Belém, é indicado o uso destes sistemas de climatização para fins de resfriamento. Dessa forma, pode-se tratar as superfícies de forma que potencialize o melhor perfil de uso para as condições climáticas destas cidades.

## 6. SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

A discussão destes resultados apresentados na pesquisa, assim como de outras experiências e conclusões a que se chega no decorrer de todo o percurso do trabalho, uma porção de temas que podem ser levantados para trabalhos futuros.

A determinação do comportamento térmico do subsolo para as formações geológicas brasileiras, para profundidades e condições necessárias ao enfoque de aproveitamento geotérmico para climatização é um dos possíveis primeiros passos importantes para trabalhos futuros. Esta determinação pode ser realizada por meio de medições ou a partir do cálculo matemático, apresentado nesta revisão bibliográfica<sup>19</sup>, baseado na caracterização física dos solos.

Também a partir dos resultados aqui apresentados, faz-se necessária a aplicação de sistemas de climatização por dutos subterrâneos nas zonas bioclimáticas em que o uso do subsolo se mostra favorável, seja por meio de estudos experimentais ou em simulação de condições específicas de solo e ambiente. O método experimental, com investigação das condições térmicas de solo daria fidelidade ao potencial, além de considerar outros fatores de forma mais detalhada.

Estudar a diferença de potencial quanto a concentração urbana de uma mesma região também se mostra uma possibilidade interessante. Devido à formação de ilhas de calor urbanas, o dimensionamento e desempenho de um sistema de climatização por dutos subterrâneos deve ser influenciado, como sugerem os resultados aqui apresentados. A bibliografia presente nesta dissertação nos atenta ainda para a formação de ilhas de calor subterrâneas, outro assunto de relevância atual a ser pesquisada. A ocupação do solo além de influenciar na atmosfera terrestre ainda tende a perturbar o comportamento térmico do subsolo, pelos próprios edifícios trocando calor com a terra ou pelas instalações subterrâneas, poços, redes de esgoto e metrô.

Em território brasileiro tem-se a presença de lençol freático bastante aflorado em diversas regiões, como acontece em Curitiba, assim como a presença de aquíferos subterrâneos, como o aquífero Guarani, que possivelmente teriam alto potencial de

---

<sup>19</sup> Na revisão bibliográfica, item 2.5.4 é apresentado método de cálculo da condutividade térmica de solos de Becker *et al.* (1992) baseado em dados, que para a formação geológica de Curitiba, por exemplo estão presentes em Kormann (2002), trabalho da área de geotecnia.

climatização de edifícios ou até mesmo de comunidades. Acredita-se, a partir das discussões geradas neste trabalho que sistemas do tipo solo-água seriam mais indicados que sistemas do tipo solo-ar, devido à maior capacidade térmica da água em relação ao ar. Esta maior capacidade térmica da água tende a fazer sistemas mais econômicos, pois tem a capacidade de levar maior quantidade de calor em uma mesma massa, ou seja, para uma mesma demanda de climatização consegue-se montar um sistema que ocupa menor espaço do tipo solo-água do que do tipo solo-ar.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15220:2**: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. 2005.
2. ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15220:3**: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. 2005.
3. AMPOFO, F; MAIDMENT, G. G.; MISSENDEN, J. F. Application of groundwater cooling scheme for London Underground network. **International Journal of Refrigeration** 34: 2042-2049. 2011.
4. ASHRAE - American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. **Ashrae handbook fundamentals**. EUA: Ashrae Standards, 2009.
5. ASHRAE - American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. **Ashrae Standard 55** - Thermal environmental conditions for human occupancy. Atlanta, 1992.
6. BADESCU, V. Simple and accurate model for the ground heat exchanger of a passive house. **Renewable Energy** 32: 845-855. 2007.
7. BANSAL, V.; MISRA, R.; AGRAWAL, D.; MATHUR, J. Performance analysis of earth-pipe-air heat exchanger for winter heating. **Energy and Buildings** 41: 1151-1154. 2009.
8. BANSAL, V.; MISRA, R.; AGRAWAL, D.; MATHUR, J. Performance analysis of earth-pipe-air heat exchanger for summer cooling. **Energy and Buildings** 42: 645-648. 2010.
9. BECKER, B. R.; MISRA, A.; FRICKE, B. A. Development of correlations for soil thermal conductivity. **International Communications in Heat and Mass Transfer** 19: 59-68. 1992.
10. BOJIC, M.; TRIFUNOVIC, N.; PAPADAKIS, G.; KYRITSIS, S. Numerical simulation, technical and economical evaluation of air-to-earth heat exchanger coupled to a building. **Energy** 22: 1151-1158. 1997.
11. BOJIC, M. Optimization of heating and cooling of a building by employing refuse and renewable energy. **Renewable Energy** 20: 453-465. 2000.
12. BONI, A. L. **Modelagem matemática da transferência de calor não estacionária "ar+solo"**. Ijuí, 2003. Dissertação (Mestrado em Modelagem Matemática) - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, 2003.

13. BRASIL. Ministério das Minas e Energia. **Balço energético nacional: ano base 2010**. Brasília, 2011.
14. BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Plano nacional para eliminação gradual do CFC**. Brasília, 2002
15. BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Programa brasileiro de eliminação dos HCFCs - PBH**. Brasília, 2012.
16. CREDER, H. **Instalações de ar condicionado**. 6ª edição. Rio de Janeiro: LTC, 2006.
17. CZELUSNIAK, A. Tubos vão ter sistema que resfria o ambiente. **Gazeta do Povo**, publicado em 12/08/2008. Disponível em: <<http://www.gazetadopovo.com.br/vidaecidadania/conteudo.phtml?id=796684>> Acesso em: 24/05/2012.
18. DENG, N.; YU, X.; ZHANG, Y.; MA, H.; WANG, H. Numerical analysis of three direct cooling systems using underground energy storage: A case study of Jinghai County, Tianjin, China. **Energy and Buildings** 47: 612-618. 2012.
19. FANGER, P. O. **Thermal comfort: analysis and applications in environmental engineering**. Florida: Robert E. Krieger Publishing Company, 1982.
20. FLORIDES, G.; KALOGIROU, S. Ground heat exchangers - A review of systems, models and applications. **Renewable Energy** 32: 2461-2478. 2007.
21. GHOSAL, M. K.; TIWARI, G. N. Modeling and parametric studies for thermal performance of an earth to air heat exchanger integrated with a greenhouse. **Energy Conversion & Management** 47: 1779-1798. 2006.
22. GIVONI, B. Comfort, climate analysis and building design guidelines. **Energy and Buildings** 18: 11-23. 1992.
23. GOULART, S. **Dados climáticos para avaliação de desempenho térmico de edificações em Florianópolis**. Florianópolis, 1993. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal de Santa Catarina, 1993.
24. GOULART, S.; LAMBERTS, R.; FIRMINO, S. **Dados climáticos para projeto e avaliação energética de edificações para 14 cidades brasileiras**. 2ª ed. Florianópolis: Núcleo de Pesquisa em Construção/ UFSC, 1998.
25. HUMPHREYS, M. A.; RIJAL, H. B.; NICOLS, J. F. Updating the adaptive relation between climate and comfort indoors: new insights and an extended database. **Building and Environment** 63: 40-55, 2013.
26. HUKSEFLUX - Thermal Sensors. FTN01: Field thermal needle system for thermal resistivity / conductivity measurement. Disponível em: <<http://www.hukseflux.com/product/ftn01>> Acessado em 27/04/2013.

27. INSTITUTO BRASIL VERDADE. **Brasil reduz em 95% emissões de CFC na camada de ozônio em sete anos.** Disponível em: <[http://www.institutobrasilverdade.com.br/index.php?option=com\\_content&task=view&id=4440&Itemid=99](http://www.institutobrasilverdade.com.br/index.php?option=com_content&task=view&id=4440&Itemid=99)>. Acesso em: 16/04/2012.
28. ISO - International Organization for Standardization. **ISO Standard 7730:** Moderate thermal environments - determination of the PMV and PPD indices and specifications of the conditions for thermal comfort. Gênova, 1994.
29. IZARD, J. L.; GUYOT, A. **Arquitetura bioclimática.** Barcelona: Gustavo Gili, 1983.
30. JOHANSEN, O. **Thermal conductivity of soils.** Noruega, 1975. Tese (Ph.D) Universidade de Trondheim.
31. KORMANN, A. C. M. **Comportamento geomecânico da formação Guarituba: Estudos de campo e laboratório.** São Paulo, 2002. Tese (Doutorado em Engenharia) - Universidade de São Paulo.
32. KWORK, A. G.; GRONDZIK, W. T. **The Green Studio Handbook: Environmental Strategies for Schematic Design.** Elsevier, 2007.
33. LABEEE - Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. **Arquivos bioclimáticos em formato EPW.** Disponível em <<http://www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos>> Acessado em 20/12/2013.
34. LABS, K. **Earth Coupling,** in COOK, J. (org.), **Passive Cooling.** Cambridge: the MIT Press, 1989.
35. LEE, C.; PARK, M.; NGUYEN, T.; SOHN, B.; CHOI, J. M.; CHOI, H. Performance evaluation of closed-loop vertical ground heat exchangers by conducting in-situ thermal response tests. **Renewable Energy** 42: 77-83. 2012.
36. LELÉ, J. F. L. **João Filgueiras Lima - Lelé.** São Paulo: Zamboni, 2000.
37. LUND, J. Ground heat worldwide utilization of geothermal energy. **Renew Energy World** 8(4): 254-260. 2005.
38. MACHADO, C. B. Z.; **O tratamento de aspectos de conforto térmico em residências do período modernista em Curitiba.** Curitiba, 2008. Dissertação (Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Construção Civil) - Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná. 2008
39. MAZZAROTTO, A. C. E. K.; **Uso do sistema de fachadas duplas ventiladas em edifícios em Curitiba.** Curitiba, 2011. Dissertação (Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Construção Civil) - Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná. 2011

40. MENBERG, K.; BAYER, P.; ZOSEDER, K.; RUMOHR, S. BLUM, P. Subsurface urban heat island in German cities. **Science of the total environment** 442: 123-133. 2013.
41. MENDONÇA, F. O estudo do clima urbano no Brasil: evolução, tendências e alguns desafios. In: MONTEIRO, C. A. F.; MENDONÇA, F. (org.). **Clima urbano**. São Paulo: Contexto, 2003.
42. MIHALAKAKOU, G.; SANTAMOURIS, M.; ASIMAKOPOULUS, D. Modeling the earth temperature using multilayer measurements. **Energy and Buildings** 19: 1-9. 1992.
43. MIHALAKAKOU, G.; SANTAMOURIS, M.; ASIMAKOPOULUS, D. On the cooling potential of earth to air heat exchangers. **Energy Convers** 35: 395-402. 1994.
44. MIHALAKAKOU, G.; SANTAMOURIS, M.; LEWIS, J. O.; ASIMAKOPOULUS, D. On the application of energy balance equation to predict ground temperature profiles. **Solar Energy** 60: 181-190. 1997.
45. MME - Ministério das Minas e Energia. **Requisitos de avaliação da conformidade para o nível de eficiência energética de edifícios comerciais, de serviços e públicos**. Brasília, 2010.
46. NICOL, J. F.; HUMPHREYS, M. A. Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings. **Energy and Buildings** 34: 563-572, 2002.
47. NICOL, J. F. Adaptive thermal comfort standards in the hot-humid tropics. **Energy and Buildings** 36: 628-637. 2004.
48. OZGENER, O.; HEPBASLI, A. Modeling and performance evaluation of ground source (geothermal) heat pump systems. **Energy and Buildings** 39: 66-75. 2007.
49. OZGENER, L.; OZGENER, O. An experimental study of the exergetic performance of an underground air tunnel system for greenhouse cooling. **Renewable Energy** 35: 2804-2811. 2010.
50. OZGENER L. A review on the experimental and analytical analysis of earth to air heat exchanger (EAHE) systems in Turkey. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** 15: 4483-4490. 2011.
51. PAEPE, M.; JANSSENS, A. Thermo-hydraulic design of earth-air heat exchangers. **Energy and Buildings** 35: 389-397. 2003.
52. PERTSCHI, S. C. **Aspectos do campo térmico da área urbana de São José do Pinhais/PR: situação de verão**. Curitiba, 2005. Dissertação (Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Construção Civil) - Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná. 2005

53. POPIEL, C.; WOJTKOWIAK, J.; BIERNACKA, B. Measurements of temperature distribution in ground. **Experimental Thermal and Fluid Science** 25: 301–309. 2001.
54. ROAF, S.; CRICHTON, D.; NICOL, F. **A adaptação de edificações e cidades às mudanças climáticas**. Porto Alegre: Bookman, 2009.
55. ROAF, S.; FENTES, M.; THOMAS, S. **Ecohouse: a design guide**. Oxford: Architectural Press, 2001
56. ROBSON, C. **Real world research: a resource for social scientists and practioner-researchers**. 2.ed. Oxford, Blackwell: 2002.
57. RODRIGUEZ, U. A. L. **Simulação numérica de transferência simultânea de energia e umidade através do solo em um sistema trocador-armazenador de calor**. Porto Alegre, 2005. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2005.
58. RORIZ, M. Arquivos climáticos de municípios brasileiros. ANTAC - Associação Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído. São Carlos - SP. janeiro de 2012a.
59. RORIZ, M. **Uma proposta de revisão do zoneamento bioclimático brasileiro**. ANTAC - Associação Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído. São Carlos - SP. janeiro de 2012b.
60. RORIZ, M. **Segunda proposta de revisão do zoneamento bioclimático do Brasil**. ANTAC - Associação Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído. São Carlos - SP. dezembro de 2012c.
61. SANTAMOURIS, M.; SFAKIANAKI, A.; PAVLOU, K. On the efficiency of night ventilation techniques applied to residential buildings. **Energy and Buildings** 42: 1309-1313, 2010.
62. SCHMID, A. L. **Simulação de desempenho térmico em múltiplas zonas: Mestre, um sistema brasileiro na linguagem Java**. VI Encontro Nacional e III Encontro Latino-americano sobre Conforto no Ambiente Construído. São Pedro - SP: 11 a 14 de novembro de 2001.
63. SCHMID, A. L.; REIS, L. P. C. A. **Ventilação por dutos subterrâneos: da simulação computacional a um ábaco para dimensionamento**. IV Encontro Latino-americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis. Vitória, 2011.
64. TANIGUCHI, M.; UEMURA, T. Effects of urbanization and groundwater flow on the subsurface temperature in Osaka, Japan. **Physisc of the Earth and Planetary Interiors** 152: 305-313, 2005.
65. TANIGUCHI, M.; SHIMADA, J.; FUKUDA, Y.; YAMANO, M.; ONODERA, S.; KANEKO, S.; et al. Anthropogenic effects on the subsurface thermal and

- groundwater environments in Osaka, Japan and Bangkok, Thailand. **Science of the Total Environment** 407: 3153–3164, 2009.
66. THIERS, S.; PEUPOORTIER, B. Thermal and environmental assessment of a passive building equipped with an earth-to-air heat exchanger in France. **Solar Energy** 82: 820-831. 2008.
  67. TITTELEIN, P.; ACHARD, G.; WURTZ, E. Modelling earth-to-air heat exchanger behavior with the convolutive response factors method. **Applied Energy** 86: 1683-1691. 2009.
  68. TRILLAT-BERDAL, V.; SOUYRI, B.; ACHARD, G. Coupling of geothermal heat pumps with thermal solar collectors. **Applied Thermal Engineering** 27: 1750-1755, 2007.
  69. TZAFERIS, A.; LIPARAKIS, D.; SANTAMOURIS, M.; ARGIRIOU, A. Analysis of the accuracy and sensitivity of eight models to predict the performance of earth-to-air heat exchangers. **Energy and Buildings** 18: 35-43. 1992.
  70. USDOE - U. S. Department of Energy. **Energy Plus**. Disponível em: <<http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>> Acessado em 20/06/2013.
  71. VAZ, J. **Estudo experimental numérico sobre o uso do solo como reservatório de energia no aquecimento e resfriamento de ambientes edificadas no sul do Brasil**. Porto Alegre, 2011. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
  72. VILELA, M. M. **Estudo de método experimental para determinar a potencialidade do uso de energia geotérmica a baixa profundidade**. São Paulo, 2004. Tese (Doutorado em Energia) Universidade de São Paulo.
  73. WITTE, H. J. L.; GELDER, G. J.; SPITLER, J. D. In situ measurement of ground thermal conductivity: a Dutch perspective. **ASHRAE Transactions** 128: 263-272, 2002.
  74. YELLOTT, J. I. **Evaporative Cooling**, in COOK, J. (org.), **Passive Cooling**. Cambridge: the MIT Press, 1989.
  75. YILDIZ, A.; OZGENER, O.; OZGENER, L. Exergetic performance assessment of solar photovoltaic cell (PV) assisted earth to air heat exchanger (EAHE) system for solar greenhouse cooling. **Energy and Buildings** 43: 3154-3160. 2011.
  76. YIN, R. **Estudo de caso - planejamento e métodos**. 2ª ed. Porto Alegre, Bookman: 2001.

