

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**  
**FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO**  
**PROGRAMA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO**  
**MESTRADO EM ARQUITETURA E URBANISMO**

**CAMINHOS BIOCLIMÁTICOS: DESEMPENHO AMBIENTAL DE VIAS  
PÚBLICAS NA CIDADE DE TERESINA - PI.**

**CAIO FREDERICO E SILVA**

**BRASÍLIA**

**2009**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**  
**FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO**  
**PROGRAMA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO**  
**MESTRADO EM ARQUITETURA E URBANISMO**

**CAMINHOS BIOCLIMÁTICOS: DESEMPENHO AMBIENTAL DE VIAS  
PÚBLICAS NA CIDADE DE TERESINA - PI.**

**CAIO FREDERICO E SILVA**

**ORIENTADORA: PROF.<sup>a</sup> DR.<sup>a</sup> MARTA ADRIANA BUSTOS ROMERO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pesquisa e Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília como requisito para a obtenção do título de mestre.

**BRASÍLIA**

**2009**

**TERMO DE APROVAÇÃO****CAIO FREDERICO E SILVA****CAMINHOS BIOCLIMÁTICOS: DESEMPENHO AMBIENTAL DE VIAS  
PÚBLICAS NA CIDADE DE TERESINA - PI.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pesquisa e Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília como requisito para a obtenção do título de mestre.

---

**Orientadora Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Marta Adriana Bustos Romero – Universidade de Brasília**

---

**Prof. Dr. Rodrigo Studart Corrêa – Universidade de Brasília**

---

**Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Ana Lúcia Ribeiro Camilo da Silveira – Universidade Federal do Piauí**

**Brasília, Fevereiro de 2009**

**DEDICATÓRIA**

À minha avó e professora

**Maria da Paz**

Ao meu avô e mestre de obras

**Wenceslau Assunção**

## AGRADECIMENTOS

À **Deus** e à **Nossa Senhora de Lourdes** pelas bênçãos durante toda minha trajetória,

À toda minha **família**, pelo apoio e incentivo durante o mestrado e sempre. Em especial à minha mãe **Francisca**, ao meu irmão **Conrado** e às minhas tias **Rosário** e **Jesus** (madrinhas) e às tias **Graça**, **Penha**, **Socorro** e aos tios **Pedro** e **Plínio** (padrinho).

À Professora **Marta Romero** pela dedicada orientação e pelo crescimento intelectual proporcionado.

À família “de Brasília” **Giuliana**, **Ana Paula**, **Geraldo**, **Márcia**, **Jean**, **Cláudia**, **George**, **Socorro**, **Sena** e **filhos**.

Aos amigos da UnB, em especial ao **Daniel Reis**, **Liza**, **Juan Carlos**, **Ana Zerbini** e **André Tunes**.

Aos amigos de Teresina, particularmente à **Gisele**, **Bruno**, **Fernanda**, **Sílvia**, **Plínio**, **Denise**, **Eky**, **Igor** e **Allan**.

Aos assessores para as medições de campo: **Aldo**, **Jardel**, **Jamaira**, **Pedro Neto** (primos) e **Lelé**, **Jéssica**, **Ana Rosa**, **Anderson Mourão** e **João Neto** (amigos)

Às mestres **Karenina Matos**, **Wilza Lopes**, **Ana Lúcia**, queridas professoras da UFPI, pelo exemplo.

Ao professor **Rodrigo Studart** (UnB) pela contribuição desde a qualificação.

Aos colegas **Aderson** e **Aldo Jean** pelos dados da Embrapa.

Às colegas **Simone** e Prof.<sup>a</sup> **Eleonora** (UFMG) pela oportunidade de utilizar o Envi-Met.

Às colegas **Lorena** e **Luana** pelo apoio nos gráficos e nas simulações computacionais.

Aos funcionários do PPG **João**, **Raquel**, **Júnior** e **Anderson**, pelo apoio e disponibilidade.

Ao **LaSUS** (Unb), **LACAM** (UnB), **LUPA**(UFPI) e ao **Instituto Camillo Filho** pelo apoio técnico e equipamentos disponibilizados para as medições de campo.

Ao **CNPQ** pela bolsa de estudos.

## A rua

Toda rua tem seu curso  
Tem seu leito de água clara  
Por onde passa memória  
Lembrando histórias de um tempo  
Que não acaba  
De uma rua, de uma rua  
Eu lembro agora  
Que o tempo ninguém mais  
Ninguém mais canta  
Muito embora de cirandas  
(oi, de cirandas)  
E de meninos correndo  
Atrás de bandas  
Atrás de bandas que passavam  
Como o rio Parnaíba  
Rio manso  
Passava no fim da rua  
E molhava seus lajedos  
Onde a noite refletia  
O brilho manso  
O tempo claro da rua...

**Torquato Neto<sup>1</sup>**

---

<sup>1</sup> Poeta piauiense conhecido nacionalmente como “anjo torto” tem relevante destaque na produção nacional da época da Tropicália.

## RESUMO

Este trabalho trata do desempenho ambiental da arborização urbana inserida na via pública. São destacadas, como objeto de estudo, avenidas da cidade de Teresina – Piauí, caracterizada por possuir clima tropical subúmido. Tem, como principal objetivo, a função de contribuir com diretrizes gerais de desenho urbano bioclimático para a produção de um espaço público mais confortável climaticamente. Para isso, discute-se o microclima gerado nas vias públicas, a partir da conformação da arborização e das calçadas deste espaço urbano, relacionando-se os diversos fatores que determinam este microclima urbano, tais como a topografia, o revestimento do solo, a vegetação, a presença de barreiras, pois estes alteram, sobretudo, a incidência dos raios solares e de ventilação. O estudo foca nas ruas, nas quais se percebe que a quantidade de superfície impermeável e a quantidade de superfície sombreada são determinantes para a criação de microclimas diferenciados. A estrutura de trabalho apresenta, na introdução, uma problematização do tema, com justificativa, objetivos, delimitação e procedimentos metodológicos. Na seqüência, o primeiro capítulo trata dos eixos conceituais desenvolvidos nesta dissertação: configuração, arborização e clima urbanos, apresentando os principais autores que discutem o contexto e as inter-relações desses temas. Já no segundo capítulo, encontra-se um panorama da cidade de Teresina, apresentando o seu cenário ambiental e urbano e a caracterização das avenidas estudadas. O terceiro e último capítulo é destinado aos resultados meteorológicos e às análises dos resultados, incluindo aqueles obtidos através das simulações computacionais realizadas no software ENVI-met, especializado em simulações climáticas de áreas urbanas. Como conclusão, a pesquisa demonstra que o espaço público das vias possui seu microclima diferenciado de acordo com a quantidade e conformação de arborização que possui, assim como pela influência da composição de seus materiais urbanos. Por fim, são apresentadas como alternativas algumas diretrizes gerais de desenho urbano bioclimático, visando a um melhor conforto térmico para o espaço público das vias urbanas.

**Palavras-chave:** Arborização; Espaço Público; Microclima

## ABSTRACT

This paper deals with the environmental performance of urban arborization in the thoroughfare. Avenues of Teresina-Piauí, characterized as a sub-humid tropical city, are highlighted as the object of study. As its main goal, the study contributes general guidelines for bioclimatic urban design, aiming to produce a climatically more comfortable public space. For this purpose, it discusses the microclimate created on thoroughfares by the configuration of stocks and sidewalks in urban spaces, and links up the various factors determining the urban microclimate, such as topography, surface soil, vegetation, the existence of barriers etc., as long as these factors are specially responsible for changing the incidence of sunlight and ventilation. This paper focuses on streets, where it is possible to perceive that the amount of impervious surface and shaded area is determinative to the creation of different microclimates. The framework of the study presents, in the introduction, problematic issues on the theme, real evidence justifying the importance of the work, objectives, delimitation and methodological procedures. That part is followed by the first chapter, which outlines the main concepts developed in this thesis: configuration /conformation, arborization and urban climates, pointing out the most well-known authors who discuss the context and interrelations of these issues. In the second chapter, there is a sketch of Teresina, introducing its environment and urban scenery, besides characterizing the studied avenues. The third and last chapter is devoted to the exposure and analysis of results, including those obtained through computer simulations carried out with ENVI-met, a software specialized in climate simulations of urban areas. As a conclusion, the research indicates thoroughfares in public spaces are places where microclimate properties are determined by the quantity and shape of urban vegetation, as well as the influence of material composition in urban structures. Finally, some alternatives are presented as general guidelines for bioclimatic urban design, aimed at providing better thermal comfort in the public space of thoroughfares.

**Keywords:** Arborization; Public Space; Microclimate.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esquemática do método de pesquisa.	06
Figura 2 – Escalas do clima segundo Oke.	22
Figura 3 – Mesoescala, a camada limite urbana.	23
Figura 4 – Escala Local.	23
Figura 5 – Microescala.	23
Figura 6 – Zoneamento Bioclimático Brasileiro.	24
Figura 7 – A espécie arbórea e a radiação solar.	28
Figura 8 – Mapa urbano de Teresina – 1852.	32
Figura 9 – Imagem de satélite do centro original da cidade em 2008.	32
Figura 10 – Mapa datado de 1855, inauguração da cidade de Teresina.	33
Figura 11 - Vista aérea de Teresina em 1940.	34
Figura 12 – Avenida Frei Serafim com início atrás da Igreja de São Benedito.	35
Figura 13 – Avenida Frei Serafim com arborização de Oitizeiros.	35
Figura 14 – Imagem da Cidade de Teresina – Com destaque para área urbanizada.	37
Figura 15 – Mapa Axial da cidade de Teresina.	45
Figura 16 – Imagem de satélite. Eixo Centro-Leste de crescimento da cidade em vermelho.	46
Figura 17 – Imagem de Satélite da cidade de Teresina – Pontos estudados	49
Figura 18 – Localização e Azimute da Área 1	50
Figura 19 – Avenida Santos Dumont– Caminho para o Aeroporto.	51
Figura 20 – Avenida Santos Dumont em 2008.	51
Figura 21 – Isométrica da área 1.	51
Figura 22 – Perspectiva da área 1.	52
Figura 23 – Ponto 1 – Avenida Santos Dumont – Corte e Planta esquemáticos.	52
Figura 24 – Localização e Azimute da área 2.	54
Figura 25 – Avenida Frei Serafim acesso principal a zona Leste da cidade.	54
Figura 26 – Pavimentação do canteiro central da avenida Frei Serafim.	55
Figura 27 – Canteiro central da avenida Frei Serafim em 2008.	55
Figura 28 – Isométrica da área 2.	56
Figura 29 – Perspectiva da área 2.	56
Figura 30 – Ponto 2 – Avenida Frei Serafim – Corte e Planta esquemáticos.	57
Figura 31 – Localização e Azimute da área 3	58
Figura 32 – Ponte Juscelino Kubitschek e vista da zona Leste da cidade de Teresina.	59
Figura 33 – Avenida João XXIII sentido Leste – saída da cidade – BR 343.	59
Figura 34 – Ponto 3 – Avenida João XXIII – Corte e Planta esquemáticos.	60
Figura 35 – Isométrica da área 3.	61
Figura 36 – Perspectiva da área 3.	61
Figura 37 – Aparelhos portáteis utilizados nas medições <i>in loco</i> . a: termohigrômetro; b: termômetro infravermelho; c: anemômetro; d: biruta.	64
Figura 38 – Interface do programa ENVI-Met 3.0.1.	93
Figura 39 – Dados básicos de parâmetros a serem simulados.	93
Figura 40 – Arquivo de configuração básica para Teresina.	94
Figura 41 – Área 1 – Satélite.	95
Figura 42 – Área 1 – AutoCAD.	95
Figura 43 – Entrada de dados no ENVI-met da área 1 – Vegetação e Edificação.	96

Figura 44 – Entrada de dados no ENVI-met da área 1 – Revestimento do Solo.	96
Figura 45 – Área 2 – Satélite.	97
Figura 46 – Área 2 – AutoCAD.	97
Figura 47 – Entrada de dados no ENVI-met da área 2 – Vegetação e Edificação.	98
Figura 48 – Entrada de dados no ENVI-met da área 2 – Revestimento do Solo.	98
Figura 49 – Área 3 – Satélite.	99
Figura 50 – Área 3 – AutoCAD.	99
Figura 51 – Entrada de dados no ENVI-met da área 3 – Vegetação e Edificação.	100
Figura 52 – Entrada de dados no ENVI-met da área 3 – Revestimento do Solo.	100
Figura 53 – Área 3 (hipotética) – AutoCAD.	101
Figura 54 – Entrada de dados no ENVI-met da área 3 (hipotética) – Vegetação e Edificação.	101
Figura 55 – Entrada de dados no ENVI-met da área 3 (hipotética) – Revestimento do Solo.	102
Figura 56 – Interface do programa Leonardo 3.75.	102
Figura 57 – Simulação da Área 1 – 9h.	105
Figura 58 – Simulação da Área 2 – 9h.	106
Figura 59 – Simulação da Área 3 – 9h.	107
Figura 60 – Simulação da Área 3 (hipotética) – 9h.	108
Figura 61 – Simulação da área 1 – 15h.	110
Figura 62 – Simulação da área 2 – 15h.	111
Figura 63 – Simulação da área 3 – 15h.	112
Figura 64 – Simulação da área 3 – hipotética – 15h.	113
Figura 65 – Simulação da área 1 – 21h.	114
Figura 66 – Simulação da área 2 – 21h.	115
Figura 67 – Simulação da área 3 – 21h.	116
Figura 68 – Simulação da área 3 - hipotética – 21h.	117
Figura 69 – Simulação de ventilação na área 1 – 9h.	119
Figura 70 – Simulação de ventilação na área 2 – 9h.	120
Figura 71 – Simulação da ventilação na área 3 – 9h.	120
Figura 72 – Simulação da ventilação na área 3 – hipotética – 9h.	121
Figura 73 – Simulação da ventilação na área 1 – 15h.	122
Figura 74 – Simulação da ventilação na área 2 – 15h.	123
Figura 75 – Simulação da ventilação na área 3 – 15h.	124
Figura 76 – Simulação da ventilação na área 3 - hipotética – 15h	125
Figura 77 – Simulação da ventilação na área 1 – 21h	126
Figura 78 – Simulação da ventilação na área 2 – 21h	127
Figura 79 – Simulação da ventilação na área 3 – 21h	127
Figura 80 – Simulação da ventilação na área 3 - hipotética – 21h	128

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Categorização de Espaços segundo Relação W/H.	14
Quadro 2 – Albedo de algumas superfícies.	17
Quadro 3 – Espaços climáticos de acordo com as Estratégias de Análise.	18
Quadro 4 – Escalas climáticas e graus de atuação.	21
Quadro 5 – Tipologias vegetais arbustivas e arbóreas.	29
Quadro 6 – Árvores quanto ao porte.	29
Quadro 7 – Árvores quanto à densidade de sombreamento.	29
Quadro 8 – Variações de temperatura sob vegetação em espaços abertos (°C).	29
Quadro 9 – Variações de umidade sob vegetação em espaços abertos (%).	30
Quadro 10– Síntese do Desenvolvimento Urbano de Teresina.	35
Quadro 11 – Listagem das espécies vegetais nativas presentes na flora de	38
Quadro 12 – Temperatura do ar em Teresina (PI) período de 1961-1990.	42
Quadro 13 – Elementos e fatores climáticos em Teresina – PI.	43
Quadro 14 – Cidades Brasileiras com seus índices de integração e inteligibilidade.	44
Quadro 15 – Fatores relacionados ao conforto térmico	47
Quadro 16 – Quadro Geral de Dados Meteorológicos. Coletados em 8 de Outubro	66
Quadro 17 – Quadro Geral de Dados Meteorológicos. Coletados em 9 Outubro	66
Quadro 18 – Quadro Geral de Dados Meteorológicos. Coletados em 21 de Março	67
Quadro 19 – Quadro Geral de Dados Meteorológicos. Coletados em 22 de Março	67
Quadro 20 – Dados sensoriais registrados no mês de outubro	68
Quadro 21 – Dados sensoriais registrados no mês de março	68
Quadro 22 – Quadro-síntese do resultado dos dados climáticos do mês de outubro	90
Quadro 23 – Quadro-síntese do resultado dos dados climáticos	91
Quadro 24 – Quadro-síntese do resultado das simulações realizadas	129

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Conversão de valores de temperatura das 9 h de Kelvin (K) para Celsius (°C).	104
Tabela 2 – Conversão de valores de temperatura das 15 h de Kelvin (K) para Celsius	109
Tabela 3 – Conversão de valores de temperatura das 21 h de Kelvin (K) para Celsius	113
Tabela 4 – Variação de valores de velocidade do vento nas 9 h.	118
Tabela 5 – Variação de valores de velocidade do vento nas 15 h.	122
Tabela 6 – Variação de valores de velocidade do vento nas 21 h.	125

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Temperatura do ar em Teresina (PI) período de 1961-1990	41
Gráfico 2 - Umidade relativa do ar em Teresina (PI) período de 1962-1990	41
Gráfico 3 – Distribuição dos materiais urbanos na área 1.	53
Gráfico 4 – Distribuição de Vegetação e outros materiais urbanos na área 1.	53
Gráfico 5 – Distribuição dos materiais urbanos na área 2.	57
Gráfico 6 – Distribuição de Vegetação e outros materiais urbanos na área 2.	57
Gráfico 7 – Distribuição dos materiais urbanos na área 3.	62
Gráfico 8 – Distribuição de Vegetação e outros materiais urbanos na área 3.	62
Gráfico 9 – Temperatura do ar (°C) em 08/10/2007.	69
Gráfico 10 – Temperatura do ar (°C) em 09/10/2007.	70
Gráfico 11 – Temperatura do ar (°C) em 21/03/2008.	71
Gráfico 12 – Temperatura do ar (°C) em 22/03/2008.	71
Gráfico 13 – Umidade do ar (%) em 08/10/2007.	72
Gráfico 14 – Umidade do ar (%) em 09/10/2007.	73
Gráfico 15 – Umidade do ar (%) em 21/03/2008.	74
Gráfico 16 – Umidade do ar (%) em 22/03/2008.	74
Gráfico 17 – Velocidade do vento (m/s) em 08/10/2007.	75
Gráfico 18 – Velocidade do vento (m/s) em 09/10/2007.	76
Gráfico 19 – Velocidade do vento (m/s) em 21/03/2008.	76
Gráfico 20 – Velocidade do vento (m/s) em 22/03/2008.	77
Gráfico 21 – Temperatura superficial (°C) em 08/10/2007.	78
Gráfico 22 – Temperatura superficial (°C) em 08/10/2007.	78
Gráfico 23 – Temperatura superficial (°C) em 21/03/2008.	79
Gráfico 24 – Temperatura superficial (°C) em 22/03/2008.	79
Gráfico 25 – Inter-relação entre temperatura do ar e umidade do ar na área 1.	80
Gráfico 26 – Relação de proporção inversa entre temperatura do ar e umidade do ar na área 1	81
Gráfico 27 – Inter-relação entre temperatura do ar e umidade do ar na área 1	81
Gráfico 28 – Inter-relação entre temperatura do ar e velocidade do vento na área 1	82
Gráfico 29 – Relação de proporção direta entre temperatura do ar e temperatura superficial na área 1	82
Gráfico 30 – Inter-relação entre temperatura do ar e temperatura superficial na área 1	83
Gráfico 31 – Relação de proporção inversa entre temperatura do ar e umidade do ar na área 2	84
Gráfico 32 – Inter-relação entre temperatura do ar e umidade do ar na área 2	84
Gráfico 33 – Inter-relação entre temperatura do ar e velocidade do vento na área 2	85
Gráfico 34 – Inter-relação entre temperatura do ar e velocidade do vento na área 2	85
Gráfico 35 – Relação de proporção direta entre temperatura do ar e temperatura superficial na área 2	86
Gráfico 36 – Inter-relação entre temperatura do ar e temperatura superficial na área 2	86
Gráfico 37 – Relação de proporção inversa entre temperatura do ar e umidade do ar na área 3	87
Gráfico 38 – Inter-relação entre temperatura do ar e umidade do ar na área 3	87
Gráfico 39 – Inter-relação entre temperatura do ar e velocidade do vento na área 3	88
Gráfico 40 – Inter-relação entre temperatura do ar e velocidade do vento na área 3	88
Gráfico 41 – Relação de proporção direta entre temperatura do ar e temperatura superficial na área 3	89
Gráfico 42 – Inter-relação entre temperatura do ar e temperatura superficial na área 3	89

**LISTA DE SIGLAS**

<b>ABNT</b>	Associação Brasileira de Normas Técnicas
<b>ANTAC</b>	Associação Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído
<b>CNPQ</b>	Conselho Nacional de Pesquisa
<b>EMBRAPA</b>	Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias
<b>ENCAC</b>	Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído
<b>ENEPEA</b>	Encontro Nacional de Ensino de Paisagismo em Escolas de Arquitetura do Brasil
<b>FAU</b>	Faculdade de Arquitetura e Urbanismo
<b>ICF</b>	Instituto Camillo Filho
<b>INMET</b>	Instituto Nacional de Meteorologia
<b>LACAM</b>	Laboratório de Conforto Ambiental
<b>LASUS</b>	Laboratório de Sustentabilidade Aplicada à Arquitetura e ao Urbanismo
<b>LUPA</b>	Laboratório Urbano da Paisagem
<b>NBR</b>	Normas Brasileiras
<b>OMM</b>	Organização Meteorológica Mundial
<b>OMS</b>	Organização Mundial de Saúde
<b>PLURIS</b>	Congresso Luso Brasileiro para o Planejamento Urbano Integrado e Sustentável
<b>PPG</b>	Programa de Pesquisa e Pós-Graduação
<b>RGB</b>	Red, Green and Blue
<b>UFMG</b>	Universidade Federal de Minas Gerais
<b>UFPI</b>	Universidade Federal do Piauí
<b>UNB</b>	Universidade de Brasília

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>01</b>
Estrutura da dissertação	07
<b>1 CONFIGURAÇÃO, VEGETAÇÃO E CLIMA URBANOS</b>	<b>10</b>
1.1 Contexto urbano e inter-relações	10
1.2 Configuração urbana	11
1.3 Clima urbano	15
1.4 Vegetação urbana	25
<b>2 PERFIL AMBIENTAL URBANO DA CIDADE DE TERESINA</b>	<b>31</b>
2.1 Uma breve história da cidade de Teresina	31
2.2 Caracterização da vegetação de Teresina	36
2.2.1 Arborização nativa	38
2.3 Caracterização climática da cidade de Teresina	40
2.4 Configuração urbana da cidade de Teresina	43
2.5 Caracterização do objeto de estudo	46
2.5.1 Localização do objeto de estudo	48
2.5.2 Avenida Santos Dumont – Área 1	50
2.5.3 Avenida Frei Serafim – Área 2	53
2.5.4 Avenida João XXIII – Área 3	58
<b>3 DESEMPENHO AMBIENTAL DA ARBORIZAÇÃO URBANA EM VIAS PÚBLICAS: RESULTADOS E SIMULAÇÕES</b>	<b>63</b>
3.1 Análise das variáveis climáticas	64
3.1.1. Temperatura do ar	69
3.1.2 Umidade relativa do ar (%)	71
3.1.3 Velocidade do vento (m/s)	74
3.1.4 Temperatura superficial das calçadas	77

3.1.5 Inter-relação entre os parâmetros	79
3.2 Simulações de Desempenho Ambiental	91
3.2.1 Entrada de dados no programa	93
3.2.2 Simulação de Temperatura	103
3.2.2.1 Simulações no horário da manhã (9 h)	104
3.2.2.2 Simulações no horário da tarde (15 h)	108
3.2.2.3 Simulações no horário da noite (21 h)	113
3.2.3 Simulações de velocidade do vento	117
3.2.3.1 – Simulações no horário da manhã (9 h)	118
3.2.3.2 – Simulações no horário da tarde (15 h)	121
3.2.3.3 Simulações de ventilação no horário da noite (21 h)	125
<b>4 CONCLUSÃO</b>	<b>130</b>
<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>136</b>

## INTRODUÇÃO

Nos centros urbanos, a vegetação é responsável, entre outros aspectos, pela melhoria do conforto ambiental, atuando na redução da temperatura e contribuindo para a estabilidade emocional e o conforto psicológico, além de proporcionar ambientes para lazer, descanso e recreação.

O processo de urbanização modifica substancialmente os ecossistemas naturais, aumentando a temperatura, reduzindo a umidade, além de alterar a composição química da atmosfera, o que acarreta a criação de microclimas. Estes, por sua vez, apresentam condições de habitabilidade e sustentabilidade nem sempre satisfatórias e apontam a vegetação como um dos fatores que podem ser usados para reverter ou minimizar estas conseqüências.

Muitos dos problemas causados pelo processo de urbanização estão intimamente relacionados ao microclima, o que tem feito crescer o número de pesquisas sobre o desempenho climático dos espaços urbanos. Isto é justificável, uma vez que as variáveis do clima urbano afetam não somente os espaços abertos, mas atuam de forma clara nos espaços construídos, repercutindo diretamente no conforto dos usuários.

Para o estabelecimento de um microclima mais confortável, a vegetação contribui de forma significativa, tendendo a estabilizar os efeitos do clima sobre seus arredores imediatos e reduzindo os extremos ambientais. Os processos mais comuns pelos quais a vegetação interfere na composição do microclima são a amenização da temperatura e o aumento da umidade relativa do ar, por meio do sombreamento, e, indiretamente, por evapotranspiração.

O uso da vegetação através da arborização urbana, por exemplo, é um recurso eficiente contra o calor nas cidades tropicais de clima subúmido, pois, além de fornecer sombreamento, permite a passagem da brisa local e absorve de maneira eficaz a radiação térmica de onda longa sobre as folhas refrescadas pela evaporação, podendo, ainda, canalizar o vento e filtrar o ar. A arborização substitui, com vantagens, qualquer sistema de sombreamento, inclusive nos climas úmidos, atuando nos microclimas

urbanos, contribuindo para o controle da radiação solar, da temperatura, da umidade do ar, da ação dos ventos e da chuva.

Os espaços vegetados dentro do contexto urbano, muitas vezes, estão concentrados em grandes parques urbanos, deixando de lado o tecido urbano para a implantação da arborização, e criando, assim, um sistema viário empobrecido ambientalmente e desconfortável climaticamente. Dessa forma, a carência de vegetação integrada ao sistema viário torna o espaço das vias um dos ambientes menos confortáveis.

A ausência da vegetação, aliada ao uso de materiais com maiores coeficientes de absorção e emissão de energia térmica, tem alterado substancialmente o clima dos centros urbanos, devido à incidência da radiação solar nas áreas urbanizadas. Conseqüentemente, por meio da vegetação é possível realizar modificações nas escalas meso e microclimática. Assim, a arborização urbana pode atenuar os efeitos das “ilhas de calor”, que tendem a se formar no espaço urbano e influem nas condições bioclimáticas de cada lugar.

Entretanto, na maioria das cidades brasileiras não existem ações que visem a arborização urbana de forma estruturada, que insiram a vegetação nas vias públicas de forma a buscar microclimas mais confortáveis termicamente. A retirada das poucas unidades arbóreas existentes é uma constante e, em geral, aparece justificada por representarem sinal de perigo à população, ou por não se compatibilizarem com as infra-estruturas urbanas, ou simplesmente para dar lugar a novas edificações.

Essas atitudes repercutem na pouca ocorrência de espaços verdes, que resulta em diversas conseqüências para a vida nas cidades. Quase sempre, ruas estreitas significam redução de ventilação natural, aumento de temperatura e concentração de poluentes. Ausência de vegetação acarreta menor sombreamento, maior quantidade de partículas poluentes em suspensão no ar, menos habitats para pássaros, pequenos mamíferos, insetos ou répteis e, ainda, menor retenção e infiltração de águas da chuva (Penteado e Alvarez, 2006).

Em cidades de clima tropical subúmido, a arborização urbana assume grande relevância bioclimática. Dessa forma, estudos que quantifiquem e qualifiquem a contribuição da vegetação no espaço público da cidade têm amplo significado social, cultural e científico.

Assim sendo, este estudo se volta para a quantificação dos ganhos em conforto com o uso da arborização no sistema viário público. Para isso, as pesquisas focam em análises objetivas sobre a qualidade ambiental das cidades, o que representa importante subsídio norteador de futuras intervenções nos espaços públicos. E, ainda, serve de fundamentação teórica para nortear planos urbanos que visem, como ação prioritária, à arborização urbana adaptada à infra-estrutura - sistema viário - e às condições bioclimáticas de cada lugar.

Neste sentido, propõe-se o presente estudo, que analisa a contribuição da vegetação no conforto térmico de vias urbanas. A vegetação, sendo um fator climático local, tem papel de amenizadora do clima e é uma das responsáveis pela criação de microclimas mais confortáveis. São analisadas vias por estas representarem o espaço público de circulação de todos os usuários. Como estudos de caso, são selecionadas três vias da cidade de Teresina – PI, representando seu sistema viário. A cidade em questão possui clima tropical subúmido, com características marcantes de inverno quente e seco e de verão quente e chuvoso.

A presença de áreas vegetadas no ambiente urbano é de extrema importância na manutenção do conforto do espaço público. A arborização tem o poder de amenizar a temperatura através da evapotranspiração, do sombreamento, que impede um maior aquecimento superficial, e, ainda, através do suprimento de ar fresco e úmido, quando ventos ou brisas provêm desses espaços vegetados.

O espaço público torna-se mais facilmente pertencente à população quando é adaptado ao lugar. Desta forma, vias arborizadas compõem paisagens confortáveis termicamente e assumem, aos poucos, caráter socialmente sustentável, participando da identidade da cidade.

Relacionar a idéia de conforto e bem estar à sombra das árvores é uma iniciativa bastante positiva e de compreensão imediata por toda a população. Assim sendo, faz-se necessária a criação de espaços públicos vegetados verdadeiramente eficientes para o conforto ambiental dos habitantes da cidade.

Verifica-se, deste modo, que é a partir da existência de áreas vegetadas que muitos problemas são amenizados ou resolvidos e, portanto, a cobertura vegetal dos espaços urbanizados, tanto em termos qualitativo como quantitativo, deve levar em consideração

sua correta distribuição espacial nos sistemas urbanos, assim como no sistema viário, por sua representatividade no desenho da cidade. Dessa forma, a proporção adequada de vegetação dentro do tecido urbano deve ser cuidadosamente considerada para uma avaliação positiva da qualidade do espaço público.

O presente trabalho apresenta a análise do desempenho ambiental de vias públicas da cidade de Teresina com o objetivo geral de contribuir para o desenho de espaços com conforto térmico no ambiente urbano da cidade de Teresina. Para a concretização do objetivo geral, são traçados os objetivos específicos de elaborar diretrizes de desenho bioclimático para vias públicas da cidade de Teresina em três componentes - as vias, os canteiros centrais e as calçadas laterais -; estabelecer a melhor espacialização da arborização urbana das vias públicas; e formular uma metodologia de estudos com o software de simulação bioclimática ENVI-met.

O grande tema deste trabalho está inserido no contexto do desempenho ambiental, que pode ser entendido também como eficiência ambiental. No entanto, para esclarecer a abordagem que se pretende, limita-se, inicialmente, à contribuição da vegetação para o conforto térmico. No entanto, o espaço foco para as análises são aqueles destinados ao pedestre, dentro do contexto de vias públicas: as calçadas. Assim, tem-se um estudo focado na contribuição da vegetação para o conforto térmico de vias públicas.

Esta preocupação é coerente, tendo em vista que, ao longo do processo de desenvolvimento de grande parte das cidades brasileiras, o adensamento urbano reservou poucos vazios que representassem oportunidades de lazer e preservação de recursos naturais. Os sítios disponíveis encontram-se isolados, cercados por ruas e avenidas que, por sua vez, possuem pouco espaço para pedestres, menos ainda para ciclistas e pequena possibilidade de arborização (Penteado e Alvarez, 2006).

Este cenário representa um espaço urbano desarticulado com a paisagem natural, o que vem sendo um dos principais desafios a serem vencidos pelos gestores e planejadores urbanos. Neste sentido, com o intuito de discutir teorias inerentes a estas questões, são apresentados conceitos referentes aos sistemas urbanos e vias públicas (Panerai, 2006; Mascaró, 2005), paisagem, ambiente e vegetação no contexto urbano (Mascaró, 2000, Macedo, 1999, Salviati, 2003), clima (Givoni, 1969; Oke, 1997; Olgyay, 1998;

Mendonça e Monteiro, 2003) e suas interrelações, discutidos em duas escalas de abordagem, da macro para a microescala.

Na escala macro, representando a grande plataforma da cidade, o sistema viário possui grande relevância dentre os sistemas urbanos, pois representa 50% dos custos da urbanização, ocupa parcela importante do solo urbano (entre 20 e 25%) e, uma vez implantado, é o subsistema que mais dificuldade apresenta para aumentar sua capacidade, em razão do solo que ocupa, dos custos que envolve e das dificuldades operativas que sua alteração cria (Medeiros, 2006).

Ainda na grande escala, existem diversos estudos acerca da arborização urbana, sobretudo no que tange às infra-estruturas urbanas (Mascaró, 2001). Há, também, linhas de estudo de caráter mais ecológico, que discutem potencialidades da arborização no que tange a temática da requalificação ambiental ou revegetação (Corrêa, 2006) e, ainda, o foco no planejamento e na criação de corredores ecológicos (Penteado e Alvarez, 2006). No entanto, este estudo fixa sua atenção na escala micro, em que a arborização é entendida como mecanismo de redução de temperatura através da sombra de sua copa, do aumento da umidade relativa do ar e do conseqüente ganho de conforto ambiental para o usuário.

Há alguns estudos nesse sentido, que focam na contribuição da vegetação para o conforto, quando agrupada em praças e parques (Duarte et al, 2007). Estudos como este são freados, muitas vezes, quando há necessidade de inventário sobre a vegetação existente ou tem abrangência reduzida, sendo focados apenas na sua finalidade paisagística. Em grande parte dos casos, as espécies vegetais não são estudadas quanto a sua disposição na via, nem sua contribuição bioclimática enquanto verde urbano neste contexto de arborização viária.

Neste trabalho, é estudada a contribuição bioclimática da arborização inserida no contexto urbano da paisagem das ruas e avenidas, com o intuito de subsidiar planos de arborização urbana pública mais eficazes.

Assim, vê-se que a discussão deste trabalho gira em torno do desempenho dessa arborização inserida no tecido urbano da cidade. A abordagem microclimática se dá quando são discutidos aspectos objetivos de locação da arborização no espaço público e desenho das vias. O intuito é trazer, para a escala da rua, a compatibilização da área da

arborização urbana utilizada, especificamente, como princípio de conforto ambiental térmico.

É importante afirmar, ainda, que este estudo não pretende determinar a espécie arbórea ou tipologia de vegetação ideal para um determinado padrão de rua. No entanto, tem o desafio de obter a contribuição efetiva da arborização localizada na rua para o conforto ambiental, assim como estabelecer a melhor espacialização da arborização urbana no sistema de circulação urbana, traduzindo a correta configuração do verde urbano, inserida na escala da rua, no contexto do clima tropical subúmido do Brasil.

De modo a esclarecer os procedimentos metodológicos adotados nesta pesquisa, esquematiza-se um pequeno roteiro no qual são seguidos alguns passos de análise organizados em cinco momentos e classificados para efeito didático: 1º - Revisão bibliográfica; 2º - Definição das vias; 3º - Caracterização climática da cidade de Teresina; 4º - Parametrização; e 5º - Desempenho e diretrizes. (Figura 1).

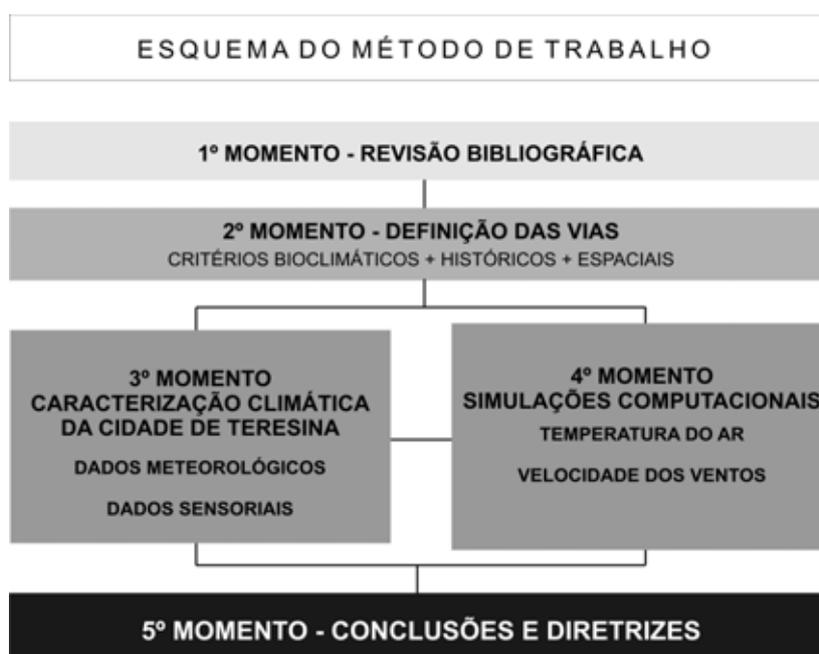


Figura 1 – Esquematização do método de pesquisa

Esta proposta metodológica está reorganizada no próximo tópico, destinado à estrutura da dissertação, no qual são definidos os eixos de discussão de cada capítulo. Como forma de esclarecimento, indica-se que detalhamentos metodológicos utilizados para este trabalho estão localizados nos tópicos de análise no decorrer dos capítulos.

## **Estrutura da dissertação**

Esta dissertação está organizada em cinco partes, separadas em introdução, três capítulos teóricos e conclusão, detalhadas a seguir:

Inicialmente, na introdução, elenca-se o problema no qual gira a discussão apresentada neste trabalho, assim como sua delimitação de abordagem, os objetivos geral e específico, culminando nos procedimentos metodológicos e neste tópico, que resume a estrutura da dissertação.

No primeiro capítulo, de abordagem estritamente teórica, são apresentados os eixos temáticos a título de revisão bibliográfica, contendo os teóricos que antecedem a temática desenvolvida na dissertação. Para isso, são apresentadas referências teóricas acerca do estado do conhecimento da metodologia conceitual, que, para efeito didático, são subdivididos em três eixos temáticos: vias, clima e vegetação. Referindo-se a clima urbano e microclima, são abordados os conceitos de Oke (2007), Mendonça e Monteiro (2003), Monteiro (2008); nos princípios de desenho adaptado ao lugar têm-se Olgyay (1998) e Romero (2000); para bioclimatismo e conforto térmico discutem-se Givoni (1969), Romero (2000 e 2001), Silveira (1999 e 2007) e Duarte et al (2007); para vegetação e arborização urbana observam-se os trabalhos de Riginato e Labaki (2003), Mascaró (2000), Mascaró e Mascaró (2002), Mascaró (2001, 2005 e 2008), Correa (2007) e Penteado e Alvarez (2006); e, para sistema de vias, utilizam-se os conceitos de Stanford (1989), Del Rio (1990), Panerai (2006) e Lynch (1997).

No segundo capítulo da dissertação, são apresentadas a cidade de Teresina e as áreas de estudo. Inicialmente, é traçada uma ampla caracterização do espaço ambiental urbano da cidade e, em seguida, um detalhamento acerca do sistema viário de Teresina. Dentro de uma abordagem da macroescala, é feita a análise de imagem de satélite da área urbanizada da cidade de Teresina utilizando-se ferramentas do (ArcGis)<sup>2</sup>, por meio das quais se lêem as áreas antropizadas na macro escala da cidade, que definem o local de estudo com uma abordagem mais específica. A partir desse conhecimento acumulado, é

---

<sup>2</sup> O software ArcGis é um aplicativo de georeferenciamento utilizado na análise geográfica. O mesmo destaca o uso e a ocupação do espaço urbano, demonstrando, através de legendas-padrão, áreas vegetadas, áreas de solo exposto e áreas construídas.

apresentada simulação urbana no *software* Depth-Map<sup>3</sup>, que destaca, no sistema de ruas de Teresina, coeficientes de integração e conectividade das vias com o sistema urbano da cidade, contribuindo, na definição de vias de estudo, aquelas que obtêm maiores índices de conectividade e integração, pois são as vias que representam os lugares mais vivenciados. Nesse sentido, este procedimento metodológico, desenvolvido por Hillier (1996) e seguido por Holanda (2002), é fundamental para o entendimento do principal eixo de crescimento da cidade.

No momento em que são apresentadas as áreas de estudo, são definidos parâmetros de análise a partir de desenhos esquemáticos, fotografias e programas gráficos, que classificam as vias estudadas a partir dos fatores climáticos locais: vegetação, superfície do solo e topografia.

No terceiro capítulo, são apresentados e analisados os resultados que configuram uma ampla caracterização climática das áreas estudadas nesta pesquisa. Para a caracterização climática da cidade de Teresina, é utilizada literatura especializada e consulta aos dados da estação climatológica INMET - Instituto Nacional de Meteorologia /Área de Irrigação EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias/Meio Norte além de dados históricos (30 anos) da estação convencional do INMET – Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2007, 2008; Lima e Assunção, 2002).

Para a coleta de dados na microescala, prossegue-se com a realização de medições de temperatura, umidade do ar e velocidade dos ventos, em locais definidos, nos horários definidos pela Organização Meteorológica Mundial, às 9 h, 15 h e 21 h, em dois dias consecutivos, considerando os períodos seco e chuvoso, utilizando-se de equipamentos portáteis, tais como termohigrômetro, termômetro infravermelho, anemômetro e biruta. A partir dos dados coletados, prossegue-se com a comparação entre os dados obtidos nas estações meteorológicas e aqueles dados obtidos nas vias em estudo.

---

<sup>3</sup> *Software* de sintaxe espacial que destaca a conectividade e integração das vias no sistema viário da cidade de Teresina. Esta ferramenta computacional gera um mapa de axialidades (eixos viários), representando toda a rede de ruas da cidade. De modo didático, o sistema gera um gradiente de cores, partindo das tonalidades frias, que representam as vias menos integradas e conectadas ao sistema viário, para, em oposição, as tonalidades quentes, que representam as vias mais integradas e conectadas ao sistema viário da cidade.

É feita, também, a representação do perfil microclimático dos diferentes pontos estudados, a partir dos dados meteorológicos coletados, em contraponto aos dados meteorológicos históricos da cidade de Teresina (INMET, 2008).

Na segunda parte deste terceiro capítulo, de forma a validar a situação microclimática de cada área de estudo, são apresentadas simulações computacionais desenvolvidas no *software* especializado em análise ambiental e bioclimática, o ENVI-Met<sup>4</sup>, cuja modelagem é baseada nas leis fundamentais da dinâmica de fluidos e da termodinâmica; além deste, é utilizado o *software* Leonardo 3.75<sup>5</sup>, como aporte para a representação dos resultados obtidos. Para isso, baseia-se nas metodologias de Duarte et al (2007), o qual utiliza simulações paramétricas que exploram as diferentes formas de distribuição verde no espaço e seu impacto em diferentes configurações urbanas, a fim de verificar as reduções da temperatura e o aumento da umidade do ar, e de Silveira (2005), que simula o desempenho da ventilação urbana no espaço livre.

Por fim, a Conclusão aborda as considerações finais acerca do desempenho ambiental das vias estudadas e elenca diretrizes gerais para o desenho urbano bioclimático. Assim, a partir das análises efetuadas e do conhecimento teórico apreendido dos capítulos anteriores são elaboradas diretrizes urbanísticas de desenho bioclimático para as vias públicas da cidade de Teresina.

---

<sup>4</sup> O *software* ENVI-met foi elaborado por Michael Bruse, pesquisador do Departamento de Geografia da Universidade de Bochum – Alemanha. As versões disponíveis são a 3.0, desde 2004, e 3.1, inaugurada em março de 2008, sendo, esta última, a versão utilizada nas simulações desta dissertação.

<sup>5</sup> O *software* Leonardo 3.75 foi criado para subsidiar a apresentação gráfica dos resultados simulados no *software* ENVI-met. A versão 3.75, utilizada para as simulações apresentadas nesta dissertação, possui uma interface mais amigável que a versão anterior, o que facilita a geração de mapas e diagramas de representação dos resultados.

## 1 CONFIGURAÇÃO, CLIMA E VEGETAÇÃO URBANOS

O capítulo 1, ora denominado “Configuração, Clima e Vegetação Urbanos”, desenvolve a base conceitual utilizada nesta dissertação. Neste capítulo são apresentados os eixos temáticos, a modo de revisão bibliográfica dos pesquisadores que antecipam os questionamentos teóricos deste trabalho, os quais estão anunciados no título do capítulo. Apresentam-se os teóricos que discutem a temática desenvolvida na dissertação, que, para efeito didático, está subdividida em três eixos temáticos: **vias, clima e vegetação**.

Referindo-se à configuração urbana e ao sistema de vias, são utilizados os conceitos de Lamas (1999), Stanford (1989), Del Rio (1990), Panerai (2006) e Lynch (1997); para clima urbano e microclima, os conceitos de Oke (2007), Mendonça e Monteiro (2003), Monteiro e Alucci (2008); para conceitos referentes a princípios de desenho adaptado ao lugar têm-se Olgyay (1998) e Romero (2000); para bioclimatismo e conforto térmico, discutiram-se Givoni (1969), Romero (2000 e 2001), Silveira (1999 e 2007), Duarte et al (2008); e, por fim, para vegetação e arborização urbana, observam-se os trabalhos de Riginato e Labaki (2003), Mascaró et al (2000), Mascaró (2002), Mascaró (2001, 2005 e 2008), Corrêa (2006), Corrêa et al (2008) e Penteadó e Alvarez (2007).

### 1.1 Contexto urbano e inter-relações

Com o crescente desenvolvimento urbano, advindo do crescimento populacional das cidades, o planejamento do espaço público tem se dado de forma desorganizada e desarticulada entre a paisagem urbana e seu contexto físico, social e ambiental. Assim, Pippi et al (2003) esclarecem que a falta de integração entre a cidade e o meio ambiente natural tem acarretado a degeneração e degradação dos espaços urbanizados.

Vê-se que grandes problemas urbanos se dão pelo contínuo tratamento desconexo entre a **configuração, o clima e a vegetação** urbanos. Tratando-se da qualidade arquitetônica do espaço público, esses três elementos, aqui representados pelas **vias** (símbolo da configuração urbana), **microclima** (contexto climático para a escala da rua) e

**arborização** (principal estratégia bioclimática de vegetação urbana), são considerados, ao mesmo tempo, contexto e determinantes da configuração. No entanto, entende-se que devem ser inter-relacionados para que se obtenham adequadas proporções de vegetação urbana dentro da configuração do tecido urbano, num contexto climático específico, a fim de ser efetivada sua contribuição para a melhoria do conforto ambiental.

Toda a configuração urbana e, principalmente, sua conformação por materiais urbanos, contribuem na formação dos microclimas diferenciados no contexto da cidade. No meio urbanizado, por exemplo, quanto maior a área de concreto, asfalto e pavimentação (materiais com maiores coeficientes de absorção da radiação solar e emissão de energia térmica), e menor a cobertura vegetal, maiores são os ganhos de calor da massa edificada e maior é, também, a emissividade desta massa para o espaço urbano, o que contribui para temperaturas mais elevadas, incremento de ilha de calor e, conseqüentemente, temperaturas mais elevadas no espaço urbano, causando um maior desconforto para o usuário dos espaços urbanos.

## **1.2 Configuração urbana**

Neste primeiro contato com os eixos temáticos trabalhados nesta dissertação, vê-se que o entendimento da configuração urbana passa pelo conhecimento de conceitos de elementos da composição da forma urbana, que, para Panerai (2006), podem ser traduzidos como o sistema viário (representado pela via), o lote e a edificação. Neste trabalho, focaliza-se a via como principal elemento configuracional da forma urbana, enquanto o lote e a edificação são interpretados como entorno imediato da via. Assim sendo, compõe-se, no conceito de Romero (2001), a superfície fronteira do principal espaço livre de uso público.

Observa-se, então, que a via é o principal contexto onde se estabelecem inúmeras relações e interferências ambientais, como a arborização e a criação de microclimas específicos. Para isso, torna-se necessária a conceituação deste elemento fundamental no tecido urbano, a via, que, para (Stanford, 1981, p. 297), constitui o espaço de acesso público e um subsistema organizativo da cidade.

De modo complementar a este conceito, e para o melhor entendimento do conceito de via, torna-se necessário o entendimento global dos elementos integrantes do tecido urbano, que, para Panerai (2006), é constituído pela superposição ou imbricação de três conjuntos: a rede de vias, os parcelamentos fundiários e as edificações. A totalidade das vias compõe o espaço público: ruas e vielas, bulevares e avenidas, largos e praças, passeios e esplanadas, cais e pontes, mas também rios e canais, margens e praias. Esse conjunto organiza-se em rede, a fim de permitir a distribuição e a circulação.

