UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO

CAROLINA DOS SANTOS GUSSON

Efeito da densidade construída sobre o microclima urbano:
construção de diferentes cenários possíveis e seus efeitos
no microclima para a cidade de São Paulo, SP

São Paulo
2014

CAROLINA DOS SANTOS GUSSON

Efeito da densidade construída sobre o microclima urbano:
construção de diferentes cenários possíveis e seus efeitos
no microclima para a cidade de São Paulo, SP

Dissertação apresentada à Faculdade
de Arquitetura e Urbanismo da
Universidade de São Paulo para
obtenção do título de Mestre em
Arquitetura e Urbanismo

Área de Concentração:
Tecnologia da Arquitetura

Orientador: Prof. Dr.
Denise Helena Silva Duarte

EXEMPLAR REVISADO E ALTERADO EM RELAÇÃO À VERSÃO ORIGINAL, SOB
RESPONSABILIDADE DO AUTOR E ANUÊNCIA DO ORIENTADOR.

O original se encontra disponível na sede do programa.
São Paulo 24 de julho de 2014

São Paulo

2014

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

G982e Gusson, Carolina dos Santos
Efeito da densidade construída sobre o microclima urbano:
construção de diferentes cenários possíveis e seus efeitos no
microclima para a cidade de São Paulo, SP / Carolina dos Santos
Gusson. -- São Paulo, 2014.
152 p. : il.

Dissertação (Mestrado - Área de Concentração: Tecnologia
da Arquitetura) – FAUUSP.
Orientadora: Denise Helena Silva Duarte

1.Microclima urbano 2.Simulação 3.Morfologia urbana
4.Uso do solo 5.Densidade populacional I.Título

CDU 551.584.5

Nome: GUSSON, Carolina dos Santos

Título: Efeito da densidade construída sobre o microclima urbano:
construção de diferentes cenários possíveis e seus efeitos no microclima
para a cidade de São Paulo, SP

Dissertação apresentada à Faculdade
de Arquitetura e Urbanismo da
Universidade de São Paulo para a
obtenção do título de Mestre em
Arquitetura e Urbanismo

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof. Dr. _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Dedicatória

*Dedico o meu mestrado aos meus pais,
Lilia e Antonio Carlos, pela dedicação,
exemplo, incentivo e apoio, sempre.*

AGRADECIMENTOS

À orientadora, Profa. Dra. Denise Helena Silva Duarte, pela confiança, exemplo, ensinamentos, orientação e disponibilidade durante todo o trabalho.

À Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, pela oportunidade de realização do curso de mestrado.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pela concessão da bolsa de mestrado no país e da bolsa estágio de pesquisa no exterior (BEPE), ambas, apoios financeiros para a realização desta pesquisa.

À profa. Dra. Eleonora Sad Assis pela vinda e participação na banca de qualificação e por compartilhar seus conhecimentos sobre o tema.

À profa. Dra. Karin Regina de Castro Marins pelas edificantes colocações na banca de qualificação.

Ao prof. Dr. Michael Bruse, pela receptividade, acolhimento e acompanhamento durante o estágio de pesquisa no *Environmental Modelling Group (Geoinformatik/EMG)* do *Geographisches Institut da Johannes Gutenberg Universität Mainz*, em Mainz, Alemanha e pela oportunidade de desenvolver parte do mestrado junto ao seu grupo.

À todos do *Geoinformatik/EMG da Johannes Gutenberg Universität Mainz*, Alemanha: Jan Hofmeyer, Peter Spehs (Pai), Daniel Seeger, Carsten Felz e principalmente a Helge Simon, pelo acolhimento, disponibilidade, dedicação e ensinamentos sobre o modelo ENVI-met 4.0 (*preview*).

À Johannes Gutenberg Universität Mainz, Alemanha, pela receptividade.

Ao GEB – Grupo Espírita Batuíra de São Paulo – Núcleo Brasilândia (em especial à Ronaldo Lopes, presidente da instituição e à Katia, funcionária do Núcleo

Brasilândia) e ao Edifício Siena localizado no bairro da Bela Vista (em especial a moradora Helena), por colocar à disposição as respectivas áreas para alocação das estações meteorológicas para as medições de campo.

Aos colegas do Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência energética (LABAUT) da FAU-USP, Paula Shinzato, Ranieri Higa, Carolina Abrahão Alves, Vanessa Valdez Guilhon, Mônica Pereira Marcondes Cavaleri, Anna Christina Miana, Renan Cid Varela Leite, Simone Queiroz da Silveira Hirashima, Alda Regina Bueno Minioli, Erica Mitie Umakoshi e Eduardo Pimentel Pizarro pela contribuição com seus conhecimentos, disponibilidade e participação nos trabalhos de medição em campo e apoio.

Aos profa. Dra. Roberta Consentino Kronka Mülfarth e Prof. Dr. Leonardo Marques Monteiro, por disponibilizarem os seus respectivos computadores para as simulações deste mestrado.

À colega e aluna de graduação e iniciação científica Ângela Helena Yamaguishi Madeira pela dedicação e participação em todo o trabalho.

Aos alunos de graduação e iniciação científica, Jernnifer Wen Lin Liao, Gabriel de Alencar Novaes, Denise Cordeiro Moreira, Fernanda de Camargo Barros, Barbara Ferronato dos Santos, Camila Ismerin Lacerda, Rosane Yumi Fukuoka, Larissa Silva de Oliveira, Giovana Ferraz de Camargo Cibim e a Lara de Góis Andrade, pela disponibilidade, colaboração e participação nos trabalhos de medição em campo.

Aos funcionários do Departamento de Tecnologia (AUT) pela simpatia e sempre prontidão em ajudar.

Aos meus pais, Antonio Carlos e Lilia pelo apoio tanto financeiro quanto emocional.

À minha irmã, Gabriela, pelo companheirismo, apoio e paciência.

Ao meu namorado, que sempre me apoiou, mesmo longe, pelo carinho, compreensão, amor, e auxílio nos percalços com o uso dos computadores.

Epígrafe

*Que fazemos no mundo?
Tantas vezes perguntas.*

*Fita o céu ocupado
Em dar campo às estrelas.*

*Olha a fonte mais simples
Amparando a quem passa.*

*Não te detenhas.
Serve à Terra **em construção**.*

*Auxilia, abençoa,
Suporta, ajuda e passa.*

*Ama e segue. Não temas,
Deus te espera e te vê.*

(Emmanuel)

RESUMO

GUSSON, C. S. **Efeito da densidade construída sobre o microclima urbano: construção de diferentes cenários possíveis e seus efeitos no microclima para a cidade de São Paulo, SP.** 2014. 152 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

O **objeto** desta pesquisa é a relação entre densidade construída e microclimas urbanos. O **objetivo** é quantificar o efeito da densidade construída sobre o microclima urbano, por meio da construção de diferentes cenários paramétricos, considerando os possíveis padrões de ocupação de quadra, com diferentes tipologias de edifícios: o bloco perimetral, o edifício lâmina e o edifício torre, para a cidade de São Paulo. O **método é indutivo**, por meio de levantamentos de campo de uso e ocupação do solo e de condições microclimáticas locais, em dois dos distritos mais densamente habitados do município de São Paulo, mas que apresentam diferentes densidades construídas: Brasilândia, com coeficiente de aproveitamento menor do que 1, e Bela Vista, com coeficiente de aproveitamento maior do que 3,5; **e dedutivo**, por meio de comparações entre os levantamentos de campo e as simulações computacionais com o modelo ENVI-met 4.0 (*preview*), que foram feitas para se calibrar o modelo entre dados medidos e simulados, visando à maior confiabilidade dos resultados. Na sequência, foram explorados cinco cenários paramétricos (lâminas com 3 orientações diferentes, torre e perímetro), com nove quadras cada, mantendo-se aproximadamente o mesmo coeficiente de aproveitamento (em torno de 3,7) e a mesma densidade populacional possível (em torno de 1500 hab/ha) em todos os casos estudados. As simulações paramétricas para três dias consecutivos mostraram que, dentre os cenários simulados, o cenário torre apresentou, de forma consistente, uma diferença de cerca de 0,6°C para menos na temperatura do ar, a 1,5m do chão, em relação ao cenário perímetro para a quadra central, no horário de maior temperatura do ar, às 15h, e cerca de 1,4°C a menos na temperatura do ar para o período noturno. Os demais cenários lâmina apresentaram resultados intermediários entre os dois anteriores. Isso mostra que, mantendo-se a mesma densidade construída, os arranjos apresentam comportamentos distintos. Dentre os casos estudados, o cenário torre foi o que apresentou as menores temperaturas do ar, nos períodos diurno e noturno, provavelmente devido ao sombreamento mutuo entre os edifícios, que contribui para o menor aquecimento das superfícies e, conseqüentemente, menor aquecimento do ar no entorno imediato.

Palavras-chave: Microclima urbano, simulação, morfologia urbana, uso do solo, densidade populacional.

ABSTRACT

GUSSON, C. S. **Effect of built density on the urban microclimate: construction of different scenarios and their effects on the microclimate for the city of São Paulo, SP.** 2014. 152 f. Thesis (Master) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

The **subject** of this research is the relation between the built density and urban microclimates. The **objective** is to quantify the effect of built density on urban microclimates, through the construction of different parametric scenarios, considering the possible blocks occupation patterns, with different buildings typologies: the perimeter block, the blade building, and the tower building for the city of São Paulo. The **method is inductive**, through field data measurement of the land use and local microclimate conditions in two most densely populated districts in São Paulo city, but with different built densities: Brasilândia with a plot ratio lower than 1, and Bela Vista, with a plot ratio greater than 3.5; **and deductive**, by comparisons between field measurements and computer simulations with the ENVI-met 4.0 (preview) model, which were used to calibrate the model between measured data and simulated data, aiming at higher reliability of the results. After that, five parametric scenarios (blades with 3 different orientations, tower, and perimeter) were explored, each with nine blocks, while maintaining approximately the same plot ratio (around 3.7) and the same population density (around 1500 inhabitants/ha) in all cases studied. Parametric simulations for three consecutive days showed that, among the simulated scenarios, the tower scenario presented, consistently, a difference of about 0.6 °C lower for air temperature, at 1.5 m from the floor, compared the perimeter scenario for the center court at the time, 15h, of highest air temperature, and about 1.4 °C less in the nighttime air temperature. The other blade scenarios showed intermediate results between the previous two, showing that, keeping the same built density, the scenarios have different behaviors. Among the cases studied, the tower scenario showed the lowest air temperatures during day and night periods, probably due to mutual shading among buildings, which contributes to less heating of the surfaces and thus less heating of the air in the immediate surroundings.

Keywords: urban microclimate, simulation, urban morphology, land use, population density.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Grandes cidades: suas densidades médias e áreas mais densas.....	14
Figura 2 - Imagens dos distritos mais densos.....	15
Figura 3 - À esquerda, <i>Rue de Chartres</i> “arrondissement” 18e de Paris ¹ ; à direita, <i>Boulevard de Picpus</i> “arrondissement” 12e de Paris ²	16
Figura 4 - À esquerda, ilha urbanizada de Hong Kong ¹ ; à direita, a ilha periférica de Lantau ²	16
Figura 5- Áreas adensada de Los Angeles (esquerda) e pouco adensada em Beverly Hills (direita).....	17
Figura 6 - Densidade construída e populacional na cidade de São Paulo (por distritos).....	18
Figura 7 - Densidade populacional e construída nos distritos selecionados.....	18
Figura 8 - Distritos com a mesma tipologia e diferentes densidades (construída e populacional).....	19
Figura 9 - Distritos com a mesma densidade populacional, mas com densidades construídas distintas.....	20
Figura 10 - Tipologias residenciais predominantes em Santa Cecília e Brasilândia.....	20
Figura 11 - Distritos com a mesma densidade construída, mas diferentes tipologias e densidade populacional.....	21
Figura 12 - Tipologias de edifícios predominantes na Barra Funda e em Moema.....	21

Figura 13 - Densidade populacional nas favelas de São Paulo.....	22
Figura 14 - Esquema das escalas climáticas e das camadas verticais encontradas em áreas urbanas.....	23
Figura 15 - Imagem da tela do novo 3D editor do ENVI-met 4.0.....	27
Figura 16 - Tipologias de edifícios predominantes na Bela Vista.....	30
Figura 17 - Modelo 3D da área de estudo na Bela Vista e de seu entorno.....	31
Figura 18 - Implantação em 3D da área de estudo na Bela Vista.....	31
Figura 19 - 3D da área de estudo na Bela Vista.....	32
Figura 20 - Implantação em 3D da área de estudo na Brasilândia.....	33
Figura 21 - 3D da área de estudo na Brasilândia.....	33
Figura 22 - Equipamentos utilizados na estação meteorológica.....	36
Figura 23 - Montagem padrão da estação utilizada para as medições.....	36
Figura 24 - Foto aérea da quadra onde foi colocado o equipamento de medição na Bela Vista.....	37
Figura 25 - Bela Vista: localização da estação meteorológica.....	38
Figura 26 - Bela Vista: localização da estação meteorológica.....	38
Figura 27 - Bela Vista: imagens com a lente olho de peixe do ponto onde foi colocada a estação (abaixo da pérgula) e de um local ao lado, sem a pérgula.....	35

Figura 28 - Foto aérea da quadra onde foi colocada a estação de medição na Brasilândia.....	40
Figura 29 - Brasilândia: localização da estação meteorológica.....	40
Figura 30 - Brasilândia: localização da estação meteorológica.....	41
Figura 31 - Brasilândia: imagens com a lente olho de peixe do ponto onde foi colocada a estação.....	41
Figura 32 - Configuração inicial do modelo da Bela Vista no ENVI-met.....	43
Figura 33 - Ferramenta de inspeção do modelo da Bela Vista no ENVI- met.....	44
Figura 34 - Configuração inicial do modelo da Brasilândia no ENVI-met.....	45
Figura 35 - Ferramenta de inspeção do modelo da Brasilândia no ENVI- met.....	46
Figura 36 - Edições das dimensões e componentes da parede de tijolos.....	47
Figura 37 - Edição das propriedades térmicas do tijolo.....	48
Figura 38 - Edição das propriedades térmicas do reboco.....	48
Figura 39 - Edições das dimensões e componentes da laje de concreto.....	49
Figura 40 - Edição das propriedades térmicas da manta asfáltica da cobertura.....	49
Figura 41 - Edição das propriedades térmicas da laje de concreto.....	50

Figure 42 - Edição das propriedades térmicas do reboco da parte inferior da laje de concreto.....	50
Figura 43 - Edição das propriedades térmicas do arenito.....	51
Figura 44 - Edição das propriedades térmicas da gnaiss.....	52
Figura 45 - Edições dos componentes do perfil de solo de asfalto.....	52
Figura 46 - Edição das propriedades térmicas do asfalto (com gnaiss).....	53
Figura 47 - <i>Layer</i> “Edifícios” do modelo Bela Vista no ENVI-met.....	54
Figura 48 - Zoom do <i>layer</i> “Receptors” do modelo da Bela Vista no ENVI-met.....	54
Figura 49 - Modelo Bela Vista no ENVI-met em 3D extraída do Leonardo.....	55
Figura 50 - <i>Layer</i> “Edifícios” do modelo Brasilândia no ENVI-met.....	55
Figura 51 - Zoom do <i>layer</i> “Receptors” do modelo da Brasilândia no ENVI-met.....	56
Figura 52 - Modelo Brasilândia no ENVI-met em 3D extraída do Leonardo.....	56
Figura 53 -Dados microclimáticos de entrada no Project Wizard do ENVI-met (<i>preview</i>).....	57
Figura 54 - Dados da simulação no Project Wizard do ENVI-met (<i>preview</i>).....	58
Figura 55 - Dados meteorológicos básicos de entrada no Project Wizard do ENVI-met (<i>preview</i>)	59
Figura 56 -. <i>Configuration Editor</i> e dos dados de entrada para o <i>simple forcing</i> na Bela Vista.....	60

Figura 57 - <i>Configuration Editor</i> e dos dados de entrada para o <i>simple forcing</i> na Brasília.....	60
Figura 58 - Dados meteorológicos utilizados na simulação para ajuste da radiação solar	61
Figura 59 - Ajuste das demais configurações meteorológicas.....	62
Figura 60 - <i>Configuration Editor</i> e dos dados de entrada para a simulação.....	63
Figura 61 - Implantação 3D do cenário perímetro.....	65
Figura 62 - Implantação e planta-tipo do bloco perimetral.....	65
Figura 63 - Implantação 3D do cenário Torre.....	66
Figura 64 - Implantação e planta-tipo das torres.....	66
Figura 65 - Implantação 3D do cenário lâmina.....	67
Figura 66 - Implantação e planta-tipo das lâminas.....	67
Figura 67 - Configuração inicial do modelo para os cenários paramétricos no ENVI- met.....	68
Figura 68 - Ferramenta de inspeção do modelo para os cenários paramétricos no ENVI-met.....	69
Figura 69 - Zoom do layer “Soil and Surface” do modelo para os cenários paramétricos no ENVI-met.....	70
Figura 70 - <i>Layer</i> “Edifícios” e modelo 3D do cenário Perímetro no ENVI-met 4.0.....	70

Figura 71 - <i>Layer</i> “Edifícios” e modelo 3D do cenário torre no ENVI-met 4.0.....	71
Figura 72 - <i>Layer</i> “Edifícios” e modelo 3D do cenário lâmina no ENVI-met 4.0.....	71
Figura 72 - <i>Configuration Editor</i> e dos dados de entrada para a simulação dos cenários paramétricos.....	73
Figura 73 - <i>Configuration Editor</i> e dos dados de entrada para o simple forcing.....	72
Figura 74 - Temperatura do ar nas duas áreas de medição: Bela Vista e Brasilândia.....	77
Figura 75 - Umidade relativa do ar nas duas áreas de medição: Bela Vista e Brasilândia.....	77
Figura 76 - Temperatura de globo nas duas áreas de medição: Bela Vista e Brasilândia.....	78
Figura 77 - Radiação solar nas duas áreas de medição: Bela Vista e Brasilândia..	78
Figura 78 - Velocidade do vento nas duas áreas de medição: Bela Vista e Brasilândia.....	79
Figura 79 - Valores médios da temperatura do ar no período de 26/04 a 28/04/13.....	81
Figura 80 - Valores médios da umidade relativa do ar no período de 26/04 a 28/04/13.....	81
Figura 81 - Valores simulados e medidos da temperatura do ar na Bela Vista.....	84
Figura 82 - Valores simulados e medidos da temperatura do ar na Brasilândia.....	84

Figura 83 - Valores simulados da temperatura do ar na Brasilândia e Bela Vista.....	85
Figura 84 - Valores medidos da temperatura do ar na Brasilândia e Bela Vista.....	85
Figura 85 - Valores simulados e medidos da radiação solar na Brasilândia.....	86
Figura 86 - Valores simulados e medidos da radiação solar na Bela Vista.....	86
Figura 87 - Valores de temperatura do ar nas áreas simuladas (Brasilândia e Bela Vista) para o período mais quente do dia 27/04.....	88
Figura 88 - Simulação da temperatura do ar nos cenários paramétricos lâmina, perímetro e torre.....	91
Figura 89 - Simulação da temperatura radiante média nos cenários paramétricos lâmina, perímetro e torre.....	91
Figura 90 - Imagens gerais pelo Leonardo.....	93
Figura 91 – Imagens gerais pelo Leonardo.....	95
Figura 92 – Imagens geradas pelo Leonardo.....	96
Figura 93 – Imagens geradas pelo Leonardo.....	97
Figura 94 – Imagens geradas pelo Leonardo.....	99
Figura 95 - Edificação na Rua São Carlos do Pinhal. Construção de 1928.....	114
Figura 96 - Vista da Alameda Ribeirão Preto.....	115

Figura 97 - Mapa atual mostrando a diferença entre os traçados. Em laranja, o traçado sinuoso e os lotes estreitos característicos da Bela Vista. Em roxo, o traçado em malha retangular, parte do projeto da Avenida Paulista, com lotes com dimensões maiores. Em vermelho, a área de estudo, localizada na transição entre as duas tipologias urbanas.....	116
Figura 98 - Edifício Fonte Bela, na Rua São Carlos do Pinhal.....	118
Figura 99 - Edifício Siena, na Rua São Carlos do Pinhal, esquina com a Rua Pamplona, construção de 1977.....	118
Figura 100 - Mapa da áreas de estudo com delimitação das alterações do zoneamento de 1972.....	119
Figura 101. Mapa da áreas de estudo com delimitação das alterações do zoneamento de 1978.....	121
Figura 102 - Mapa da área de estudo com delimitação das alterações do zoneamento de 2004.....	123
Figura 103 - Porcentagem de edifícios por número de pavimentos, na área de estudo da Bela Vista e de seu entorno.....	123
Figura 104 - Análise espacial temporal do distrito da Brasilândia.....	127
Figura 105 - Brasilândia (2013).....	128

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Principais Variáveis utilizadas pelo ENVI-met.....	25
Quadro 2 – Características do cenário Perímetro.....	64
Quadro 3 – Características do cenário Torre.....	65
Quadro 4 – Características do cenário Lâmina.....	66
Quadro 5 - Fator de visão do céu médio.....	92
Quadro 6 - Zoneamento de 1972.....	120
Quadro 7- Uso e ocupação do solo na zona Z10	121
Quadro 8 - Quadro de uso e ocupação da zona ZM3b – 01.....	124
Quadro 9- Quadro de uso e ocupação da zona ZM3b – 01 com ruas entre 10m a 12m de largura.....	125

LISTA DE SIGLAS

CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
DAF	Densidade de Área Foliar
FAPESP	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo
FAU	Faculdade de Arquitetura e Urbanismo
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
LABAUT	Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética
LabHab	Laboratório de Habitação e Assentamentos Humanos
USP	Universidade de São Paulo

LISTA DE SÍMBOLOS

°C	grau Celsius
h	hora
hab/km ²	habitante por quilômetro quadrado
m	metro
m ²	metro quadrado
W/m ²	Watt por metro quadrado
%	porcentagem

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	2
1.1 Objeto e Objetivos.....	6
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	9
2.1 Adensamento urbano.....	9
2.2 Microclimas urbanos.....	22
2.3 Relação entre adensamento construído e microclimas urbanos.....	24
2.4 O modelo numérico de simulação ENVI-met.....	24
3 MATERIAL E MÉTODO.....	29
3.1 Justificativas para a escolha das áreas de estudo.....	30
3.2 Medições microclimáticas nas áreas de estudo.....	34
3.3 Modelagem das áreas de estudo no ENVI-met.....	42
3.4 Construção de cenários paramétricos para as simulações.....	63
3.5 Modelagem dos diferentes cenários paramétricos no ENVI-met.....	67
4 ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	75
4.1 Medições de campo.....	75
4.2 Simulação dos cenários paramétricos.....	89
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	101
REFERÊNCIAS.....	104
APÊNDICES.....	113
ANEXOS.....	131

1 Introdução

1 Introdução

A rápida urbanização ocorrida a partir de meados do século XX se confrontou com a escassez de terra em áreas urbanas e se tornou um tema recorrente nas políticas de planejamento urbano em todo o mundo (CHENG, 2010b). Pode-se afirmar que duas forças estão moldando as nossas cidades hoje: o crescimento da população e as taxas crescentes de urbanização. Essas duas forças apresentam uma relevância significativa para o discurso da sustentabilidade, pois com o crescimento das cidades há a diminuição dos espaços naturais que contribuem para o equilíbrio da biosfera, um aumento nos gastos com infraestrutura urbana, dos deslocamentos feitos por automóveis, e consequentemente da poluição do ar destas cidades (ROAF, 2010).

