

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA

**ÍNDICES URBANÍSTICOS E O AMBIENTE TÉRMICO:
ESTUDO EM UMA FRAÇÃO DA CIDADE DE SÃO CARLOS -SP**

JULIANO SOUZA VASCONCELOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Urbana.

Orientação: Prof^ª. Dr^ª. Léa Cristina Lucas de Souza

São Carlos

2014

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da
Biblioteca Comunitária da UFSCar**

V331iu

Vasconcelos, Juliano Souza.

Índices urbanísticos e o ambiente térmico : estudo em uma fração da cidade de São Carlos -SP / Juliano Souza Vasconcelos. -- São Carlos : UFSCar, 2014.
102 f.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2014.

1. Planejamento urbano. 2. Clima urbano. 3. Microclima.
4. Índice urbanístico. 5. Simulação climática. I. Título.

CDD: 711 (20^a)



FOLHA DE APROVAÇÃO

JULIANO SOUZA VASCONCELOS

Dissertação defendida e aprovada em 13/06/2014
pela Comissão Julgadora

Profª Drª Léa Cristina Lucas de Souza
Orientadora (PPGEU/UFSCar)

Profª Drª Maria Solange Gurgel de Castro Fontes
(FAAC / UNESP)

Profª Drª Sandra Regina Mota Silva
(DECiv/UFSCar)

Prof. Dr. Ricardo Siloto da Silva
Coordenador do CPG-EU

SUMÁRIO

1. Introdução.....	7
1.1 Objetivo principal	10
1.2 Objetivos específicos	10
1.3 Hipótese e forma de abordagem.....	10
1.4 Estrutura da dissertação	11
2. Clima e microclima urbano	12
2.1. Clima urbano.....	12
2.2. Ambiente térmico urbano	17
2.3. Modelos de Simulações do clima urbano	22
2.3.1. O ENVI-met e suas aplicações	24
3. Materiais e métodos.....	28
3.1. Descrição da área de estudo.....	28
3.1.1. Levantamentos físicos da fração escolhida.....	32
3.1.2. Levantamento das condições térmicas	34
3.1.3. Validação, simulação e criação de cenários aplicando o programa computacional ENVI-met	38
3.1.4 Análise para extração de resultados	43
4. Resultados e análise dos dados reais medidos	44
4.1. Caracterização dos coeficientes urbanísticos nos pontos de observação.....	44
4.2. Caracterização térmica	47
4.3. Cruzamentos de dados urbanísticos e térmicos	52
5. Resultados e análises dos dados dos simulados	58
5.1. Validação dos dados simulados	58
5.2. Comparação entre a situação real e os cenários hipotéticos	63
5.2.2. Análise geral do comportamento do vento nos cenários estudados.....	71
5.2.3. Análise específica dos pontos de observação.....	75
5.2.4. Verificação do papel térmico de cada coeficiente urbanístico	76
6. Considerações finais.....	82
7. Referências.....	85
7.1. Dados Infográficos.....	96
APÊNDICE A – Dados das temperaturas, vento e umidade nos períodos de medição.....	98
ANEXO A: Mapa da área urbanizada de São Carlos até 1929.....	101
ANEXO B: Imagens do satélite goes em julho/agosto de 2012	102

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: São Carlos e a localização das estações.....	29
FIGURA 2: Foto Panorâmica do campus UFSCar.	30
FIGURA 3: Região Subcentral de São Carlos escolhida para os estudos e instalações dos equipamentos de medições.....	31
FIGURA 4: Localização dos pontos de observação da primeira etapa.....	32
FIGURA 5: Pontos de coleta e instalação dos <i>data-loggers</i>	35
FIGURA 6: Posição da instalação do HOBO em um dos pontos de medição.	36
FIGURA 7: Local da instalação da Estação no ponto T.E.	36
FIGURA 8: Mapa da região simulada com destaque em vermelho nas áreas calculadas para os coeficientes urbanísticos.....	39
FIGURA 9: Mapa da região simulada e digitalizada no ENVI-met.....	39
FIGURA 10: Configuração para o modelo no ENVI-met.....	40
FIGURA 11: Configuração para simulação do primeiro período referente a julho.	42
FIGURA 12: Configuração para simulação do segundo período referente a agosto. ..	42
FIGURA 13: Mapa térmico para a situação real.	64
FIGURA 14: Mapa térmico para o cenário adensado.....	64
FIGURA 15: Mapa térmico para o cenário arborizado com edificações reais.	65
FIGURA 16: Diferenças térmicas das quadras para a situação atual.	67
FIGURA 17: Diferenças térmicas das quadras para o cenário adensado.....	67
FIGURA 18: Diferenças térmicas das quadras para o cenário arborizado.	67
FIGURA 19: Mapa da velocidade do ar para a situação atual.	71
FIGURA 20: Mapa da velocidade do vento para o cenário adensado.	73
FIGURA 21: Mapa da velocidade do vento para o cenário arborizado.	74