O sistema viário é entendido aqui como local de encontro de fluxos de toda ordem – pessoas, mercadorias, veículos, informações – reunindo uma variada quantidade de atividades terciárias (comércio e serviços, cultura, lazer, educação, saúde, administração pública, turismo, etc.).

Assim, percebe-se que o sistema viário possui grande relevância dentre os sistemas urbanos. Nos estudos de Mascaró (2005) acerca dos sistemas urbanos, vê-se que o sistema viário representa 50% dos custos na urbanização, ocupa parcela importante do solo urbano (entre 20 e 25%) e que, uma vez implantado, é o subsistema que mais dificuldade apresenta para aumentar sua capacidade, por causa do solo que ocupa, dos custos que envolvem e das dificuldades operativas que cria a sua alteração. Outra informação relevante é que o sistema viário constitui o subsistema mais vinculado aos usuários, pois, enquanto os outros sistemas conduzem fluidos, este conduz pessoas e veículos (Mascaró, 2005).

Conceitualmente,

vias são os canais de circulação ao longo dos quais o observador se locomove de modo habitual, ocasional ou potencial. Podem ser ruas, alamedas, linhas de trânsito, canais, ferrovias. Para muitas pessoas, são elas os elementos predominantes em sua imagem. Os habitantes de uma cidade observam-na à medida que se locomovem por ela, e, ao longo dessas vias, os outros elementos ambientais se organizam e se relacionam. (Lynch, 1997, p. 52).

A partir do conceito abordado por Lynch (1997), vê-se que as ruas oferecem ricas potencialidades de uso. Logo, sua importância significativa enquanto símbolo do espaço público oferece, também, possíveis alternativas de intervenção, podendo transferir valor pedagógico para o usuário do espaço.

Seguindo-se a metodologia de análise urbana de Panerai (2006), é destacada a preocupação da relação entre o traçado das vias e o sítio geográfico, inserindo-se a preocupação bioclimática no foco da análise.

De modo amplo, a configuração urbana é resultado das relações estabelecidas pelo homem entre a morfologia da massa edificada e a morfologia dos espaços exteriores, e entre estas e a superfície do solo. Oliveira (1985) esclarece que características tais como rugosidade, porosidade, tamanho, (dimensões horizontal e vertical), ocupação do solo e orientação são as características da forma urbana que mais influem nas condições de conforto térmico e qualidade do ar.

Relacionando as características da configuração urbana com as do contexto climático, vê-se que estas podem representar alterações fracas ou intensas na conformação do clima urbano, através da sua maior ou menor influência no desempenho de um ou mais elementos climáticos, além de existirem os condicionantes morfológicos e ambientais do sítio.

O estudo em questão levou em consideração o tecido urbano como o principal elemento conformador dos espaços úteis para a população, tendo a rua como fiel representante do espaço público. Oliveira (1985) explica que, dessa forma, quanto aos efeitos climáticos produzidos, três elementos são muito importantes no uso do tecido urbano: a concentração/dispersão de atividades, a centralização/descentralização e a proporção de áreas verdes.

Nesse contexto, o tecido urbano mostra-se como local apropriado para a implementação de áreas vegetadas. Porém, são escassos os estudos que esclarecem a correta distribuição desses espaços vegetados nas cidades. Acontece que o sistema viário, muitas vezes, torna-se o mais pobre ambientalmente, pois o foco da arborização, na maior parte das vezes, concentra-se em parques e praças, senão em espaços residuais e privados.

Além dos estudos referentes ao nível do solo, as análises desenvolvidas neste trabalho levam em consideração fronteiras e barreiras ao espaço público, representados pelas edificações lindeiras à rua. Para isso, são analisados os gabaritos dos edifícios e as caixas viárias, para, a partir daí, observar o impacto da radiação solar no clima próximo à superfície terrestre e sua proporcionalidade à altura dos edifícios e ao espaço entre

eles, que, segundo Romero (2001), constitui a razão W/H, sendo W a distância entre os edifícios e H a altura desses.

De modo esquemático, vê-se que o resultado da proporção entre a distância dos prédios e a altura destes possibilita a classificação dos espaços urbanos em três formas: claustrofóbicos, de recolhimento e expansivos (Quadro 1).

CATEGORIZAÇÃO DE ESPAÇOS		
claustrofóbicos	de recolhimento	expansivos
absorvem calor muito acima do nível do solo. Existe um amortecimento do ciclo térmico e normalmente a temperatura permanece estável (calor ou frio) durante o dia e só é alterada por um fator extremo	a absorção de calor se dá próxima ao nível do solo. Existe uma menor possibilidade de inversão térmica, ou seja, a temperatura no interior dos edifícios tende a ser igual à da parte exterior.	a maior parte da radiação é refletida. Há a possibilidade de inversão térmica é mínima e a temperatura no interior dos edifícios tende a ser igual à exterior

Quadro 1 – Categorização de Espaços segundo Relação W/H  
Adaptado de Romero (2000)

Além de identificar a disposição dos blocos que caracterizam a morfologia urbana local, a relação W/H está diretamente ligada à quantidade de radiação absorvida pelas edificações, uma vez que o edifício armazena radiação de ondas curtas, aumentando a energia solar absorvida, devido às várias reflexões. Lamberts et al (1997) enfatiza a importância de se projetar o espaço externo, levando em conta todas as funções que ali se realizarão. O simples fato de haver posicionamento dos volumes edificadas no espaço já é responsável por originar microclimas diferentes.

Dentro do contexto das escalas urbanas, insere-se a preocupação de Lamas (1999) com a dimensão setorial do lugar, o qual afirma que a escala da rua é a menor unidade, ou porção do espaço urbano, com forma própria. Assim, ilustra esta escala de abordagem como sendo a rua ou a praça.

Historicamente, para a configuração urbana, o traçado é um dos elementos mais claramente identificáveis, tanto na forma de uma cidade como no gesto de a projetar. Além disso, constitui uma estrutura multifuncional, pois se assenta num suporte geográfico preexistente, regula a disposição dos edifícios e quarteirões, liga os vários espaços e parte da cidade e se confunde com o gesto criador. Prova disso é o casco

urbano derivado dos assentamentos militares das antigas cidades romanas, que provinham da disposição de dois traçados ortogonais: *cardus e decumanos maximus*.

O traçado apresenta informações próprias da cultura e sociedade que habita em cada lugar, assim como reflete as transformações pelas quais passam as cidades.

Para Poète, Lavedan, Tricart, o traçado tem um caráter de permanência, não totalmente modificável, que lhe permite resistir às transformações urbanas. Prova disso é encontrarmos o traçado urbano ainda visível em muitas cidades. Assim, o traçado estabelece a relação mais direta de assentamento entre a cidade e o território. Na análise de Poète, a rua ou o traçado relaciona-se diretamente com a formação e crescimento da cidade de modo hierarquizado, em função da importância funcional da deslocação, do percurso, e da mobilidade de bens, pessoas, idéias. (Lamas, 2000, p. 100).

Tem-se, então, que é o traçado o responsável pela definição do plano, intervindo na organização da forma urbana em diferentes dimensões. Ademais, o traçado tem importância vital na orientação dos usuários em qualquer cidade.

### **1.3 Clima urbano**

Um segundo componente necessário para esse estudo se refere ao clima que, segundo os trabalhos de Romero (2000), se traduz em: topo, meso e microclima; bioclimatismo; princípios de desenho adaptado ao clima e microclima urbano, além dos fatores climáticos locais entendidos como a vegetação, topografia e o revestimento do solo.

Borges (2006) cita que é importante saber que os estudos científicos sobre o clima urbano tiveram início ainda no século XIX, na Europa, com o trabalho de Luke Howard sobre o clima da cidade de Londres, publicado pela primeira vez em 1818, no qual este observou que as temperaturas do ar são, freqüentemente, mais altas na cidade que na área rural em sua volta. Oliveira (1985) complementa que hoje estas modificações são vistas como situadas em um contexto climático maior, variando quanto às dimensões do espaço geográfico/atmosférico e quanto ao dinamismo das atividades desenvolvidas pelo homem nas cidades.

O clima urbano pode ser considerado como uma categoria específica, uma vez que o clima local, numa cidade, é diferente do encontrado em uma área não construída, destacando-se que:

O clima local numa cidade é influenciado pelos materiais constituidores da superfície urbana, muito diferentes dos materiais das superfícies não construídas. Os materiais urbanos possuem uma capacidade térmica mais elevada que a dos materiais das áreas do entorno e são melhores condutores. A superfície urbana apresenta um aspecto mais rugoso que as superfícies não construídas, acarretando maior fricção entre a superfície e os ventos que a atravessam. Ao mesmo tempo, as superfícies das edificações atuam como refletoras e radiadoras que, em seu conjunto, aumentam os efeitos da radiação incidente. (Romero, 2001, p. 46)

Silva (1999, p. 2) complementa, abordando que “o clima urbano é resultante da ação do homem sobre a organização do espaço urbano, ocasionando mudança na rugosidade, porosidade e permeabilidade do solo, alterando a cobertura vegetal e o relevo (supressões e/ou inserções ambientais)”.

No processo de urbanização, os materiais de construção utilizados possuem propriedades físicas distintas do solo natural, apresentando menor valor de albedo<sup>6</sup> (coeficiente de refletância), maior capacidade calorífica<sup>7</sup> e valor elevado de condutividade térmica<sup>8</sup>. Tais características resultam na modificação do balanço da radiação, influenciando, sobretudo, no aumento da temperatura e na redução da umidade do ar, o que prejudica a qualidade bioclimática desses espaços. (Quadro 2).

<i>Tipo de superfície</i>	<i>Albedo</i>
Solo negro e seco	14
Solo negro e úmido	8
Solo nu	7-20
Areia	15-25
Gramados	15-30
Concreto seco	17-27
Asfalto	5-10

Quadro 2 - Albedo de algumas superfícies

Adaptado de Mendonça (2007, p.35).

<sup>6</sup> Albedo é a medida da quantidade de radiação solar refletida por um corpo ou uma superfície. É calculado como sendo a razão entre a quantidade de radiação refletida pela quantidade de radiação recebida. (Romero, 2000).

<sup>7</sup> Capacidade térmica ou capacidade calorífica é a [grandeza física](#) que determina a [variação térmica](#) de um corpo ao receber determinada quantidade de [calor](#). O valor da capacidade térmica é correspondente à quantidade de calor necessária para elevar a temperatura do corpo em uma unidade de [variação de temperatura](#). (Wikipédia, 2009, disponível em [www.wikipedia.org.br](http://www.wikipedia.org.br) acesso em 15/fev/2009).

<sup>8</sup> Condutividade térmica é uma propriedade [física](#) dos [materiais](#) que é descrita como a habilidade dos mesmos de conduzir [calor](#). Condutividade térmica equivale a quantidade de calor  $Q$  transmitida através de uma espessura  $L$ , numa direção normal à superfície de área  $A$ , devido a uma variação de temperatura  $\Delta T$ , sob condições de estado fixo e quando a transferência de calor é dependente apenas da variação de temperatura. (Wikipédia, 2009, disponível em [www.wikipedia.org.br](http://www.wikipedia.org.br) acesso em 15/fev/2009).

Prova disso é o fato de que as maiores temperaturas no centro urbano ocorrem onde existe maior incidência de concreto, cimento e pavimentação asfáltica, compondo densas áreas. As propriedades físicas dos materiais constituintes da massa edificada, da vegetação e das superfícies, pavimentadas ou não, dentro da estrutura urbana - que influem na quantidade de energia térmica acumulada e irradiada para a sua atmosfera, contribuindo para aumentar as temperaturas urbanas - são expressas, principalmente, pelo albedo (Castelo Branco, 2002).

De modo amplo, vê-se que o clima urbano é gerado pela geografia da cidade e pela sua urbanização. Assim, para caracterizar o clima urbano, torna-se necessário estudar a dinâmica da cidade e seus componentes geológicos e ecológicos, assim como também as escalas de atuação das características ambientais. Vê-se que o clima urbano gera fenômenos que dependem das condições da região, como o efeito das ilhas de calor, por exemplo, que se traduzem em realidades desconfortáveis climaticamente, de acordo com interpretação dos estudos de Silveira (2007) e Mendonça e Monteiro (2003).

Givoni (1969) afirma que o clima de uma região é determinado pelo modelo de variações de diversos elementos, todos combinados. Cita, ainda, que os principais elementos climáticos considerados para o conforto humano e para o projeto construído são: radiação solar, perda de calor radioativo de onda longa, temperatura do ar, pressão do ar, ventos, umidade atmosférica, condensações e precipitações. Em seus estudos, organiza métodos paramétricos de conforto, estabelecendo zonas de equilíbrio sensitivo do usuário em relação ao clima para ambientes internos, com foco apenas no espaço construído. No entanto, os elementos climáticos considerados para o espaço construído também interferem consideravelmente na qualidade ambiental do espaço público. Vê-se, a partir daí, que há carência de definições de fatores de conforto para o espaço público, *locus* da vida cotidiana, e, neste sentido, este espaço é o foco dos estudos, em que é analisado sobretudo a influência da produção do espaço urbano em seu contexto climático.

Segundo Duarte e Serra (2003), essa combinação de elementos faz a cidade ser composta por um mosaico de microclimas diferentes, caracterizados por pequenas ilhas de calor, ilhas de frescor, bolsões de poluição atmosférica e diferenças locais no fluxo dos ventos. Nesse contexto, a vegetação tem papel preponderante no conforto ambiental

dos espaços urbanos, pois interfere diretamente na redução de temperatura do ar, de superfícies sombreadas, na umidade do ar e na redução da poluição atmosférica.

O presente estudo leva em consideração a escala microclimática, que, muitas vezes, é voltada apenas para a edificação. Porém, a escala local de análise deve ser interpretada como a escala da rua, em que o espaço público se destina ao pedestre.

Mendonça e Monteiro (2003) explicam a criação do microclima como a formação de condições climáticas na escala intra-urbana, derivadas diretamente da heterogeneidade, tanto do sítio quanto da estruturação, morfologia e funcionalidades urbanas, gerando, paralelamente ao clima da cidade, bolsões climáticos intra-urbanos diferenciados, como as ilhas de calor, ilhas de frescor, topoclimas e microclimas. (Quadro 3).

Espaços climáticos	Espaços urbanos	Estratégias de Abordagem		
		Meios de observação	Fatores de organização	Técnicas de análise
Mesoclima	Cidade grande, bairro ou subúrbio de metrópole	Registros móveis (episódicos)	Urbanismo	Especiais
Topoclima	Pequena cidade. Parte de bairro / subúrbio de cidade	Detalhe	Arquitetura	
Microclima	Quadra, Edificação, Habitação Setor de Habitação	Bateria de instrumentos especiais	Habitação	

Quadro 3 – Espaços climáticos de acordo com as Estratégias de Análise

Adaptado de Mendonça de Monteiro (2003)

A influência da vegetação se manifesta nas mais variadas escalas climáticas. Neste estudo, a partir da conceituação de Mendonça e Monteiro (2003), o espaço microclimático é o foco de abordagem, apresentando as implicações da vegetação, desde a formação do questionável efeito estufa planetário, até à derivação de ambientes microclimáticos naturais, rurais ou urbanos.

Dessa forma, vê-se que os efeitos positivos da vegetação passam a ser cada vez mais desejados no contexto urbano, pois, com o crescimento das cidades, os ambientes anteriormente naturais, ricos de vegetação, passam a ser compostos de materiais

estritamente urbanos, reduzindo a presença da árvore neste cenário, e substituídos pelo asfalto e concreto, na maioria das vezes. Nesse sentido, é premente a necessidade de quantificar os ganhos e perdas climáticos com a vegetação no espaço urbano, para que as cidades não sigam repetindo erros na produção do espaço urbano desconfortável climaticamente, e para que se possa potencializar a inserção da vegetação na cidade, conforme cita Franco (1997) em sua proposta de desenho ambiental urbano.

Assim, a morfologia da cidade interfere e cria um microclima urbano diferenciado para cada local, onde são percebidas modificações significativas, segundo Romero (2000), na propagação do som e da luz e no processo de materialização da forma, constituído pelos efeitos térmicos, pelo equilíbrio energético-urbano, pelo vento, pelos espaços verdes, pela água como material de condicionamento.

O desempenho ambiental das cidades depende tanto do clima pré-existente quanto de modificações climáticas introduzidas pela urbanização, principalmente na velocidade e direção dos ventos, na qualidade do ar, radiação solar e umidade. Esses condicionantes são afetados, principalmente, pelo volume de massa construído, pela poluição atmosférica, pelas alterações das superfícies que aumentam a temperatura do ar, pela impermeabilização do solo e pela escassez de vegetação e água.

No contexto urbano, notam-se diferenças de percepção da qualidade ambiental de acordo com as escalas de avaliação, pois, em cada uma delas, é possível uma abordagem específica, com categorias e parâmetros próprios (Romero, 2000).

As escalas podem ser caracterizadas em quatro:

- 1. Estruturas urbanas** (espaço da organização, dos recursos e da produção): qualidade perceptiva da grande forma física e organizacional – variedade ambiental –, grande sistema de mudança e transporte, continuidade, equilíbrio dinâmico, complexidade, estabilidade, reprodutibilidade;
- 2. Área/Sítio** (organização pontual produtiva): conhecimento, acessibilidade, homogeneidade, relações, integração ambiental, funcionalidade;
- 3. Lugar** (espaço coletivo e de valor): identificação, relações de otimização, funções específicas, estética, emoção, segurança;

**4. Edifícios** (abrigo, espaço individual): proteção, otimização microclimática, controle, afeto, habitual Romero (1999, p.5).

Assim, buscando a escala da arquitetura do espaço público, fica evidenciada a definição da escala do lugar, de foco microclimático.

Dessa forma, destaca-se que, para Romero (2000), a discussão envolve os fatores climáticos locais – vegetação, topografia e superfície do solo – que condicionam, determinam e dão origem ao microclima, isto é, o clima que se verifica num ponto restrito, cidade, bairro ou rua. Neste sentido, coloca-se a escala da via urbana como foco da pesquisa, na qual são estudadas as influências da vegetação no conforto térmico dos usuários, pois esses lugares representam o espaço mais vivenciado e de acesso mais democrático a todos os cidadãos.

Já Ribeiro (1993) classifica as escalas climáticas segundo interação, responsabilidade e atuação por meio da intervenção, estabelecendo níveis diferenciados que variam de micro a mesoclimático (Quadro 4).

Escala	Interação	Responsabilidade	Atuação	Nível
Mesoclima ou Clima Local	Varição dentro do clima regional devido a ação de determinadas feições fisiográficas ou antrópicas que interferem no fluxo energético ou transporte da massa da circulação regional, diferenciando subsistemas de circulação secundária	<p>O relevo pode criar situações de barlavento e sotavento, o que influencia e, ao mesmo tempo, gera condições para condensação a barlavento (chuvas orográficas – vertente úmida) e ressecamento a sotavento (vertente seca – sombra de chuva);</p> <p>As diferenças altimétricas apresentam papel destacado na distribuição da radiação líquida, na retenção do vapor de água e armazenamento do calor sensível. A atuação desses parâmetros é suficiente para provocar variações no clima regional, gerando as feições dos climas locais.</p>	Ordem de centenas de quilômetros quadrados, horizontal e entre 1.200 e 2.000 quilômetros de extensão vertical e restringe-se a Camada Limite Planetária.	Mesoclimático

Topoclima	Derivação do clima local devido à rugosidade do terreno, que tem como consequência a energização diferenciada do terreno, durante o período diurno, para diversas faces de exposição à radiação solar.	Contrastes entre vertentes e uma mesma latitude e altitude, com exposição maior e ensolarada em um lado.	Entre 0,5 e 5 quilômetros e interfere na extensão vertical entre 50e 100 metros de altura, coincidindo com a Camada Limite Superficial.	Topoclimático
Microclima	Define-se por trocas gasosas e energéticas entre as feições ou estruturas particularizadas dispostas nas superfícies da terra e o ar que as envolve.	Resulta de condições muito particulares da circulação junto ao solo, no interior de uma formação vegetal ou de um grupamento urbano.	Nível escalar mais próximo dos indivíduos.	Microclimático

Quadro 4 – Escalas climáticas e graus de atuação  
Adaptado de Ribeiro (1993)

Chegando mais próximo ao nível da edificação, têm-se as escalas meso e microclimáticas. Lamberts et al (1997) afirmam que alguns tipos de mesoclima podem ser identificados facilmente, como, por exemplo: o litoral, o campo, as florestas, os vales, as cidades e as regiões montanhosas. É aqui que variáveis como a vegetação, a topografia, o tipo de solo e a presença de obstáculos naturais ou artificiais influenciam as condições locais de clima. De forma semelhante, mas bem mais perto da edificação, tem-se o microclima. Este pode ser concebido e alterado pelo arquiteto. Lamberts et al (1997) explicam que o estudo das variáveis desta escala é fundamental para o lançamento do projeto, pois uma série de particularidades climáticas do local pode induzir a soluções arquitetônicas mais adequadas ao bem-estar das pessoas e à eficiência energética.

Para a configuração urbana de um lugar, o clima urbano tem, na escala microclimática, seu principal grau de interferência. No entanto, para o melhor entendimento das escalas climáticas, são abordados conceitos que esclarecem os diversos vieses de estudos de clima urbano no contexto da cidade. Para Oke (1987), as escalas do clima podem ser entendidas como escala horizontal, que depende da distância em metros, juntamente com a escala do tempo. Sob este aspecto, considera-se o estudo sobre a camada limite

urbana<sup>9</sup>, também chamada de *boudary layer*, evidenciando os diversos níveis de estudos de escala climática, partindo do macro para o micro, em situações urbanizadas nas mais diversas partes do mundo. (Figura 2).

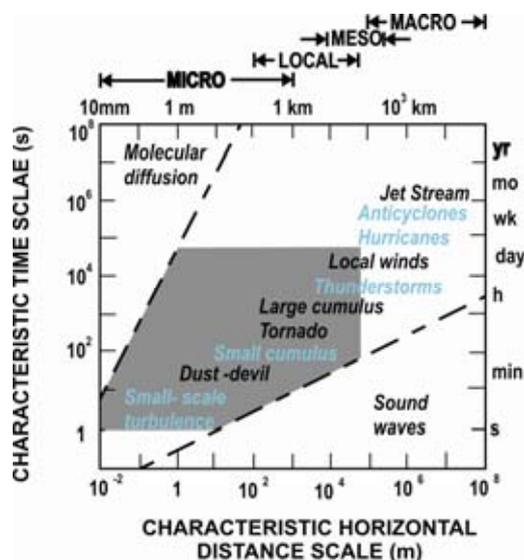


Figura 2 - Escalas do clima segundo Oke.  
Adaptado de Oke, 1987, p.4.

Ainda segundo Oke (1987), as camadas que definem o clima da cidade são estudadas no plano vertical, como a *urban canopy layer* (UCL), ou a camada urbana no nível das coberturas das edificações, a *urban plume* que é a prolongação da camada limite urbana a sotavento, da cidade sobre a área rural; e a *urban boundary layer*, que engloba todos os níveis que se definem sobre a cidade, a mesoescala. (Figura 3).

<sup>9</sup> É um fenômeno localizado acima do nível dos telhados, com características produzidas pela natureza da superfície urbana, cuja rugosidade, proporcionada pela presença de prédios relativamente altos, provoca uma aerodinâmica particular. A velocidade do vento se reduz, mas ocorre um aumento da turbulência e no arrasto produzidos pela fricção do ar. (Oke, 1987).

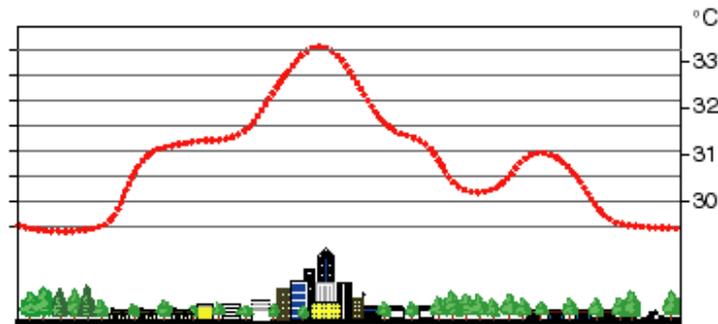


Figura 3 – Mesoescala, a camada limite urbana.  
Adaptado de Oke (2004) apud Kallas (2008)

Na abordagem local, ainda de acordo com Oke (2004, p.3), apresenta-se o esquema das interrelações entre as camadas climáticas. Os ventos na camada limite urbana seguem certa direção, conforme pode ser visto na escala local dentro da camada subrugosidade, abaixo da rugosidade (Figura 4).

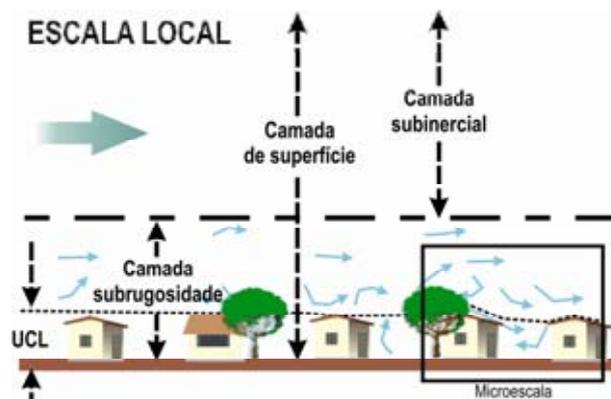


Figura 4 – Escala Local.  
Adaptado de Oke (2004, p.3) apud Kallas (2008)

Por fim, os efeitos na microescala, em que os ventos são irregulares, devido ao formato das construções, o que impossibilita uma direção definida dos ventos. (Figura 5).

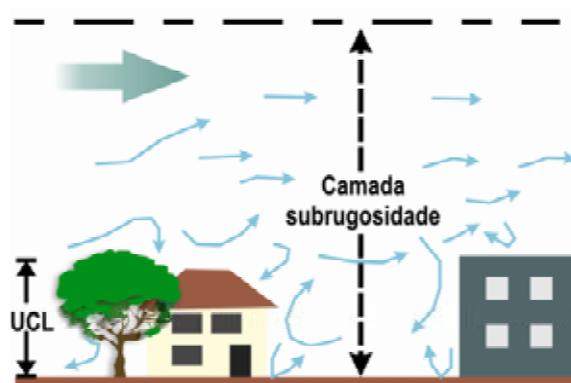
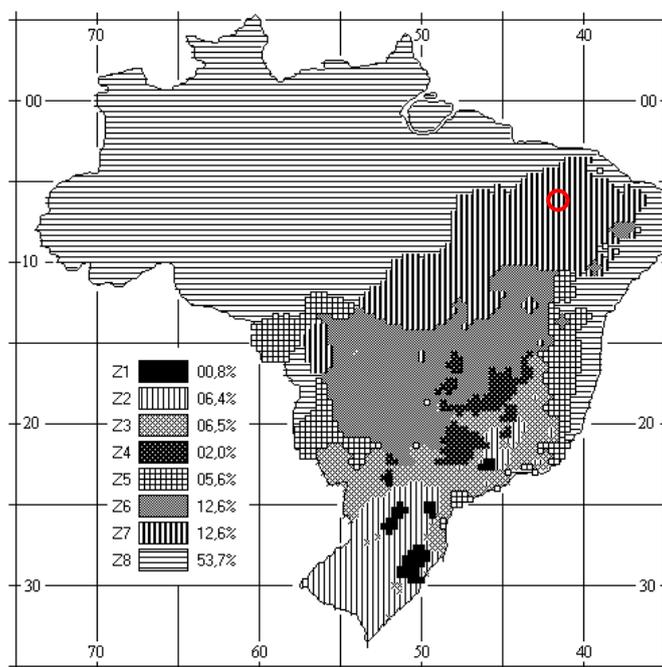


Figura 5 – Microescala.  
Adaptado de Oke (2004, p.3) apud Kallas (2008)

Romero (2000, p.12) explica a importância da escolha do ambiente térmico e destaca a importância, em regiões tropicais e subtropicais do território brasileiro, abordado na bioclimatologia humana, de se agrupar diversas áreas, como biologia (principalmente a ecologia), climatologia e a arquitetura. Nesse contexto, concentra-se na arquitetura o enfoque bioclimático. Assim, estudos que categorizem os microclimas são de suma importância para a orientação de um desenho urbano mais adaptado às características do lugar.

Para o contexto climático do Brasil, há carência de estudos de zoneamento climático que forneçam suporte adequado para projetos na escala do urbanismo e que apresentem recomendações específicas para climas diferenciados, a exemplo do que ocorre com a habitação popular. A ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas propõe 8 zonas bioclimáticas, com características específicas e com diretrizes construtivas para projetos de habitações de interesse social nas diversas regiões do país.

De acordo com a ABNT, a área em que se encontra Teresina é pertencente ao tipo climático Tropical com chuvas de verão e outono ( $Aw'$ ) na classificação de Köppen, a qual conduz a cidade analisada à zona climática número 7. (Figura 6).



○ Teresina - PI

Figura 6: Zoneamento Bioclimático Brasileiro

Fonte: ABNT NBR 15220-3 (2005)

Pela carência de estudos específicos voltados para áreas urbanas, são apresentadas as características da zona climática 07, tendo em vista que a cidade de Teresina se insere nesta zona climática. São apresentadas estratégias de conforto e alternativas que podem ser adaptadas para estudos na escala do urbanismo, levando-se em conta a escala do pedestre.

Como estratégias extraídas da norma em questão, cita-se:

- As sensações térmicas são melhoradas através da desumidificação dos ambientes. Esta estratégia pode ser obtida através da renovação do ar interno por ar externo, através da ventilação dos ambientes;
- Em regiões quentes e secas, a sensação térmica no período de verão pode ser amenizada através da evaporação da água. O resfriamento evaporativo pode ser obtido através do uso de vegetação, fontes de água ou outros recursos que permitam a evaporação da água diretamente no ambiente que se deseja resfriar;
- Temperaturas internas mais agradáveis também podem ser obtidas através do uso de paredes (externas e internas) e coberturas com maior massa térmica, de forma que o calor armazenado em seu interior, durante o dia, seja devolvido ao exterior durante a noite, quando as temperaturas externas diminuem;
- O uso de resfriamento artificial torna-se necessário a fim de amenizar a eventual sensação de desconforto térmico por calor.

#### **1.4 Vegetação urbana**

O terceiro elemento deste estudo aborda a vegetação urbana em diferentes aspectos: arborização urbana, tipologias vegetais, ordenamento, quantificação e qualificação da arborização na configuração urbana.

Neste contexto, Freitas e Pouey (2002) salientam que o processo de urbanização modifica substancialmente os ecossistemas, aumentando a temperatura, reduzindo a umidade, além de alterar a composição química da atmosfera, o que acarreta a criação de microclimas, que apresentam condições de habitabilidade e sustentabilidade nem

sempre satisfatórias e apontam a vegetação como um dos fatores que podem ser usados para reverter ou minimizar estas conseqüências.

Riginato e Labaki (2003) afirmam que a ausência da vegetação, aliada ao uso de materiais inadequados, tem alterado substancialmente o clima dos agrupamentos urbanos, devido à incidência da radiação solar nas construções, sendo que, por meio de seu uso, é possível realizar modificações climáticas no nível macro, meso e microclima.

São muitos os benefícios causados ao homem pelo uso da vegetação associada ao desenho urbano. Olgyay (1998) destaca alguns deles: efeitos da sombra produzida pelas árvores e pela vegetação. Redução, quando densas, dos sons ambientais. As folhas capturam a poeira, filtrando o ar, além de garantir grande privacidade visual e diminuir o efeito do ofuscamento. Por fim, salienta que o efeito térmico representa o maior dentre os benefícios destacados.

Mascaró (2002) apresenta propostas de arborização para as cidades tropicais e subtropicais úmidas, reconhecendo a importante função que a vegetação urbana tem como amenizadora da poluição, além das funções ambientais e energéticas.

Neste trabalho, o uso da vegetação urbana será especificado para o espaço de vias públicas, o que, conceitualmente, recebe o nome de arborização viária. A arborização viária é toda vegetação de porte arbóreo que acompanha as vias públicas, estando em calçadas laterais ou em canteiros centrais. Esta especificação de uso da vegetação urbana - a arborização de vias - tem por objetivo bloquear a incidência dos raios solares nas áreas pavimentadas e construídas como estratégia para o controle da temperatura nos centros urbanizados. A sombra projetada pela copa no solo cria uma zona que contribui para a redução da temperatura na superfície atingida e no seu entorno. Assim, superfícies expostas à radiação, sem cobertura vegetal, apresentam temperaturas mais elevadas.

Alguns estudos destacam a correta implantação da arborização nas vias. Mascaró e Mascaró (2002) destacam que, para regiões de clima tropical subúmido, deverão ser reservadas ao plantio de árvores as laterais que estejam voltadas para as faces Norte ou Oeste, observando-se um recuo mínimo – da muda em relação ao meio fio – de 50 centímetros. Recomenda o emprego de espécies de pequeno porte para calçadas com 2,5 metros de largura e de espécies de grande porte somente nas laterais não ocupadas pelos

postes. Explica que na lateral, junto à rede de energia, devem ser plantadas somente árvores de médio a pequeno porte. Sugere ainda que a arborização simultânea das laterais só é indicada quando a via apresentar largura igual a doze metros e calçadas, com largura igual a três metros.

Em relação às raízes, estas estão sempre relacionadas com o porte da espécie e de acordo com a profundidade do solo que atingem. Mascaró e Mascaró (2002) esclarecem que, de modo geral, os sistemas radiculares causam muitos danos ao piso dos passeios e às tubulações sob a superfície, infiltram-se nas tubulações e comprometem a fluidez dos líquidos, ou ainda, danificam a superfície dos dutos, em função da pressão exercida pelas raízes. Pelos motivos destacados, são mais adequadas as espécies com sistema radicular do tipo profundo ou pivotante, pois não apresentam comportamento agressivo, com raízes superficiais como, por exemplo, o Oitizeiro.

No ambiente urbano, as espécies de grande porte são mais eficientes no controle e minimização dos efeitos do clima. A temperatura do ar é amenizada pela vegetação através do controle da radiação e pela umidade que é liberada pelo vegetal através de suas folhas. Assim, o processo de liberação de umidade – a evapotranspiração<sup>10</sup> – é mais acentuado no verão quando a densidade foliar é mais intensa. Estudos de Labaki e Santos (1999) mostram um exemplo dessa capacidade por meio da espécie *Laurus nobilis*, o Loureiro, que, quando adulto e com 10 metros de diâmetro na copa, transpira de 126 a 188 litros de água por dia. (Figura 7)

---

<sup>10</sup> Evapotranspiração é qualquer processo pelo qual a água da planta ou do solo passa ao estado de vapor. (Romero, 2000).

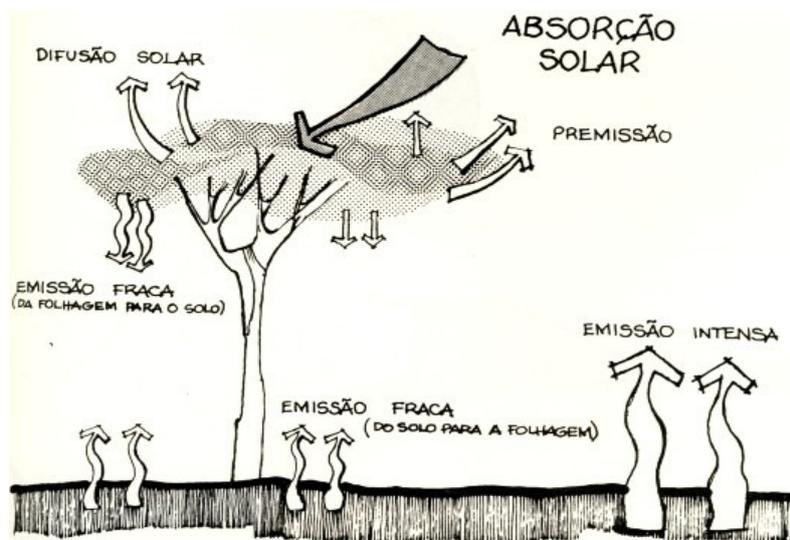


Figura 7 – A espécie arbórea e a radiação solar.

Adaptado por Romero, 2000.

No tema da arborização viária, são importantes certas classificações, entre as quais se enunciam as tipologias de vegetais, destacando-se as espécies arbóreas (árvores, palmeiras e coníferas) e as espécies arbustivas (arbustos) (Quadro 5).

## ARBUSTOS

## ARBÓREAS

**Plantas com altura normalmente acima de 5 ou 6 metros, caule autoportante, único na base, repartindo-se acima do nível do solo.**

Arbustos	Árvores	Palmeiras	Coníferas
Plantas arbustivas de altura até 5 ou 6 metros, caule em geral subdividido junto ao nível do solo, resistente ao menos parcialmente	Plantas arbóreas, com estrutura ramificada em diferentes formas, caule único, ramos providos de folhas laminares, com formas e tamanhos variados	Plantas de caule único, provido de folhas alongadas, caracteristicamente pinadas, inseridas em rosetas na extremidade superior do caule	Plantas arbóreas, em geral de grande porte, estrutura monopodial (caule vertical com ramificações laterais), copa freqüentemente cônica, folha em forma de acículas, lâminas estreitas ou escamas

Quadro 5 - Tipologias vegetais arbustivas e arbóreas

Adaptado de Salviati (1993, p. 11)

Outra classificação a ser utilizada neste trabalho diz respeito ao porte e à densidade de sombreamento. O porte da arborização determina seu potencial de sombreamento e sua compatibilidade com a infra-estrutura da via na qual é plantada, para evitar custos de manutenção, como reparo de calçadas e podas excessivas por incompatibilidade com o material de revestimento de piso e com o sistema de abastecimento da rede elétrica (Quadros 5 e 6).

<b>PORTE</b>	<b>Pequeno</b>	<b>Médio</b>	<b>Grande</b>
<b>Altura</b>	Até 8m	8 a 15m	+ de 15m
<b>Diâmetro</b>	Até 6m	6 a 12m	+ de 12m

Quadro 6 - Árvores quanto ao porte

Adaptado de Salviati (1993, p. 13)

O sombreamento proporcionado por uma árvore está relacionado, principalmente, com a densidade de sua folhagem, em função da qual a sombra projetada poderá ser densa, média ou rala. (Quadro 7).

<b>DENSIDADE</b>	<b>Rala</b>	<b>Média</b>	<b>Densa</b>
<b>Características</b>	Poucas camadas de folhagens; Maior espaçamento entre galhos; Caducifólias.	Sobreposição média de folhagens; Espaçamento médio entre galhos. Folhagem persistente.	Muitas camadas sobrepostas de folhagens; Entrelaçamento de galhos; Folhagem persistente.
<b>Exemplos</b>	Flamboyant; Angico Branco; Carnaúba.	Acácia; Pau Darco.	Oitizeiro; Mangueira.

Quadro 7 – Árvores quanto à densidade de sombreamento

Adaptado de Salviati (1993, p. 13)

São apresentadas situações demonstrativas de ganhos climáticos em variadas situações, tais como a arborização isolada, quando são identificadas poucas espécies com espaçamento suficiente para não haver sobreposição de sombreamento. Outra situação aborda a arborização em grupamentos homogêneos (mesma espécie e geometria da planta) e grupamentos heterogêneos (diferentes espécies e geometrias da planta). Em estudo semelhante, Mascaró (1996) obteve resultados satisfatórios para grupamentos homogêneos para temperatura durante todo o ano. (Quadro 8)

<b>Variações de temperatura sob vegetação em espaços abertos (°C)</b>				
<b>Orientação</b>	<b>verão</b>	<b>outono</b>	<b>primavera</b>	<b>inverno</b>
<b>Árvores Isoladas</b>	<b>-3,7 a -1,3</b>			<b>-8,0 a -1,0</b>
<b>Grupamentos heterogêneos</b>	<b>-4,4</b>	<b>-3,6 a -2,8</b>	<b>-</b>	<b>-5,0</b>
<b>Grupamentos Homogêneos</b>	<b>-4,7</b>	<b>-3,1</b>	<b>-3,7 a -3,2</b>	<b>-5,1</b>

Quadro 8 - Variações de temperatura sob vegetação em espaços abertos (°C)

Adaptado de Mascaró (1996, p. 78)

Na avaliação das variações de umidade sob vegetação em espaços abertos, o autor obteve resultados satisfatórios durante todo o ano para agrupamentos homogêneos. Destaca-se que, nas estações de inverno e outono, agrupamentos heterogêneos apresentam maiores mudanças na umidade. (Quadro 9)

<b>Variações de umidade sob vegetação em espaços abertos (%)</b>				
<b>Orientação</b>	<b>inverno</b>	<b>primavera</b>	<b>verão</b>	<b>outono</b>
<b>Árvores Isoladas</b>	<b>6</b>	<b>-</b>	<b>11</b>	
<b>Grupamentos heterogêneos</b>	<b>17</b>	<b>-</b>	<b>5</b>	<b>11</b>
<b>Grupamentos Homogêneos</b>	<b>11</b>	<b>10</b>	<b>14</b>	<b>8</b>

Quadro 9 - Variações de umidade sob vegetação em espaços abertos (%)

Adaptado de Mascaró (1996, p. 80)

## **2. PERFIL AMBIENTAL URBANO DA CIDADE DE TERESINA**

Este segundo capítulo, denominado “Perfil Ambiental Urbano da cidade de Teresina”, é dedicado à cidade de Teresina, apresentando, num primeiro momento, seus aspectos históricos, culturais e climáticos, para, num segundo momento, apresentar o objeto de estudo selecionado para esta dissertação: as vias públicas da cidade de Teresina.

Faz-se um breve histórico da formação da cidade de Teresina, incluindo aspectos sociológicos e culturais, seguidos de sua caracterização ambiental e, mais especificamente, climática. Para isso, são apresentadas duas escalas de análise na cidade de Teresina. Uma primeira escala, a escala da cidade (mesoescala), levando em consideração fatores climáticos regionais e uma segunda escala, de análise local, conhecida como escala da rua (microescala), que leva em consideração os efeitos ambientais de nível microclimático.

Nesse contexto urbano da cidade de Teresina, o sistema viário representa a grande escala do urbanismo, selecionado por representar o meio que sofre interferências topoclimáticas. Partindo-se para uma análise mais específica, objeto de análise desta dissertação, são apresentadas as avenidas selecionadas, com a caixa viária e sua calçada – considera-se a via de tráfego, na escala arquitetônica, como escala local, a qual sofre influências do microclima. Alerta-se que se deu ênfase à caixa viária destinada ao pedestre. Logo, calçadas e passeios centrais, quando favoráveis ao tráfego de pedestres, constituem o principal objeto de análise.

Torna-se fundamental esclarecer que, embora o planejamento e o desenho urbano trabalhem a grande escala da cidade, acredita-se que é na escala local, na microescala, que muitas das soluções urbanas são desenvolvidas, contribuindo para a melhoria da qualidade do espaço da cidade.

### **2.1 Uma breve história de Teresina**

Teresina é a única capital do Nordeste que não se situa no litoral. Entretanto, dois rios banham a cidade, o Poti e o Parnaíba, os quais compõem fortes cenários naturais na

cidade. É, também, a primeira capital planejada do país, mantendo sua morfologia urbana original do século XIX praticamente intacta até a atualidade (Figuras 8 e 9).

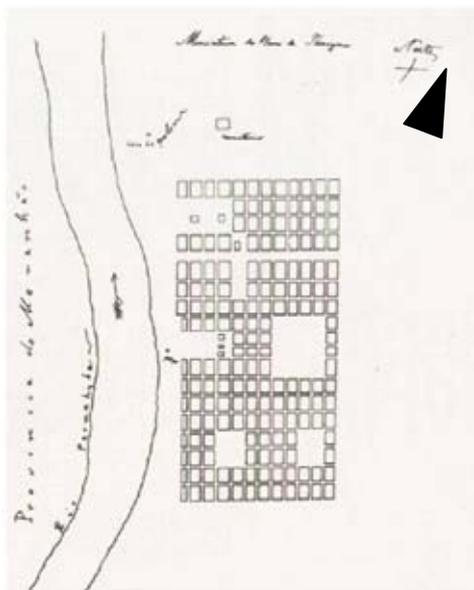


Figura 8: Mapa urbano de Teresina – 1852

Fonte: Gomes, 1992, p. 09

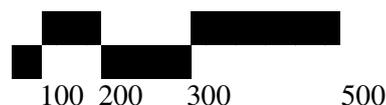


Figura 9: Imagem de satélite do centro original da cidade em 2008. Adaptado de Google Earth. Acesso em 20/04/2008.

O ambiente natural urbano, marcado pela presença de dois rios, o Poti e o Parnaíba, possui seu relevo plano. Estudos de Sales (2004) caracterizam a vegetação da cidade pelas espécies que compõem a mata dos cocais, como o babaçu, o tucum, a carnaúba, e por belíssimas árvores como o caneleiro, o angico, os ipês amarelos e roxos, os flamboyants, oitizeiros, entre outras.

Segundo Façanha (1998), o Plano Urbanístico de Teresina<sup>11</sup>, de 1852, previa a fixação de um ponto central, a Igreja Matriz, do qual irradiava a malha da cidade, formando

<sup>11</sup> José Antonio Saraiva, o Conselheiro Saraiva, foi autor do Plano Urbanístico de Teresina que foi cuidadosamente planejado, já que Teresina seria construída para ser a nova Capital do Piauí, a partir de 1852. O então Presidente da Província do Piauí escolheu um local “alto e aprazível” à margem direita do rio Parnaíba, no topo mais regular do planalto que se forma entre as últimas curvas dos rios Parnaíba e Poti, antes do seu encontro, na barra do Poti.

quadras como um tabuleiro de xadrez. As ruas, todas perpendiculares e paralelas entre si, formavam quarteirões regulares. O Plano previa, ainda, espaços para a construção de praças, onde, no seu entorno, instalar-se-iam as principais edificações, o que, de fato, aconteceu até a construção da Avenida Frei Serafim, na década de 1940. Essa avenida roubou a cena e passou a receber os sobrados das elites teresinenses, e representa, hoje, o vetor de crescimento da cidade, que acontece no sentido Centro-Leste e representa, também, o eixo de divisão entre norte e sul na estrutura da cidade (Figuras 10).

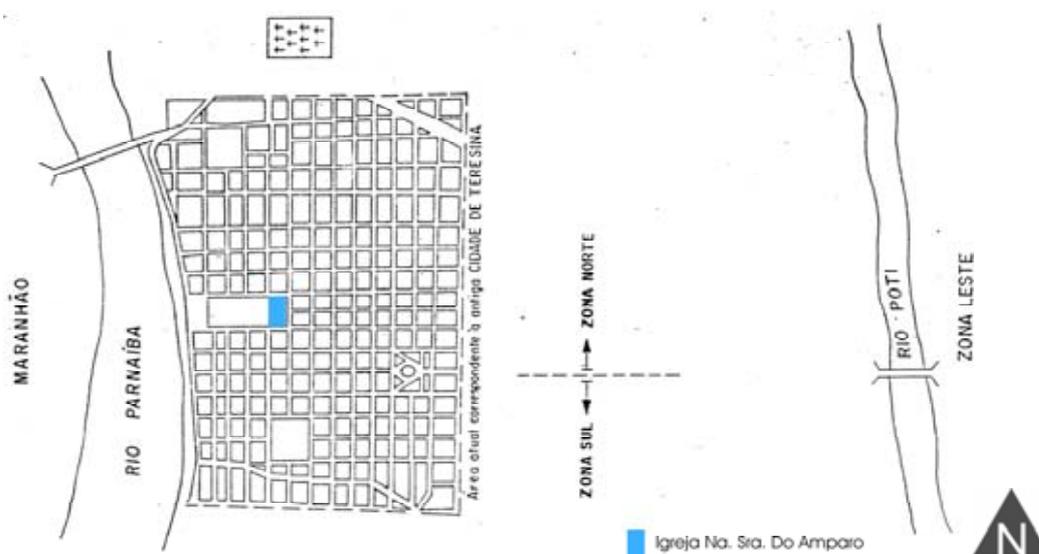


Figura 10 – Mapa datado de 1855, inauguração da cidade de Teresina.

Fonte: PMT (1997) apud Façanha (1998, figura 04, p. 53).

A criação da cidade de Teresina não foi obra do acaso, foi uma estratégia comercial e política, fruto da idealização de Conselheiro Saraiva, então presidente da província do Piauí. Saraiva dirigiu a transferência da sede do poder político, da cidade de Oeiras para Teresina, em 1852, objetivando facilitar as trocas comerciais. Freitas (1988) coloca que, assim, a cidade de Caxias – MA deixou, em pouco tempo, de ser o empório do comércio do alto sertão. Cerca de meio século depois, o Piauí já passava a negociar diretamente com a Europa e seus rios, ainda navegáveis, aqueciam o comércio da região, atraindo povoados vizinhos, como Porto-Alegre, União, Amarante, entre outros.