## **APÊNDICE**

**Mídia digital com as planilhas de cálculo**

## DADOS RESUMIDOS PARA Z01 - CURITIBA

|              | GRAUS-HORA NECESSÁRIOS |              | GRAUS-HORA ÚTEIS COM EVAPOTRANSPIRAÇÃO |              |               |              | GRAUS-HORA ÚTEIS A 0% DE ABSORÇÃO |              |                |              |
|--------------|------------------------|--------------|--|--------------|---------------|--------------|-----------------------------------|--------------|----------------|--------------|
|              |                        |              | 0,5m                                   |              | 4,0m          |              | 0,5m                              |              | 4,0m           |              |
|              | AQUECIMENTO            | RESFRIAMENTO | AQUECIMENTO                            | RESFRIAMENTO | AQUECIMENTO   | RESFRIAMENTO | AQUECIMENTO                       | RESFRIAMENTO | AQUECIMENTO    | RESFRIAMENTO |
| JAN          | 406,4                  | 25,9         | 406,4                                  | 25,9         | 6,0           | 25,9         | 406,4                             | 25,9         | 240,5          | 25,9         |
| FEV          | 149,1                  | 17,2         | 149,1                                  | 17,2         | 4,6           | 17,2         | 149,1                             | 17,2         | 77,1           | 17,2         |
| MAR          | 389                    | 12,5         | 389,0                                  | 12,5         | 18,7          | 12,5         | 389,0                             | 12,5         | 240,2          | 12,5         |
| ABR          | 1143,3                 | 4,5          | 1123,9                                 | 4,5          | 226,0         | 4,5          | 1143,3                            | 4,5          | 850,8          | 4,5          |
| MAI          | 2807,9                 | 0            | 1892,4                                 | 0,0          | 1285,0        | 0,0          | 2699,3                            | 0,0          | 2418,0         | 0,0          |
| JUN          | 3415,5                 | 0            | 1037,2                                 | 0,0          | 1776,2        | 0,0          | 1703,2                            | 0,0          | 2995,9         | 0,0          |
| JUL          | 2601,2                 | 0            | 168,8                                  | 0,0          | 1189,6        | 0,0          | 331,8                             | 0,0          | 2230,8         | 0,0          |
| AGO          | 2524,6                 | 5,3          | 17,6                                   | 5,3          | 997,3         | 5,3          | 35,4                              | 5,3          | 2126,7         | 5,3          |
| SET          | 2942,7                 | 26,3         | 72,4                                   | 26,3         | 1305,2        | 26,3         | 118,9                             | 26,3         | 2516,0         | 26,3         |
| OUT          | 1459,9                 | 60,8         | 12,2                                   | 60,8         | 387,9         | 60,8         | 46,7                              | 60,8         | 1143,3         | 60,8         |
| NOV          | 839,8                  | 2,4          | 39,8                                   | 2,4          | 102,1         | 2,4          | 337,6                             | 2,4          | 574,6          | 2,4          |
| DEZ          | 723,8                  | 99,1         | 416,8                                  | 99,1         | 92,8          | 99,1         | 723,8                             | 99,1         | 510,5          | 99,1         |
| <b>ANUAL</b> | <b>19403,2</b>         | <b>254</b>   | <b>5725,7</b>                          | <b>254,0</b> | <b>7391,4</b> | <b>254,0</b> | <b>8084,6</b>                     | <b>254,0</b> | <b>15924,5</b> | <b>254,0</b> |

|              | GRAUS-HORA ÚTEIS A 10% DE ABSORÇÃO |              |                |              | GRAUS-HORA ÚTEIS A 20% DE ABSORÇÃO |              |                |              |
|--------------|------------------------------------|--------------|----------------|--------------|------------------------------------|--------------|----------------|--------------|
|              | 0,5m                               |              | 4,0m           |              | 0,5m                               |              | 4,0m           |              |
|              | AQUECIMENTO                        | RESFRIAMENTO | AQUECIMENTO    | RESFRIAMENTO | AQUECIMENTO                        | RESFRIAMENTO | AQUECIMENTO    | RESFRIAMENTO |
| JAN          | 406,4                              | 25,9         | 240,6          | 25,9         | 406,4                              | 25,9         | 242,1          | 25,9         |
| FEV          | 149,1                              | 17,2         | 77,2           | 17,2         | 149,1                              | 17,2         | 77,7           | 17,2         |
| MAR          | 389,0                              | 12,5         | 240,3          | 12,5         | 389,0                              | 12,5         | 241,7          | 12,5         |
| ABR          | 1143,3                             | 4,5          | 850,9          | 4,5          | 1143,3                             | 4,5          | 853,9          | 4,5          |
| MAI          | 2699,2                             | 0,0          | 2418,0         | 0,0          | 2700,2                             | 0,0          | 2422,1         | 0,0          |
| JUN          | 1683,1                             | 0,0          | 2995,9         | 0,0          | 1686,3                             | 0,0          | 3000,3         | 0,0          |
| JUL          | 314,2                              | 0,0          | 2230,8         | 0,0          | 315,5                              | 0,0          | 2234,6         | 0,0          |
| AGO          | 30,6                               | 5,3          | 2126,6         | 5,3          | 30,8                               | 5,3          | 2130,7         | 5,3          |
| SET          | 109,6                              | 26,3         | 2515,9         | 26,3         | 110,1                              | 26,3         | 2520,4         | 26,3         |
| OUT          | 42,4                               | 60,8         | 1143,3         | 60,8         | 42,7                               | 60,8         | 1146,5         | 60,8         |
| NOV          | 335,3                              | 2,4          | 574,6          | 2,4          | 337,0                              | 2,4          | 577,1          | 2,4          |
| DEZ          | 723,8                              | 99,1         | 510,6          | 99,1         | 723,8                              | 99,1         | 512,6          | 99,1         |
| <b>ANUAL</b> | <b>8026,0</b>                      | <b>254,0</b> | <b>15924,7</b> | <b>254,0</b> | <b>8034,2</b>                      | <b>254,0</b> | <b>15959,7</b> | <b>254,0</b> |

|              | 0,5m                               |              | 4,0m           |              | 0,5m                               |              | 4,0m           |              |
|--------------|------------------------------------|--------------|----------------|--------------|------------------------------------|--------------|----------------|--------------|
|              | GRAUS-HORA ÚTEIS A 30% DE ABSORÇÃO |              |                |              | GRAUS-HORA ÚTEIS A 40% DE ABSORÇÃO |              |                |              |
|              | AQUECIMENTO                        | RESFRIAMENTO | AQUECIMENTO    | RESFRIAMENTO | AQUECIMENTO                        | RESFRIAMENTO | AQUECIMENTO    | RESFRIAMENTO |
| JAN          | 406,4                              | 25,9         | 290,9          | 25,9         | 406,4                              | 25,9         | 406,4          | 25,9         |
| FEV          | 149,1                              | 17,2         | 97,2           | 17,2         | 149,1                              | 17,2         | 149,1          | 17,2         |
| MAR          | 389,0                              | 12,5         | 285,1          | 12,5         | 389,0                              | 12,5         | 389,0          | 12,5         |
| ABR          | 1143,3                             | 4,5          | 945,8          | 4,5          | 1143,3                             | 4,5          | 1143,3         | 4,5          |
| MAI          | 2729,5                             | 0,0          | 2547,4         | 0,0          | 2787,9                             | 0,0          | 2807,9         | 0,0          |
| JUN          | 1786,5                             | 0,0          | 3135,0         | 0,0          | 2038,5                             | 0,0          | 3415,5         | 0,0          |
| JUL          | 354,0                              | 0,0          | 2352,0         | 0,0          | 434,2                              | 0,0          | 2601,2         | 0,0          |
| AGO          | 38,4                               | 5,3          | 2256,5         | 5,3          | 51,6                               | 5,3          | 2524,6         | 5,3          |
| SET          | 125,9                              | 26,3         | 2655,6         | 26,3         | 156,5                              | 26,3         | 2942,7         | 26,3         |
| OUT          | 53,1                               | 60,8         | 1244,3         | 60,8         | 77,9                               | 60,8         | 1459,9         | 60,8         |
| NOV          | 386,5                              | 2,4          | 656,1          | 2,4          | 510,4                              | 2,4          | 839,8          | 2,4          |
| DEZ          | 723,8                              | 99,1         | 578,0          | 99,1         | 723,8                              | 99,1         | 723,8          | 99,1         |
| <b>ANUAL</b> | <b>8285,4</b>                      | <b>254,0</b> | <b>17044,0</b> | <b>254,0</b> | <b>8868,5</b>                      | <b>254,0</b> | <b>19403,2</b> | <b>254,0</b> |

|              | 0,5m                               |              | 4,0m           |              | 0,5m                               |              | 4,0m           |              |
|--------------|------------------------------------|--------------|----------------|--------------|------------------------------------|--------------|----------------|--------------|
|              | GRAUS-HORA ÚTEIS A 50% DE ABSORÇÃO |              |                |              | GRAUS-HORA ÚTEIS A 60% DE ABSORÇÃO |              |                |              |
|              | AQUECIMENTO                        | RESFRIAMENTO | AQUECIMENTO    | RESFRIAMENTO | AQUECIMENTO                        | RESFRIAMENTO | AQUECIMENTO    | RESFRIAMENTO |
| JAN          | 406,4                              | 25,9         | 406,4          | 25,9         | 406,4                              | 18,1         | 406,4          | 25,9         |
| FEV          | 149,1                              | 3,7          | 149,1          | 17,2         | 149,1                              | 0,0          | 149,1          | 17,2         |
| MAR          | 389,0                              | 4,7          | 389,0          | 12,5         | 389,0                              | 0,0          | 389,0          | 12,5         |
| ABR          | 1143,3                             | 4,5          | 1143,3         | 4,5          | 1143,3                             | 3,5          | 1143,3         | 4,5          |
| MAI          | 2807,9                             | 0,0          | 2807,9         | 0,0          | 2807,9                             | 0,0          | 2807,9         | 0,0          |
| JUN          | 2284,1                             | 0,0          | 3415,5         | 0,0          | 2494,2                             | 0,0          | 3415,5         | 0,0          |
| JUL          | 452,3                              | 0,0          | 2601,2         | 0,0          | 464,5                              | 0,0          | 2601,2         | 0,0          |
| AGO          | 44,2                               | 5,3          | 2524,6         | 5,3          | 34,8                               | 5,3          | 2524,6         | 5,3          |
| SET          | 144,6                              | 26,3         | 2942,7         | 26,3         | 128,0                              | 26,3         | 2942,7         | 26,3         |
| OUT          | 93,1                               | 60,8         | 1459,9         | 60,8         | 111,6                              | 60,8         | 1459,9         | 60,8         |
| NOV          | 621,6                              | 2,4          | 839,8          | 2,4          | 689,2                              | 2,4          | 839,8          | 2,4          |
| DEZ          | 723,8                              | 99,1         | 723,8          | 99,1         | 723,8                              | 99,1         | 723,8          | 99,1         |
| <b>ANUAL</b> | <b>9259,3</b>                      | <b>232,7</b> | <b>19403,2</b> | <b>254,0</b> | <b>9541,9</b>                      | <b>215,5</b> | <b>19403,2</b> | <b>254,0</b> |

|              | 0,5m                               |              | 4,0m           |              | 0,5m                               |              | 4,0m           |              |
|--------------|------------------------------------|--------------|----------------|--------------|------------------------------------|--------------|----------------|--------------|
|              | GRAUS-HORA ÚTEIS A 70% DE ABSORÇÃO |              |                |              | GRAUS-HORA ÚTEIS A 80% DE ABSORÇÃO |              |                |              |
|              | AQUECIMENTO                        | RESFRIAMENTO | AQUECIMENTO    | RESFRIAMENTO | AQUECIMENTO                        | RESFRIAMENTO | AQUECIMENTO    | RESFRIAMENTO |
| JAN          | 406,4                              | 2,5          | 406,4          | 25,9         | 406,4                              | 0,0          | 406,4          | 25,9         |
| FEV          | 149,1                              | 0,0          | 149,1          | 17,2         | 149,1                              | 0,0          | 149,1          | 17,2         |
| MAR          | 389,0                              | 0,0          | 389,0          | 12,5         | 389,0                              | 0,0          | 389,0          | 12,5         |
| ABR          | 1143,3                             | 0,0          | 1143,3         | 4,5          | 1143,3                             | 0,0          | 1143,3         | 4,5          |
| MAI          | 2807,9                             | 0,0          | 2807,9         | 0,0          | 2807,9                             | 0,0          | 2807,9         | 0,0          |
| JUN          | 2685,9                             | 0,0          | 3415,5         | 0,0          | 2847,0                             | 0,0          | 3415,5         | 0,0          |
| JUL          | 484,1                              | 0,0          | 2601,2         | 0,0          | 508,8                              | 0,0          | 2601,2         | 0,0          |
| AGO          | 27,8                               | 5,3          | 2524,6         | 5,3          | 23,1                               | 5,3          | 2524,6         | 5,3          |
| SET          | 116,4                              | 26,3         | 2942,7         | 26,3         | 106,9                              | 26,3         | 2942,7         | 26,3         |
| OUT          | 138,5                              | 60,8         | 1459,9         | 60,8         | 174,5                              | 60,8         | 1459,9         | 60,8         |
| NOV          | 740,1                              | 2,4          | 839,8          | 2,4          | 778,2                              | 2,4          | 839,8          | 2,4          |
| DEZ          | 723,8                              | 98,0         | 723,8          | 99,1         | 723,8                              | 77,6         | 723,8          | 99,1         |
| <b>ANUAL</b> | <b>9812,3</b>                      | <b>195,3</b> | <b>19403,2</b> | <b>254,0</b> | <b>10058,0</b>                     | <b>172,4</b> | <b>19403,2</b> | <b>254,0</b> |

|              | 0,5m                               |              | 4,0m           |              | 0,5m                                |              | 4,0m           |              |
|--------------|------------------------------------|--------------|----------------|--------------|-------------------------------------|--------------|----------------|--------------|
|              | GRAUS-HORA ÚTEIS A 90% DE ABSORÇÃO |              |                |              | GRAUS-HORA ÚTEIS A 100% DE ABSORÇÃO |              |                |              |
|              | AQUECIMENTO                        | RESFRIAMENTO | AQUECIMENTO    | RESFRIAMENTO | AQUECIMENTO                         | RESFRIAMENTO | AQUECIMENTO    | RESFRIAMENTO |
| JAN          | 406,4                              | 0,0          | 406,4          | 25,9         | 406,4                               | 0,0          | 406,4          | 25,9         |
| FEV          | 149,1                              | 0,0          | 149,1          | 17,2         | 149,1                               | 0,0          | 149,1          | 17,2         |
| MAR          | 389,0                              | 0,0          | 389,0          | 12,5         | 389,0                               | 0,0          | 389,0          | 12,5         |
| ABR          | 1143,3                             | 0,0          | 1143,3         | 4,5          | 1143,3                              | 0,0          | 1143,3         | 4,5          |
| MAI          | 2807,9                             | 0,0          | 2807,9         | 0,0          | 2807,9                              | 0,0          | 2807,9         | 0,0          |
| JUN          | 2977,8                             | 0,0          | 3415,5         | 0,0          | 3080,8                              | 0,0          | 3415,5         | 0,0          |
| JUL          | 534,8                              | 0,0          | 2601,2         | 0,0          | 563,4                               | 0,0          | 2601,2         | 0,0          |
| AGO          | 19,1                               | 5,3          | 2524,6         | 5,3          | 15,5                                | 5,3          | 2524,6         | 5,3          |
| SET          | 98,1                               | 26,3         | 2942,7         | 26,3         | 89,9                                | 26,3         | 2942,7         | 26,3         |
| OUT          | 216,0                              | 60,8         | 1459,9         | 60,8         | 263,6                               | 60,8         | 1459,9         | 60,8         |
| NOV          | 807,0                              | 2,4          | 839,8          | 2,4          | 831,6                               | 2,4          | 839,8          | 2,4          |
| DEZ          | 723,8                              | 55,3         | 723,8          | 99,1         | 723,8                               | 45,1         | 723,8          | 99,1         |
| <b>ANUAL</b> | <b>10272,2</b>                     | <b>150,1</b> | <b>19403,2</b> | <b>254,0</b> | <b>10464,3</b>                      | <b>139,9</b> | <b>19403,2</b> | <b>254,0</b> |

## DADOS RESUMIDOS PARA Z02 - SANTA MARIA

|              | 0,5m                   |               | 4,0m                                   |               | 0,5m           |               | 4,0m                              |               |                |               |
|--------------|------------------------|---------------|--|---------------|----------------|---------------|-----------------------------------|---------------|----------------|---------------|
|              | GRAUS-HORA NECESSÁRIOS |               | GRAUS-HORA ÚTEIS COM EVAPOTRANSPIRAÇÃO |               |                |               | GRAUS-HORA ÚTEIS A 0% DE ABSORÇÃO |               |                |               |
|              | AQUECIMENTO            | RESFRIAMENTO  | AQUECIMENTO                            | RESFRIAMENTO  | AQUECIMENTO    | RESFRIAMENTO  | AQUECIMENTO                       | RESFRIAMENTO  | AQUECIMENTO    | RESFRIAMENTO  |
| JAN          | 22,7                   | 713,2         | 22,7                                   | 713,2         | 6,0            | 713,2         | 22,7                              | 667,3         | 22,7           | 713,2         |
| FEV          | 83,4                   | 672,7         | 83,4                                   | 672,7         | 19,0           | 672,7         | 83,4                              | 430,6         | 83,4           | 672,7         |
| MAR          | 221,7                  | 171,9         | 221,7                                  | 171,9         | 89,7           | 171,9         | 221,7                             | 87,5          | 221,7          | 171,9         |
| ABR          | 1121,7                 | 43,6          | 1121,7                                 | 43,6          | 679,0          | 43,6          | 1121,7                            | 43,6          | 1121,7         | 43,6          |
| MAI          | 2253,2                 | 30,5          | 1945,0                                 | 30,5          | 1543,7         | 30,5          | 2253,2                            | 30,5          | 2253,2         | 30,5          |
| JUN          | 2149,3                 | 1,3           | 496,8                                  | 1,3           | 1209,5         | 1,3           | 1146,9                            | 1,3           | 2149,3         | 1,3           |
| JUL          | 3864,8                 | 17,1          | 767,4                                  | 17,1          | 2814,4         | 17,1          | 1003,0                            | 17,1          | 3864,8         | 17,1          |
| AGO          | 4109,7                 | 66,3          | 455,5                                  | 66,3          | 3080,7         | 66,3          | 554,6                             | 66,3          | 4109,7         | 66,3          |
| SET          | 2572,9                 | 102,1         | 174,6                                  | 102,1         | 1803,4         | 102,1         | 231,0                             | 102,1         | 2572,9         | 102,1         |
| OUT          | 911,9                  | 276,1         | 48,6                                   | 276,1         | 508,2          | 276,1         | 115,6                             | 276,1         | 911,9          | 276,1         |
| NOV          | 548,1                  | 352,2         | 119,1                                  | 352,2         | 296,2          | 352,2         | 300,4                             | 352,2         | 548,1          | 352,2         |
| DEZ          | 399,9                  | 117,9         | 374,1                                  | 117,9         | 182,6          | 117,9         | 399,9                             | 117,9         | 399,9          | 117,9         |
| <b>ANUAL</b> | <b>18259,3</b>         | <b>2564,9</b> | <b>5830,5</b>                          | <b>2564,9</b> | <b>12232,4</b> | <b>2564,9</b> | <b>7454,1</b>                     | <b>2192,6</b> | <b>18259,3</b> | <b>2564,9</b> |