APÊNDICE

FIGURA A _p .1: Rosa dos ventos da estação do INMET.	99
FIGURA A _p .2: Rosa dos ventos no ponto T.E..	99

ANEXO

FIGURA A _n .1: Mapa da região central de São Carlos e vizinhanças (1857-1929).....	100
FIGURA B.1: Mapa da região Sudeste e vizinhança no dia 18/07/2012 às 15:00.....	101
FIGURA B.2: Mapa da região Sudeste e vizinhança no dia 06/08/2012 às 15:00.....	101

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: Escalas.....	14
TABELA 2: Categorias taxonômicas da organização geográfica do Clima e suas articulações com o Clima Urbano.....	15
TABELA 3: Áreas e índices para o ponto de coleta A.	45
TABELA 4: Áreas e índices para o ponto de coleta B.	45
TABELA 5: Áreas e índices para o ponto de coleta C.	46
TABELA 6: Áreas e índices para o ponto de coleta D.	46
TABELA 7: Relações entre os coeficientes urbanísticos e a temperatura média diária (com base nas 24 horas).....	53
TABELA 8: Relações entre os coeficientes urbanísticos e as diferenças de temperaturas diurnas médias (com base no período das 7h às 18h).	54
TABELA 9: Relações entre os coeficientes urbanísticos e as diferenças de temperaturas noturnas (com base no período das 19h às 6h).....	55
TABELA 10: Relações entre os coeficientes urbanísticos e as amplitudes térmicas (com base no período das 19h às 6h).	56
TABELA 11: Comparação entre dados simulados e medidos para os pontos de observação na janela de tempo de julho.	59
TABELA 12: Comparação entre dados simulados e medidos para os pontos de observação na janela de tempo de agosto.	60
TABELA 13: Temperaturas com os erros médios, máximas e mínimas, e o melhor horário para a simulação em julho.....	61
TABELA 14: Temperaturas com os erros médios, máximas e mínimas, e o melhor horário para a simulação em agosto.	62
TABELA 15: Pontos com as maiores velocidades do vento [m/s] nos três cenários....	74
TABELA 16: Intervalo de variáveis do modelo de regressão múltipla.....	77
TABELA 17: Coeficientes resultantes da regressão múltipla.....	77

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1: Dados demográficos em São Carlos.....	30
GRÁFICO 2: Número de domicílios. Reprodução do autor baseado nos dados do SEADE.....	31
GRÁFICO 3: Temperaturas do ar médias diárias.....	47
GRÁFICO 4: Diferenças das temperaturas do ar médias diárias.	48
GRÁFICO 5: Média das temperaturas diurnas do ar (das 7h às 18h).	49
GRÁFICO 6: Diferença média de temperatura do ar diurna urbana-rural.....	49
GRÁFICO 7: Média das temperaturas noturnas do ar (das 19 às 6h).	50
GRÁFICO 8: Diferença média de temperatura do ar noturna urbana-rural.....	50
GRÁFICO 9: Amplitude térmica do ar média diária.	51
Gráfico 10: Diferença da amplitude térmica do ar média diária.	51
GRÁFICO 11: Diferenças térmicas entre os cenários em julho.	66
GRÁFICO 12: Diferenças de temperaturas em função do aumento do coeficiente de ocupação.	68
GRÁFICO 13: Diferenças de temperaturas em função do aumento do coeficiente de aproveitamento.	69
GRÁFICO 14: Diferenças de temperaturas em função do aumento do coeficiente de vegetação urbana.	70
GRÁFICO 15: Comparação das temperaturas (15a) e velocidades dos ventos (15b) simuladas nos pontos A, B, C e D para os diversos cenários de estudo.	75
GRÁFICO 16: Relação entre o CO e Temperatura do ar.	78
GRÁFICO 17: Relação entre o CA e Temperatura do ar.....	79
GRÁFICO 18: Relação entre o C.V.U. e Temperatura do ar.	79
GRÁFICO 19: Relação entre Velocidade do ar e Temperatura do ar.	80
GRÁFICO 20: Relação entre Absortância e a Temperatura do ar.....	81

ANEXO

GRÁFICO A _n .1: Dados de temperaturas horárias nas estações e pontos de observação entre os dias 13 de julho e 14 de agosto de 2012.	98
GRÁFICO A _n .2: Dados de umidade relativa média nas estações e pontos de observação na janela de tempo de 18 a 21 de julho.	100
GRÁFICO A _n .3: Dados de umidade relativa média nas estações e pontos de observação na janela de tempo de 06 a 12 de agosto*.	100