Num trecho da carta do presidente da província, Conselheiro Saraiva justifica a mudança da capital:

1º Porque é ela bem situada e a mais salubre que é possível, segundo a planta que mandou levantar. 2º Porque fica na posição de tirar Caxias todo seu comércio com o Piauí conseguindo-se assim, a maior vantagem da mudança. 3º Porque, mais próxima da cidade de Parnaíba, pode servir melhor ao desenvolvimento da navegação e gozar a capital de grande benefício da facilidade de suas relações políticas e comerciais com a Corte e de todos os grandes centros de civilização do Império. (Freitas, 1988, p. 14)

Segundo Nascimento (2002), na intenção do engenheiro Luis Pires Chaves, Teresina deveria ser dotada de avenidas largas e arborizadas. No entanto, a estrutura da cidade apresentava-se como empecilho, tendo em vista que seu traçado, em formato de tabuleiro de xadrez, não permitiu que houvesse grandes alterações, conferindo prejuízos para o plano original de Teresina. O Código de Posturas, datado de 1939, que propunha a arborização e o alargamento de ruas e passeios, porém, o Código não foi executado a contento, uma vez que a malha reguladora da cidade apresenta desenho urbano muito rígido. (Figura 11).



Figura 11 - Vista aérea de Teresina em 1940.

Fonte: Serviços Aerofotogramétricos Cruzeiro do Sul S.A. 1940

Nascimento (2002, p. 144) descreve a preocupação de Luis Pires Chaves com os espaços urbanos destinados às praças e parques, os quais, no primeiro plano da cidade, eram áreas concentradas nas zonas centrais. Assim, Chaves determinou que 7,65% da área da zona urbana de Teresina fossem destinados a espaços livres, resolução considerada para época insuficiente, devido ao clima quente e temperatura média de 28°C.

De forma sistemática, pode-se marcar o desenvolvimento urbano de Teresina em quatro momentos (Quadro 10).

<b>Momento Histórico</b>	<b>Fase do desenvolvimento</b>
<b>1º (1852 a 1952)</b>	A instalação da cidade ao redor do Largo do Amparo, que, cronologicamente, corresponde à segunda metade do século XIX até a primeira metade do século XX).
<b>2º (1953)</b>	O crescimento da cidade para leste, mantendo a avenida Frei Serafim como referência o que cronologicamente, corresponde à segunda metade do século XX. (Figuras 12 e 13)
<b>3º (1960)</b>	A continuação do crescimento para leste, com a construção da Ponte JK.
<b>4ª (1975)</b>	A construção da avenida João XXIII e a ocupação da zona Leste, o que corresponde a uma continuação e amadurecimento do processo de expansão da cidade para leste, desde a segunda metade do século XX até hoje.

Quadro 10 – Síntese do Desenvolvimento Urbano de Teresina

Adaptado de MATOS *et al*, 2006



Figura 12 – Avenida Frei Serafim com início atrás da Igreja de São Benedito

Fonte: Arquivo público.



Figura 13 – Avenida Frei Serafim com arborização de Oitizeiros

Fonte: Arquivo público.

Hoje, Teresina é um pólo de comércio e de serviços da região Meio-Norte do Brasil, além de respeitado centro educacional e de saúde. Vêm, ainda, despontando na área de turismo de eventos e negócios.

## 2.2 Caracterização da vegetação da cidade de Teresina

O município de Teresina está encravado na parte central da bacia sedimentar Paleozóica do Maranhão – Piauí e, por apresentar características de inverno seco e verão chuvoso, é considerada inserida no contexto do cerrado do Brasil Central. Sua vegetação nativa é representada por cobertura arbustiva de média altura e densa em que o cerrado e o cerradão constituem a forma mais generalizada de vegetação, conforme dados de Teresina (2002).

A Mata dos Cocais é a vegetação típica do Meio-Norte brasileiro, região onde está localizada a cidade de Teresina, possuindo características de transição entre a Caatinga e a Amazônia. Essa região é composta por palmeiras de grande altura, como o babaçu, o buriti, o tucum, a macaúba e a carnaúba (Machado, 2002). Habitualmente utilizadas como árvores ornamentais pelo seu apelo estético escultural e beleza, são também de extrema importância sócio-econômica para o Estado, tendo em vista que delas se extraem óleos e ceras que são utilizadas nas

indústrias químicas e de alimentos, como também são utilizados os substratos, como a casca do babaçu, na queima de produtos cerâmicos nas indústrias de produção de telhas e tijolos, muito comuns na região.

De acordo com dados de Teresina (2006) outras espécies arbóreas também compõem a paisagem da cidade de Teresina. São árvores de grande altura, com florações ricas como ipê-amarelo e o caneleiro, árvore símbolo da cidade. Os cenários vegetados também são compostos com grande influência de espécies da caatinga e do sertão, como cactos e mandacarus.

Segundo Sales e Albuquerque (2004), em 2004, as áreas verdes de Teresina haviam alcançado 13 m<sup>2</sup>/hab. Ainda assim, os autores discutem que este índice de arborização atinge apenas o patamar mínimo recomendado pelas instituições internacionais, a exemplo da Organização Mundial da Saúde (OMS), como aquele necessário para saúde humana (12,00 m<sup>2</sup>/hab). Além disso, devido à peculiaridade do clima da cidade, o incremento deste valor só contribuiria para o conforto ambiental da cidade. Sales (2004) cita que este índice é suplantado por várias cidades como Curitiba, que detém 20 m<sup>2</sup>/hab; João Pessoa, que dispõe de 39,00 m<sup>2</sup>/hab; Washington, com 117 m<sup>2</sup>/hab; Amsterdam, com 80 m<sup>2</sup>/hab; e Moscou, com 60 m<sup>2</sup>/hab. Teresina supera, nesse quesito, algumas importantes cidades, como Rio de Janeiro (9 m<sup>2</sup>/hab), São Paulo (1 m<sup>2</sup>/hab.) e Porto Alegre, que possui menos de 1 m<sup>2</sup>/hab.

Sales (2004) cita, ainda, que se verifica um aumento significativo das áreas verdes públicas da cidade, nas últimas décadas, o que revela um crescimento acentuado em relação ao crescimento da população. Em 1993, Teresina dispunha de 2,0 m<sup>2</sup>/hab; em 1998, já contava com 4,8 m<sup>2</sup>/hab; em 2000, essa cota eleva-se para 7,0 m<sup>2</sup>/hab, índice logrado em decorrência da criação de parques ambientais; e, em 2002, havia 13,00m<sup>2</sup>/hab.

Ao ser observada a macro-escala da cidade, percebe-se a falta de áreas verdes distribuídas no contexto urbano da cidade. A partir da análise de imagem de satélite da área urbanizada da cidade de Teresina, utilizando ferramentas do **ArcGis**<sup>12</sup> vê-se que, através de leitura das áreas antropizadas, na macro-escala da cidade, o quanto a mancha

---

<sup>12</sup> O software ArqGis é um aplicativo de georeferenciamento utilizado para análise geográfica, no qual se destaca o uso e a ocupação do espaço urbano, demonstrando, através de legendas-padrão, áreas vegetadas, áreas de solo exposto e áreas construídas.

urbana apresenta-se carente de vegetação, e que o sistema de ruas mostra-se como um local público bastante exposto (Figura 14).

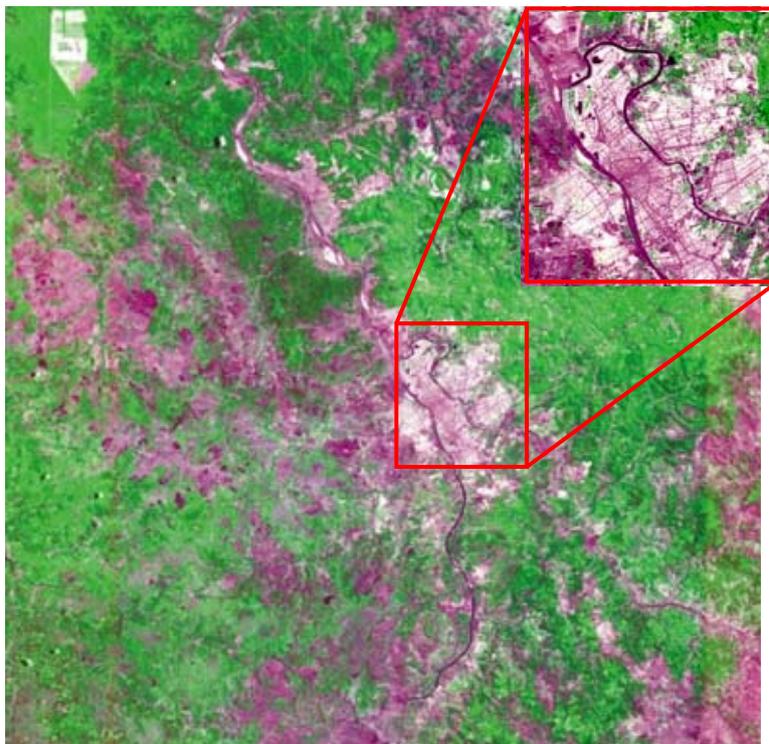


Figura 14 – Imagem da Cidade de Teresina – Com destaque para área urbanizada

Fonte: Inpe, 2008 (Sensor: CCD/CBERS-2 Órbita\_Ponto: m154\_106 Composição: R3G4B2 Data: 27/07/2004)

### 2.2.1 – Arborização nativa

Baseando-se nos estudos de Machado (2002), são apresentadas as espécies vegetais nativas da região estudada, especificando, em cada caso, o nome da espécie, família e caracterização geral como a função ambiental, indicando quando adequado, o uso em vias públicas<sup>13</sup>. Este procedimento tem como base a etapa número seis do processo de recuperação por meio da revegetação estabelecido por Corrêa (2005, p. 43) – “Escolha da comunidade vegetal inicial” - concentrando-se na definição das espécies herbáceas e/ou arbustivas e/ou arbóreas (camada rasteira e camada lenhosa) (Quadro 11).

<sup>13</sup> As espécies mais indicadas para arborização urbana em vias públicas serão representadas por um asterisco (\*).

Nº	Imagens	Caracterização e funcionalidade
1*		<p><b>Espécie vegetal:</b> <i>Cenostigma macrophyllum Tul</i> (caneleiro)  <b>Família:</b> <i>Caesalpiniaceae</i>  <b>Natividade:</b> Cerrado  <b>Altura:</b> 6 -15m  Tronco sulcado, ereto e multi-cilíndrico. Copa piramidal, fechada, ramificada e ampla. Recomendada para praças, jardins e para sombreamento de estacionamentos. Esteticamente, tem bela floração amarela e folhagem de coloração verde intenso.</p>
2*		<p><b>Espécie vegetal:</b> <i>Caesalpinia ferrea var. férrea Mart. Ex Tul</i> (Jucá)  <b>Família:</b> <i>Caesalpiniaceae</i>.  <b>Natividade:</b> Mata Atlântica  <b>Altura:</b> 10 – 20 m.  Possui tronco curto, copa arredondada, fechada e densa. Crescimento lento a partir do 5-7 metro. Tem floração amarela e brilhante. É recomendada para canteiros centrais de vias públicas e para estacionamentos.</p>
3*		<p><b>Espécie vegetal:</b> <i>Copernicia prunifera</i> (Miller) H. E. Moore (Carnaúba).  <b>Família:</b> <i>Arecaceae</i>. Altura: 10 – 20 m.  <b>Natividade:</b> Mata dos Cocais  Tem excelente adaptação às condições climáticas. Copa alta, resistente a ação de pragas. Como uma das principais funções, tem o valor estético, pois tem forma escultórica (tronco e folhas) além de representar culturalmente a paisagem do estado do Piauí, símbolo da Mata dos Cocais e da cidade de Campo Maior. É recomendado o uso isolado em canteiros de 2m de largura.</p>
4*		<p><b>Espécie vegetal:</b> <i>Tabebuia</i> sp.; sp.2; sp.3. (ipê amarelo).  <b>Família:</b> <i>Bignoniaceae</i>.  <b>Natividade:</b> Cerrado  <b>Altura :</b> 4 – 10 m.  Tronco de 30 a 40 cm de diâmetro. Floresce durante os meses de agosto-setembro, resultando nem belo espetáculo ornamental, pois a planta fica plenamente despida da folhagem. Usualmente, a madeira é própria para obra externas, como postes, peças para pontes, tábuas para assoalhos, rodapés, molduras, etc. A espécie de ipê amarelo é, dentre os ipês, a mais cultivada em praças e ruas estreitas em virtude de seu menor porte. Recomenda-se o uso na arborização urbana.</p>
5*		<p><b>Espécie vegetal:</b> <i>Magonia glabrata</i> St. Hill. (Tingui)  <b>Família:</b> <i>Sapindaceae</i>  <b>Natividade:</b> Cerrado  <b>Altura:</b> 8 – 10 m.  Tronco de 20 a 30 cm de diâmetro. Copa aberta. Folhagem amarelo-esverdeadas, odorantes. Copa alta e pouco volumosa com número reduzido de galhos. Fuste elevado, folhagem aberta e bela floração. Apresenta potencial uso em calçadas laterais de vias públicas.</p>

6*		<p><b>Espécie vegetal:</b> <i>Licania tomentosa</i> (Benth.) Frirstsh (Oitizeiro)</p> <p><b>Família:</b> <i>Chrysobalanaceae</i></p> <p><b>Natividade:</b> Mata Atlântica</p> <p><b>Altura:</b> 15 – 20 m.</p> <p>Copa fechada, arredondada e densa. Fuste bem definido. Apresenta grande área de sombra. Frutos atrativos para a fauna. Sua copa de formato ovalado e possui grande densidade de verde (folhagem) composta pela sucessão de folhas de pequeno porte. No meio urbano, principalmente nas calçadas das vias públicas, têm importância estratégica na manutenção do conforto ambiental: age com sucesso nos confortos térmico, lumínico e acústico, além de contribuir no controle da qualidade do ar, o aspecto oleoso de suas folhas aglutina partículas poluidoras dispersas no ar.</p> <p>Na cidade de Teresina, é a espécie mais difundida na arborização urbana, existente em diversas avenidas e ruas da cidade.</p>
7*		<p><b>Espécie vegetal:</b> <i>Terminalia</i> sp. (Capitão do campo)</p> <p><b>Família:</b> <i>Combretaceae</i></p> <p><b>Natividade:</b> Cerrado</p> <p><b>Altura:</b> 8-16 m, com tronco de 40-50 cm de diâmetro.</p> <p>A madeira é apropriada para construção civil, marcenaria e carpintaria. A árvore é ornamental, podendo ser empregada com sucesso na arborização urbana. Planta pioneira de rápido crescimento e adaptada para terrenos arenosos e secos, é ótima para reflorestamentos mistos destinados à recomposição vegetal de áreas degradadas de preservação permanente. Produz anualmente grande quantidade de sementes viáveis, amplamente disseminadas pelo vento.</p>
8		<p><b>Espécie vegetal:</b> <i>Caesalpinia férrea</i> var <i>férrea</i> (Pau ferro)</p> <p><b>Família:</b> <i>Caesalpinaceae</i></p> <p><b>Natividade:</b> Mata Atlântica</p> <p><b>Altura:</b> 20 - 30 metros.</p> <p>Apresenta tronco liso descamante, possui folhas compostas bipinadas com 12 folíolos por pina. Ocorre ao longo dos rios e planícies aluviais. Tem preferência pelo clima quente e úmido e é dispersada por animais, pequenos roedores (zoocoria). É uma árvore de belo tronco, floresce nos meses de novembro a fevereiro, seus frutos amadurecem de julho a setembro.</p>
9		<p><b>Espécie vegetal:</b> <i>Zizyphus joazeiro</i> Mart. (Juazeiro)</p> <p><b>Família:</b> <i>Rhamnaceae</i></p> <p><b>Natividade:</b> Caatinga / Cerrado</p> <p><b>Altura:</b> 8 – 12 m.</p> <p>Adapta-se bem a locais mais úmidos, onde se torna árvore elegante com cerca de 15 metros de altura. Possui ramos tortuosos protegidos por <a href="#">espinhos</a>. Tem propriedades medicinais. Entre seus componentes químicos, destacam-se <a href="#">Vitamina C</a>, <a href="#">cafeína</a>, <a href="#">ácido betulínico</a> e <a href="#">saponinas</a> (estas últimas consideradas tóxicas, se em grandes quantidades). O extrato do juazeiro, o juá, é empregado na indústria farmacêutica em produtos <a href="#">cosméticos</a>, principalmente <a href="#">xampus</a> e cremes, bem como em <a href="#">cremes dentais</a>.</p>
10		<p><b>Espécie vegetal:</b> <i>Orbignya speciosa</i> (Mart.) Barb. Rodr. (Babaçu)</p> <p><b>Família:</b> <i>Arecaceae</i></p> <p><b>Natividade:</b> Mata dos Cocais</p> <p><b>Altura:</b> 20 m.</p> <p>Utilitariamente tem importante destaque na produção dos biocombustíveis. Além de ser totalmente utilizável, desde o broto – palmito até o coco babaçu, passando pela fabricação de ceras, óleos, resinas e bebida fermentada apreciada pelos índios da região. Tem importante papel econômico para o Estado. Recomendada para plantio em áreas residenciais e rurais. Como forma de resgate cultural, de caráter escultórico, poderá ser utilizado no espaço público.</p>

Quadro 11 – Listagem das espécies vegetais nativas presentes na flora de Teresina

### 2.3 Caracterização climática da cidade de Teresina

O clima da cidade de Teresina é tropical sub-úmido, segundo a classificação de Köppen (1948), com dois períodos marcantes: um quente e seco e outro quente e úmido. Tem, como características, elevados índices de temperatura, contribuindo para o desconforto térmico do local. O estudo de Lima e Assunção (2002), na cidade de Teresina apresentou a temperatura média do ar de 27,3<sup>o</sup>C, e temperaturas médias máxima e mínima, respectivamente, de 33,5<sup>o</sup>C e 22,2<sup>o</sup>C. De acordo com os autores, o mês de setembro é o que apresenta a temperatura média mais elevada, com o valor de 36<sup>o</sup>C.

Em dados registrados nas Normais Climatológicas do Brasil (INMET, 2008), em relação ao período de 1961-1990, verifica-se, a temperatura média mensal de 29<sup>o</sup>C para outubro e 23,6<sup>o</sup>C para fevereiro. Verificam-se também valores de umidade relativa do ar superiores a 80% nos meses de fevereiro, março e abril e menores que 60% em setembro (Gráficos 1 e 2).

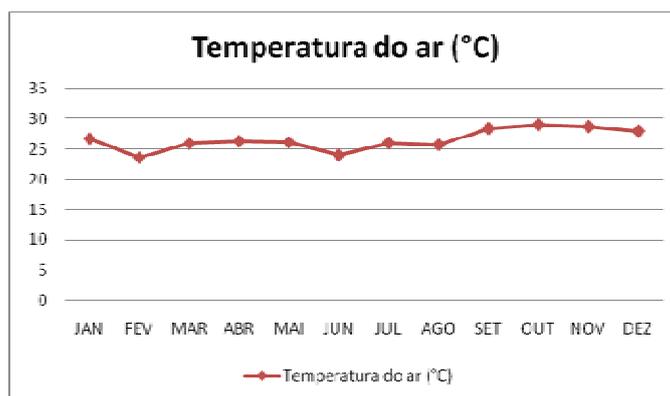


Gráfico 1 – Temperatura média do ar em Teresina (PI) período de 1961-1990

Fonte: INMET (2008)

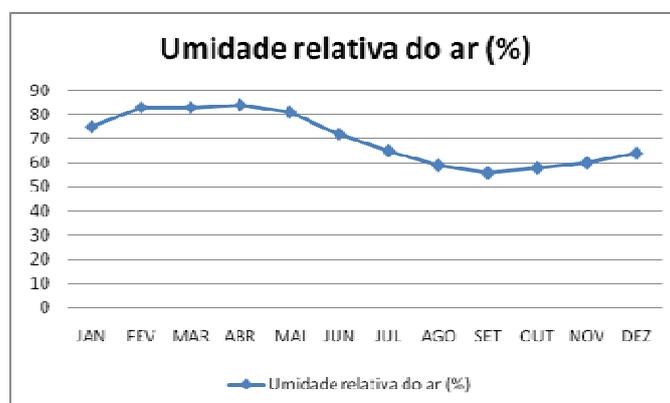


Gráfico 2 – Umidade relativa do ar em Teresina (PI) período de 1962-1990

Fonte: INMET (2008)

Castelo Branco (2002) destacou que, devido à proximidade de Teresina à linha do equador ( $5^{\circ}05'12''$  de latitude sul), os raios solares atingem a cidade num ângulo muito próximo a  $90^{\circ}$ , propiciando uma elevada intensidade da radiação solar, durante todo o ano. A pequena latitude influencia, também, no regime dos ventos, estando a cidade de Teresina situada numa região de calmaria e de brisas muito leves, necessitando de áreas sombreadas para a redução da radiação solar direta e melhoria do conforto de seus habitantes. Em seu estudo de microclimas na cidade de Teresina, a autora conclui que, levando-se em consideração a especificidade do clima local, com altas temperaturas durante todo o ano, pequenas alterações nas características do entorno analisado são significativas.

Segundo Andrade (2000, p.185) temperatura e calor são expressões diretamente associadas, por seus habitantes, às características da cidade de Teresina. Segundo o citado autor, “[...] a temperatura do ar exerce influência nos costumes, na cultura e, conseqüentemente, sobre a paisagem”.

Para Castelo Branco (2003), a alteração do revestimento do solo, a redução da cobertura vegetal, o aumento de superfícies refletoras, o tráfego de veículos e atividades geradoras de calor, decorrentes do processo de urbanização, provocam elevação na temperatura do ar. Em Teresina, onde, atualmente, 94,7% da população do município reside na área urbana, a amenização do clima deve ser um fator preponderante no seu planejamento.

Silveira (1999) afirma que, considerando-se as características do clima de Teresina, onde a temperatura média mensal é muito elevada (entre  $26$  e  $29^{\circ}\text{C}$ ), pode-se representar seu clima através de dois dias típicos: um, relativo ao mês de março (menor amplitude térmica), caracterizado por valores de temperatura, umidade relativa e precipitações típicas dos climas quente e úmido, e, o outro, referente ao mês de outubro (maior amplitude térmica). É neste mês (outubro) que ocorre a maior média das temperaturas máximas, a umidade relativa média fica em torno de 55%, as precipitações são praticamente nulas e a amplitude térmica diária média se apresenta em torno dos  $14^{\circ}\text{C}$ , caracterizando, desta forma, o clima como quente e seco.

Em climas muito úmidos, as nuvens e o vapor d'água reduzem, refletem e absorvem parte da radiação solar, atenuando as temperaturas extremas. Silveira (1999) destaca que, em locais secos, normalmente se observa o contrário, que são dias muito quentes e

noites frias. Logo, o vapor d'água na atmosfera tem função estratégica de termorregulador, garantindo o equilíbrio da umidade relativa do ar e contribuindo para o bem-estar das pessoas.

Para representar, com segurança, o clima da cidade, apresenta-se uma série histórica da temperatura do ar na cidade de Teresina (Quadro 12).

Média Compensada (° C)		Média das Máximas (° C)		Média das mínimas (° C)		Absoluta (° C)
Anual	Mensal	Anual	Mensal	Anual	Mensal	
26,5		33,1		22,1		
	29,0		36,4		23,1	40,3
	Outubro		Outubro		Dezembro	04/03/83
	23,6		30,1		20,4	15
	Fevereiro		Fevereiro		Julho	27/07/76

Quadro 12 - Temperatura do ar em Teresina (PI) período de 1961-1990.

Fonte: Mendonça (2007, p.160)

É apresentado também um quadro com os elementos e fatores climáticos da cidade de Teresina – PI. Neste quadro, são apresentados dados climáticos de insolação, radiação, latitude, altitude, etc. (Quadro 13).

Fatores climáticos	Característica em Teresina-PI
Insolação	Fevereiro - 4,8h
	Setembro - 10,3 h
	Média anual - 8,0h
Radiação	Proximidade ao equador: maior incidência solar
Latitude	5° 05' 12'' Sul
Altitude	Média - 72 m
Massas de água/ continentalidade	Teresina se distancia do mar (360 km), porém situa-se entre dois rios
Topografia/ relevo	Plano com suaves ondulações.
Vegetação	Cerrado e Cerradão. Vegetação nativa comprometida e área urbana com pouca vegetação.
Superfície do solo	Pouca cobertura vegetal

Elementos climáticos	
Temperatura (média)	Máxima anual - 33,8°C
	Mínima anual - 23,1°C
	Média anual - 28,5°C
Umidade relativa do ar (média)	Outubro - 57%
	Fevereiro - 86%
	Média anual - 71,9%
Precipitações	Total anual de 1.057 mm (meses de fevereiro, março e abril correspondem a 62,1% das chuvas do ano de 2003).
Velocidade do vento (média)	Abril - 0,6 m/s
	Outubro - 1,0 m/s
	Média anual - 0,8m/s

Quadro 13 - Elementos e fatores climáticos em Teresina – PI.

Fonte: EMBRAPA (2004)

## 2.4 Configuração urbana da cidade de Teresina

A configuração urbana da cidade de Teresina demonstra, a partir de seu mapa viário, linhas e núcleos que exercem forte possibilidade de gerar contato, uma vez que seu desenho apresenta forte ortogonalidade, gerando um grande número de cruzamentos. Prova disso, Medeiros (2007) em seu estudo sobre cidades brasileiras, discute que a cidade de Teresina teve um bom desempenho no índice de integração espacial<sup>14</sup>, demonstrado pelo mapa de axialidade, e possui um coeficiente de integração bastante alto: 0,861 (Quadro 14).

<sup>14</sup> Índice de integração espacial é calculado a partir das conexões existentes entre os eixos viários de um mapa viário de uma cidade (mapa axial) e o sistema viário da cidade como um todo.

<b>CIDADE</b>	<b>N EIXOS</b>	<b>INTEGRACAO</b>	<b>INT R2</b>
<b>Porto Velho B</b>	2239	1.458	0.150
<b>Teresina A</b>	<b>6475</b>	<b>0.861</b>	<b>0.110</b>
<b>Cuiabá A</b>	7903	0.836	0.050
<b>Maceió A</b>	2789	0.788	0.060
<b>Belém A</b>	11134	0.651	0.020
<b>Recife &amp; Entorno A</b>	14914	0.650	0.040
<b>Natal &amp; Entorno A</b>	10707	0.641	0.030
<b>Brasília &amp; Entorno A</b>	19536	0.630	0.020
<b>Goiânia &amp; Entorno A</b>	20144	0.607	0.050
<b>João Pessoa A</b>	14435	0.597	0.070
<b>São Luís A</b>	11946	0.586	0.030
<b>Manaus A</b>	23191	0.500	0.050
<b>Vitória B</b>	2918	0.433	0.040
<b>São Paulo A</b>	79677	0.373	0.040
<b>Rio de Janeiro A</b>	15890	0.303	0.060
<b>Porto Alegre A</b>	15750	0.280	0.060
<b>Florianópolis B</b>	6968	0.199	0.010

Quadro 14: Cidades Brasileiras com seus índices de integração

Adaptado de Medeiros, 2007

Em estudos mais específicos, desenvolvidos por Silva e Holanda (2008), indica-se que a estrutura da cidade de Teresina oferece uma malha urbana ricamente interconectada, assim, a escolha da área estudada recaiu sobre o vetor de desenvolvimento da cidade, de sentido Centro-Leste, podendo ser observado no mapa axial gerado pelo programa (Silva e Holanda, 2008) (figura 15).

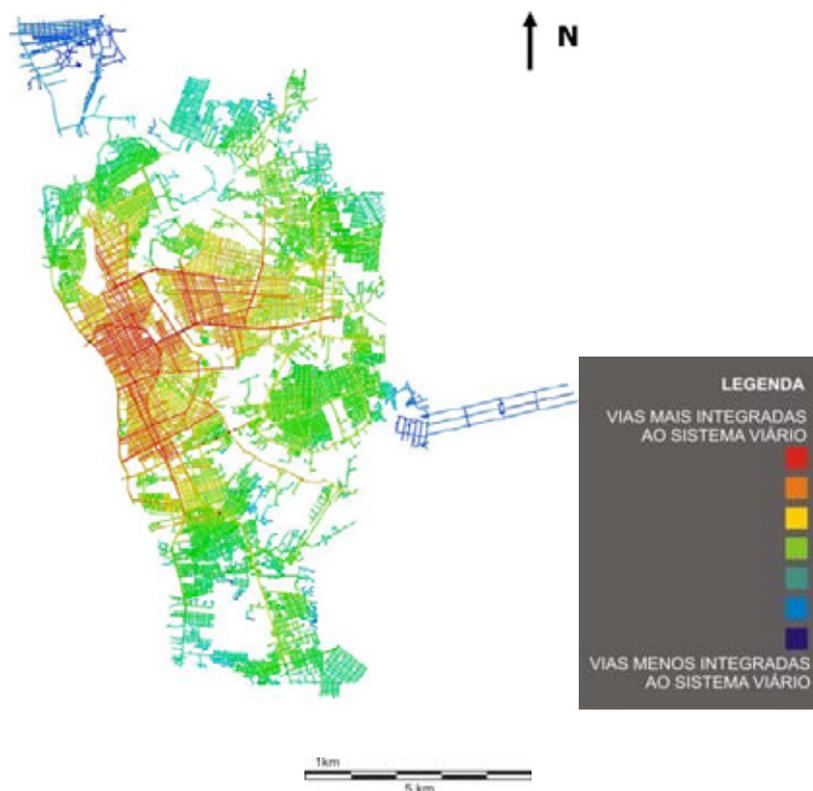


Figura 15: Mapa Axial da cidade de Teresina.

Fonte: SILVA e HOLANDA, 2008.

Desenvolveu-se uma série de simulações no *software* Depth-Map<sup>15</sup> que destaca, no sistema de ruas de Teresina, os coeficientes de integração e conectividade das vias com o sistema urbano da cidade, com contribuição relevante na definição de vias de estudo. São escolhidas as vias com grandes índices de conectividade e integração, pois representam avenidas mais vivenciadas. Neste sentido, este procedimento metodológico, desenvolvido por Hillier (1996) e seguido por Holanda (2002), é fundamental para o entendimento do principal eixo de crescimento da cidade (eixo centro-leste – cor vermelha) (Figura 16).

<sup>15</sup> Software de sintaxe espacial que destaca a conectividade e integração das vias no sistema viário da cidade de Teresina. Esta ferramenta computacional gera um mapa de axialidades, representando toda a rede de ruas da cidade. De modo didático, o sistema gera um gradiente de cores, partindo das tonalidades frias, que representam as vias menos integradas e conectadas ao sistema, e, em oposição, as tonalidades quentes, que representam as vias mais integradas e conectadas ao sistema viário da cidade.

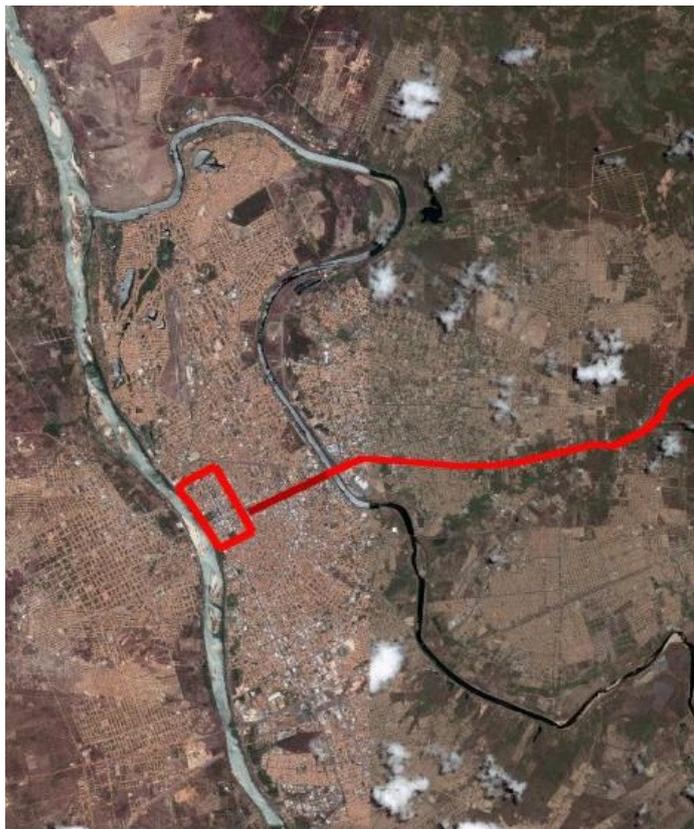


Figura 16: Imagem de satélite. Eixo Centro-Leste de crescimento da cidade em vermelho.

Adaptado de Google Earth (2007) Acesso em 20/06/2007

## 2.5 Caracterização do objeto de estudo

A segunda parte deste capítulo apresenta as avenidas analisadas nesta dissertação, selecionadas a partir da discussão desenvolvida no tópico que explica a configuração urbana da cidade de Teresina.

As vias públicas, representadas por três avenidas da cidade, são o objeto de estudo desta pesquisa, que são detalhados e caracterizados o seu espaço, a partir de imagens, representação gráfica e mapas.

A definição das vias é feita a partir de análise do sistema viário da cidade de Teresina, baseada em consultas ao acervo público sobre a memória de vias públicas da cidade. São definidas vias conformadas com três tipologias diferenciadas, quanto à distribuição e quantidade da vegetação e com diferentes desenhos de calçamento central e lateral.

A partir da definição das vias, são determinados pontos-tipo, conceitualmente considerados como uma fração urbana que represente a via em seu contexto global e que reúna suas características arquitetônicas e urbanísticas. Assim, são demarcados os três pontos (1, 2 e 3) de modo que funcionem também como lócus de coleta de dados meteorológicos, que representam a discussão do capítulo 3.

Alguns critérios são levados em consideração para a análise desses pontos, como: localização; densidade de verde e espacialização da arborização na caixa viária. Dois dos três pontos situam-se num mesmo vetor de crescimento da cidade – centro leste, o outro ponto localiza-se numa avenida de desenho peculiar – representa uma avenida que funciona como atalho para a zona norte da cidade. É importante ressaltar que todos os pontos representam prioritariamente local de circulação para pedestres, mesmo tratando-se, em um dos casos, de canteiro central, pois, nesta avenida (ponto 2) o canteiro central encontra-se reformado para criar uma circulação central de pedestres.

Os três pontos escolhidos têm um contexto ambiental urbano adverso, e representam situações diferenciadas, um sob sombra (ponto 1), localizado na calçada lateral da avenida Santos Dumont, outro também sob sombra (ponto 2), porém no canteiro central da avenida Frei Serafim, e o terceiro sob sol (ponto 3), localizado na calçada lateral da Avenida João XXIII. Por fim, as características gerais das avenidas estudadas são perfeitamente resumidas nos pontos escolhidos, sendo este, uma representação típica e sintética das características das vias.

A partir da definição dos pontos-tipo, calcula-se o fator W/H por meio de cortes esquemáticos das vias em estudo. Os valores das proporções de largura x altura das vias estão inseridos em cada quadro.

Ainda que a área estudada esteja sujeita às condições climáticas relativas à Teresina, em relação às temperaturas superficiais da micro-escala, estas sofrem variações locais devido basicamente a 5 fatores, alguns deles mencionados anteriormente, e diretamente relacionados ao conforto e sensação térmico (Quadro 15).

N.	Fatores relacionados ao conforto térmico
1	Espaçamento entre edificações criando áreas sombreadas.
2	Presença ou não de vegetação, que contribui para a umidificação do ar

	(evapotranspiração) e cria zonas de sombreamento.
3	Presença ou não de água, afetando o nível de umidade do ar.
4	Materiais de revestimento e suas características em relação à absorção e reflexão da radiação solar.
5	Regime de circulação dos ventos e seus efeitos.

Quadro 15 - Fatores relacionados ao conforto térmico

### 2.5.1 Localização do objeto de estudo

Os pontos de estudo representam três realidades diversas no cenário da cidade de Teresina. Todas elas localizam-se na zona urbana da cidade, sendo a Avenida Santos Dumont (área 1) localizada mais ao norte, a Avenida Frei Serafim (área 2) situada em toda a sua extensão na zona central e a Avenida João XXIII (área 3) localizada mais ao leste (Figura 17).

As avenidas são selecionadas dentro de seu cenário urbano. Para isso, é destacado um trecho no qual a avenida estivesse inserida. Para definir uma região de entorno das ruas, estabelece-se uma área de 10.000 m<sup>2</sup> (100 m x 100 m), medida que representa uma quadra urbana da cidade de Teresina.

Destaca-se que em cada avenida há o local mais apropriado para a circulação dos pedestres. A partir de observações in loco, verificam-se os locais nos quais se pôde registrar o maior tráfego de pessoas, o que se justifica pela maior largura livre de circulação e o menor número de desníveis. Assim, de modo específico, este local ora é representado como sendo a calçada lateral (áreas 1 e 3), ora como sendo o canteiro central (área 2).

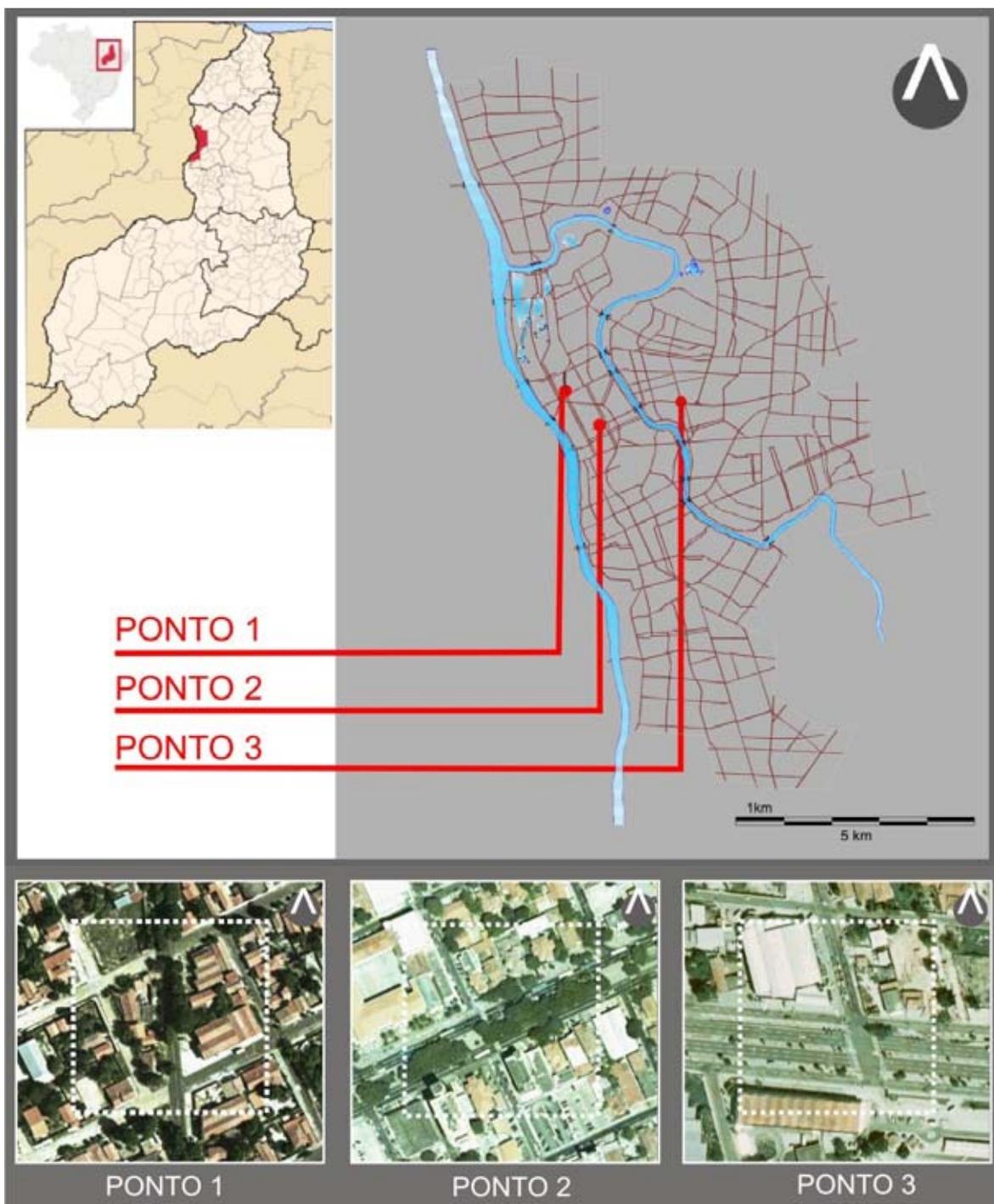


Figura 17 – Imagem de Satélite da cidade de Teresina – Pontos estudados

Adaptado de Teresina (2007).

### 2.5.2 Avenida Santos Dumont – Área 1/Ponto 1

Seleciona-se esta via por sua característica peculiar de ser encoberta por grandes árvores de copa densa (Oitizeiro). Esta via representa o caminho para o aeroporto, tendo sido construída em 1959, resultado de uma intervenção urbana (Figura 18).

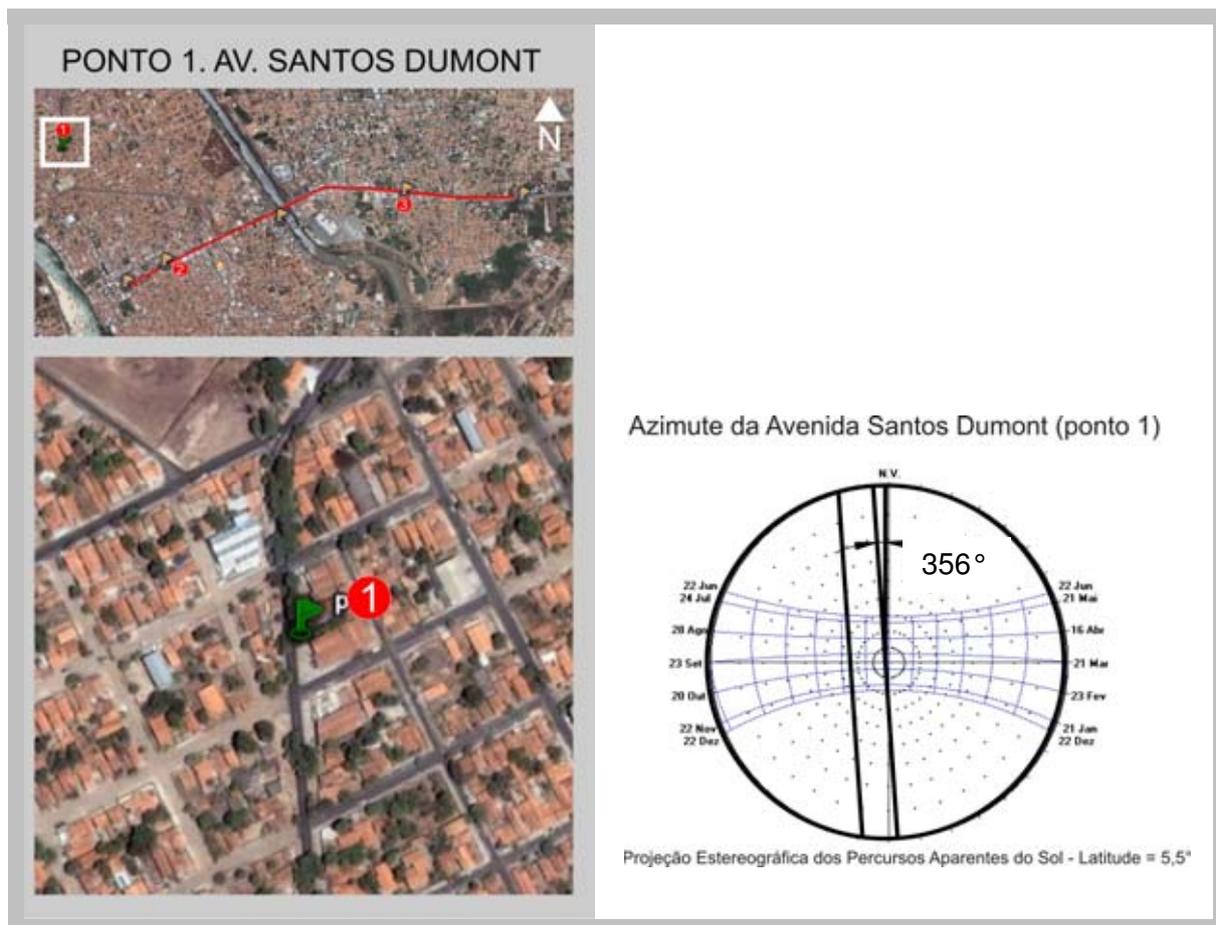


Figura 18 – Localização e Azimute da Área 1

A avenida representa um boulevard para a cidade (Figuras 19 e 20). Por ter sido construída com o objetivo de representar o acesso, a partir do centro da cidade, para o Aeroporto Petrônio Portela, teve seu desenho peculiar, podendo ser observado, na figura 18, sua direção transversal à malha urbana da cidade. A configuração desta avenida apresenta 356° de azimute (Figura 18) e situa a mesma em posição perpendicular aos ventos predominantes e, devido à sombra de suas árvores, tem as fachadas de suas edificações livres da insolação (Figura 21).



Figura 19 – Avenida Santos Dumont– Caminho para o Aeroporto.

Fonte: Edilberto Martins, 1959



Figura 20 – Avenida Santos Dumont em 2008

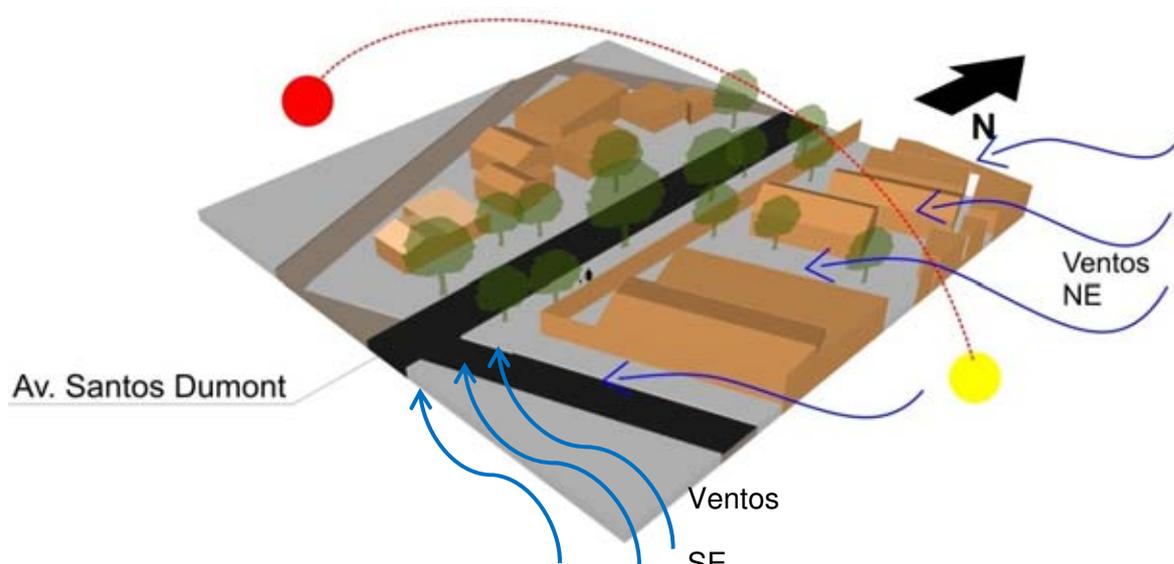


Figura 21 – Isométrica da área 1

A avenida Santos Dumont, dentre as áreas estudadas, é a com maior área sombreada. Isso ocorre pela grande quantidade de oitizeiros que esta avenida possui em suas calçadas laterais. O Oitizeiro pode ser classificado como uma espécie arbórea, de grande porte e copa densa.

Outra característica importante se deve ao fato de algumas ruas vizinhas serem revestidas com pedra, o que confere ganhos de conforto ambiental a este espaço (Figuras 22 e 23).