|              | 0,5m                               |               | 4,0m           |               | 0,5m                               |               | 4,0m           |               |
|--------------|------------------------------------|---------------|----------------|---------------|------------------------------------|---------------|----------------|---------------|
|              | GRAUS-HORA ÚTEIS A 10% DE ABSORÇÃO |               |                |               | GRAUS-HORA ÚTEIS A 20% DE ABSORÇÃO |               |                |               |
|              | AQUECIMENTO                        | RESFRIAMENTO  | AQUECIMENTO    | RESFRIAMENTO  | AQUECIMENTO                        | RESFRIAMENTO  | AQUECIMENTO    | RESFRIAMENTO  |
| JAN          | 22,7                               | 667,3         | 22,7           | 713,2         | 22,7                               | 666,7         | 22,7           | 713,2         |
| FEV          | 83,4                               | 430,6         | 83,4           | 672,7         | 83,4                               | 429,3         | 83,4           | 672,7         |
| MAR          | 221,7                              | 87,5          | 221,7          | 171,9         | 221,7                              | 87,0          | 221,7          | 171,9         |
| ABR          | 1121,7                             | 43,6          | 1121,7         | 43,6          | 1121,7                             | 43,6          | 1121,7         | 43,6          |
| MAI          | 2253,2                             | 30,5          | 2253,2         | 30,5          | 2253,2                             | 30,5          | 2253,2         | 30,5          |
| JUN          | 1147,0                             | 1,3           | 2149,3         | 1,3           | 1150,2                             | 1,3           | 2149,3         | 1,3           |
| JUL          | 1003,0                             | 17,1          | 3864,8         | 17,1          | 1005,1                             | 17,1          | 3864,8         | 17,1          |
| AGO          | 554,6                              | 66,3          | 4109,7         | 66,3          | 556,4                              | 66,3          | 4109,7         | 66,3          |
| SET          | 231,0                              | 102,1         | 2572,9         | 102,1         | 232,0                              | 102,1         | 2572,9         | 102,1         |
| OUT          | 115,6                              | 276,1         | 911,9          | 276,1         | 116,2                              | 276,1         | 911,9          | 276,1         |
| NOV          | 300,4                              | 352,2         | 548,1          | 352,2         | 301,2                              | 352,2         | 548,1          | 352,2         |
| DEZ          | 399,9                              | 117,9         | 399,9          | 117,9         | 399,9                              | 117,9         | 399,9          | 117,9         |
| <b>ANUAL</b> | <b>7454,2</b>                      | <b>2192,5</b> | <b>18259,3</b> | <b>2564,9</b> | <b>7463,5</b>                      | <b>2190,0</b> | <b>18259,3</b> | <b>2564,9</b> |

|              | 0,5m                               |               | 4,0m           |               | 0,5m                               |               | 4,0m           |               |
|--------------|------------------------------------|---------------|----------------|---------------|------------------------------------|---------------|----------------|---------------|
|              | GRAUS-HORA ÚTEIS A 30% DE ABSORÇÃO |               |                |               | GRAUS-HORA ÚTEIS A 40% DE ABSORÇÃO |               |                |               |
|              | AQUECIMENTO                        | RESFRIAMENTO  | AQUECIMENTO    | RESFRIAMENTO  | AQUECIMENTO                        | RESFRIAMENTO  | AQUECIMENTO    | RESFRIAMENTO  |
| JAN          | 22,7                               | 653,7         | 22,7           | 713,2         | 22,7                               | 596,1         | 22,7           | 713,2         |
| FEV          | 83,4                               | 407,6         | 83,4           | 672,7         | 83,4                               | 339,0         | 83,4           | 672,7         |
| MAR          | 221,7                              | 78,6          | 221,7          | 171,9         | 221,7                              | 53,6          | 221,7          | 171,9         |
| ABR          | 1121,7                             | 43,6          | 1121,7         | 43,6          | 1121,7                             | 43,6          | 1121,7         | 43,6          |
| MAI          | 2253,2                             | 30,5          | 2253,2         | 30,5          | 2253,2                             | 30,5          | 2253,2         | 30,5          |
| JUN          | 1207,4                             | 1,3           | 2149,3         | 1,3           | 1389,7                             | 1,3           | 2149,3         | 1,3           |
| JUL          | 1042,9                             | 17,1          | 3864,8         | 17,1          | 1172,5                             | 17,1          | 3864,8         | 17,1          |
| AGO          | 588,2                              | 66,3          | 4109,7         | 66,3          | 696,4                              | 66,3          | 4109,7         | 66,3          |
| SET          | 250,5                              | 102,1         | 2572,9         | 102,1         | 311,5                              | 102,1         | 2572,9         | 102,1         |
| OUT          | 126,6                              | 276,1         | 911,9          | 276,1         | 163,9                              | 276,1         | 911,9          | 276,1         |
| NOV          | 315,9                              | 352,2         | 548,1          | 352,2         | 367,2                              | 352,2         | 548,1          | 352,2         |
| DEZ          | 399,9                              | 117,9         | 399,9          | 117,9         | 399,9                              | 117,9         | 399,9          | 117,9         |
| <b>ANUAL</b> | <b>7634,1</b>                      | <b>2147,0</b> | <b>18259,3</b> | <b>2564,9</b> | <b>8203,8</b>                      | <b>1995,8</b> | <b>18259,3</b> | <b>2564,9</b> |

|              | 0,5m                               |               | 4,0m           |               | 0,5m                               |               | 4,0m           |               |
|--------------|------------------------------------|---------------|----------------|---------------|------------------------------------|---------------|----------------|---------------|
|              | GRAUS-HORA ÚTEIS A 50% DE ABSORÇÃO |               |                |               | GRAUS-HORA ÚTEIS A 60% DE ABSORÇÃO |               |                |               |
|              | AQUECIMENTO                        | RESFRIAMENTO  | AQUECIMENTO    | RESFRIAMENTO  | AQUECIMENTO                        | RESFRIAMENTO  | AQUECIMENTO    | RESFRIAMENTO  |
| JAN          | 22,7                               | 435,5         | 22,7           | 713,2         | 22,7                               | 211,4         | 22,7           | 713,2         |
| FEV          | 83,4                               | 216,7         | 83,4           | 672,7         | 83,4                               | 91,9          | 83,4           | 672,7         |
| MAR          | 221,7                              | 20,4          | 221,7          | 171,9         | 221,7                              | 5,2           | 221,7          | 171,9         |
| ABR          | 1121,7                             | 43,0          | 1121,7         | 43,6          | 1121,7                             | 32,1          | 1121,7         | 43,6          |
| MAI          | 2253,2                             | 30,5          | 2253,2         | 30,5          | 2253,2                             | 30,5          | 2253,2         | 30,5          |
| JUN          | 1579,9                             | 1,3           | 2149,3         | 1,3           | 1705,9                             | 1,3           | 2149,3         | 1,3           |
| JUL          | 1286,8                             | 17,1          | 3864,8         | 17,1          | 1330,6                             | 17,1          | 3864,8         | 17,1          |
| AGO          | 762,0                              | 66,3          | 4109,7         | 66,3          | 734,8                              | 66,3          | 4109,7         | 66,3          |
| SET          | 351,6                              | 102,1         | 2572,9         | 102,1         | 340,8                              | 102,1         | 2572,9         | 102,1         |
| OUT          | 202,0                              | 276,1         | 911,9          | 276,1         | 225,5                              | 276,1         | 911,9          | 276,1         |
| NOV          | 422,6                              | 352,2         | 548,1          | 352,2         | 465,1                              | 352,2         | 548,1          | 352,2         |
| DEZ          | 399,9                              | 117,9         | 399,9          | 117,9         | 399,9                              | 111,4         | 399,9          | 117,9         |
| <b>ANUAL</b> | <b>8707,5</b>                      | <b>1679,1</b> | <b>18259,3</b> | <b>2564,9</b> | <b>8905,3</b>                      | <b>1297,7</b> | <b>18259,3</b> | <b>2564,9</b> |

|              | 0,5m                               |               | 4,0m           |               | 0,5m                               |              | 4,0m           |               |
|--------------|------------------------------------|---------------|----------------|---------------|------------------------------------|--------------|----------------|---------------|
|              | GRAUS-HORA ÚTEIS A 70% DE ABSORÇÃO |               |                |               | GRAUS-HORA ÚTEIS A 80% DE ABSORÇÃO |              |                |               |
|              | AQUECIMENTO                        | RESFRIAMENTO  | AQUECIMENTO    | RESFRIAMENTO  | AQUECIMENTO                        | RESFRIAMENTO | AQUECIMENTO    | RESFRIAMENTO  |
| JAN          | 22,7                               | 70,1          | 22,7           | 713,2         | 22,7                               | 10,6         | 22,7           | 713,2         |
| FEV          | 83,4                               | 20,5          | 83,4           | 672,7         | 83,4                               | 0,3          | 83,4           | 672,7         |
| MAR          | 221,7                              | 0,3           | 221,7          | 171,9         | 221,7                              | 0,0          | 221,7          | 171,9         |
| ABR          | 1121,7                             | 7,5           | 1121,7         | 43,6          | 1121,7                             | 0,0          | 1121,7         | 43,6          |
| MAI          | 2253,2                             | 30,5          | 2253,2         | 30,5          | 2253,2                             | 30,5         | 2253,2         | 30,5          |
| JUN          | 1793,1                             | 1,3           | 2149,3         | 1,3           | 1870,3                             | 1,3          | 2149,3         | 1,3           |
| JUL          | 1349,6                             | 17,1          | 3864,8         | 17,1          | 1376,8                             | 17,1         | 3864,8         | 17,1          |
| AGO          | 676,3                              | 66,3          | 4109,7         | 66,3          | 626,1                              | 66,3         | 4109,7         | 66,3          |
| SET          | 311,9                              | 102,1         | 2572,9         | 102,1         | 286,8                              | 102,1        | 2572,9         | 102,1         |
| OUT          | 244,7                              | 276,1         | 911,9          | 276,1         | 268,9                              | 276,1        | 911,9          | 276,1         |
| NOV          | 502,7                              | 352,2         | 548,1          | 352,2         | 531,1                              | 352,2        | 548,1          | 352,2         |
| DEZ          | 399,9                              | 77,5          | 399,9          | 117,9         | 399,9                              | 44,1         | 399,9          | 117,9         |
| <b>ANUAL</b> | <b>8980,8</b>                      | <b>1021,5</b> | <b>18259,3</b> | <b>2564,9</b> | <b>9062,6</b>                      | <b>900,6</b> | <b>18259,3</b> | <b>2564,9</b> |

|              | 0,5m                               |              | 4,0m           |               | 0,5m                                |              | 4,0m           |               |
|--------------|------------------------------------|--------------|----------------|---------------|-------------------------------------|--------------|----------------|---------------|
|              | GRAUS-HORA ÚTEIS A 90% DE ABSORÇÃO |              |                |               | GRAUS-HORA ÚTEIS A 100% DE ABSORÇÃO |              |                |               |
|              | AQUECIMENTO                        | RESFRIAMENTO | AQUECIMENTO    | RESFRIAMENTO  | AQUECIMENTO                         | RESFRIAMENTO | AQUECIMENTO    | RESFRIAMENTO  |
| JAN          | 22,7                               | 0,5          | 22,7           | 713,2         | 22,7                                | 0,0          | 22,7           | 713,2         |
| FEV          | 83,4                               | 0,0          | 83,4           | 672,7         | 83,4                                | 0,0          | 83,4           | 672,7         |
| MAR          | 221,7                              | 0,0          | 221,7          | 171,9         | 221,7                               | 0,0          | 221,7          | 171,9         |
| ABR          | 1121,7                             | 0,0          | 1121,7         | 43,6          | 1121,7                              | 0,0          | 1121,7         | 43,6          |
| MAI          | 2253,2                             | 30,5         | 2253,2         | 30,5          | 2253,2                              | 21,4         | 2253,2         | 30,5          |
| JUN          | 1933,9                             | 1,3          | 2149,3         | 1,3           | 1984,6                              | 1,3          | 2149,3         | 1,3           |
| JUL          | 1410,6                             | 17,1         | 3864,8         | 17,1          | 1450,5                              | 17,1         | 3864,8         | 17,1          |
| AGO          | 582,2                              | 66,3         | 4109,7         | 66,3          | 543,7                               | 66,3         | 4109,7         | 66,3          |
| SET          | 265,1                              | 102,1        | 2572,9         | 102,1         | 246,3                               | 102,1        | 2572,9         | 102,1         |
| OUT          | 295,9                              | 276,1        | 911,9          | 276,1         | 324,8                               | 276,1        | 911,9          | 276,1         |
| NOV          | 546,7                              | 352,2        | 548,1          | 352,2         | 548,1                               | 352,2        | 548,1          | 352,2         |
| DEZ          | 399,9                              | 27,3         | 399,9          | 117,9         | 399,9                               | 13,2         | 399,9          | 117,9         |
| <b>ANUAL</b> | <b>9136,9</b>                      | <b>873,4</b> | <b>18259,3</b> | <b>2564,9</b> | <b>9200,5</b>                       | <b>849,7</b> | <b>18259,3</b> | <b>2564,9</b> |

## DADOS RESUMIDOS PARA Z03 - BELO HORIZONTE

|              | GRAUS-HORA NECESSÁRIOS |              | 0,5m                                   |               | 4,0m          |               | 0,5m                              |               | 4,0m          |               |
|--------------|------------------------|--------------|--|---------------|---------------|---------------|-----------------------------------|---------------|---------------|---------------|
|              | AQUECIMENTO            | RESFRIAMENTO | AQUECIMENTO                            | RESFRIAMENTO  | AQUECIMENTO   | RESFRIAMENTO  | AQUECIMENTO                       | RESFRIAMENTO  | AQUECIMENTO   | RESFRIAMENTO  |
|              |                        |              | GRAUS-HORA ÚTEIS COM EVAPOTRANSPIRAÇÃO |               |               |               | GRAUS-HORA ÚTEIS A 0% DE ABSORÇÃO |               |               |               |
| JAN          | 3,3                    | 126,1        | 3,3                                    | 126,1         | 3,1           | 126,1         | 3,3                               | 117,2         | 3,3           | 126,1         |
| FEV          | 2                      | 70           | 2,0                                    | 70,0          | 1,9           | 70,0          | 2,0                               | 30,2          | 2,0           | 70,0          |
| MAR          | 0                      | 218,8        | 0,0                                    | 218,8         | 0,0           | 218,8         | 0,0                               | 147,9         | 0,0           | 218,8         |
| ABR          | 32                     | 82           | 32,0                                   | 82,0          | 31,1          | 82,0          | 32,0                              | 82,0          | 32,0          | 82,0          |
| MAI          | 568,1                  | 11,2         | 554,9                                  | 11,2          | 561,2         | 11,2          | 568,1                             | 11,2          | 568,1         | 11,2          |
| JUN          | 674,8                  | 3,6          | 330,5                                  | 3,6           | 666,6         | 3,6           | 674,8                             | 3,6           | 674,8         | 3,6           |
| JUL          | 712,5                  | 10,1         | 120,3                                  | 10,1          | 703,7         | 10,1          | 476,2                             | 10,1          | 712,5         | 10,1          |
| AGO          | 541,4                  | 75           | 17,8                                   | 75,0          | 532,8         | 75,0          | 126,9                             | 75,0          | 541,4         | 75,0          |
| SET          | 163,7                  | 210,2        | 0,0                                    | 210,2         | 158,9         | 210,2         | 8,4                               | 210,2         | 163,7         | 210,2         |
| OUT          | 15,3                   | 137,3        | 0,0                                    | 137,3         | 14,4          | 137,3         | 6,3                               | 137,3         | 15,3          | 137,3         |
| NOV          | 0,5                    | 283,9        | 0,0                                    | 283,9         | 0,4           | 283,9         | 0,5                               | 283,9         | 0,5           | 283,9         |
| DEZ          | 13,3                   | 74,8         | 13,3                                   | 74,8          | 12,7          | 74,8          | 13,3                              | 74,8          | 13,3          | 74,8          |
| <b>ANUAL</b> | <b>2726,9</b>          | <b>1303</b>  | <b>1074,1</b>                          | <b>1303,0</b> | <b>2686,9</b> | <b>1303,0</b> | <b>1911,7</b>                     | <b>1183,3</b> | <b>2726,9</b> | <b>1303,0</b> |

|              | 0,5m                               |               | 4,0m          |               | 0,5m                               |               | 4,0m          |               |
|--------------|------------------------------------|---------------|---------------|---------------|------------------------------------|---------------|---------------|---------------|
|              | AQUECIMENTO                        | RESFRIAMENTO  | AQUECIMENTO   | RESFRIAMENTO  | AQUECIMENTO                        | RESFRIAMENTO  | AQUECIMENTO   | RESFRIAMENTO  |
|              | GRAUS-HORA ÚTEIS A 10% DE ABSORÇÃO |               |               |               | GRAUS-HORA ÚTEIS A 20% DE ABSORÇÃO |               |               |               |
| JAN          | 3,3                                | 117,2         | 3,3           | 126,1         | 3,3                                | 117,2         | 3,3           | 126,1         |
| FEV          | 2,0                                | 30,2          | 2,0           | 70,0          | 2,0                                | 30,2          | 2,0           | 70,0          |
| MAR          | 0,0                                | 147,9         | 0,0           | 218,8         | 0,0                                | 147,9         | 0,0           | 218,8         |
| ABR          | 32,0                               | 82,0          | 32,0          | 82,0          | 32,0                               | 82,0          | 32,0          | 82,0          |
| MAI          | 568,1                              | 11,2          | 568,1         | 11,2          | 568,1                              | 11,2          | 568,1         | 11,2          |
| JUN          | 674,8                              | 3,6           | 674,8         | 3,6           | 674,8                              | 3,6           | 674,8         | 3,6           |
| JUL          | 476,2                              | 10,1          | 712,5         | 10,1          | 476,2                              | 10,1          | 712,5         | 10,1          |
| AGO          | 126,9                              | 75,0          | 541,4         | 75,0          | 126,9                              | 75,0          | 541,4         | 75,0          |
| SET          | 8,4                                | 210,2         | 163,7         | 210,2         | 8,4                                | 210,2         | 163,7         | 210,2         |
| OUT          | 6,3                                | 137,3         | 15,3          | 137,3         | 6,3                                | 137,3         | 15,3          | 137,3         |
| NOV          | 0,5                                | 283,9         | 0,5           | 283,9         | 0,5                                | 283,9         | 0,5           | 283,9         |
| DEZ          | 13,3                               | 74,8          | 13,3          | 74,8          | 13,3                               | 74,8          | 13,3          | 74,8          |
| <b>ANUAL</b> | <b>1911,7</b>                      | <b>1183,3</b> | <b>2726,9</b> | <b>1303,0</b> | <b>1911,7</b>                      | <b>1183,3</b> | <b>2726,9</b> | <b>1303,0</b> |