RESUMO

A forma urbana influi no ambiente térmico das cidades, porém poucas são as ferramentas legislativas urbanas que incluem a questão térmica no planejamento da cidade e no desenho urbano. Esta pesquisa procurou estabelecer uma ligação entre forma urbana e ambiente térmico, a partir dos coeficientes de ocupação, de aproveitamento e de cobertura vegetal, para a caracterização da ocupação do solo. Para isso foi estudada uma fração da cidade de São Carlos, município brasileiro do Estado de São Paulo. Naquela área de estudo foram estabelecidos pontos para realização de medições térmicas, enquanto eram registrados dados disponibilizados pela estação meteorológica localizada em área periférica à cidade. As medições foram realizadas durante períodos representativos de dias secos, nos meses de inverno. As medições serviram de base para a validação de um modelo computacional de simulação do clima urbano, o ENVI-met. Estabelecidas as situações de melhor desempenho do modelo, através de comparações entre dados reais e dados simulados, foi possível realizar simulações para a obtenção de dados e desenvolvimento do mapeamento térmico da situação urbana real, de um cenário adensado e de um cenário arborizado. Os resultados apontaram que existe um leve aumento da temperatura com o aumento do coeficiente de ocupação. Tendências mais significativas foram verificadas pelo desenvolvimento de um modelo de regressão múltipla, revelando o potencial do coeficiente de aproveitamento e da cobertura vegetal urbana, associados ao aproveitamento do vento.

Palavras-Chave: clima urbano, microclima, índice urbanístico, simulação climática.

ABSTRACT

Though urban form affects the thermal environment, there are only a few legal tools that include the thermal issue in the city planning and urban design. This research established a link between urban form and thermal environment, by considering urban indexes such as the occupation coefficient, the floor space index and the vegetation cover index, to characterize the land use and occupation. For this purpose, the study area was an urban fraction of the Brazilian city of São Carlos, in State of São Paulo. Several points of the study area were taken as references for thermal measurements, while others regional data of the climate were registered by the meteorological station situated in the city skirts. The data were collected in periods representing dry weather of winter months. The measurements allowed the validation of a computational model applied for microclimatic simulation of the urban area - the ENVI-met. The best situation performed by the model was determined by comparison of real and simulated data. This process allowed data extraction by simulation of the whole area and the development of thermal maps, considering the real urban situation, a scenario of densification and a scenario of green areas. The results pointed out that the rise of the occupation coefficient causes a slight elevation of the air temperature. Even more significant tendencies were also assessed by the development of a multiple regression model, revealing the potential of the floor space index, the urban green cover and their association with the wind speed.

Keywords: urban climate, microclimate, urban indexes, climatic simulation.

1. INTRODUÇÃO

O crescimento das cidades, a partir da segunda revolução industrial, ocorreu de forma acelerada e com pouco planejamento, inclusive no Brasil. Somado a isso, a partir da segunda metade do século XIX, a sociedade passou por mudanças energéticas, com a exploração do petróleo e seu emprego em motores de combustão e o surgimento dos veículos automotores; além da geração e utilização de energia elétrica (LEITE, 2011).

As cidades com mais oportunidades de trabalhos tendem a atrair mais pessoas e o contrário acontece com regiões menos promissoras (LACERDA, 2012). A expectativa de ter uma vida mais confortável e com maiores oportunidades de gerar rendas, tem sido a explicação mais aceita para a migração do homem do campo para os centros urbanos.

Corbella e Magalhães (2008) comentam que, com a globalização, as cidades foram incorporando tecnologias de arquitetura e urbanismo ditadas pelos padrões formais de países desenvolvidos, mas o clima e o ambiente local foram pouco considerados neste processo. Dentre as consequências negativas provocadas, estão o desconforto humano e a formação das ilhas de calor ou de locais urbanos com maior acúmulo de calor, proveniente da dificuldade de dissipação de calor e do seu armazenamento pelas superfícies.

Conforme apontam Mills (2009) e Ewenz et al. (2013), a constatação da formação de ilhas de calor é documentada no trabalho “The Climate of London”, datado de 1833. Naquele documento, Luke Howard apresentou as primeiras medições térmicas atmosféricas em locais próximos a Londres, no período de 1806 a 1830. Desde então, o termo é utilizado para definir o fenômeno, que se caracteriza pelo aumento de temperatura do ar em zonas com edifícios e áreas construídas, em relação às áreas não urbanizadas.

Enfatizando a importância desse sistema urbano de interferências térmicas, Assis (2005) aponta que a melhoria da qualidade ambiental requer uma avaliação das soluções em projetos sobre as condições de conforto térmico dos espaços públicos urbanos. A forma urbana afeta o ambiente térmico de diversas maneiras, como mostra Givoni (1998). Assim, se por um lado a cidade altera o clima, o próprio clima modificado condiciona os ambientes internos dos edifícios.