Figura 22 – Perspectiva da área 1

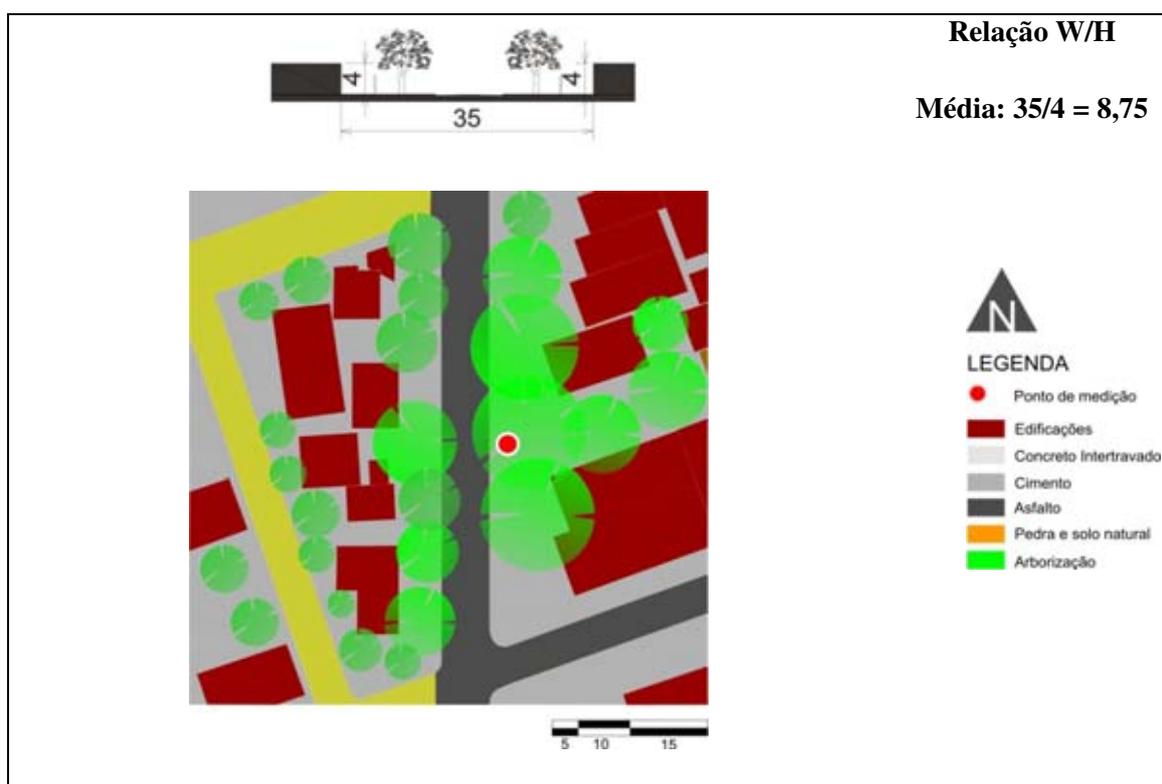


Figura 23 - Ponto 1 – Avenida Santos Dumont – Corte e Planta esquemáticos

Na distribuição dos materiais urbanos, vê-se a grande quantidade de arborização da área 1, que correspondente a 36% do total dos 10.000m<sup>2</sup> selecionados como amostra para a realização da pesquisa. Os outros materiais contidos nesta área são encontrados com a seguinte distribuição: 26% de área edificada (alvenaria com telhado cerâmico), 24% de concreto, 7% de asfalto (sem sombreamento) e 7% de pedra. Destaca-se que, em relação ao revestimento das calçadas, a avenida Santos Dumont apresenta piso cimentado, com índice de permeabilidade nulo (Gráficos 3 e 4).

### Distribuição dos Materiais Urbanos no Ponto 1

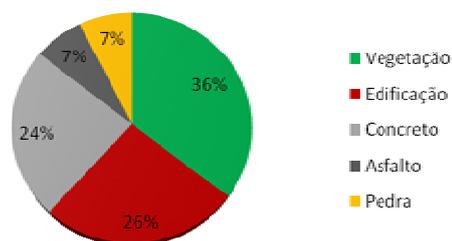


Gráfico 3 – Distribuição dos materiais urbanos na área 1

### Ponto 1 Avenida Santos Dumont

Vegetação ■ Outros Materiais Urbanos

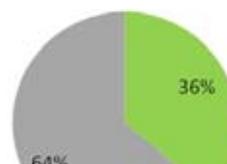


Gráfico 4 – Distribuição de Vegetação e outros materiais urbanos na área 1

### 2.5.3 Avenida Frei Serafim – Área 2

A Avenida Frei Serafim, eixo viário principal de interligação entre o Centro e a zona Leste, foi e ainda hoje é a principal avenida da cidade. Na segunda metade do século XX, a Avenida Frei Serafim adquire nova função, favorecida pelo aparecimento de maior número de veículos e pelo surgimento de novos bairros que se interligavam ao Centro pela avenida. Hoje, constata-se que essas transformações levaram a um intenso movimento, causando congestionamento na Avenida Frei Serafim e, por conseqüência, a mudança de usos e a descaracterização de fachadas. Antes, a Avenida Frei Serafim era uma via de apoio e de distribuição da cidade; agora, funciona mais como via de escoamento (Figura 24 e 25).

A Avenida Frei Serafim apresenta 65° de azimute, o que garante boa ventilação na caixa viária desta via, uma vez que a ventilação predominante da cidade é sudeste / nordeste, ou seja, tem orientação paralela a via em questão (Figura 24).

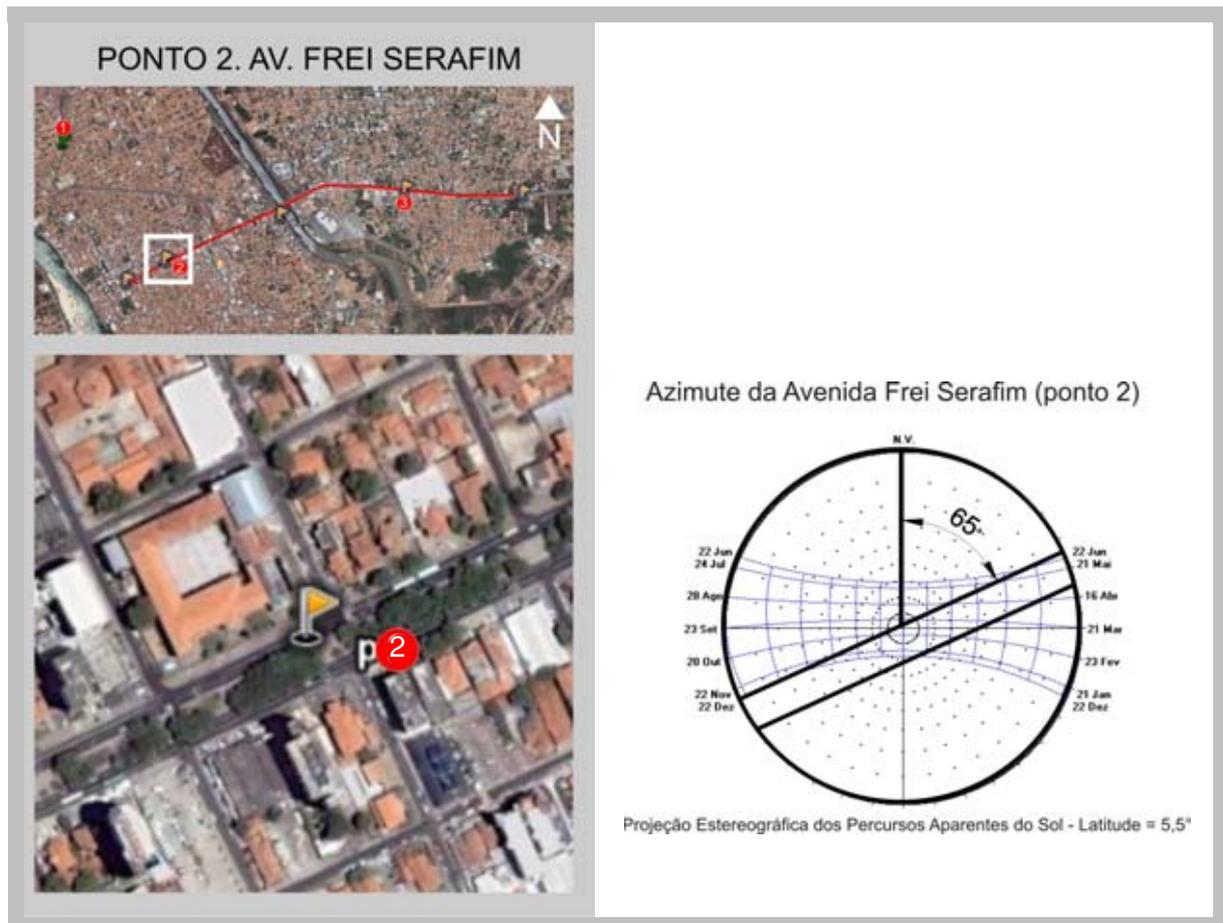


Figura 24 – Localização e Azimute da área 2



Figura 25: Avenida Frei Serafim acesso principal a zona Leste da cidade.  
 Fonte: Thomas, 2007. Disponível em [www.panoramio.com](http://www.panoramio.com). Acesso em 20/04/2008.

Nesta avenida, seleciona-se o seu canteiro central como o foco de análise, uma vez que este é o local utilizado para a circulação dos pedestres (Figuras 26 e 27). Dentre as avenidas estudadas, esta é a segunda com maior quantidade de área sombreada, fato que se deve também, assim como na área 1, à grande quantidade de oitizeiros que se encontra plantada em seu canteiro central (Figura 26 e 27). Esta espécie, conforme dito anteriormente, pode ser classificada como uma espécie arbórea de grande porte e de copa densa.



Figura 26 – Pavimentação do canteiro central da Frei Serafim.  
Fonte: Ana Negreiros (2007)



Figura 27 – Canteiro central da avenida Frei Serafim em 2008  
Fonte: Ana Negreiros (2007)

A avenida Frei Serafim apresenta um largo canteiro arborizado que é utilizado como principal circulação para os usuários do espaço. Este canteiro central apresenta em seu piso, como materiais de revestimento, blocos de concreto intertravados e faixas de terra, que garantem a absorção da água e sua permanência por mais tempo no ambiente (Figuras 26 e 27).

O desenho da avenida tem sentido centro-leste, fazendo com que esta via tenha sentido paralelo à direção dos ventos da cidade o que, em períodos úmidos, representa uma contribuição positiva para o conforto climático deste espaço. O desenho da via favorece também as fachadas principais de suas edificações, protegendo-as da insolação direta do sol (Figura 28).

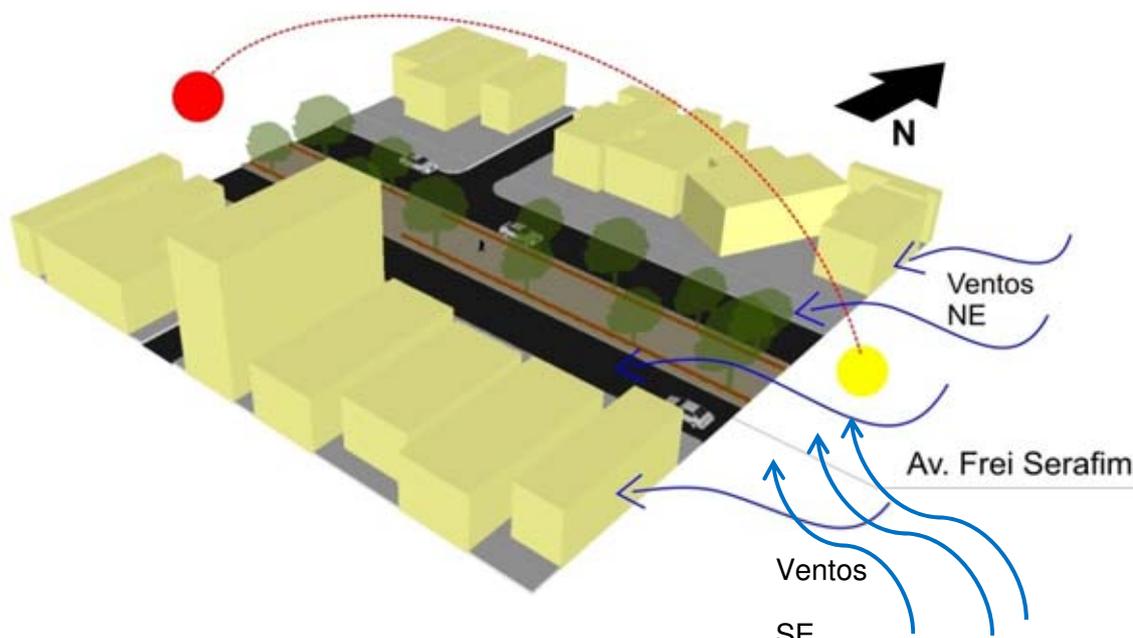


Figura 28 – Isométrica da área 2

As edificações dessa avenida são, em sua maioria, sobrados residenciais que, atualmente, recebem novos usos, sendo, a maioria deles, comerciais. No entanto, são estimulados a preservarem sua arquitetura original, em alguns casos, essa arquitetura é protegida por legislação municipal. Assim, a relação W/H, dentre as estudadas, representa a menor delas, sendo de 4,77. Esta relação representa um espaço expansivo, segundo classificação de Romero (2000) (Figuras 29 e 30).



Figura 29 – Perspectiva da área 2



Figura 30 - Ponto 2 – Avenida Frei Serafim – Corte e Planta esquemáticos

Na distribuição dos materiais urbanos, vê-se a grande quantidade de arborização da área 2, que correspondente a 25% do total dos 10.000 m<sup>2</sup> selecionados como amostra para a realização da pesquisa. Os outros materiais contidos nesta área são encontrados com a seguinte distribuição: 36% de área edificada (alvenaria com telhado cerâmico), 19% de concreto e 20% de asfalto (sem sombreamento) (Gráficos 5 e 6).

#### Distribuição dos Materiais Urbanos no Ponto 2

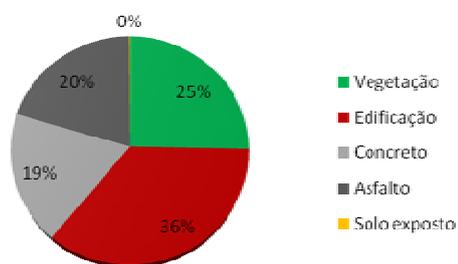


Gráfico 5 – Distribuição dos materiais urbanos na área 2

#### Ponto 2 Avenida Frei Serafim

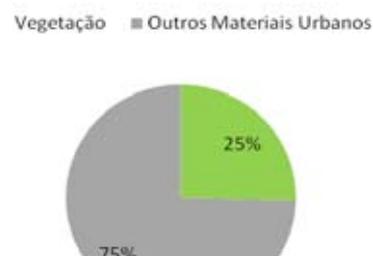


Gráfico 6 – Distribuição de Vegetação e outros materiais urbanos na área 2

### 2.5.4 Avenida João XXIII – Área 3

A Avenida João XXIII representa o prolongamento natural da avenida Frei Serafim. No entanto, com o obstáculo natural representado pelo rio Poti, só foi executada anos depois, após a construção da ponte Juscelino Kubitschek, passando a representar o principal eixo estruturador da cidade de Teresina, eixo que apresenta azimute de  $96^\circ$  (figura 31, 32 e 33). Os espaços da avenida são generosos, representados pela sua larga caixa viária e seus amplos canteiros ajardinados. Este cenário representa uma imagem da avenida bastante positiva, principalmente devido a sua escala. De modo mais simples, a largura chama a atenção. Isto se explica quando há uma busca por ruas “principais” e a confiança nelas depositadas de forma automática (Lynch, 1997, p 61).



Figura 31 – Localização e Azimute da área 3



Figura 32: Ponte Juscelino Kubitschek e vista da zona Leste da cidade de Teresina.  
 Fonte: Fontinelis, 2007. Disponível em [www.panoramio.com](http://www.panoramio.com). Acesso em 20/06/2007



Figura 33: Avenida João XXIII sentido Leste – saída da cidade – BR 343.  
 Fonte: Thomas, 2007. Disponível em [www.panoramio.com](http://www.panoramio.com). Acesso em 20/04/2008.

A Avenida João XXIII apresenta relação W/H que caracteriza esta avenida como de caráter expansivo, uma vez que permite, em seu zoneamento urbano, pequenas edificações de até 3 andares, assim, a proporção W/H de 7,5 torna este espaço semelhante à proporção encontrada na área 1 (avenida Santos Dumont) (Figura 34).

Semelhante a área 2, o desenho desta avenida segue a direção leste-oeste, paralela aos ventos predominantes e protegendo as fachadas principais de suas edificações da insolação direta (Figuras 35 e 36).

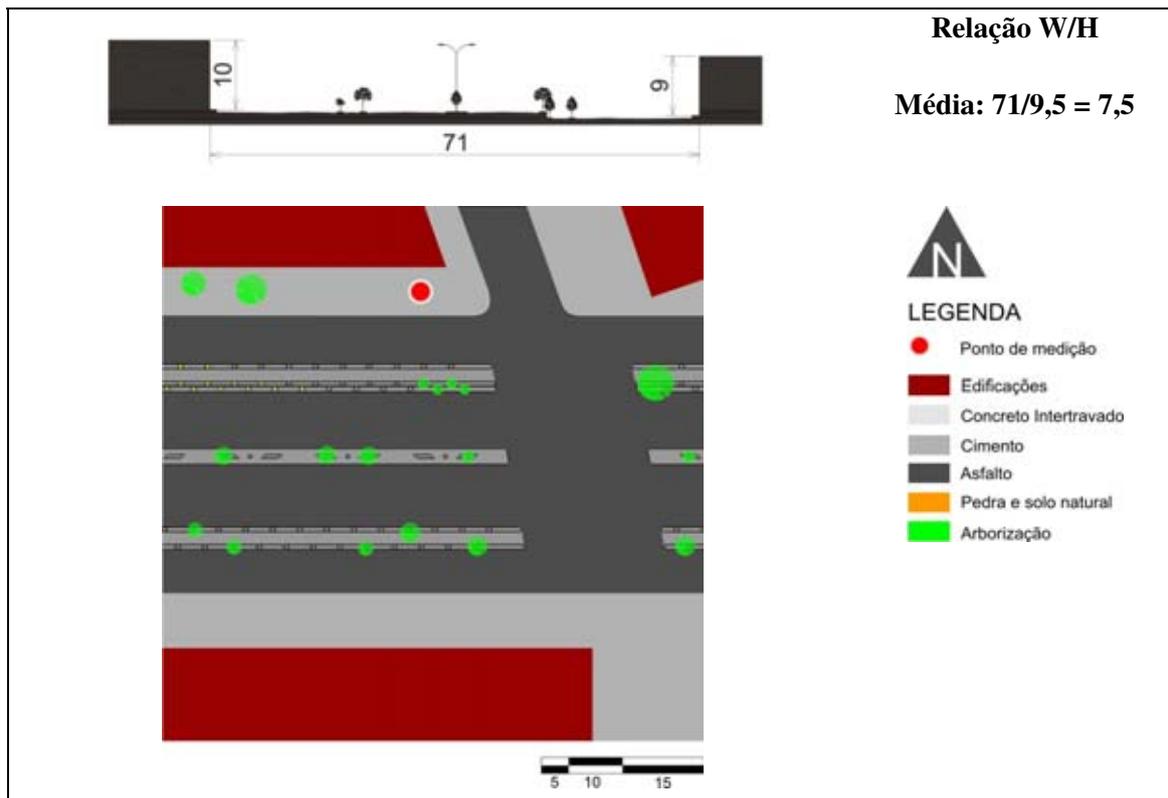


Figura 34 - Ponto 3 – Avenida João XXIII – Corte e Planta esquemáticos

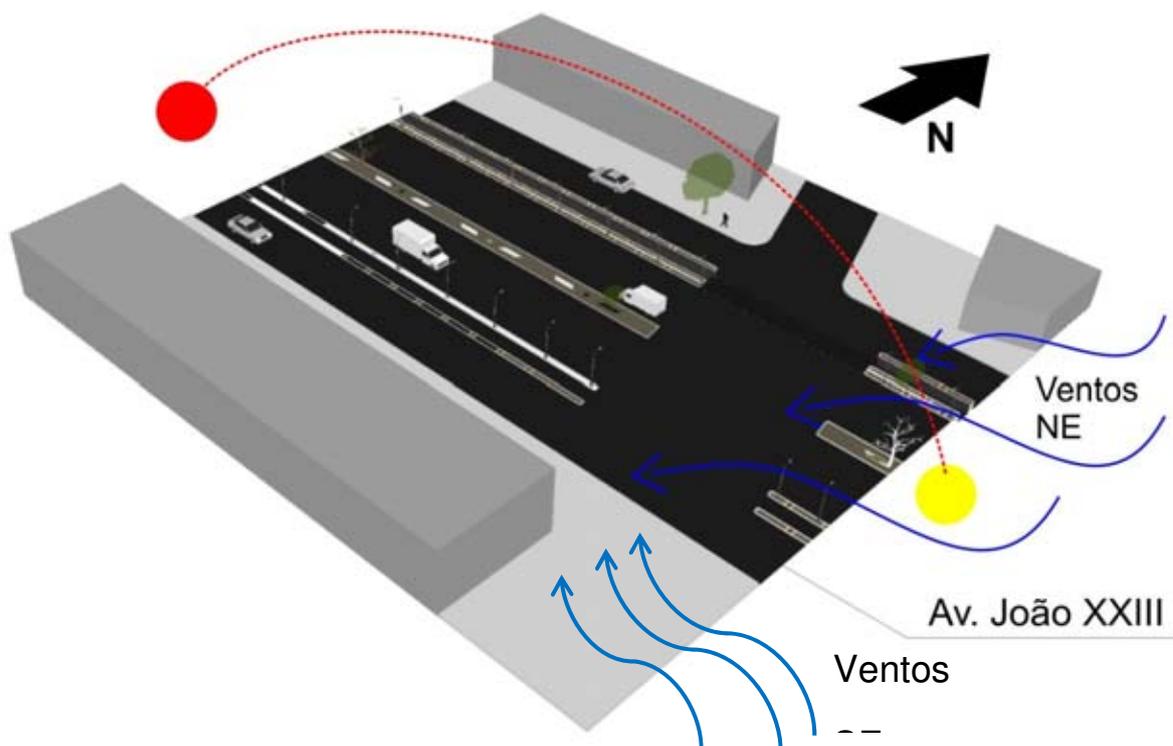


Figura 35 – Isométrica da área 3



Figura 36 – Perspectiva da área 3

Na distribuição dos materiais urbanos, vê-se a pequena quantidade de arborização da área 3, que correspondente a apenas 3% do total dos 10.000 m<sup>2</sup> selecionados como amostra para a realização da pesquisa. Os outros materiais contidos nesta área são encontrados com a seguinte distribuição: 46% de área asfaltada, 32% de concreto e 18,5% de edificação e apenas 0,5% de solo natural (Gráficos 7 e 8).

### Distribuição dos Materiais Urbanos no Ponto 3

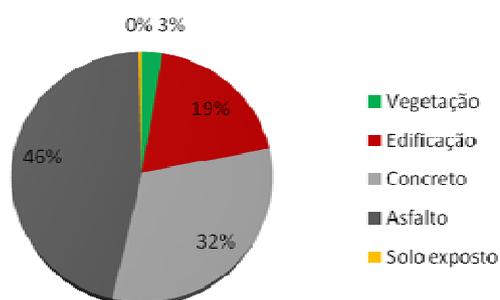


Gráfico 7 – Distribuição dos materiais urbanos na área

3

### Ponto 3 Avenida João XXIII

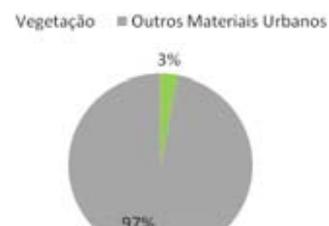


Gráfico 8 – Distribuição de Vegetação e outros materiais urbanos na área 3

### **3 – DESEMPENHO AMBIENTAL DA ARBORIZAÇÃO URBANA EM VIAS PÚBLICAS: RESULTADOS E SIMULAÇÕES**

Este terceiro capítulo é destinado a apresentar a caracterização climática da cidade de Teresina a partir dos resultados da pesquisa e das análises e simulações computacionais efetuadas sobre os dados obtidos. O título do capítulo se assemelha ao próprio título da dissertação, uma vez que é nesta parte do trabalho que se situa a maior contribuição da pesquisa. Neste capítulo, analisam-se os resultados e se demonstram os gráficos gerados, além de diagramas esquemáticos acerca do desempenho da arborização.

Esta pesquisa possui duas fases bem distintas: uma primeira fase de pesquisa de campo, com coleta de dados meteorológicos, a qual é nomeada de Análise Meteorológica; e a segunda parte do capítulo, que se dedica às simulações computacionais realizadas no programa ENVI-met, parte que é denominada de Simulações de Desempenho Ambiental.

Para a primeira parte, análise meteorológica, reporta-se à literatura especializada, à consulta aos dados da estação climatológica INMET/Área de Irrigação EMBRAPA Meio Norte e aos dados históricos (30 anos) da estação convencional do INMET – Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2007; 2008; Lima e Assunção, 2002).

Na segunda parte, denominada de “Simulações de Desempenho Ambiental”, são utilizados dois *software*: ENVI-met, em sua versão 3.1, e o programa Leonardo, em sua versão 3.75. As simulações para cada área do programa ENVI-met são geradas para os mesmos horários das medições de temperatura *in loco*.

### 3.1 Análise das variáveis climáticas

Neste tópico, apresentam-se os resultados dos dados coletados nas avenidas e na estação climatológica de referência do INMET, situada na EMBRAPA, assim como todas as coletas de campo, realizadas conforme detalhamento abaixo.

São apresentadas as medições de temperatura, umidade do ar e velocidade dos ventos, em locais definidos, nos horários definidos pela Organização Meteorológica Mundial, às 9 h, 15 h e 21 h, em dois dias consecutivos, considerando os períodos seco e chuvoso, utilizando-se de equipamentos portáteis, como termohigrômetro, termômetro infravermelho, anemômetro e biruta (Figura 37).

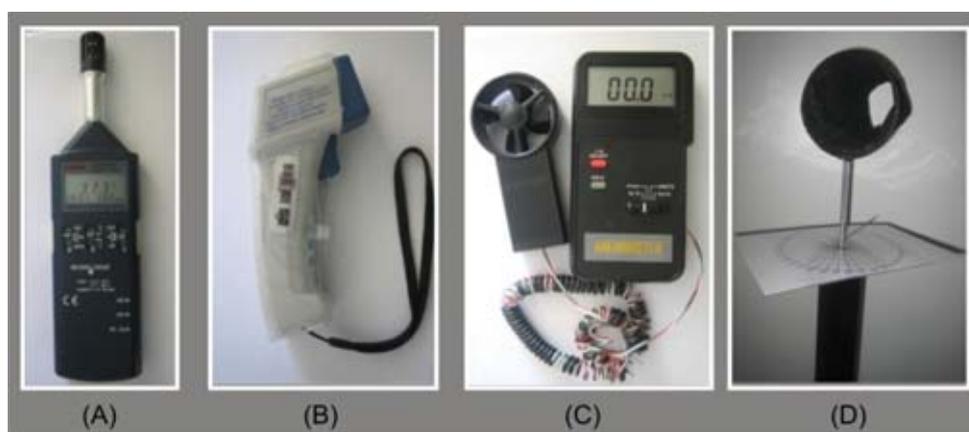


Figura 37: Aparelhos portáteis utilizados nas medições *in loco*. a: termohigrômetro; b: termômetro infravermelho; c: anemômetro; d: biruta.

Para realização desta pesquisa, seguem-se procedimentos metodológicos adotados por Silveira (2007), em que são utilizados três conjuntos de aparelhos, compostos por um termo-higrômetro, um anemômetro, uma bússola, uma biruta e um termômetro de superfície para as medições das variáveis climáticas nas ruas. Os aparelhos, princípios e métodos de medições empregados são descritos a seguir:

A temperatura e a umidade relativa do ar são medidas com um termo-higrômetro da marca INSTRUTERM, modelo HTR-157, que registra os dados de temperatura do ar entre 20 °C e 60 °C e, de umidade, entre 10 % e 95 %. O tempo de resposta da umidade entre 45 % e 95 % é < 3 min e, de 95 % a 45 %, 5 min. Quanto à temperatura, o aparelho responde a 1 °C/ 2 segundos. Esse modelo de termo-higrômetro possui

datalogger; entretanto, esta ferramenta não é utilizada na pesquisa (Silveira, 2007, p. 153).

O anemômetro, usado para a medição da velocidade do vento, era da marca INSTRUTHERM, modelo AD-145, do tipo digital com ventoinha, que registra a velocidade do vento em quatro unidades. A unidade aplicada é metros por segundo (m/s), com resolução de 0,1 e escala entre 0 e 45,0 m/s. O tempo de estabilização recomendado para aferimento da medida é de 4 segundos.

Para determinação da direção do vento, utiliza-se uma biruta desenvolvida para os estudos da pesquisadora Silveira (2007), com haste de aço inox, apoiada em pedestal de ferro com altura de 1,0m (Figura 37 – d). A direção predominante do vento é lida sobre uma cartela contendo circunferência com subdivisões a cada 5°. Inicialmente, orienta-se a cartela para o norte magnético com o auxílio da bússola. Para isso, são utilizados aparelhos do Instituto Camillo Filho - ICF e do Laboratório de Sustentabilidade Aplicada a Arquitetura e ao Urbanismo – LASUS da Universidade de Brasília.

Apresentam-se os valores da temperatura superficial das calçadas aferidos em cada ponto estudado. Para isso, utiliza-se aparelho da marca Minipa, modelo MT-350, do Laboratório de Controle Ambiental e Eficiência Energética – LACAM da Universidade de Brasília.

Os dados coletados são registrados em planilhas de Excel e são apresentados em quadros gerais com a representação do ano de coleta, mês, dia, avenida, hora, valores de temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento com respectiva orientação, temperatura superficial e nebulosidade (Quadros 16, 17, 18 e 19).

Quadro 16 - Quadro Geral de Dados Meteorológicos Coletados em 8 de Outubro de 2007

Pontos	Avenidas	h	Temp. Ar (°C)	Umid. Ar (%)	Velocidade do vento (m/s)	Orientação do vento	Temp. superf. calçada (°C)	Nebulosidade do Céu (%)
1	Santos Dumont	9h	31,7	59,9	1,5	NO	30,5	0
2	Frei Serafim	9h	33,1	55,1	1,5	NO	31,5	0
3	João XXIII	9h	33,2	57,2	3,2	NO	41,5	0
1	Santos Dumont	15h	37,7	43,9	1,4	SO	35,0	25
2	Frei Serafim	15h	38,0	43,1	0,8	S	38,5	25
3	João XXIII	15h	38,1	41,0	1,6	NO	55,0	25
1	Santos Dumont	21h	31,4	66,5	0,0	-	30,0	0
2	Frei Serafim	21h	31,9	56,4	0,3	N	31,5	0
3	João XXIII	21h	31,1	63,5	0,0	NO	34,5	0

Quadro 17 - Quadro Geral de Dados Meteorológicos Coletados em 9 de Outubro de 2007

Pontos	Avenidas	h	Temp. Ar (°C)	Umid. Ar (%)	Velocidade do vento (m/s)	Orientação do Vento	Temp. superf. calçada (°C)	Nebulosidade do Céu (%)
1	Santos Dumont	9h	33,0	60,6	1,3	NO	30,0	0
2	Frei Serafim	9h	33,8	57,6	2,5	NO	32,5	0
3	João XXIII	9h	33,7	60,0	2,0	NO	38,5	0
1	Santos Dumont	15h	37,8	42,5	1,0	NE	36,0	0
2	Frei Serafim	15h	39,3	40,1	0,0	S	38,0	0
3	João XXIII	15h	39,5	39,2	1,7	NO	58,5	0
1	Santos Dumont	21h	33,0	52,0	0,9	N	30,5	25
2	Frei Serafim	21h	33,6	49,0	1,7	NE	31,5	50
3	João XXIII	21h	33,3	52,0	0,5	NO	37,5	25

Quadro 18 - Quadro Geral de Dados Meteorológicos Coletados em 21 de Março de 2008

Pontos	Avenidas	h	Umid.		Velocidade do vento (m/s)	Orientação do vento	Temp. superf. calçada (°C)	Nebulosidade do Céu (%)
			Temp. Ar (°C)	Ar (%)				
1	Santos Dumont	9h	29,8	65,3	1,2	NE	26,0	75
2	Frei Serafim	9h	29,6	76,2	1,2	O	25,0	75
3	João XXIII	9h	30,1	62,1	0,5	O	32,0	75
1	Santos Dumont	15h	31,7	54,1	1,2	NE	27,0	50
2	Frei Serafim	15h	32,5	52,4	1,1	SE	28,5	50
3	João XXIII	15h	32,5	54,1	1,5	O	43,0	50
1	Santos Dumont	21h	25,5	92,8	1,8	NO	23,5	50
2	Frei Serafim	21h	25,3	92,6	0,8	NO	23,0	50
3	João XXIII	21h	25,8	91,3	0,5	O	26,5	50

Quadro 19 - Quadro Geral de Dados Meteorológicos Coletados em 22 de Março de 2008

Pontos	Avenidas	h	Temp. Ar (°C)	Umid. Ar (%)	Velocidade do vento (m/s)	Orientação do vento	Temp. superf. calçada (°C)	Nebulosidade do Céu (%)
1	Santos Dumont	9h	30,2	68,1	0,9	NE	27,0	75
2	Frei Serafim	9h	28,6	72,4	1,6	O	27,0	75
3	João XXIII	9h	29,2	68,0	0,9	O	28,0	75
1	Santos Dumont	15h	32,7	58,2	1,1	NE	32,5	50
2	Frei Serafim	15h	32,5	55,5	1,1	SE	26,5	50
3	João XXIII	15h	31,4	52,5	1,8	O	41,0	50
1	Santos Dumont	21h	27,2	84,6	1,2	NO	23,5	50
2	Frei Serafim	21h	25,5	88,7	0,7	NO	24,5	50
3	João XXIII	21h	26,8	83,1	0,3	O	28,5	50

Dados sensoriais também são registrados pelos pesquisadores, que, antes de coletarem os dados climáticos, registram as sensações de conforto térmico do ambiente das vias estudadas. Os dados são apresentados e mostram que, no período seco, a Avenida João XXIII (ponto 3) apresenta sensações de conforto que variam entre desagradável (quente) no horário da tarde e pouco agradável nos horários da manhã e noite. As sensações de conforto térmico nas demais avenidas (Santos Dumont e Frei Serafim) variam entre agradável e muito agradável (Quadros 20 e 21).

Quadro 20 – Dados sensoriais registrados no mês de outubro

Hora	Pontos	Avenidas	Mês					
				Desagradável (quente)	Pouco agradável	Agradável	Muito agradável	Desagradável (frio)
9h	1	Santos Dumont	Outubro					
9h	2	Frei Serafim	Outubro					
9h	3	João XXIII	Outubro					
15h	1	Santos Dumont	Outubro					
15h	2	Frei Serafim	Outubro					
15h	3	João XXIII	Outubro					
21h	1	Santos Dumont	Outubro					
21h	2	Frei Serafim	Outubro					
21h	3	João XXIII	Outubro					

Quadro 21 – Dados sensoriais registrados no mês de março

Hora	Pontos	Avenidas	Mês					
				Desagradável (quente)	Pouco agradável	Agradável	Muito agradável	Desagradável (frio)
9h	1	Santos Dumont	Março					
9h	2	Frei Serafim	Março					
9h	3	João XXIII	Março					
15h	1	Santos Dumont	Março					
15h	2	Frei Serafim	Março					
15h	3	João XXIII	Março					
21h	1	Santos Dumont	Março					
21h	2	Frei Serafim	Março					
21h	3	João XXIII	Março					

Assim, vê-se que a coleta desses dados meteorológicos representa a realidade da situação pontual da micro-escala das avenidas estudadas, servindo de comparação entre as avenidas pesquisadas, nos dois semestres anuais. Para isso, empregam-se planilhas desenvolvidas no *Office Excel* para a análise dos dados de campo. No total, utilizam-se

três pontos de coleta de dados, a qual se realiza em dois dias consecutivos, ambos representados nos gráficos.

As datas das medições em campo são 8 e 9 de outubro de 2007 e 21 e 22 de março de 2008. Percebe-se que cada semestre típico é coletado em um ano diferente: outubro, tipicamente seco, é estudado em 2007, e o mês de março, tipicamente úmido, é estudado em 2008. Essa definição justifica-se pelo cronograma proposto para esta dissertação. Assim, a apresentação dos gráficos segue a lógica cronológica, ou seja, primeiro são apresentados valores da época seca (outubro de 2007); em seguida, os valores da época úmida (março de 2008).

### **3.1.1. Temperatura do ar**

Para a avaliação da temperatura do ar nas vias, são realizadas medições nos três horários diários estabelecidos pela OMM – Organização Meteorológica Mundial –, em cada época típica climaticamente para Teresina: época seca (outubro) e época úmida (março). As medições são realizadas em cada avenida. A partir daí, comparam-se os valores coletados com o valor registrado no INMET, para os mesmos horários. Todos os valores coletados são registrados nos gráficos que são apresentados neste tópico.

No período seco, aqui representado pelo mês de outubro, os valores registrados apresentam diferenças bastante significativas entre os registrados pelo INMET e os coletados nas avenidas da cidade. A Avenida João XXIII, considerada a de menor índice de arborização, apresenta valor de temperatura de 33,2 °C (horário das 9 h), sendo este valor 4,6° C superior ao oficial da cidade, enquanto a Avenida Santos Dumont, a mais arborizada dentre as avenidas estudadas, a diferença cai para 3,1 °C (Gráficos 9 e 10).

## Temperatura do ar- 08/10/2007

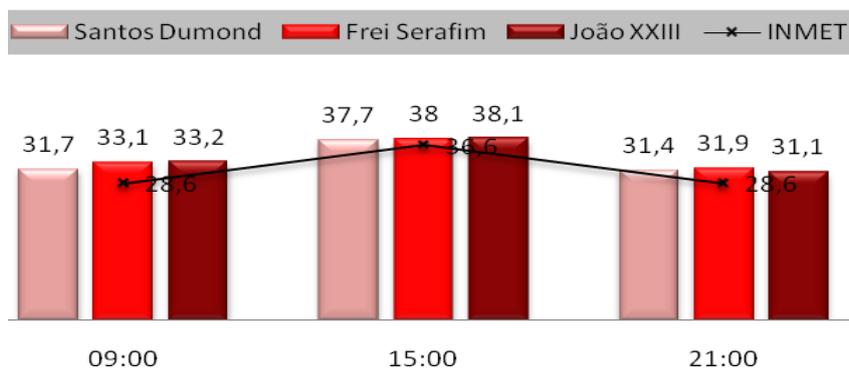


Gráfico 9 – Temperatura do ar (°C) em 08/10/2007

## Temperatura do ar- 09/10/2007

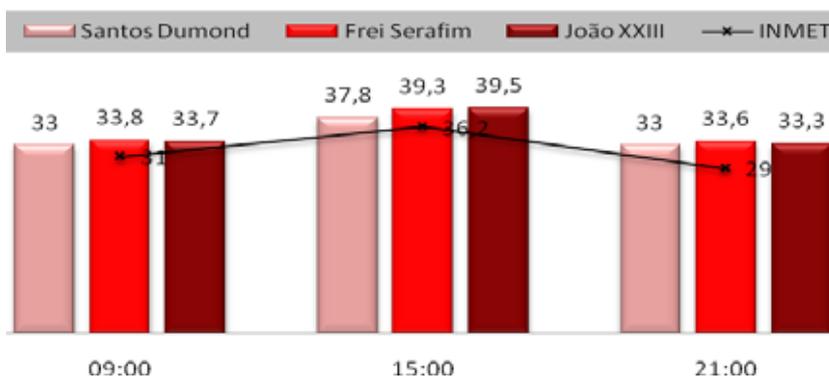


Gráfico 10 – Temperatura do ar (°C) em 09/10/2007

Em março, mês tipicamente úmido, representando o primeiro semestre do ano de 2008, os valores coletados em campo também são maiores que os registrados na estação climatológica da EMBRAPA. Isso ocorreu em todos os pontos estudados, sem exceção.

A diferença de valores de temperatura registrada nas medições *in loco* entre os pontos estudados situa-se em torno de 1° C, entre a avenida mais arborizada e a avenida menos arborizada, correspondendo aos pontos 1 e 3, respectivamente (Gráfico 11).

Já em relação à diferença entre os pontos das avenidas e o INMET, registram-se maiores diferenças. O período da manhã do dia 22/03/2008 atingiu uma diferença

extrema, chegando a 5,6 °C na Avenida Santos Dumont (ponto 1), 4 °C na Avenida Frei Serafim (ponto 2) e 4,6 °C na Avenida João XXIII (ponto 3) (Gráfico 12).

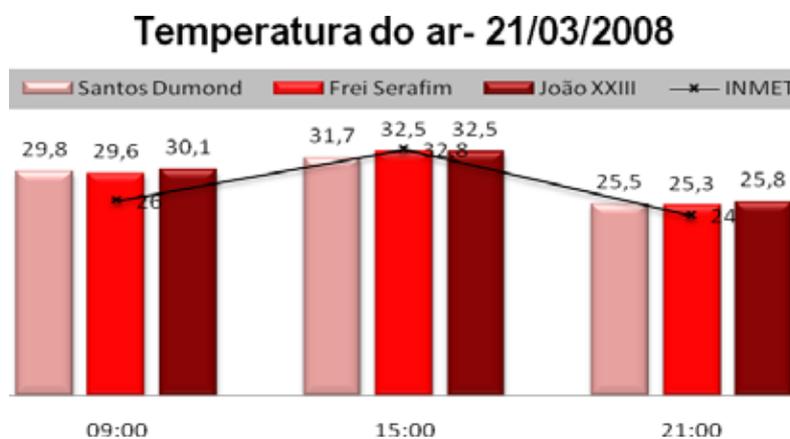


Gráfico 11 – Temperatura do ar (°C) em 21/03/2008

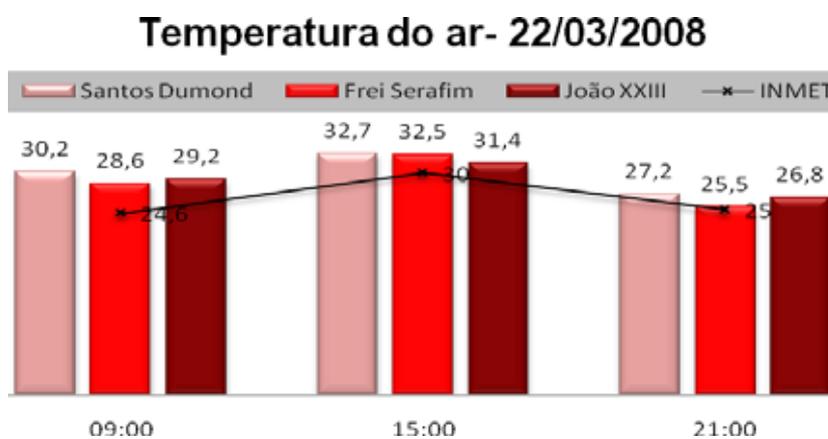


Gráfico 12 – Temperatura do ar (°C) em 22/03/2008

### 3.1.2 Umidade relativa do ar (%)

Para a avaliação da umidade relativa do ar nas vias, segue-se a mesma metodologia, com medição nos três horários diários estabelecidos pela OMM, em cada época típica

climaticamente para Teresina, que são as épocas seca (outubro) e úmida (março). As medições são apresentadas para cada avenida. A partir daí, comparam-se os valores coletados com o valor registrado no INMET, para os mesmos horários. Informa-se que todos os valores coletados são registrados nos gráficos apresentados neste tópico.

No mês de outubro, que corresponde ao período seco, os valores coletados em campo apresentam diferenças bastante peculiares, principalmente no período da tarde, em que os valores de umidade relativa do ar registrados nas avenidas superam os valores registrados pela estação climática do INMET.

A variação do INMET é bastante significativa: varia de 67 % pela manhã, 30 % à tarde e novamente 67 % no período noturno (Gráfico 13). Justifica-se esta amplitude por interferências do macroclima da cidade, o que não ocorre na escala do lugar, no microclima.

Nas avenidas, a variação de umidade relativa do ar, entre o horário da manhã e o horário da tarde, fica entre 12 % e 16 %. A noite é o período do dia de maior umidade, de modo que as avenidas registram valores de 63,5 % a 66,5 %; neste caso, a diferença se justifica pela quantidade de arborização, pois a diferença de 3 % faz da Avenida Santos Dumont a mais úmida, não somente no horário das 21 h, mas durante todo o dia (Gráfico 13).

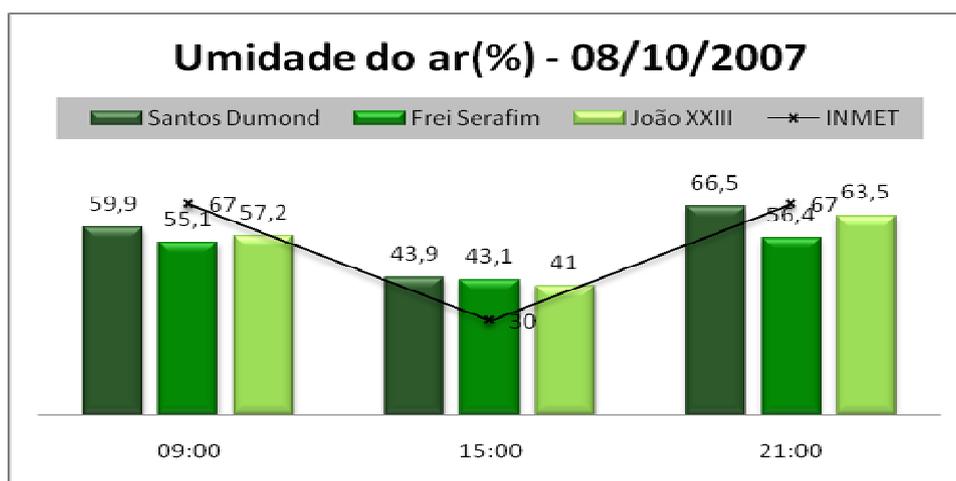


Gráfico 13 – Umidade do ar (%) em 08/10/2007

O dia 09/10/2007 apresenta uma realidade muito próxima do dia anterior, em que a amplitude dos valores de umidade relativa do ar, registrados no INMET, é consideravelmente maior que as apresentadas nas avenidas (Gráfico 14).

No período da tarde, horário em que a umidade se reduz bastante (15 h), a Avenida João XXIII, considerada a de menor índice de arborização, apresenta valor de umidade de 39,2 %, sendo o menor valor entre as três avenidas, nos três horários do dia (Gráfico 14).

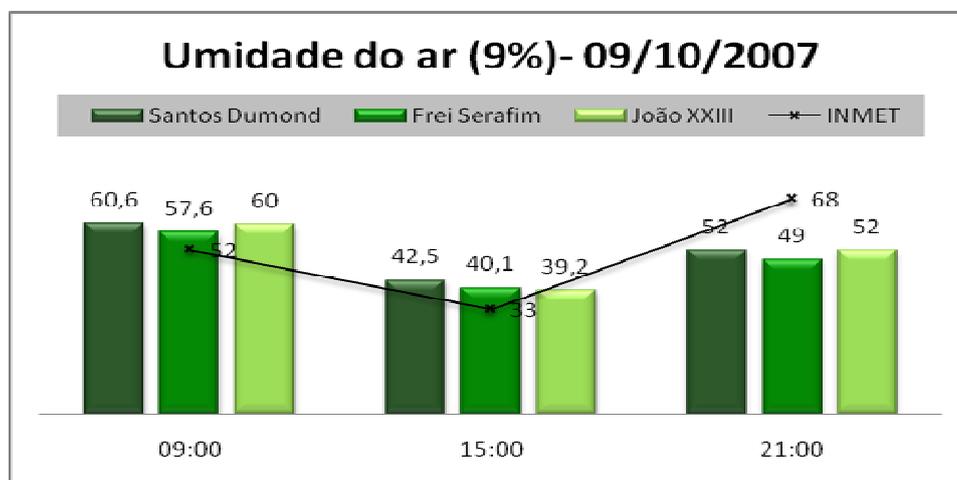


Gráfico 14 – Umidade do ar (%) em 09/10/2007

Encontra-se outro cenário em março, mês tipicamente úmido, em que os valores coletados em campo são todos inferiores aos registrados na estação climatológica da EMBRAPA. Isso ocorreu em todos os pontos estudados, sem exceção.

A diferença de valores de umidade registrada nas medições *in loco*, entre os pontos estudados, chegou a 23,9 % entre a umidade relativa do ar registrada no INMET e o valor da umidade coletado na Avenida João XXIII, caracterizada como a de menor área arborizada (Gráfico 15).

No dia 22/03, a diferença entre os pontos chega a ser ainda mais expressiva. O valor da umidade relativa do ar entre as avenidas difere 14,1 %, entre a Avenida Frei Serafim (ponto 2) e a Avenida João XXIII (ponto 3). É importante esclarecer que a Avenida Santos Dumont apresentou valores de umidade inferiores ao da Avenida Frei Serafim. Conforme mencionado na caracterização da via, essa diferença pode ser justificada pela diferença de revestimento das calçadas, pois, enquanto o ponto 1 apresenta piso cimentado, com índice de permeabilidade nulo, o ponto 2 apresenta revestimento semipermeável.