|              | 0,5m                               |               | 4,0m          |               | 0,5m                               |               | 4,0m          |               |
|--------------|------------------------------------|---------------|---------------|---------------|------------------------------------|---------------|---------------|---------------|
|              | GRAUS-HORA ÚTEIS A 30% DE ABSORÇÃO |               |               |               | GRAUS-HORA ÚTEIS A 40% DE ABSORÇÃO |               |               |               |
|              | AQUECIMENTO                        | RESFRIAMENTO  | AQUECIMENTO   | RESFRIAMENTO  | AQUECIMENTO                        | RESFRIAMENTO  | AQUECIMENTO   | RESFRIAMENTO  |
| JAN          | 3,3                                | 116,3         | 3,3           | 126,1         | 3,3                                | 94,9          | 3,3           | 126,1         |
| FEV          | 2,0                                | 28,9          | 2,0           | 70,0          | 2,0                                | 12,4          | 2,0           | 70,0          |
| MAR          | 0,0                                | 142,9         | 0,0           | 218,8         | 0,0                                | 73,4          | 0,0           | 218,8         |
| ABR          | 32,0                               | 82,0          | 32,0          | 82,0          | 32,0                               | 65,8          | 32,0          | 82,0          |
| MAI          | 568,1                              | 11,2          | 568,1         | 11,2          | 568,1                              | 11,2          | 568,1         | 11,2          |
| JUN          | 674,8                              | 3,6           | 674,8         | 3,6           | 674,8                              | 3,6           | 674,8         | 3,6           |
| JUL          | 485,0                              | 10,1          | 712,5         | 10,1          | 527,4                              | 10,1          | 712,5         | 10,1          |
| AGO          | 131,8                              | 75,0          | 541,4         | 75,0          | 152,0                              | 75,0          | 541,4         | 75,0          |
| SET          | 9,2                                | 210,2         | 163,7         | 210,2         | 13,3                               | 210,2         | 163,7         | 210,2         |
| OUT          | 6,5                                | 137,3         | 15,3          | 137,3         | 8,0                                | 137,3         | 15,3          | 137,3         |
| NOV          | 0,5                                | 283,9         | 0,5           | 283,9         | 0,5                                | 283,9         | 0,5           | 283,9         |
| DEZ          | 13,3                               | 74,8          | 13,3          | 74,8          | 13,3                               | 74,8          | 13,3          | 74,8          |
| <b>ANUAL</b> | <b>1926,4</b>                      | <b>1176,2</b> | <b>2726,9</b> | <b>1303,0</b> | <b>1994,7</b>                      | <b>1052,6</b> | <b>2726,9</b> | <b>1303,0</b> |

|              | 0,5m                               |              | 4,0m          |               | 0,5m                               |              | 4,0m          |               |
|--------------|------------------------------------|--------------|---------------|---------------|------------------------------------|--------------|---------------|---------------|
|              | GRAUS-HORA ÚTEIS A 50% DE ABSORÇÃO |              |               |               | GRAUS-HORA ÚTEIS A 60% DE ABSORÇÃO |              |               |               |
|              | AQUECIMENTO                        | RESFRIAMENTO | AQUECIMENTO   | RESFRIAMENTO  | AQUECIMENTO                        | RESFRIAMENTO | AQUECIMENTO   | RESFRIAMENTO  |
| JAN          | 3,3                                | 23,9         | 3,3           | 126,1         | 3,3                                | 0,2          | 3,3           | 126,1         |
| FEV          | 2,0                                | 0,2          | 2,0           | 70,0          | 2,0                                | 0,0          | 2,0           | 70,0          |
| MAR          | 0,0                                | 4,1          | 0,0           | 218,8         | 0,0                                | 0,0          | 0,0           | 218,8         |
| ABR          | 32,0                               | 21,1         | 32,0          | 82,0          | 32,0                               | 0,3          | 32,0          | 82,0          |
| MAI          | 568,1                              | 11,2         | 568,1         | 11,2          | 568,1                              | 10,8         | 568,1         | 11,2          |
| JUN          | 674,8                              | 3,6          | 674,8         | 3,6           | 674,8                              | 3,6          | 674,8         | 3,6           |
| JUL          | 525,1                              | 10,1         | 712,5         | 10,1          | 506,8                              | 10,1         | 712,5         | 10,1          |
| AGO          | 130,6                              | 75,0         | 541,4         | 75,0          | 99,3                               | 75,0         | 541,4         | 75,0          |
| SET          | 10,1                               | 210,2        | 163,7         | 210,2         | 6,0                                | 210,2        | 163,7         | 210,2         |
| OUT          | 8,7                                | 137,3        | 15,3          | 137,3         | 8,5                                | 137,3        | 15,3          | 137,3         |
| NOV          | 0,5                                | 283,9        | 0,5           | 283,9         | 0,5                                | 283,9        | 0,5           | 283,9         |
| DEZ          | 13,3                               | 74,8         | 13,3          | 74,8          | 13,3                               | 60,6         | 13,3          | 74,8          |
| <b>ANUAL</b> | <b>1968,5</b>                      | <b>855,3</b> | <b>2726,9</b> | <b>1303,0</b> | <b>1914,6</b>                      | <b>792,1</b> | <b>2726,9</b> | <b>1303,0</b> |

|              | 0,5m                               |              | 4,0m          |               | 0,5m                               |              | 4,0m          |               |
|--------------|------------------------------------|--------------|---------------|---------------|------------------------------------|--------------|---------------|---------------|
|              | GRAUS-HORA ÚTEIS A 70% DE ABSORÇÃO |              |               |               | GRAUS-HORA ÚTEIS A 80% DE ABSORÇÃO |              |               |               |
|              | AQUECIMENTO                        | RESFRIAMENTO | AQUECIMENTO   | RESFRIAMENTO  | AQUECIMENTO                        | RESFRIAMENTO | AQUECIMENTO   | RESFRIAMENTO  |
| JAN          | 3,3                                | 0,0          | 3,3           | 126,1         | 3,3                                | 0,0          | 3,3           | 126,1         |
| FEV          | 2,0                                | 0,0          | 2,0           | 70,0          | 2,0                                | 0,0          | 2,0           | 70,0          |
| MAR          | 0,0                                | 0,0          | 0,0           | 218,8         | 0,0                                | 0,0          | 0,0           | 218,8         |
| ABR          | 32,0                               | 0,0          | 32,0          | 82,0          | 32,0                               | 0,0          | 32,0          | 82,0          |
| MAI          | 568,1                              | 5,4          | 568,1         | 11,2          | 568,1                              | 0,7          | 568,1         | 11,2          |
| JUN          | 674,8                              | 3,6          | 674,8         | 3,6           | 674,8                              | 3,6          | 674,8         | 3,6           |
| JUL          | 496,3                              | 10,1         | 712,5         | 10,1          | 490,6                              | 10,1         | 712,5         | 10,1          |
| AGO          | 79,1                               | 75,0         | 541,4         | 75,0          | 64,2                               | 75,0         | 541,4         | 75,0          |
| SET          | 3,9                                | 210,2        | 163,7         | 210,2         | 2,8                                | 210,2        | 163,7         | 210,2         |
| OUT          | 9,0                                | 137,3        | 15,3          | 137,3         | 9,7                                | 137,3        | 15,3          | 137,3         |
| NOV          | 0,5                                | 283,9        | 0,5           | 283,9         | 0,5                                | 283,9        | 0,5           | 283,9         |
| DEZ          | 13,3                               | 26,8         | 13,3          | 74,8          | 13,3                               | 6,2          | 13,3          | 74,8          |
| <b>ANUAL</b> | <b>1882,3</b>                      | <b>752,3</b> | <b>2726,9</b> | <b>1303,0</b> | <b>1861,3</b>                      | <b>727,0</b> | <b>2726,9</b> | <b>1303,0</b> |

|              | 0,5m                               |              | 4,0m          |               | 0,5m                                |              | 4,0m          |              |
|--------------|------------------------------------|--------------|---------------|---------------|-------------------------------------|--------------|---------------|--------------|
|              | GRAUS-HORA ÚTEIS A 90% DE ABSORÇÃO |              |               |               | GRAUS-HORA ÚTEIS A 100% DE ABSORÇÃO |              |               |              |
|              | AQUECIMENTO                        | RESFRIAMENTO | AQUECIMENTO   | RESFRIAMENTO  | AQUECIMENTO                         | RESFRIAMENTO | AQUECIMENTO   | RESFRIAMENTO |
| JAN          | 3,3                                | 0,0          | 3,3           | 126,1         | 3,3                                 | 0,0          | 3,3           | 63,3         |
| FEV          | 2,0                                | 0,0          | 2,0           | 70,0          | 2,0                                 | 0,0          | 2,0           | 33,0         |
| MAR          | 0,0                                | 0,0          | 0,0           | 218,8         | 0,0                                 | 0,0          | 0,0           | 115,3        |
| ABR          | 32,0                               | 0,0          | 32,0          | 82,0          | 32,0                                | 0,0          | 32,0          | 40,7         |
| MAI          | 568,1                              | 0,0          | 568,1         | 11,2          | 568,1                               | 0,0          | 568,1         | 2,9          |
| JUN          | 674,8                              | 3,6          | 674,8         | 3,6           | 674,8                               | 3,6          | 674,8         | 1,0          |
| JUL          | 487,5                              | 10,1         | 712,5         | 10,1          | 485,4                               | 10,1         | 712,5         | 3,9          |
| AGO          | 53,0                               | 75,0         | 541,4         | 75,0          | 43,7                                | 75,0         | 541,4         | 52,0         |
| SET          | 2,3                                | 210,2        | 163,7         | 210,2         | 1,8                                 | 210,2        | 163,7         | 156,8        |
| OUT          | 10,6                               | 137,3        | 15,3          | 137,3         | 11,4                                | 137,3        | 15,3          | 77,6         |
| NOV          | 0,5                                | 281,4        | 0,5           | 283,9         | 0,5                                 | 251,5        | 0,5           | 183,0        |
| DEZ          | 13,3                               | 0,2          | 13,3          | 74,8          | 13,3                                | 0,0          | 13,3          | 40,0         |
| <b>ANUAL</b> | <b>1847,4</b>                      | <b>717,8</b> | <b>2726,9</b> | <b>1303,0</b> | <b>1836,3</b>                       | <b>687,7</b> | <b>2726,9</b> | <b>769,5</b> |

## DADOS RESUMIDOS PARA Z04 - BRASÍLIA

|              | 0,5m                   |              | 4,0m                                   |              | 0,5m          |              | 4,0m                              |              |               |              |
|--------------|------------------------|--------------|--|--------------|---------------|--------------|-----------------------------------|--------------|---------------|--------------|
|              | GRAUS-HORA NECESSÁRIOS |              | GRAUS-HORA ÚTEIS COM EVAPOTRANSPIRAÇÃO |              |               |              | GRAUS-HORA ÚTEIS A 0% DE ABSORÇÃO |              |               |              |
|              | AQUECIMENTO            | RESFRIAMENTO | AQUECIMENTO                            | RESFRIAMENTO | AQUECIMENTO   | RESFRIAMENTO | AQUECIMENTO                       | RESFRIAMENTO | AQUECIMENTO   | RESFRIAMENTO |
| JAN          | 19,7                   | 32,2         | 19,7                                   | 32,2         | 5,7           | 32,2         | 19,7                              | 32,2         | 19,7          | 32,2         |
| FEV          | 18,6                   | 134,5        | 18,6                                   | 134,5        | 3,3           | 134,5        | 18,6                              | 134,5        | 18,6          | 134,5        |
| MAR          | 33,1                   | 11,3         | 33,1                                   | 11,3         | 3,3           | 11,3         | 33,1                              | 11,3         | 33,1          | 11,3         |
| ABR          | 47,9                   | 22,8         | 47,9                                   | 22,8         | 10,6          | 22,8         | 47,9                              | 22,8         | 47,9          | 22,8         |
| MAI          | 242,3                  | 11,8         | 181,2                                  | 11,8         | 118,6         | 11,8         | 242,3                             | 11,8         | 242,3         | 11,8         |
| JUN          | 598,9                  | 0            | 155,7                                  | 0,0          | 383,1         | 0,0          | 598,3                             | 0,0          | 598,9         | 0,0          |
| JUL          | 587,4                  | 20,4         | 46,0                                   | 20,4         | 382,6         | 20,4         | 371,0                             | 20,4         | 587,4         | 20,4         |
| AGO          | 574,3                  | 25,3         | 0,8                                    | 25,3         | 352,9         | 25,3         | 117,2                             | 25,3         | 574,3         | 25,3         |
| SET          | 133,5                  | 173          | 0,1                                    | 173,0        | 73,6          | 173,0        | 27,7                              | 173,0        | 133,5         | 173,0        |
| OUT          | 120,5                  | 92,1         | 0,0                                    | 92,1         | 38,4          | 92,1         | 79,7                              | 92,1         | 120,5         | 92,1         |
| NOV          | 27,2                   | 8,4          | 2,0                                    | 8,4          | 3,2           | 8,4          | 27,2                              | 8,4          | 27,2          | 8,4          |
| DEZ          | 1                      | 13           | 0,7                                    | 13,0         | 0,0           | 13,0         | 1,0                               | 13,0         | 1,0           | 13,0         |
| <b>ANUAL</b> | <b>2404,4</b>          | <b>544,8</b> | <b>505,8</b>                           | <b>544,8</b> | <b>1375,4</b> | <b>544,8</b> | <b>1583,6</b>                     | <b>544,8</b> | <b>2404,4</b> | <b>544,8</b> |

|              | 0,5m                               |              | 4,0m          |              | 0,5m                               |              | 4,0m          |              |
|--------------|------------------------------------|--------------|---------------|--------------|------------------------------------|--------------|---------------|--------------|
|              | GRAUS-HORA ÚTEIS A 10% DE ABSORÇÃO |              |               |              | GRAUS-HORA ÚTEIS A 20% DE ABSORÇÃO |              |               |              |
|              | AQUECIMENTO                        | RESFRIAMENTO | AQUECIMENTO   | RESFRIAMENTO | AQUECIMENTO                        | RESFRIAMENTO | AQUECIMENTO   | RESFRIAMENTO |
| JAN          | 19,7                               | 32,2         | 19,7          | 32,2         | 19,7                               | 32,2         | 19,7          | 32,2         |
| FEV          | 18,6                               | 134,5        | 18,6          | 134,5        | 18,6                               | 134,5        | 18,6          | 134,5        |
| MAR          | 33,1                               | 11,3         | 33,1          | 11,3         | 33,1                               | 11,3         | 33,1          | 11,3         |
| ABR          | 47,9                               | 22,8         | 47,9          | 22,8         | 47,9                               | 22,8         | 47,9          | 22,8         |
| MAI          | 242,3                              | 11,8         | 242,3         | 11,8         | 242,3                              | 11,8         | 242,3         | 11,8         |
| JUN          | 598,2                              | 0,0          | 598,9         | 0,0          | 598,2                              | 0,0          | 598,9         | 0,0          |
| JUL          | 368,9                              | 20,4         | 587,4         | 20,4         | 368,9                              | 20,4         | 587,4         | 20,4         |
| AGO          | 115,5                              | 25,3         | 574,3         | 25,3         | 115,5                              | 25,3         | 574,3         | 25,3         |
| SET          | 27,2                               | 173,0        | 133,5         | 173,0        | 27,2                               | 173,0        | 133,5         | 173,0        |
| OUT          | 78,8                               | 92,1         | 120,5         | 92,1         | 78,8                               | 92,1         | 120,5         | 92,1         |
| NOV          | 27,2                               | 8,4          | 27,2          | 8,4          | 27,2                               | 8,4          | 27,2          | 8,4          |
| DEZ          | 1,0                                | 13,0         | 1,0           | 13,0         | 1,0                                | 13,0         | 1,0           | 13,0         |
| <b>ANUAL</b> | <b>1578,5</b>                      | <b>544,8</b> | <b>2404,4</b> | <b>544,8</b> | <b>1578,5</b>                      | <b>544,8</b> | <b>2404,4</b> | <b>544,8</b> |

|              | 0,5m                               |              | 4,0m          |              | 0,5m                               |              | 4,0m          |              |
|--------------|------------------------------------|--------------|---------------|--------------|------------------------------------|--------------|---------------|--------------|
|              | GRAUS-HORA ÚTEIS A 30% DE ABSORÇÃO |              |               |              | GRAUS-HORA ÚTEIS A 40% DE ABSORÇÃO |              |               |              |
|              | AQUECIMENTO                        | RESFRIAMENTO | AQUECIMENTO   | RESFRIAMENTO | AQUECIMENTO                        | RESFRIAMENTO | AQUECIMENTO   | RESFRIAMENTO |
| JAN          | 19,7                               | 32,2         | 19,7          | 32,2         | 19,7                               | 30,0         | 19,7          | 32,2         |
| FEV          | 18,6                               | 134,5        | 18,6          | 134,5        | 18,6                               | 92,4         | 18,6          | 134,5        |
| MAR          | 33,1                               | 11,3         | 33,1          | 11,3         | 33,1                               | 7,4          | 33,1          | 11,3         |
| ABR          | 47,9                               | 22,8         | 47,9          | 22,8         | 47,9                               | 22,8         | 47,9          | 22,8         |
| MAI          | 242,3                              | 11,8         | 242,3         | 11,8         | 242,3                              | 11,8         | 242,3         | 11,8         |
| JUN          | 598,9                              | 0,0          | 598,9         | 0,0          | 598,9                              | 0,0          | 598,9         | 0,0          |
| JUL          | 383,1                              | 20,4         | 587,4         | 20,4         | 431,4                              | 20,4         | 587,4         | 20,4         |
| AGO          | 124,1                              | 25,3         | 574,3         | 25,3         | 146,2                              | 25,3         | 574,3         | 25,3         |
| SET          | 29,5                               | 173,0        | 133,5         | 173,0        | 35,7                               | 173,0        | 133,5         | 173,0        |
| OUT          | 85,1                               | 92,1         | 120,5         | 92,1         | 105,3                              | 92,1         | 120,5         | 92,1         |
| NOV          | 27,2                               | 8,4          | 27,2          | 8,4          | 27,2                               | 8,4          | 27,2          | 8,4          |
| DEZ          | 1,0                                | 13,0         | 1,0           | 13,0         | 1,0                                | 13,0         | 1,0           | 13,0         |
| <b>ANUAL</b> | <b>1610,5</b>                      | <b>544,8</b> | <b>2404,4</b> | <b>544,8</b> | <b>1707,3</b>                      | <b>496,7</b> | <b>2404,4</b> | <b>544,8</b> |