Teza e Baptista (2005) comentam que a ilha de calor urbano é o fenômeno causado por ações antrópicas, em que acontece o aquecimento com maior relevância no centro das cidades, dificultando a evaporação, e diminuindo a capacidade de dispersão dos poluentes atmosféricos. Segundo Moreira e Galvêncio (2009), a ilha de calor é uma anomalia térmica que pode acontecer em escala local, no interior das cidades com maior concentração na zona central e diminui para a periferia, apresentando também gradiente, se área urbana for comparada com área rural.

Segundo Lee (1992), as temperaturas nas chamadas ilhas urbanas de calor de Londres possuem temperaturas médias anuais em torno de 1,5°C maior do que no meio rural, por uma complexa combinação de fatores, incluindo: as mudanças no balanço de radiação e energia da superfície da Terra, a substituição da vegetação por materiais como concreto e asfalto; a modificação da composição da atmosfera por poluentes do ar que afetam o balanço de radiação, a produção de calor antropogênico das atividades humanas, como a perda de calor e aquecimento provocada pela emissão de veículos motorizados. Lee (1992) concluiu que a complexidade da dinâmica na cidade de Londres em relação a temperatura urbana é um exemplo claro, demonstrando um índice elevado no aquecimento em zonas centrais nos períodos noturno e diurno e que ocorreu ao longo das últimas três décadas, acarretando uma refrigeração deficiente e causando problemas de calor excessivo na capital inglesa.

Nince (2008) define que a ilha de calor é amplamente aceita entre os estudiosos em climatologia, porém a denominação energia térmica seria mais correta, pelo fato do calor ser energia em movimento, enquanto que o termo ilha supõe que o fenômeno seja parado.

Desde as primeiras décadas do século XIX, são realizados estudos sistemáticos para diagnosticar os efeitos da urbanização no clima das cidades (CALLEJAS et. al., 2011) em busca da minimização desses efeitos. Os estudos de Oke (1982), também estudado por Brandão e Alucci (2011), correlacionaram inicialmente o aumento da temperatura em função da população e evoluíram para estudo de fluxo de calor e balanço energético. No Brasil, a partir de Monteiro (1976), muitos trabalhos surgiram envolvendo a temática do clima urbano, a interferência de todos os fatores que se processam sobre a camada

limite urbana (acima do topo das edificações) e que alteram o clima na escala local.

Santamouris (2001) comenta que a crescente urbanização e a industrialização fizeram com que o ambiente urbano se deteriorasse a uma velocidade considerável. Deficiências no controle do desenvolvimento das cidades têm consequências importantes para o clima urbano e a eficiência ambiental dos edifícios. O tamanho dos lotes residenciais foi reduzido, aumentando assim a densidade e o potencial para o congestionamento do tráfego. O número crescente da construção civil tem lotado o solo e devastado a vegetação existente anteriormente nessas áreas.

Arrau e Peña (2011) afirmam que a previsão de crescimento da população mundial para 2030 é de 70%, levando à crescente preocupação com os impactos negativos que podem ser causados.

Por aproximadamente 25 anos no final do século XX, a prática da sistemática contínua e o crescente planejamento esteve mais nas ações do poder público, mas não se firmou como fator inquestionável e aceito integralmente (MENDONÇA E MONTEIRO, 2003).

A alteração do ambiente térmico é uma das consequências da urbanização, porém poucas são as ferramentas legislativas urbanas que permitam rebater a questão térmica no planejamento da cidade e no desenho urbano. Como comentam Melo e Barbirato (2011), o modelo de urbanização brasileiro caracteriza-se pela expansão e segregação espacial da malha urbana, somados a isso, os instrumentos responsáveis pela ordenação do solo nem sempre contribuem para assegurar o conforto térmico urbano.

Com base nessas observações, essa pesquisa considera que existe a necessidade de ser estabelecida uma ligação entre índices que caracterizam a malha urbana e o ambiente térmico, de forma a permitir que sejam apontadas diretrizes urbanas e previsão de cenários microclimáticos. Nesse contexto, considerando as potencialidades ainda oferecidas pelas cidades emergentes de porte médio, o estudo pretende utilizar uma fração da cidade de São Carlos como laboratório de estudo.

1.1 OBJETIVO PRINCIPAL

Estabelecer relações entre o microclima e os coeficientes de ocupação, de aproveitamento e de cobertura vegetal dos solos de uma fração próxima à área central antiga no município de São Carlos.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Verificar os padrões térmicos da cidade de São Carlos, quando submetidos à influência de massas térmicas ocorridas em estação seca;
- Identificar parâmetros urbanos usualmente empregados por órgãos executivos municipais, que melhor representem a qualidade térmica do ambiente urbano;
- Simular cenários futuros para a previsão da condição térmica gerada.