Desse modo, os valores diferem em 3,2 % no período da manhã. Pela tarde, devido ao grande acúmulo de calor no decorrer do dia, os valores são idênticos e, à noite, a

diferença fica em 1,3 %. Ressalta-se que a área arborizada da Avenida Santos Dumont é superior à área arborizada da Avenida Frei Serafim, vindo, neste caso, do revestimento do solo uma importante contribuição para o manutenção da umidade (Gráfico 16).

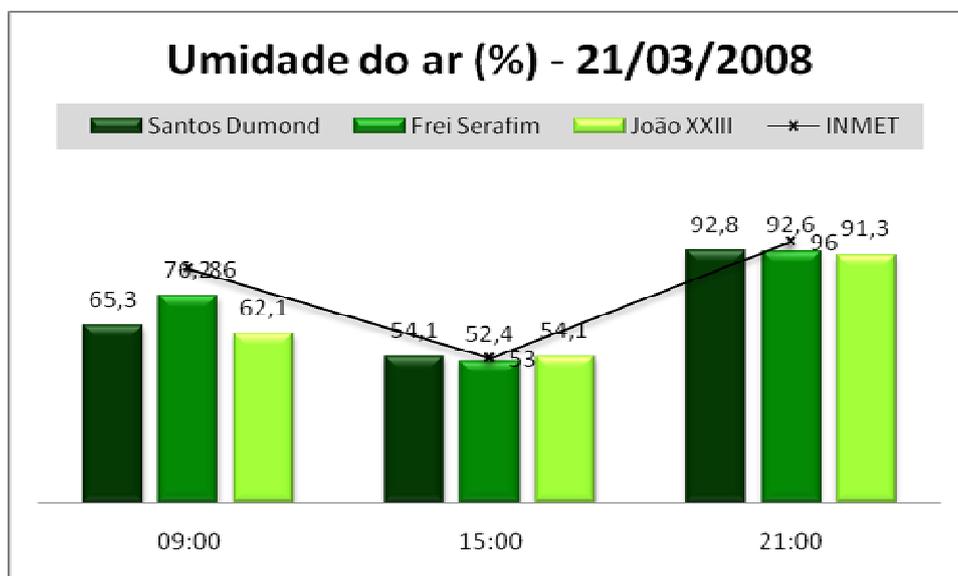


Gráfico 15 – Umidade do ar (%) em 21/03/2008

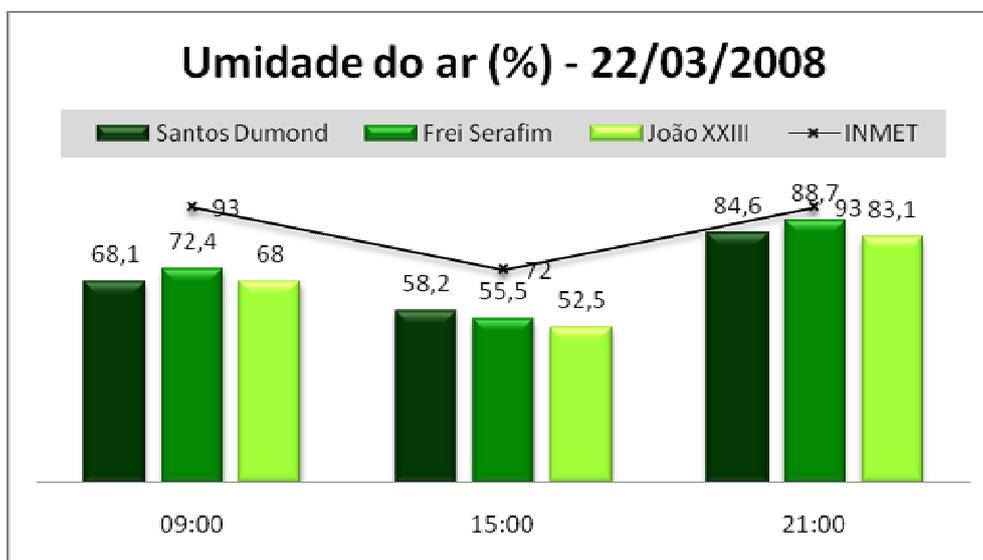


Gráfico 16 – Umidade do ar (%) em 22/03/2008

### 3.1.3 Velocidade do vento (m/s)

Para a coleta de dados relativos à velocidade do vento nas vias, segue-se a mesma metodologia utilizada para a coleta de dados referentes à temperatura do ar, com

acrécimo de alguns passos. São realizadas medições nos três horários diários estabelecidos pela OMM, em cada época típica climaticamente para Teresina, época seca (outubro) e época úmida (março). As medições são realizadas em cada avenida, com auxílio de bússola e biruta, pois se tornou necessário registrar a orientação do vento. A partir daí, comparam-se os valores coletados com o valor registrado no INMET, para os mesmos horários. Informa-se que todos os valores coletados registrados nos gráficos, são apresentados neste tópico.

Conforme esclarecido no capítulo 2, Teresina situa-se numa região de calmarias, com ventilação média de 1,4 m/s. Neste sentido, as vias traçadas muitas vezes formam corredores de ventilação, o que é visto como importante artifício de desenho urbano. Esta estratégia, quando agregada à arborização de variada altura de copa e materiais urbanos que acumulem umidade, incrementa a velocidade dos ventos, fator bastante positivo na época quente e úmida.

É importante considerar o desenho das vias estudadas, pois a Avenida Santos Dumont tem desenho curvo no sentido sul – norte, enquanto a Frei Serafim e João XXIII apresentam sentido leste-oeste, recebendo a corrente de ventos leste e nordeste, que são as correntes de maior velocidade na cidade de Teresina. Assim, a Avenida Santos Dumont, apesar de bastante arborizada, apresenta valores de ventilação bem baixos no período seco do ano, sendo menor que na Avenida João XXII nos horários da manhã e da tarde (Gráficos 17 e 18).

No dia oito de outubro, caracterizado como de época seca, a Avenida João XXIII registra o maior valor de ventilação, de 3,2 m/s no horário da manhã (9 h) e 1,6 m/s no horário da tarde (15 h), fato que é justificado pelo desenho da avenida, o qual apresenta a maior caixa viária entre as três estudadas (Gráfico 17).

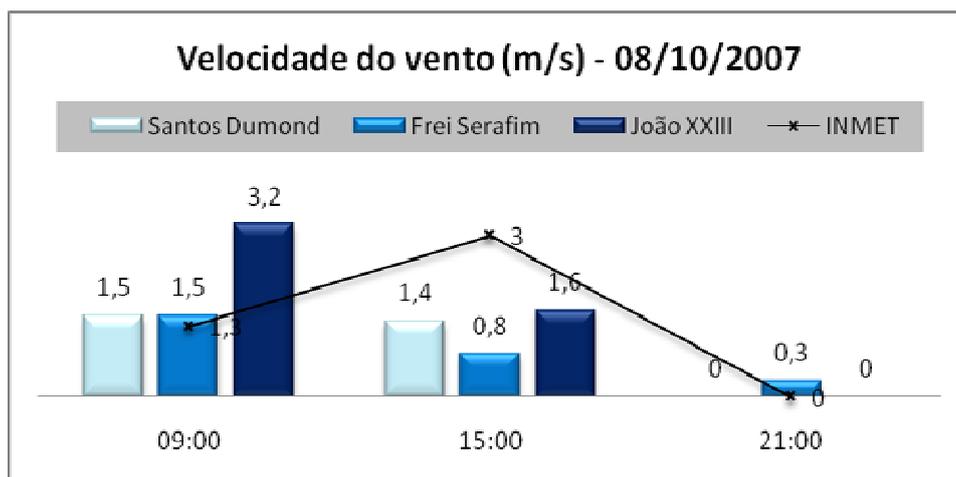


Gráfico 17 – Velocidade do vento (m/s) em 08/10/2007

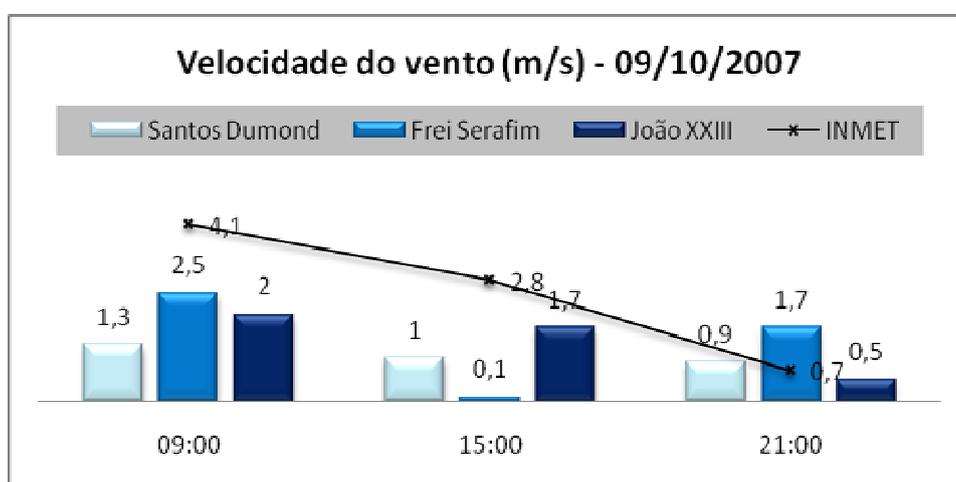


Gráfico 18 – Velocidade do vento (m/s) em 09/10/2007

A época caracterizada como úmida, na qual está inserido o mês de março, os valores de velocidade do vento coletados em campo superam em quase todos os horários os coletados na época seca. No entanto, com exceção do horário da tarde, os valores coletados em campo diferem bastante dos registrados pela estação de referência (Gráficos 19 e 20).

Essas diferenças de valor podem ser justificadas pelo fato de que os valores coletados in loco representam a velocidade do vento canalizada pelas ruas, o que representa diferença considerável se comparadas com a localização da estação climatológica da EMBRAPA.

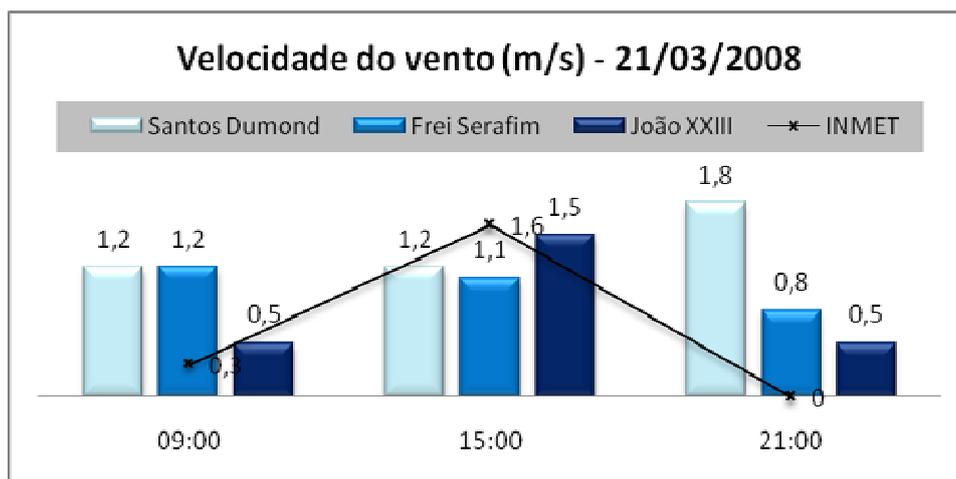


Gráfico 19 – Velocidade do vento (m/s) em 21/03/2008

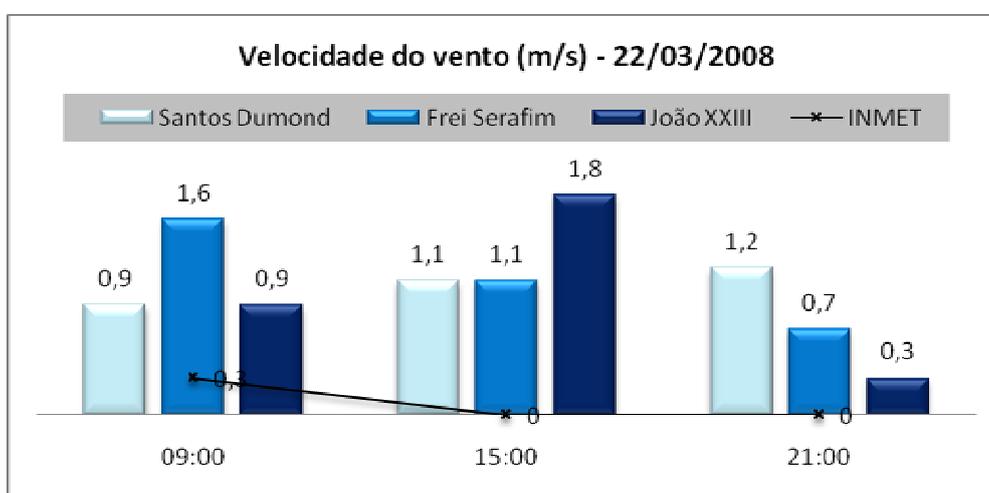


Gráfico 20 – Velocidade do vento (m/s) em 22/03/2008

### 3.1.4 Temperatura superficial das calçadas

Para a avaliação da temperatura superficial das calçadas das vias, segue-se a mesma metodologia, com medição nos três horários diários estabelecidos pela OMM, em cada época típica climaticamente para Teresina, época seca (outubro) e época úmida (março). As medições são apresentadas para cada avenida, de modo concomitante à medição de temperatura do ar. Informa-se que não é possível uma comparação entre os valores coletados com o valor registrado no INMET, uma vez que o instituto realiza medição de temperatura superficial de grama, e não de concreto ou cimento, material existente nas calçadas das vias estudadas. Os valores coletados nos dois dias em cada mês são registrados nos gráficos que são apresentados neste tópico.

A interpretação dos gráficos de temperatura superficial torna-se facilitada uma vez que a terceira coluna por horário é sempre a de maior valor, conferindo à avenida João XXIII a calçada com maior valor em graus Celsius, chegando a 55 °C no horário da tarde (15h) do dia 08/10/2007 e 58,5 °C no mesmo horário do dia 09/10/2007 (Gráficos 21 e 22).

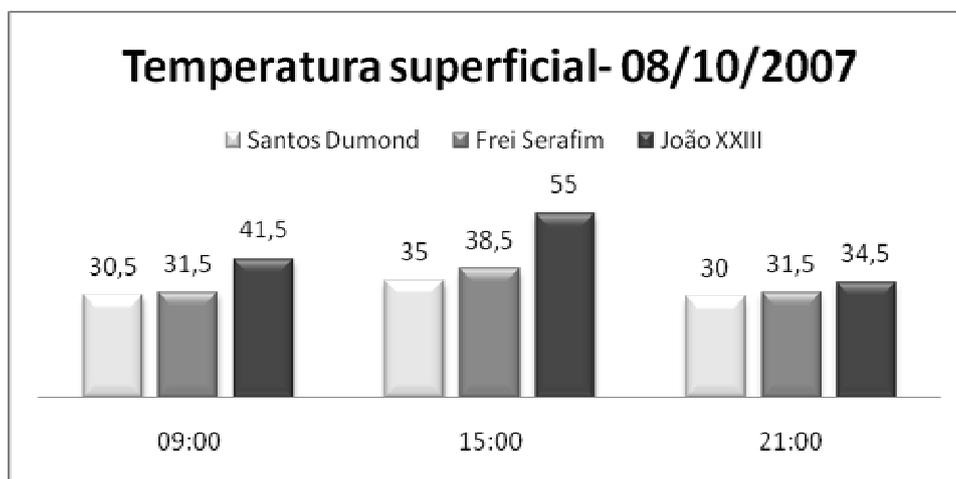


Gráfico 21 – Temperatura superficial (°C) em 08/10/2007

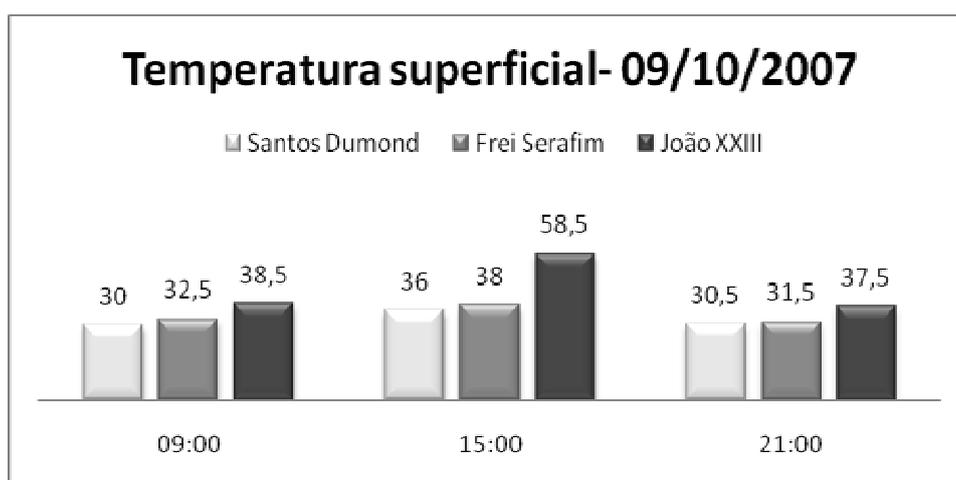


Gráfico 22 – Temperatura superficial (°C) em 09/10/2007

No período úmido, os valores de temperatura superficial das calçadas registrados são inferiores aos registrados no período seco, o que é justificado pelo acúmulo de água que é mantido no solo, resultante das chuvas que são comuns nesta época. No entanto, observa-se que as diferenças os valores de temperatura superficial entre as avenidas são semelhantes. Variando em até 16 °C no período da tarde entre a avenida com maior área arborizada (Santos Dumont) e a com menor área arborizada (João XXIII) (Gráfico 23 e 24).

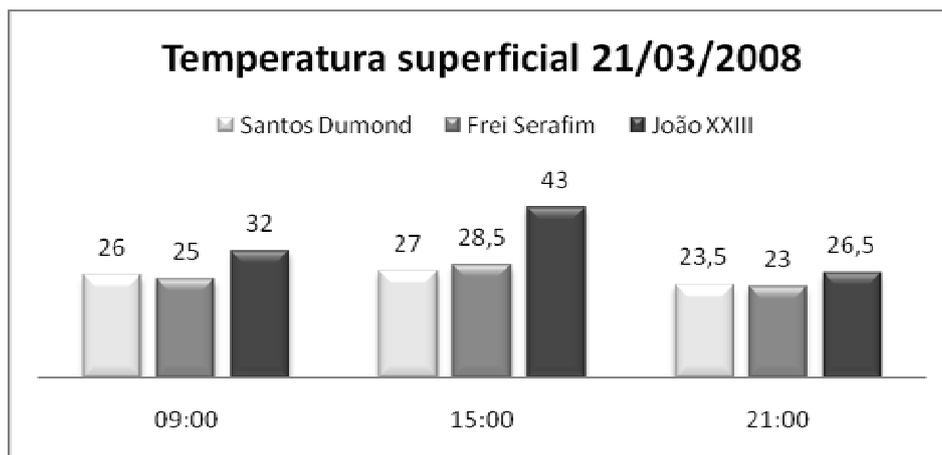


Gráfico 23 – Temperatura superficial (°C) em 21/03/2008

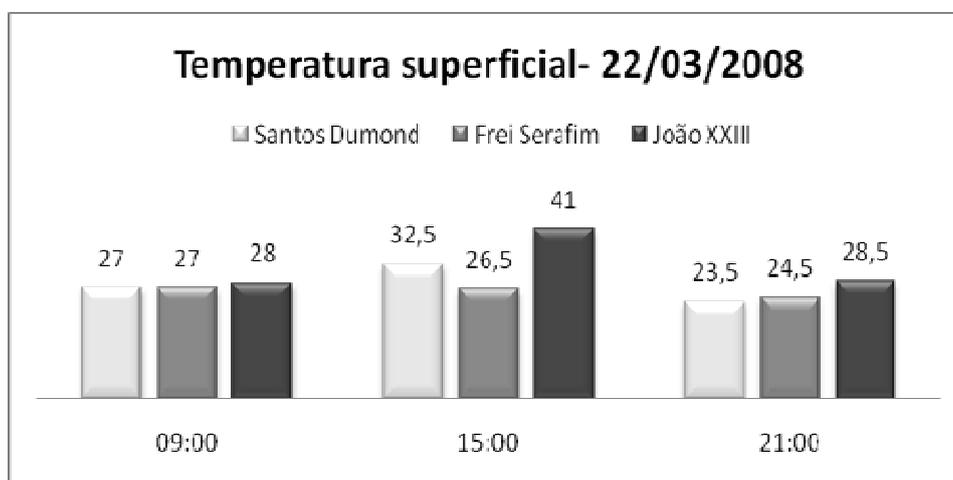


Gráfico 24 – Temperatura superficial (°C) em 22/03/2008

### 3.1.5 Inter-relação entre os parâmetros

Para efeito didático, os parâmetros estudados temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade dos ventos e temperatura superficial das calçadas são inter-relacionados, nos gráficos que seguem, de modo a esclarecer os efeitos de uns sobre os outros. É importante que fique claro que esses parâmetros, embora estudados de modo independente, não devem ser entendidos de modo isolado, pois o estabelecimento de correlações é indispensável para o entendimento da conformação do clima de um lugar.

Os gráficos apresentam-se separados por área de estudo. Logo, serão inicialmente apresentados os gráficos da área 1 – Avenida Santos Dumont, seguidos da área 2 –

Avenida Frei Serafim e, por fim, os gráficos da Avenida João XXXIII, representando a área 3.

#### a) Área 1: Temperatura do ar x Umidade relativa do ar

Ao se comparar a temperatura com a umidade, espera-se um resultado inversamente proporcional, ou seja, quanto mais quente, menos úmido, e, se menos quente, mais úmido. Esta afirmativa é confirmada pelos dados coletados em campo. A relação de proporção inversa está claramente demonstrada no gráfico 25.

Vê-se que, nos dois primeiros conjuntos de colunas vermelhas, os quais representam a época quente e seca, as altas temperaturas são acompanhadas de baixas umidades; logo, as linhas verdes, que representam a umidade, não ultrapassam as colunas vermelhas, que representam a temperatura do ar (Gráfico 26).

Quando observado o segundo conjunto de colunas vermelhas, vê-se uma realidade modificada, com valores de temperatura mais amenos e valores de umidade relativa do ar mais altos, sendo que o horário noturno representa o período do dia com maior índice de umidade relativa do ar. Assim, os valores que passam de 80 % ficam acima das colunas vermelhas, que representam temperaturas em torno de 30 °C (Gráfico 26).

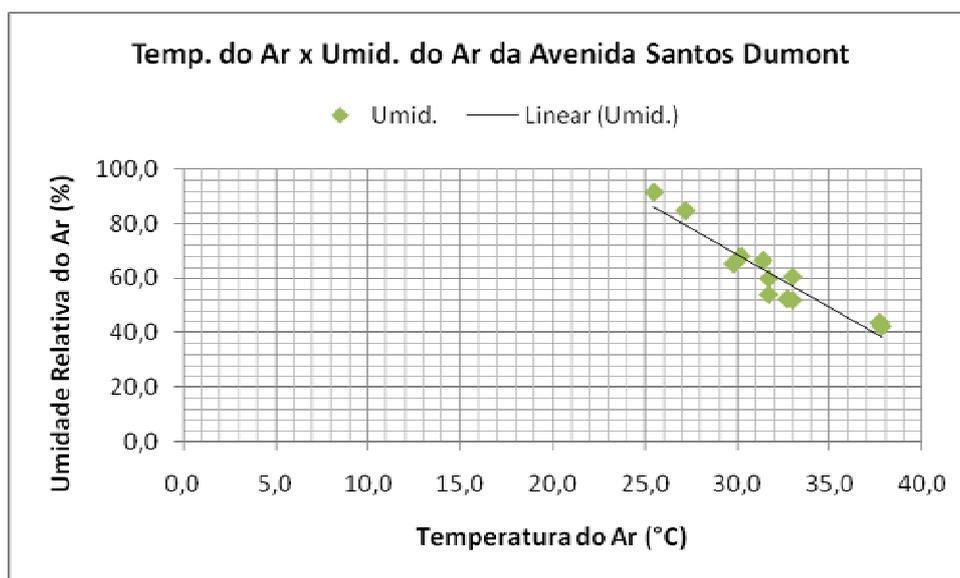


Gráfico 25 – Relação de proporção inversa entre temperatura do ar e umidade do ar na área 1

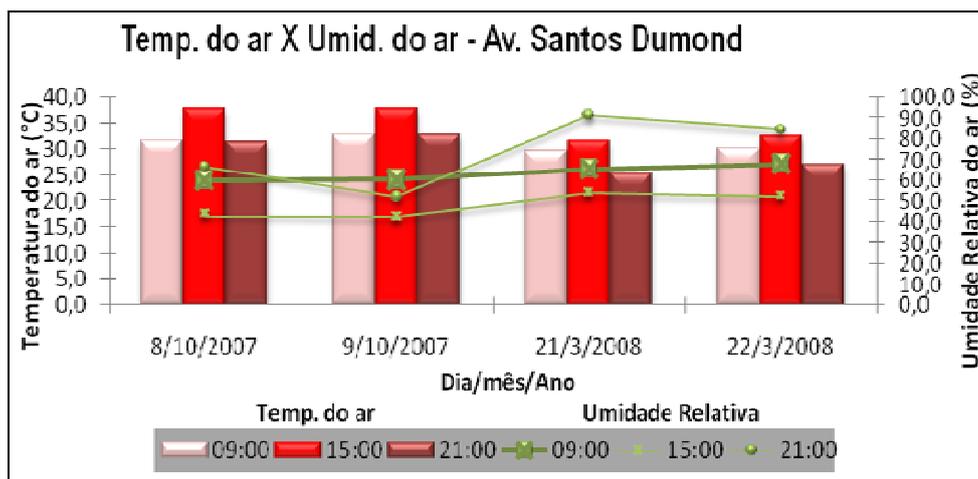


Gráfico 26 – Inter-relação entre temperatura do ar e umidade do ar na área 1

### b) Área 1: Temperatura do ar x velocidade do vento

A relação entre os parâmetros temperatura do ar e velocidade do vento não é clara. (Gráfico 27). Percebe-se que a ventilação apresenta valores irregulares, que variam de 0,0 m/s a 2,0 m/s, sem nenhuma relação aparente com a redução de temperatura entre o período seco e o período úmido (Gráfico 28).

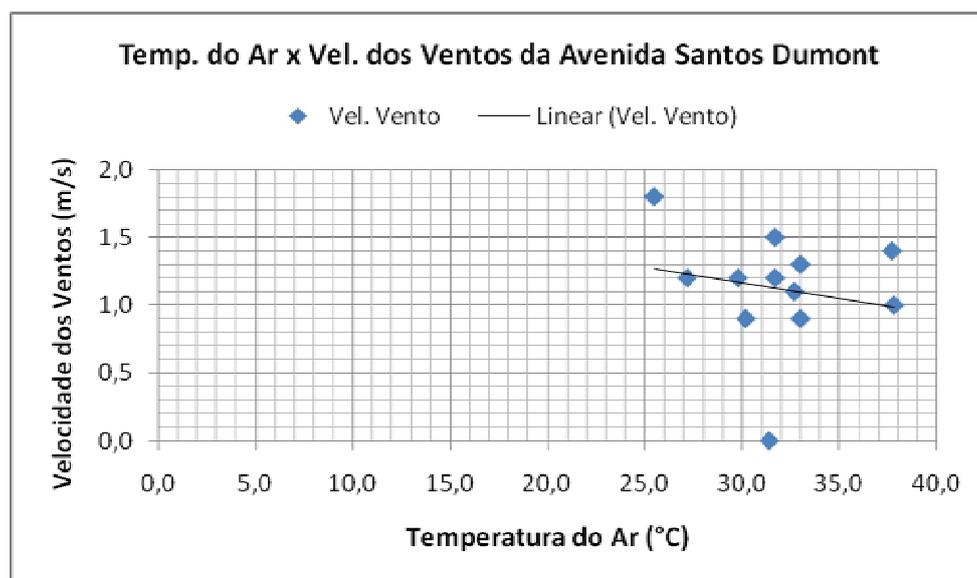


Gráfico 27 – Inter-relação entre temperatura do ar e velocidade do vento na área 1

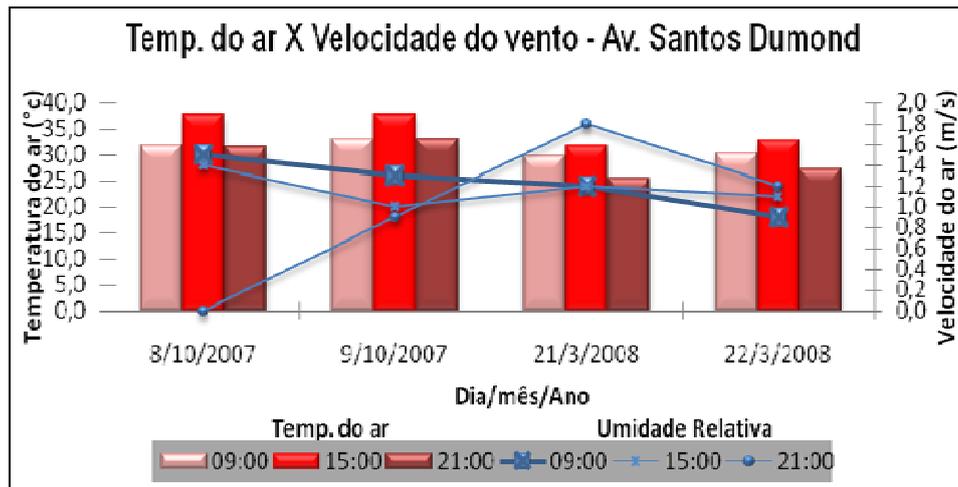


Gráfico 28 – Inter-relação entre temperatura do ar e velocidade do vento na área 1

### c) Área 1: Temperatura do ar x Temperatura superficial

A relação entre a temperatura do ar e temperatura superficial é exata e segue uma proporção direta: quanto mais quente a calçada, mais quente o ar. Assim, torna-se fácil entender porque a redução dos valores representados pelas linhas pretas acompanha a redução dos valores representados pelas colunas vermelhas (Gráficos 29 e 30).

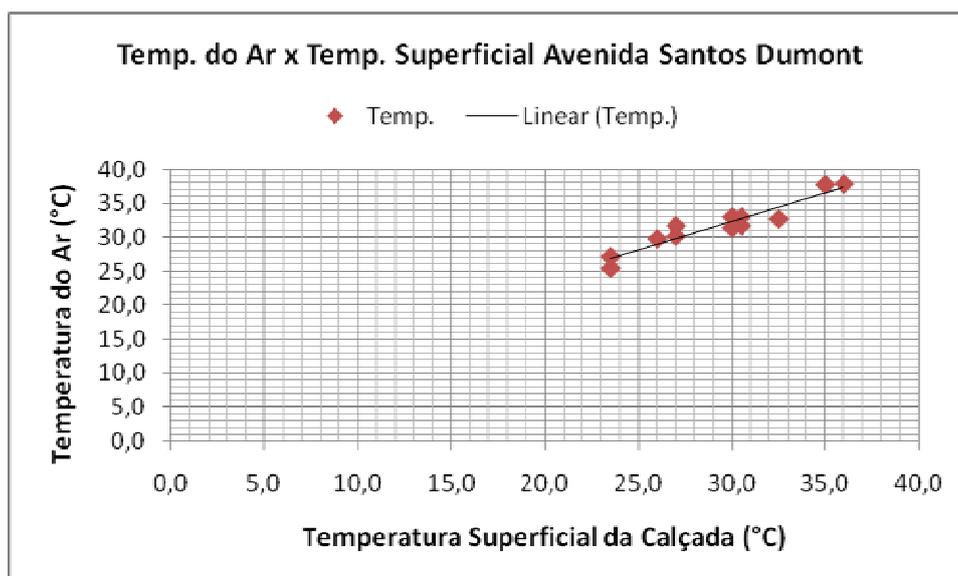


Gráfico 29 – Relação de proporção direta entre temperatura do ar e temperatura superficial na área 1

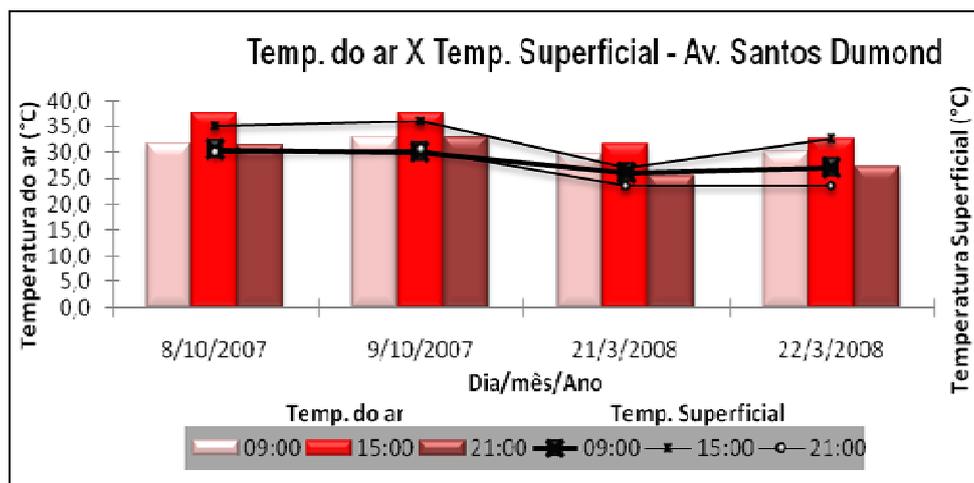


Gráfico 30 – Inter-relação entre temperatura do ar e temperatura superficial na área 1

#### d) Área 2: Temperatura do ar x Umidade relativa do ar

Na área 2 também se observa, claramente, a relação direta entre temperatura do ar e umidade relativa do ar. Vê-se que, nos dois primeiros conjuntos de colunas vermelhas, que representam a época quente e seca, as altas temperaturas são acompanhadas de baixas umidades; logo, as linhas verdes, que representam a umidade, não ultrapassam as colunas vermelhas, que representam a temperatura do ar (Gráfico 31).

Quando observado o segundo conjunto de colunas vermelhas, nota-se uma realidade bastante modificada, com valores de temperatura mais amenos e valores de umidade relativa do ar mais altos, sendo que os horários da manhã (9 h) e da noite (21 h) são os que representam os horários com maior índice de umidade relativa do ar. Assim, os valores que passam de 70 % ficam acima das colunas vermelhas, que representam temperaturas em torno de 30 °C (Gráfico 32).

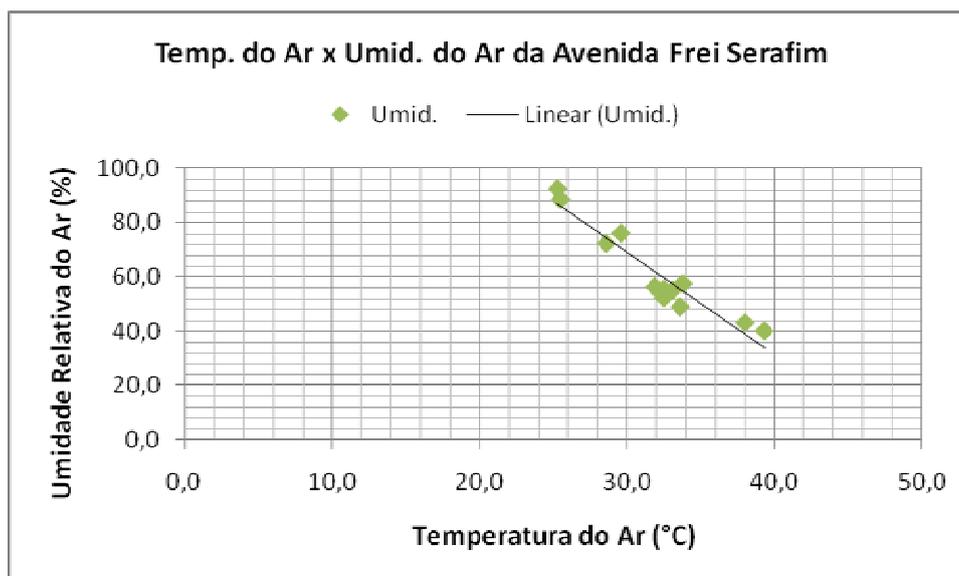


Gráfico 31 – Relação de proporção inversa entre temperatura do ar e umidade do ar na área 2

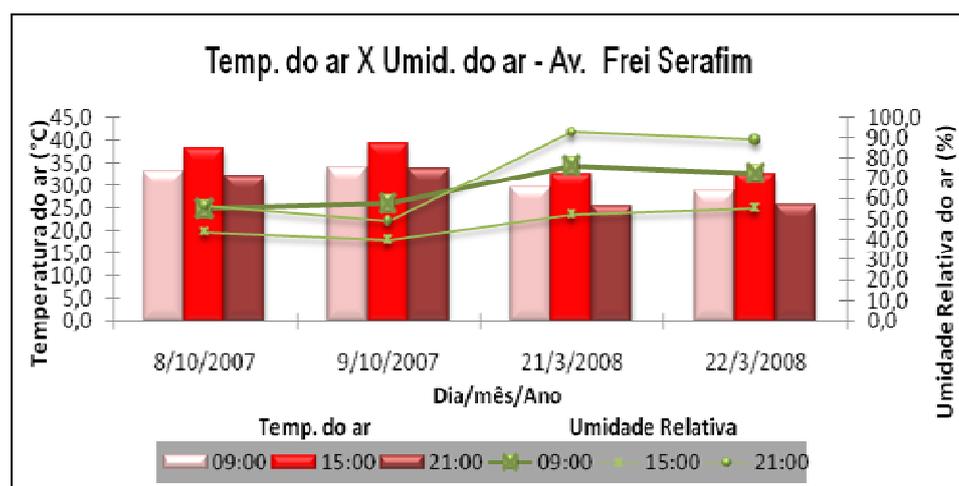


Gráfico 32 – Inter-relação entre temperatura do ar e umidade do ar na área 2

### e) Área 2: Temperatura do ar x velocidade do vento

Conforme anteriormente discutido na área 1, a relação entre os parâmetros temperatura do ar e velocidade do ar não é clara (Gráfico 33). Percebe-se que os valores da velocidade dos ventos apresentam-se irregulares, variando entre 0,0 m/s e 2,5 m/s, sem nenhuma relação aparente com a redução de temperatura entre o período seco e o período úmido (Gráfico 33).

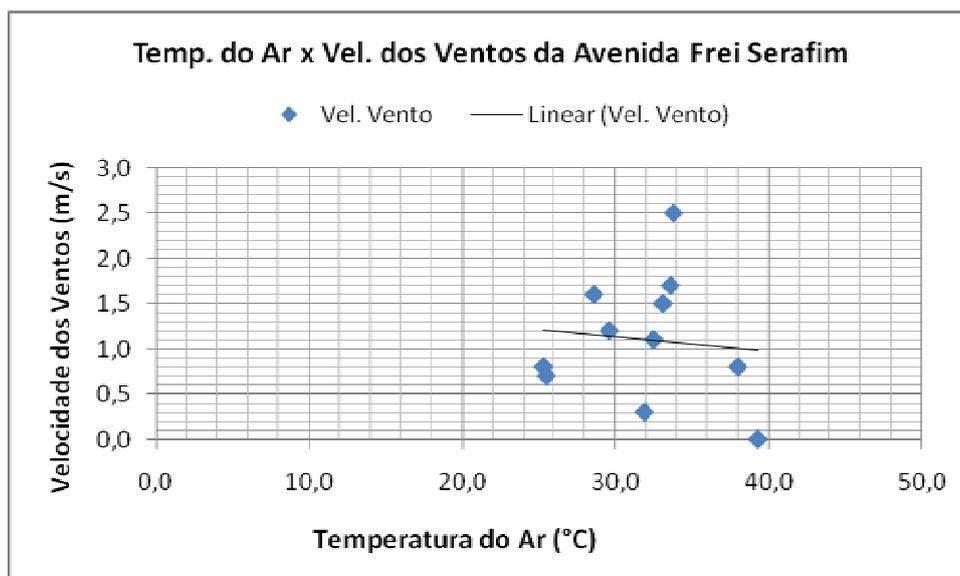


Gráfico 33 – Inter-relação entre temperatura do ar e velocidade do vento na área 2

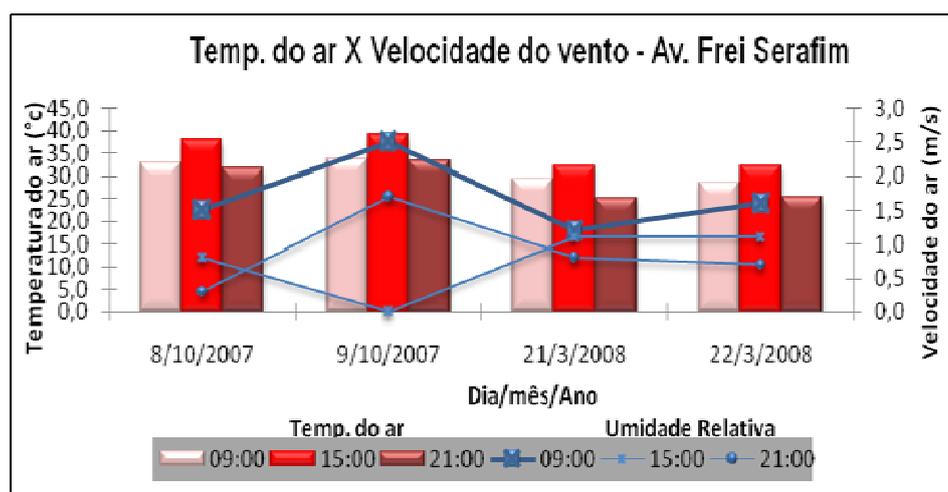


Gráfico 34 – Inter-relação entre temperatura do ar e velocidade do vento na área 2

#### f) Área 2: Temperatura do ar x temperatura superficial

A relação entre a temperatura do ar a temperatura superficial também é exata para a área 2, seguindo uma proporção direta: quanto mais quente o ar, mais quente a calçada. Assim, observa-se que a redução dos valores representados pelas linhas pretas (temperatura superficial) acompanha a redução dos valores representados pelas colunas vermelhas (temperatura do ar) (Gráficos 35 e 36).

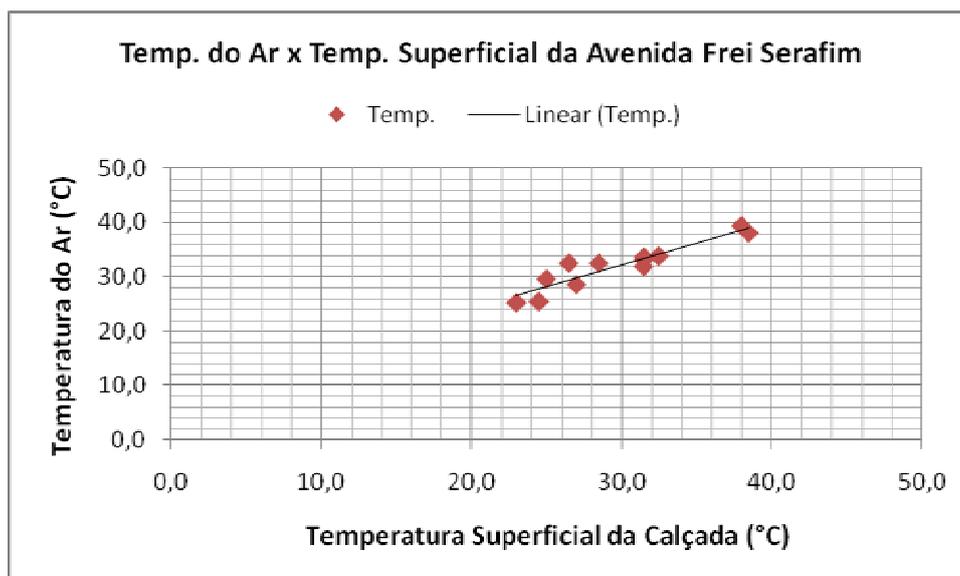


Gráfico 35 – Relação de proporção direta entre temperatura do ar e temperatura superficial na área 2

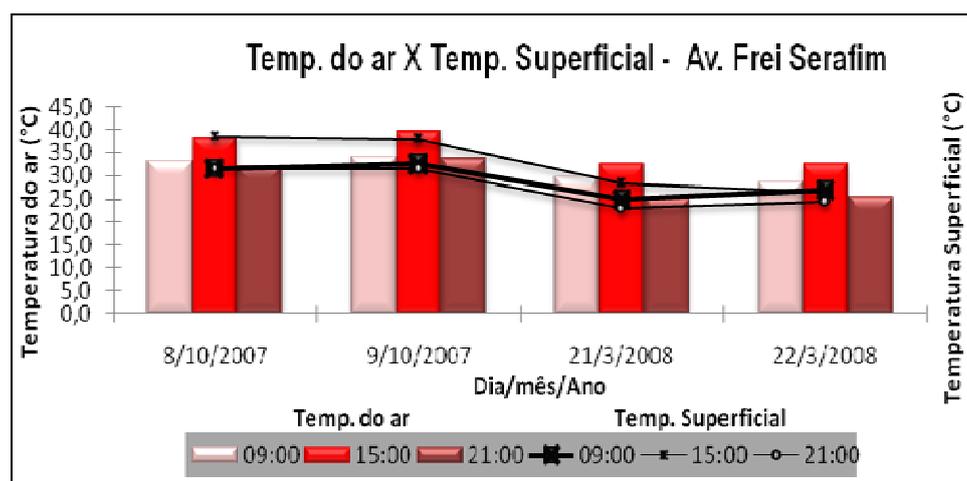


Gráfico 36 – Inter-relação entre temperatura do ar e temperatura superficial na área 2

### g) Área 3: Temperatura do ar x umidade do ar

Assim como nas áreas 1 e 2, na área 3 também há relação clara entre os valores de temperatura do ar e umidade relativa do ar. Vê-se que, nos dois primeiros conjuntos de colunas vermelhas, que representam a época quente e seca, as altas temperaturas são acompanhadas de baixas umidades; logo, as linhas verdes, que representam a umidade, não ultrapassam as colunas vermelhas, que representam a temperatura do ar (Gráficos 37 e 38).

Quando observado o segundo conjunto de colunas vermelhas, vê-se uma outra realidade. Aqui, os valores de temperatura são mais amenos, e valores de umidade relativa do ar, mais altos, sendo que o horário da noite (21 h) é, assim como na área 1, o que representa o horário com maior índice de umidade relativa do ar, chegando a 90 % e ficando, assim, acima das colunas vermelhas, que representam temperaturas em torno de 30 °C (Gráfico 38).

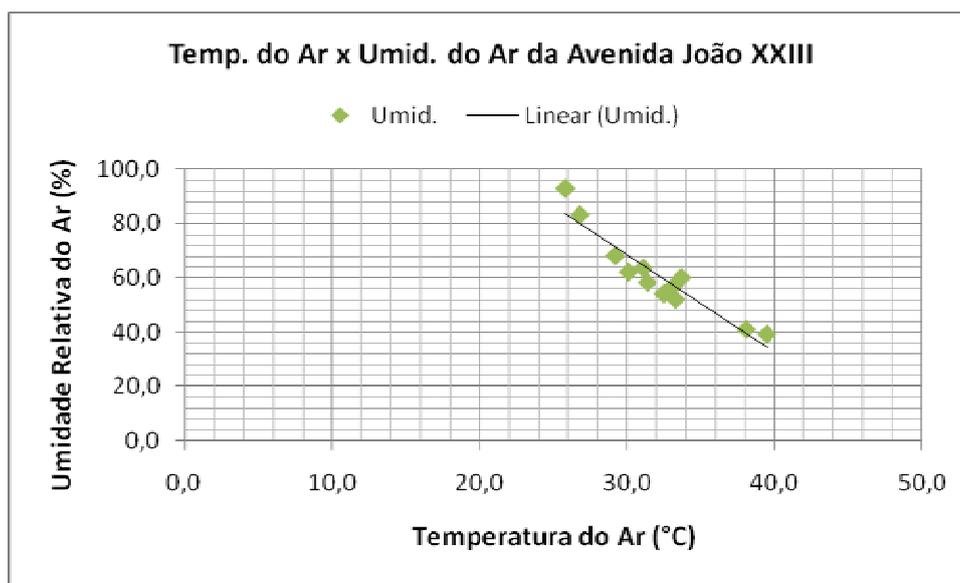


Gráfico 37 – Relação de proporção inversa entre temperatura do ar e umidade do ar na área 3

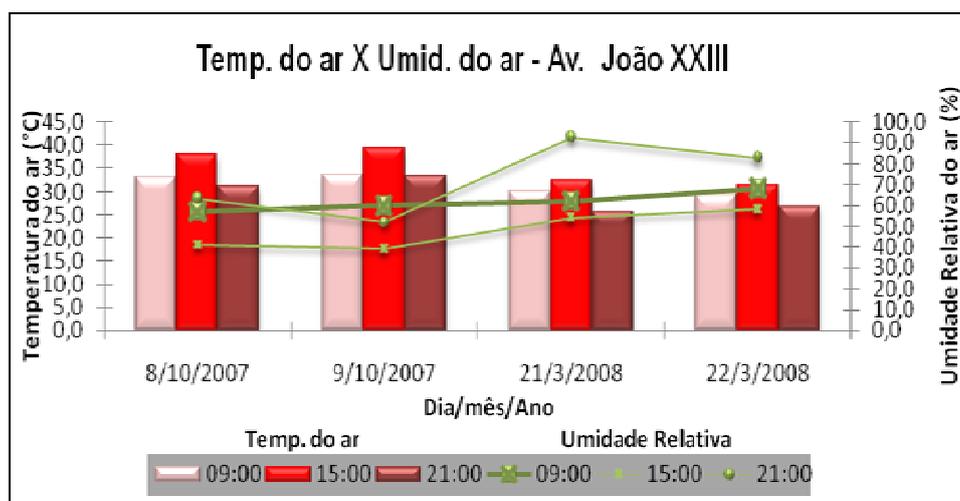


Gráfico 38 – Inter-relação entre temperatura do ar e umidade do ar na área 3

### h) Área 3: Temperatura do ar x velocidade do vento

Seguindo os dados levantados nas áreas 1 e 2, na área 3 também não há clareza na relação entre os parâmetros temperatura do ar e velocidade do ar (Gráfico 39). Percebe-se que os valores da velocidade dos ventos apresentam-se irregulares, variando entre 0,0 m/s e 3,0 m/s, sem nenhuma relação aparente com a redução de temperatura entre o período seco e o período úmido (Gráfico 40).