Dessa forma, uma das necessidades atuais das aglomerações urbanas é uma maior densidade de ocupação. Há hoje um grande debate em torno da alta densidade urbana. Para algumas pessoas, ela é o caminho para o crescimento das cidades.

Muitos dos argumentos são questões do planejamento. O planejamento para alta densidade requer uma série de revisões, que busquem minimizar impactos negativos da alta densidade e potencializar seus benefícios. Áreas adensadas implicam na otimização de infraestrutura urbana, na diversidade de usos e na redução do tempo dos deslocamentos (DUARTE, 2012).

Quando se defende a maior densidade para otimização de infraestrutura urbana, a maior compacidade da ocupação tem implicação direta na área a ser coberta pelos serviços urbanos (abastecimento de água, coleta e tratamento de esgoto, transporte, etc.) e também fica clara a necessidade de mudança de paradigma em sistemas obsoletos como, por exemplo, com inovações na coleta de resíduos sólidos (há sistemas de coleta à vácuo já operando em diversos países) ou a implementação de sistemas distritais de água, esgoto e energia (MARINS, 2010). A diversidade de usos contribui para a vitalidade urbana, levando à ocupação da cidade ao longo de todo o dia, tornando-a mais segura, ideia esta que vai ao encontro de Jacobs (2000). Por fim, a redução do tempo dos deslocamentos vem como consequência da diversidade de usos e a densidade tem como uma das

consequências, a possibilidade de aumentar o número de deslocamentos a pé, de bicicleta ou de transporte público, ao invés do transporte individual.

Cidades densas bem planejadas implicam em um aumento de sua eficiência energética, com um menor consumo de recursos, menor nível de poluição e, com isso, contribuem para manutenção das áreas rurais (ROGERS; GUMUCHDJAN, 2001).

Porém, o adensamento não é o critério único para definir qualidade urbana. A densidade, sozinha, não pode propiciar benefícios ambientais, a menos que esteja ligada a outras questões importantes do desenho urbano, como por exemplo, o uso misto do solo e dos edifícios. Uma das questões que se coloca é: será que estamos correndo o risco de simplificar um complexo e contínuo fenômeno, procurando encontrar um padrão ideal de uso do solo ou uma densidade ótima para as cidades? (HENG; MALONE-LEE, 2010).

A definição de uma densidade ideal ou viável para cada localidade e as estratégias para se alcançar esses resultados variam bastante. Alguns autores mencionam preocupações sobre os impactos negativos da alta densidade como congestionamentos, ruído, poluição, percepção negativa por parte da população e falta de privacidade. Uma das situações em que a alta densidade não se torna uma solução viável é quando a infraestrutura urbana e o sistema de transporte não são capazes de suportar a grande concentração de pessoas, trazendo congestionamento em redes de telecomunicações e nos sistemas de transporte. Outra situação tida como uma desvantagem do adensamento é a proximidade entre as pessoas, podendo surgir conflitos sociais causados pela falta de privacidade (CHENG, 2010a).

Entretanto, a necessidade de uma maior densidade de ocupação no século 21 é inevitável. Segundo Roaf (2010), urbanização e alta densidade de ocupação são irreversíveis no desenvolvimento da humanidade. O modo de morar mais denso continuará a se desenvolver e em breve será a norma.

É importante obter acertos com relação às dimensões ambientais para o planejamento da alta densidade urbana, especialmente nas zonas climáticas tropicais e subtropicais. Há, portanto, uma necessidade de se expandir o conhecimento do termo *alta densidade*. Diferentes abordagens do significado de alta densidade vão de simples medidas quantitativas à complexa noção de percepção

humana. Para Cheng (2010a), o significado de alta densidade é uma questão de percepção, que apresenta diferentes significados dependendo do país e da cultura em que ela está inserida. No Reino Unido ocupação de alta densidade é considerada quando se tem mais de 60 unidades habitacionais/ha (TCPA, 2003 *apud* CHENG, 2010b), nos Estados Unidos, quando se tem mais de 110 unidades habitacionais/ha (Ellis, 2004 *apud* CHENG, 2010b), e em Israel mais de 290 unidades habitacionais/ha (Churchman, 1999 *apud* CHENG, 2010b).

Do ponto de vista da percepção humana, o que mais importa não é a densidade física *per se*, mas as interações entre as pessoas e as condições ambientais resultantes dessas aglomerações. Para a densidade percebida, importa, por exemplo, o tratamento dos térreos, o tratamento do embasamento dos edifícios altos, ou seja, muitas vezes é uma questão de *lay-out* dos edifícios e do conjunto. Percepção e identidade de espaços abertos em cidades densas são particularmente importantes em prover aos habitantes uma sensação de acolhimento.

Alta densidade construída não significa necessariamente alta densidade de ocupação, e a cidade de São Paulo ilustra isso (GUSSON, MADEIRA, DUARTE, 2012). A densidade de empregos na área central da cidade, por exemplo, é de 1000 empregos/ha (DEVECCHI, 2010). Por outro lado, de acordo com os dados do documento “Indicadores ambientais e gestão urbana: desafios para a construção da sustentabilidade na cidade de São Paulo” (SVMA, 2008), o distrito que tem maior densidade habitacional na cidade de São Paulo é o da República, com 197 hab/ha. Ao se comparar esses dados com a quantidade de empregos no centro percebe-se que há um descompasso a ser resolvido.

A baixa densidade habitacional no centro de São Paulo também é observada quando se compara dados obtidos em setores das cidades de Madrid e do Bairro Norte de Buenos Aires, onde as densidades líquidas podem chegar a 3.000 hab/ha (Mascaró, 1989). Frente a esses números, a cidade de São Paulo, mesmo em seu bairro mais denso, apresenta baixíssima densidade habitacional.

O arquiteto e urbanista Candido Malta Campos Filho, em depoimento a Mianna (2010), acredita que no centro consolidado de São Paulo, tendo como base a capacidade instalada do sistema de transporte, há uma capacidade de suporte para uma densidade habitacional de 2400 hab/ha, podendo aumentar no futuro.

Para os objetivos deste estudo, é preciso se fazer uma distinção entre densidade construída e densidade de ocupação ou de pessoas. Pois a densidade construída é que é fundamental para a análise do efeito no microclima em áreas urbanas, esta pode ter diferentes tipologias com arranjos diversos para comportar a mesma densidade de ocupação. Sendo assim, uma das perguntas a serem feitas é: quais são os efeitos microclimáticos de diferentes arranjos de quadra possíveis com alta densidade e com diferentes tipologias construtivas?

Dentre as razões para as alterações climáticas provocadas pela urbanização estão o armazenamento de calor, o aprisionamento da radiação, o aumento da rugosidade e menor evaporação, fenômenos que são vistos em qualquer cidade do mundo, em menos ou maior grau, mas que são mais evidentes em mega cidades densamente construídas (KATZSCHNER, 2010).

Tendo em vista que em áreas densamente urbanizadas as trocas de calor que prevalecem são as trocas sensíveis, como incorporar a parcela de trocas úmidas nesses arranjos para equilibrar o balanço de energia? Alguns trabalhos anteriores do LABAUT, tais como SPANGENBERG (2009), SHINZATO (2009, 2013a, 2013b), JOHANSSON (2008), SPANGENBERG *et. al.* (2008), DUARTE (2010) e MENDES (2007) trazem contribuições nesse sentido, visando à incorporação do verde e seus efeitos nas áreas urbanas e nos edifícios.

Um arranjo de alta densidade sem o planejamento necessário pode criar uma série de problemas, incluindo também os aspectos ambientais. Muitas cidades asiáticas estão revendo os seus critérios em função dos problemas que surgiram¹. Hong Kong, por exemplo, é uma das cidades mais adensadas do mundo, com 2500 hab/ha. Normalmente, edifícios residenciais são construídos com um coeficiente de aproveitamento 9 ou até mais, com uma taxa de ocupação de pelo menos 50%. Isto leva a edifícios muito altos construídos muito próximos uns dos outros. Para o mesmo volume de um edifício, construí-lo mais alto, mas esbelto e com um espaçamento maior entre as torres pode ser uma estratégia melhor para o acesso solar, comparado ao mesmo volume empregado em um edifício mais baixo e com maior taxa de ocupação. Sabe-se também que, quando se projeta edifícios altos, as diferenças de altura são mais vantajosas do ponto de vista da ventilação (NG, 2010).

¹ Disponível em: <http://www.hkpgbc.org/download/symposiumUCUG.pdf>. Acesso em: 10 Mar 2011

Para o estudo desses fenômenos, um dos modelos mais promissores atualmente para simulações de efeitos no microclima urbano é o ENVI-met², um modelo tridimensional do clima que simula as interações entre superfície-vegetação-atmosfera, e permite analisar, numa perspectiva de micro-escala, a interação entre o desenho urbano e o microclima (BRUSE, 2013)³. O modelo calcula os efeitos no microclima urbano por meio das variáveis: radiação, reflexão de edifícios e de vegetação, fluxo do ar, temperatura, umidade, turbulência local e sua taxa de dissipação. Também determina as temperaturas de superfície (pisos e envoltória dos edifícios), as trocas de água e calor dentro do solo e parâmetros biometeorológicos, como temperatura efetiva e a temperatura fisiológica equivalente (Physiological Equivalent Temperature) - PET (HÖPPE, 1999).

1.1 Objeto e Objetivos

O objeto deste trabalho é a relação entre densidade construída e microclimas urbanos.

Este trabalho se insere em um projeto maior em andamento, dentro do Programa Nacional de Pós-Doutorado – PNPd/CAPES Processo nº 02556/09-0, intitulado *“Edificação e desenho urbano com adensamento e qualidade ambiental: habitação de interesse social na recuperação de áreas urbanas degradadas”*, que associa o Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética da FAUUSP – LABAUT e o Laboratório de Habitação e Assentamentos Humanos – LabHab. Além das duas bolsas de pós-doutorado concedidas pela CAPES, os dois laboratórios envolveram alunos de doutorado, mestrado, iniciação científica e trabalho final de graduação na equipe.

O objetivo é quantificar o efeito da densidade construída sobre o microclima urbano, por meio da construção de diferentes cenários paramétricos, considerando os possíveis padrões de ocupação de quadra, com diferentes tipologias de edifícios: o bloco perimetral, morfologia de quadra presente em várias cidades europeias, o

² Este programa é gratuito e está disponível em <http://www.geographie.ruhr-uni-bochum.de/agklima/envimet/>

³ ENVI-met 3.1: Online Manual. Disponível em: <<http://www.envi-met.com/>>. Acesso em março de 2013.

edifício lâmina, característico da arquitetura moderna brasileira, e o edifício torre, ícone da arquitetura contemporânea.

2 Revisão bibliográfica

2. Revisão bibliográfica

Este capítulo apresenta a revisão bibliográfica da dissertação, tratando do tema do adensamento urbano, microclima urbano, relação existente entre os dois e o modelo numérico de simulação ENVI-met.

2.1 Adensamento urbano

A densidade é tida como o produto de uma equação matemática onde o numerador é a quantidade de um objeto, ser vivo, massa, etc. sobre o denominador que é a área ocupada por cada um deles respectivamente. Seria simples se apenas se resumisse a isso. Mas quando se aplica ao ambiente urbano surgem muitos questionamentos acerca do resultado a ser obtido, dos conceitos envolvidos nestes resultados e nas respectivas variáveis. Alguns exemplos serão discutidos neste capítulo, além, também, da relação de densidade urbana e o microclima urbano, fazendo uma revisão bibliográfica dos assuntos.

O conceito de densidade é multidisciplinar. Os conceitos que envolvem a densidade urbana são complexos, devido às diferentes formas de defini-la, representá-la e percebê-la, e aos diferentes contextos nos quais a mesma está inserida (CHURCHMAN, 1999).

Para Alexander, Reed e Murphy (1988) a densidade urbana pode ser medida de três diferentes formas que representam diferentes fenômenos e aparecem em diferentes contextos, embora estejam intimamente ligadas. São elas: densidade percebida, densidade física (referente à altura, acabamento e implantação dos edifícios – é uma medida qualitativa) e a densidade medida (ex: hab/km²).

Neste trabalho será utilizada a classificação proposta por Cheng (2010a): a densidade física como sendo a populacional e a construída, e densidade percebida, ambas descritas a seguir.

2.1.1 Definições: densidade física e densidade percebida

A densidade física é uma medida numérica que representa a concentração de indivíduos ou estruturas físicas, para uma dada unidade geográfica. Ela é objetiva, quantitativa e um indicativo espacial neutro. Entretanto, na prática, ela apresenta um significado real somente se relacionada a uma escala ou referência específica. A

densidade física pode ser dividida em duas categorias: densidade populacional e densidade construída (CHENG, 2010a).

I- Densidade populacional (demográfica)

A densidade populacional é o número de pessoas ou a quantidade de habitações por uma determinada área. Alguns países como os Estados Unidos utilizam quatro formas de medir a densidade populacional (ALEXANDER, 1993; CAMPOLI; MACLEAN, 2007):

- Densidade da malha habitacional (“*Net Dwelling Density - NDD*”): número de habitações ou habitantes no numerador, pela área referente somente aos usos residenciais no denominador. Somariam no valor desta área apenas as áreas dos lotes residenciais, jardins e garagens, e não entrariam áreas comerciais, destinadas a serviços, espaços públicos e escolas (ALEXANDER; REED; MURPHY, 1988; ALEXANDER, 1993).

- Densidade residencial bruta (“*Gross Residential Density – GRD*”): número de habitações ou habitantes no numerador, pela área bruta de uso residencial, ou seja, as áreas destinadas a usos residenciais, somadas à metade da área das vias perimetrais e a um quarto das áreas de interseção (ALEXANDER; REED; MURPHY, 1988; ALEXANDER, 1993).

- Densidade de Vizinhança (“*Neighborhood Density – ND*”): número de habitações ou habitantes no numerador, pela área total da vizinhança no denominador. Não entrariam na área da vizinhança estabelecimentos que beneficiariam toda a cidade e não apenas a vizinhança, como: escolas de ensino médio e superior, indústrias, vias expressas, parques urbanos, estaduais ou regionais (ALEXANDER; REED; MURPHY, 1988; ALEXANDER, 1993).

- Densidade urbana (“*City Density – CD*”): número de habitações ou habitantes no numerador pela área total da cidade, que não está definida como área total do município ou apenas a área do perímetro urbano, no denominador (ALEXANDER; REED; MURPHY, 1988; ALEXANDER, 1993).

O que será utilizado no trabalho é a medida de densidade urbana mais utilizada no Brasil que é o resultado da divisão da quantidade de habitantes de uma região, cidade, distrito, bairro, etc. pela sua respectiva área em km². Ela é muito utilizada por planejadores urbanos, arquitetos, urbanistas, geógrafos e profissionais do poder público. O IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) considera a

densidade demográfica como sendo habitantes por unidade de superfície, expressa por hab/km², sendo a unidade de superfície a área total do distrito, município ou estado, habitável ou não (IBGE, 2010).

O que se observa é que existem áreas que não podem ser habitadas, por serem áreas de risco, por exemplo, e que se não entrassem nos cálculos, gerariam outro valor de densidade demográfica, podendo ser outro parâmetro, mais próximo da realidade para se calcular a densidade urbana e não apenas a densidade demográfica de uma área urbanizada. Pode-se observar isso no exemplo de cálculo de densidade feito para a cidade de Hong Kong e citado abaixo.

II- Densidade construída

A densidade construída (*plot ratio* ou *floor area ratio* - *FAR*) é definida pela relação direta entre a área construída total e a área total de um terreno (CHENG, 2010a). No Brasil é o coeficiente de aproveitamento (CA).

Outra unidade que pode ser utilizada para se calcular a densidade construída é a taxa de ocupação (TO ou *site coverage*), definida pela razão entre a projeção da edificação e a área do terreno. Há também a razão de espaços abertos, que é o inverso da taxa de ocupação; serve para indicar a quantidade de espaços abertos disponíveis em um lote. Entretanto, o termo às vezes é expresso como área de espaços abertos por pessoa, utilizado por órgãos públicos de planejamento referindo-se a certa quantidade de espaços abertos para a população (CHENG, 2010a).

Já a densidade percebida é definida pela percepção e estimativa de cada indivíduo acerca do número de pessoas presentes em uma determinada área, os espaços vazios disponíveis e sua organização (RAPOPORT, 1975). As características espaciais são importantes na caracterização da densidade, mas a interação entre o indivíduo e o ambiente como um todo contam ainda mais. Atributos individuais cognitivos e normas socioculturais são também fatores que contribuem para essa interação (ALEXANDER, 1993).

A densidade percebida e a sensação de superlotação (*crowding*), ou seja, a percepção de um espaço como muito adensado de forma negativa, são baseados no fato de que a mesma densidade pode ser percebida e avaliada de diferentes modos, por diferentes pessoas, em diferentes circunstâncias, em diferentes países e culturas (CHURCHMAN, 1999).

A densidade percebida é algo ainda muito subjetivo e difícil de quantificar. Depois de testar diferentes métricas e variáveis espaciais, Cheng (2010a) propõe um modo de se quantificar a densidade percebida através do fator de visão de céu em um determinado local; em um contexto asiático bastante adensado, em estudo feito para Hong Kong, a autora concluiu que, após o teste de diversas variáveis espaciais, quanto maior o fator de visão de céu, menor a percepção de densidade pelas pessoas. Em Hong Kong, em uma primeira etapa da pesquisa, estudantes de arquitetura observavam imagens de espaços urbanos em um computador e respondiam a um questionário sobre a percepção da densidade em um espaço determinado. Na segunda etapa foram aplicados questionários em 8 áreas diferentes da cidade, onde os transeuntes respondiam o que sentiam naquele espaço em que estavam com relação à densidade. As respostas foram relacionadas aos dados de densidade construída e, dentre as variáveis utilizadas, o fator de visão de céu foi a que demonstrou uma relação mais direta com a densidade percebida pelas pessoas.

Quando se analisa o comportamento de diferentes culturas com relação ao espaço, percebem-se claras diferenças sobre aglomerações e relações interpessoais, além do uso diferente dos sentidos e das necessidades diversas relativas ao espaço. Devido a isso, para se solucionar problemas urbanos, também é essencial saber como as populações de um local percebem o espaço e como usam os sentidos.

Segundo Hall (2005), uma das muitas diferenças entre culturas consiste em elas criarem extensões de diferentes traços comportamentais e anatômicos do organismo humano, como por exemplo: os americanos, tais como os árabes, se sentem deprimidos se não tiverem espaço suficiente. Embora tenham essa semelhança, o espaço que seria suficiente para um americano não o é para um árabe. Nas casas árabes, os americanos andam de um lado para o outro desconcertados, sentindo-se expostos e, com frequência, desajustados, por causa do excesso de espaço e do pé-direito muito alto; na cultura árabe, os espaços interiores de classe média alta são enormes em comparação com os norte-americanos.

Os árabes não se incomodam com o contato humano forçado em público, mas detestam sentir-se confinados por paredes. Os espaços fechados precisam ter

bastante área desimpedida para a movimentação, pés-direitos muito altos e, além disso, uma vista panorâmica sem obstrução. Em locais públicos, quando tocados por desconhecidos, não manifestam a reação indignada que os americanos costumam manifestar; para eles não há nada que se possa chamar de intrusão em local público. O que é público é público (HALL, 2005).

A densidade percebida e aceita por um grupo étnico ou cultural dificilmente será a mesma que a de outro grupo de diferente cultura e etnia. Além disso, surge a dificuldade em se quantificar o que seria uma densidade saudável para um específico grupo étnico. Qualificar é mais fácil, e ainda não há consenso para se quantificar. Devido a isso, outros estudos estão surgindo com essa vertente, a serem vistos a seguir.

Segundo Lawson (2010), que analisa as questões psicológicas e sociais em cidades adensadas, a densidade percebida pelas pessoas está intrinsecamente ligada à sensação de privacidade embutida em certas culturas. A privacidade é definida como uma forma de se controlar o tipo e a quantidade de contato de um indivíduo com os demais. No espaço urbano o meio de controle são as cercas e limites visuais impostos pelos ambientes privados. Em culturas orientais, como em Cingapura, por exemplo, as casas possuem varandas que se comunicam com o exterior, isso demonstra que as pessoas estão mais aptas ao contato social que o adensamento proporciona.