1.3 HIPÓTESE E FORMA DE ABORDAGEM

Essa pesquisa parte da hipótese de que coeficientes de ocupação e de aproveitamento, habitualmente utilizados no planejamento urbano, além do coeficiente de cobertura vegetal, podem servir de indicadores térmicos da condição microclimática no entorno imediato de pontos localizados de uma determinada fração urbana.

Para que essa hipótese possa ser verificada, essa pesquisa procura levantar os índices urbanos (taxa de ocupação, índice de aproveitamento, porcentagem de áreas verdes, etc) encontrados em uma fração urbana na cidade de São Carlos. Para essa região são feitas coletas de dados microclimáticas e realizada uma análise inicial de relação entre os índices e esses dados. Para a mesma fração, são realizadas simulações de cenários futuros e verificadas as condições térmicas que podem ser geradas nos microclimas do entorno imediato.

1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A estrutura foi dividida em capítulos, sendo o primeiro destinado à introdução e à justificativa da pesquisa e aos objetivos principal e específico, além da hipótese e da forma de abordagem, conforme já apresentados.

O segundo capítulo trata, através da revisão bibliográfica, de temas ligados ao clima, ao microclima urbano e ao ambiente térmico urbano, assim como são abordados os modelos de simulação do clima urbano, com ênfase para o simulador computacional de microclima urbano, o ENVI-met.

O método e o plano de trabalho explicam, no terceiro capítulo, de que forma foi realizada a pesquisa para obtenção de dados no município de São Carlos, o tratamento dos dados e a elaboração da simulação.

O quarto capítulo refere-se aos resultados e discussões, observados a partir dos dados medidos.

O quinto capítulo, trata das simulações nos cenários com os coeficientes de ocupações e de aproveitamento reais e com os coeficientes máximos propostos pelo plano diretor de São Carlos. Nele é ainda estudado um cenário hipotético com quadras arborizadas.

As considerações finais e as conclusões fazem parte do capítulo sexto, seguido das referências e, por fim, dos apêndices e anexos.

2. CLIMA E MICROCLIMA URBANO

Neste capítulo são tratados o conceito de clima, o contexto de microclima e das variáveis que interferem nos fenômenos térmicos de uma cidade.

2.1. CLIMA URBANO

A definição do clima urbano pela Organização Meteorológica Mundial é a mudança de condições meteorológicas, que é causada através das áreas construídas, combinadas com as ações humanas. Ren, Ng e Katzschner (2009) dizem que o clima é um dos elementos do ambiente físico, que muitas vezes é ignorado no planejamento urbano.

O clima urbano pode ser estudado por três escalas de abordagem: macroclima, mesoclima e microclima. O macroclima está relacionado às propriedades meteorológicas, abrangendo uma escala regional. O mesoclima é uma escala que propicia mudanças climáticas por pequenas mudanças de altitude; esta é a escala regida por modificações orográficas. O microclima compreende a escala sobre a influência das edificações, evidenciando a importância das características do desenho urbano.

O microclima é a escala que está mais próxima da influência das propriedades térmicas dos materiais de construção. Rowe et al. (2007) comentam que microclima é a manifestação dos atributos físicos de um ambiente local. As edificações acarretam alterações das condições atmosféricas do seu entorno. Dentre os principais elementos que sofrem alterações causadas pelas superfícies urbanas estão: a temperatura e insolação; correntes de ventos; evaporação e evapotranspiração (FIALHO e SOUZA, 2007).

Segundo Oke et al. (1998), o clima urbano pode ser caracterizado por duas camadas térmicas. A primeira é chamada de camada limite urbana, que corresponde àquela imediatamente acima da camada de cobertura urbana. Essa é a camada de estudo de influência da presença das cidades sobre a atmosfera. A segunda corresponde à camada intraurbana, que abrange do

nível do solo ao nível da cobertura das edificações, equivalendo ao microclima urbano.

Para Givoni (1976), o clima de uma região é determinado pelo padrão das variações de vários elementos e de suas combinações. Neste caso, os principais elementos climáticos para o estudo do clima urbano são: a temperatura e a radiação solar; umidade; vento e precipitação. Esses são os elementos climáticos que, para Barbiero (2004), permitem a avaliação do ambiente térmico.

Higueras (2006) afirma que a presença de uma área urbanizada condiciona completamente o meio e seus ciclos ecológicos, incluindo o suporte (subsolo e solo), a evacuação da água superficial, a redução da cobertura vegetal e o clima (criação de características do microclima urbano). Neste sentido, ocorrem os ciclos ecológicos urbanos, que são os ciclos do ecossistema urbano, apresentando características distintas do meio natural.

Romero (2003) complementa que os microclimas de uma cidade, bairro ou rua, são influenciados por fatores como a topografia, a vegetação e a superfície do solo natural ou construído.