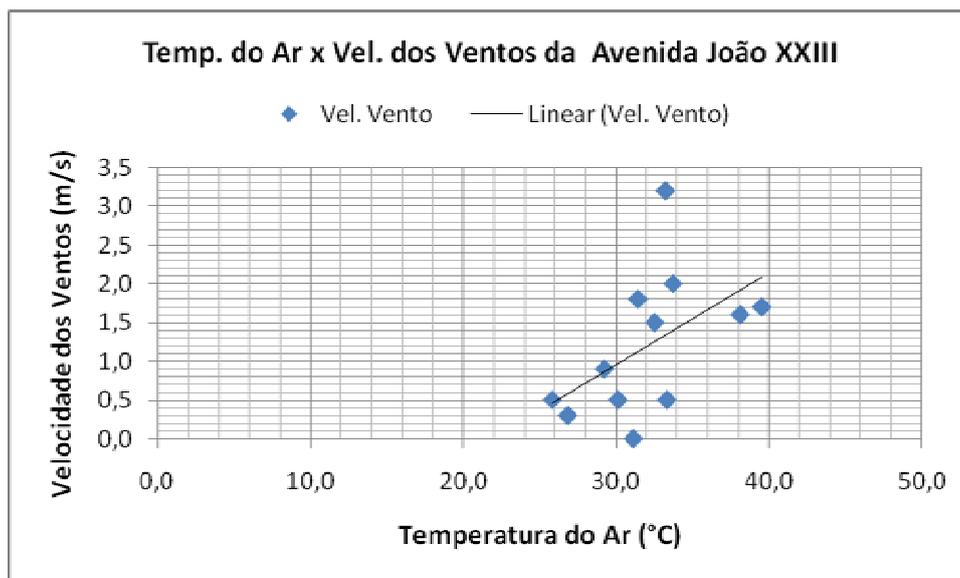


Gráfico 39 – Inter-relação entre temperatura do ar e velocidade do vento na área 3

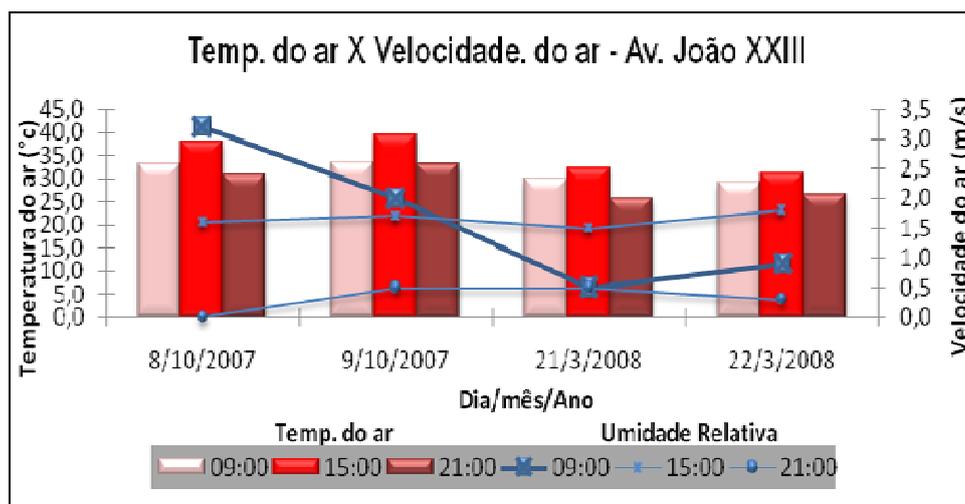


Gráfico 40 – Inter-relação entre temperatura do ar e velocidade do vento na área 3

### i) Área 3: Temperatura do ar x temperatura superficial

A relação entre a temperatura do ar e a temperatura superficial segue exata para a área 3, gerando uma proporção direta: quanto mais quente o ar, mais quente a calçada. Assim, observa-se que a redução dos valores representados pelas linhas pretas (temperatura superficial) acompanha a redução dos valores representados pelas colunas vermelhas (temperatura do ar). Destacam-se os valores da temperatura superficial no horário da tarde, pois, mesmo muito superiores aos demais horários do dia, segue com a mesma proporcionalidade (Gráficos 41 e 42).

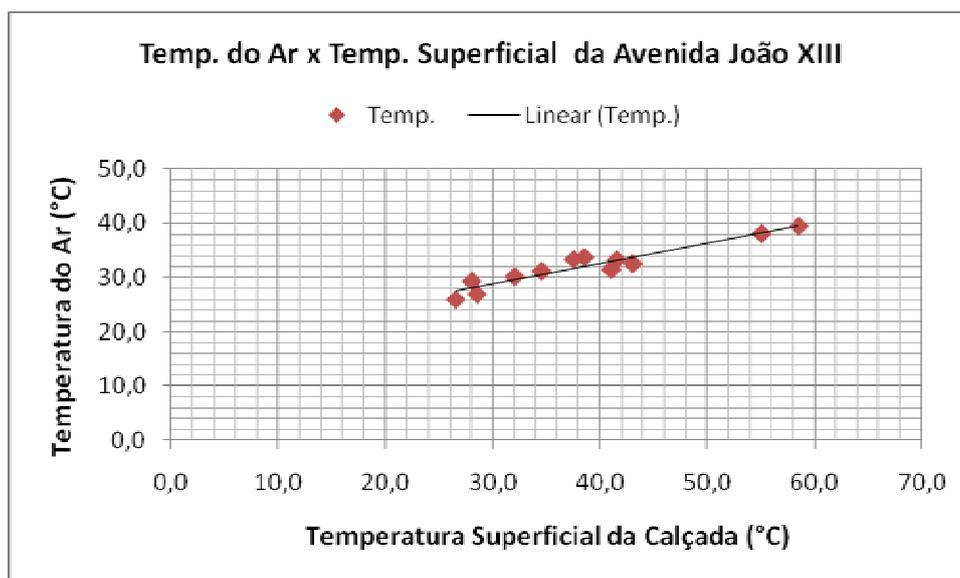


Gráfico 41 – Relação de proporção direta entre temperatura do ar e temperatura superficial na área 3

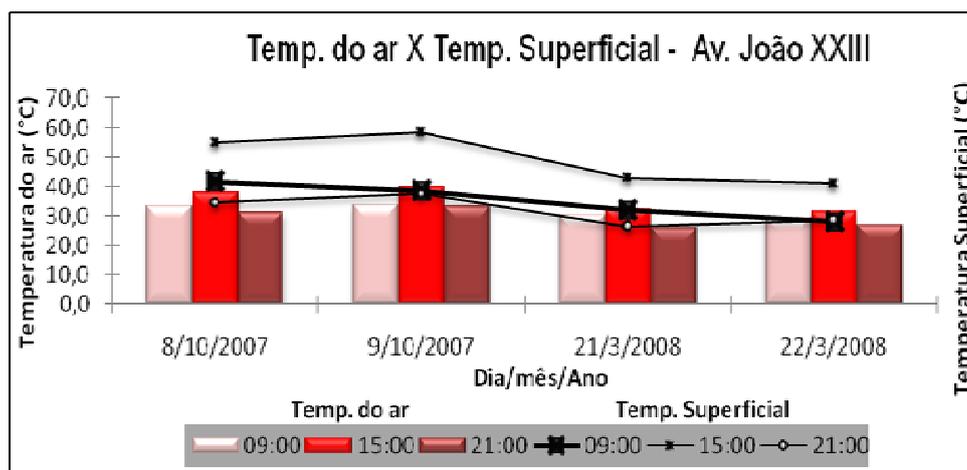


Gráfico 42 – Inter-relação entre temperatura do ar e temperatura superficial na área 3

Por fim, são apresentados quadros sintéticos da coleta de dados obtidos nos pontos analisados. Os valores são organizados por parâmetro (temperatura do ar e velocidade

dos ventos), destacando sempre os valores mínimos e os valores máximos, assim como as amplitudes obtidas para cada horário preestabelecido (Quadros 22 e 23).

Salienta-se que a Avenida Santos Dumont, representada pelo ponto 1, obteve os maiores valores de umidade e os menores valores de temperatura nos horários da manhã e da tarde, enquanto a avenida João XXIII, representada pelo ponto 3, apresentou o resultado inverso, obtendo, nesses mesmos horários, os maiores valores de temperatura do ar e menores umidades. Destaca-se que, a Avenida Frei Serafim, representada pelo ponto 2, obteve valores intermediários, apresentado destacado (21 h) nos horários da manhã (9 h) e da tarde (15 h). Em relação ao parâmetro da umidade relativa do ar, pôde-se verificar que a Avenida Santos Dumont, representada pelo ponto 1, é onde os valores de umidade relativa do ar são máximos. Reafirma-se também que a Avenida Frei Serafim, representada pelo ponto 2, é a que apresentou valores intermediários (Quadros 22 e 23).

Quadro 22 – Quadro-síntese do resultado dos dados climáticos do mês de outubro

Mês	Hora	Parâmetro	Pontos	Valor Mínimo	Pontos	Valor Máximo	Amplitude
Outubro	9h	Temperatura do ar (°C)	1	31,7	3	33,2	1,5
		Umidade do ar (%)	2	55,1	1	59,9	4,8
		Velocidade do vento (m/s)	1 e 2	1,5	3	3,2	1,7
		Temperatura Superficial Calçada (°C)	1	30,5	3	41,5	11
	15h	Temperatura do ar (°C)	1	37,8	3	39,5	1,7
		Umidade do ar (%)	3	39,2	1	42,5	3,3
		Velocidade do vento (m/s)	2	0,0	3	1,7	1,7
		Temperatura Superficial Calçada (°C)	1	36,0	3	58,5	22,5
	21h	Temperatura do ar (°C)	3	31,1	2	31,9	0,8
		Umidade do ar (%)	2	56,4	1	66,5	10,1
		Velocidade do vento (m/s)	3	0,5	2	1,7	1,2
		Temperatura Superficial Calçada (°C)	1	30,5	3	37,5	7

Com exceção da temperatura do ar às 21 h, o ponto 1 apresenta os menores valores de temperatura do ar e de temperatura superficial e o ponto 3, os maiores valores.

Quadro 23 – Quadro-síntese do resultado dos dados climáticos do mês de março

Mês	Hora	Parâmetro	Pontos	Valor Mínimo	Pontos	Valor Máximo	Amplitude
Março	9 h	Temperatura do ar (°C)	2	29,6	3	30,1	0,5
		Umidade do ar (%)	3	62,1	2	76,2	14,1
		Velocidade do vento (m/s)	1 e 3	0,9	2	1,6	0,7
		Temperatura Calçada (°C)	2	25,0	3	32,0	7
	15 h	Temperatura do ar (°C)	1	31,4	3	32,7	1,3
		Umidade do ar (%)	3	52,5	1	58,2	5,7
		Velocidade do vento (m/s)	2	1,1	3	1,8	0,7
		Temperatura Calçada (°C)	1	27,0	3	43,0	16
	21 h	Temperatura do ar (°C)	2	25,5	1	27,2	1,7
		Umidade do ar (%)	3	83,1	1	84,6	1,5
		Velocidade do vento (m/s)	3	0,5	1	1,8	1,3
		Temperatura Calçada (°C)	1	23,5	3	28,5	5

### 3.2 Simulações de Desempenho Ambiental

A segunda etapa da pesquisa se deteve a simulações computacionais realizadas por meio do programa ENVI-met. Bruse (2008) cita que este programa é baseado em diversos projetos de investigação científica e está, portanto, sob constante desenvolvimento. Sua proposta baseia-se no prognóstico das leis fundamentais da dinâmica de fluidos e da termodinâmica. O modelo inclui a simulação de: enchente ao redor e entre edifícios troca de processos de calor e vapor na superfície do solo e nas paredes turbulência troca de vegetação e parâmetros de vegetação; bioclimatologia; dispersão de partículas.

A aplicação do ENVI-met se dá nas áreas da climatologia urbana, arquitetura, design de prédios ou planejamento ambiental, entre outras correlatas. ENVI-met vem junto com um software adicional (Leonardo) que abarca editores e ferramentas de visualização gráfica para a modelagem dos resultados.

Para a finalidade deste trabalho, serão realizadas simulações com diferenciados ordenamentos, quantidades e tipos de vegetação nos pontos estudados, como também

com diversos materiais de revestimento de solo, em diferentes proporções e índices de permeabilidade. Para isso, será seguida a metodologia de Duarte et al (2007), em que usa simulações paramétricas explorando as diferentes formas de distribuição verde no espaço e seu impacto em diferentes configurações urbanas, a fim de verificar as reduções da temperatura e o aumento da umidade do ar, como também a de Silveira (2005) que estuda o desempenho da ventilação no espaço livre.

As simulações serão apresentadas por horário do dia, comparando-se as áreas entre si e uma quarta área chamada “área 3 – hipotética” por representar uma “possível” intervenção na área 3, tendo em vista que é considerada, pelo levantamento dos dados climáticos do tópico anterior, a avenida com o perfil climático mais desconfortável, pois também é a com menor área sombreada, logo, a com a menor quantidade de arborização.

O mês de março é escolhido para as simulações, tendo em vista que é esse mês que é considerado para a coleta de dados *in loco*, por representar a época úmida, e, logo, por representar a época com que as imagens aéreas são coletadas, e, por seqüência, são utilizadas na representação dos dados para a entrada no programa de simulação.

Os horários em que são gerados os mapas de simulação são os mesmos horários em que são feitas as coletas de dados *in loco*, ou seja, 9 h, 15 h e 21 h.

Como dito anteriormente, as simulações são organizadas por horário. Sempre organizadas na seguinte ordem: área 1, área 2, área 3 e área 3 – hipotética. Organizadas nos seguintes horários. Primeiramente, 9 h, logo após, as simulações das 15 h e, por fim, as simulações noturnas, no horário das 21 h.

### **3.2.1 Entrada de dados no programa**

O programa ENVI-met apresenta uma interface bastante simplificada. Na tela principal do programa, é apresentada a área de inserção dos dados, e, na lateral esquerda, ficam os elementos básico que configuram a área a ser simulada, como vegetação, tipo de solo e gabarito das edificações (figuras 38 e 39).

Antes da simulação, são marcados os parâmetros a serem testados. Para estas simulações, são marcados dois parâmetros: wind speed (m/s) e pot. Temperature (K)

(Figura 39). Os parâmetros são traduzidos para velocidade do vento e temperatura potencial.

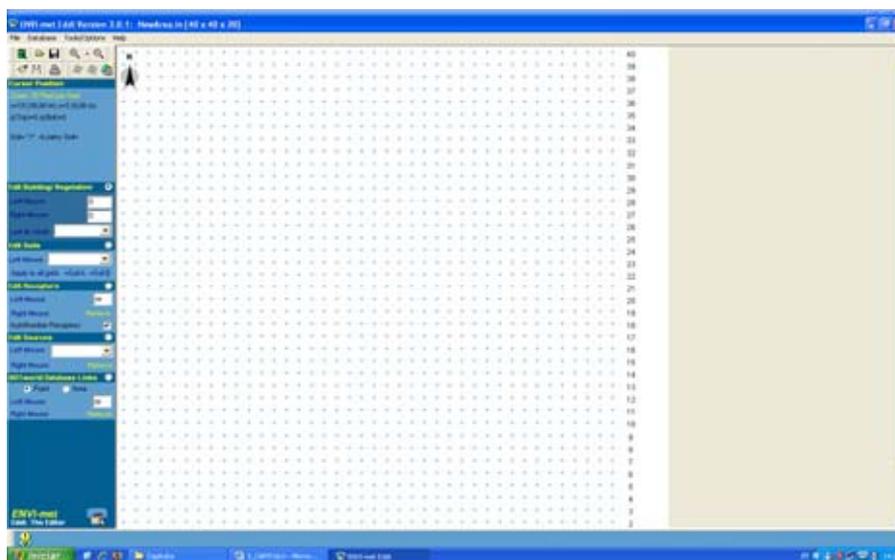


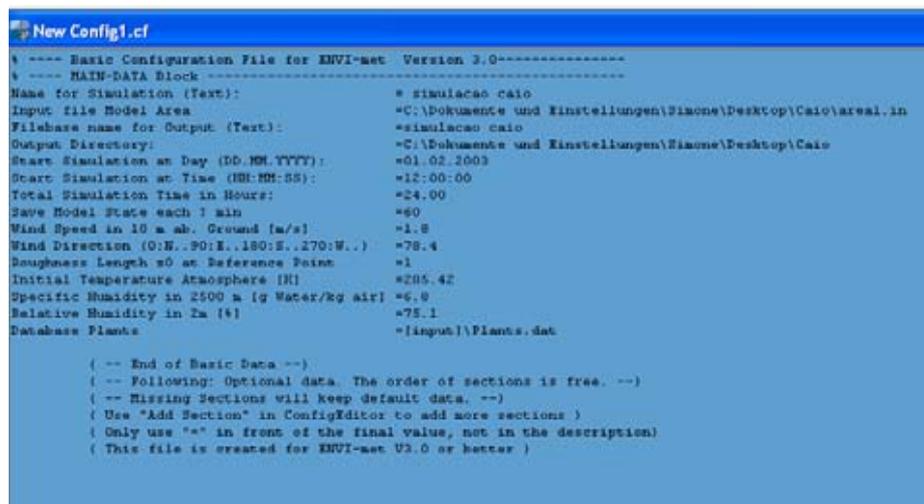
Figura 38 – Interface do programa Envi-Met 3.0.1

<b>Cursor Position [1,2]</b> x,y=2,50 m, 5,00 m [2,50 , 5,00 ] z(Top)=2 z(Bot)=0 Soil= " 0" <Default Useald Soil (** do no		<b>Edit Soils</b> Left Mouse: s <Asphalt Road> Apply to all grids: =Soil A =Soil B
<b>Edit Building/ Vegetation</b> Left Mouse: 5 Right Mouse: 0 Left M.+Shift: ds <Tree 10 m dense. >		<b>Edit Receptors</b> Left Mouse: A Right Mouse: Remove AutoNumber Receptors: <input checked="" type="checkbox"/>
		<b>Edit Sources</b> Left Mouse: Right Mouse: Remove
		<b>BOTworld Database Links</b> <input checked="" type="radio"/> Point <input type="radio"/> Area Left Mouse: yy Right Mouse: Remove
<b>Output Options</b> <b>Filename and Destinations:</b> Show active alias from MYALIAS.DAT... Simulation Name: Default Config Filebase for Output: MyOutput Base Output Folder: C:\ENVI\met Results Time Interval for Main Output (min): 60		
<b>Selected Variables Atmosphere. EdR SELECT.VAR to change:</b> <input type="checkbox"/> Flow w [m/s] <input checked="" type="checkbox"/> Wind Speed [m/s] <input type="checkbox"/> Wind Speed Change [%] <input type="checkbox"/> Wind Direction [deg] <input checked="" type="checkbox"/> Pressure Perturbation [Pa] <input checked="" type="checkbox"/> Pot. Temperature [K]		
<b>Receptor Output: Yes</b> Number of Active Receptors: 2 Time Interval for Output (min): 60		

Figura 39 – Dados básicos de parâmetros a serem simulados

Cria-se um arquivo com configurações básicas para a cidade de Teresina (Figura 40). Para os dados não obtidos da estação climatológica de referencia da cidade, são utilizados dados oficiais disponibilizados nos aeroportos do mundo interiro; utilizam-se,

como referência, dados do aeroporto de Natal – RN<sup>16</sup>, uma vez que aquela cidade situa-se em latitude muito próxima à cidade de Teresina, e, dentre as disponíveis, era também a cidade mais próxima geograficamente.



```

New Config1.cf
----- Basic Configuration File for ENVI-met Version 3.0-----
----- MAIN-DATA Block -----
Name for Simulation (Text):          * simulacao caio
Input file Model Area                *C:\Dokumente und Einstellungen\Fimone\Desktop\Caio\areal.in
Filebase name for Output (Text):    *simulacao caio
Output Directory:                   *C:\Dokumente und Einstellungen\Fimone\Desktop\Caio
Start Simulation on Day (DD.MM.YYYY): *01.02.2003
Start Simulation at Time (HH:MM:SS): *12:00:00
Total Simulation Time in Hours:      *24.00
Save Model State each 1 min          *60
Wind Speed in 10 m ab. Ground (m/s) *1.8
Wind Direction (O:N..90:E..180:S..270:W..) *78.4
Roughness Length z0 at Reference Point *1
Initial Temperature Atmosphere (K)   *295.42
Specific Humidity in 2500 m (g Water/kg air) *6.8
Relative Humidity in Za (%)           *75.1
Database Plants                       *(input)\Plants.dat

( -- End of Basic Data --)
( -- Following: Optional data. The order of sections is free. --)
( -- Missing Sections will keep default data. --)
( Use "Add Section" in ConfigEditor to add more sections )
( Only use "=" in front of the final value, not in the description)
( This file is created for ENVI-met V3.0 or better )

```

Figura 40 – Arquivo de configuração básica para Teresina

A seguir, é representada, para cada área, a transformação dos dados reais, partindo de imagem de satélite tirada no primeiro semestre do ano, para dados digitais, convertidos, inicialmente, em *pixels* no programa AutoCAD, em seguida, convertidos em arquivos Bitmap para a inserção na interface do programa ENVI-met. Torna-se importante salientar que cada área representada é de 10.000 m<sup>2</sup> (100 m x 100 m), e, para melhor desempenho da simulação, são convertidas em tramas de 40 *pixels* x 40 *pixels*, logo, são construídas grades com dimensão de 2,5 m x 2,5 m.

Inicialmente, a partir da imagem de satélite (figura 41) e de levantamento feito in loco, é representada a configuração da via estudada, passando a realidade para o projeto de AutoCAD, seguindo a trama desenhada com dimensionamento de 2,5 m x 2,5 m (Figura 42)

<sup>16</sup> Natal – RN tem clima quente úmido que é equivalente ao clima do mês de março na cidade de Teresina - PI. Dessa forma, as simulações foram geradas para o mês de março.



Figura 41 – Área 1 - Satélite



Figura 42 – Área 1 – AutoCAD

Como etapa seguinte, é passada a representação das vias, de arquivo AutoCAD (extensão DWG) para arquivo de imagem (extensão BMP) para, a partir deste, dar entrada no arquivo principal do programa, denominado area1.in. Neste arquivo, toda a caracterização da área é inserida, *pixel a pixel*, conforme detalhamento (Figuras 43 e 44).

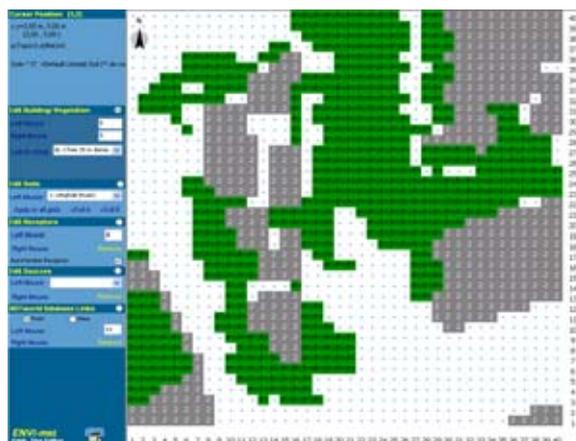


Figura 43 – Entrada de dados no ENVI-met da área 1 – Vegetação e Edificação



Figura 44 – Entrada de dados no ENVI-met da área 1 – Revestimento do Solo

Para o outro ponto segue-se o mesmo procedimento, inicialmente, a partir da imagem de satélite (figura 45) e de levantamento feito *in loco*, é representada a configuração da via estudada, passando a realidade para o projeto de AutoCAD, seguindo a trama desenhada com dimensionamento de 2,5 m x 2,5 m (Figura 46).



Figura 45 -Área 2 – Satélite

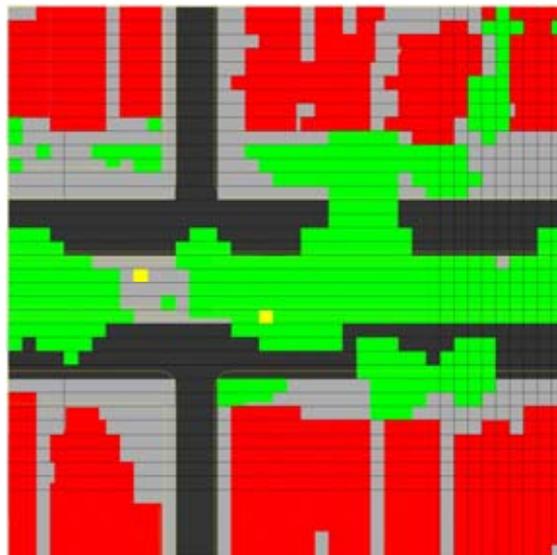


Figura 46 – Área 2 – AutoCAD

Como etapa seguinte, é passada a representação das vias, de arquivo AutoCAD (extensão DWG) para arquivo de imagem (extensão BMP) para, a partir deste, dar entrada no arquivo principal do programa, denominado area2.in. Neste arquivo, toda a caracterização da área é inserida, *pixel a pixel*, conforme detalhamento da figura 46 (Figura 47 e 48).

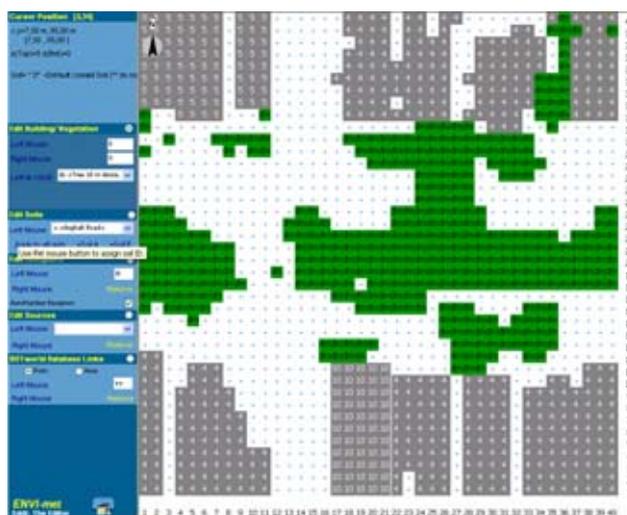


Figura 47 – Entrada de dados no ENVI-met da área 2 – Vegetação e Edificação

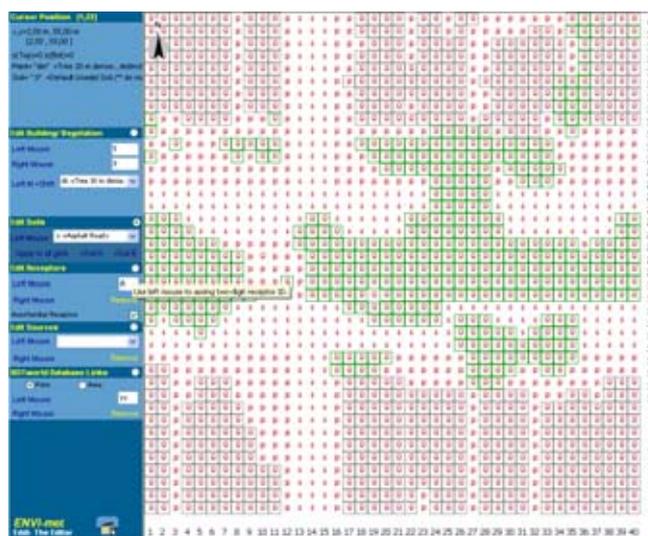


Figura 48 – Entrada de dados no ENVI-met da área 2 – Revestimento do Solo

Para o outro ponto segue-se o mesmo procedimento, inicialmente, a partir da imagem de satélite (figura 49) e de levantamento feito *in loco*, é representada a configuração da via estudada, passando a realidade para o projeto de AutoCAD, seguindo a trama desenhada com dimensionamento de 2,5 m x 2,5 m (Figura 50).

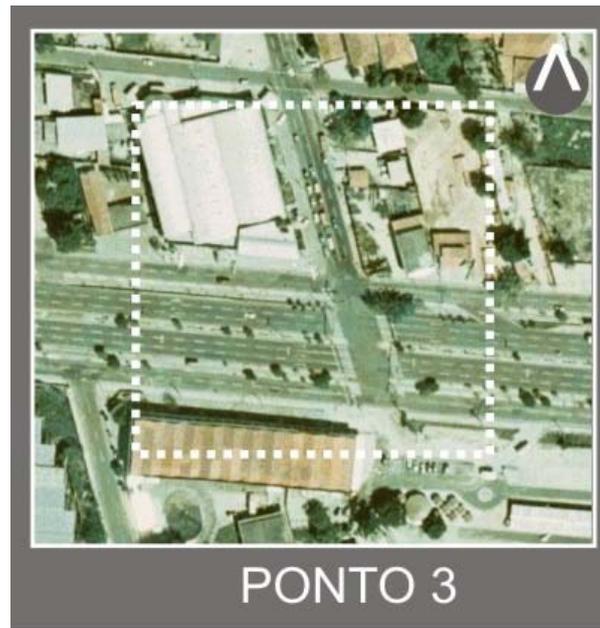


Figura 49 – Área 3 - Satélite

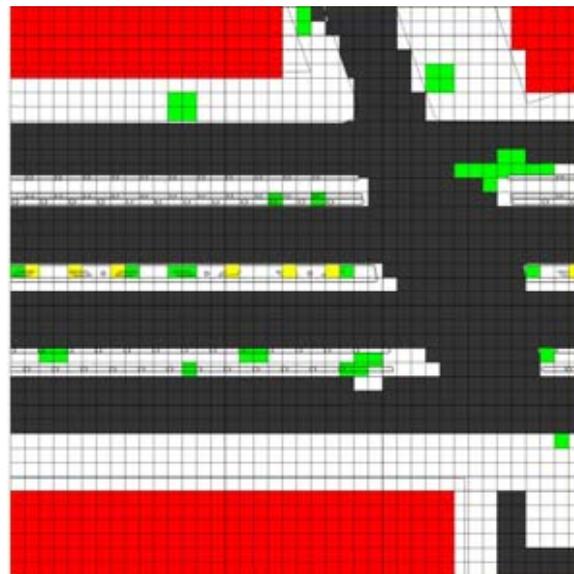


Figura 50 – Área 3 – AutoCAD

Como etapa seguinte, é passada a representação das vias, de arquivo AutoCAD (extensão DWG) para arquivo de imagem (extensão BMP) para, a partir deste, dar entrada no arquivo principal do programa, denominado area3.in. Nesse arquivo, toda a caracterização da área é inserida, *pixel a pixel*, conforme detalhamento da figura 50 (Figura 51 e 52).

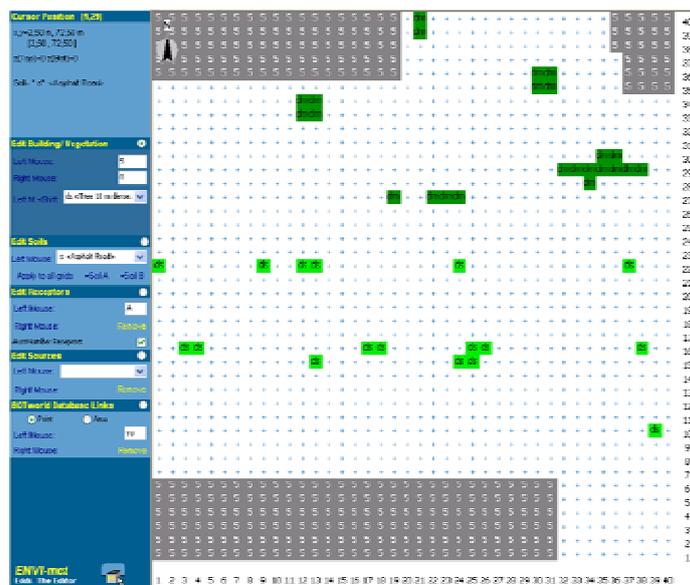


Figura 51 – Entrada de dados no ENVI-met da área 3 – Vegetação e Edificação

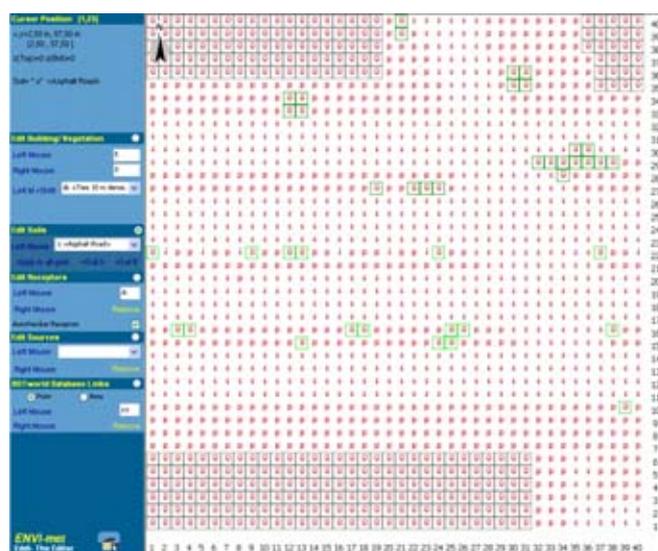


Figura 52 – Entrada de dados no ENVI-met da área 3 – Revestimento do Solo

Além das três áreas representadas, é criado um outro arquivo, denominado “area3 – mais arborizada” configurando uma situação hipotética que utilizou a base da área 3 (Avenida João XXIII) por ser a avenida com a menor quantidade de área arborizada.

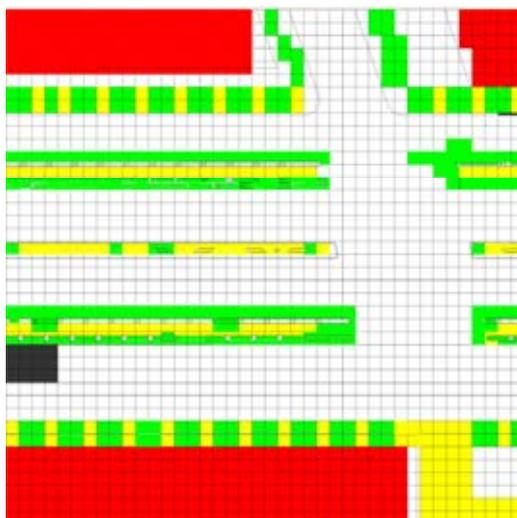


Figura 53 – Área 3 (hipotética) – AutoCAD

Assim, dando seqüência, é passada a representação das vias, de arquivo AutoCAD (extensão DWG) para arquivo de imagem (extensão BMP) para, a partir deste, dar entrada no arquivo principal do programa, denominado area1.in. Nesse arquivo, toda a caracterização da área é inserida, *pixel a pixel*, conforme detalhamento da figura 53 (Figura 54 e 55).

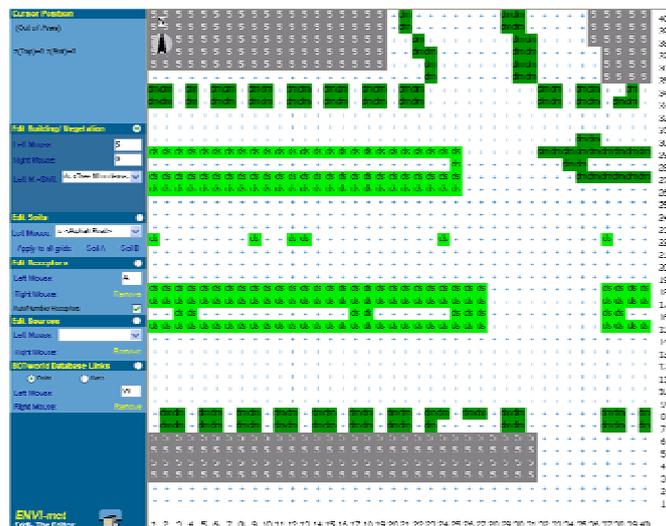


Figura 54 – Entrada de dados no ENVI-met da área 3 (hipotética) – Vegetação e Edificação

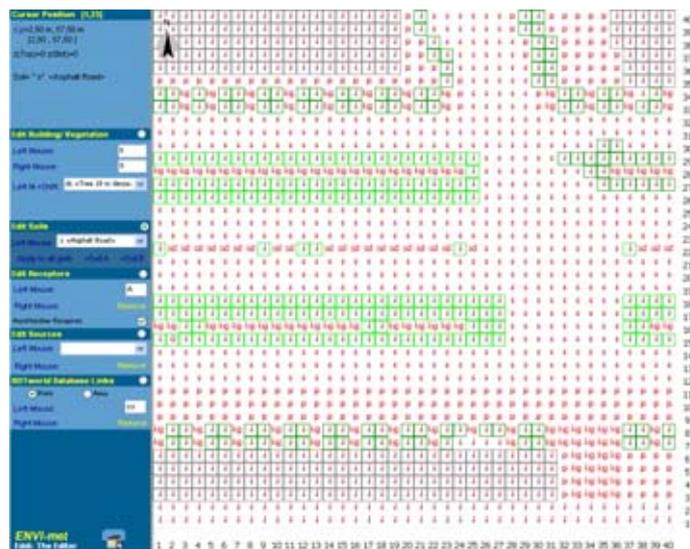


Figura 55 – Entrada de dados no ENVI-met da área 3 (hipotética) – Revestimento do Solo

Por fim, os dados simulados são representados no programa Leonardo, que configura um *software* de suporte ao ENVI-met, utilizado para a representação gráfica das simulações realizadas. Para isso, sua interface é bastante simplificada, como demonstra a figura 56.

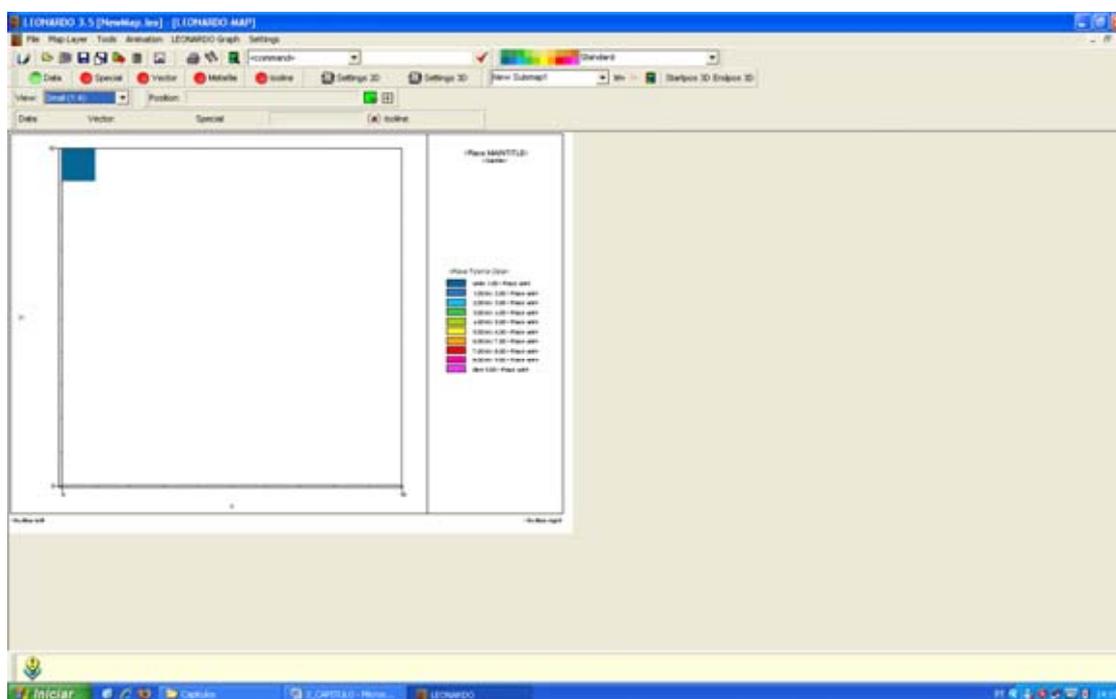


Figura 56 – Interface do programa Leonardo 3.75

### 3.2.2 Simulação de Temperatura

Este tópico apresenta tabelas e imagens que representam os valores encontrados a partir das simulações das áreas, utilizando o parâmetro da temperatura do ar. Deve-se notar que há legenda específica para cada horário, pois, na execução dos arquivos, o programa utilizado gera uma legenda para cada simulação realizada. É importante esclarecer também que, tratando-se de um *software* desenvolvido na Alemanha, a unidade de medida de temperatura utilizada por aquele país é Kelvin (K); logo, as legendas, por terem sido extraídas todas da interface do programa, apresentam o Kelvin (K) como unidade de medida. Nesse sentido, como a proporção da escala Celsius (°C) é igual à da escala Kelvin (K), a diferença entre valores é a mesma ambas as escalas. O fato de a razão da escala Celsius (°C) ser a mesma da escala Kelvin (K) constitui um detalhe facilitador da interpretação das simulações, uma vez que, para este trabalho, as comparações entre áreas focam nas diferenças entre estes valores de temperatura.

Destaca-se que, para o cálculo das variações de temperatura entre as áreas (1, 2 e 3), são desconsiderados os valores da área 3 – hipotética –, uma vez que sua representação não condiz com a realidade atual da avenida João XXIII, que é representada pela área 3.

Os valores apresentados nestas simulações são atribuídos pelo *software*, não reproduzindo, com fidelidade, os valores de temperatura reais que ocorrem nestas avenidas. O software ainda esclarece que a gradação de escala é menor que a gradação de valores reais. Logo, explica que o valor real pode ser abaixo do valor mínimo da legenda, assim como o valor maior pode ser maior que o valor máximo da legenda.

A gradação de cores segue a gradação de temperatura, chamada de temperatura potencial na legenda. Os tons quentes (magentas, vermelhos e amarelos) representam os locais mais quentes, enquanto os tons frios (azuis, cianos e verdes) representam os locais menos quentes.

Além da representação de temperatura, a legenda inclui a cor preta, que representa a presença de edificação no espaço analisado. É importante destacar que o *software* levou em consideração o gabarito de cada edificação, uma vez que este dado encontra-se inserido no programa.

### 3.2.2.1 Simulações no horário da manhã (9 h)

Na simulação realizada para o horário da manhã (9 h), a escala de temperatura variou de 296,36K a 298,85K, ou seja, de 23,21°C a 25,7°C, conferindo uma diferença de 2,49°C entre pontos mais arborizados (áreas 1 e 2) e o ponto menos arborizado (área 3). Esta diferença é máxima entre as avenidas Frei Serafim (área 2) e João XXIII (área 3). A variação, dentro da mesma área de um hectare ou 10.000 m<sup>2</sup>, equivalendo a uma área de 100m x 100m, teve média de 1,55 °C e chegou a 1,66 °C na avenida mais arborizada (área 1) (Tabela 1).

Tabela 1 – Conversão de valores de temperatura das 9h de Kelvin (K) para Celsius (°C)

Áreas	Temp. Kelvin (mínima)	Temp. Kelvin (máxima)	Temp. Celsius (mínima)	Temp. Celsius (máxima)	Diferença (° C)
Área 1	296,44	298,1	23,29	24,95	1,66
Área 2	296,36	297,95	23,21	24,8	1,59
Área 3	297,44	298,85	24,29	25,7	1,41
Área 3 (hipotética)	296,73	298,3	23,58	25,15	1,57
Horário: 9h	Variação média na mesma área			1,55	
	Variação máxima entre áreas			2,49	

#### a) Simulação da Área 1

A Avenida Santos Dumond, representada pela área 1 simula-se no programa ENVI-met o desempenho térmico da avenida às 9 h. Os valores da temperatura do ar variam de 23,29°C a 24,95 °C, o que representa uma amplitude de 1,66 °C (Figura 57). Visualiza-se, por meio da figura 57, que a maior parte da área 1 é formada por cores frias, que, pela figura, representa valores mais baixos de temperatura, comprovando, assim, a eficiência da arborização para a redução da temperatura.

Um fator relevante observado nesta figura é a mancha formada por cores quentes, representando o local de maior temperatura da área 1. Conforme imagem de satélite dessa área, os valores de temperatura elevadas na área são equivalentes aos locais que têm, como revestimento do solo, o asfalto. Essa posição é comprovada quando se

observa as outras ruas da área 1, que, por terem revestimento em pedra, possuem valores de temperatura reduzidos (Figura 57).

Deve-se notar também que, apesar da legenda apresentar valores absolutos de temperatura do ar com pouca variação, o mapa gerado pela simulação do programa ENVI-met demonstra a dinâmica do efeito da amenização climática proporcionado pela arborização, apresentando a distribuição desse efeito em toda a área 1. Assim, pode-se concluir que a área apresentada em tons frios (azuis e verdes) constitui maioria significativa, cerca de 77% da área livre de edificação quando comparada à área com cores quentes (magenta, vermelho e amarelo), que representa apenas 23 % da área livre restante (Figura 57).

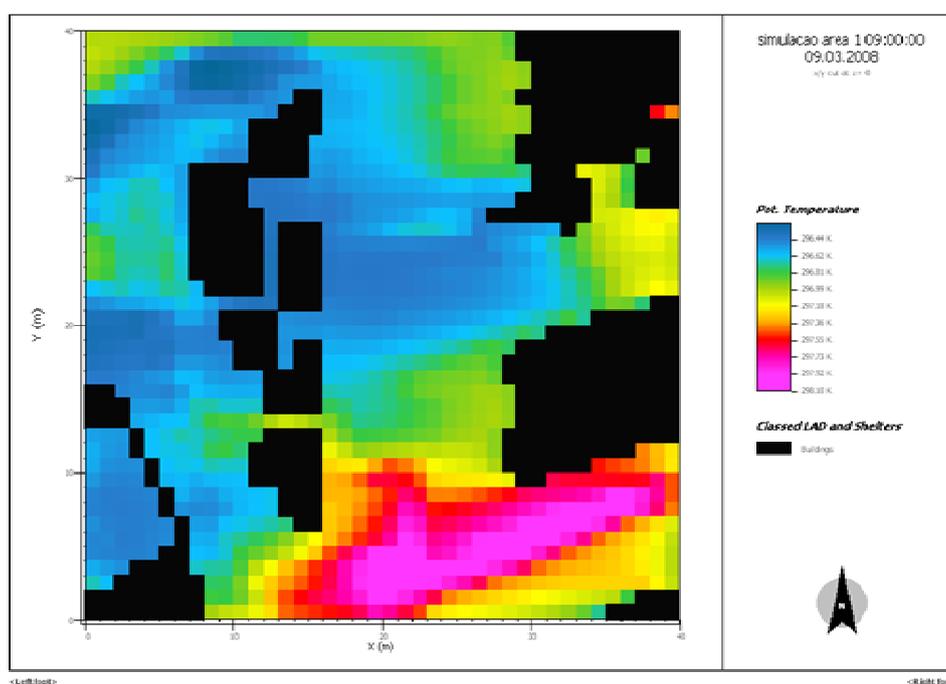


Figura 57 – Simulação da Área 1 – 9h

## b) Simulação da Área 2

A Avenida Frei Serafim é aqui representada pela área 2. Nessa área, para o período da manhã (9 h), a variação registrada é de 1,59 °C, entre o local mais quente e o menos quente. A variação torna-se considerável quando se atenta para o tamanho reduzido da área, de apenas 100 m x 100 m.