|              | 0,5m                               |              | 4,0m          |              | 0,5m                               |              | 4,0m          |              |
|--------------|------------------------------------|--------------|---------------|--------------|------------------------------------|--------------|---------------|--------------|
|              | GRAUS-HORA ÚTEIS A 50% DE ABSORÇÃO |              |               |              | GRAUS-HORA ÚTEIS A 60% DE ABSORÇÃO |              |               |              |
|              | AQUECIMENTO                        | RESFRIAMENTO | AQUECIMENTO   | RESFRIAMENTO | AQUECIMENTO                        | RESFRIAMENTO | AQUECIMENTO   | RESFRIAMENTO |
| JAN          | 19,7                               | 1,0          | 19,7          | 32,2         | 19,7                               | 0,0          | 19,7          | 32,2         |
| FEV          | 18,6                               | 11,8         | 18,6          | 134,5        | 18,6                               | 0,0          | 18,6          | 134,5        |
| MAR          | 33,1                               | 0,0          | 33,1          | 11,3         | 33,1                               | 0,0          | 33,1          | 11,3         |
| ABR          | 47,9                               | 11,7         | 47,9          | 22,8         | 47,9                               | 0,2          | 47,9          | 22,8         |
| MAI          | 242,3                              | 11,8         | 242,3         | 11,8         | 242,3                              | 11,8         | 242,3         | 11,8         |
| JUN          | 598,9                              | 0,0          | 598,9         | 0,0          | 598,9                              | 0,0          | 598,9         | 0,0          |
| JUL          | 422,0                              | 20,4         | 587,4         | 20,4         | 417,6                              | 20,4         | 587,4         | 20,4         |
| AGO          | 108,1                              | 25,3         | 574,3         | 25,3         | 78,6                               | 25,3         | 574,3         | 25,3         |
| SET          | 27,0                               | 173,0        | 133,5         | 173,0        | 20,2                               | 173,0        | 133,5         | 173,0        |
| OUT          | 107,5                              | 92,1         | 120,5         | 92,1         | 110,2                              | 92,1         | 120,5         | 92,1         |
| NOV          | 27,2                               | 8,4          | 27,2          | 8,4          | 27,2                               | 8,4          | 27,2          | 8,4          |
| DEZ          | 1,0                                | 13,0         | 1,0           | 13,0         | 1,0                                | 13,0         | 1,0           | 13,0         |
| <b>ANUAL</b> | <b>1653,3</b>                      | <b>368,4</b> | <b>2404,4</b> | <b>544,8</b> | <b>1615,4</b>                      | <b>344,2</b> | <b>2404,4</b> | <b>544,8</b> |

|              | 0,5m                               |              | 4,0m          |              | 0,5m                               |              | 4,0m          |              |
|--------------|------------------------------------|--------------|---------------|--------------|------------------------------------|--------------|---------------|--------------|
|              | GRAUS-HORA ÚTEIS A 70% DE ABSORÇÃO |              |               |              | GRAUS-HORA ÚTEIS A 80% DE ABSORÇÃO |              |               |              |
|              | AQUECIMENTO                        | RESFRIAMENTO | AQUECIMENTO   | RESFRIAMENTO | AQUECIMENTO                        | RESFRIAMENTO | AQUECIMENTO   | RESFRIAMENTO |
| JAN          | 19,7                               | 0,0          | 19,7          | 32,2         | 19,7                               | 0,0          | 19,7          | 32,2         |
| FEV          | 18,6                               | 0,0          | 18,6          | 134,5        | 18,6                               | 0,0          | 18,6          | 134,5        |
| MAR          | 33,1                               | 0,0          | 33,1          | 11,3         | 33,1                               | 0,0          | 33,1          | 11,3         |
| ABR          | 47,9                               | 0,0          | 47,9          | 22,8         | 47,9                               | 0,0          | 47,9          | 22,8         |
| MAI          | 242,3                              | 9,3          | 242,3         | 11,8         | 242,3                              | 0,6          | 242,3         | 11,8         |
| JUN          | 598,9                              | 0,0          | 598,9         | 0,0          | 598,9                              | 0,0          | 598,9         | 0,0          |
| JUL          | 418,4                              | 20,4         | 587,4         | 20,4         | 421,5                              | 20,4         | 587,4         | 20,4         |
| AGO          | 58,5                               | 25,3         | 574,3         | 25,3         | 43,3                               | 25,3         | 574,3         | 25,3         |
| SET          | 15,6                               | 173,0        | 133,5         | 173,0        | 12,1                               | 173,0        | 133,5         | 173,0        |
| OUT          | 112,9                              | 92,1         | 120,5         | 92,1         | 114,0                              | 92,1         | 120,5         | 92,1         |
| NOV          | 27,2                               | 8,4          | 27,2          | 8,4          | 27,2                               | 8,4          | 27,2          | 8,4          |
| DEZ          | 1,0                                | 11,1         | 1,0           | 13,0         | 1,0                                | 1,1          | 1,0           | 13,0         |
| <b>ANUAL</b> | <b>1594,1</b>                      | <b>339,5</b> | <b>2404,4</b> | <b>544,8</b> | <b>1579,6</b>                      | <b>320,9</b> | <b>2404,4</b> | <b>544,8</b> |

|              | 0,5m                               |              | 4,0m          |              | 0,5m                                |              | 4,0m          |              |
|--------------|------------------------------------|--------------|---------------|--------------|-------------------------------------|--------------|---------------|--------------|
|              | GRAUS-HORA ÚTEIS A 90% DE ABSORÇÃO |              |               |              | GRAUS-HORA ÚTEIS A 100% DE ABSORÇÃO |              |               |              |
|              | AQUECIMENTO                        | RESFRIAMENTO | AQUECIMENTO   | RESFRIAMENTO | AQUECIMENTO                         | RESFRIAMENTO | AQUECIMENTO   | RESFRIAMENTO |
| JAN          | 19,7                               | 0,0          | 19,7          | 32,2         | 19,7                                | 0,0          | 19,7          | 19,6         |
| FEV          | 18,6                               | 0,0          | 18,6          | 134,5        | 18,6                                | 0,0          | 18,6          | 99,8         |
| MAR          | 33,1                               | 0,0          | 33,1          | 11,3         | 33,1                                | 0,0          | 33,1          | 4,4          |
| ABR          | 47,9                               | 0,0          | 47,9          | 22,8         | 47,9                                | 0,0          | 47,9          | 11,2         |
| MAI          | 242,3                              | 0,0          | 242,3         | 11,8         | 242,3                               | 0,0          | 242,3         | 4,5          |
| JUN          | 598,9                              | 0,0          | 598,9         | 0,0          | 598,9                               | 0,0          | 598,9         | 0,0          |
| JUL          | 425,1                              | 20,4         | 587,4         | 20,4         | 428,5                               | 20,4         | 587,4         | 12,7         |
| AGO          | 32,5                               | 25,3         | 574,3         | 25,3         | 24,0                                | 25,3         | 574,3         | 17,4         |
| SET          | 9,4                                | 173,0        | 133,5         | 173,0        | 7,2                                 | 173,0        | 133,5         | 141,7        |
| OUT          | 114,5                              | 92,1         | 120,5         | 92,1         | 115,0                               | 92,1         | 120,5         | 68,2         |
| NOV          | 27,2                               | 8,4          | 27,2          | 8,4          | 27,2                                | 8,4          | 27,2          | 3,9          |
| DEZ          | 1,0                                | 0,0          | 1,0           | 13,0         | 1,0                                 | 0,0          | 1,0           | 5,2          |
| <b>ANUAL</b> | <b>1570,2</b>                      | <b>319,2</b> | <b>2404,4</b> | <b>544,8</b> | <b>1563,5</b>                       | <b>319,2</b> | <b>2404,4</b> | <b>388,6</b> |

## DADOS RESUMIDOS PARA Z05 - VITÓRIA DA CONQUISTA

|              | 0,5m                   |              | 4,0m                                   |              | 0,5m          |              | 4,0m                              |              |               |              |
|--------------|------------------------|--------------|--|--------------|---------------|--------------|-----------------------------------|--------------|---------------|--------------|
|              | GRAUS-HORA NECESSÁRIOS |              | GRAUS-HORA ÚTEIS COM EVAPOTRANSPIRAÇÃO |              |               |              | GRAUS-HORA ÚTEIS A 0% DE ABSORÇÃO |              |               |              |
|              | AQUECIMENTO            | RESFRIAMENTO | AQUECIMENTO                            | RESFRIAMENTO | AQUECIMENTO   | RESFRIAMENTO | AQUECIMENTO                       | RESFRIAMENTO | AQUECIMENTO   | RESFRIAMENTO |
| JAN          | 62,7                   | 36,3         | 62,7                                   | 36,3         | 62,7          | 36,3         | 62,7                              | 36,3         | 62,7          | 36,3         |
| FEV          | 84                     | 38,3         | 84,0                                   | 38,3         | 84,0          | 38,3         | 84,0                              | 38,3         | 84,0          | 38,3         |
| MAR          | 28,6                   | 234,8        | 28,6                                   | 234,8        | 28,6          | 234,8        | 28,6                              | 234,8        | 28,6          | 234,8        |
| ABR          | 35,9                   | 17           | 35,9                                   | 17,0         | 35,9          | 17,0         | 35,9                              | 17,0         | 35,9          | 17,0         |
| MAI          | 379,7                  | 3,8          | 377,9                                  | 3,8          | 379,7         | 3,8          | 379,7                             | 3,8          | 379,7         | 3,8          |
| JUN          | 611,1                  | 5,4          | 214,4                                  | 5,4          | 611,1         | 5,4          | 549,2                             | 5,4          | 611,1         | 5,4          |
| JUL          | 921,8                  | 0            | 99,8                                   | 0,0          | 921,8         | 0,0          | 245,0                             | 0,0          | 921,8         | 0,0          |
| AGO          | 870,9                  | 25           | 15,0                                   | 25,0         | 870,9         | 25,0         | 31,6                              | 25,0         | 870,9         | 25,0         |
| SET          | 376,1                  | 132,5        | 18,5                                   | 132,5        | 376,1         | 132,5        | 27,5                              | 132,5        | 376,1         | 132,5        |
| OUT          | 96                     | 132,6        | 0,0                                    | 132,6        | 96,0          | 132,6        | 2,8                               | 132,6        | 96,0          | 132,6        |
| NOV          | 135                    | 127,9        | 81,5                                   | 127,9        | 135,0         | 127,9        | 135,0                             | 127,9        | 135,0         | 127,9        |
| DEZ          | 47,2                   | 199,5        | 47,2                                   | 199,5        | 47,2          | 199,5        | 47,2                              | 199,5        | 47,2          | 199,5        |
| <b>ANUAL</b> | <b>3649</b>            | <b>953,1</b> | <b>1065,5</b>                          | <b>953,1</b> | <b>3649,0</b> | <b>953,1</b> | <b>1629,2</b>                     | <b>953,1</b> | <b>3649,0</b> | <b>953,1</b> |

|              | 0,5m                               |              | 4,0m          |              | 0,5m                               |              | 4,0m          |              |
|--------------|------------------------------------|--------------|---------------|--------------|------------------------------------|--------------|---------------|--------------|
|              | GRAUS-HORA ÚTEIS A 10% DE ABSORÇÃO |              |               |              | GRAUS-HORA ÚTEIS A 20% DE ABSORÇÃO |              |               |              |
|              | AQUECIMENTO                        | RESFRIAMENTO | AQUECIMENTO   | RESFRIAMENTO | AQUECIMENTO                        | RESFRIAMENTO | AQUECIMENTO   | RESFRIAMENTO |
| JAN          | 62,7                               | 36,3         | 62,7          | 36,3         | 62,7                               | 36,3         | 62,7          | 36,3         |
| FEV          | 84,0                               | 38,3         | 84,0          | 38,3         | 84,0                               | 38,3         | 84,0          | 38,3         |
| MAR          | 28,6                               | 234,8        | 28,6          | 234,8        | 28,6                               | 234,8        | 28,6          | 234,8        |
| ABR          | 35,9                               | 17,0         | 35,9          | 17,0         | 35,9                               | 17,0         | 35,9          | 17,0         |
| MAI          | 379,7                              | 3,8          | 379,7         | 3,8          | 379,7                              | 3,8          | 379,7         | 3,8          |
| JUN          | 549,2                              | 5,4          | 611,1         | 5,4          | 549,2                              | 5,4          | 611,1         | 5,4          |
| JUL          | 245,0                              | 0,0          | 921,8         | 0,0          | 245,0                              | 0,0          | 921,8         | 0,0          |
| AGO          | 31,6                               | 25,0         | 870,9         | 25,0         | 31,6                               | 25,0         | 870,9         | 25,0         |
| SET          | 27,5                               | 132,5        | 376,1         | 132,5        | 27,5                               | 132,5        | 376,1         | 132,5        |
| OUT          | 2,8                                | 132,6        | 96,0          | 132,6        | 2,8                                | 132,6        | 96,0          | 132,6        |
| NOV          | 135,0                              | 127,9        | 135,0         | 127,9        | 135,0                              | 127,9        | 135,0         | 127,9        |
| DEZ          | 47,2                               | 199,5        | 47,2          | 199,5        | 47,2                               | 199,5        | 47,2          | 199,5        |
| <b>ANUAL</b> | <b>1629,2</b>                      | <b>953,1</b> | <b>3649,0</b> | <b>953,1</b> | <b>1629,2</b>                      | <b>953,1</b> | <b>3649,0</b> | <b>953,1</b> |

|              | 0,5m                               |              | 4,0m          |              | 0,5m                               |              | 4,0m          |              |
|--------------|------------------------------------|--------------|---------------|--------------|------------------------------------|--------------|---------------|--------------|
|              | GRAUS-HORA ÚTEIS A 30% DE ABSORÇÃO |              |               |              | GRAUS-HORA ÚTEIS A 40% DE ABSORÇÃO |              |               |              |
|              | AQUECIMENTO                        | RESFRIAMENTO | AQUECIMENTO   | RESFRIAMENTO | AQUECIMENTO                        | RESFRIAMENTO | AQUECIMENTO   | RESFRIAMENTO |
| JAN          | 62,7                               | 36,3         | 62,7          | 36,3         | 62,7                               | 34,8         | 62,7          | 36,3         |
| FEV          | 84,0                               | 38,0         | 84,0          | 38,3         | 84,0                               | 15,2         | 84,0          | 38,3         |
| MAR          | 28,6                               | 234,8        | 28,6          | 234,8        | 28,6                               | 174,1        | 28,6          | 234,8        |
| ABR          | 35,9                               | 17,0         | 35,9          | 17,0         | 35,9                               | 17,0         | 35,9          | 17,0         |
| MAI          | 379,7                              | 3,8          | 379,7         | 3,8          | 379,7                              | 3,8          | 379,7         | 3,8          |
| JUN          | 555,2                              | 5,4          | 611,1         | 5,4          | 590,7                              | 5,4          | 611,1         | 5,4          |
| JUL          | 255,8                              | 0,0          | 921,8         | 0,0          | 334,8                              | 0,0          | 921,8         | 0,0          |
| AGO          | 34,1                               | 25,0         | 870,9         | 25,0         | 50,0                               | 25,0         | 870,9         | 25,0         |
| SET          | 28,8                               | 132,5        | 376,1         | 132,5        | 37,1                               | 132,5        | 376,1         | 132,5        |
| OUT          | 3,3                                | 132,6        | 96,0          | 132,6        | 9,2                                | 132,6        | 96,0          | 132,6        |
| NOV          | 135,0                              | 127,9        | 135,0         | 127,9        | 135,0                              | 127,9        | 135,0         | 127,9        |
| DEZ          | 47,2                               | 199,5        | 47,2          | 199,5        | 47,2                               | 199,5        | 47,2          | 199,5        |
| <b>ANUAL</b> | <b>1650,3</b>                      | <b>952,8</b> | <b>3649,0</b> | <b>953,1</b> | <b>1794,9</b>                      | <b>867,8</b> | <b>3649,0</b> | <b>953,1</b> |

|              | 0,5m                               |              | 4,0m          |              | 0,5m                               |              | 4,0m          |              |
|--------------|------------------------------------|--------------|---------------|--------------|------------------------------------|--------------|---------------|--------------|
|              | GRAUS-HORA ÚTEIS A 50% DE ABSORÇÃO |              |               |              | GRAUS-HORA ÚTEIS A 60% DE ABSORÇÃO |              |               |              |
|              | AQUECIMENTO                        | RESFRIAMENTO | AQUECIMENTO   | RESFRIAMENTO | AQUECIMENTO                        | RESFRIAMENTO | AQUECIMENTO   | RESFRIAMENTO |
| JAN          | 62,7                               | 20,1         | 62,7          | 36,3         | 62,7                               | 2,7          | 62,7          | 36,3         |
| FEV          | 84,0                               | 0,0          | 84,0          | 38,3         | 84,0                               | 0,0          | 84,0          | 38,3         |
| MAR          | 28,6                               | 44,7         | 28,6          | 234,8        | 28,6                               | 8,5          | 28,6          | 234,8        |
| ABR          | 35,9                               | 5,0          | 35,9          | 17,0         | 35,9                               | 0,9          | 35,9          | 17,0         |
| MAI          | 379,7                              | 3,8          | 379,7         | 3,8          | 379,7                              | 3,8          | 379,7         | 3,8          |
| JUN          | 601,7                              | 5,4          | 611,1         | 5,4          | 609,2                              | 5,4          | 611,1         | 5,4          |
| JUL          | 328,9                              | 0,0          | 921,8         | 0,0          | 332,6                              | 0,0          | 921,8         | 0,0          |
| AGO          | 33,0                               | 25,0         | 870,9         | 25,0         | 21,4                               | 25,0         | 870,9         | 25,0         |
| SET          | 29,0                               | 132,5        | 376,1         | 132,5        | 22,8                               | 132,5        | 376,1         | 132,5        |
| OUT          | 10,5                               | 132,6        | 96,0          | 132,6        | 13,1                               | 132,6        | 96,0          | 132,6        |
| NOV          | 135,0                              | 127,9        | 135,0         | 127,9        | 135,0                              | 127,9        | 135,0         | 127,9        |
| DEZ          | 47,2                               | 199,5        | 47,2          | 199,5        | 47,2                               | 181,0        | 47,2          | 199,5        |
| <b>ANUAL</b> | <b>1776,3</b>                      | <b>696,5</b> | <b>3649,0</b> | <b>953,1</b> | <b>1772,2</b>                      | <b>620,3</b> | <b>3649,0</b> | <b>953,1</b> |