Segundo a linha de pensamento de diversos autores, espaços de alta densidade podem ser saudáveis à medida que propiciam acesso às vistas naturais e espaços abertos desobstruídos, que contribuem para o bem estar humano. Quanto mais se reduz a exposição ao céu, mais aumenta a sensação de enclausuramento, um dos aspectos negativos do adensamento. Zhang *et al.* (2011) fazem um paralelo quantitativo relacionando a visão de céu e a densidade percebida, no qual é possível mensurar esse acesso às visuais, qualificando uma determinada tipologia de edifícios que poderia beneficiar a percepção humana conforme a disposição das fachadas desses edifícios. Isso seria um reflexo quantitativo de como a densidade percebida impacta no bem estar humano.

2.1.2 O adensamento urbano em diferentes contextos: europeu, asiático, americano

O adensamento populacional geralmente apresenta um valor, quando se leva em consideração a área total do município, mas quando se analisa um determinado distrito, bairro, ou uma área esse valor pode ser maior ou menor do que o valor total desta cidade. Isso se deve ao fato de que quando se calcula a densidade total do município são consideradas no cálculo grandes áreas de parque, estações, aeroportos, etc. que não são habitáveis e, portanto, essa medida de densidade diminui, além do que a relação entre a taxa de ocupação, o coeficiente de aproveitamento e as tipologias edificadas também podem influenciar esse cálculo. O gráfico abaixo compara a densidade de grandes cidades no mundo e mostra a densidade dos seus distritos mais densos; assim, pode-se perceber que há uma grande diferença entre a densidade média de uma cidade e a que realmente existe em distritos muito ocupados (Figura 1).

Figura 1 - Grandes cidades: suas densidades médias e áreas mais densas.

¹IBGE (2011), ²Burdett e Sudjic (2011), ³Hong Kong (Special Administrative Region) (2012),

⁴INSEE (2009), ⁵CAMPOLI; MACLEAN (2007)

Analisando imagens de alguns dos distritos mais densos das cidades mencionadas acima, percebe-se que os distritos mais densos destas cidades não seguem, necessariamente, o mesmo padrão de ocupação, tais como: edifícios altos, ou um uso do solo predominante, ou uma classe social em particular. Ao se comparar os distritos mais densos de Mumbai e de Nova Iorque, o que se encontra é uma diversidade de tipologias, que variam de uma alta concentração de pessoas em edificações de altura mediana, com baixa qualidade construtiva, baixo nível social e

pouca infraestrutura, em Mumbai na Índia, para edifícios altos, de alto padrão social, com infraestrutura suficiente, em Manhattan, Nova Iorque, de onde se conclui que densidade populacional não precisa ser sinônimo de baixa qualidade de vida (Figura 2).

Kamathipura, Mumbai¹

Upper East Side, New York City²

Luwan, Shanghai

Figura 2 - Imagens dos distritos mais densos (GUSSON; MADEIRA; DUARTE, 2012), a partir de dados:

¹ Disponível em: <<http://betacity.files.wordpress.com/2011/07/kamathipura-mud-boy.jpg>>. Acesso em Fev, 2012

² Disponível em: <<http://www.nycondoblog.com/category/the-laurel-condominiums-400-east-67th-street>>. Acesso em Fev, 2012

³ Disponível em: <<http://www.travpl.com/forum/travel-china-27/shanghai-luwan-p10-258.html>>. Acesso em Fev, 2012

Abaixo seguem alguns outros exemplos de densidade populacional das áreas mais densas e menos densas e suas diferentes tipologias em cidades da Europa, Ásia e EUA:

a) Paris / França

Paris é uma das maiores e mais densas cidades da Europa e a mais densa da França. A população da “commune” de Paris é de 2.234.105 habitantes e sua densidade populacional é em torno de 212 hab/ha de acordo com o censo de 2009 (INSEE, 2009). O “arrondissement” que apresenta maior densidade populacional é o 18º com 334 hab/ha, no norte de Paris (Figura 3), onde se situa a igreja de “Sacré-Coeur” e o que apresenta menor densidade é o 12º, a sudeste de Paris, onde se situa o Bosque de Vincennes, com 88 hab/ha (INSEE, 2009).

Figura 3 - À esquerda, Rue de Chartres “arrondissement” 18e de Paris¹; à direita, Boulevard de Picpus “arrondissement” 12e de Paris²

¹ Disponível em <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Rue_de_Chartres_Sacr%C3%A9-Coeur.jpg>. Acesso em: Fev. 2014

² Disponível em <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Boulevard_de_Picpus.JPG>. Acesso em: Fev. 2014

b) Hong Kong / Região Administrativa Especial da China

Segundo Cheng (2010b), a ilha de Hong Kong apresenta uma densidade populacional de 63 hab/ha, quando se computa a área total do território (Figura 4). Entretanto, se forem consideradas apenas áreas passíveis de serem construídas e ocupadas, a densidade populacional da ilha sobe para 259 hab/ha, ou seja, em torno de quatro vezes maior que a densidade populacional total do território. Em algumas das ilhas periféricas a densidade é de 78 hab/ha e na ilha mais urbanizada é de 520 hab/ha (Hong Kong Census and Statistics Department *apud* CHENG, 2006).

Figura 4 - À esquerda, ilha urbanizada de Hong Kong¹; à direita, a ilha periférica de Lantau²

¹ Disponível em <<http://www.eltoma-cyprus.com/pages/hong-kong-offshore-company-hong-kong.html>>. Acesso em: Jul. 2012

² Disponível em: <http://photos.igougo.com/pictures-photos-p183388-Lantau_Island.html>. Acesso em: Jul. 2012.

c) Los Angeles / EUA

A cidade de Los Angeles é segunda cidade mais populosa dos Estados Unidos, conhecida pela sua baixa densidade e pela alta dependência do transporte individual (Figura 5). A densidade média da cidade é de 30 hab/ha. Em áreas mais adensadas pode chegar a 445 hab/ha e em áreas menos adensadas, como Beverly Hills, a 1.5 hab/ha (CAMPOLI; MACLEAN, 2007). Os dados informados das áreas não são por bairros, mas sim, por vizinhança, ou seja, áreas inseridas nos bairros e, portanto, menores do que eles.

Figura 5 - À esquerda, área adensada de Los Angeles; à direita, área pouco adensada em Beverly Hills (CAMPOLI; MACLEAN, 2007)

2.1.3. Diagnóstico das atuais condições de adensamento em São Paulo

Comparando-se a densidade populacional da cidade de São Paulo com outras cidades no mundo (Figura 1), pode-se observar que mesmo com uma densidade populacional média em torno de 74 hab/ha (IBGE, 2011), similar a outras cidades, a densidade do seu distrito mais denso é uma das menores. Sendo a disponibilidade de transporte e infraestrutura diretamente ligada à densidade urbana, pode-se pensar que há uma equidade na distribuição destas infraestruturas pela cidade, o que não é verdade. São Paulo apresenta áreas com infraestruturas razoáveis de transporte que não têm necessariamente altos valores de densidade populacional e vice-versa.

De um total de 97 distritos analisados, os três mais densos demograficamente, são também os mais densos construtivamente. Porém, de forma geral, a densidade demográfica não é diretamente relacionada com a densidade construída.

Ao se analisar a Figura 6, verifica-se que o município, no geral, não tem uma alta densidade construída, com a média do seu coeficiente de aproveitamento em torno de 1. Valores mais altos podem ser encontrados nas áreas mais centrais da

cidade onde o coeficiente de aproveitamento pode chegar a 5, embora valores altos de densidade populacional apareçam em distritos periféricos.

Figura 6 - Densidade construída e populacional na cidade de São Paulo (por distritos) (GUSSON; MADEIRA; DUARTE, 2012)

Uma alta densidade construída não significa necessariamente uma alta densidade populacional. No município de São Paulo é possível se verificar essas discrepâncias e, para isso, dentre os 97 distritos, alguns distritos foram selecionados (Figura 7).

Figura 7 - Densidade populacional e construída nos distritos selecionados (GUSSON; MADEIRA; DUARTE, 2012) a partir de dados de: ¹IBGE (2011) e ²SMDU (2009)

Os distritos da Bela Vista, Santa Cecília e Moema têm em comum a predominância do uso residencial vertical. Os valores de densidade construída e populacional, no entanto, variam muito (Figura 8). De acordo com os resultados, uma alta taxa de verticalização não significa necessariamente altos valores de densidade construída. Em Moema, por exemplo, mesmo sendo um distrito onde a predominância tipológica seja de edifícios residenciais verticais de alto padrão, o coeficiente de aproveitamento total não é maior que 2. As razões para isso estão relacionadas a fatores como, a classe social predominante, o tamanho das unidades habitacionais e o padrão de ocupação dos lotes.

Figura 8- Distritos com a mesma tipologia e diferentes densidades (construída e populacional) (GUSSON; MADEIRA; DUARTE, 2012) a partir de dados de: ¹SMDU (2009) e ²IBGE (2011)

Os distritos República, Sé e Itaim Bibi são dominados pelo uso comercial e de serviço vertical. No entanto, eles apresentam diferentes valores de densidade populacional e construída (Figura 9). República e Itaim têm um uso misto do solo, o que pode ser visto ao se comparar seus valores de densidade populacional e construída que seguem o mesmo padrão, ao contrário da Sé que apresenta um uso mais monofuncional.

Fatores como classe social e taxa de ocupação associados ao coeficiente de aproveitamento dos distritos são cruciais para as diferenças nos valores de densidade construída. Os distritos de Santa Cecília e Brasilândia que, mesmo tendo os mesmos valores de densidade populacional, divergem nos valores de densidade construída e tipologias urbanas (Figura 10). No caso do distrito de Santa Cecília, as tipologias de edifícios são predominantemente residenciais, verticais e de população de classe média, e sua densidade construída é maior do que no distrito da Brasilândia, onde a predominância tipológica é de casas com no máximo 3 pavimentos, de população de renda baixa.

Figura 9 - Distritos com a mesma densidade populacional, mas com densidades construídas distintas (GUSSON; MADEIRA; DUARTE, 2012) a partir de dados de: ¹SMDU (2009) e ²IBGE (2011)

Figure 10 - Tipologias residenciais predominantes em Santa Cecília e Brasilândia (GUSSON; MADEIRA; DUARTE, 2012) a partir de dados de: SMDU (2009) e imagens dos autores (2012)

Nos distritos Moema e Barra Funda tem-se os mesmos valores de densidade construída, mas com divergências nas tipologias e nos valores de densidade populacional (Figura 11). Moema tem baixa densidade construída mesmo considerando sua tipologia predominante: residencial vertical de alto padrão, lembrando que o estudo adota a área total do distrito para o cálculo da densidade construída (Figura 12). E em ambos os casos há dois equipamentos públicos

ocupando as áreas dos distritos: em Moema, o parque do Ibirapuera e na Barra Funda a área destinada ao transporte ferroviário de trens urbanos.

Por outro lado, a Barra Funda, onde o uso predominante é comércio e serviço horizontal e vertical, a densidade construída é equivalente a Moema, mas apresentando baixo valor de densidade populacional, se for levada em consideração a sua localização em uma área central servida por transporte público e infraestrutura (Figura 12).

Figura 11 - Distritos com a mesma densidade construída, mas diferentes tipologias e densidade populacional (GUSSON; MADEIRA; DUARTE, 2012) a partir de dados de: ¹SMDU (2009) e ²IBGE (2011)

Figura 12 - Tipologias de edifícios predominantes na Barra Funda e em Moema (GUSSON; MADEIRA; DUARTE, 2012) a partir de dados de: SMDU (2009) e imagens dos autores (2012)

Altos valores de densidade urbana podem ser alcançados com diferentes tipologias edificáveis, não só a vertical, mas também tipologias horizontais de média altura. Em São Paulo, as favelas podem chegar a ter mais do que 1000 hab/ha (Figura 13), mas sem qualidade de vida e em regiões pobres de infraestrutura. Essa mesma densidade pode ser alcançada em áreas centrais, com mais qualidade ambiental, pois as mesmas já possuem uma infraestrutura adequada para atender essa demanda.

Figura 13 - Densidade populacional nas favelas de São Paulo (GUSSON; MADEIRA; DUARTE, 2012) a partir de dados de: IBGE (2011) e HABISP (2009)

2.2 Microclimas urbanos

Há três escalas de interesse para o estudo de clima urbano; para este estudo de microclima urbano a que importa é a microescala ou UCL (Urban Canopy Layer). Na Figura 14 estão as 3 escalas: *PBL: Planetary Boundary Layer* (camada limite planetária), *UBL: Urban Boundary Layer* (camada limite urbana), e *UCL: Urban Canopy Layer* (dossel urbano) (OKE, 2006).

A *UCL: Urban Canopy Layer* (dossel urbano), como se pode observar na figura 14, é a camada de ar situada desde o solos até o topo dos edifícios, por isso ela varia com relação à altura dos edifícios e da velocidade do vento. É a camada mais próxima das áreas urbanizadas e por isso mais complexa de ser analisada, pois envolvem diferentes cenários de ocupação, diferentes tipologias, implantação e orientação dos edifícios, diferentes materiais de revestimento dos mesmos e de pavimentos, bem como diferença nos tipos e quantidade de vegetação. Cada uma dessas peças que formam o dossel urbano interfere no calculo do balanço de energia para o microclima urbano.

Figura 14 - Esquema das escalas climáticas e das camadas verticais encontradas em áreas urbanas (OKE, 2006)

A equação balanço de energia é a que explica como a energia é transferida de e para as superfícies terrestres. Nela estão contidos os seguintes fenômenos de troca de calor, por convecção, evaporação e radiação (OKE, 2006):

Convecção + Evaporação + Armazenamento de Calor = Calor Antropogênico + Saldo de Radiação*

*Saldo de Radiação = Radiação Solar Global – Radiação Solar Refletida + Radiação Atmosférica – Radiação da Superfície

Essa equação se torna muito complexa para áreas urbanas, por conta da quantidade imensa de variáveis que estão contidas em cada um dos fenômenos de troca de calor descritos acima. Para o balanço de energia em áreas urbanas, o que importa é a densidade construída, que pode ter n tipologias e arranjos diferentes para comportar a mesma densidade de ocupação. Sendo assim, a pergunta é: quais são os efeitos microclimáticos de diferentes arranjos de quadra possíveis com alta densidade e com diferentes tipologias construtivas?

2.3. Relação entre adensamento construído e microclimas urbanos

Dentre as razões para as alterações no clima provocadas pela urbanização estão o armazenamento de calor, o aprisionamento da radiação, o aumento da rugosidade e menor evaporação, fenômenos que são vistos em qualquer cidade do mundo, em menor ou maior grau, mas que são mais evidentes em megacidades densamente construídas (KATZSCHNER, 2010).

Tendo em vista que em áreas densamente urbanizadas as trocas de calor que prevalecem são as trocas sensíveis, como incorporar a parcela de trocas úmidas nesses arranjos para equilibrar o balanço de energia?

Um arranjo de alta densidade sem o planejamento necessário pode criar uma série de problemas, incluindo também os aspectos ambientais. Muitas cidades asiáticas estão revendo os seus critérios em função dos problemas que surgiram⁴. Normalmente, edifícios residenciais são construídos com um coeficiente de aproveitamento 9 ou até mais, com uma taxa de ocupação de pelo menos 50%. Isto leva a edifícios muito altos construídos muito próximos uns dos outros. Para o mesmo volume de um edifício, construí-lo mais alto, mas esbelto e com um espaçamento maior entre as torres pode ser uma estratégia melhor para o acesso solar, comparado ao mesmo volume empregado em um edifício mais baixo e com maior taxa de ocupação. Sabe-se também que, quando se projeta edifícios altos, as diferenças de altura são mais vantajosas do ponto de vista da ventilação (NG, 2010).

2.4. O modelo numérico de simulação ENVI-met

O ENVI-met⁵ é um modelo tridimensional para simular as interações entre superfície-vegetação-atmosfera para ambientes urbanos com resoluções de 0,5m a 10m no espaço e até 10 segundos no tempo. Dessa forma, permite analisar, numa perspectiva de micro-escala, a interação entre o desenho urbano e o microclima (BRUSE, 2013)⁶.

Esse modelo prognóstico está baseado nas leis de dinâmica dos fluidos e da termodinâmica. Inclui simulações para: o fluxo de ar em volta e entre os edifícios; processo de troca de calor e vapor de água na superfície do piso e fachadas;

⁴ Disponível em: <http://www.hkpgbc.org/download/symposiumUCUG.pdf>. Acesso em: 10 mar 2011.

⁵ Este programa é gratuito e está disponível em: < <http://www.envi-met.com> >. Acesso em: Fev. 2014

⁶ ENVI-met 3.1: Online Manual. Disponível em: <<http://www.envi-met.com/>>. Acesso em março de 2013.

turbulência local e sua taxa de dissipação; parâmetros de troca de calor com a vegetação; dispersão de partículas poluentes e parâmetros biometeorológicos como a temperatura fisiológica equivalente (Physiological Equivalent Temperature) - PET (HÖPPE, 1999). Apresenta ferramentas adicionais como o *Leonardo*⁷ para visualização e edição dos resultados gerados pelo ENVI-met.

No intuito de se avaliar os benefícios da vegetação, Bruse (1998) acoplou ao atmosférico um modelo para o cálculo dos principais fatores relacionados à vegetação: transpiração, evaporação, fluxo de calor sensível, fluxos turbulentos de calor e vapor; resistência dos estômatos, balanço energético da folha e balanço de água do sistema solo-vegetação. Considera não apenas o efeito de sombreamento das árvores, mas também o processo fisiológico de fotossíntese e abertura dos estômatos.

Em relação à vegetação, este modelo determina a temperatura média nas folhas por meio do cálculo do balanço térmico que considera a condição climática e fisiológica da planta. O cálculo do fluxo de radiação inclui sombreamento, absorção e re-emissão da radiação por outras partes da planta.

O Quadro 1 mostra os principais aspectos relacionados à arquitetura e o ambiente externo que o ENVI-met se propõe a calcular. Trata-se, portanto, de um modelo complexo que busca visualizar o comportamento de um ambiente (considerando variáveis internas e externas ao edifício) por meio de diferentes condições climáticas e arquitetônicas.

Quadro 1 - Principais Variáveis utilizadas pelo ENVI-met

Atmosfera	Solo	Vegetação	Superfícies	Biometeorologia	Base do modelo
ventos temperatura vapor turbulência poluentes	temperatura fluxos d'água corpos d'água	folhagem temperatura trocas de calor trocas de vapor interceptação d'água transporte de água	fluxos no piso fluxos nas paredes e coberturas Transmitância de calor pelas paredes	valores de <i>PET</i> <i>climbots</i>	Os cálculos matemáticos

ENVI-met 3.0 Manual. Disponível em: <http://envi-met.com>. Acesso em: Ago. 2007.

⁷ Este programa está disponível em: < <http://www.envi-met.com> >. Acesso em: Fev. 2014

Além dos modelos de cálculo para vegetação, o ENVI-met também aborda:

- cálculo de radiação de onda longa e curta considerando os efeitos de sombreamento, reflexão e re-emissão dos edifícios e vegetação.
- temperatura de superfície e paredes para cada ponto da malha do modelo.
- trocas de calor e água dentro do sistema do solo escolhido.
- dispersão dos gases e partículas poluentes incluindo a sedimentação de partículas nas superfícies e folhas.

O modelo ENVI-met permite avaliar o microclima de uma determinada área que sofre influência das condições climáticas como radiação solar, orientação dos ventos, umidade do ar. Possibilita também avaliar comportamento de materiais existentes em edifícios e ruas, analisa a dispersão dos poluentes e determina o fluxo de calor entre os materiais.

A versão 4.0 do modelo, ainda em fase de testes, tem como principais avanços (HUTTNER; BRUSE, 2009):

- **Novas características no editor da área de estudo.** Na versão anterior 3.1, para se criar a área de estudo no modelo usava-se um formato 2.5D para construção e armazenagem dos dados, isto é, para cada célula na malha, apenas 1 valor acima e abaixo do valor de contorno no eixo z podia ser especificado em edifícios e plantas. Entre as vantagens, esse recurso possibilita salvar o arquivo como um simples arquivo de texto e editar por meio de programas editores de texto, mas não permite a construção de edifícios ou de um tecido urbano mais complexo.

Na nova versão 4.0 (preview), a modelagem é construída num formato 3D de visualização (Figura 15), com uma maior facilidade de desenho e também permitindo ao usuário especificar as propriedades físicas em cada elemento individualmente. Assim, numa fachada de edifício é possível definir as aberturas e especificar as características dos materiais de caixilharia, vidro e alvenaria.

Figura 15 - Imagem da tela do novo editor 3D do ENVI-met 4.0 (HUTTNER; BRUSE, 2009)

- **Avanços no cálculo de temperatura da fachada e no balanço de energia dos fechamentos verticais.** As versões anteriores não levam em conta a inércia térmica das fachadas, mas os cálculos da temperatura de superfície de fachadas foram incluídos na nova versão. O cálculo está baseado em um modelo em regime transiente. As propriedades físicas da parede incluem dados de reflexão, absorção, transmissão, emissividade, coeficiente de transferência de calor, inércia térmica específica e a espessura da parede.

- **Forcing.** Nas versões anteriores as condições atmosféricas de contorno da simulação só podem ser introduzidas no modelo nos valores iniciais a partir dos quais o modelo passa a deduzir direta (radiação incidente) ou indiretamente (ventos, temperatura do ar e umidade) a variação diurna das condições de contorno da simulação. Em outras palavras, nas versões anteriores, o modelo não assimilava dados. Já na versão 4.0 é possível informar a variação diurna das condições atmosféricas e da radiação incidente. Isso permite uma melhor comparação entre os valores medidos em campo e as simulações pelo ENVI-met.

- **Vegetação 3D.** O modelo de vegetação apresenta significativos avanços em relação ao modelo da versão 3.1, no que se refere à visualização do formato das árvores, de acordo as diferentes camadas de DAF (densidade de área foliar). Foi implementado um banco de dados 3D para definir as árvores de uma forma mais elaborada.