A qualidade de vida em áreas urbanas depende das condições climáticas e microclimáticas proporcionadas pelos espaços da cidade. Katzschner (2004) notou que há uma periodicidade no modo em que o microclima pode ser avaliado. Em um de seus estudos sobre uma praça em Kassel, na Alemanha, o autor observou que a apreensão microclimática permite uma alta frequência de uso de todos os lugares em diferentes épocas e horários de um dia (KATZSCHNER e THORSSON, 2009).

Conferindo importância ao planejamento climático do espaço urbano Katzschner e Katzschner (2008) baseados em escalas geográficas européias, estabelecem as escalas de atuação demonstradas na tabela 1.

Tabela 1: Escalas.

Nível Administração	Nível Planejamento	Questão climática Urbana	Escala Climática
Cidade 1:25000	Desenvolvimento urbano; Plano diretor	Efeitos de ilha de calor; Percurso da ventilação	Meso escala
Bairro 1:5000	Sistema de tecido urbano	Poluição do ar	Meso escala
Quarteirão 1:2000	Desenho de espaço aberto	Conforto térmico	Micro escala
Um Edifício 1:500	Projeto de construção	Radiação e efeitos de ventilação	Micro escala

Fonte: Adaptado de Katzschner e Katzschner (2008).

Mendonça e Monteiro (2003) apresentam de outra forma as divisões de clima e o desenho urbano, através de categorias taxonômicas, organizadas de forma geográfica, como é mostrado na tabela 2.

Tabela 2: Categorias taxonômicas da organização geográfica do Clima e suas articulações com o Clima Urbano.

Ordem de grandeza (Cailleux & Tricart)	Unidades de superfície	Escala cartográfica de tratamento	Espaços climáticos	Espaços urbanos	Estratégias de abordagem		
					Meios de observação	Fatores de organização	Técnicas de análise
II	Milhões de Km	1:4500000 1:1000000	Zonal	-	Satélites Nefanálises	Latitude Centros de ação atmosférica	Caracterização geral comparativa
III	milhares de Km	1:500000 1:200000	Regional	-	Cartas sinóticas Sondagens aerológicas	Sistemas meteorológicos (Circulação secundária)	Redes transectos
IV	Centenas de Km	1:1000000 1:500000	Sub-Regional (fácies)	Megalópole Grande área metropolitana	Rede meteorológica de superfície	Fatores geográficos	Mapeamento sistemático
V	Dezenas de Km	1:250000 1:100000	Local	Área metropolitana Metrópole	Posto meteorológico Rede complementar	Integração geológica Ação antrópica	Análise espacial
VI	Centenas de metros	1:50000 1:25000	Mesoclima	Cidade grande bairro ou subúrbio de metrópole	Registros móveis (Episódios)	Urbanismo	Especiais
-	Dezenas de metros	1:10000 1:5000	Topoclima	Pequena cidade Fácies de bairro/subúrbio de cidade	(Detalhe)	Arquitetura	
-	Metros	1:2000	Microclima	Grande edificação Habitação Setor de habitação	Baterias de instrumentos especiais	Habitação	

Fonte: Mendonça e Monteiro (2003).

Oke (2006) considera que a microescala climática é determinada pelas superfícies urbanas, de forma que temperaturas da superfície e do ar podem variar por diversos graus, mesmo a distâncias muito curtas. O fluxo de ar pode ser perturbado, pelos mesmos tipos de objetos pequenos. Desta forma, escalas típicas de microclimas urbanos relacionam-se às dimensões de edifícios individuais, árvores, estradas, ruas, pátios, jardins, etc., podendo se estender de menos de um metro a centenas de metros.

Oh et al. (2004) estudaram as mudanças da superfície do solo e vegetação decorrente de estruturas artificiais por empreendimentos residenciais. Considerando as influências sobre o ambiente térmico com vegetação e perto de corpos d'água, esses autores observaram que os edifícios causavam mudanças microclimáticas em escalas de alguns km².

Segundo Mills (2008), desde a década de 70 do século XX, houve um aumento substancial nos estudos de climas urbanos. A partir de então, ocorreram avanços nas aplicações de teorias meteorológicas com maior precisão nas superfícies urbanas e em seus efeitos atmosféricos.

Devido à rápida urbanização em países em desenvolvimento, questões ambientais ganharam maior atenção em cidades com climas tropicais. Como consequência, o interesse no microclima em torno dos edifícios em áreas urbanas tem aumentado, porque afeta, entre outras coisas, o conforto térmico no exterior e no interior do edifício, alterando o uso de energia para o aquecimento e arrefecimento, e a dispersão de ar poluído (JOHANSSON, 2006).