|              | 0,5m                               |              | 4,0m          |              | 0,5m                               |              | 4,0m          |              |
|--------------|------------------------------------|--------------|---------------|--------------|------------------------------------|--------------|---------------|--------------|
|              | GRAUS-HORA ÚTEIS A 70% DE ABSORÇÃO |              |               |              | GRAUS-HORA ÚTEIS A 80% DE ABSORÇÃO |              |               |              |
|              | AQUECIMENTO                        | RESFRIAMENTO | AQUECIMENTO   | RESFRIAMENTO | AQUECIMENTO                        | RESFRIAMENTO | AQUECIMENTO   | RESFRIAMENTO |
| JAN          | 62,7                               | 0,0          | 62,7          | 36,3         | 62,7                               | 0,0          | 62,7          | 36,3         |
| FEV          | 84,0                               | 0,0          | 84,0          | 38,3         | 84,0                               | 0,0          | 84,0          | 38,3         |
| MAR          | 28,6                               | 0,0          | 28,6          | 234,8        | 28,6                               | 0,0          | 28,6          | 234,8        |
| ABR          | 35,9                               | 0,0          | 35,9          | 17,0         | 35,9                               | 0,0          | 35,9          | 17,0         |
| MAI          | 379,7                              | 3,8          | 379,7         | 3,8          | 379,7                              | 3,2          | 379,7         | 3,8          |
| JUN          | 611,1                              | 5,4          | 611,1         | 5,4          | 611,1                              | 5,4          | 611,1         | 5,4          |
| JUL          | 348,5                              | 0,0          | 921,8         | 0,0          | 367,0                              | 0,0          | 921,8         | 0,0          |
| AGO          | 14,5                               | 25,0         | 870,9         | 25,0         | 10,4                               | 25,0         | 870,9         | 25,0         |
| SET          | 18,3                               | 132,5        | 376,1         | 132,5        | 14,9                               | 132,5        | 376,1         | 132,5        |
| OUT          | 17,3                               | 132,6        | 96,0          | 132,6        | 22,2                               | 132,6        | 96,0          | 132,6        |
| NOV          | 135,0                              | 127,9        | 135,0         | 127,9        | 135,0                              | 127,9        | 135,0         | 127,9        |
| DEZ          | 47,2                               | 120,6        | 47,2          | 199,5        | 47,2                               | 57,1         | 47,2          | 199,5        |
| <b>ANUAL</b> | <b>1782,8</b>                      | <b>547,8</b> | <b>3649,0</b> | <b>953,1</b> | <b>1798,7</b>                      | <b>483,7</b> | <b>3649,0</b> | <b>953,1</b> |

|              | 0,5m                               |              | 4,0m          |              | 0,5m                                |              | 4,0m          |              |
|--------------|------------------------------------|--------------|---------------|--------------|-------------------------------------|--------------|---------------|--------------|
|              | GRAUS-HORA ÚTEIS A 90% DE ABSORÇÃO |              |               |              | GRAUS-HORA ÚTEIS A 100% DE ABSORÇÃO |              |               |              |
|              | AQUECIMENTO                        | RESFRIAMENTO | AQUECIMENTO   | RESFRIAMENTO | AQUECIMENTO                         | RESFRIAMENTO | AQUECIMENTO   | RESFRIAMENTO |
| JAN          | 62,7                               | 0,0          | 62,7          | 36,3         | 62,7                                | 0,0          | 62,7          | 36,3         |
| FEV          | 84,0                               | 0,0          | 84,0          | 38,3         | 84,0                                | 0,0          | 84,0          | 38,3         |
| MAR          | 28,6                               | 0,0          | 28,6          | 234,8        | 28,6                                | 0,0          | 28,6          | 234,8        |
| ABR          | 35,9                               | 0,0          | 35,9          | 17,0         | 35,9                                | 0,0          | 35,9          | 17,0         |
| MAI          | 379,7                              | 0,0          | 379,7         | 3,8          | 379,7                               | 0,0          | 379,7         | 3,8          |
| JUN          | 611,1                              | 5,4          | 611,1         | 5,4          | 611,1                               | 5,4          | 611,1         | 5,4          |
| JUL          | 385,2                              | 0,0          | 921,8         | 0,0          | 402,7                               | 0,0          | 921,8         | 0,0          |
| AGO          | 7,4                                | 25,0         | 870,9         | 25,0         | 5,3                                 | 25,0         | 870,9         | 25,0         |
| SET          | 11,9                               | 132,5        | 376,1         | 132,5        | 9,6                                 | 132,5        | 376,1         | 132,5        |
| OUT          | 26,2                               | 132,6        | 96,0          | 132,6        | 29,3                                | 132,6        | 96,0          | 132,6        |
| NOV          | 135,0                              | 127,9        | 135,0         | 127,9        | 135,0                               | 107,7        | 135,0         | 127,9        |
| DEZ          | 47,2                               | 17,5         | 47,2          | 199,5        | 47,2                                | 2,7          | 47,2          | 199,5        |
| <b>ANUAL</b> | <b>1814,9</b>                      | <b>440,9</b> | <b>3649,0</b> | <b>953,1</b> | <b>1831,2</b>                       | <b>405,9</b> | <b>3649,0</b> | <b>953,1</b> |

## DADOS RESUMIDOS PARA Z06 - CAMPO GRANDE

|              |                        |               | 0,5m                                   |               | 4,0m          |               | 0,5m                              |               | 4,0m          |               |
|--------------|------------------------|---------------|--|---------------|---------------|---------------|-----------------------------------|---------------|---------------|---------------|
|              | GRAUS-HORA NECESSÁRIOS |               | GRAUS-HORA ÚTEIS COM EVAPOTRANSPIRAÇÃO |               |               |               | GRAUS-HORA ÚTEIS A 0% DE ABSORÇÃO |               |               |               |
|              | AQUECIMENTO            | RESFRIAMENTO  | AQUECIMENTO                            | RESFRIAMENTO  | AQUECIMENTO   | RESFRIAMENTO  | AQUECIMENTO                       | RESFRIAMENTO  | AQUECIMENTO   | RESFRIAMENTO  |
| JAN          | 0                      | 248,2         | 0,0                                    | 248,2         | 0,0           | 248,2         | 0,0                               | 89,7          | 0,0           | 248,2         |
| FEV          | 0                      | 349,5         | 0,0                                    | 349,5         | 0,0           | 349,5         | 0,0                               | 13,0          | 0,0           | 349,5         |
| MAR          | 0,9                    | 393,2         | 0,9                                    | 393,2         | 0,9           | 393,2         | 0,9                               | 30,6          | 0,9           | 393,2         |
| ABR          | 84,5                   | 348,2         | 84,5                                   | 348,2         | 84,5          | 348,2         | 84,5                              | 187,5         | 84,5          | 348,2         |
| MAI          | 844,6                  | 114,4         | 844,6                                  | 114,4         | 844,6         | 114,4         | 844,6                             | 114,4         | 844,6         | 114,4         |
| JUN          | 724,9                  | 68,2          | 503,9                                  | 68,2          | 724,9         | 68,2          | 724,9                             | 68,2          | 724,9         | 68,2          |
| JUL          | 146,6                  | 393,5         | 10,2                                   | 393,5         | 146,6         | 393,5         | 110,6                             | 393,5         | 146,6         | 393,5         |
| AGO          | 166,3                  | 800,1         | 10,0                                   | 800,1         | 166,3         | 800,1         | 59,0                              | 800,1         | 166,3         | 800,1         |
| SET          | 643,8                  | 738,9         | 111,1                                  | 738,9         | 643,8         | 738,9         | 360,0                             | 738,9         | 643,8         | 738,9         |
| OUT          | 20,2                   | 948,8         | 0,0                                    | 948,8         | 20,2          | 948,8         | 8,7                               | 948,8         | 20,2          | 948,8         |
| NOV          | 2,9                    | 753,4         | 2,9                                    | 753,4         | 2,9           | 753,4         | 2,9                               | 753,4         | 2,9           | 753,4         |
| DEZ          | 50                     | 839,5         | 50,0                                   | 839,5         | 50,0          | 839,5         | 50,0                              | 811,9         | 50,0          | 839,5         |
| <b>ANUAL</b> | <b>2684,7</b>          | <b>5995,9</b> | <b>1618,1</b>                          | <b>5995,9</b> | <b>2684,7</b> | <b>5995,9</b> | <b>2246,1</b>                     | <b>4949,9</b> | <b>2684,7</b> | <b>5995,9</b> |

|              | 0,5m                               |               | 4,0m          |               | 0,5m                               |               | 4,0m          |               |
|--------------|------------------------------------|---------------|---------------|---------------|------------------------------------|---------------|---------------|---------------|
|              | GRAUS-HORA ÚTEIS A 10% DE ABSORÇÃO |               |               |               | GRAUS-HORA ÚTEIS A 20% DE ABSORÇÃO |               |               |               |
|              | AQUECIMENTO                        | RESFRIAMENTO  | AQUECIMENTO   | RESFRIAMENTO  | AQUECIMENTO                        | RESFRIAMENTO  | AQUECIMENTO   | RESFRIAMENTO  |
| JAN          | 0,0                                | 82,6          | 0,0           | 248,2         | 0,0                                | 82,6          | 0,0           | 248,2         |
| FEV          | 0,0                                | 9,1           | 0,0           | 349,5         | 0,0                                | 9,1           | 0,0           | 349,5         |
| MAR          | 0,9                                | 24,9          | 0,9           | 393,2         | 0,9                                | 24,9          | 0,9           | 393,2         |
| ABR          | 84,5                               | 174,6         | 84,5          | 348,2         | 84,5                               | 174,6         | 84,5          | 348,2         |
| MAI          | 844,6                              | 114,4         | 844,6         | 114,4         | 844,6                              | 114,4         | 844,6         | 114,4         |
| JUN          | 724,9                              | 68,2          | 724,9         | 68,2          | 724,9                              | 68,2          | 724,9         | 68,2          |
| JUL          | 102,3                              | 393,5         | 146,6         | 393,5         | 102,3                              | 393,5         | 146,6         | 393,5         |
| AGO          | 53,7                               | 800,1         | 166,3         | 800,1         | 53,8                               | 800,1         | 166,3         | 800,1         |
| SET          | 336,8                              | 738,9         | 643,8         | 738,9         | 336,8                              | 738,9         | 643,8         | 738,9         |
| OUT          | 6,3                                | 948,8         | 20,2          | 948,8         | 6,3                                | 948,8         | 20,2          | 948,8         |
| NOV          | 2,9                                | 753,4         | 2,9           | 753,4         | 2,9                                | 753,4         | 2,9           | 753,4         |
| DEZ          | 50,0                               | 805,5         | 50,0          | 839,5         | 50,0                               | 805,5         | 50,0          | 839,5         |
| <b>ANUAL</b> | <b>2206,9</b>                      | <b>4914,1</b> | <b>2684,7</b> | <b>5995,9</b> | <b>2207,0</b>                      | <b>4913,9</b> | <b>2684,7</b> | <b>5995,9</b> |

|              | 0,5m                               |               | 4,0m          |               | 0,5m                               |               | 4,0m          |               |
|--------------|------------------------------------|---------------|---------------|---------------|------------------------------------|---------------|---------------|---------------|
|              | GRAUS-HORA ÚTEIS A 30% DE ABSORÇÃO |               |               |               | GRAUS-HORA ÚTEIS A 40% DE ABSORÇÃO |               |               |               |
|              | AQUECIMENTO                        | RESFRIAMENTO  | AQUECIMENTO   | RESFRIAMENTO  | AQUECIMENTO                        | RESFRIAMENTO  | AQUECIMENTO   | RESFRIAMENTO  |
| JAN          | 0,0                                | 81,1          | 0,0           | 248,2         | 0,0                                | 62,2          | 0,0           | 248,2         |
| FEV          | 0,0                                | 8,6           | 0,0           | 349,5         | 0,0                                | 3,4           | 0,0           | 349,5         |
| MAR          | 0,9                                | 24,1          | 0,9           | 393,2         | 0,9                                | 14,2          | 0,9           | 393,2         |
| ABR          | 84,5                               | 171,6         | 84,5          | 348,2         | 84,5                               | 134,4         | 84,5          | 348,2         |
| MAI          | 844,6                              | 114,4         | 844,6         | 114,4         | 844,6                              | 114,4         | 844,6         | 114,4         |
| JUN          | 724,9                              | 68,2          | 724,9         | 68,2          | 724,9                              | 68,2          | 724,9         | 68,2          |
| JUL          | 103,9                              | 393,5         | 146,6         | 393,5         | 114,8                              | 393,5         | 146,6         | 393,5         |
| AGO          | 54,5                               | 800,1         | 166,3         | 800,1         | 59,5                               | 800,1         | 166,3         | 800,1         |
| SET          | 340,3                              | 738,9         | 643,8         | 738,9         | 363,7                              | 738,9         | 643,8         | 738,9         |
| OUT          | 6,7                                | 948,8         | 20,2          | 948,8         | 10,4                               | 948,8         | 20,2          | 948,8         |
| NOV          | 2,9                                | 753,4         | 2,9           | 753,4         | 2,9                                | 753,4         | 2,9           | 753,4         |
| DEZ          | 50,0                               | 803,6         | 50,0          | 839,5         | 50,0                               | 776,2         | 50,0          | 839,5         |
| <b>ANUAL</b> | <b>2213,2</b>                      | <b>4906,4</b> | <b>2684,7</b> | <b>5995,9</b> | <b>2256,2</b>                      | <b>4807,6</b> | <b>2684,7</b> | <b>5995,9</b> |

|              | 0,5m                               |               | 4,0m          |               | 0,5m                               |               | 4,0m          |               |
|--------------|------------------------------------|---------------|---------------|---------------|------------------------------------|---------------|---------------|---------------|
|              | GRAUS-HORA ÚTEIS A 50% DE ABSORÇÃO |               |               |               | GRAUS-HORA ÚTEIS A 60% DE ABSORÇÃO |               |               |               |
|              | AQUECIMENTO                        | RESFRIAMENTO  | AQUECIMENTO   | RESFRIAMENTO  | AQUECIMENTO                        | RESFRIAMENTO  | AQUECIMENTO   | RESFRIAMENTO  |
| JAN          | 0,0                                | 23,6          | 0,0           | 248,2         | 0,0                                | 2,8           | 0,0           | 248,2         |
| FEV          | 0,0                                | 0,0           | 0,0           | 349,5         | 0,0                                | 0,0           | 0,0           | 349,5         |
| MAR          | 0,9                                | 1,1           | 0,9           | 393,2         | 0,9                                | 0,0           | 0,9           | 393,2         |
| ABR          | 84,5                               | 47,9          | 84,5          | 348,2         | 84,5                               | 3,3           | 84,5          | 348,2         |
| MAI          | 844,6                              | 113,9         | 844,6         | 114,4         | 844,6                              | 113,0         | 844,6         | 114,4         |
| JUN          | 724,9                              | 68,2          | 724,9         | 68,2          | 724,9                              | 68,2          | 724,9         | 68,2          |
| JUL          | 114,6                              | 393,5         | 146,6         | 393,5         | 108,1                              | 393,5         | 146,6         | 393,5         |
| AGO          | 55,0                               | 800,1         | 166,3         | 800,1         | 44,9                               | 800,1         | 166,3         | 800,1         |
| SET          | 346,5                              | 738,9         | 643,8         | 738,9         | 304,1                              | 738,9         | 643,8         | 738,9         |
| OUT          | 10,6                               | 948,8         | 20,2          | 948,8         | 8,5                                | 948,8         | 20,2          | 948,8         |
| NOV          | 2,9                                | 753,4         | 2,9           | 753,4         | 2,9                                | 753,4         | 2,9           | 753,4         |
| DEZ          | 50,0                               | 665,6         | 50,0          | 839,5         | 50,0                               | 496,4         | 50,0          | 839,5         |
| <b>ANUAL</b> | <b>2234,5</b>                      | <b>4554,9</b> | <b>2684,7</b> | <b>5995,9</b> | <b>2173,5</b>                      | <b>4318,5</b> | <b>2684,7</b> | <b>5995,9</b> |