A imagem gerada pela simulação desta área representa, assim como na área 1, uma grande parte de área livre de edificação em tons frios (75 %), que, segundo a

representação da simulação, é referente aos valores mais baixos de temperatura e os tons quentes (25 %) da área livre de edificação são referentes aos valores elevados de temperatura do ar.

A área 2, embora não represente a área com uma maior arborização, é a que apresenta o valor mais baixo de temperatura dentre as três áreas simuladas que é de 23,21°C. Este resultado demonstra que a orientação da Avenida Frei Serafim (área 2), favorável à ventilação, garante a esta área os mais baixos valores de temperatura, uma vez que esta simulação levou em consideração a época úmida da cidade de Teresina, em que a ventilação contribui para a redução de temperatura (Figura 58).

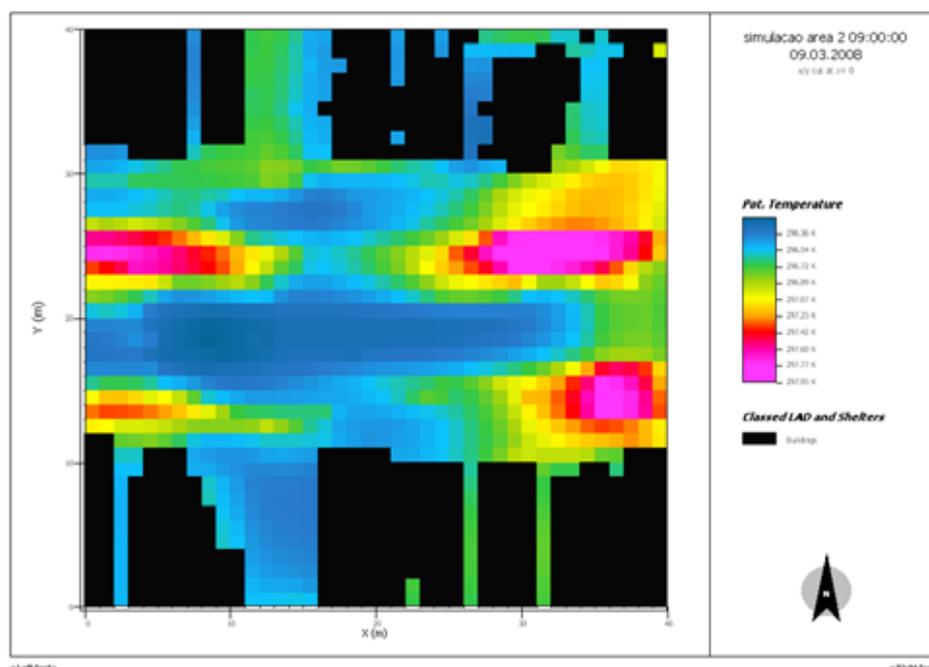


Figura 58 – Simulação da Área 2 – 9 h

### c) Simulação da Área 3

A Avenida João XXIII é representada pela área 3. Nesta área, para o período da manhã (9 h), a variação registrada é de 1,41 °C entre o local mais quente (25,7 °C) e o menos quente (24,29 °C).

Nessa área, é visível grande parte da área livre de edificação em tons quentes, cerca de 88 %, que, segundo a legenda, representam os maiores valores de temperatura. As manchas em magenta representam exatamente as faixas de asfalto da via, local em que a

temperatura é extrema. Já as poucas áreas em tons frios, representam aproximadamente, 12 % da área livre de edificação (Figura 59).

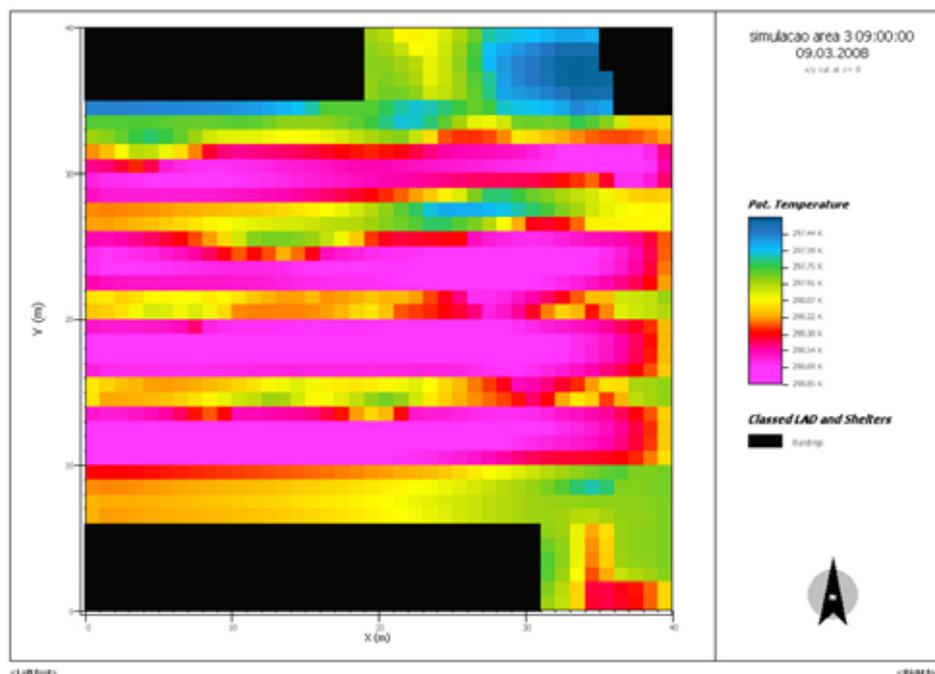


Figura 59 – Simulação da Área 3 – 9 h

#### d) Simulação da Área 3 – hipotética

Essa simulação representa a mesma área 3 (Avenida João XXIII) com a inclusão de arborização, sendo, portanto, uma área hipotética. Essa simulação representa uma possível intervenção na Avenida João XXIII, que objetiva beneficiar o desempenho térmico da área, com o aumento representativo de vegetação arbórea, bem como a alteração de alguns materiais como das calçadas e canteiros, por materiais mais permeáveis.

Para o arquivo de simulação, adota-se a nomenclatura de área 3 – mais arborizada. Essa representação hipotética triplicou o número de árvores da avenida e alterou revestimento das calçadas, de cimento para paralelepípedo, e o canteiro central, de paralelepípedo para solo natural.

Dessa forma, este cenário insere-se de modo didático, visando ilustrar, de modo objetivo, por meio das simulações computacionais, quais vantagens a vegetação inserida e os materiais alterados representam para a melhoria do conforto térmico na via.

Para ficar clara a mudança gerada entre a realidade atual (área 3) e a possível intervenção (área 3 – hipotética), é importante uma comparação visual entre as figuras 59 e 60, uma vez que a legenda de cores, para o mesmo valor, apresenta valores muito próximos. Assim, percebe-se uma redução na área livre de edificação em tons quentes de 90 %, na simulação da realidade da área 3, para 45 %, na simulação da área 3 hipotética, o que representa um ganho de 50 % de área climática confortável (Figura 60).

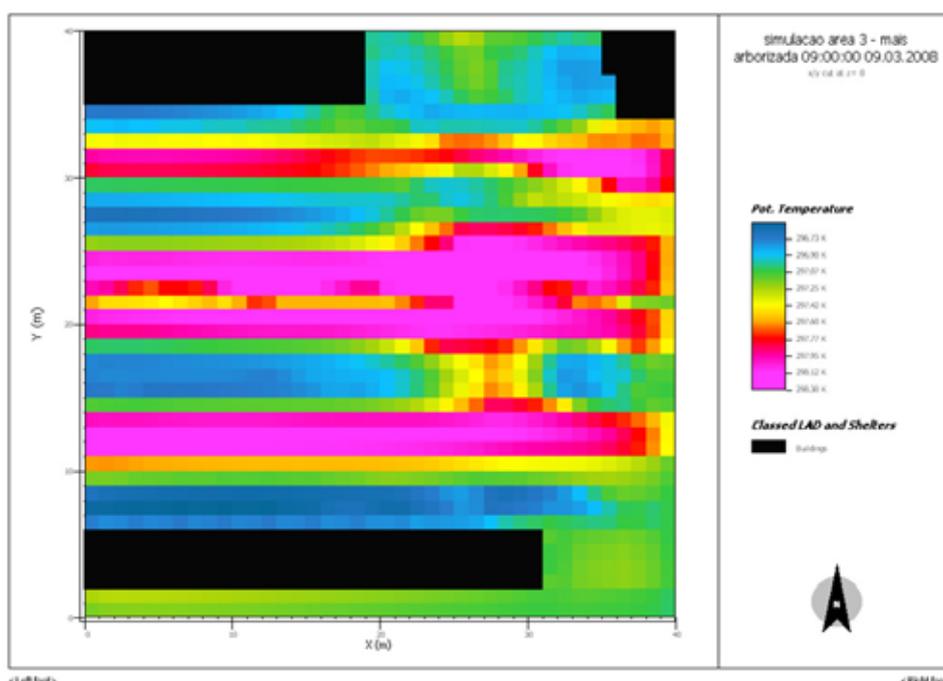


Figura 60 – Simulação da Área 3 (hipotética) – 9 h

### 3.2.2.2 Simulações no horário da tarde (15 h)

Na simulação realizada para o horário da tarde (15 h), a escala de temperatura variou de 301,02 K a 297,91 K, ou seja, de 23,21 °C a 25,7 °C, conferindo uma diferença máxima de 3,11 °C entre o Avenida Frei Serafim (área 2) e a avenida João XXIII (área 3). A diferença entre a avenida mais arborizada (área 1) e a menos arborizada (área 3) é de 3 °C. A variação, dentro da mesma área de um hectare (100 m x 100 m), teve média de 2,25°C, chegou a 2,4 °C na avenida mais arborizada (área 1) e a 2,59 °C na segunda mais arborizada (área 2) (Tabela 2).

Tabela 2 – Conversão de valores de temperatura das 15h de Kelvin (K) para Celsius (°C)

Áreas	Temp. Kelvin (mínima)	Temp. Kelvin (máxima)	Temp. Celsius (mínima)	Temp. Celsius (máxima)	Diferença (° C)
Área 1	298,02	300,42	24,87	27,27	2,4
Área 2	297,91	300,5	24,76	27,35	2,59
Área 3	299,26	301,02	26,11	27,87	1,76
Área 3 (hipotética)	298,91	301,06	25,76	27,91	2,15
Horário: 15 h	Variação média na mesma área			2,25	
	Variação máxima entre áreas			3,11	

Vê-se, então, a partir das simulações realizadas, que é no horário da tarde que se dão as diferenças mais extremas. Essas diferenças podem ser observadas tanto entre pontos da mesma área, apresentando valor médio de 2,25 °C, quando entre áreas diferentes, de até 3,11 °C.

#### a) Simulação da Área 1

Nesta simulação, são apresentadas as variações da temperatura do ar, no espaço livre da Avenida Santos Dumont, no horário das 15 h, período vespertino. Os valores da temperatura do ar variam de 24,87 °C a 27,27 °C, o que representa uma amplitude de 2,4 °C. (Figura 61). Visualiza-se na figura, que a maior parte da área 1 é formada por cores frias, comprovando, assim, a eficiência da arborização para a redução da temperatura, no horário de 15 h.

Assim como, na figura 57 no horário de 9 h, o mesmo fator relevante se observa na figura 61 no horário de 15 h, pois a mancha formada por cores quentes, representa o local de maior temperatura nos dois horários.

Os valores de temperatura mais alta na área 1 são equivalentes aos locais que tem como revestimento do solo, o asfalto. Esta situação é comprovada quando se observa as outras ruas da área 1, que, por terem revestimento em pedra, possuem valores de temperatura reduzidos. (Figura 61).

Observa-se, às 15 h, o mesmo comportamento proporcionado pela arborização no horário matutino (9 h) que, apesar da legenda apresentar valores absolutos de temperatura do ar com pouca variação, o mapa gerado pela simulação do programa ENVI-met demonstra a dinâmica do efeito da amenização climática proporcionado pela arborização, apresentando a distribuição desse efeito em toda a área.

Assim, pode-se concluir que a área apresentada em tons frios (azuis e verdes) constitui maioria significativa semelhante nos dois horários, de 85 % da área livre de edificação quando comparada à área com cores quentes (magenta, vermelho e amarelo), que representa apenas 15 % da área livre restante (Figura 61), como representado na Figura 57, no horário de 9 h.

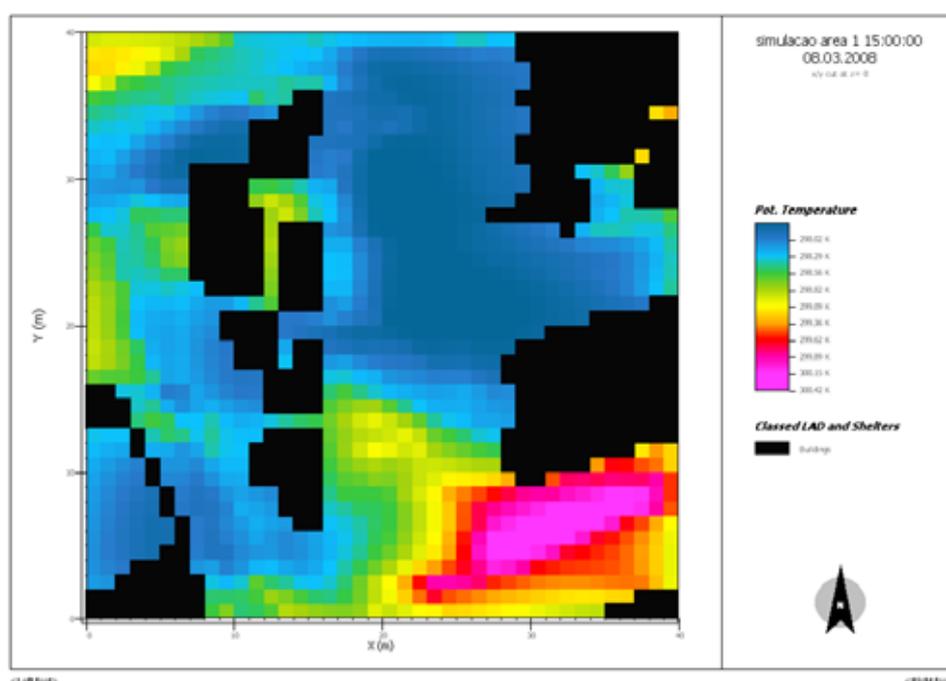


Figura 61 – Simulação da área 1 – 15 h

### b) Simulação da Área 2

Nesta área, para o período da tarde (15 h), a amplitude térmica considerável registrada de 2,59 °C, entre o local mais quente (27,35 °C) e o menos quente (24,76 °C), indicando diminuição das áreas em tons frios (figura 62) em relação a mesma área no horário de 9 h.

A imagem gerada pela simulação dessa área representa, assim como na área 1, uma grande parte de área livre de edificação em tons frios (67%), que, segundo a representação da simulação, é referente aos valores mais baixos de temperatura e os tons quentes (33%) da área livre de edificação são referentes aos valores elevados de temperatura do ar.

A área 2, embora não represente a área com uma maior arborização, é a que apresenta o valor mais baixo de temperatura entre as três áreas simuladas que é de 23,21 °C. Este resultado demonstra que a orientação da Avenida Frei Serafim (área 2), favorável à ventilação, garante ao local os mais baixos valores de temperatura, uma vez que esta simulação levou em consideração a época úmida da cidade de Teresina, em que a ventilação contribui para a redução de temperatura (Figura 62).

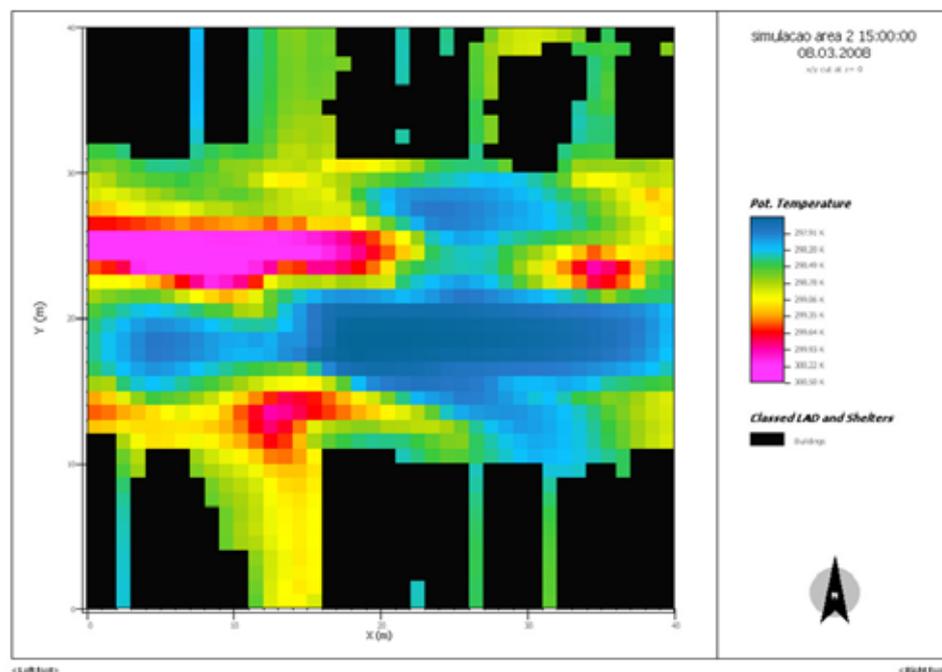


Figura 62 – Simulação da área 2 – 15h

### c) Simulação da Área 3

Para o período da tarde (15 h), a Avenida João XXIII (área 3) apresentou uma amplitude térmica menor que a área mais arborizada (avenida Frei Serafim) no mesmo horário registrando o valor de 1,76 °C entre o local mais quente (27,87 °C) e o menos quente (26,11 °C). Essa amplitude térmica deve-se as grandes áreas de asfalto e concreto da avenida, claramente representadas pelas cores magenta e vermelho, conforme Figura 63.

Nesta área, é visível grande parte da área livre de edificação em tons quentes, cerca de 84 %, que, segundo a legenda, representam os maiores valores de temperatura. As manchas em magenta representam exatamente as faixas de asfalto da via, local em que a temperatura é extrema. Já as poucas áreas em tons frios, representam aproximadamente, 16% da área livre de edificação (Figura 63).

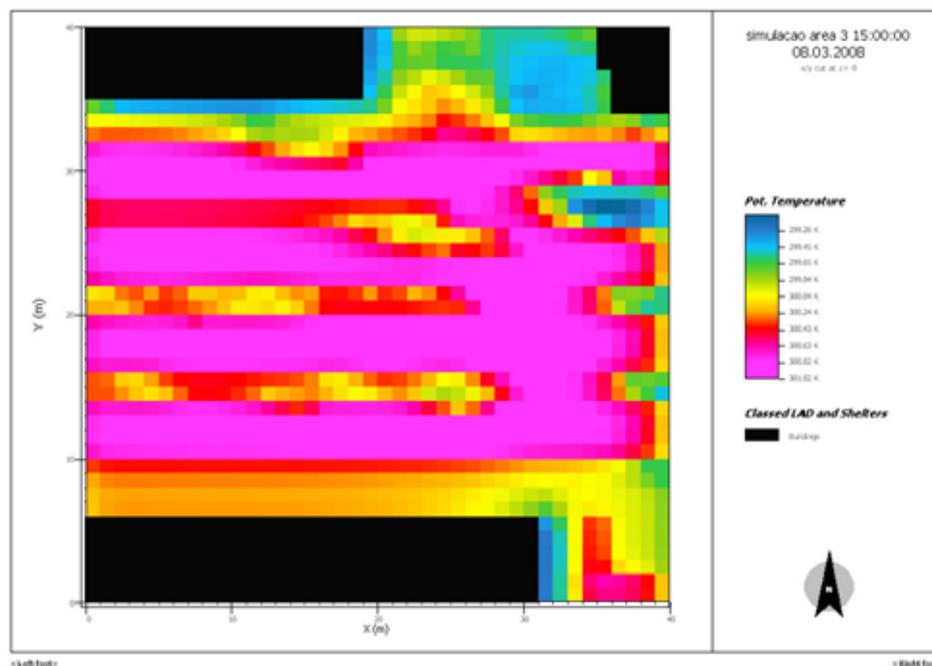


Figura 63 – Simulação da área 3 – 15 h

#### d) Simulação da Área 3 – hipotética

Nesta simulação representada, a área hipotética triplicou o número de árvore da avenida e alterou revestimento das calçadas de cimento para paralelepípedo e o canteiro central de paralelepípedo para solo natural.

A mudança gerada entre a realidade atual (área 3) e a possível intervenção (área 3 – hipotética) é verificada comparando-se as figuras 63 e 64, permanecendo a legenda de cores para o mesmo valor apresentando valor aproximado. Assim, percebe-se uma redução na área livre de edificação em tons quentes de 84 %, na simulação da realidade da área 3, para 40 %, na simulação da área 3 hipotética, o que representa um ganho de quase 50 % de área climaticamente confortável (Figura 64).

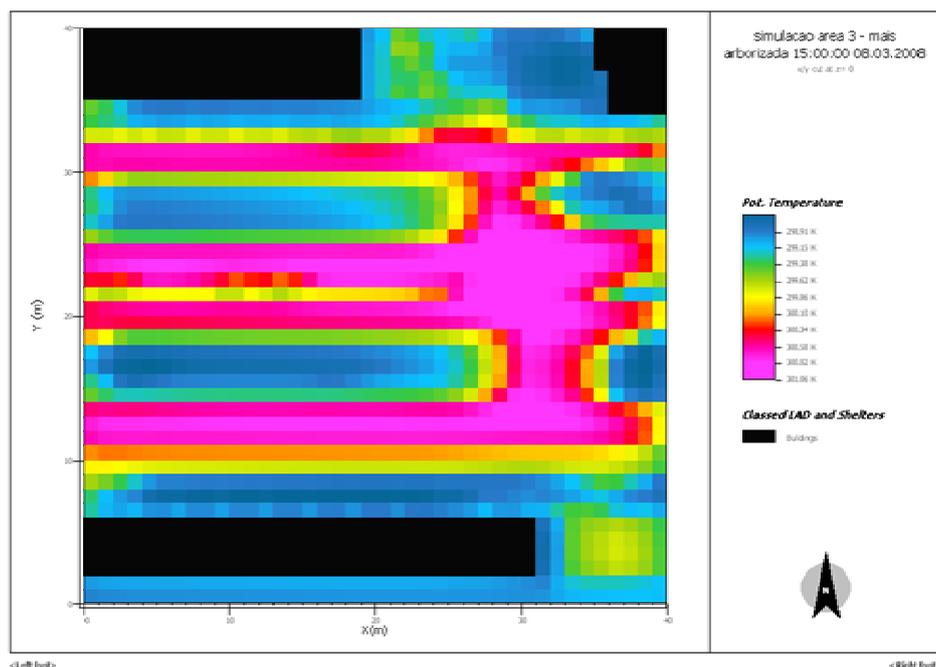


Figura 64 - Simulação da área 3 – hipotética – 15 h

### 3.2.2.3 Simulações no horário da noite (21 h)

Na simulação realizada para o horário da noite (21 h), a escala de temperatura variou de 301,02 K a 297,91 K, ou seja, de 23,21 °C a 25,7 °C, conferindo uma amplitude térmica de 0,88 °C para esta área, considerando a mesma área de um hectare (100 m x 100 m). Quando comparada a outras áreas, a amplitude térmica chega a 1,68 °C. Esta diferença é encontrada entre os pontos mais arborizados (áreas 1 e 2) e o ponto menos arborizado (área 3) (Tabela 3).

Tabela 3 – Conversão de valores de temperatura das 21 h de Kelvin (K) para Celsius (°C)

Áreas	Temp. Kelvin (mínima)	Temp. Kelvin (máxima)	Temp. Celsius (mínima)	Temp. Celsius (máxima)	Diferença (° C)
Área 1	294,3	294,99	21,15	21,84	0,69
Área 2	294,17	295,1	21,02	21,95	0,93
Área 3	294,84	295,85	21,69	22,7	1,01
Área 3 (hipotética)	294,66	295,64	21,51	22,49	0,98
Horário: 21h			Variação média na mesma área		0,88
			Variação máxima entre áreas		1,68

### a) Simulação da Área 1

Nesta simulação, são apresentadas as variações da temperatura do ar, no espaço livre da Avenida Santos Dumont, no horário das 21 h, período noturno. Os valores da temperatura do ar variam de 21,84 °C a 21,15 °C, o que representa uma amplitude de 0,69 °C (Figura 65). De acordo, com a simulação no ENVI-met, há uma inversão no gráfico de cores. As cores frias só são visualizadas a partir da temperatura de 21 °C para baixo. Portanto, o a Figura 65 onde antes (às 9 h e às 15 h) apresentavam cores frias, às 21 h apresentam cores quentes, mas os valores absolutos de temperatura do ar apresentam-se os mais baixos durante todo o dia.

Para a simulação computacional, 95 % das áreas em tons quentes representam temperaturas acima de 22 °C e apenas 5 % das áreas livres de edificações representadas em tons frios designam temperaturas abaixo dos 22 °C (Figura 65).

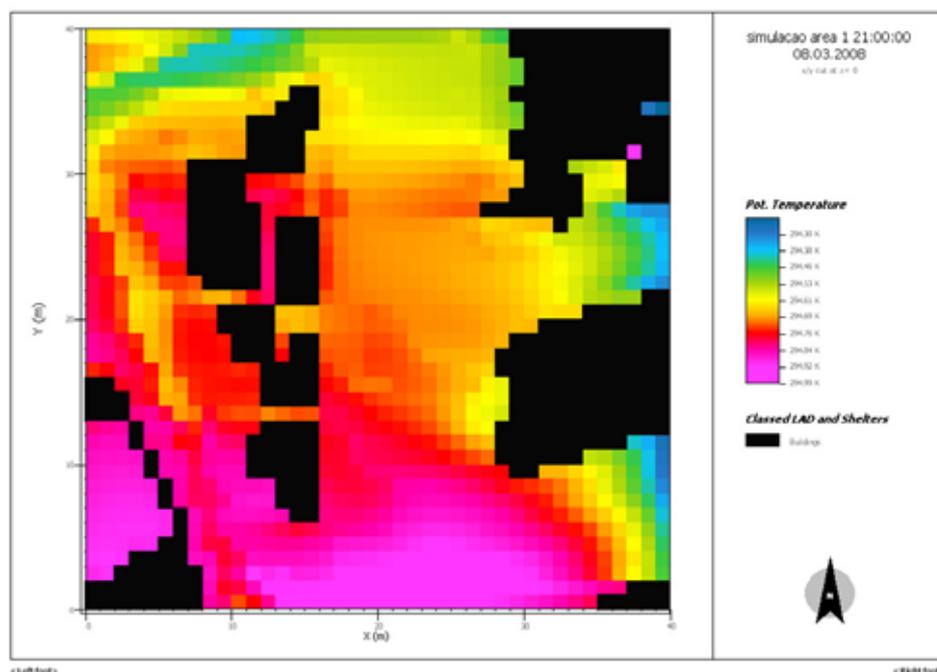


Figura 65 – Simulação da área 1 – 21 h

### b) Simulação da Área 2

Nesta simulação, são apresentadas as variações da temperatura do ar, no canteiro central da avenida Frei Serafim, no horário das 21 h, período noturno. Os valores da temperatura do ar variam de 21,95 °C a 21,02 °C, o que representa uma amplitude de 0,93 °C (Figura 66).

É importante verificar que a simulação computacional da Avenida Frei Serafim (área 2) apresentou comportamento semelhante à simulação computacional da Avenida Santos Dumond (área 1), quando se refere ao gráfico de cores apresentados na Figura 66.

De acordo, com a simulação no ENVI-met, há uma inversão no gráfico de cores. Assim como na área 1, as cores frias só são visualizadas a partir da temperatura de 21 °C para baixo. Portanto, onde antes (às 9 h e às 15 h) apresentavam cores frias, às 21 h apresentam cores quentes, mas os valores absolutos de temperatura do ar apresentam-se os mais baixos durante todo o dia.

Para a simulação computacional, 90 % das áreas em tons quentes representam temperaturas acima de 22 °C e apenas 10 % das áreas livres de edificações representadas em tons frios designam temperaturas abaixo dos 22 °C (Figura 66).

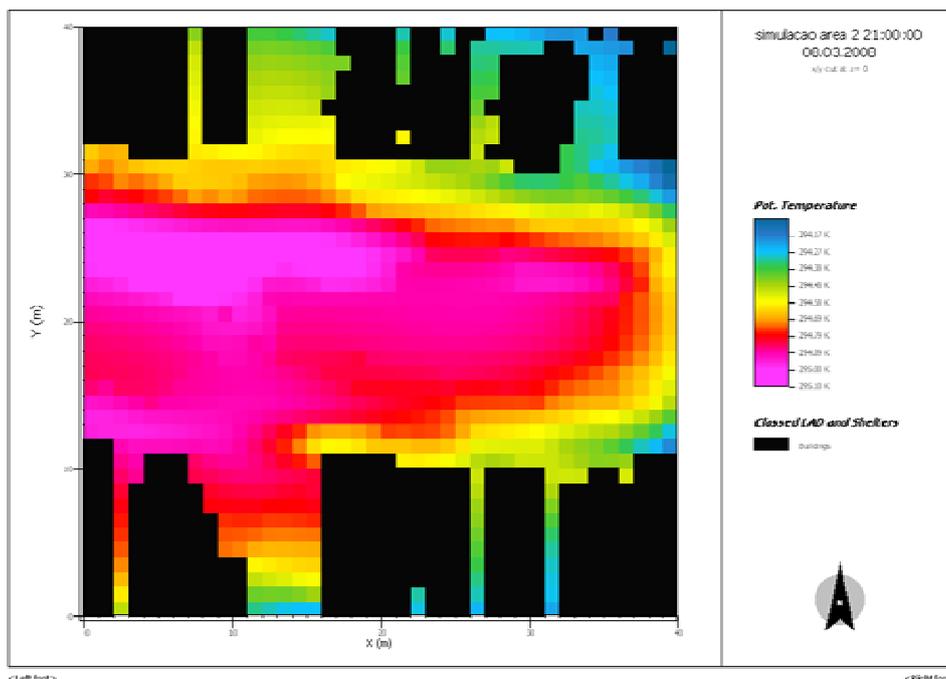


Figura 66 – Simulação da área 2 – 21 h

### c) Simulação da Área 3

Nesta simulação, são apresentadas as variações da temperatura do ar, na Avenida João XXIII, no horário das 21 h, período noturno. Os valores da temperatura do ar variam de 22,7 °C a 21,69 °C, o que representa uma amplitude de 1,01 °C (Figura 67), apresentando o maior valor absoluto de temperatura do ar.

No entanto, na simulação computacional da avenida houve apenas uma intensificação no gráfico de cores para tons quentes (Figura 66) e se assemelhando ao comportamento térmico da Avenida Frei Serafim (área 2) e da avenida Santos Dumond (área 1). Assim como nos horários de 9 h e 15 h, as cores da área 3 são, em sua maioria, em tons quentes.

Para a simulação computacional, 95 % das áreas em tons quentes representam temperaturas acima de 22 °C e apenas 5 % das áreas livres de edificações representadas em tons frios designam temperaturas abaixo dos 22 °C (Figura 67).

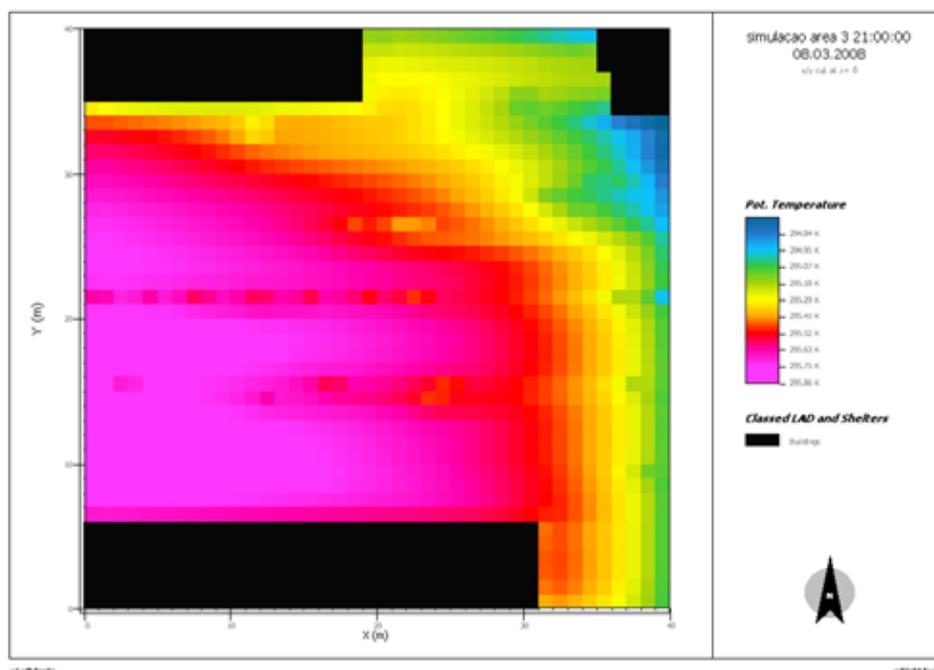


Figura 67 – Simulação da área 3 – 21 h

#### d) Simulação da Área 3 – hipotética

Nesta simulação, são apresentadas as variações da temperatura do ar para a situação hipotética da Avenida João XXIII, no horário das 21 h, período noturno. Os valores da temperatura do ar variam de 22,49 °C a 21,51 °C, o que representa uma diminuição da amplitude de 1,01 °C para 0,98 °C, não representando um valor considerável de temperatura do ar.

Contudo, na simulação computacional da avenida houve apenas uma intensificação no gráfico de cores para tons quentes (Figura 63), assim como ocorreu na simulação da realidade da área 3 (Figura 67) e se assemelhando ao comportamento térmico da

Avenida Frei Serafim (área 2) e da Avenida Santos Dumond (área 1). No entanto, houve uma inversão no gráfico de cores da simulação computacional para a área 3 (hipotética) nos horários de 9 h e 15 h.

Para a simulação computacional, 90 % das áreas em tons quentes representam temperaturas acima de 22 °C e apenas 10 % das áreas livres de edificações representadas em tons frios designam temperaturas abaixo dos 22 °C (Figura 68).

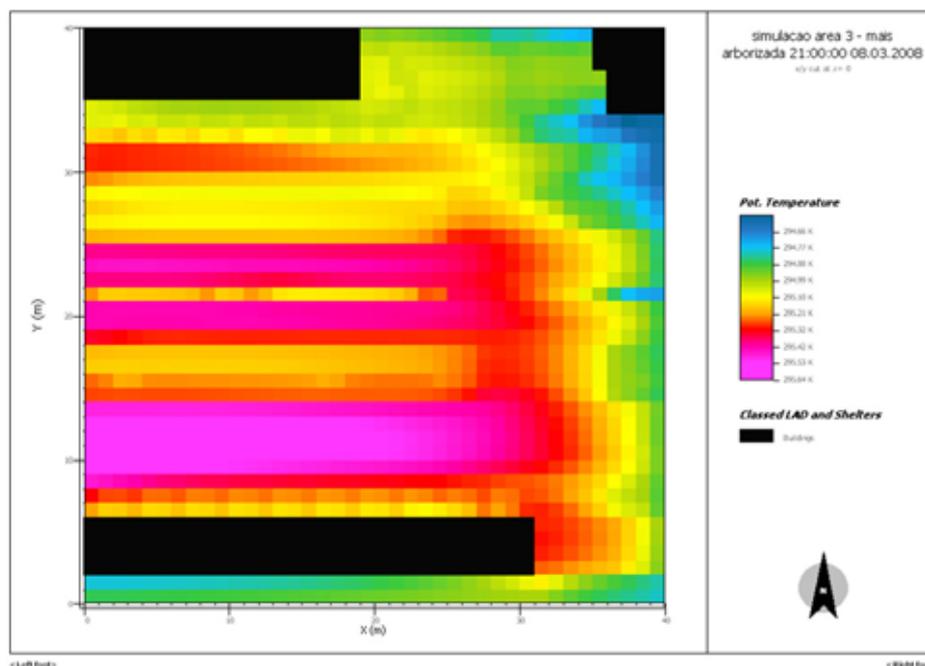


Figura 68 – Simulação da área 3 - hipotética – 21 h

### 3.2.3 Simulações de velocidade do vento

Os gráficos, a seguir, representam simulação de velocidade do vento. Deve-se notar que há legenda específica para cada horário, pois, na execução dos arquivos, o programa utilizado gera uma legenda para cada simulação realizada. É importante esclarecer que a unidade de medida de temperatura, utilizada pelo software, é metro por segundo (m/s).

A gradação de cores segue a gradação de velocidade do vento, chamada, na legenda, de *wind speed*. Os tons quentes (magentas, vermelhos e amarelos) representam os locais em que a ventilação atinge maior velocidade, enquanto os tons frios (azuis, cianos e verdes) representam os locais cuja ventilação possui menores velocidades.

Além da representação de temperatura, a legenda inclui a cor preta, que representa a presença de edificação no espaço analisado. É importante destacar que o *software* levou em consideração o gabarito de cada edificação, uma vez que este dado encontra-se inserido no programa.

Tendo em vista que a orientação da ventilação predominante da cidade de Teresina vem do sentido leste, a representação da trajetória dos ventos, representada pelos pontos azuis, tem sentido leste – oeste. Esta informação é inserida no arquivo de configuração básica do software, já apresentada neste capítulo.

### 3.2.3.1 – Simulações no horário da manhã (9 h)

Nas simulações realizadas para o parâmetro de velocidade do vento no horário da manhã (9 h), a variação média é de 0,84 m/s, registrando valores mínimos de 0,09 m/s e máximos de 1,02 m/s. É importante destacar que, para a ventilação, alguns fatores prejudicam o acesso aos ventos, um deles é o excesso de arborização, que, quando possuem copas muito densas e entrelaçadas (área 1), pode bloquear a penetração dos ventos na via. Outro fator muito importante é a orientação da via, que, quando segue a direção dos ventos predominantes (áreas 2 e 3), pode melhorar, em alguns casos, o desempenho térmico do lugar (Tabela 4).

Tabela 4 – Variação de valores de velocidade do vento nas 9h

Áreas	Vel.do ar (mínima)	Vel. do ar (máxima)	Diferença (m/s)
Área 1	0,09	0,94	0,85
Área 2	0,10	1,02	0,92
Área 3	0,11	0,89	0,78
Área 3 (hipotética)	0,11	0,91	0,8
Horário: 9 h	Variação média		0,84

### a) Simulação de velocidade do vento – Área 1

Na simulação de velocidade do vento na área 1, a variação entre os valores mínimo e máximo é de 0,85 m/s. O menor valor registrado é de exatamente 0,09 m/s, na área 1, demonstrando que a avenida Santos Dumont recebe pouca ventilação neste horário (Figura 69). Esse resultado corrobora o que é demonstrado no capítulo anterior, em que a orientação desta via prejudica a penetração dos ventos dominantes de Teresina.

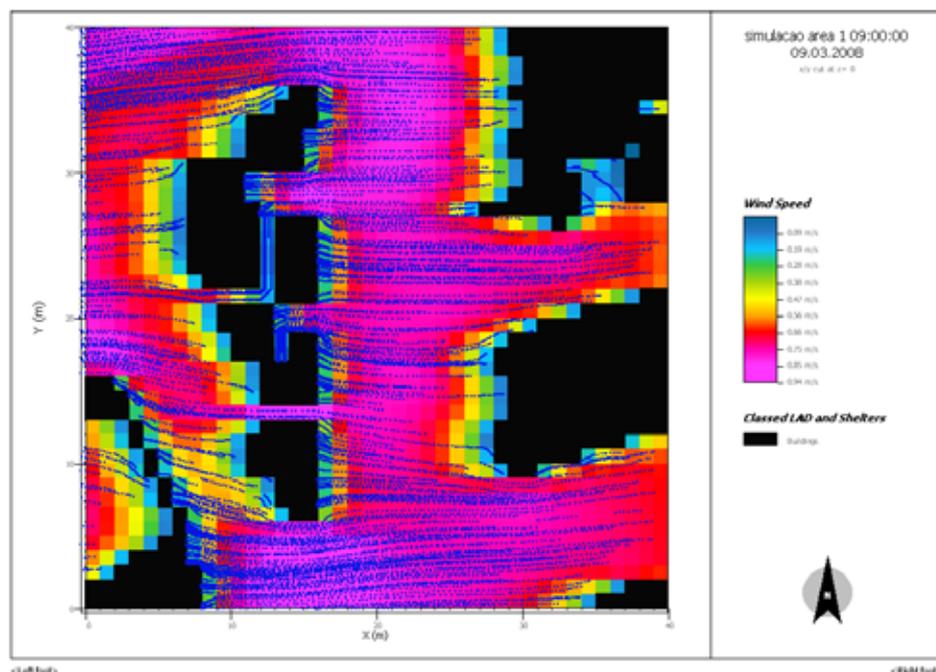


Figura 69 – Simulação de ventilação na área 1 – 9 h

### b) Simulação de velocidade do vento – Área 2

Na simulação de velocidade do vento na área 2, a variação entre os valores mínimo e máximo é de 0,92 m/s. O menor valor registrado é de exatamente 0,10 m/s, na área 2, demonstrando que a Avenida Frei Serafim recebe melhor a ventilação neste horário, diferindo da área 1 (Figura 70). Esse resultado corrobora o que é demonstrado no capítulo anterior, em que a orientação desta via pode melhorar a penetração dos ventos dominantes de Teresina.

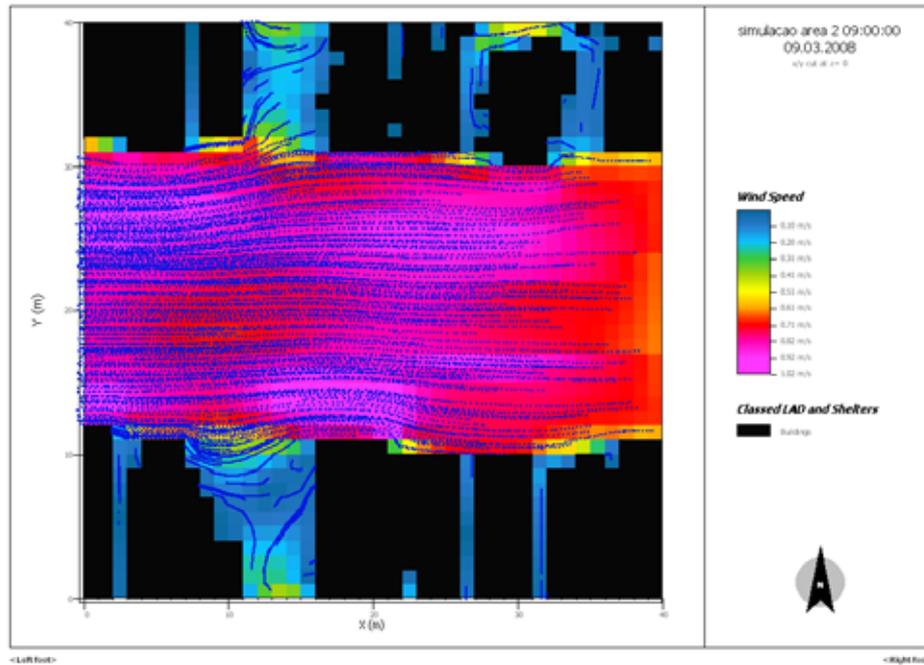


Figura 70 – Simulação de ventilação na área 2 – 9 h

### c) Simulação de velocidade do vento – Área 3

Na simulação de velocidade do vento na área 3, a variação entre os valores mínimo e máximo é de 0,78 m/s. O menor valor registrado é de exatamente 0,11 m/s, na área 3, demonstrando que a Avenida João XXIII recebe melhor a ventilação neste horário, assim como na área 2 (Figura 71). Esse resultado corrobora o que é demonstrado no capítulo anterior, em que a orientação desta via pode melhorar a penetração dos ventos dominantes de Teresina.

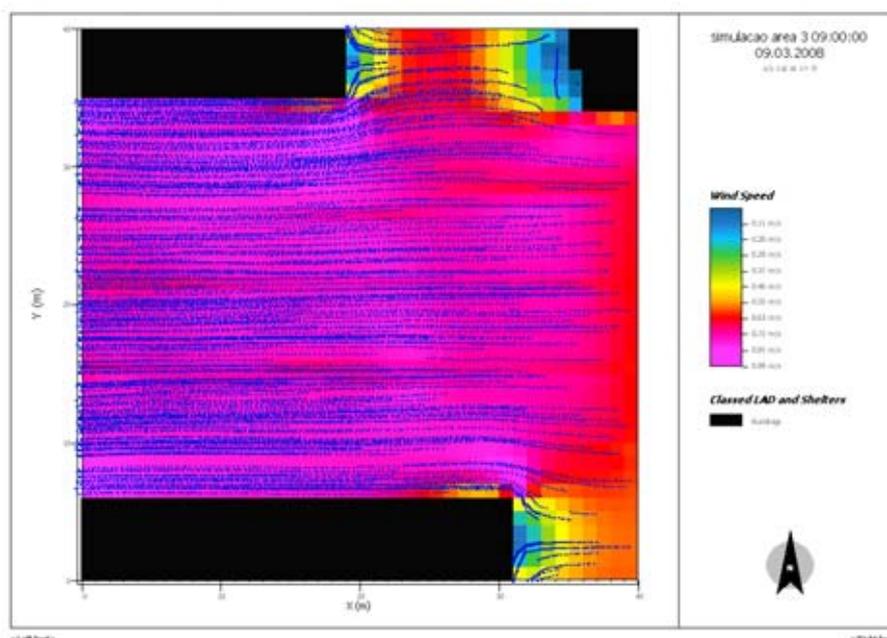


Figura 71 – Simulação da ventilação na área 3 – 9 h

#### d) Simulação de velocidade do vento – Área 3 – hipotética

Na simulação de velocidade do vento na área 3 (hipotética), a variação entre os valores mínimo e máximo é de 0,8 m/s. O menor valor registrado é de exatamente 0,11 m/s, na área 3 (hipotética), demonstrando que a Avenida João XXIII recebe menos a ventilação nesse horário, diferindo um pouco em relação a área 3 (real) (Figura 72), visto que a orientação da via é a mesma, pois a área hipotética apresenta uma composição arbórea maior diminuindo a penetração dos ventos. Esse resultado corrobora o que é demonstrado no capítulo anterior, em que a orientação desta via pode melhorar a penetração dos ventos dominantes de Teresina, porém a vegetação pode bloquear ou diminuir a penetração dos ventos.

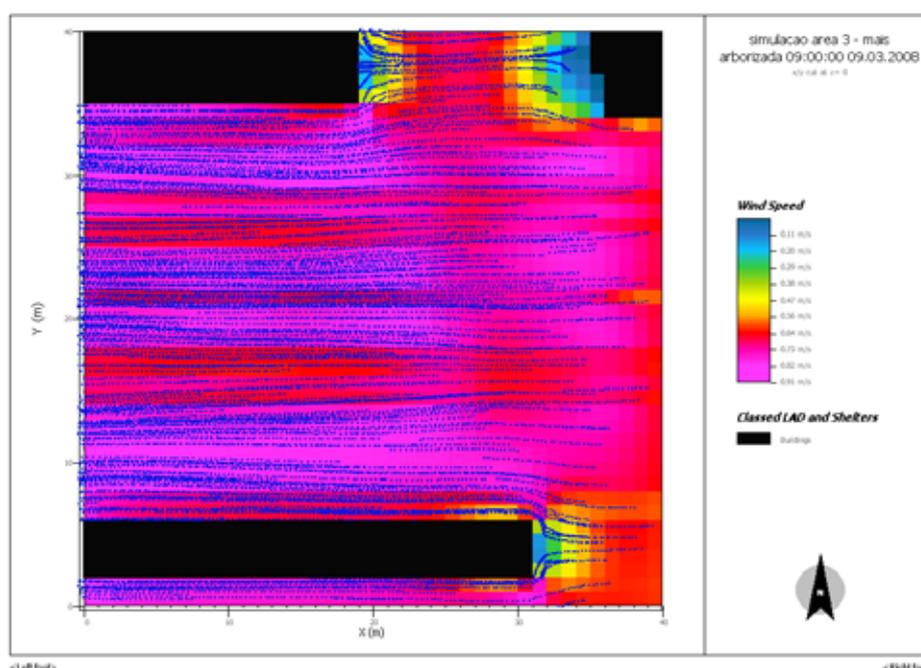


Figura 72 – Simulação da ventilação na área 3 – hipotética – 9 h

#### 3.2.3.2 – Simulações no horário da tarde (15 h)

Nas simulações realizadas para o parâmetro de velocidade do vento no horário da tarde (15 h), a variação média é de 0,82 m/s, registrando valores mínimos de 0,09 m/s e máximos de 1,02 m/s. É importante destacar que, para a ventilação, alguns fatores prejudicam o acesso aos ventos, um deles é o excesso de arborização, que, quando possuem copas muito densas e entrelaçadas (área 1), pode bloquear a penetração dos ventos na via. Outro fator muito importante é a orientação da via, que, quando segue a

direção dos ventos predominantes (áreas 2 e 3), pode melhorar, em alguns casos, o desempenho térmico do lugar (Tabela 5).