A pesquisa feita por Yannas et al. (2011) no outono europeu, estabeleceu uma análise em diferentes microclimas formados nas cidades e os efeitos que estes têm sobre a atividade e a qualidade ambiental e em torno de edifícios. O estudo foi realizado no laboratório localizado em Londres, na Inglaterra, com ensaios de campo que combinaram o mapeamento de atividades em edifícios selecionados e espaços exteriores com medidas ambientais em bairros na cidade londrina. As conclusões destes estudos forneceram pontos de partida para projetos de desenho urbano, que se seguiram no período de inverno, explorando estratégias adaptativas, visando o combate às alterações climáticas e melhorias na qualidade ambiental na região pesquisada.

Lima e Amorim (2011) estudaram o município de Rosana e a ação antrópica no clima urbano, principalmente na zona central com alta densidade de edificações e pouca arborização. Os autores concluem que a paisagem urbana de Rosana deve ser repensada, salientando que o Plano Diretor, as Leis de Parcelamento do Solo e a Legislação Ambiental são essenciais para o bem estar da população e devem ser adotadas rigorosamente.

Portanto, os estudos sobre clima urbano acima referenciados demonstram que a questão da escala de abordagem é uma etapa básica e definidora das diversas estratégias que podem ser extraídas para que possa ser garantida uma qualidade térmica do ambiente urbano.

2.2. AMBIENTE TÉRMICO URBANO

Os diversos aspectos dos espaços urbanos conferem ao microclima características térmicas específicas, que são influenciadas pelas diferentes formas, altura e tamanho das edificações. Givoni (1989) afirma que a geometria e o perfil urbano, a forma, o tamanho, a altura do edifício, a orientação das ruas e a natureza das superfícies têm um impacto sobre o ambiente urbano.

Duarte (2010) estudou as correlações de índices urbanísticos em Cuiabá e São Paulo e encontrou influências no aumento de temperaturas nos dois locais, sendo essa correlação de módulo positivo para áreas construídas e negativo para áreas arborizadas.

Souza et al. (2008), identificando o ambiente térmico urbano através do estudo da temperatura do ar na escala do pedestre, verificaram ilhas térmicas de calor e frescor em um bairro residencial. Naquela pesquisa foi observado que, de acordo com o horário de análise, a orientação da massa construída e a vegetação foram os elementos mais influentes no ambiente térmico do pedestre.

Para Unger e Pongrácz (2008), a geometria da superfície urbana é um importante fator determinante da distribuição de temperatura dentro de uma cidade. Essa ideia é complementada por Johansson (2006), ao demonstrar que o acesso solar é maior em ruas largas e espaços abertos e que o desenho mais compacto do espaço urbano pode colaborar no sombreamento das áreas de pedestre, favorecendo as condições térmicas de verão.

Oke (2006) expressa a necessidade de descrever as propriedades de áreas urbanas que afetam a atmosfera, em função das escalas que são conferidas pelas dimensões das características morfométricas que compõem uma paisagem urbana. Nesse caso são apontadas como características básicas mais importantes, a estrutura urbana (dimensões dos edifícios e dos

espaços entre eles, as larguras de rua e espaçamento de rua), a cobertura urbana (áreas construídas, áreas pavimentadas, solo, vegetação nua, água), o tecido urbano (construção e materiais naturais) e o metabolismo urbano (água, calor e poluentes devido à atividade humana).

Das condições térmicas que são alteradas pelo espaço urbano, o vento é um dos elementos que pode ser modificado. Higuera (2006) demonstra que a ação do vento pode ser favorável ou desfavorável e que é influenciada por variáveis como altura dos edifícios, ruas e espaços livres e zonas verdes.

As reais condições do vento, no entanto, em uma determinada área urbana são de difícil previsão, uma vez que, conforme comenta Williamson e Erell (2001), o movimento do ar é afetado por advecção de microescala devido às diferenças locais das temperaturas de superfícies, além da variação por instabilidade atmosférica.

A rugosidade superficial e o solo compactado, aliados a grandes massas d'água e áreas urbanizadas podem provocar a redução da velocidade do vento. Além disso, a impermeabilização do solo e a retirada da cobertura vegetal transformam o resfriamento, tanto em regiões tropicais como temperadas (ASSIS, 2005). A mesma autora destaca a relevância da temática do clima urbano, estudada de forma descritiva e preditiva (modelos numéricos), e a importância de sua abordagem na gestão de projetos de planejamento urbano.

Em três cidades mineiras, o estudo de Assis et al. (2007) registrou efeitos da topografia e de massas d'água no clima daquelas cidades, possibilitando a proposição de diretrizes capazes de subsidiarem os macrozoneamentos urbanos. Aquele estudo verificou áreas de entrada e saída de vento e áreas sujeitas a pouca ventilação, constatando a presença de áreas relativamente mais frias e mais quentes.