3 Material e Método

3 Material e Método

O método utilizado foi indutivo, por meio de levantamentos de campo que caracterizam a densidade e o padrão de ocupação das quadras e as condições microclimáticas locais (temperatura do ar, umidade do ar, temperatura radiante média, fator de visão de céu, velocidade e direção dos ventos e temperaturas superficiais); e dedutivo, por meio de comparações entre os resultados levantados nas diferentes simulações paramétricas.

Foram realizados levantamentos em situações representativas das condições climáticas, nas áreas de estudo selecionadas, Brasilândia e Bela Vista, dois distritos da cidade de São Paulo. Tendo em mãos os dados medidos em campo, foram feitas simulações computacionais no modelo ENVI-met para a área de estudo, com a calibração da curva entre dados medidos e simulados. Posteriormente foram simulados os diferentes cenários paramétricos propostos.

Nas fases iniciais de pesquisa bibliográfica e levantamento de dados secundários, foram estudados os fundamentos teóricos básicos, considerando os temas já mencionados neste projeto. Essa fase incluiu o estudo detalhado da versão do *ENVI-met* 3.1 Beta V e a prévia da versão do *ENVI-met*.4.0, ambas desenvolvidas pelo prof. Michael Bruse e equipe. O estudo da última versão foi possível por meio da realização de estágio de pesquisa junto ao *Environmental Modelling Group (Geoinformatik/EMG)* do *Geographisches Institut da Johannes Gutenberg Universität Mainz*, em Mainz, Alemanha, no período de abril a julho de 2013 para a superação de algumas limitações do modelo encontradas na versão anterior e incorporação de novos recursos que foram úteis à realização deste trabalho.

Para a fase de medições de campo, contou-se com o apoio da equipe do LABAUT, que já tem experiência em trabalhos de campo similares (SOUZA, DUARTE, 2004; PRATA, 2005; DUARTE, GONÇALVES, 2006; SHINZATO, 2009; DUARTE *et al*, 2010), e dos equipamentos existentes no laboratório, parte deles adquiridos com recursos da FAPESP (1995/5597-5) e do CNPq (processos 400643/2010-3 e 479563/2009-8).

3.1. Justificativas para a escolha das áreas de estudo

Este trabalho propôs, no início, o levantamento, o mapeamento e a análise de dados de uma área central da cidade de São Paulo. Como parte do trabalho em conjunto com o a pesquisa “Edificação e desenho urbano com adensamento e qualidade ambiental: habitação de interesse social na recuperação de áreas urbanas” - MEC/CAPES – PNPD nº 02556/09-0, diversas áreas foram cogitadas e previamente avaliadas.

Uma área no distrito da Bela Vista foi uma das escolhidas, por ser a área com maior valor de adensamento populacional do município e a terceira em adensamento construído (Figuras 16 a 19), além de possuir uma tipologia de edifícios encontrada na maior parte da cidade que é edificada verticalmente, a tipologia de torre.

Figura 16 - Tipologias de edifícios predominantes na Bela Vista.
Elaboração própria com dados da SMDU (2009)

Figura 17 - Modelo 3D da área de estudo na Bela Vista e de seu entorno. Elaborado por MADEIRA (2013), com a base em AutoCAD fornecida pela PMSP.

Figura 18 - Implantação em 3D da área de estudo na Bela Vista (MADEIRA, 2013)

Figura 19 – Modelo em 3D da área de estudo na Bela Vista (MADEIRA, 2013)

A outra área de estudo escolhida para este trabalho localiza-se na Brasilândia, distrito que apresenta a maior densidade populacional com uma predominância de tipologias residenciais horizontais, e baixo adensamento construído (Figuras 20 e 21). Assim, as duas áreas de estudos deste trabalho terão valores semelhantes para densidade populacional, sendo a Bela Vista com 279 hab/ha e a Brasilândia com 261 hab/ha (IBGE, 2011) e valores divergentes para densidade construída, sendo a Bela Vista com coeficiente de aproveitamento em torno de 3,5 e a Brasilândia, 0,5 (SMDU, 2009).

Figura 20 - Implantação em 3D da área de estudo na Brasília (MADEIRA, 2013)

Figura 21 - Modelo em 3D da área de estudo na Brasília (MADEIRA, 2013)

A escolha de áreas com densidades construídas diferentes foi proposital para se fazer uma análise do comportamento do modelo ENVI-met 4.0 *preview*, por contraste, para densidades alta e baixa construídas na cidade de São Paulo. A descrição e o histórico das duas áreas encontram-se no Apêndice.

3.2. Medições microclimáticas nas áreas de estudo

Foram realizadas medições microclimáticas nas duas áreas de estudo, Bela Vista e Brasilândia entre o final do verão e começo de outono, do dia 06 de março de 2013 até o dia 29 de abril de 2013. Em cada área foi escolhido 1 ponto para representar a sua condição microclimática. As medições foram feitas para que, posteriormente, seus dados sejam comparados com os dados obtidos na mesma situação urbana, com o modelo ENVI-met, para se fazer a calibração nos dados de entrada.

As variáveis coletadas nos levantamentos de campo foram: temperatura do ar (T_a , em °C), umidade relativa do ar (UR, em %), velocidade do vento (V.V, em m/s), sua direção (em graus a partir do Norte verdadeiro) e temperatura de globo (T_g , em °C). As estações ficaram ininterruptamente nos dois locais durante todo o período.

3.2.1. Equipamentos utilizados

O LABAUT adquiriu recentemente duas novas estações meteorológicas Campbell, com recursos dos projetos “O Impacto da vegetação nos microclimas urbanos: estudo quantitativo da intensidade, da distribuição espacial e da área de abrangência dos efeitos microclimáticos da vegetação urbana” – CNPq/Processo nº 400643/2010-3 e “Microclima urbano e conforto térmico em espaços abertos: estabelecimento de relações por meio de simulações computacionais e levantamentos empíricos na cidade de São Paulo” - CNPq 479563/2009-8. As duas estações incluem: um tripé *TW Tripod/ Mast Assembly 1,5m*, um *Measurement and Control Datalogger CR800-ST-SW-NC*, e os sensores: *Gill 2-D Sonic Wind WINDSONIC1-L24*, *Vaisala Temperature/RH HMP45C-L12*, *Kipp & Zonen Pyranometer W / Sun Shield CMP3-L12*, *Solar Sensor Mounting Stand CM22*, *Temp Probe 108-L12* e *CSC Blackglobe-L15 Temperature Sensor For Heat Stress* (Figuras 22 e 23). Os dados referentes à sensibilidade e precisão dos equipamentos, dentre outras características, encontram-se no ANEXO A.

Para as imagens com a lente grande ocular, foram utilizadas: câmera fotográfica *Nikon Coolpix 4500* e lente *Nikon FC-E8*. As especificações dos equipamentos encontram-se no ANEXO B.

Instrumentação	Descrição dos instrumentos
<p>Measurement and Control Datalogger CR800-ST-SW-NC</p>
<p>Tripé TW Tripod/ Mast Assembly 1,5m</p>
<p>Gill 2-D Sonic Wind WINDSONIC1-L24</p>
<p>Vaisala Temperature/RH HMP45C-L12</p>

<p>Kipp & Zonen Pyranometer W / Sun Shield CMP3-L12 / Solar Sensor Mounting Stand CM22</p>
<p>CSC Blackglobe-L15 Temperature Sensor For Heat Stress e Temp Probe 108-L12</p>

Figura 22 - Equipamentos utilizados na estação meteorológica

Figura 23 - Montagem padrão da estação utilizada para as medições

3.2.2. Localização dos equipamentos

As estações foram colocadas no meio das quadras de interesse em ambas as áreas, por ser o local com menos influência de ventos canalizados pelas vias adjacentes. Outro ponto que foi levado em consideração foi a possibilidade das estações ficarem seguras pelo período de medição pretendido. Para isso buscou-se dois locais nas quadras de interesse que permitissem a colocação das estações e oferecessem segurança a elas.

Na Bela Vista, a área de abrigo da estação foi o térreo de um dos edifícios (o edifício Siena) localizado na quadra circundada pelas vias: Rua São Carlos do Pinhal, Rua Pamplona, Alameda Ribeirão Preto e Alameda Campinas. O único local permitido para a colocação da estação foi abaixo de uma pérgola. Não foi o local desejado para o estudo, pois era sabido que as pérgolas influenciariam nos dados de radiação global, mas foi na quadra escolhida e era seguro, fatores que pesaram na decisão de mantê-la no local (Figuras 24 a 27).

- Área de estudo
- - - Área de influência

Figura 24 - Foto aérea da quadra onde foi colocado o equipamento de medição na Bela Vista
Fonte: www.googlemaps.com (outubro, 2012)

Figura 25 - Bela Vista: localização da estação meteorológica
Fonte: www.googlemaps.com (maio, 2013)

Figura 26 - Bela Vista: localização da estação meteorológica.
Fonte: Autor (março, 2013)

Figura 27 - Bela Vista - Imagens com a lente grande angular (8mm) do ponto onde foi colocada a estação (abaixo da pérgola) e de um local ao lado, sem a pérgola.
Fonte: Autor (março, 2013)

Na Brasilândia, a área de abrigo da estação foi ao lado do estacionamento e do *playground* de uma instituição de caridade religiosa (Grupo Espírita Batuíra) localizada na quadra circundada pelas vias: Rua Jorge Pires Ramalho, Rua Bento Alves do Nascimento, Rua Marcelino Martins de Oliveira e Rua Cardeal Amarelo. O único local permitido para a colocação da estação foi ao lado da área de estacionamento, mas como ele é pouco utilizado durante a semana, foi pedido apenas que durante o período não estacionassem veículos próximos a estação, pois o calor do motor dos veículos poderia influenciar nos dados de temperatura do ar. (Figuras 28 a 31).

Figura 30 - Brasília: localização da estação meteorológica
Fonte: Autor (março, 2013)

Figura 31 - Brasília - Imagens com a lente com a lente grande angular (8mm) do ponto onde foi colocada a estação
Fonte: Autor (março, 2013)

3.3. Modelagem das áreas de estudo no ENVI-met 4.0 (*preview*)

A modelagem para ajuste da curva do modelo e calibração para o clima de São Paulo foi feita nas áreas de estudo da Brasilândia e Bela Vista com o modelo ENVI-met 4.0 (*preview*), durante o estágio de pesquisa no *Environmental Modelling Group (Geoinformatik/EMG)* do *Geographisches Institut da Johannes Gutenberg Universität Mainz*, em Mainz, Alemanha, com a supervisão do Prof. Michael Bruse, autor do modelo, e sua equipe.

Algumas pesquisas brasileiras de avaliação de microclimas urbanos em arquitetura e urbanismo já utilizaram o ENVI-met e mostraram algumas limitações do modelo, principalmente no que se refere ao ajuste da curva de temperatura do ar para o clima tropical. Segundo Brandão (2009), o modelo apresentou limitações quanto ao tamanho máximo da área 3D e também ao tamanho da malha, o que dificultou o desenho preciso dos edifícios e das distâncias entre eles. Já a pesquisa de Nakata (2010), além dos pontos observados por Brandão (2009), demonstrou diferenças expressivas entre dados medidos e simulados pelo ENVI-met, além de dificuldades quanto à impossibilidade de pausar a simulação e a capacidade computacional exigida.

O estágio no exterior proporcionou a oportunidade de esclarecimento de tais dificuldades. Durante o estágio, foi utilizada a prévia da versão 4.0 do ENVI-met para rodar as simulações. Nesta versão é possível a especificação de muitos componentes dos edifícios, como vidros, paredes, pisos e tetos, e também de pavimentos para as áreas urbanas. É possível também desenhar aberturas nos edifícios, bem como elevar o edifício do térreo, solução adotada em muitos edifícios do período modernista no Brasil. Essa inovação foi possível através do uso da plataforma 3D para o desenho do modelo.

Neste estudo também foi utilizada a ferramenta de edição e criação de materiais e a simulação forçada simples (*simple forcing*), que será descrita mais adiante, em que o modelo é alimentado pelos valores de temperatura e umidade a partir de valores medidos, por exemplo.

O primeiro passo para se iniciar a simulação é determinar a base para a inserção da área que será estudada. Para isso é preciso entrar no ícone *Spaces* e editar o ícone *Basic Settings, New area -> Change or create model domain*. A Figura 32 mostra imagem do editor com os dados utilizados para o modelo da Bela Vista.

Figura 32 - Configuração inicial do modelo da Bela Vista no ENVI-met

Por se tratar de um modelo tridimensional, na opção *Grid size and structure in main area* é preciso se determinar a dimensão de grade, que é uma base auxiliar para a inserção da área, em três eixos. No caso da Bela Vista foi escolhido um tamanho de 3m x 3m x 3m, pois as calçadas do local têm, em média, 3m. O edifício mais alto tem 84m; portanto, adotou-se a grade vertical de 3m e uma estrutura de geração de grade vertical telescópica resultando em uma altura total até a borda do modelo de 174,66m, distância suficiente entre o topo do edifício e o topo do modelo, sendo que a altura total do modelo tem que ter pelo menos 2 vezes a altura do edifício mais alto.

O “*telescoping*” é um método de geração de grade vertical onde a altura do modelo aumenta de acordo com um fator telescópico, no caso da Bela Vista usou-se o valor de 7%. Neste método pode-se escolher a partir de qual altura do modelo o fator telescópico será aplicado. Os ajustes dos valores do fator telescópico e da altura de início do mesmo são testados até que se obtenha um valor adequado de altura total do modelo, propiciando espaço suficiente entre o topo do edifício e o topo do modelo.

Tanto o ajuste de altura total do modelo quanto da borda do modelo pode ser acompanhado pelo ícone *'tools' -> "model inspector"*, que faz uma inspeção no modelo mostrando como ele está se comportando quanto às dimensões totais. No caso do modelo Bela Vista o *"model inspector"* foi uma boa ferramenta para ajustar o quanto seria necessário ter de borda; neste caso, apenas 5 grades de 3m já se mostraram suficientes. Os materiais da grade de aninhamento (*nesting grid*) foram selecionados para serem 50% asfalto e 50% concreto com características físicas do pavimento local, para se aproximar do tecido urbano no entorno do modelo. A Figura 33 mostra imagem do *"model inspector"* para o modelo da Bela Vista.

Figura 33 - Ferramenta de inspeção do modelo da Bela Vista no ENVI-met

No modelo Brasilândia, no campo *Grid size and structure in main area*, a proporção da grade, em três eixos, também foi de 3m x 3m x 3m. O edifício mais alto tem 11m de altura, adotou-se uma estrutura de geração de grade vertical

equidistante, resultando em uma altura total até a borda do modelo de 58,50 m, distância suficiente entre o topo do edifício e ao topo do modelo, sendo a altura total maior que 2 vezes a altura do edifícios mais alto. Abaixo, segue imagem do editor *Basic Setings, New area -> Change or create model domain* para o modelo da Brasilândia (Figura 34).

Change or create model Domain

Number of grids and nesting properties

Model type: 2.5D Model

Main model area:

x-Grids: 172 y-Grids: 125 z-Grids: 20

Nesting grids around main area:

Nr of nesting grids: 4

Set soil profiles for nesting grids

Soil A: Asphalt Road

Soil B: Sao Paulo

Grid size and structure in main area

Size of grid cell in meter:

dx= 3.00 dy= 3.00 dz= 3.00 (base height)

Method of vertical grid generation:

☒ equidistant (all dz are equal except lowest grid box)

☐ telescoping (dz increases with height)

Telescoping factor (%): 0.00

Start telescoping after height (m): 0.00

Geographic Properties

Model rotation out of grid north: -42.50

Location on earth

Name of location: Sao Paulo/Brazil

Position on earth:

Latitude (deg. +N, -S): -23.33

Longitude (deg. -W, +E): -46.38

Reference time zone:

Name: GMT-3

Reference longitude: -45.00

Georeference

Co-ordinate of lower left grid

x-value: -45.00

y-value: 0.00

Reference system: <plane>

Reference level above sea level for DEM=0: 0.00

Model area description: Brasilandia

Create new area

Apply changes

Cancel

Figura 34 - Configuração inicial do modelo da Brasilândia no ENVI-met

O modelo Brasilândia foi ajustado para ter, de borda, apenas 4 células de grade de 3m, pois este valor já se mostrou suficiente quando verificado no *model inspector*, ferramenta que avalia se as distâncias das bordas e da altura do modelo estão adequadas para a simulação. Os materiais da grade de aninhamento foram selecionados para ser 50% asfalto e 50% concreto com características físicas do pavimento local. Abaixo, imagem do “*model inspector*” para o modelo da Brasilândia (Figura 35).

Figura 35 - Ferramenta de inspeção do modelo da Brasília no ENVI-met

O modelo ENVI-met 4.0 *preview* apresenta como uma das novas ferramentas a de edição dos materiais a serem empregados, tanto nas edificações quanto nos pavimentos, solos e demais superfícies. Com esta nova ferramenta chamada de *DB Manager* ou *Database Manager*, pode-se editar um material já existente no banco de dados do modelo ou criar um novo. Os dados de entrada para cada material são: espessura, coeficiente de absorção, de transmissão, de reflexão (albedo) e de emissividade, calor específico, condutibilidade térmica e densidade.

Para as duas simulações, tanto da Brasília quanto da Bela vista foram criados no *DB Manager* materiais com características térmicas compatíveis às que se observaram em ambas as áreas. Houve grande dificuldade em se encontrar propriedades térmicas de materiais utilizados no Brasil, principalmente para os

asfaltos da cidade de São Paulo, por isso para alguns materiais utilizaram-se fontes da literatura internacional.

Outro ponto a ser observado é que para dados de albedo dos materiais foi considerada uma estimativa entre os valores de albedos de todos os materiais daquela categoria como, por exemplo, albedos das paredes ou albedos dos telhados, bem como outras características térmicas. Assim, adotaram-se as mesmas propriedades térmicas para os materiais de paredes de todos os edifícios de uma área, simplificando, assim, o modelo, já que por se tratar de uma área urbana extensa, não poderia conter detalhes individuais dos edifícios.

Na Figura 36 apresenta-se o exemplo de como foi utilizado o editor de materiais para as paredes. Além das paredes o *DB Manager* é a ferramenta para edição de: solos, perfis de solo, vegetação (2D e 3D), fontes de poluição e dos materiais (sem estar vinculados a um objeto, como parede ou solo). O exemplo abaixo é das paredes dos edifícios que foram utilizadas para as simulações tanto da Bela Vista quanto da Brasilândia e seus componentes, como tijolo e rebocos e a sua espessura. Nas Figuras 36 a 38 é possível observar as propriedades térmicas do tijolo e dos rebocos obtidas em Oke (1987) e Frota; Schiffer (2012).

Figura 36 - Edições das dimensões e componentes da parede de tijolos

Wall/Material		Material	
<div> <div>[B4] brick_brazil</div> <div>[P1] plaster</div> <div>[B8] Brick 20 cm</div> <div>[P1] plaster</div> </div>		Key	Value
		Default Thickness	0.20000
		Absorption	0.65000
		Transmission	0.00000
		Reflection	0.35000
		Emissivity	0.90000
		Specific Heat	1005.00000
		Thermal Conductivity	0.91000
		Density	1700.00000
		Extra ID	0

Figura 37 - Edição das propriedades térmicas do tijolo

Wall/Material		Material	
<div> <div>[B4] brick_brazil</div> <div>[P1] plaster</div> <div>[B8] Brick 20 cm</div> <div>[P1] plaster</div> </div>		Key	Value
		Default Thickness	0.02500
		Absorption	0.50000
		Transmission	0.00000
		Reflection	0.50000
		Emissivity	0.85000
		Specific Heat	754.00000
		Thermal Conductivity	0.85000
		Density	1800.00000
		Extra ID	0

Figura 38 - Edição das propriedades térmicas do reboco

Figura 39 - Edições das dimensões e componentes da laje de concreto

As propriedades térmicas dos materiais que compõem a laje de concreto (Figuras 39 a 42) foram obtidas de Frota; Schiffer (2012), os dados de albedo foram definidos com base na média dos valores para as coberturas nas áreas de estudo. O tipo de cobertura, laje de concreto, foi a de maior predominância nas duas áreas estudadas.

Wall/Material		Material	
<div> <div>[CS] Concrete slab</div> <div>[PR] plaster roof</div> <div>[CR] concrete: reinfor</div> <div>[P1] plaster</div> </div>		Key	Value
		Default Thickness	0.02500
		Absorption	0.65000
		Transmission	0.00000
		Reflection	0.35000
		Emissivity	0.90000
		Specific Heat	650.00000
		Thermal Conductivity	0.50000
		Density	1500.00000
		Extra ID	0

Figura 40 - Edição das propriedades térmicas da manta asfáltica da cobertura

Wall/Material		Material	
<div> <div>[CS] Concrete slab</div> <div>[PR] plaster roof</div> <div>[CR] concrete: reinfor</div> <div>[P 1] plaster</div> </div>		Key	Value
		Default Thickness	0.10000
		Absorption	0.80000
		Transmission	0.00000
		Reflection	0.20000
		Emissivity	0.90000
		Specific Heat	1005.00000
		Thermal Conductivity	1.75000
		Density	2400.00000
		Extra ID	0

Figura 41 - Edição das propriedades térmicas da laje de concreto

Wall/Material		Material	
<div> <div>[CS] Concrete slab</div> <div>[PR] plaster roof</div> <div>[CR] concrete: reinfor</div> <div>[P 1] plaster</div> </div>		Key	Value
		Default Thickness	0.02500
		Absorption	0.50000
		Transmission	0.00000
		Reflection	0.50000
		Emissivity	0.85000
		Specific Heat	754.00000
		Thermal Conductivity	0.85000
		Density	1800.00000
		Extra ID	0

Figure 42 - Edição das propriedades térmicas do reboco da parte inferior da laje de concreto

Os pavimentos ou perfis de solo utilizados para a simulação das áreas de estudo também foram baseados na maior ocorrência do mesmo, por tipo de pavimento. No interior das quadras na Bela Vista, foi utilizado um piso com características térmicas do arenito pela maior ocorrência da pedra Mineira no local, e, nas calçadas, o gnaisse, por uma maior ocorrência da pedra Miracema no local; nas ruas foi utilizado o mesmo tipo de asfalto em ambas as áreas. Na Brasilândia, tanto os miolos de quadra quanto as calçadas foram simulados como arenito.