|              | 0,5m                               |               | 4,0m          |               | 0,5m                               |               | 4,0m          |               |
|--------------|------------------------------------|---------------|---------------|---------------|------------------------------------|---------------|---------------|---------------|
|              | GRAUS-HORA ÚTEIS A 70% DE ABSORÇÃO |               |               |               | GRAUS-HORA ÚTEIS A 80% DE ABSORÇÃO |               |               |               |
|              | AQUECIMENTO                        | RESFRIAMENTO  | AQUECIMENTO   | RESFRIAMENTO  | AQUECIMENTO                        | RESFRIAMENTO  | AQUECIMENTO   | RESFRIAMENTO  |
| JAN          | 0,0                                | 0,0           | 0,0           | 248,2         | 0,0                                | 0,0           | 0,0           | 244,7         |
| FEV          | 0,0                                | 0,0           | 0,0           | 349,5         | 0,0                                | 0,0           | 0,0           | 344,4         |
| MAR          | 0,9                                | 0,0           | 0,9           | 393,2         | 0,9                                | 0,0           | 0,9           | 386,6         |
| ABR          | 84,5                               | 0,0           | 84,5          | 348,2         | 84,5                               | 0,0           | 84,5          | 342,6         |
| MAI          | 844,6                              | 98,2          | 844,6         | 114,4         | 844,6                              | 50,8          | 844,6         | 112,1         |
| JUN          | 724,9                              | 68,2          | 724,9         | 68,2          | 724,9                              | 68,2          | 724,9         | 66,4          |
| JUL          | 105,5                              | 393,5         | 146,6         | 393,5         | 104,7                              | 393,5         | 146,6         | 390,6         |
| AGO          | 37,9                               | 800,1         | 166,3         | 800,1         | 32,5                               | 800,1         | 166,3         | 798,1         |
| SET          | 273,5                              | 738,9         | 643,8         | 738,9         | 249,9                              | 738,9         | 643,8         | 737,6         |
| OUT          | 7,8                                | 948,8         | 20,2          | 948,8         | 7,7                                | 948,8         | 20,2          | 946,8         |
| NOV          | 2,9                                | 753,2         | 2,9           | 753,4         | 2,9                                | 728,4         | 2,9           | 750,2         |
| DEZ          | 50,0                               | 319,1         | 50,0          | 839,5         | 50,0                               | 197,0         | 50,0          | 834,4         |
| <b>ANUAL</b> | <b>2132,5</b>                      | <b>4120,0</b> | <b>2684,7</b> | <b>5995,9</b> | <b>2102,7</b>                      | <b>3925,7</b> | <b>2684,7</b> | <b>5954,4</b> |

|              | 0,5m                               |               | 4,0m          |               | 0,5m                                |               | 4,0m          |               |
|--------------|------------------------------------|---------------|---------------|---------------|-------------------------------------|---------------|---------------|---------------|
|              | GRAUS-HORA ÚTEIS A 90% DE ABSORÇÃO |               |               |               | GRAUS-HORA ÚTEIS A 100% DE ABSORÇÃO |               |               |               |
|              | AQUECIMENTO                        | RESFRIAMENTO  | AQUECIMENTO   | RESFRIAMENTO  | AQUECIMENTO                         | RESFRIAMENTO  | AQUECIMENTO   | RESFRIAMENTO  |
| JAN          | 0,0                                | 0,0           | 0,0           | 140,0         | 0,0                                 | 0,0           | 0,0           | 70,9          |
| FEV          | 0,0                                | 0,0           | 0,0           | 209,8         | 0,0                                 | 0,0           | 0,0           | 106,5         |
| MAR          | 0,9                                | 0,0           | 0,9           | 232,4         | 0,9                                 | 0,0           | 0,9           | 120,9         |
| ABR          | 84,5                               | 0,0           | 84,5          | 205,6         | 84,5                                | 0,0           | 84,5          | 101,4         |
| MAI          | 844,6                              | 11,8          | 844,6         | 48,9          | 844,6                               | 0,6           | 844,6         | 16,1          |
| JUN          | 724,9                              | 68,2          | 724,9         | 16,1          | 724,9                               | 68,2          | 724,9         | 0,1           |
| JUL          | 105,0                              | 393,5         | 146,6         | 236,4         | 106,1                               | 393,5         | 146,6         | 125,1         |
| AGO          | 28,0                               | 800,1         | 166,3         | 608,5         | 24,1                                | 800,1         | 166,3         | 436,4         |
| SET          | 230,4                              | 738,9         | 643,8         | 586,3         | 213,7                               | 738,9         | 643,8         | 460,6         |
| OUT          | 8,0                                | 948,8         | 20,2          | 740,7         | 8,4                                 | 948,8         | 20,2          | 556,7         |
| NOV          | 2,9                                | 666,1         | 2,9           | 539,9         | 2,9                                 | 581,7         | 2,9           | 361,5         |
| DEZ          | 50,0                               | 122,5         | 50,0          | 615,6         | 50,0                                | 66,7          | 50,0          | 433,5         |
| <b>ANUAL</b> | <b>2079,2</b>                      | <b>3749,8</b> | <b>2684,7</b> | <b>4180,2</b> | <b>2060,1</b>                       | <b>3598,5</b> | <b>2684,7</b> | <b>2789,9</b> |

## DADOS RESUMIDOS PARA Z07 - CUIABÁ

|              |                        |                | 0,5m                                   |                | 4,0m         |                | 0,5m                              |               | 4,0m         |                |
|--------------|------------------------|----------------|--|----------------|--------------|----------------|-----------------------------------|---------------|--------------|----------------|
|              | GRAUS-HORA NECESSÁRIOS |                | GRAUS-HORA ÚTEIS COM EVAPOTRANSPIRAÇÃO |                |              |                | GRAUS-HORA ÚTEIS A 0% DE ABSORÇÃO |               |              |                |
|              | AQUECIMENTO            | RESFRIAMENTO   | AQUECIMENTO                            | RESFRIAMENTO   | AQUECIMENTO  | RESFRIAMENTO   | AQUECIMENTO                       | RESFRIAMENTO  | AQUECIMENTO  | RESFRIAMENTO   |
| JAN          | 0,1                    | 1349           | 0,1                                    | 1348,1         |              | 1349,0         | 0,1                               | 246,7         | 0,1          | 1349,0         |
| FEV          | 0                      | 901,5          | 0,0                                    | 799,2          | 0,0          | 901,5          | 0,0                               | 19,2          | 0,0          | 901,5          |
| MAR          | 0                      | 874,4          | 0,0                                    | 811,6          | 0,0          | 874,4          | 0,0                               | 34,1          | 0,0          | 874,4          |
| ABR          | 278,7                  | 897,5          | 278,7                                  | 897,5          | 278,7        | 897,5          | 278,7                             | 209,3         | 278,7        | 897,5          |
| MAI          | 3,4                    | 1019,4         | 3,4                                    | 1019,4         | 3,4          | 1019,4         | 3,4                               | 799,0         | 3,4          | 1019,4         |
| JUN          | 135,9                  | 547,5          | 135,9                                  | 547,5          | 135,9        | 547,5          | 135,9                             | 547,5         | 135,9        | 547,5          |
| JUL          | 328,7                  | 965,1          | 319,4                                  | 965,1          | 328,7        | 965,1          | 328,7                             | 965,1         | 328,7        | 965,1          |
| AGO          | 75,5                   | 1528           | 49,2                                   | 1528,0         | 75,5         | 1528,0         | 75,5                              | 1528,0        | 75,5         | 1528,0         |
| SET          | 28,3                   | 1725,6         | 12,4                                   | 1725,6         | 28,3         | 1725,6         | 28,3                              | 1725,6        | 28,3         | 1725,6         |
| OUT          | 0                      | 1781,7         | 0,0                                    | 1781,7         | 0,0          | 1781,7         | 0,0                               | 1781,7        | 0,0          | 1781,7         |
| NOV          | 0                      | 1500,4         | 0,0                                    | 1500,4         | 0,0          | 1500,4         | 0,0                               | 1500,4        | 0,0          | 1500,4         |
| DEZ          | 0                      | 970,4          | 0,0                                    | 970,4          | 0,0          | 970,4          | 0,0                               | 482,4         | 0,0          | 970,4          |
| <b>ANUAL</b> | <b>850,6</b>           | <b>14060,5</b> | <b>799,0</b>                           | <b>13894,4</b> | <b>850,6</b> | <b>14060,5</b> | <b>850,6</b>                      | <b>9839,0</b> | <b>850,6</b> | <b>14060,5</b> |

|              | 0,5m                               |               | 4,0m         |                | 0,5m                               |               | 4,0m         |                |
|--------------|------------------------------------|---------------|--------------|----------------|------------------------------------|---------------|--------------|----------------|
|              | GRAUS-HORA ÚTEIS A 10% DE ABSORÇÃO |               |              |                | GRAUS-HORA ÚTEIS A 20% DE ABSORÇÃO |               |              |                |
|              | AQUECIMENTO                        | RESFRIAMENTO  | AQUECIMENTO  | RESFRIAMENTO   | AQUECIMENTO                        | RESFRIAMENTO  | AQUECIMENTO  | RESFRIAMENTO   |
| JAN          | 0,1                                | 244,9         | 0,1          | 1349,0         | 0,1                                | 249,0         | 0,1          | 1349,0         |
| FEV          | 0,0                                | 18,7          | 0,0          | 901,5          | 0,0                                | 19,8          | 0,0          | 901,5          |
| MAR          | 0,0                                | 33,5          | 0,0          | 874,4          | 0,0                                | 35,0          | 0,0          | 874,4          |
| ABR          | 278,7                              | 207,6         | 278,7        | 897,5          | 278,7                              | 211,3         | 278,7        | 897,5          |
| MAI          | 3,4                                | 798,1         | 3,4          | 1019,4         | 3,4                                | 799,8         | 3,4          | 1019,4         |
| JUN          | 135,9                              | 547,5         | 135,9        | 547,5          | 135,9                              | 547,5         | 135,9        | 547,5          |
| JUL          | 328,7                              | 965,1         | 328,7        | 965,1          | 328,7                              | 965,1         | 328,7        | 965,1          |
| AGO          | 75,5                               | 1528,0        | 75,5         | 1528,0         | 75,5                               | 1528,0        | 75,5         | 1528,0         |
| SET          | 28,3                               | 1725,6        | 28,3         | 1725,6         | 28,3                               | 1725,6        | 28,3         | 1725,6         |
| OUT          | 0,0                                | 1781,7        | 0,0          | 1781,7         | 0,0                                | 1781,7        | 0,0          | 1781,7         |
| NOV          | 0,0                                | 1500,4        | 0,0          | 1500,4         | 0,0                                | 1500,4        | 0,0          | 1500,4         |
| DEZ          | 0,0                                | 480,9         | 0,0          | 970,4          | 0,0                                | 483,9         | 0,0          | 970,4          |
| <b>ANUAL</b> | <b>850,6</b>                       | <b>9831,9</b> | <b>850,6</b> | <b>14060,5</b> | <b>850,6</b>                       | <b>9847,0</b> | <b>850,6</b> | <b>14060,5</b> |

|              | 0,5m                               |               | 4,0m         |                | 0,5m                               |               | 4,0m         |                |
|--------------|------------------------------------|---------------|--------------|----------------|------------------------------------|---------------|--------------|----------------|
|              | GRAUS-HORA ÚTEIS A 30% DE ABSORÇÃO |               |              |                | GRAUS-HORA ÚTEIS A 40% DE ABSORÇÃO |               |              |                |
|              | AQUECIMENTO                        | RESFRIAMENTO  | AQUECIMENTO  | RESFRIAMENTO   | AQUECIMENTO                        | RESFRIAMENTO  | AQUECIMENTO  | RESFRIAMENTO   |
| JAN          | 0,1                                | 249,1         | 0,1          | 1349,0         | 0,1                                | 227,0         | 0,1          | 1349,0         |
| FEV          | 0,0                                | 20,0          | 0,0          | 901,5          | 0,0                                | 15,3          | 0,0          | 901,5          |
| MAR          | 0,0                                | 35,3          | 0,0          | 874,4          | 0,0                                | 29,1          | 0,0          | 874,4          |
| ABR          | 278,7                              | 210,8         | 278,7        | 897,5          | 278,7                              | 186,0         | 278,7        | 897,5          |
| MAI          | 3,4                                | 797,7         | 3,4          | 1019,4         | 3,4                                | 767,2         | 3,4          | 1019,4         |
| JUN          | 135,9                              | 547,5         | 135,9        | 547,5          | 135,9                              | 547,5         | 135,9        | 547,5          |
| JUL          | 328,7                              | 965,1         | 328,7        | 965,1          | 328,7                              | 965,1         | 328,7        | 965,1          |
| AGO          | 75,5                               | 1528,0        | 75,5         | 1528,0         | 75,5                               | 1528,0        | 75,5         | 1528,0         |
| SET          | 28,3                               | 1725,6        | 28,3         | 1725,6         | 28,3                               | 1725,6        | 28,3         | 1725,6         |
| OUT          | 0,0                                | 1781,7        | 0,0          | 1781,7         | 0,0                                | 1781,7        | 0,0          | 1781,7         |
| NOV          | 0,0                                | 1500,4        | 0,0          | 1500,4         | 0,0                                | 1498,7        | 0,0          | 1500,4         |
| DEZ          | 0,0                                | 481,4         | 0,0          | 970,4          | 0,0                                | 441,7         | 0,0          | 970,4          |
| <b>ANUAL</b> | <b>850,6</b>                       | <b>9842,6</b> | <b>850,6</b> | <b>14060,5</b> | <b>850,6</b>                       | <b>9713,0</b> | <b>850,6</b> | <b>14060,5</b> |

|              | 0,5m                               |               | 4,0m         |                | 0,5m                               |               | 4,0m         |                |
|--------------|------------------------------------|---------------|--------------|----------------|------------------------------------|---------------|--------------|----------------|
|              | GRAUS-HORA ÚTEIS A 50% DE ABSORÇÃO |               |              |                | GRAUS-HORA ÚTEIS A 60% DE ABSORÇÃO |               |              |                |
|              | AQUECIMENTO                        | RESFRIAMENTO  | AQUECIMENTO  | RESFRIAMENTO   | AQUECIMENTO                        | RESFRIAMENTO  | AQUECIMENTO  | RESFRIAMENTO   |
| JAN          | 0,1                                | 136,5         | 0,1          | 1326,9         | 0,1                                | 40,6          | 0,1          | 1071,4         |
| FEV          | 0,0                                | 2,9           | 0,0          | 881,8          | 0,0                                | 0,0           | 0,0          | 670,1          |
| MAR          | 0,0                                | 7,7           | 0,0          | 856,9          | 0,0                                | 0,0           | 0,0          | 670,0          |
| ABR          | 278,7                              | 91,1          | 278,7        | 880,6          | 278,7                              | 10,2          | 278,7        | 696,5          |
| MAI          | 3,4                                | 645,3         | 3,4          | 1002,9         | 3,4                                | 453,6         | 3,4          | 810,4          |
| JUN          | 135,9                              | 547,5         | 135,9        | 538,6          | 135,9                              | 547,5         | 135,9        | 426,0          |
| JUL          | 328,7                              | 965,1         | 328,7        | 952,4          | 328,7                              | 965,1         | 328,7        | 779,5          |
| AGO          | 75,5                               | 1528,0        | 75,5         | 1513,3         | 75,5                               | 1528,0        | 75,5         | 1299,1         |
| SET          | 28,3                               | 1725,6        | 28,3         | 1708,4         | 28,3                               | 1725,6        | 28,3         | 1452,5         |
| OUT          | 0,0                                | 1781,7        | 0,0          | 1759,9         | 0,0                                | 1781,7        | 0,0          | 1442,2         |
| NOV          | 0,0                                | 1470,4        | 0,0          | 1479,1         | 0,0                                | 1392,0        | 0,0          | 1190,5         |
| DEZ          | 0,0                                | 309,8         | 0,0          | 952,2          | 0,0                                | 155,9         | 0,0          | 725,1          |
| <b>ANUAL</b> | <b>850,6</b>                       | <b>9211,5</b> | <b>850,6</b> | <b>13852,9</b> | <b>850,6</b>                       | <b>8600,3</b> | <b>850,6</b> | <b>11233,1</b> |

|              | 0,5m                               |               | 4,0m         |               | 0,5m                               |               | 4,0m         |               |
|--------------|------------------------------------|---------------|--------------|---------------|------------------------------------|---------------|--------------|---------------|
|              | GRAUS-HORA ÚTEIS A 70% DE ABSORÇÃO |               |              |               | GRAUS-HORA ÚTEIS A 80% DE ABSORÇÃO |               |              |               |
|              | AQUECIMENTO                        | RESFRIAMENTO  | AQUECIMENTO  | RESFRIAMENTO  | AQUECIMENTO                        | RESFRIAMENTO  | AQUECIMENTO  | RESFRIAMENTO  |
| JAN          | 0,1                                | 2,7           | 0,1          | 826,8         | 0,1                                | 0,0           | 0,1          | 607,3         |
| FEV          | 0,0                                | 0,0           | 0,0          | 476,8         | 0,0                                | 0,0           | 0,0          | 316,8         |
| MAR          | 0,0                                | 0,0           | 0,0          | 487,7         | 0,0                                | 0,0           | 0,0          | 333,5         |
| ABR          | 278,7                              | 0,0           | 278,7        | 517,6         | 278,7                              | 0,0           | 278,7        | 355,9         |
| MAI          | 3,4                                | 284,7         | 3,4          | 616,6         | 3,4                                | 163,4         | 3,4          | 433,2         |
| JUN          | 135,9                              | 545,5         | 135,9        | 309,7         | 135,9                              | 526,6         | 135,9        | 201,5         |
| JUL          | 328,7                              | 965,1         | 328,7        | 603,6         | 328,7                              | 965,1         | 328,7        | 438,4         |
| AGO          | 75,5                               | 1528,0        | 75,5         | 1082,1        | 75,4                               | 1528,0        | 75,5         | 878,8         |
| SET          | 28,3                               | 1725,6        | 28,3         | 1197,0        | 28,3                               | 1725,6        | 28,3         | 959,8         |
| OUT          | 0,0                                | 1781,7        | 0,0          | 1127,7        | 0,0                                | 1781,7        | 0,0          | 845,3         |
| NOV          | 0,0                                | 1266,2        | 0,0          | 913,9         | 0,0                                | 1110,3        | 0,0          | 665,5         |
| DEZ          | 0,0                                | 55,5          | 0,0          | 513,5         | 0,0                                | 18,1          | 0,0          | 338,9         |
| <b>ANUAL</b> | <b>850,6</b>                       | <b>8155,0</b> | <b>850,6</b> | <b>8673,0</b> | <b>850,5</b>                       | <b>7818,9</b> | <b>850,6</b> | <b>6374,8</b> |

|              | 0,5m                               |               | 4,0m         |               | 0,5m                                |               | 4,0m         |               |
|--------------|------------------------------------|---------------|--------------|---------------|-------------------------------------|---------------|--------------|---------------|
|              | GRAUS-HORA ÚTEIS A 90% DE ABSORÇÃO |               |              |               | GRAUS-HORA ÚTEIS A 100% DE ABSORÇÃO |               |              |               |
|              | AQUECIMENTO                        | RESFRIAMENTO  | AQUECIMENTO  | RESFRIAMENTO  | AQUECIMENTO                         | RESFRIAMENTO  | AQUECIMENTO  | RESFRIAMENTO  |
| JAN          | 0,1                                | 0,0           | 0,1          | 420,7         | 0,1                                 | 0,0           | 0,1          | 272,8         |
| FEV          | 0,0                                | 0,0           | 0,0          | 191,1         | 0,0                                 | 0,0           | 0,0          | 98,5          |
| MAR          | 0,0                                | 0,0           | 0,0          | 213,8         | 0,0                                 | 0,0           | 0,0          | 129,1         |
| ABR          | 278,7                              | 0,0           | 278,7        | 217,2         | 278,7                               | 0,0           | 278,7        | 109,3         |
| MAI          | 3,4                                | 78,8          | 3,4          | 269,6         | 3,4                                 | 33,4          | 3,4          | 135,2         |
| JUN          | 135,9                              | 493,1         | 135,9        | 115,2         | 135,9                               | 461,3         | 135,9        | 48,0          |
| JUL          | 328,7                              | 965,1         | 328,7        | 291,2         | 328,7                               | 965,1         | 328,7        | 161,4         |
| AGO          | 73,7                               | 1528,0        | 75,5         | 689,1         | 68,7                                | 1528,0        | 75,5         | 513,4         |
| SET          | 28,3                               | 1725,6        | 28,3         | 748,7         | 26,3                                | 1725,6        | 28,3         | 566,0         |
| OUT          | 0,0                                | 1781,7        | 0,0          | 606,2         | 0,0                                 | 1781,7        | 0,0          | 410,5         |
| NOV          | 0,0                                | 942,6         | 0,0          | 457,1         | 0,0                                 | 782,3         | 0,0          | 291,2         |
| DEZ          | 0,0                                | 3,3           | 0,0          | 200,1         | 0,0                                 | 0,0           | 0,0          | 98,3          |
| <b>ANUAL</b> | <b>848,8</b>                       | <b>7518,0</b> | <b>850,6</b> | <b>4420,1</b> | <b>841,9</b>                        | <b>7277,4</b> | <b>850,6</b> | <b>2833,7</b> |