Tabela 5 – Variação de valores de velocidade do vento nas 15h

Áreas	Vel.do ar (mínima)	Vel. do ar (máxima)	Diferença (m/s)
Área 1	0,09	0,88	0,79
Área 2	0,1	1,02	0,92
Área 3	0,12	0,89	0,77
Área 3 (hipotética)	0,12	0,92	0,8
Horário: 15 h	Variação média		0,82

#### a) Simulação de velocidade do vento – Área 1

Na simulação de velocidade do vento na área 1, a variação entre os valores mínimo e máximo é de 0,79 m/s. O menor valor registrado é de exatamente 0,09 m/s, na área 1, demonstrando que a avenida Santos Dumont recebe pouca ventilação neste horário (Figura 73). Esse resultado corrobora o que é demonstrado no capítulo anterior, em que a orientação desta via prejudica a penetração dos ventos predominantes de Teresina.

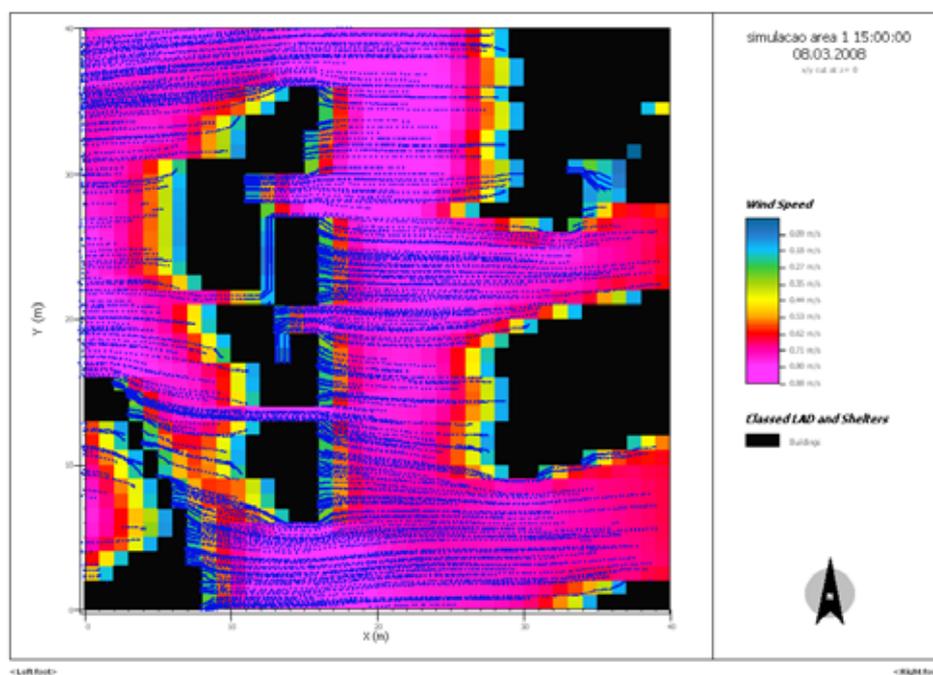


Figura 73 – Simulação da ventilação na área 1 – 15 h

### b) Simulação de velocidade do vento – Área 2

Na simulação de velocidade do vento na área 2, a variação entre os valores mínimo e máximo é de 0,92 m/s. O menor valor registrado é de exatamente 0,10 m/s, na área 2, demonstrando que a Avenida Frei Serafim recebe melhor a ventilação neste horário, diferindo da área 1 (Figura 74). Esse resultado corrobora o que é demonstrado no capítulo anterior, em que a orientação desta via pode melhorar a penetração dos ventos predominantes de Teresina.

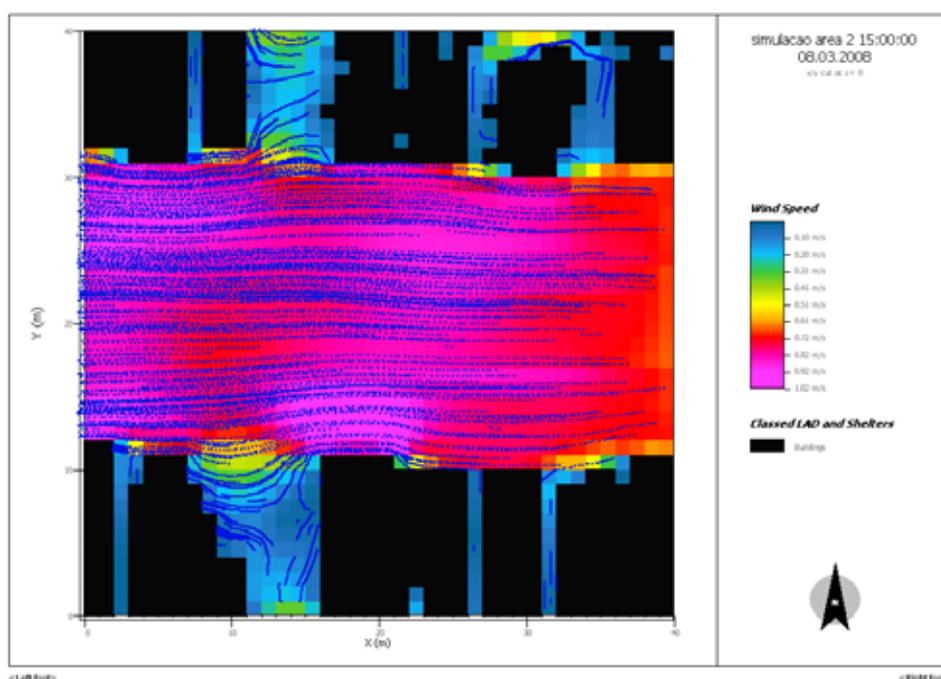


Figura 74 – Simulação da ventilação na área 2 – 15 h

### c) Simulação de velocidade do vento – Área 3

Na simulação de velocidade do vento na área 3, a variação entre os valores mínimo e máximo é de 0,77 m/s. O menor valor registrado é de exatamente 0,12 m/s, na área 3, demonstrando que a Avenida João XXIII recebe melhor a ventilação neste horário, assim como na área 2 (Figura 75). Esse resultado corrobora o que é demonstrado no capítulo anterior, em que a orientação desta via pode melhorar a penetração dos ventos predominantes de Teresina.

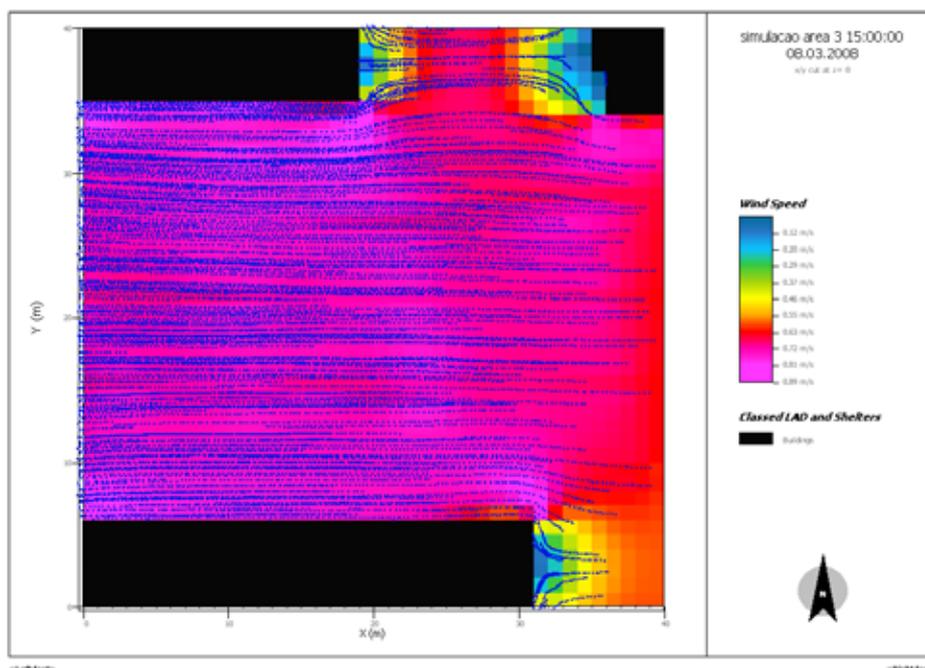


Figura 75 – Simulação da ventilação na área 3 – 15 h

#### d) Simulação de velocidade do vento – Área 3 – hipotética

Na simulação de velocidade do vento na área 3 (hipotética), a variação entre os valores mínimo e máximo é de 0,8 m/s. O menor valor registrado é de exatamente 0,12 m/s, na área 3 (hipotética), demonstrando que a Avenida João XXIII recebe menos a ventilação neste horário, diferindo um pouco em relação a área 3 (real) (Figura 76), visto que a orientação da via é a mesma, pois a área hipotética apresenta uma composição arbórea maior diminuindo a penetração dos ventos. Esse resultado corrobora o que é demonstrado no capítulo anterior, em que a orientação desta via pode melhorar a penetração dos ventos dominantes de Teresina, porém a vegetação pode bloquear ou diminuir a penetração dos ventos.

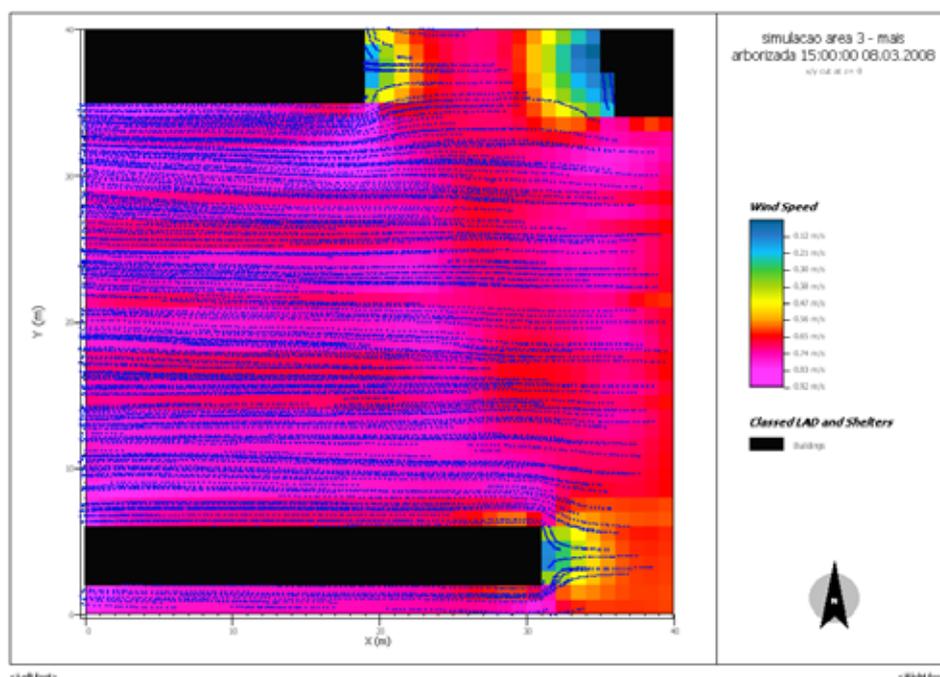


Figura 76 – Simulação da ventilação na área 3 - hipotética – 15 h

### 3.2.3.3 Simulações de ventilação no horário da noite (21 h)

Nas simulações realizadas para o parâmetro de velocidade do vento no horário da tarde (21 h), a variação média é de 0,83 m/s, registrando valores mínimos de 0,09 m/s e máximos de 1,02 m/s. É importante destacar que, para a ventilação, alguns fatores prejudicam o acesso aos ventos, um deles é a grande quantidade de arborização, que, quando possuem copas muito densas e entrelaçadas (área 1), pode bloquear a penetração dos ventos na via. Outro fator muito importante é a orientação da via, que, quando segue a direção dos ventos predominantes (áreas 2 e 3), pode melhorar, em alguns casos, o desempenho térmico do lugar (Tabela 6). A simulação do período noturno (21 h) apresenta velocidade dos ventos mais fraca que no outros períodos do dia (9 h e 15 h).

Tabela 6 – Variação de valores de velocidade do vento nas 21h

Áreas	Vel.do ar (mínima)	Vel. do ar (máxima)	Diferença (m/s)
Área 1	0,09	0,91	0,82
Área 2	0,1	1,02	0,92
Área 3	0,11	0,89	0,78
Área 3 (hipotética)	0,11	0,91	0,8
Horário: 21 h	Variação média		0,83

### a) Simulação de velocidade do vento – Área 1

Na simulação de velocidade do vento na área 1, a variação entre os valores mínimo e máximo é de 0,82 m/s. O menor valor registrado é de exatamente 0,09 m/s, na área 1, demonstrando que a Avenida Santos Dumont recebe pouca ventilação neste horário (Figura 77). Este resultado corrobora o que é demonstrado no capítulo anterior, em que a orientação desta via prejudica a penetração dos ventos dominantes de Teresina.

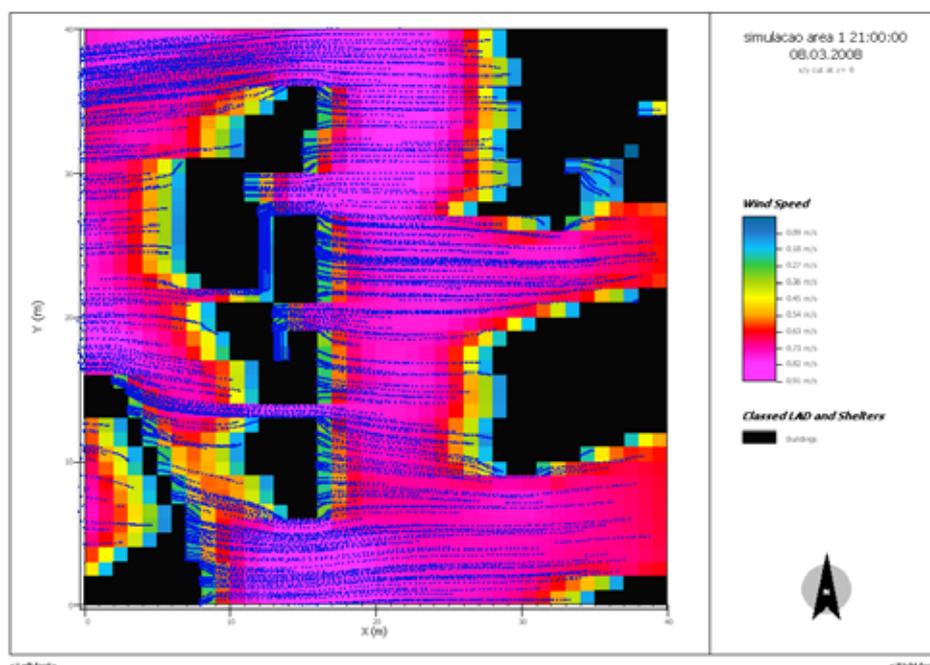


Figura 77 – Simulação da ventilação na área 1 – 21 h

### b) Simulação de velocidade do vento – Área 2

Na simulação de velocidade do vento na área 2, a variação entre os valores mínimo e máximo é de 0,92 m/s. O menor valor registrado é de exatamente 0,10 m/s, na área 2, demonstrando que a Avenida Frei Serafim recebe melhor a ventilação neste horário, diferindo da área 1 (Figura 78). Este resultado corrobora o que é demonstrado no capítulo anterior, em que a orientação desta via pode melhorar a penetração dos ventos dominantes de Teresina.

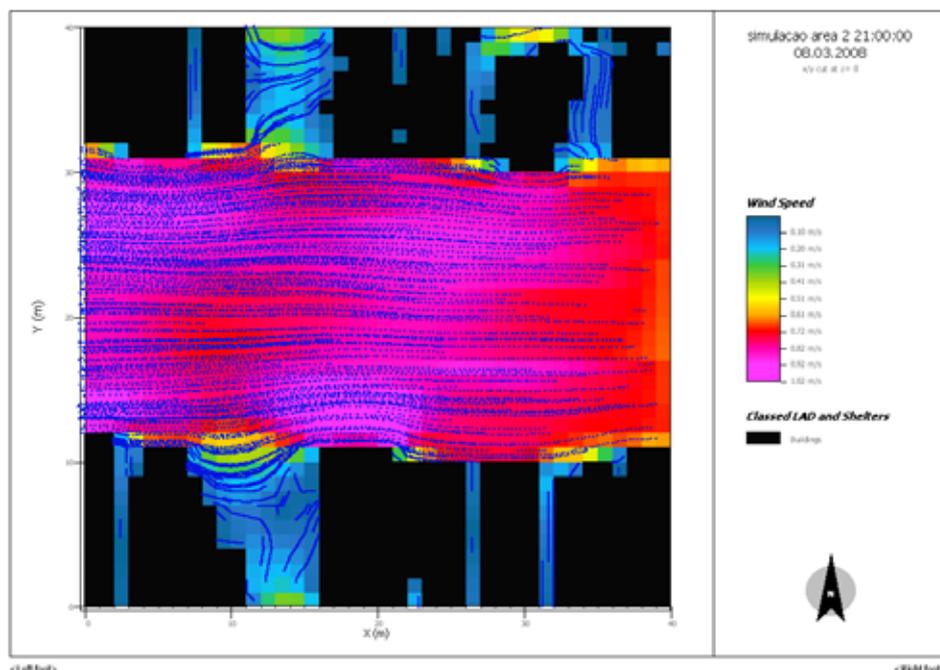


Figura 78 – Simulação da ventilação na área 2 – 21 h

### c) Simulação de velocidade do vento – Área 3

Na simulação de velocidade do vento na área 3, a variação entre os valores mínimo e máximo é de 0,78 m/s. O menor valor registrado é de exatamente 0,11 m/s, na área 3, demonstrando que a Avenida João XXIII recebe melhor a ventilação neste horário, assim como na área 2 (Figura 79). Esse resultado corrobora o que é demonstrado no capítulo anterior, em que a orientação desta via pode melhorar a penetração dos ventos dominantes de Teresina.

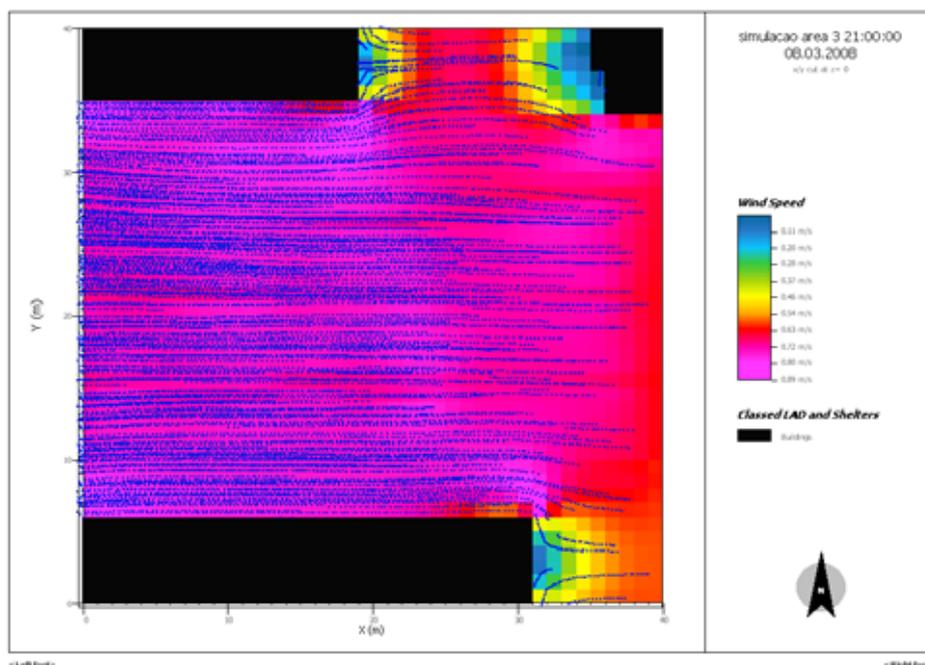


Figura 79 – Simulação da ventilação na área 3 – 21 h

#### d) Simulação de velocidade do vento – Área 3 – hipotética

Na simulação de velocidade do vento na área 3 (hipotética), a variação entre os valores mínimo e máximo é de 0,8 m/s. O menor valor registrado é de exatamente 0,11 m/s, na área 3 (hipotética), demonstrando que a Avenida João XXIII recebe menos a ventilação neste horário, diferindo um pouco em relação a área 3 (real) (Figura 80), visto que a orientação da via é a mesma, pois a área hipotética apresenta uma composição arbórea maior diminuindo a penetração dos ventos. Esse resultado corrobora o que é demonstrado no capítulo anterior, em que a orientação desta via pode melhorar a penetração dos ventos dominantes de Teresina, porém a vegetação pode bloquear ou diminuir a penetração dos ventos.

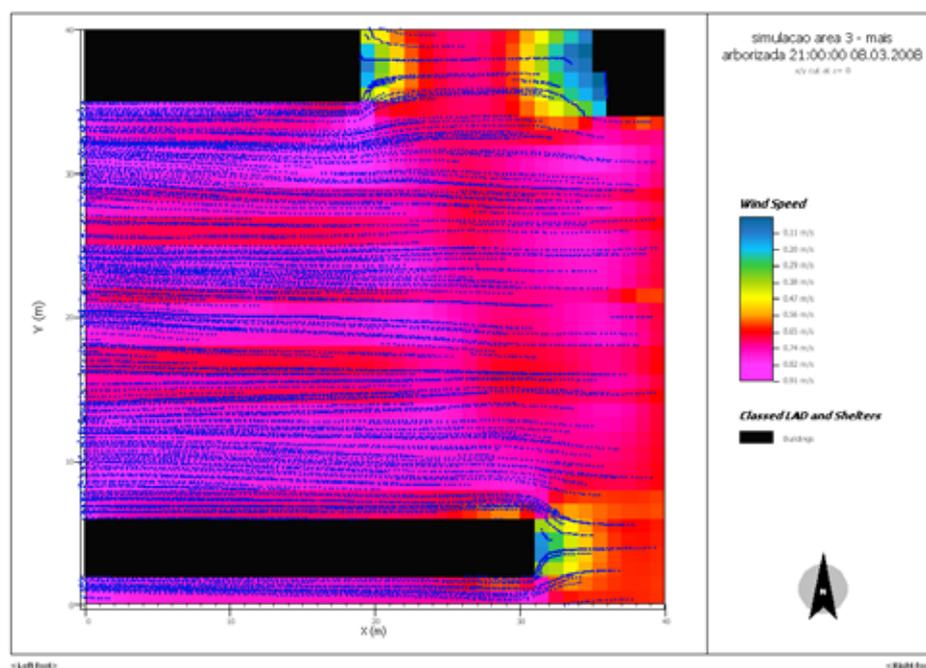


Figura 80 – Simulação da ventilação na área 3 - hipotética – 21 h

Por fim, é apresentado um quadro-síntese das simulações realizadas. Os valores são organizados por parâmetro (temperatura do ar e velocidade dos ventos), destacando sempre os valores mínimos e os valores máximos, assim como as amplitudes obtidas para cada horário preestabelecido. Salienta-se que a Avenida João XXIII, representada pelo ponto 3, obteve o maior valor de temperatura do ar em todos os horários apresentados. Reafirma-se também que a Avenida Santos Dumont, representada pelo ponto 1, é a que registrou os valores mínimos para o parâmetro velocidade dos ventos (Quadro 24).

Destaca-se que a ventilação tem maiores valores no ponto 2 (Avenida Frei Serafim), pois, além desta avenida ter um desenho que favorece as ventilações sudeste e nordeste, as copas das árvores facilitam a penetração dos ventos, criando um túnel por onde os ventos são canalizados, passando abaixo das copas.

Quadro 24 – Quadro-síntese do resultado das simulações realizadas

Parâmetro	Horas	Ponto	Menor Valor (°C)	Ponto	Maior Valor (°C)	Amplitude (°C)
Temperatura do ar (°C)	9 h	2	23,21		25,7	2,49
		1	23,29	3	25,7	2,41
	15 h	2	24,76		27,87	3,11
		1	24,87	3	27,87	3
	21 h	2	21,02		22,7	1,68
		1	21,15	3	22,7	1,55
Velocidade dos ventos (m/s)	9 h			2	1,02	0,93
		1	0,09	3	0,89	0,8
	15 h			2	1,02	0,93
		1	0,09	3	0,89	0,8
	21 h			2	1,02	0,93
		1	0,09	3	0,89	0,8

#### 4. CONCLUSÃO

Esta última parte do trabalho tem, por objetivo, apresentar as considerações finais acerca do desempenho ambiental das vias estudadas e elencar diretrizes gerais para o desenho urbano bioclimático, com foco nas vias públicas. Assim, é importante ressaltar que os objetivos foram cumpridos e que as diretrizes foram elaboradas a partir das análises efetuadas e do conhecimento teórico apreendido no desenvolvimento da dissertação, conforme discutido nos capítulos anteriores. As alternativas elencadas aqui se voltam para cidades com clima tropical subúmido, como é o caso de Teresina – PI.

Como conclusão acerca dos eixos conceituais desenvolvidos nesta dissertação, verifica-se que as imbricações entre as três áreas (vias, vegetação e clima), muitas vezes, denunciam o planejamento urbano desarticulado, o que contribuiu para uma pior qualidade do espaço das cidades, principalmente quanto ao conforto ambiental.

Na análise dos resultados, verifica-se que, embora o foco deste estudo tenha se desenvolvido na escala do lugar, as variações do clima possuem influência de dimensões de outras escalas climáticas, conformados tanto pela radiação solar, temperatura do ar, velocidade do vento e umidade relativa do ar quanto por outros elementos ambientais que são os que correspondem a respostas à ação dos elementos térmicos e do ar: a absorção, a reflexão, a evaporação e a condensação.

Primeiramente, deve-se considerar que a definição das vias enquanto objeto de estudo se apresentou satisfatória, uma vez que este espaço demonstrou, à primeira vista, ser bastante desconfortável climaticamente e se revela, numa análise mais detalhada, como um local carente de intervenções urbanas bioclimáticas.

As intervenções bioclimáticas devem ocorrer no cenário das vias, pois, com a análise desenvolvida nestes espaços urbanos, detecta-se que a malha urbana da cidade de Teresina tem sido alterada, na forma e nos usos, trazendo, muitas vezes, mais usuários, mais automóveis e mais construções, fatores que colaboram para o desconforto do espaço.

No caso da formação da ilha de calor, no horário noturno, quando o acúmulo de calor recebido durante o dia é devolvido para a atmosfera, um local densamente arborizado (áreas 1 e 2) apresenta-se como um cenário negativo para as trocas térmicas, conforme é demonstrado nas simulações no o horário noturno.

Como prova disso, destaca-se o caso da arborização da Avenida Frei Serafim (área 2), que não possui fechamento da copa das árvores, como ocorre na área 1. Esse fato garante uma melhor circulação dos ventos, fazendo a área 2 acumular uma menor quantidade de calor, quando comparada à área 1, conforme demonstrado nas simulações do capítulo 3.

Mostra-se que as ruas analisadas têm sua razão W/H de caráter expansivo, o que repercute numa forma de melhoria destas relações entre a largura das ruas e a altura das edificações, buscando soluções nas quais estes espaços, assim como as edificações, possam receber mais radiação solar, ventilação e iluminação naturais.

É comprovado, dessa forma, que, nas três vias analisadas, a relação entre o edificado (massa construída) e a caixa viária (espaço livre) guarda proporções de equilíbrio ambiental, demonstradas pela característica expansiva, que, com o auxílio da inserção da vegetação, configuram um cenário de conforto no período quente e seco.

Os parâmetros de análise mostram-se satisfatórios para a análise do objeto de estudo traçado. Os desenhos esquemáticos, as fotografias e os programas gráficos utilizados são importantes ferramentas para o entendimento das áreas de estudo.

A determinação de critérios para a quantificação de áreas de sombra, densidade de verde, para o ordenamento e quantificação da arborização na via, níveis de rugosidade e permeabilidade é realizada por meio da modelagem do solo, com o auxílio de programas gráficos de simulação urbana os quais se mostram satisfatórios na apresentação dos resultados.

Na caracterização climática da cidade de Teresina, e, mais especificamente, das áreas de estudo, ficou clara a correlação direta dos dados coletados em campo com o clima típico da cidade, que reforça a presença marcante de dois períodos bem diferenciados e, portanto, exige soluções diferenciadas para ambas as épocas.

Os resultados apresentados nesta pesquisa e as análises efetuadas sobre os dados obtidos e sobre as simulações computacionais realizadas se mostram eficientes, pois permitem que sejam organizadas correlações entre valores de temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade dos ventos e temperatura superficial das calçadas, evidenciando diferenças a partir de comparações entre as avenidas estudadas.

Os dados sensoriais registrados se mostram legítimos uma vez que representam, com fidelidade, a realidade do conforto das vias estudadas, podendo assim, corroborar com os resultados apresentados no quadro microclimático elaborado a partir dos dados coletados *in loco*. Destaca-se que a umidade relativa do ar é menos expressiva nas três áreas do que no INMET.

Uma das principais contribuições desse trabalho se deu com as simulações computacionais desenvolvidas, pois é nessa etapa em que se analisam os resultados, como também são demonstrados todos os gráficos gerados e diagramas esquemáticos acerca do desempenho da arborização nas diferentes realidades das vias públicas da cidade.

Assim, vê-se que o programa ENVI-met, principal ferramenta utilizada nesta pesquisa, mostra-se adequado para a simulação de áreas urbanas. As limitações encontradas tornam-se irrelevantes na medida que o estudo representado por esta dissertação tem caráter pioneiro no desenvolvimento de simulações de desempenho ambiental de áreas urbanas em estudos desenvolvidos pela Universidade de Brasília.

O *software* de apoio (Leonardo 3.75) mostra-se ferramenta eficiente na geração de mapas de representação dos resultados simulados, uma vez que utiliza paleta de cores RGB, as quais que são facilmente identificáveis, mesmo numa análise superficial.

A eficiência dos aparelhos de medição meteorológica em campo também contribuíram para o sucesso da pesquisa, pois sua portabilidade garantiu facilidade de manuseio e transporte, requisitos importantes para estudos de comparação de realidade microclimática, como os desenvolvidos nesta dissertação.

Conclui-se que a contribuição da vegetação é efetiva para o conforto ambiental do espaço público, uma vez que são registradas diferenças de temperatura, entre áreas

pouco arborizadas e áreas densamente arborizadas, de até 5 °C nas medições *in loco* e de até 3,11 °C nas simulações computacionais.

Observa-se, então, a partir das simulações realizadas, que é no horário da tarde no qual se dão as diferenças mais extremas. Essas diferenças podem ser observadas tanto entre pontos da mesma área, apresentando valor médio de 2,25 °C sendo, em alguns casos, superiores a 3 °C.

Verifica-se, ainda, que o comportamento viário, em relação à temperatura e à umidade do ar, é diferente nos dois semestres, em função não só do clima da região, que se alterna entre quente e seco e quente e úmido, mas, também, devido às características de cada via analisada. Observa-se que vias muito arborizadas mantêm temperatura amena e boa umidade relativa do ar, mesmo na época quente e seca, comprovando o poder da arborização na manutenção da umidade, enquanto a via pouco arborizada tem umidade baixa e temperaturas extremas.

Os materiais urbanos existentes nas avenidas como asfalto, cimento, e quantidade restrita de vegetação uniformizam as características ambientais, mantendo o espaço urbano com características ambientais quase que inalteradas. Prova disso é a variação dos valores de umidade no cenário urbano que é considerada menos expressiva quando comparada ao cenário suburbano, característico do entorno da estação climatológica de referência do INMET.

Em relação à ventilação e sua relação com o desenho urbano e às características das áreas estudadas, vê-se que a ventilação sofre interferências diretas do desenho das vias. Vias orientadas no sentido na ventilação predominante recebem boa ventilação nos três horários de coleta de dados. Assim, observa-se que a combinação adequada de diversos componentes urbanos, tais com desenho da via, arborização e gabarito, permite uma melhor penetração da ventilação natural. Assim, em regiões de clima quente e úmido, a ventilação torna-se uma eficiente estratégia bioclimática para garantir o conforto térmico.

Os dados mostram que os espaços não são planejados visando a uma compatibilidade entre as infra-estruturas urbanas e a vegetação. Neste sentido, muitas vezes, apontam-se diretrizes com o viés de intervenção para “corrigir” erros cometidos no espaço urbano, sendo que as possíveis intervenções são subsidiadas por diretrizes.

Assim, esta pesquisa estabelece ainda algumas diretrizes gerais voltadas para o desenho bioclimático visando à melhoria do microclima gerado no espaço das vias públicas. Para isso, tem a intenção de estabelecer boa relação entre as variáveis morfológicas do espaço urbano (quantidade de área pavimentada, asfalto, cimento etc.) e as variáveis ambientais (vegetação, solo, água), buscando o conforto do espaço público por meio de recursos naturais.

Para efeito didático, as diretrizes gerais traçadas nesta dissertação são separadas em três grupos: 1- diretrizes para as caixas viárias; 2 – diretrizes para os canteiros centrais; e 3 – diretrizes para as calçadas laterais. Em todas as diretrizes, a arborização é o principal artifício bioclimático implementado, combinado com a utilização de materiais de revestimento de solo que apresentam eficientes características que colaborem para o conforto térmico do espaço.

#### 1 – Caixas viárias:

Para a caixa viária, deve-se evitar o uso do asfalto, substituindo-o, quando o uso da via permitir, por materiais como paralelepípedo ou blocos de concreto. Esta alternativa é colocada devido à demonstração das simulações, nas quais o asfalto representa o material em que se concentram os maiores valores de temperatura. Ressalta-se que se deve priorizar o uso de materiais mais permeáveis à penetração de águas pluviais e menos absorventes à radiação solar nos locais das vias que configuram circulação preferencial para o pedestre, ou seja, na calçada lateral da via.

#### 2 – Canteiro central:

Em relação ao canteiro central, deve-se evitar a aproximação demasiada entre as árvores, a fim de evitar o fechamento entre suas copas. Quando mais espaçadas, mais eficientes se tornam as trocas de calor, principalmente no horário noturno, quando ocorre a formação da ilha de calor.

Outra estratégia importante para ser adotada nos canteiros centrais é a incorporação de outros elementos ambientais ou materiais mais diversificados, tais como água, vegetação rasteira, solo natural, uma vez que o canteiro central, na maioria das avenidas, representa um local pouco utilizado pelo pedestre.

#### 3 – Calçadas laterais:

Quando a vegetação é inserida em ambas as calçadas laterais, deve-se evitar o fechamento entre as copas das árvores, a fim de evitar o acúmulo de calor dentro do espaço da via, criando um túnel arborizado e desconfortável. Assim, deve-se priorizar a inserção de arborização na calçada lateral que recebe maior insolação no período da tarde, e somente deverá ser inserida em ambos os lados, quando não houver possibilidade de união das copas.

Além das estratégias, são elencadas alguns desdobramentos que podem dar prosseguimento a estes estudos iniciados nesta dissertação. Cita-se como um possível aprofundamento dos temas desenvolvidos aqui, pesquisas que busquem indicadores bioclimáticos urbanos para a avaliação da arborização integrada ao sistema viário público, cuja temática será tratada no curso de doutorado que será dado início ainda em 2009.

Nesses novos estudos, outras ferramentas poderão ser utilizadas, sobretudo poderão ser utilizadas as diversas potencialidades do *software* ENVI-met com a simulação de outros parâmetros como umidade relativa do ar, temperatura superficial e demais rearranjos urbanos.

Por fim, vê-se que constitui preocupação dos arquitetos e urbanistas a busca de soluções concretas para amenizar os problemas relacionados ao conforto ambiental, contribuindo, assim, para um cenário com mais vegetação e com uma significativa melhoria de qualidade no conforto térmico nas zonas urbanas.

## REFERÊNCIAS

ABNT NBR 15220-3. **Desempenho Térmico de edificações**. Parte 3: Zoneamento Bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Brasil, 2005.

ANDRADE, C. S. **Representação do calor em Teresina/ PI**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2000.

BORGES, Marcus. **Influência da vegetação no conforto térmico em ambientes urbanos**. Dissertação de mestrado. Programa de pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

BRUSE, M. **ENVI-met. 3.1 On-line Manual**. Disponível em: <http://www.envi-met.com>. acesso em: 20/12/2008. 2008.

CASTELO BRANCO, Aline Elvas. **O desenho urbano e sua relação com o microclima: um estudo comparativo entre duas áreas centrais em Teresina – PI**. Dissertação de Mestrado em Desenvolvimento Urbano e Regional. Pós-graduação em Desenvolvimento Urbano e Regional - Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2002.

CORRÊA, Rodrigo Studart. **Recuperação de áreas degradadas pela mineração no cerrado – manual para revegetação**. Brasília. Universa, 2006.

CORRÊA, R. S. ; Cardoso, E. S. ; BAPTISTA, G. M. ; RIBEIRO, R. J. C. **Corredores ecológicos**. In: Fernando Oliveira Fonseca. (Org.). Águas Emendadas.v. XIII.3, p. 448-452. 1 ed. Seduma, Brasília, 2008.

DEL RIO, Vicente. **Introdução ao desenho urbano no processo de planejamento**. Ed. Pini. São Paulo, 1990.

DUARTE, Denise Helena Silva; SERRA, Geraldo Gomes. **Padrões de ocupação do solo e microclimas urbanos na região de clima tropical continental brasileira: correlações e proposta de indicador**. In: Ambiente Construído. V.3, n.2, p7-20, abr. / jun. Porto Alegre, 2003.

DUARTE, D. H. S; SPANGENBERG, J. ; JOHANSSON, E. ; SHINZATO, Paula. Simulation of the influence of Vegetation on Microclimate and Thermal Comfort in The city of São Paulo. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, v. 3, p. 1-19, 2008.

EMBRAPA, Meio-Norte. **Boletim agrometeorológicos do ano de 2003 para o município de Teresina, PI**. Teresina, 2004.

FAÇANHA, Antônio Cardoso. **Evolução urbana de Teresina: Agentes, Processos e formas espaciais da cidade.** 1998. Dissertação de Mestrado em Geografia – Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 1998.

FRANCO, Maria A R. **Desenho Ambiental.** Annablume Editora. São Paulo, 1997.

FREITAS, Clodoaldo. **História de Teresina.** Fundação Cultural Monsenhor Chaves, Teresina, 1988.

FREITAS, Ruskin; POUHEY, Maria Tereza. **Arborização: um indicador de sustentabilidade urbana.** In: ENCONTRO NACIONAL DE PAISAGISMO EM ESCOLAS DE ARQUITETURA E URBANISMO NO BRASIL, 6., 2002. Recife. **Anais ...** UFPE. Recife, 2002.

GIVONI, B. **Man, Climate and Architecture.** Elsevier Publishing Company Limited: Amsterdam – London – New York, 1969.

HILLIER, Bill. **Space is the machine.** Tradução Edja Trigueiro e D Pereira. CUP, 1996.

HOLANDA, Frederico de. **O espaço de exceção.** Editora UnB. Brasília, 2002.

ISKANDAR, Jamil Ibrahim. **Normas da ABNT: comentadas para trabalhos científicos.** 2ª ed. Juruá. Curitiba, 2003.

INMET. **Relatórios de Dados Meteorológicos.** Estação EMBRAPA Meio Norte. Área de Irrigação de Cajueiros. Teresina – PI, 2008.

INMET. **Relatórios de Dados Meteorológicos.** Estação EMBRAPA Meio Norte. Área de Irrigação de Cajueiros. Teresina – PI, 2007.

KÖPPEN, W. **Climatologia.** Ed. Fondo de Cultura Económica, México, 1948.

LABAKI, L. C. e SANTOS, R. F. . **Estudo da atenuação da radiação solar incidente por diferentes espécies arbóreas.** In: II Encontro latino-americano sobre conforto no ambiente construído e V encontro nacional sobre conforto no ambiente construído. Anais... Fortaleza, 1999.

LAMAS, José M. Ressano Garcia. **Morfologia urbana e desenho da cidade.** Fundação Calouste Gulbekian. Lisboa, 2000.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano e PEREIRA, Fernando O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura.** Ed. PW. São Paulo, 1997

LIMA, M.G de. e ASSUNÇÃO, H. F. da. **Estimativa da temperatura do ar no Piauí.** UFPI, Teresina, 2002.

LYNCH, Kevin. **A imagem da cidade**. Tradução Jefferson Luiz Camargo. Martins Fontes. São Paulo, 1997.

MACEDO, Silvio S. **Quadro do Paisagismo no Brasil**.: Projeto Quapá. São Paulo, 1999.

MACHADO, Roselis Ribeiro Barbosa. MEUNIER, Isabelle Maria Jaqueline. SILVA, José Antonio Aleixo da. CASTRO, Antonio Alberto Jorge Farias. **Árvores nativas para a arborização de Teresina, Piauí**. Qualygraph. Teresina, 2002.

MASCARÓ, Juan Luis. **Infra-estrutura da paisagem**. Ed. Masquatro. Porto Alegre, 2008.

MASCARÓ, Juan L. **Infra-estrutura urbana**. Ed. Masquatro. Porto Alegre, 2005.

**MASCARÓ, Juan Luis; MASCARÓ, Lúcia; SOUTO, Ana Elisa; SKOWRONSKI, Aline; SOUZA, Luciana Rosa de; LOPES, Vivian P. Chanas**. Arborização Urbana: Aspectos Ambientais, Energéticos e de Harmonia com a Infra-Estrutura Urbana. **In: ENCONTRO NACIONAL DE PAISAGISMO EM ESCOLAS DE ARQUITETURA E URBANISMO NO BRASIL. V.5, 1 CD ROM**. Anais... FAUFRJ. Rio de Janeiro, 2000.

MASCARÓ, Lucia Elvira Alicia Raffo de; MASCARÓ, Juan Luis. **Vegetação urbana**. Ed. Masquatro. Porto Alegre, 2002.

MASCARÓ, Lúcia Elvira Alicia Raffo de. **Ambiência Urbana**. Sagra Luzzatto. Porto Alegre, 1996.

MATOS, Karenina Cardoso; MATOS, Indira Cardoso; SILVA, Caio Frederico. Os núcleos de integração da cidade de Teresina: uma análise a partir da sintaxe espacial. I Encontro de Percepção e Paisagem da Cidade. **Anais...** Bauru, 2006.

MEDEIROS, Valério. **Urbis Brasiliae ou Sobre Cidades do Brasil: inserindo assentamentos urbanos do país em investigações configuracionais comparativas**. Tese de Doutorado. FAU – UnB. Brasília, 2006.

MENDONÇA, Francisco; MONTEIRO, Carlos Augusto de Figueiredo (orgs). **Clima urbano**. Editora Contexto. São Paulo, 2003.

MONTEIRO, Leonardo Marques e ALUCCI, Marcia Peinado. Comparação empírica de avaliações preditivas de estresse termofisiológico em espaços urbanos. In: 3º CONGRESSO LUSO BRASILEIRO PARA O PLANEJAMENTO, URBANO, REGIONAL, INTEGRADO E SUSTENTÁVEL. **Anais...**, Santos, São Paulo, 2008.

NASCIMENTO, Francisco Alcides do. **A cidade sob o Fogo: Modernização e violência policial em Teresina (1937-1945)**. Teresina. Fundação Cultural Monsenhor Chaves, 2002.

OKE, T. R. Initial guindace to obtain representative meteorological observations at urban sites. In: Kallas, Luana M. E. **Desenhando com o clima e a vegetação: uma análise do loteamento HBB em Teresina – PI**. Dissertação de Mestrado. FAU-UnB. Brasília, 2008

OKE, T.R. **Urban environments**. In Surface Climates of Canada, Bailey, W.G. Disponível em: [http://www.wmo.ch/pages/index\\_en.html](http://www.wmo.ch/pages/index_en.html) acesso em 20/08/2007. 1987.

OKE, T. R. **Boundary Layer climates**. Londres, Routledge, 1987.

OLGYAY, Victor. **Arquitetura y Clima. Manual de Diseño Bioclimático Para Arquitectos y Urbanistas**. Barcelona, Editora Gustavo Gili Sa, 1998.

OLIVEIRA, Paulo Marcos Paiva de. **Cidade apropriada ao clima: a forma urbana como instrumento de controle do clima urbano**. Dissertação de Mestrado. Editora UnB. Brasília, 1985

PANERAI, Philippe. **Análise Urbana**. Tradução de Francisco Leitão. Revisão Técnica de Sylvia Ficher. Editora UnB. Brasília, 2006.

PENTEADO, H. M. ; ALVAREZ, C. E . Corredores verdes urbanos: estudo da viabilidade de conexão das áreas verdes de Vitória. In: **Paisagem e Ambiente: Ensaio**, v. 24, p. 57-68. FAU-USP. São Paulo, 2007.

PIPPI, Luis Guilherme Aita; AFONSO, Sonia; SANTIAGO, Alina. A contribuição das áreas verdes no desenho urbano ambiental. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS, 3. 1 CD-ROM. **Anais...** EESC/USP. São Carlos, 2003.

RIBEIRO, Antonio Giacomini. **As Escalas do Clima**. Boletim de Geografia Teorética. Vol. 23 (45-16): 288-294, 1993.

RIGINATO, Roberta Zakia; LABAKI, Lucila Chebel. A influência da vegetação no conforto térmico do ambiente construído. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUIDO, 7. **Anais...** Pontifícia Universidade Católica do Paraná. Curitiba, 2003.

ROMERO, Marta Adriana Bustos. **Princípios Bioclimáticos para o Desenho Urbano**. São Paulo, ProEditores, 2000.

\_\_\_\_\_. **Arquitetura Bioclimática do Espaço Público**. Brasília, Editora da UnB, 2001.

SALES, Maria do Socorro Teixeira Mello. **Educação Ambiental: A preservação do verde na zona urbana de Teresina-PI**. Dissertação de Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente – Universidade Federal do Piauí. Teresina, 2004.

SALES, Maria do Socorro Teixeira Mello e ARBUQUERQUE, Luiz Botelho. Teresina e sua condição urbana. Disponível em: <http://www.ufpi.br/mesteduc/eventos/iiencontro/GT-15/GT-15-02.htm> Acesso em 15/04/2008. **II Encontro de Pesquisa em Educação da UFPI**. Teresina, 2004.

SALVIATI, Eurico. Tipos vegetais aplicados ao paisagismo. In: **Paisagem e Ambiente: Ensaios**. v 5. (p.9. 45) . FAU – USP. São Paulo, 1993.

SILVA, Francisco de Assis Gonçalves da. **O vento como ferramenta no desenho do ambiente construído: Uma aplicação ao nordeste do Brasil**. Tese de Doutorado em Arquitetura e Urbanismo – FAU-USP, São Paulo, 1999.

SILVA, Caio Frederico e; HOLANDA, Frederico Rosa Borges de. Sintaxe da Paisagem: Um novo núcleo integrador para a cidade de Teresina – PI. In: IX Encontro de Ensino de Paisagismo em Escolas de Arquitetura do Brasil. **Anais...** UFPR. Curitiba, 2008.

SILVEIRA, Ana Lúcia Ribeiro Camilo da. **Parâmetros Bioclimáticos para Avaliação de Empreendimentos Habitacionais Multifamiliares da Região Tropical Sub-úmida do Brasil**". Tese de Doutorado. FAU – UnB, Brasília, 2007.

\_\_\_\_\_. **Diretrizes de Projeto para Construção de Prédios Escolares em Teresina – PI**, Dissertação de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo, FAU – UnB. Brasília, 1999.

SILVEIRA, S. Q. **Ventilação Urbana no Município de Belo Horizonte**. Escola de Arquitetura – Universidade Federal de Minas Gerais. Relatório de Iniciação Científica. Belo Horizonte, 2005.

SOUZA, Jeane de Leal. **Variações Climáticas no Município de Teresina – PI: 1970 a 1999**. Monografia – Centro Federal de Educação Tecnológica do Piauí. Teresina, 2004.

STANFORD, Anderson. **Calles. Problemas de estrutura y diseño**. On Streets (título original). Editora Gustavo Gili. Barcelona, 1981.

TERESINA, Prefeitura de. **Mapa de Uso e Ocupação de Solo da cidade de Teresina**. SDU – Superintendência de Desenvolvimento Urbano - Centro Norte. 2006.

TERESINA, Prefeitura de. **Plano de Arborização Urbana**. Superintendência de Desenvolvimento Urbano e Ambiental. Teresina, 2006.

\_\_\_\_\_. **AGENDA 2015. Plano de Desenvolvimento Sustentável para a Cidade de Teresina – PI**. Teresina, 2002.