Na edição dos pavimentos é necessária a entrada de dados de solo até uma profundidade de 450 cm. O modelo tem um default de materiais, mas também é possível a criação de novos materiais para compor o pavimento. No pavimento utilizado para a simulação do interior das quadras na Bela Vista e na Brasilândia foi

utilizado o Arenito com propriedades alteradas para se aproximar ao da pedra mineira, muito frequente nos miolos de quadra das áreas estudadas.

As propriedades térmicas das pedras arenito e gnaiss (Figuras 43 e 44) foram obtidas em Frota; Schiffer (2012) e dos asfaltos (Figuras 45 e 46) em Hellmann (2008).

Database-ID: [SP]
 Name: **Sao Paulo**
 Color:

Profile

Key	Value
z0 Roughness Length	0.01500
Albedo	0.40000
Emissivity	0.90000
ExtraID	0

Profile/Soil

[SP] Sao Paulo

- [MB] Arenito
- [MB] Arenito
- [ZB] Cement Concrete
- [ZB] Cement Concrete
- [ZB] Cement Concrete
- [TO] Clay
- [TO] Clay
- [TO] Clay
- [TO] Clay
- [TO] Clay
- [TO] Clay

Soil

Key	Value
Type of material	Artificial material
Water content at saturation	0.00000
Water content at field capacity	0.00000
Water content at wilting point	0.00000
Matrix potential	0.00000
Hydraulic conductivity	0.00000
Volumetric heat capacity	1.67000
Clapp & Hornberger Constant b	0.00000
Heat Conductivity	1.28000

Figura 43 - Edição das propriedades térmicas do arenito

Figura 44 - Edição das propriedades térmicas da gnaisse

Figura 45 - Edições dos componentes do perfil de solo na área asfaltada

Figura 46 - Edição das propriedades térmicas do asfalto (com gnaíse)

A especificação dos materiais ficou mais complexa, porém muito mais precisa na versão 4.0, pois o modelo faz os cálculos de transmissão de calor entre os espaços internos e externos dos edifícios, ou seja, o modelo considera a massa térmica dos edifícios para o cálculo de variáveis microclimáticas de áreas urbanas.

Após a edição dos materiais se iniciou o desenho das áreas a serem simuladas no ENVI-met -> Space (Figuras 47 a 52). Esta parte foi similar à versão 3.1 do ENVI-met, pois se optou por utilizar a plataforma 2D, mais fácil e rápida. A melhor maneira para o desenho do terreno é inserir uma figura bitmap em escala como base e, a partir dela, traçar os pontos da grade. Para facilitar o desenho no software a imagem foi rotacionada em 41° para a esquerda para que as quadras e ruas respeitassem os eixos do modelo. As figuras em 3D mostradas abaixo foram extraídas da ferramenta de visualização do modelo, chamada *Leonardo*.

Figura 47 - Layer “Edifícios” do modelo Bela Vista no ENVI-met

Figura 48 - Zoom do layer “Receptores” do modelo da Bela Vista no ENVI-met

Figura 49 - Modelo Bela Vista no ENVI-met em 3D extraída do *Leonardo*

Figura 50 - Layer “Edifícios” do modelo Brasília no ENVI-met

Figura 51 - Zoom do layer “Receptors” do modelo da Brasília no ENVI-met

Figura 52 - Modelo Brasília no ENVI-met em 3D extraída do *Leonardo*

Os dois pontos receptores, para onde serão gerados os resultados das simulações para a Brasilândia e Bela Vista, correspondem aos pontos da medição para ambas as áreas. Em seguida, foram inseridos os dados microclimáticos de entrada no *Project Wizard* do ENVI-met (*preview*) (Figura 53) como: dia, mês, ano e hora de início da simulação, bem como sua duração em horas, velocidade e direção do vento, rugosidade da área, temperatura atmosférica inicial, umidade específica a 2500 m do nível do ar e umidade relativa a 2m. Abaixo, têm-se as janelas com as seções do *Project Wizard* para os dados de entrada. Esta primeira é onde se coloca o arquivo com extensão .INX criado na ferramenta *Space*.

Figura 53 - Dados microclimáticos de entrada no Project Wizard do ENVI-met (*preview*)

Na segunda janela, é colocado o nome do arquivo e o local onde serão salvos os dados de saída. Na terceira janela, mostrada na Figura 54, é colocado o dia mês e ano de início da simulação, o horário de início, a quantidade de horas de simulação e os minutos de intervalo entre os dados de saída.

Figura 54 - Dados da simulação no Project Wizard do ENVI-met (preview)

Na quarta janela são colocados os dados meteorológicos básicos de entrada (Figura 55), como: velocidade do vento a 10m de altura, direção do vento (ambos os valores médios das condições iniciais obtidos das estações meteorológicas do INMET-Mirante Santana e IAG-Água Funda). A rugosidade determina o atrito entre as superfícies e o ar. O valor solicitado pelo modelo corresponde à rugosidade da superfície logo abaixo do anemômetro, neste caso, um pavimento liso de concreto, com rugosidade típica de 0,01 (FRANSCISCO, 2012). Os valores de temperatura do ar e umidade relativa iniciais neste caso não foi necessário a atualização, porque foi utilizada a ferramenta *simple forcing* nas simulações, onde os dados de temperatura e umidade relativa são colocados hora a hora; e, por fim, dado para umidade específica a 2500m do nível do mar, este obtido do aeroporto Campo de Marte pelo site da Universidade de Wyoming⁸, EUA, de acordo com Francisco (2012).

⁸ Disponível em: <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>. Acesso em: junho de 2013.

Figura 55 - Dados meteorológicos básicos de entrada no Project Wizard do ENVI-met (preview)

A quinta janela é para a colocação dos dados de entrada da ferramenta simple forcing uma nova ferramenta da versão do ENVI-met 4.0 (preview), onde é possível definir a variação diurna das condições da camada atmosférica. Há dois tipos de forcing: o simple forcing, em que a entrada de dados se dá apenas para temperatura do ar e umidade relativa do ar hora a hora ou o full forcing, em que podem ser colocados como entrada, hora a hora, mais dados climáticos, tais como: radiação solar, direção e velocidade do vento. A ferramenta forcing permite uma calibração muito melhor entre os dados medidos e simulados (HUTTNER; BRUSE, 2009). Todas essas melhorias no modelo contribuem para melhorar o trabalho desenvolvido por arquitetos e planejadores urbanos.

Em ambas as simulações, Bela Vista e Brasilândia, foi utilizado o simple forcing como ferramenta de simulação para se obter um resultado mais próximo entre dados medidos e simulados (Figuras 56 e 57). Para cada uma das simulações utilizou-se valores de temperatura do ar e umidade relativa, referentes a cada área em um período de tempo de 24 horas.

Os dados utilizados para o simple forcing foram obtidos nas medições da Brasilândia e Bela Vista do dia 26 abril de 2013, pois, de acordo com as estações de referência, do INMET Mirante de Santana e do IAG – Água Funda, essa foi a data com tempo mais estável, desde quando as medições nas duas áreas de estudo se iniciaram, em 06 de março de 2013.

Assim, têm-se os valores individuais, de cada uma das estações, como entrada de dados para as duas simulações das áreas reais.

Figura 56 - Configuration Editor e dos dados de entrada para o simple forcing na Bela Vista

Figura 57 - Configuration Editor e dos dados de entrada para o simple forcing na Brasilia

A sexta janela é a de demais dados meteorológicos e foi utilizada na simulação para ajuste da radiação solar no modelo (Figura 58). O ajuste da radiação solar no modelo foi feito com base nos valores de radiação global medido na estação INMET – Mirante Santana. Já para se obter os valores de radiação global que o modelo dava como padrão, foi necessário recorrer à versão 3.1 do modelo ENVI-met, na ferramenta radiation preview, na janela abaixo, pois ainda não está disponível ferramenta similar na versão 4.0 do modelo.

Figura 58 - Dados meteorológicos utilizados na simulação para ajuste da radiação solar

O ajuste de radiação solar para as simulações do estudo, teve como base os dados de nebulosidade e radiação solar global para o dia 26 de abril de 2013. Os valores de nuvens baixas = 1, nuvens médias = 1 e altas = 0, em oitavas (figura 59), foram obtidos através dos dados da estação do IAG – Água Funda, dados estes em décimos, mas transformados em oitavas de acordo com exigência do modelo.

Após a colocação dos valores de nebulosidade na versão 3.1 do modelo, foi feito um *preview* da radiação global, que teria que ser de 818 W/m² ao meio-dia para o dia 26 de abril de 2013, de acordo com valores obtidos na estação INMET – Mirante Santana. Para se chegar a esse valor de radiação global no *radiation preview* (figura 58), foi feito um ajuste de 1,1 no fator da radiação. E assim se chegou ao valor de 818 W/m² para radiação global no modelo.

As outras variáveis da janela de demais configurações meteorológicas (figura 59) foram mantidas como padrão: modelo de turbulência, e *lateral boundary conditions* (LBC), com os dados mostrados abaixo. A janela *lateral boundary*

conditions (LBC), apresenta valores pré-estabelecidos para as simulações com a ferramenta *forcing*, sendo assim, não se pode alterá-los com o uso desta ferramenta.

Figura 59 - Ajuste das demais configurações meteorológicas.

As demais janelas tiveram seus valores mantidos como padrão, exceto para os valores de condições iniciais de solo, onde foram utilizados valores de umidade de 15% (0-20 cm de profundidade), 25% (20-25 cm), 82% (50-200 cm), relativas à capacidade de campo, dados obtidos no site do Sistema Nacional de Dados Ambientais do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)⁹ para o município de São José dos Campos, distante 96 km de São Paulo, sendo o município mais próximo a São Paulo com estes dados disponíveis. A temperatura inicial do solo manteve-se constante a 18,6°C (291,76 K), valor obtido durante a medição na Bela Vista. Os modelos de transpiração e de absorção de gás carbônico (CO₂) mantiveram-se como padrão. Não houve estudo com poluentes nas simulações, portanto essa variável não foi incluída. Abaixo, tem-se um resumo das configurações que foram editadas para as simulações (Figura 60).

⁹ Disponível em: <<http://sinda.crn2.inpe.br/PCD/>>. Acesso em julho de 2014.

Figura 60 - Configuration Editor e dos dados de entrada para a simulação

Após essa etapa, abre-se o *ENVI-met V4 Default Config*, seleciona-se a simulação que será rodada, a ser carregada a no *Load Simulation*, depois se faz um teste da simulação em *Check Simulation*, que não demonstrou nenhum erro, e logo após foi só iniciar a simulação em *Run Simulation*. Os resultados da simulação poderão ser enfim obtidos.

3.4. Construção de cenários paramétricos para as simulações

Para os diferentes cenários, três tipologias de edifícios foram testadas: o bloco perimetral, o edifício lâmina e o edifício torre, ícone da arquitetura contemporânea; tentando manter valores próximos de volume construído e densidade populacional entre os cenários. As tipologias foram escolhidas por serem as mais recorrentes nas cidades contemporâneas.

Para cada tipologia foram desenhadas unidades habitacionais de 2 dormitórios com 58m² cada, seguindo as recomendações de “Diretrizes do desenho universal na habitação de interesse social no estado de São Paulo” (CDHU, 2010). A escolha pela habitação de interesse social foi uma decisão conjunta com o projeto *“Edificação e desenho urbano com adensamento e qualidade ambiental: habitação de interesse social na recuperação de áreas urbanas degradadas”*, no qual este trabalho se insere.

Duas tipologias, a torre e o bloco perimetral foram simulados na orientação 45° Norte, com o intuito de prover acesso solar também no inverno nas unidades habitacionais; a tipologia laminar foi simulada em 3 diferentes orientações: 1) Leste-Oeste, 2) Nordeste-Sudoeste e 3) Noroeste-Sudeste.

Em todos os cenários foram aplicados, como dados de entrada das simulações, os mesmos materiais para as ruas, edifícios e pavimentos, inclusive os mesmos valores de dados de entrada para a ferramenta “forcing” que foram utilizados na simulação de calibração do modelo na área da Brasilândia e da Bela Vista.

Os cenários foram criados com o intuito de terem valores de volume construído e densidade populacional aproximados, tendo como variável diferenças de desenho urbano, ou seja, diferenças tipológicas. Assim cada cenário apresentou as seguintes características:

a) Perímetro (figuras 61 e 62):

Quadro 2 – Características do cenário Perímetro

Perímetro	
Quantidade de edifícios	1 (100m x 100m)
Altura	8 andares (térreo comercial + 7 habitacionais)
Unidades Habitacionais	64 por andar + 12 no térreo, com 58m ² cada
Densidade populacional	1610 hab/ha
Volume construído	108.000 m ³ /ha

Figura 61 - Implantação 3D do cenário perímetro

Figura 62 - Implantação e planta-tipo do bloco perimetral

b) Torre (Figuras 63 e 64):

Quadro 3 – Características do cenário Torre

Torre	
Quantidade de edifícios	9 torres (quadra de 100m x 100m)
Altura	14 andares (térreo comercial + 13 habitacionais)
Unidades Habitacionais	4 por andar, com 58m ² cada
Densidade populacional	1638 hab/ha
Volume construído	105.921 m ³ /ha

Figura 63 - Implantação 3D do cenário torre

Figura 64 - Implantação e planta-tipo das torres

c) Lâminas (Figuras 65 e 66):

Quadro 4 – Características do cenário Lâmina

Lâminas	
Quantidade de edifícios	5 edifícios (quadra de 100m x 100m)
Altura	10 andares (térreo comercial + 9 habitacionais)
Unidades Habitacionais	10 por andar, com 58m ² cada
Densidade populacional	1575 hab/ha
Volume construído	118.888 m ³ /ha

Figura 65 - Implantação 3D do cenário lâmina

Figura 66 - Implantação e planta-tipo das lâminas

3.5. Modelagem dos diferentes cenários paramétricos no ENVI-met

As simulações dos cenários paramétricos seguiram os mesmos passos da simulação das áreas de estudo. Primeiro se criou a base para a inserção da área que foi simulada. Para isso foi preciso entrar no ícone *Spaces* e editar o ícone *Basic*

Setings, New area -> Change or create model domain. Para todos os cenários foram utilizados os mesmos valores nesta etapa, exceto os valores para a localização do Norte, onde nos cenários torre, perímetro e lâmina B são -45°, lâmina A 0° e lâmina C 45°. Abaixo a Figura 67 mostra a imagem do editor com os dados utilizados para os cenários paramétricos:

Figura 67 - Configuração inicial do modelo para os cenários paramétricos no ENVI-met

Por se tratar de um modelo tridimensional, na opção *Grid size and structure in main area* é preciso se determinar a proporção de grade, que é uma base auxiliar para a inserção da área, em três eixos. No caso dos cenários paramétricos foi escolhida uma proporção de 5m x 5m x 3m, respeitando a largura das ruas adotadas como 10m e simplificando o modelo para que a simulação não ficasse com muitos dados e, portanto muito longa. A grade vertical de 3m manteve-se como nos cenários anteriores

Tanto o ajuste de altura total do modelo quanto da borda do modelo pode ser acompanhado pelo ícone *'tools' -> "model inspector"*, que faz uma inspeção no modelo mostrando como ele está se comportando quanto às dimensões totais. No caso do modelo para os cenários paramétricos o *"model inspector"* foi uma boa ferramenta para ajustar o quanto seria necessário ter de borda; neste caso, apenas 2 grades de 3m já se mostraram suficientes. Os materiais da grade de aninhamento

(*nesting grid*) foram selecionados para serem 50% pavimento de concreto e 50% de asfalto, para que não houvesse influência de solo exposto no tecido urbano no entorno do modelo. Abaixo, a Figura 68 mostra imagem do “*model inspector*” para os cenários paramétricos:

Figura 68 - Ferramenta de inspeção do modelo para os cenários paramétricos no ENVI-met

Para as simulações dos cenários paramétricos, foram utilizados materiais do *DB Manager*, ferramenta de edição de materiais, já utilizados nas simulações das áreas de estudo. As paredes foram de tijolo cerâmico com argamassa, as coberturas em laje de concreto, o pavimento das vias de asfalto, as calçadas bem como o pavimento das quadras foram de concreto cinza (PG). A imagem do layer de solos do ENVI-met para os cenários paramétricos encontra-se na Figura 69.

Figura 69 - Zoom do layer “Soil and Surface” do modelo para os cenários paramétricos no ENVI-met

Após a edição dos materiais se iniciou o desenho das áreas a serem simuladas no ENVI-met -> *Space*. Esta parte foi similar à versão 3.1 do modelo, pois se optou por utilizar a plataforma 2D, mais fácil e rápida. As Figuras 70 a 72 em 3D foram extraídas da ferramenta *Leonardo* de visualização do modelo.

Figura 70 - Layer “Edifícios” e modelo 3D do cenário perímetro no ENVI-met 4.0

Figura 71 - Layer “Edifícios” e modelo 3D do cenário torre no ENVI-met 4.0

Figura 72 - Layer “Edifícios” e modelo 3D do cenário lâmina no ENVI-met 4.0

Em seguida, foram inseridos os dados microclimáticos de entrada no Project Wizard do ENVI-met 4.0 (*preview*) como: dia, mês, ano e hora de início da simulação, bem como sua duração em horas, velocidade e direção do vento, rugosidade da área, temperatura atmosférica inicial, umidade específica a 2500 m do nível do mar e umidade relativa a 2m. Todos os dados foram os mesmos que os utilizados nas simulações das áreas de estudos, exceto os valores para velocidade do vento inicial.

Após algumas simulações com velocidades do ar em 1m/s e 0,8 m/s, optou-se por utilizar valores de velocidade do vento de 0,5 m/s (valor mínimo utilizado em

simulações com o modelo)¹⁰, pois valores acima de 0,5 m/s estavam influenciando muito no resultado da simulação, fazendo com que os resultados de temperatura do ar fossem quase que na sua totalidade por trocas convectivas.

Em todas as simulações dos cenários paramétricos foi utilizado o *simple forcing* (Figura 73) como ferramenta de simulação. Os valores utilizados como dados de entrada para temperatura do ar e umidade relativa foram os mesmos para todos os cenários. Estes valores foram obtidos pela média entre as duas temperaturas e umidades do ar medidas nas áreas de estudo (Brasilândia e Bela Vista)¹¹.

Os dados utilizados para se fazer as médias foram obtidos nas medições da Brasilândia e Bela Vista dos dias 26 a 28 de abril de 2013, pois, de acordo com as estações de referência, do INMET Mirante de Santana e do IAG – Água Funda, esse foi o período medido com tempo mais estável, desde quando as medições nas duas áreas de estudo se iniciaram, em 06 de março de 2013.

Figura 73 - Configuration Editor e dos dados de entrada para o *simple forcing*

¹⁰ Conforme orientação do Prof. Helge Simon, durante o estágio no *Environmental Modelling Group (Geoinformatik/EMG)* do *Geographisches Institut da Johannes Gutenberg Universität Mainz*, em Mainz, Alemanha.

¹¹ Conforme orientação do Prof. Michael Bruse, durante o estágio no *Environmental Modelling Group (Geoinformatik/EMG)* do *Geographisches Institut da Johannes Gutenberg Universität Mainz*, em Mainz, Alemanha.

Após essa etapa, abre-se o *ENVI-met V4 Default Config*, seleciona-se a simulação que será rodada, a ser carregada no *Load Simulation*, depois se faz um teste da simulação em *Check Simulation*, que não demonstrou nenhum erro, e logo após foi só iniciar a simulação em *Run Simulation*. Os resultados da simulação poderão ser enfim obtidos.

4 Análise dos Resultados

4 Análise dos Resultados

Neste capítulo constarão as análises dos resultados da pesquisa. Uma vez concluídas as simulações microclimáticas da área de estudo e ajustadas as curvas entre dados medidos e calculados, parte-se para as simulações paramétricas pretendidas. Com o auxílio de tabelas e gráficos, parte-se para o estabelecimento de relações visando à quantificação do efeito da densidade construída sobre o microclima urbano, considerando os possíveis padrões de ocupação de quadra, com diferentes tipologias de edifícios: o bloco perimetral, o edifício lâmina e o edifício torre.

4.1 Medições de campo

4.1.1. Tabulação e tratamento dos dados levantados

Os dados levantados foram de temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$), umidade relativa do ar (%), temperatura de globo ($^{\circ}\text{C}$) com globo negro, radiação solar (W/m^2) e velocidade do vento (m/s) das duas áreas de estudo: Bela Vista e Brasilândia no período entre o dia 06 de março de 2013 até o dia 29 de abril de 2013. Houve problemas técnicos com a estação meteorológica localizada na Brasilândia entre os dias 01 e 08/04/13, 12 e 15/04/13, 18 e 23/04/13; e na Bela Vista entre os dias 14 e 15/04/13 e 18 e 22/04/13; entretanto, as interrupções não interfeririam no andamento do trabalho.

Ao se analisar os dados pluviométricos das estações do INMET – Mirante Santana e do IAG – Água Funda, para este período de 06 de março de 2013 até o dia 29 de abril de 2013, não houve precipitações nos dias: 30 e 31/03/2013; 6, 9, 10, e 15 a 28/04/2013. Portanto os dias nos quais as condições climáticas estavam mais estáveis por um período mais longo de tempo foram os três últimos dias de medição completos, de 26 a 28/04/13.

A escolha do dia 27/04/13 como a data em que a média dos valores de temperatura e umidade do ar medidos nas duas áreas fosse utilizada como dados de entrada na simulação forçada simples, *simple forcing*, para os cenários paramétricos, foi devido a este ser o 2º dia da simulação, e, portanto, o dia em que o modelo apresentaria maior estabilidade nos dados de saída.