## DADOS RESUMIDOS PARA Z08 - BELÉM

|              | GRAUS-HORA NECESSÁRIOS |                | GRAUS-HORA ÚTEIS COM EVAPOTRASNPIRAÇÃO |                |             |                | GRAUS-HORA ÚTEIS A 0% DE ABSORÇÃO |               |             |                |
|--------------|------------------------|----------------|--|----------------|-------------|----------------|-----------------------------------|---------------|-------------|----------------|
|              |                        |                | 0,5m                                   |                | 4,0m        |                | 0,5m                              |               | 4,0m        |                |
|              | AQUECIMENTO            | RESFRIAMENTO   | AQUECIMENTO                            | RESFRIAMENTO   | AQUECIMENTO | RESFRIAMENTO   | AQUECIMENTO                       | RESFRIAMENTO  | AQUECIMENTO | RESFRIAMENTO   |
| JAN          | 0                      | 703,3          | 0,0                                    | 683,6          | 0,0         | 703,3          | 0,0                               | 115,6         | 0,0         | 661,4          |
| FEV          | 0                      | 786,4          | 0,0                                    | 648,4          | 0,0         | 786,4          | 0,0                               | 91,9          | 0,0         | 743,9          |
| MAR          | 0                      | 949,9          | 0,0                                    | 812,3          | 0,0         | 949,9          | 0,0                               | 125,2         | 0,0         | 898,1          |
| ABR          | 0                      | 650,5          | 0,0                                    | 650,0          | 0,0         | 650,5          | 0,0                               | 168,1         | 0,0         | 612,2          |
| MAI          | 0                      | 901,9          | 0,0                                    | 901,9          | 0,0         | 901,9          | 0,0                               | 665,3         | 0,0         | 854,5          |
| JUN          | 0                      | 965,4          | 0,0                                    | 965,4          | 0,0         | 965,4          | 0,0                               | 965,4         | 0,0         | 915,3          |
| JUL          | 0                      | 1055,5         | 0,0                                    | 1055,5         | 0,0         | 1055,5         | 0,0                               | 1055,5        | 0,0         | 1005,1         |
| AGO          | 0                      | 1133,6         | 0,0                                    | 1133,6         | 0,0         | 1133,6         | 0,0                               | 1133,6        | 0,0         | 1081,3         |
| SET          | 0                      | 1198,1         | 0,0                                    | 1198,1         | 0,0         | 1198,1         | 0,0                               | 1198,1        | 0,0         | 1143,6         |
| OUT          | 0                      | 1137           | 0,0                                    | 1137,0         | 0,0         | 1137,0         | 0,0                               | 1137,0        | 0,0         | 1080,7         |
| NOV          | 0                      | 1071,8         | 0,0                                    | 1071,8         | 0,0         | 1071,8         | 0,0                               | 1053,2        | 0,0         | 1020,5         |
| DEZ          | 0                      | 790,9          | 0,0                                    | 790,9          | 0,0         | 790,9          | 0,0                               | 431,7         | 0,0         | 747,0          |
| <b>ANUAL</b> | <b>0</b>               | <b>11344,3</b> | <b>0,0</b>                             | <b>11048,5</b> | <b>0,0</b>  | <b>11344,3</b> | <b>0,0</b>                        | <b>8140,6</b> | <b>0,0</b>  | <b>10763,7</b> |

|              | GRAUS-HORA ÚTEIS A 10% DE ABSORÇÃO |               |             |                | GRAUS-HORA ÚTEIS A 20% DE ABSORÇÃO |               |             |                |
|--------------|------------------------------------|---------------|-------------|----------------|------------------------------------|---------------|-------------|----------------|
|              | 0,5m                               |               | 4,0m        |                | 0,5m                               |               | 4,0m        |                |
|              | AQUECIMENTO                        | RESFRIAMENTO  | AQUECIMENTO | RESFRIAMENTO   | AQUECIMENTO                        | RESFRIAMENTO  | AQUECIMENTO | RESFRIAMENTO   |
| JAN          | 0,0                                | 114,7         | 0,0         | 661,4          | 0,0                                | 114,7         | 0,0         | 661,4          |
| FEV          | 0,0                                | 90,9          | 0,0         | 743,9          | 0,0                                | 90,9          | 0,0         | 743,9          |
| MAR          | 0,0                                | 124,0         | 0,0         | 898,1          | 0,0                                | 124,0         | 0,0         | 898,1          |
| ABR          | 0,0                                | 167,3         | 0,0         | 612,2          | 0,0                                | 167,3         | 0,0         | 612,2          |
| MAI          | 0,0                                | 664,7         | 0,0         | 854,5          | 0,0                                | 664,7         | 0,0         | 854,5          |
| JUN          | 0,0                                | 965,4         | 0,0         | 915,3          | 0,0                                | 965,4         | 0,0         | 915,3          |
| JUL          | 0,0                                | 1055,5        | 0,0         | 1005,1         | 0,0                                | 1055,5        | 0,0         | 1005,1         |
| AGO          | 0,0                                | 1133,6        | 0,0         | 1081,4         | 0,0                                | 1133,6        | 0,0         | 1081,4         |
| SET          | 0,0                                | 1198,1        | 0,0         | 1143,6         | 0,0                                | 1198,1        | 0,0         | 1143,6         |
| OUT          | 0,0                                | 1137,0        | 0,0         | 1080,7         | 0,0                                | 1137,0        | 0,0         | 1080,7         |
| NOV          | 0,0                                | 1053,2        | 0,0         | 1020,5         | 0,0                                | 1053,2        | 0,0         | 1020,5         |
| DEZ          | 0,0                                | 430,9         | 0,0         | 747,0          | 0,0                                | 430,9         | 0,0         | 747,0          |
| <b>ANUAL</b> | <b>0,0</b>                         | <b>8135,3</b> | <b>0,0</b>  | <b>10763,7</b> | <b>0,0</b>                         | <b>8135,3</b> | <b>0,0</b>  | <b>10763,7</b> |

|              | 0,5m                               |               | 4,0m        |                | 0,5m                               |               | 4,0m        |                |
|--------------|------------------------------------|---------------|-------------|----------------|------------------------------------|---------------|-------------|----------------|
|              | GRAUS-HORA ÚTEIS A 30% DE ABSORÇÃO |               |             |                | GRAUS-HORA ÚTEIS A 40% DE ABSORÇÃO |               |             |                |
|              | AQUECIMENTO                        | RESFRIAMENTO  | AQUECIMENTO | RESFRIAMENTO   | AQUECIMENTO                        | RESFRIAMENTO  | AQUECIMENTO | RESFRIAMENTO   |
| JAN          | 0,0                                | 114,7         | 0,0         | 661,3          | 0,0                                | 98,6          | 0,0         | 624,9          |
| FEV          | 0,0                                | 90,9          | 0,0         | 743,8          | 0,0                                | 76,7          | 0,0         | 708,3          |
| MAR          | 0,0                                | 123,9         | 0,0         | 898,0          | 0,0                                | 104,9         | 0,0         | 853,9          |
| ABR          | 0,0                                | 167,3         | 0,0         | 612,1          | 0,0                                | 149,6         | 0,0         | 579,1          |
| MAI          | 0,0                                | 664,6         | 0,0         | 854,4          | 0,0                                | 628,4         | 0,0         | 814,8          |
| JUN          | 0,0                                | 965,4         | 0,0         | 915,2          | 0,0                                | 965,4         | 0,0         | 871,3          |
| JUL          | 0,0                                | 1055,5        | 0,0         | 1005,0         | 0,0                                | 1055,5        | 0,0         | 959,9          |
| AGO          | 0,0                                | 1133,6        | 0,0         | 1081,2         | 0,0                                | 1133,6        | 0,0         | 1034,0         |
| SET          | 0,0                                | 1198,1        | 0,0         | 1143,5         | 0,0                                | 1198,1        | 0,0         | 1094,1         |
| OUT          | 0,0                                | 1137,0        | 0,0         | 1080,5         | 0,0                                | 1137,0        | 0,0         | 1030,3         |
| NOV          | 0,0                                | 1053,1        | 0,0         | 1020,4         | 0,0                                | 1041,2        | 0,0         | 974,2          |
| DEZ          | 0,0                                | 430,9         | 0,0         | 747,0          | 0,0                                | 399,8         | 0,0         | 708,9          |
| <b>ANUAL</b> | <b>0,0</b>                         | <b>8135,0</b> | <b>0,0</b>  | <b>10762,4</b> | <b>0,0</b>                         | <b>7988,8</b> | <b>0,0</b>  | <b>10253,8</b> |

|              | 0,5m                               |               | 4,0m        |               | 0,5m                               |               | 4,0m        |               |
|--------------|------------------------------------|---------------|-------------|---------------|------------------------------------|---------------|-------------|---------------|
|              | GRAUS-HORA ÚTEIS A 50% DE ABSORÇÃO |               |             |               | GRAUS-HORA ÚTEIS A 60% DE ABSORÇÃO |               |             |               |
|              | AQUECIMENTO                        | RESFRIAMENTO  | AQUECIMENTO | RESFRIAMENTO  | AQUECIMENTO                        | RESFRIAMENTO  | AQUECIMENTO | RESFRIAMENTO  |
| JAN          | 0,0                                | 18,9          | 0,0         | 469,4         | 0,0                                | 0,0           | 0,0         | 302,4         |
| FEV          | 0,0                                | 2,1           | 0,0         | 557,9         | 0,0                                | 0,0           | 0,0         | 395,4         |
| MAR          | 0,0                                | 8,1           | 0,0         | 668,5         | 0,0                                | 0,0           | 0,0         | 472,3         |
| ABR          | 0,0                                | 48,4          | 0,0         | 438,0         | 0,0                                | 3,7           | 0,0         | 288,9         |
| MAI          | 0,0                                | 434,4         | 0,0         | 643,3         | 0,0                                | 249,5         | 0,0         | 448,1         |
| JUN          | 0,0                                | 948,6         | 0,0         | 680,6         | 0,0                                | 893,5         | 0,0         | 468,1         |
| JUL          | 0,0                                | 1055,5        | 0,0         | 762,3         | 0,0                                | 1055,5        | 0,0         | 537,5         |
| AGO          | 0,0                                | 1133,6        | 0,0         | 828,9         | 0,0                                | 1133,6        | 0,0         | 596,1         |
| SET          | 0,0                                | 1198,1        | 0,0         | 881,3         | 0,0                                | 1198,1        | 0,0         | 641,1         |
| OUT          | 0,0                                | 1137,0        | 0,0         | 819,6         | 0,0                                | 1137,0        | 0,0         | 589,9         |
| NOV          | 0,0                                | 961,9         | 0,0         | 777,0         | 0,0                                | 837,6         | 0,0         | 556,1         |
| DEZ          | 0,0                                | 227,4         | 0,0         | 543,4         | 0,0                                | 97,4          | 0,0         | 365,6         |
| <b>ANUAL</b> | <b>0,0</b>                         | <b>7173,9</b> | <b>0,0</b>  | <b>8070,3</b> | <b>0,0</b>                         | <b>6606,0</b> | <b>0,0</b>  | <b>5661,5</b> |

|              | 0,5m                               |               | 4,0m        |               | 0,5m                               |               | 4,0m        |               |
|--------------|------------------------------------|---------------|-------------|---------------|------------------------------------|---------------|-------------|---------------|
|              | GRAUS-HORA ÚTEIS A 70% DE ABSORÇÃO |               |             |               | GRAUS-HORA ÚTEIS A 80% DE ABSORÇÃO |               |             |               |
|              | AQUECIMENTO                        | RESFRIAMENTO  | AQUECIMENTO | RESFRIAMENTO  | AQUECIMENTO                        | RESFRIAMENTO  | AQUECIMENTO | RESFRIAMENTO  |
| JAN          | 0,0                                | 0,0           | 0,0         | 167,0         | 0,0                                | 0,0           | 0,0         | 68,9          |
| FEV          | 0,0                                | 0,0           | 0,0         | 249,8         | 0,0                                | 0,0           | 0,0         | 131,9         |
| MAR          | 0,0                                | 0,0           | 0,0         | 298,0         | 0,0                                | 0,0           | 0,0         | 158,2         |
| ABR          | 0,0                                | 0,0           | 0,0         | 161,0         | 0,0                                | 0,0           | 0,0         | 71,9          |
| MAI          | 0,0                                | 118,7         | 0,0         | 265,8         | 0,0                                | 43,8          | 0,0         | 123,2         |
| JUN          | 0,0                                | 808,9         | 0,0         | 269,6         | 0,0                                | 704,2         | 0,0         | 110,6         |
| JUL          | 0,0                                | 1055,5        | 0,0         | 327,2         | 0,0                                | 1055,5        | 0,0         | 149,1         |
| AGO          | 0,0                                | 1133,6        | 0,0         | 373,3         | 0,0                                | 1133,6        | 0,0         | 187,2         |
| SET          | 0,0                                | 1198,1        | 0,0         | 417,6         | 0,0                                | 1198,1        | 0,0         | 231,2         |
| OUT          | 0,0                                | 1137,0        | 0,0         | 375,8         | 0,0                                | 1137,0        | 0,0         | 192,7         |
| NOV          | 0,0                                | 684,9         | 0,0         | 350,3         | 0,0                                | 524,9         | 0,0         | 181,5         |
| DEZ          | 0,0                                | 24,3          | 0,0         | 211,5         | 0,0                                | 2,1           | 0,0         | 93,1          |
| <b>ANUAL</b> | <b>0,0</b>                         | <b>6160,9</b> | <b>0,0</b>  | <b>3466,9</b> | <b>0,0</b>                         | <b>5799,2</b> | <b>0,0</b>  | <b>1699,5</b> |

|              | 0,5m                               |               | 4,0m        |              | 0,5m                                |               | 4,0m        |              |
|--------------|------------------------------------|---------------|-------------|--------------|-------------------------------------|---------------|-------------|--------------|
|              | GRAUS-HORA ÚTEIS A 90% DE ABSORÇÃO |               |             |              | GRAUS-HORA ÚTEIS A 100% DE ABSORÇÃO |               |             |              |
|              | AQUECIMENTO                        | RESFRIAMENTO  | AQUECIMENTO | RESFRIAMENTO | AQUECIMENTO                         | RESFRIAMENTO  | AQUECIMENTO | RESFRIAMENTO |
| JAN          | 0,0                                | 0,0           | 0,0         | 16,4         | 0,0                                 | 0,0           | 0,0         | 1,8          |
| FEV          | 0,0                                | 0,0           | 0,0         | 53,0         | 0,0                                 | 0,0           | 0,0         | 9,4          |
| MAR          | 0,0                                | 0,0           | 0,0         | 61,8         | 0,0                                 | 0,0           | 0,0         | 14,0         |
| ABR          | 0,0                                | 0,0           | 0,0         | 19,8         | 0,0                                 | 0,0           | 0,0         | 0,7          |
| MAI          | 0,0                                | 10,7          | 0,0         | 36,8         | 0,0                                 | 0,8           | 0,0         | 4,0          |
| JUN          | 0,0                                | 597,1         | 0,0         | 20,2         | 0,0                                 | 494,3         | 0,0         | 1,0          |
| JUL          | 0,0                                | 1055,5        | 0,0         | 34,1         | 0,0                                 | 1055,5        | 0,0         | 1,1          |
| AGO          | 0,0                                | 1133,6        | 0,0         | 65,6         | 0,0                                 | 1133,6        | 0,0         | 11,9         |
| SET          | 0,0                                | 1198,1        | 0,0         | 91,6         | 0,0                                 | 1198,1        | 0,0         | 20,5         |
| OUT          | 0,0                                | 1131,0        | 0,0         | 69,3         | 0,0                                 | 1114,1        | 0,0         | 13,2         |
| NOV          | 0,0                                | 382,5         | 0,0         | 65,8         | 0,0                                 | 277,3         | 0,0         | 12,2         |
| DEZ          | 0,0                                | 0,0           | 0,0         | 22,1         | 0,0                                 | 0,0           | 0,0         | 1,2          |
| <b>ANUAL</b> | <b>0,0</b>                         | <b>5508,5</b> | <b>0,0</b>  | <b>556,7</b> | <b>0,0</b>                          | <b>5273,7</b> | <b>0,0</b>  | <b>91,0</b>  |

## **ANEXO**

### **Mídia digital com arquivos climáticos**