Ao analisar os dados de temperatura do ar medidos (figura 74), observa-se que a temperatura do ar na Brasilândia tem maior amplitude do que a Bela vista

durante todo o período medido. Isso se deve provavelmente à menor incidência de radiação no solo na Bela Vista se comparada à Brasilândia, pelo sombreamento dos edifícios. Já a maior temperatura na Bela Vista durante a noite deve-se provavelmente à maior massa construída se comparada a Brasilândia, que acumula o ganho de calor obtido durante o dia com a radiação solar, mantendo o ar mais quente do que a Brasilândia durante a noite.

Ao analisar a Figura 76, observa-se maior amplitude da temperatura de globo na Brasilândia se comparada a Bela Vista provavelmente devido ao maior tempo de exposição à radiação solar na área da Brasilândia se comparada à área da Bela Vista, que por sua vez apresenta maior sombreamento possivelmente relacionado à presença de edifícios altos e à pérgola que obstrui parte da abóbada celeste. Já os valores de radiação solar no horário de pico são semelhantes nas duas áreas, sendo em torno de 800 a 1000 W/m² para o período do ano estudado e para os dias sem nebulosidade (Figura 77). Os dados de radiação solar para a Bela Vista variam mais do que os da Brasilândia possivelmente devido à localização da estação estar abaixo de uma pérgola e rodeada de edifícios altos, produzindo sombras no sensor em alguns períodos do dia e ao sombreamento produzido pelos edifícios.

Ao se analisar o gráfico de velocidade dos ventos nas duas áreas (Figura 78), observa-se que a Brasilândia tem velocidades mais altas de vento do que a Bela Vista, o que pode estar relacionado ao fato da área de medição na Brasilândia estar situada em um terreno mais elevado, há 853m do nível do mar e sem obstruções altas, maiores do que 9m no seu entorno. Já a área da de medição na Bela Vista localiza-se em uma área densamente construída com edifícios no seu entorno que medem em média 45m de altura e em um terreno mais baixo que a Brasilândia, 822m do nível do mar, uma diferença de 31m na altitude, somada ao fato da Brasilândia ter no seu entorno edifícios mais baixos.

Figura 74 - Temperatura do ar nas duas áreas de medição: Bela Vista e Brasilândia

Figura 75 - Umidade relativa do ar nas duas áreas de medição: Bela Vista e Brasilândia

Figura 76 - Temperatura de globo nas duas áreas de medição: Bela Vista e Brasília

Figura 77 - Radiação solar nas duas áreas de medição: Bela Vista e Brasília

Figura 78 - Velocidade do vento nas duas áreas de medição: Bela Vista e Brasilândia

4.1.2 Ajuste dos valores dos dados para uso na ferramenta *simple forcing*

Para a execução da simulação utilizando a ferramenta *simple forcing* foi necessário determinar os valores de temperatura do ar (°C) e umidade relativa do ar (%) que seriam utilizados como dados de entrada na ferramenta para a simulação dos cenários paramétricos. Para se chegar a um valor que fosse comum às simulações, tanto da Bela Vista quanto da Brasilândia, foi utilizada a média dos valores de temperatura do ar e umidade relativa do ar de ambas as medições no período escolhido, de 26/04 a 28/04/13 (Figuras 79 e 80).

As simulações com os mesmos dados de entrada de temperatura do ar e umidade relativa do ar nas duas áreas evidenciaram o comportamento do modelo ENVI-met 4.0 (*preview*) para ambas as situações: alta densidade construída, na Bela Vista e baixa densidade construída, na Brasilândia.

Figura 79 - Valores médios da temperatura do ar no período de 26/04 a 28/04/13

Figura 80 - Valores médios da umidade relativa do ar no período de 26/04 a 28/04/13

4.1.3 Calibração do modelo entre dados medidos e simulados

Ao se comparar os dados medidos com os dados simulados, a 1,5m do chão, para o dia escolhido, observou-se que o modelo ENVI-met 4.0 (*preview*), com o uso da ferramenta *simple forcing*, apresentou resultados muito próximos aos medidos em todas as variáveis analisadas.

Ao se comparar os valores medidos e simulados da variável temperatura do ar para a Bela Vista, a 1,5m do chão (Figura 81), observa-se que a curva simulada é mais achatada do que a medida. No dia 26/04 as maiores diferenças entre dados medidos e simulados ocorreram às 12h, com 3,2°C a menos nos dados simulados e às 8h, com 2,4°C a mais nos dados simulados.

No dia 27/04, até às 13h, ainda para a Bela Vista, as maiores diferenças nos resultados ocorreram às 10h, com 2,9°C a menos nos dados simulados, às 12h, com 2,9°C também a menos nos dados simulados.

Ao se comparar os valores medidos e simulados da variável temperatura do ar para a Brasilândia, a 1,5m do chão (Figura 82), também se observa que a curva simulada é mais achatada do que a medida. No dia 26/04 as maiores diferenças entre dados medidos e simulados ocorreram às 5h, com 2,5°C para mais nos dados simulados, às 11h, com 2,5°C para menos nos dados simulados e às 23h com 1,3°C para mais nos dados simulados.

No dia 27/04, até às 13h, ainda para a Brasilândia, as maiores diferenças nos resultados ocorreram, às 4h com 1,6°C para mais nos dados simulados e às 11h com 3,3°C para menos nos dados simulados.

Assim, pode-se concluir que mesmo utilizando o *simple forcing* com dados medidos para as duas áreas de estudo, o modelo pode apresentar diferenças na temperatura do ar de até 3,3°C, mas ainda assim a curva de temperatura do ar para as duas áreas obtiveram bom desempenho, para este caso estudo específicas, no clima da cidade de São Paulo e com essas tipologias de edifícios.

Ao se comparar os dados simulados com os medidos para temperatura do ar a 1,5m do chão, quando se coloca na mesmo gráfico os dados da Bela Vista e da Brasilândia, observa-se que houve pouca diferença entre os valores simulados e medidos. A curva de dados simulados para as duas áreas (figura 83) apresentou o mesmo comportamento da curva de dados medidos para as duas áreas (figura 84). Houve apenas um achatamento maior da curva nos dados simulados se comparado

ao medido, mas o comportamento da curva para alta densidade e baixa densidade foi correto. Com valores mais baixos de temperatura do ar durante a noite e valores mais altos de temperatura do ar durante o dia para a Brasilândia, região mais periférica e com baixa densidade construída.

Os dados de radiação solar global apresentaram comportamentos semelhantes entre dados medidos e simulados para a Bela Vista a 1,5m do chão (Figura 85), com a presença de picos e vales periódicos no período diurno nas duas situações, medida e simulada, sendo que os valores simulados apresentaram diferenças maiores nos picos, para o dia 26/04, com 86 W/m² a mais do que o medido para às 12h, e no dia 27/04 42 W/m² a mais do que o medido para Às 12h. Assim, os dados de radiação global para a Bela Vista tiveram resultados muito favorável, com variações desprezíveis.

Já os dados simulados de radiação solar global na Brasilândia, a 1,5m do chão (Figura 86) apresentou um comportamento não favorável com relação aos valores da radiação. O desenho da curva simulada ficou muito próximo do medido, mas os valores apresentaram diferenças em torno de 200 W/m². Esse comportamento talvez seja devido ao fato do ajuste da radiação ter sido feito em uma versão anterior do modelo (versão 3.1) para depois ser aplicada no modelo atual (versão 4.0)

Figura 81 - Dados medidos e simulados da temperatura do ar na Bela Vista

Figura 82 - Dados medidos e simulados da temperatura do ar na Brasilândia

Figura 83 - Dados simulados da temperatura do ar na Bela vista e Brasília

Figura 84 - Dados medidos da temperatura do ar na Bela Vista e Brasília

Figura 85 - Valores medidos e simulados da radiação solar na Brasilândia

Figura 86 - Valores simulados e medidos da radiação solar na Bela Vista

Abaixo, têm-se as imagens geradas pelo Leonardo, uma ferramenta gráfica do modelo ENVI-met 4.0 (*preview*), em que se pode observar a distribuição dos valores de temperatura do ar nas áreas simuladas para o período mais quente do dia 26/04, às 15h.

A velocidade do vento utilizada como dado de entrada foi de 1,6 m/s para os modelos da Bela vista e Brasilândia, por ser a média dos valores que estavam sendo medidos nas estações INMET – Mirante Santana e IAG – Água Funda no início das simulações. Observa-se no modelo a influência do vento inicial a 1,6m/s, aonde nas bordas do modelo, na direção de onde ele vem, há um aumento da temperatura, devido ao efeito de convecção, no centro do modelo este efeito já está mais atenuado (Figura 87).

Os receptores, pontos utilizados para obtenção de dados de comparação entre os dados simulados com os dados medidos, localizam-se no centro das imagens e correspondem aos locais de instalação das estações meteorológicas.

Figura 87 - Valores de temperatura do ar nas áreas simuladas (Brasília e Bela Vista) para o período mais quente do dia 26/04 , às 15h.

O modelo respondeu bem ao ajuste da curva entre dados medidos e simulados mostrando-se confiável para as simulações com os cenários paramétricos.

4.2 Simulação dos cenários paramétricos

Ao se analisar a temperatura do ar para os cenários paramétricos a 1,5m do chão, observaram-se maiores diferenças no período noturno entre o cenário torre e o perímetro (Figura 88). O cenário perímetro mostrou ser 1,4°C mais quente, às 2h do dia 27/04 e 1,3°C mais quente às 5h do dia 28/04 do que o cenário torre. Durante o dia também as maiores diferenças de temperatura estão entre esses dois cenários, mas com valores não tão altos, a maior diferença encontrada foi às 13h nos 3 dias de simulação, com valores de 0,7°C para mais no cenário perímetro.

A maior diferença de temperatura do ar entre o cenário torre e o cenário perímetro ocorreu durante a noite, provavelmente devido ao fato do cenário torre apresentar maior superfície de contato com o meio externo e com isso maior dissipação, por convecção e radiação, do calor acumulado pelas superfícies dos edifícios durante a noite. Já a diferença de temperatura do ar entre os dois cenários durante o dia, mesmo que pequena, pode ser devido ao sombreamento mútuo entre os edifícios torres o que provavelmente diminuiu o ganho de calor por radiação solar, neste cenário, durante o dia.

Os cenários lâminas apresentaram temperaturas do ar entre os valores observados nos cenários perímetro e torre. Há maiores diferenças entre os cenários lâmina A e lâmina C no período noturno, aonde a diferença chega a 0,1°C às 21h no dia 26/04, 0,2°C às 22h no dia 27/04 e 0,3°C às 23h no dia 28/04, para mais no cenário lâmina A.

Nenhuma das curvas apresentou inversão nos resultados de temperatura do ar, entre um cenário e outro, durante o período simulado. Provavelmente por apresentarem a mesma densidade construída, ou massa construída e com isso, não apresentar maior acúmulo de calor no período da noite de um cenário para outro.

Os valores máximos de temperatura do ar, a 1,5m do chão, nas quadras do meio dos cenários analisados ocorreu às 15hs nos 3 dias simulados. No cenário perímetro esta temperatura foi de 23,7°C, no cenário lâmina C foi de 23,5°C, no cenário lâmina B foi de 23,4°C, no cenário lâmina A foi de 23,4°C e no cenário torre foi de 23,1°C.

Assim, dentre os cenários simulados o cenário torre foi o que obteve o menor valor de temperatura do ar, a 1,5m do chão e para o período do ano simulado. Essa

temperatura pode chegar a ser 0,6°C mais fria que o cenário perímetro no período mais quente do dia, às 15h e até 1,4°C mais fria períodos noturnos simulados.

A diferença de temperatura nos cenários paramétricos provavelmente é devido ao maior ou menor sombreamento ocasionado pela geometria do arranjo dos edifícios e maior superfície de contato dos edifícios com meio externo. Portanto, para este estudo o ganho de calor por radiação e a perda por convecção são, provavelmente, fatores preponderantes ao aumento e a perda de calor em cada cenário.

Ao se analisar a média dos valores de temperatura radiante média para a quadra do meio dos cenários simulados a 1,5m do chão (Figura 89), observou-se que o cenário lâmina A apresentou o pico da média da temperatura radiante média às 12h nos 3 dias simulados, com valor de 45°C, o cenário torre, pelo contrário, apresentou 2 picos de temperatura radiante média, um pela manhã e outro a tarde, no valor de 42°C tanto às 10h quanto às 14h para os 3 dias simulados.

O cenário lâmina C apresentou uma curva crescente ao longo do dia de temperatura radiante média, onde o ápice foi às 14h em todos os 3 dias, com valores em torno de 45°C. O cenário perímetro apresentou uma curva crescente, menos acentuada que o cenário lâmina C, com ápice às 14h, em torno de 43°C. Já o cenário lâmina B apresentou curva com 2 ápices, como no cenário torre, um de manhã e outro a tarde, mas com valores de temperatura nos ápices não tão elevadas, de 40°C às 10h e 39°C às 14h.

Os valores médios de temperatura radiante média para a quadra do meio dos cenários, a 1,5m do chão, mostram o impacto da geometria dos arranjos dos edifícios nos cenários analisados. Sendo que, para cada cenário, a radiação solar impacta de uma maneira na resultante das temperaturas radiantes médias na altura do pedestre. Sendo que o cenário onde os valores das médias foram menores foi o lâmina B (mas em 2 períodos do dia) e o cenário com maiores médias temperaturas radiantes médias foram o lâmina A e o lâmina C.

Figura 88 - Simulação da temperatura do ar nos cenários paramétricos lâmina, perímetro e torre

Figura 89 - Simulação da temperatura radiante média nos cenários paramétricos lâmina, perímetro e torre

Os valores médios de fator de visão de céu para a quadra do meio há 1,5m do piso (Quadro 5), mostrou que o cenário mais favorável dentre os 3 analisados foi o perímetro com 0,23 de fator de visão de céu médio, seguido dos cenários lâminas com 0,22 e por último o cenário torre com 0,17.

Quadro 5 - Fator de visão do céu (SVF) médio

	Lâmina A	Lâmina B	Lâmina C	Perímetro	Torre
Fator de Visão de Céu médio (0 a 1)	0.22	0.22	0.22	0.24	0.17

As imagens geradas pelo Leonardo ilustram a temperatura do ar para os cenários paramétricos, no dia 27/04, às 15h, horário mais quente do dia, e a 1,5m do piso, como nas outras análises. O cenário torre apresenta menor temperatura do ar em toda a área se comparado aos outros cenários, e o cenário perímetro apresenta maior temperatura do ar se comparado aos outros cenários. Dentre os cenários lâminas, o cenário lâmina B apresenta menor temperatura do ar.

Ao analisar o cenário lâmina A, observam-se ventos canalizados predominantemente nas vias sentido N-S no cenário, a temperatura do ar mais alta nas mesmas no momento mais quente do dia, a 1,5m do solo é de 23,4 °C em torno da quadra do meio, devido ao efeito convectivo (Figura 90). Nos miolos de quadra a temperatura do ar a 1,5m do solo é em torno de 23,3 °C, na quadra do meio, onde a velocidade do vento é menor.

Observam-se, nos cortes ventos com velocidade a 1m/s em média em ambas as direções (X e Y), acima dos edifícios. Entre os edifícios observam-se ventos a 0,4 m/s em média.

Figura 90 - Imagens geradas pelo Leonardo para cenário lâmina A

Ao se analisar o cenário lâmina B, observam-se ventos canalizados predominantemente nas vias sentido NO-SE no cenário, a temperatura do ar mais

alta nas mesmas no momento mais quente do dia, a 1,5m do solo, é de 23,4 °C em torno da quadra do meio, devido ao efeito convectivo (Figura 91). Nos miolos de quadra a temperatura do ar a 1,5m do solo é em torno de 23,3°C, na quadra do meio, onde a velocidade do vento é menor.

Observam-se, nos cortes, ventos com velocidade a 1m/s, em média, na direção do eixo X e de 0,4m/s na direção do eixo Y, acima dos edifícios. Entre os edifícios observam-se ventos a 0,4 m/s em média.

Figura 91 – Imagens geradas pelo Leonardo para cenário lâmina B

Ao se analisar o cenário lâmina C, observam-se ventos canalizados predominantemente nas vias sentido N-S no cenário, a temperatura do ar mais alta nas mesmas no momento mais quente do dia, a 1,5m do solo é de 23,5 °C em torno da quadra do meio, devido ao efeito convectivo (Figura 92). Nos miolos de quadra a temperatura do ar a 1,5m do solo é em torno de 23,4 °C, na quadra do meio, onde a velocidade do vento é menor.

Observam-se nos cortes, ventos com velocidade a 1m/s, em média, na direção do eixo Y e de 0,4m/s na direção do eixo X, acima dos edifícios. Entre os edifícios observam-se ventos a 0,4 m/s em média.

Figura 92 – Imagens geradas pelo Leonardo para cenário lâmina C

Ao se analisar o cenário perímetro observam-se ventos canalizados predominantemente nas vias sentido NO-SE no cenário, a temperatura do ar mais alta nas mesmas no momento mais quente do dia, a 1,5m do solo é de 23,6 °C em torno da quadra do meio, devido ao efeito convectivo (Figura 93). Nos miolos de quadra a temperatura do ar a 1,5m do solo varia entre 23,5 °C e 23,7°C, na quadra do meio, onde a velocidade do vento é menor.

Observam-se nos cortes, ventos com velocidade a 1m/s em média na direção do eixo X e de 0,4m/s na direção do eixo Y, acima dos edifícios. Entre os edifícios observam-se ventos a 0,4 m/s em média.

Observam-se também nos cortes que a temperatura do ar diminui ao longo da altura dos edifícios nos pátios centrais, de 23,7°C a 1,5m do solo (mais próximo à direção SE) e 23,5m no topo do modelo. Nos outros cenários observaram-se temperaturas mais constantes em altura.

Figura 93 - Mapa gerado pelo Leonardo para cenário perímetro

Ao se analisar o cenário torre, observam-se que o arranjo dos edifícios não propiciou a canalização dos ventos a 1,5m do solo em nenhuma direção predominante. A temperatura do ar mais alta nas vias no momento mais quente do dia, a 1,5m do solo foi de 23,1 °C em torno da quadra do meio, devido ao efeito convectivo (Figura 94). Nos miolos de quadra a temperatura do ar a 1,5m do solo foi de 23,1°C também, na quadra do meio.

Observam-se nos cortes, ventos com velocidade a 1m/s, em média, na direção do eixo X e de 0,4m/s na direção do eixo Y, acima dos edifícios. Entre os edifícios observam-se ventos a 0,4 m/s em média.

Figura 94 – Imagens geradas pelo Leonardo para cenário torre

5 Considerações Finais

5 Considerações Finais

A pesquisa tinha como objetivo quantificar o efeito da densidade construída sobre o microclima urbano. Por meio de medições e levantamentos de campo; e de simulações realizadas com o modelo ENVI-met 4.0 (*preview*), pode-se quantificar o efeito da densidade construída nos aspectos microclimáticos.

Sabe-se que um arranjo de edifícios mais alto, mais esbeltos e com um espaçamento maior entre as torres pode ser uma estratégia melhor para o acesso solar. Sabe-se também que, quando se projeta edifícios altos, as diferenças de altura são mais vantajosas do ponto de vista da ventilação (NG, 2010).

Este trabalho procurou através da simulação paramétrica com o uso do modelo ENVI-met 4.0 (*preview*), simular cinco cenários (torre, perímetro e lâminas com 3 orientações diferentes), com nove quadras cada, mantendo-se aproximadamente o mesmo coeficiente de aproveitamento (em torno de 3,7) e a mesma densidade populacional (em torno de 1500 hab/ha), para descobrir se mantendo a mesma densidade construída e apenas alterando os arranjos dos edifícios, quais seriam os efeitos no microclima para São Paulo.

O modelo ENVI-met 4.0 (*preview*) apresentou resultados muito próximos entre dados medidos e simulados para temperatura do ar nas duas áreas de estudo: Bela Vista e Brasilândia, com diferenças máximas em torno de 3,3°C na área da Brasilândia e 3,2°C na Bela Vista, para este caso estudo específico, no clima da cidade de São Paulo e com essas tipologias de edifícios.

As simulações paramétricas para três dias consecutivos mostraram que, dentre os cenários simulados, o cenário torre apresentou, de forma consistente, uma diferença de cerca de 0,6°C para menos na temperatura do ar, a 1,5m do chão, em relação ao cenário perímetro para a quadra central, no horário de maior temperatura do ar, às 15h, e cerca de 1,4°C a menos na temperatura do ar para o período noturno. Provavelmente, devido ao sombreamento mútuo entre os edifícios, que contribui para o menor aquecimento das superfícies e, conseqüentemente, menor aquecimento do ar no entorno imediato. Os demais cenários lâmina apresentaram resultados intermediários entre os dois anteriores com relação a temperatura do ar.

Os valores médios de fator de visão de céu para a quadra do meio a 1,5m do piso, mostraram que o cenário mais favorável dentre os 3 analisados foi o perímetro com 0,23 de fator de visão de céu médio, seguido dos cenários lâminas com 0,22 e por último o cenário torre com 0,17.

O modelo ENVI-met 4.0 (*preview*) apresentou resultados confiáveis para estudos microclimáticos na cidade de São Paulo, principalmente pelo surgimento da ferramenta *simple forcing* e da nova ferramenta para a especificação dos materiais, que ficou mais complexa, porém muito mais precisa permitindo ao modelo considerar a massa térmica dos edifícios para o cálculo de balanço de energia das áreas urbanas.

Diante dos resultados, constata-se a necessidade de estudos mais aprofundados, principalmente no que diz respeito à avaliação do acesso ao sol das unidades habitacionais nos cenários estudados; simulações com o ENVI-met dos cenários paramétricos com densidades mais baixas e mais altas, para observar se a partir de uma certa densidade construída não haverá diferenças quanto a tipologias dos edifícios; mais simulações com o ENVI-met para o cenário torre, mas com diferentes alturas, tipologias com maior densidade construída e populacional e a realização de simulações em outros períodos do ano para a cidade de São Paulo.

Referências

REFERÊNCIAS

123i. **Informações imobiliárias imediatas.** Disponível em: <
<http://www.123i.com.br/>> Acesso em: ago de 2012.

ALEXANDER, E. R. Density measures: a review and analysis. **Journal of Architectural and Planning Research**, Chicago, v. 10, n. 3, p. 181-202, autumn. 1993.

ALEXANDER, E. R.; REED, D.; MURPHY, P. (col.). **Density measures and their relation to urban form.** Milwaukee: Center for Architecture and Urban Planning Research - University of Wisconsin, 1988.

ANGILELI, C. M. M. M. **Paisagens reveladas no cotidiano da periferia: distrito de Brasilândia Zona Norte do município de São Paulo.** São Paulo: FAUUSP, 2007. 281 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

BRANDÃO, R. S. **As interações espaciais urbanas e o clima.** São Paulo, 2009. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, 2009.

BRUSE, M. **Simulating the effects of urban environmental on microclimate with a three-dimensional numerical model.** In: Climate and Environmental Change, Conference Meeting of the Commission on Climatology, Évora, 1998.

BRUSE, M. **ENVI-met 3.1: Online Manual.** Disponível em: <<http://www.envi-met.com/>>. Acesso em março de 2013.

CAMPOLI, J.; MACLEAN, A. S. **Visualizing density.** Cambridge, MA: Lincoln Institute of Land Policy, 2007.

CHENG, V. B. **Human perception of urban density.** Cambridge: Department of Architecture, University of Cambridge: 2010. 264 p. Tese (Doutorado) – PhD Thesis Department of Architecture, University of Cambridge, Cambridge, Inglaterra, 2010 (a).

CHENG, V. Understanding density and high density. In: NG, Edward (Ed.). **Designing high-density cities for social and environmental sustainability**. London: Earthscan, 2010 (b). cap. 1, p. 3-16.

CHURCHMAN, A. Disentangling the concept of density. **Journal of Planning Literature**, v. 13, n. 4, p. 389-411, maio 1999.

DEVECCHI, A. M. **Reformar não é construir. A reabilitação de edifícios verticais: novas formas de morar em São Paulo no século XXI**. São Paulo: FAUUSP, 2010. 552 p. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

DUARTE, D. (Coord). **O Impacto da vegetação nos microclimas urbanos**. Relatório técnico CNPq processo 400938/2007-3. São Paulo: FAUUSP, 2010.

DUARTE, D., GONÇALVES, J. **Environment and urbanization: microclimatic contrasts at a brownfield site in São Paulo, Brazil**. In: PLEA – Passive Low Energy Architecture, 23, Geneva, 2006. *Proceedings*. Geneva: PLEA, 2006.

DUARTE, D. **Densidade e qualidade ambiental: o inevitável, o desejável e o possível**. In: Galicia, S. P.; Freixanet, V. F. (Org.). *Habitat Sustentable*. 1ª ed. Cidade do México: Universidad Autonoma Metropolitana, 2012, p. 85-99.

FRANÇA. INSEE Institut National de la Statistique et des Études Économiques. **Recensements de la population (RE) 2009 – Cartes interactives**. Disponível em: < http://www.statistiques-locales.insee.fr/carto/ESL_CT_cartethematique.asp?nivgeo=COM&submit=Ok>. Acesso em fevereiro de 2014.

FRANCISCO, R. C. A. **Clima urbano: um estudo aplicado a Belo Horizonte, MG**. Belo Horizonte: EA UFMG, 2012. 122 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Arquitetura, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo horizonte, 2012.

FROTA, Anésia B.; SCHIFFER, Sueli T. **Manual de Conforto Térmico**. 8ed. reimpressão. São Paulo: Studio Nobel, 2012.

FUNERAL HOME. **Empresa funerária**. Disponível em: <<http://www.funeralhome.com.br/funeralhome.htm>> Acesso em: ago de 2012.

GLAESER, E. **Triumph of the city: how our greatest invention make us richer, smarter, greener, healthier, and happier**. New York: The Penguin Press, 2011.

GUSSON, C. S.; MADEIRA, A. H. Y.; DUARTE, D. H. S. **São Paulo: a dense city?** In: 4th CIB International Conference on Smart and Sustainable Built Environments – SASBE2012: Emerging Economies. Proceedings (e-book), São Paulo, p. 293-299, 2012.

HALL, E. T. **A dimensão oculta**. São Paulo: Martins Fontes, 2005.

HELLMANN, L. **Determinação de propriedades térmicas de materiais de pavimentação**. 2008. 97 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Matemática do Departamento de Física, Estatística e Matemática (DeFEM) e Departamento de Tecnologia (DeTEC), Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul (UNIJUÍ), 2008.

HENG, C. K.; MALONE-LEE, L. C. Density and urban sustainability: an exploration of critical issues. In: NG, E. (Ed.). **Designing high-density cities for social and environmental sustainability**. London: Earthscan, 2010. cap. 4, p. 41-50.

HONG KONG. Hong Kong Census and Statistics Department. Hong Kong Figures. Disponível em: <www.censtatd.gov.hk>. Acesso em julho de 2012.

HÖPPE, P. The physiological equivalent temperature PET – a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. **International Journal of Biometeorology**, v. 43, p. 71-75, 1999.

HUTTNER, S.; BRUSE, M. **Numerical modelling of the urban climate – A preview on ENVI-met 4.0**. In: The seventh International Conference on Urban Climate (ICUC-7), 29 June - 3 July 2009, Yokohama, Japan. 2009. Proceedings disponível em: <http://www.ide.titech.ac.jp/~icuc7/extended_abstracts/pdf/382880-2-090514010851-002.pdf>. Acesso em julho de 2013.

IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico 2010 – Sinopse por setores**. Disponível em: <<http://www.censo2010.ibge.gov.br/sinopseporsetores/>>. Acesso em novembro de 2012.

INSTITUTO CULTURAL ITAÚ. **Avenida Paulista**. In: Cadernos Cidade de São Paulo. São Paulo. 1993.

JACOBS, J. **Morte e vida de grandes cidades**. São Paulo: Martins Fontes, 2000.

JOHANSSON, E. **Urban microclimate and outdoor thermal comfort in São Paulo**. Final Report. Housing Development & Management, Lund University, Sweden, May 2008.

KATZSCHNER, L. Urban climate in dense cities. In: NG, E. (Ed.). **Designing high-density cities for social and environmental sustainability**. London: Earthscan, 2010. cap. 7, p. 71-78.

LAWSON, B. The social and Psychological issues of high-density city space. In: NG, E. (Ed.). **Designing high-density cities for social and environmental sustainability**. London: Earthscan, 2010. cap. 19, p. 285-292.

MACHADO, L. **A Serra do Mar paulista: um estudo da paisagem valorizada**. Tese (Doutorado), Departamento de Geografia do Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, 1988.

MADEIRA, A. H. Y. **Efeito da densidade construída sobre o microclima urbano: elaboração de diferentes cenários paramétricos para a ocupação das quadras e modelagem para simulação computacional no software ENVI-met**. 2013. 55 p. Relatório Final (Iniciação Científica) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, 2013.

MARINS, K. R. C. C. **Proposta metodológica para planejamento energético no desenvolvimento de áreas urbanas: o potencial da integração de estratégias e soluções em morfologia e mobilidade urbanas, edifícios, energia e meio ambiente: o caso da operação urbana Água Branca, no município de São Paulo**. São Paulo: FAUUSP, 2010. 798 p. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, 2010.

MARZOLA, N. **Bela Vista**. Em História dos bairros de São Paulo. Volume 15. Publicado pela Secretaria Municipal de Cultura e pelo Departamento do Patrimônio Histórico, divisão do Arquivo Histórico, São Paulo. 1979.

MASCARÓ, J. L. **Desenho urbano e custos de urbanização**. Porto Alegre: Luzzatto, 1989.

MENDES, B. H. E. **Requalificação ambiental e urbana na região da rua 25 de Março através da aplicação de vegetação em edifícios**. São Paulo: FAUUSP, 2007. 1 CD-ROM. Trabalho de conclusão de curso - Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

MIANA, Anna Christina. **Adensamento e forma urbana: inserção de parâmetros ambientais no processo de projeto**. São Paulo: FAUUSP, 2010. 394 p. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

NAKATA, C. M. **Comportamento do pedestre e ambiente térmico urbano**. Bauru: Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação; UNESP, 2010. 133 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação *Strictu-Sensu* em Design, Faculdade de Arquitetura, Artes e comunicação, Universidade Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - UNESP, Bauru, São Paulo, 2010.

NG, E. Design for urban ventilation. In: _____. **Designing high-density cities for social and environmental sustainability**. London: Earthscan, 2010. cap. 10, p. 119-135.

OKE, T. R. **Boundary layer climates**. 2 ed. London: Routledge, 1992, c 1987.

OKE, T. R. **Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites**. IOM Report No. 81, WMO/TD No. 1250. World Meteorological Organization. Geneva, 2006. Disponível em: <<http://www.wmo.int/pages/prog/www/IMOP/publications/IOM-81/IOM-81-UrbanMetObs.pdf>> Acesso em: agosto de 2012.

PRATA, Alessandra Rodrigues. **Dimensionamento do impacto da altura de edifícios nas condições de ventilação natural do meio urbano simulando em túnel de vento: o caso de Santos**. 2005. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

RAPOPORT, A. Toward a redefinition of density. **Environmental and Behaviour**, v. 7, nº 2, p. 133-158, June, 1975.

ROAF, S. The sustainability of high-density. In: NG, E. (Ed.). **Designing high-density cities for social and environmental sustainability**. London: Earthscan, 2010. cap. 3, p. 27-37.

ROGERS, R.; GUMUCHDJAN, P. **Cidades para um pequeno planeta**. Barcelona: Gustavo Gili, 2001.

SÃO PAULO (Cidade). Prefeitura do Município de São Paulo. **Coordenação das Subprefeituras - Freguesia/Brasilândia**. Histórico. Disponível em: <http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/subprefeituras/freguesia_brasilandia/historico/index.php?p=142>. Acesso em: Jan. 2014.

SÃO PAULO (Cidade). Prefeitura do Município de São Paulo. Diretoria do Departamento de Administração do Município de São Paulo. Lei nº 7.805/72, de 01 de novembro. **Dispõe sobre o parcelamento, uso e ocupação do solo do Município, e dá outras providências**. Disponível em: <http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/habitacao/plantas_on_line/legislacao/index.php?p=5704>, <http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/habitacao/plantas_on_line/legislacao/index.php?p=5892>, <http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/habitacao/plantas_on_line/legislacao/index.php?p=6069> Acesso em: Ago. 2012.

SÃO PAULO (Cidade). Prefeitura do Município de São Paulo. **Lei nº 13.885, de 25 de agosto de 2004. Estabelece normas complementares ao Plano Diretor Estratégico, institui os Planos Regionais Estratégicos das Subprefeituras, dispõe sobre o parcelamento, disciplina e ordena o Uso e Ocupação do Solo do Município de São Paulo**. <http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/habitacao/plantas_on_line/legislacao/index.php?p=8447>, <http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/habitacao/plantas_on_line/legislacao/index.php?p=8416>, http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/habitacao/plantas_on_line/legislacao/index.php?p=8256, <http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/habitacao/plantas_on_line/legislacao/index.php?p=5679>. Acesso em: Ago. 2012.

SÃO PAULO (Cidade). Prefeitura do Município de São Paulo. Lei nº 8.328/75, de 02 de dezembro. **Dispõe sobre o parcelamento, uso e ocupação do solo do Município, e dá outras providências**. Disponível em: <http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/habitacao/plantas_on_line/legislacao/index.php?p=8942>. Acesso em: Ago. 2012.

SÃO PAULO (Cidade). Prefeitura do Município de São Paulo. Lei nº 8.769/78, de 31 de agosto de 1978. **Dispõe sobre o parcelamento, uso e ocupação do solo no Município, nas zonas de uso especial, Z8, nas áreas especiais de urbanização, e dá outras providências.** Disponível em: <http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/habitacao/plantas_on_line/legislacao/index.php?p=8790>. Acesso em: Ago. 2012.

SÃO PAULO (Cidade). Prefeitura do Município de São Paulo. **Plano Regional Estratégico da Subprefeitura Sé.** Livro IX. Disponível em: <http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/desenvolvimento_urbano/legislacao/planos_regionais/index.php?p=1902>. Acesso em: Ago. 2012.

SÃO PAULO (Cidade). Prefeitura do Município de São Paulo. Secretaria Municipal de Educação: **Meu bairro, minha cidade você também faz parte desta história – Freguesia do Ó/Brasilândia.** São Paulo, 2004.

SÃO PAULO (Cidade). Prefeitura do Município de São Paulo. Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano (SMDU). **Infocidade.** 2009. Disponível em: <<http://infocidade.prefeitura.sp.gov.br/>>. Acesso em: Jan. 2012.

SÃO PAULO (Cidade). Prefeitura do Município de São Paulo. Secretaria de Planos Regionais Estratégicos (PRE): Município de São Paulo: **Subprefeitura Freguesia/Brasilândia – Série documentos.** 2004.

SÃO PAULO (Cidade). Prefeitura do Município de São Paulo. Secretaria da Habitação e Desenvolvimento Urbano. **HABISP.** Disponível em: <www.habisp.inf.br>. Acesso em: Fev. 2012.

SÃO PAULO (Estado). Governo do Estado de São Paulo. Secretaria de Estado de Habitação. **Diretrizes do desenho universal na habitação de interesse social no estado de São Paulo.** São Paulo, 2010. Disponível em: <<http://www.cdhu.sp.gov.br/download/manual/manual-desenho-universal.pdf>>. Acesso em: Fev. 2014.

SHINZATO, P. **O impacto da vegetação nos microclimas urbanos.** São Paulo: FAUUSP, 2009. 173 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

SHINZATO, P; DUARTE, D.H.S; BARROS, F.C; MOREIRA, D.C. **Intensity and Spatial Influence of Urban Parks: A Case Study in Sao Paulo, Brazil.** In: SB13- Sustainable Buildings, 2013, Graz. Proceedings. Graz: SB13, 2013, p. 600-607.

SHINZATO, P; DUARTE, D.H.S; BARROS, F.C; MOREIRA, D.C. **O Impacto da Vegetação nos Microclimas Urbanos: Estimativa dos Índices de Área Foliar em Diferentes Grupos Arbóreos**. In: XII ENCAC -Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 2013, Brasília. Anais. Brasília: ENCAC-ANTAC, 2013

SILVA, M. A. **Percepção da paisagem e planejamento no distrito de Brasilândia – SP**. Tese (Doutorado) apresentada ao Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, 2002.

SOUZA, Tatiana Moreira de; DUARTE, Denise. **Reading and Graphic Representation of the Urban Environmental Conditions. Case study: Paulista Avenue**. In: PLEA 2004 - The 21th Conference on Passive and Low Energy Architecture, 2004, Eindhoven. Built environments and Environmental Buildings. Eindhoven: Plea International, 2004. v. 1. p. 565-570.

SPANGENBERG, J.; JOHANSSON, E.; SHINZATO, P.; DUARTE, D. H. S. 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.

SPANGENBERG, J. **Retro innovation: nature in megacities – São Paulo/Brasil a case study**. Weimar: Bauhaus-Universität Weimar, 2009. 162 p. Tese (Doutorado) – Fakultät Architektur, Bauhaus-Universität Weimar, Weimar, 2009.

URSINI, M. L. **Entre o público e o privado: os espaços francos na Avenida Paulista**. Dissertação de mestrado em Arquitetura e Urbanismo. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, pp. 22-44. 2004.

ZHANG, Ji, *et al.* Evaluating environmental implications of density: A comparative case study on the relationship between density, urban block typology and sky exposure. **Automation in Construction**, jul. 2011.

Apêndice

APÊNDICE A: Características das áreas de estudo: Bela Vista e Brasilândia

1. Distrito da Bela Vista

Breve histórico da área

A área delimitada pelas Ruas Cincinato Braga, Pamplona, Alameda Ribeirão Preto e Alameda Joaquim Eugênio de Lima está inserida dentro do distrito da Bela Vista, próximo à Avenida Paulista.

Período cafeeiro – 1890-1930

A Bela Vista era, inicialmente, a Chácara do Bexiga¹². Entre 1870 e 1920, a “febre de urbanização” levou os donos das antigas chácaras da área central a arruar suas terras e loteá-las. Como a iniciativa era do próprio proprietário, os diversos traçados viários eram independentes entre si e desarticulados. Foi nesse contexto, em 1879, Antônio José Leite Braga, proprietário da Chácara do Bexiga, iniciou o arruamento e a venda de lotes, a preços variados impulsionando a formação de um novo bairro (Marzola, 1979).

A maioria dos terrenos do bairro foi ocupada por imigrantes italianos e classes mais humildes que vinham do campo para buscar oportunidades nas cidades e acabavam trabalhando como artesãos ou pequenos comerciantes. Rapidamente, proliferaram-se casarios compactos e modestos, construídos sem projeto de arquitetura. Como afirma Benedito Lima de Toledo (Marzola, 1979), as edificações eram desenhadas por “capomastri”, também chamados de “arquitetos de ponta de guarda-chuva”, pois estes não usavam planta, mas sim riscavam a planta do edifício no chão e construíam a partir desse desenho.

Nesse mesmo período, os proprietários da Chácara Bela Cintra idealizaram:

¹²Os nomes Bela Vista e Bexiga serão usados para designar a mesma região, pois o Bexiga de outrora foi a gênese da Bela Vista atual, apesar do subdistrito da Bela Vista abranger uma área maior do que o Bexiga original (Marzola 1979).

“(...) uma grande avenida com 28m de largura e 2.800m de comprimento. O piso, recoberto de pedregulhos brancos, contrastava com magnólias e plátanos, que organizavam três faixas, uma destinada aos bondes de tração animal, outra, às carruagens e cavaleiros, e a terceira, aos passeios para pedestres em ambos os lados (...)”(Insitituto Cultural Itaú, 1993)

Projetada por Joaquim Eugênio de Lima, essa avenida foi inaugurada em 1891 e nomeada Avenida Paulista. Até 1940, era margeada por casarões dos ricos senhores do café e da burguesia nascente (imigrantes comerciantes ou industriais), cujos hábitos e costumes eram inspirados na cultura europeia. O projeto da Avenida Paulista, em seus primórdios, tinha como objetivo simular um boulevard francês. Desse período pode-se destacar a Casa das Rosas projeto de Ramos de Azevedo para sua filha, em um terreno de 5.500m² e 2.845m² de área construída circundado por um jardim aos moldes franceses. Na área de estudo, observa-se na Rua São Carlos do Pinhal (Figura 95), uma residência, cuja construção é de 1928 e que hoje pertencente à empresa “Funeral Home” (Funeral Home, 2012).

Figura 95 - Edificação na Rua São Carlos do Pinhal. Construção de 1928
(Funeral Home, 2012)

Ao lado dos luxuosos palacetes construídos ao longo da Avenida Paulista, expandiam-se as modestas residências operárias. Por conta das ruas estreitas, tortuosas e íngremes, os italianos que habitavam o Bexiga não hesitaram em tentar recriar os ambientes italianos de sua terra natal, aproveitavam ao máximo o lote, sem recuos. Na área de estudo, esse ecletismo pode ser observado nas ruas ao

norte da Alameda Ribeirão Preto, onde as ruas passam a ser mais tortuosas e as edificações são geminadas em lotes estreitos (Figura 96).

Figura 96 - Vista da Alameda Ribeirão Preto. 2012

Nesse período, não havia uma legislação significativa voltada ao planejamento urbano da cidade. Como foi visto anteriormente, o parcelamento das chácaras em lotes e o traçado viários, partiram da iniciativa privada. Por essa razão, pode-se perceber que a área de estudo está inserida numa área de transição, onde as características construtivas serão semelhantes à da Av. Paulista (por conta da dimensão dos lotes), mas o uso é predominantemente residencial como no interior da Bela Vista (Figura 97).

Figura 97 - Mapa atual mostrando a diferença entre os traçados. Em laranja, o traçado sinuoso e os lotes estreitos característicos da Bela Vista. Em roxo, o traçado em malha retangular, parte do projeto da Avenida Paulista, com lotes com dimensões maiores. Em vermelho, a área de estudo, localizada na transição entre as duas tipologias urbanas (Prefeitura Municipal de São Paulo)

Período industrial e comercial pós-crise de 1929/1930 - 1980

Em 1929 houve a quebra da Bolsa de Nova Iorque. O café perdeu sua força, porém a indústria se desenvolveu, graças à necessidade de suprir a demanda por materiais que não davam mais para ser importados dos países em crise. Assim, houve uma multiplicação de usos no Bexiga, o aparecimento de uma vida noturna e o crescimento no número de cortiços.

A partir de 1940, segundo Marzola (1979), iniciou-se o processo de metropolização. Há a verticalização dos edifícios, a quantidade de bairros se multiplica bem como a população paulistana. Entretanto, o Bexiga conseguiu resistir por muito mais tempo à especulação imobiliária, provavelmente por apresentar muitos lotes estreitos e compridos e por seu caráter deteriorado, uma vez que lá se concentravam as camadas marginalizadas da sociedade de maneira caótica e em alta densidade.

Marzola (1979) afirma também que, mesmo sem a verticalização, em 1950 a Bela Vista já apresentava 17 mil habitantes por quilômetro quadrado (170 hab/ha), tornando-se o subdistrito com maior densidade demográfica de São Paulo.

A verticalização foi pontual em apenas alguns corredores, como a Avenida Brigadeiro Luis Antônio, a Avenida Nove de Julho e a Avenida Paulista. Nesta última, os casarões foram rapidamente substituídos por edifícios residenciais, comerciais e de serviços, buscando atender a nova burguesia e a demanda por comércio e serviços para suprir a população, bem como para abrigar a mão de obra que chegava na cidade. Havia uma pressa para se construir de maneira rápida e eficiente, o que foi facilitado pelas inovações no ramo da construção civil.

Seguindo esse ritmo de mudanças, a arquitetura passou a adotar um novo estilo: o modernismo, e começou a abandonar o ecletismo, que tinha como inspiração a arquitetura europeia, para dar lugar a um movimento que acompanhasse a velocidade das transformações e simbolizasse a modernização. Assim, começam a despontar edifícios multifuncionais, com o predomínio das funções residencial, comercial e de serviços, com intensa ocupação do lote/quadra e aproveitamento máximo do potencial construtivo. O movimento modernista consolidou também a ideia do funcionalismo e focou na sociabilidade. O uso industrial na Avenida Paulista era proibido pela lei desde o início do século XIX; assim como diversas áreas de São Paulo, era restritamente residencial. Nas duas áreas de estudo, os edifícios são residenciais em sua maioria, pois como será visto a diante, a partir de 1975, as duas quadras se tornaram estritamente residenciais.

Da área de estudo, cabe destacar o edifício Fonte Bela, na Rua São Carlos do Pinhal, um dos primeiros edifícios residenciais verticalizados da área (Figura 98). Sua construção, segundo 123i informações imobiliárias imediatas (2012) foi por volta de 1965, portanto, antes da lei que passou a exigir recuos frontais.

Figura 98 - Edifício Fonte Bela, na Rua São Carlos do Pinhal. 2012.

Pode-se destacar também a série de edifícios residenciais da Rua Pamplona, construídos nos anos de 1970ⁱ, os quais, pela repetição de construções similares, mostram claramente ser resultantes da especulação imobiliária, além da influência da arquitetura modernista (Figura 99). Pode-se perceber certa unidade entre os edifícios e o recuo a partir da rua, na tentativa de se criar um espaço intermediário entre o público e o privado, que atualmente foi cercado e delimitado como privado.

Figura 99- Edifício Siena, na Rua São Carlos do Pinhal, esquina com a Rua Pamplona, construção de 1977. 123i, 2012.

A primeira legislação significativa voltada para o controle do parcelamento, uso e ocupação do solo foi a Lei nº 7.805 de 1972. Segundo o zoneamento, a área de estudo é dividida em duas zonas: Z8-010, uma zona de usos especiais, situada a partir da Rua São Carlos do Pinhal em direção à Radial Leste-Oeste, abrangendo a maior parte da Bela Vista, e a Z5-004, localizada entre as ruas São Carlos do Pinhal e Alameda Santos, englobando parte da Avenida Paulista, conforme o mapa abaixo (Figura 100 e Quadro 6).

Figura 100 - Mapa da áreas de estudo com delimitação das alterações do zoneamento de 1972.
Elaborado por Jennifer Liao, 2012. www.googlemaps.com.

Quadro 6 - Zoneamento de 1972

Zonas de Uso	Usos permitidos		Características						
	Conforme	Sujeito a controle especial	Frete mín.	Área mín.	Recuo frontal mín.	Recuo lateral mín.	Recuo de fundo mín.	Taxa de ocupação máx.	Coeficiente de aproveitamento máx.
Z5-004	R1, R2, R3, C1, C2, I1, S1, E1, E2	E3, E4	10m	250m ²	---	---	3m (somente acima do 2º pavimento)	0,8	3,5*
Z8-010	R1, R1, R3, C1, I1, S1, E1	C2, S2, E2, E3, E4	(depende da rua)	---	6m	1,50m (em ambos os lados)	6m	0,5	1,5

Observações: * pode ser aumentado para 4, se a TO <0,8, segundo a proporção: $c=T+(C-1)$, onde c:coeficiente de aproveitamento, e C: coeficiente de aproveitamento máximo permitido, T: taxa de ocupação máxima. São Paulo.Lei nº7.805, de 1972.

Segundo a lei, a região ao redor da Avenida Paulista (Z5-004) podia ser intensamente adensada, com o coeficiente de aproveitamento até 4, o que para a época, era alto. Não se exigia recuos frontais nem laterais e a taxa de ocupação chegava até 0,8.

Por outro lado, a área mais central da Bela Vista (Z8-010) deveria apresentar um gabarito mais baixo, com coeficiente de aproveitamento de no máximo 1,5 e taxa de ocupação de 0,5. O recuo frontal era obrigatório, de 6m.

A área definida como Z8-010 passou por diversas modificações no zoneamento, após a criação de diversas outras zonas, o que levou, em 1978, com a lei nº 8.769, à divisão das quadras de estudo em Z10-001 e Z10-002 (Figura 101 e Quadro 7). Esse zoneamento Z10 foi instituído anteriormente, em 1975 (lei nº 8.328), sendo de uso estritamente residencial, de densidade média com as seguintes características:

	Usos permitidos		Características							
Zona de uso	Conforme	Sujeito a controle especial	Frente mín.	Área mín.	Recuo frontal mín.	Recuo lateral mín. - até 2º pav.	Recuo lateral mín. - Acima do 2º pav.	Recuo de fundo mín.	Taxa de ocupação máx.	Coefficiente de aproveitamento máx.
Z10	R1, R2, R3		10m	250m²	5m	1,5m para cada lado	3m em ambos os lados	5m	0,5	2,5*
		E4			Estudo de cada caso pela Cogep (Coordenadoria de Gestão e Planejamento)					

Sendo que ainda assim, o CA não poderá ser superior a 4.

Dessa maneira, o coeficiente de aproveitamento aumentou para 2,5 podendo chegar a 4, o que possibilitou a construção dos edifícios residenciais mais altos até dos que se encontram hoje nas áreas de estudo. O recuo frontal mínimo continua existindo, mas foi reduzido para 5m.

Período atual – 1980-

A partir de 1970, a Avenida Paulista já estava consolidada como centro bancário e sede de empresas não financeiras, diversas entidades e outras instituições. O milagre econômico e a nova lei de zoneamentos incentivaram ainda mais a especulação imobiliária. Segundo Ursini (2004), os anos 1990 marcaram os primeiros sinais de decadência da avenida, com seus congestionamentos, sujeira, mendicância, deterioração dos edifícios dentre diversos outros problemas.

Apesar disso, nos anos 1980, 1990 e 2000 diversos outros empreendimentos foram construídos, como o Sesi/Fiesp de Paulo Mendes da Rocha e nas calçadas, passam a circular pessoas de classes sociais variadas. A partir dos anos 1980, os edifícios começam a adotar uma nova estética, a fachada de vidro, sendo que, em alguns casos, a entrada do edifício chega a se perder no meio da fachada.

Com relação à legislação, mudanças significativas ocorreram apenas nos anos 2000. Em 2004, quando o município já estava dividido em subprefeituras, a área de estudo, inserida na subprefeitura da Sé, passou a ser ZM3b – 01 de uso misto com alta densidade (Lei nº 13.885 de 2004) (Figura 102 e Quadro 8).

Quadro 8 - Quadro de uso e ocupação da zona ZM3b – 01. São Paulo. Plano Regional Estratégico da Subprefeitura da Sé. Quadro nº04, do Livro IX, anexo à Parte III da Lei nº 13.885/04.

Condições de instalação/ usos permitidos	Largura da via		
	$L \leq 10m$	$10m \leq L \leq 12m$	$L \geq 12m$
Área construída total máx.	250m ²	---	---
Área construída computável máx.	---	500m ²	---
Grupos de atividades permitidos da subcategoria de uso nR1	Serviços profissionais, serviços da administração de serviço públicos	comércio de abastecimento de âmbito local	
		comércio diversificado	
		serviços pessoais	
		serviços profissionais	
		serviços técnicos de confecção ou manutenção	
		serviços de educação (3)	
		serviços da administração e serviços públicos	
		serviços de hospedagem ou moradia	
		associações comunitárias, culturais e esportivas (8)	
			indústrias compatíveis Ind-1a
Grupos de atividades permitidos da subcategoria de uso nR2	-9	comércio de alimentação ou associado à diversões (4)	
		comércio especializado	
		oficinas	
		estabelecimentos de ensino não seriado	
		locais de reunião e eventos (9)	
			serviços de saúde (6)
			estabelecimentos de ensino seriado
			serviços de lazer e esporte
			serviços de armazenamento e guarda de bens móveis (7)
Subcategorias de uso residencial permitidas	R1, R2h	R1, R2h, R2v (10)	usos industriais toleráveis Ind-1b
			usos industriais incômodos Ind-2
			R1, R2h, R2v

Observação 1:

- (1) Não se aplica à área construída total máxima para o uso residencial.
- (2) Não se aplica à área computável máxima para o uso residencial.
- (3) Grupo de atividades proibido nas vias estruturais N1 e N2.
- (4) Não são permitidas as atividades deste grupo quando associadas a diversões.
- (5) Atividade proibida nas vias estruturais N1 e N2 com $L < 20$ m: restaurantes.
- (6) Atividade proibida nas vias coletoras com $L < 20$ m: hospitais.
- (7) Área construída total máxima de 750 m² para este grupo de atividades em vias com $L < 16$ m.
- (8) permitidas indústrias ind-1 a na ZPI - artigo 173 desta lei.
- (9) uso nR2 permitido de acordo com § 3o. do artigo 174 desta lei.
- (10) condições especiais para ruas sem saída, artigo 180 desta lei.

Observação 2: As subcategorias de uso residencial, segundo decreto nº 45.817 de 2005, são:

R1: uma unidade habitacional por lote

R2h: conjunto de duas ou mais unidades habitacionais, agrupadas horizontalmente.

R2v: conjunto com mais de duas unidades habitacionais, agrupadas verticalmente.

Como a maioria das ruas que circunda a área de estudo apresenta entre 10m a 12m, o uso permitido é de habitações unitárias ou agrupadas horizontal ou verticalmente, podendo apresentar comércios e serviços de pequeno porte (Quadro 9).

Quadro 9- Quadro de uso e ocupação da zona ZM3b – 01 com ruas entre 10m a 12m de largura. São Paulo. Plano Regional Estratégico da Subprefeitura da Sé. Quadro nº04, do Livro IX anexo à Parte III da Lei nº 13.885/04.

Zonas de Uso	Coeficiente de aproveitamento			Características de dimensionamento e ocupação					Recuos mínimos		
	mín.	básico	máx.	taxa de ocupação máx.	taxa de permeabilidade	Lote mín (m²)	frente mín.	Gabarito de altura	frente	Fundos e laterais	
										altura da edificação menor ou igual a 6m	altura da edificação superior a 6m
ZM3b-01	0,2	2	2,5	0,5 (a)	0,15	125m²	5,00m	sem limite (i)	5,00m (b)	não exigido (d)	(c) (d)

(a) Ver artigo 192 da parte III desta lei, quanto à taxa de ocupação na ZM para edificações com até 12m de altura

(b) Ver artigo 185 da parte III desta lei, quanto ao recuo mínimo de frente em ZM, ZCP, ZCL, ZPI e ZEIS

(c) Ver artigo 186 da Parte III desta lei quanto aos recuos mínimos laterais e de fundos para edificações com altura superior a 6m

(d) Ver §1º e §2º do artigo 186 da parte III desta lei, quanto aos recuos para atividades industriais, serviços de armazenamento e guarda de bens imóveis e oficinas

(e) Ver §1º do art. 20 deste livro para a restrição de gabarito na ZM3a-06

Com relação ao dimensionamento dos lotes, o coeficiente de aproveitamento foi mantido, sendo que o valo máximo continua sendo 2,5, bem como a taxa de ocupação, mantém-se em 0,5. O recuo frontal também foi mantido e acrescentou-se a taxa de permeabilidade. Nessa última alteração, de 2004, não houve mudanças significativas.

A Figura 103 mostra a porcentagem de edifícios pela quantidade de pavimentos, para ter uma ideia da ocupação atual da quadra de estudo na Bela Vista e de seu entorno.

Figura 103 - Porcentagem de edifícios por número de pavimentos, na área de estudo da Bela Vista e de seu entorno.

2. Distrito da Brasilândia (Figuras 104 e 105)

Breve histórico da área

A Vila Brasilândia nasceu em 1947, quando as moradias populares do centro da cidade foram demolidas para alargar a Avenida São João. Os ex-moradores, tal como os imigrantes recém-chegados do nordeste do país, que fugiam da seca em seus estados nas décadas de 50 e 60, além de famílias vindas do interior do estado, em busca de oportunidades de trabalho que procuravam lotes baratos na periferia e então foram para a vila (site subprefeitura Freguesia Brasilândia¹³). Seu nome era em homenagem a Brasília Simões, morador do Tiro ao Pombo, que ali destilava a Caninha do Ó no começo do século 20. São Paulo (2004).

A Brasilândia foi loteada em 1946, embora não fosse dotada de qualquer infra-estrutura, os terrenos eram adquiridos com grandes facilidades de pagamento, inclusive com a doação de tijolos para estimular a construção das casas. (site subprefeitura Freguesia Brasilândia¹⁴). Sua formação é marcada pela implantação de loteamentos clandestinos em encostas de morros e fundos de vale. Dentro do contexto de crescimento da cidade de São Paulo, Brasilândia constituiu-se como alternativa de moradia para classes populares, que buscavam trabalhos em outros

¹³ Disponível em:

http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/subprefeituras/freguesia_brasilandia/historico/index.php?p=14
1. Acessado em janeiro de 2014.

¹⁴ Disponível em:

http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/subprefeituras/freguesia_brasilandia/historico/index.php?p=14
1. Acessado em janeiro de 2014.

locais da cidade – como no parque industrial da Lapa, configurando-se como baixo dormitório. (Plano Regional Estratégico, 2004)

Outro elemento incentivador da ocupação do bairro foi a instalação da empresa Vega-Sopave que, ao instalar sua sede na Brasilândia, oferecia moradia a seus empregados, o que trouxe um considerável número de famílias para a região.

Figura 104 - Análise espacial temporal do distrito da Brasilândia
(MACHADO, 2005; SILVA (2002) *apud* ANGILELI (2007))

Localização Geográfica e Limites – Aspectos Gerais

A paisagem do sítio é constituída por uma topografia predominantemente acidentada, com uma estreita faixa de planície junto aos fundos de vale – onde se

desenvolvem as Avenidas Inajar de Souza e General Edgar Facó. Os maiores espigões são formados pelas Avenidas Deputado Cantídio Sampaio, Itaberaba e Elíseo Teixeira Leite.

Esta Subprefeitura limita-se ao norte com Município de Caieiras, ao sul com a Subprefeitura Lapa, ao leste com a Subprefeitura Casa Verde/Cachoeirinha e ao oeste com a Subprefeitura Pirituba.

Figura 105 - Brasilândia (2013)

Demografia

Os últimos censos mostram que o distrito da Freguesia vem perdendo população, enquanto o da Brasilândia apresenta-se como uma nova fronteira de expansão. Freguesia teve em 2010 um decréscimo de sua população em relação ao ano de 2004, passando de 144.923 para 142.326 habitantes. Já a Brasilândia teve um incremento populacional, passando de 247.328 para 264.918 habitantes (IBGE, 2010).

Esses dados apontam o crescimento do tecido urbano no distrito Brasilândia, que apresenta áreas impróprias à urbanização, maior carência habitacional e de infraestrutura urbana do que Freguesia, onde há um processo de esvaziamento. A

Brasilândia permaneceu como bairro dormitório, caracterizado por uma crescente expansão do tecido urbano em direção aos limites do Parque Estadual da Cantareira.

Qualidade Ambiental e Desenvolvimento Urbano

No distrito da Brasilândia, a intensa ocupação das encostas dos morros aumenta o grau de impermeabilidade do território, acelerando o escoamento em direção aos córregos e causando sérios problemas de alagamentos, que chegam a atingir marcas em torno de 2 metros de altura em relação à rua (São Paulo, 2004). A situação desse distrito é agravada pelo excessivo adensamento das construções e pela precariedade do sistema viário local, dificultando a implantação de infraestrutura urbana e a necessária acomodação geotécnica.

O distrito apresenta duas áreas de Pedreira – Morro Grande e Itaberaba, ocupadas por áreas vegetadas e já desativadas. Ele está inserido no seu perímetro parte do Parque Estadual da Cantareira, configurando-se como a única área verde significativa presente no distrito. Grande parte das áreas verdes públicas e dos espaços livres na Brasilândia, destinados a lazer, foram ocupados por loteamentos irregulares e favelas.

Urbanização e Uso do Solo

Na Brasilândia, onde o relevo é mais acidentado, as edificações possuem, em sua maioria, de um a dois pavimentos. A verticalização ocorre apenas nos conjuntos habitacionais, formados por edifícios de quatro a cinco pavimentos, e nas encostas dos morros, onde há edificações de três a cinco pavimentos, características das ocupações irregulares encontradas nas periferias das grandes cidades. Os loteamentos clandestinos e as ocupações irregulares concentram-se nesse distrito, ocupando os fundos de vale e as encostas da Serra da Cantareira. Os eixos dos Córregos Bananal e Canivete aglomeram o maior número de assentamentos precários, constituídos por um sistema viário deteriorado, uma rede de saneamento básico insuficiente e ausência de terrenos vagos e áreas de lazer. A maior parte do comércio e dos serviços está localizada no centro antigo da Brasilândia, nas proximidades da Avenida Itaberaba.

ANEXOS

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - USP									
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO - FAU									
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA - AUT									
LABORATÓRIO DE CONFORTO AMBIENTAL E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA - LABAUT									
ESPECIFICAÇÕES DOS INSTRUMENTOS DO LABORATÓRIO									
INSTRUMENTO	MARCA/FABRICANTE	MODELO	TIPO	TEMPERATURA AMBIENTE DE OPERAÇÃO	FAIXA DE MEDIÇÃO	SENSIBILIDADE	RESOLUÇÃO	PRECISÃO	OBSERVAÇÕES
globo negro (usado na estação Campbell)	Campbell Scientific	15,2 cm (diâmetro)	santoprene® (material)	-50°C a +100°C	-5°C a +95°C	---	---	temp.: -5°C --> tolerância: ±0,14°C	emitância: 0,957
								temp.: 0°C a +70°C --> tolerância: ±0,10°C	
								temp.: +85°C --> tolerância: ±0,25°C	
								temp.: +95°C --> tolerância: ±0,35°C	
piranômetro (usado na estação Campbell)	Kipp & Zonen	CMP3-L	---	-40°C a +80°C	310 a 2800 nm	5 a 20 µV/W/m²	---	expected accuracy for daily sums: ±10% typical accuracy: ±5%	irradiação máxima: 2000 W/m²
termohigrômetro (usado na estação Campbell)	Campbell Scientific	HMP45C-L	---	-40°C a +60°C	temp.: -40°C a +60°C	---	---	vide gráfico no campo observações
					---			0 a 90% --> ±2% (para temp. 20°C)	
					RH: 0 a 100%			90 a 100% --> ±3% (para temp. 20°C)	
termômetro (usado na estação Campbell - solo e globo)	CSI	108	---	-50°C a +100°C	-5°C a +95°C	---	---	-3°C a +90°C --> ±0,3°C	---
								-5°C a +95°C --> ±0,7°C	
anemômetro ultrassônico 2D (usado na estação Campbell - velocidade e direção)	Gill Instruments	WindSonic1	2D	temp.: -35°C a +70°C	direção: 0° a 359°	---	direção: 1°	direção: ±3°	---
				RH: <5% a 100%	velocidade: 0 a 60m/s			velocidade: 0,01m/s	
solar shield (usado na estação Campbell)	Campbell Scientific	41003-5	---	---	---	---	---	---	diâmetro do prato: 11,9 cm altura: 20,3 cm
datalogger	Campbell Scientific	CR800	---	-25°C a +50°C	0 a +2500 mV	---	0,33 mV	±(0,06% of reading + offset), 0° a 40°C	memória: 2Mb (of flash for operation system), 4Mb (of battery-backed SRAM for CPU usage), program storage and final data storage
									taxa de varredura: 100 Hz
								±(0,12% of reading + offset), -25° a 50°C	canais analógicos: 6 (SE) ou 3 (DIFF)
									canais de excitação: 2 programáveis (+2,5 V)
								±(0,18% of reading + offset), -55° a 85°C (-XT only)	porta 12 VDC: 1 (chaveada) e 1 (contínua)
								Accuracy does not include sensor and measurement noise	canais de pulso: 2
									portas de controle: 4
									alimentação: 9,6 a 16 Vdc
	comunicação: RS-232								

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - USP										
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO - FAU										
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA - AUT										
LABORATÓRIO DE CONFORTO AMBIENTAL E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA - LABAUT										
ESPECIFICAÇÕES DOS INSTRUMENTOS DO LABORATÓRIO										
INSTRUMENTO	MARCA/FABRICANTE	MODELO	TIPO	CONDIÇÕES AMBIENTAIS DE OPERAÇÃO	FAIXA DE MEDIÇÃO	SENSIBILIDADE	RESOLUÇÃO	PRECISÃO	OBSERVAÇÕES	
câmera fotográfica	Nikon	Coolpix 4500	digital	temperatura: 0 a 40°C	---	---	---	---	pixels efetivos: 4.0 milhões	
									lente: 4 x zoom Nikkor	
									distância focal: 7,85 a 32 mm [35 mm [135] formato de câmera equivalente: 38 a 155 mm)	
				f/-number: f/2,6 - f/5,1						
				construção: dez elementos em oito grupos						
				zoom digital: 4,0 x						
lente	Nikon	FC-E8	olho de peixe (fish eye)	umidade: < 85% (sem condensação)	---	---	---	---	faixa de focagem (medido a partir da objetiva): 30 cm/1'1" - ∞ (50 cm / 1'8" a maior posição do zoom), aproximadamente 2 cm/0,8" (posição de zoom médio) - ∞, em modo de foco manual e macro	
									distância focal da lente da câmera reduzida a x 0,21	
									ângulo: aproximadamente 183°	
									construção: cinco elementos em 4 grupos	
									dimensões: (74 x 50)mm --> (diâm. x altura)	
peso: 205 g										