De acordo com CIBSE (2006), a velocidade média do vento é uma função do ambiente local, dada conforme a topografia, a rugosidade do solo e os obstáculos nas proximidades. A média de velocidade do vento, observada em dois locais diferentes de altitude semelhante dentro de cerca de 10 km, não difere significativamente, se ambos os locais têm um ambiente de cobertura local com superfície similar.

Quando as ruas da cidade são perpendiculares à direção do vento e os edifícios que revestem essas ruas são edifícios de linhas longas, os fluxos de

ar apresentam correntes principais acima dos edifícios. O fluxo de ar nas ruas é principalmente o resultado de uma corrente de ar secundária, causada pelo atrito do vento acima **do solo, mais especificamente na altura do topo das edificações**, contra os edifícios ao longo das ruas. Sob estas condições, as ventilações de espaço urbano são dificilmente afetadas pela largura das ruas (GIVONI, 1989).

Associada ao desenho e à geometria da cidade, a densidade construtiva é uma das variáveis que influi diretamente no ambiente térmico urbano. Para Givoni (1989), a densidade e o tamanho da área construída pode afetar o grau com que o clima regional é modificado, criando um ambiente urbano específico. A densidade e a geometria condicionam a quantidade de radiação solar incidente sobre os materiais construtivos, determinando o armazenamento de calor nas superfícies e as múltiplas reflexões térmicas ocorridas entre as edificações e superfícies urbanas. Kleerrekoper et al. (2011) observam que a obstrução do céu resultante das alturas dos edifícios pode acarretar uma diminuição na perda de calor de radiação de ondas longas nos cânions urbanos.

Sobre essa mesma questão Souza et al. (2010), estudando o fator de visão do céu, indicam que a temperatura urbana noturna varia de acordo com a faixa de fator de visão do céu considerada. Souza e Oliveira (2008) complementam, demonstrando que menores valores de visão do céu e ilhas urbanas de maior intensidade podem estar associados ao maior consumo de energia elétrica.

Segundo Romero (2011), o cânion urbano é responsável por não dissipar a radiação de ondas longas, ocasionando o aquecimento durante a noite e colabora pela invisibilidade entre a superfície e a abóbada celeste, pois outros edifícios os bloqueiam. Romero demonstrou que em Brasília, os regimes dos ventos podem ser aproveitados. O estudo envolveu vários corpos analisados em diferentes regimes de escoamento e coeficientes de arrasto e a contribuição para melhor orientação aos ventos.

Rocha et al. (2011), estudando a influência da morfologia urbana na temperatura do ar, verificaram que a presença da vegetação e a permeabilidade do solo contribuem na minimização da ilha de calor e, conseqüente, na diminuição da temperatura do ar noturno. O mesmo estudo

demonstra que áreas com maior ocupação e maior pavimentação, levam a ilhas de calor noturnas mais intensas.

Alves e Biudes (2012), estudando o campus universitário federal de Cuiabá, observaram correlações entre a variável espacial da temperatura e os tipos de usos do solo. Os menores valores médios da temperatura ficaram por conta dos espaços com vegetação e maiores médias de umidade relativa no local, enquanto que nos ambientes construídos isso foi inverso.

O microclima em áreas construídas com a vizinhança imediata de áreas verdes difere das regiões não plantadas. As principais diferenças estão na velocidade do vento, temperatura do ar, turbulência e radiação, umidade e pureza do ar (GIVONI, 1989).

Landsberg (2006) também aponta para a umidade relativa e absoluta das cidades serem maiores que a do campo.

Deixando de lado as suas indiscutíveis características visuais e de paisagem, a vegetação estabiliza o solo e retarda erosões, constitui o *habitat* de numerosas espécies de animais, influencia a quantidade e a qualidade da água, filtra a atmosfera, atua como atenuante de ruído e mantém o microclima local através da umidade e temperatura no ambiente, bem como o controle do vento (HIGUERAS, 2006).

O estudo de Souza (2010) também demonstra os efeitos da vegetação, mostrando que as áreas arborizadas possuem vantagens, como equilíbrio do balanço térmico e qualificação térmica.

Izard e Guyot (1983) indicam que a vegetação não possui apenas papel "passivo", mas estabelece contribuições para os microclimas, tanto em ambiente natural como urbano. Os autores ainda advertem que as condições meteorológicas locais e topográficas influenciam na difusão de poluentes com relação a grandes faixas de plantio de árvores, gramíneas e outros tipos de plantas, sendo pouco alterada em extensões reduzidas de áreas verdes.

Alves, Andrade e Nery (2011) relatam que em Salvador, a diminuição da cobertura vegetal e tipologias de construção diversificadas levam ao aumento de temperaturas. Sob essas condições, em 2009, por exemplo, foi constatada uma inversão térmica naquela cidade, causando mal estar na população e demonstrando a importância de preservar e melhorar o planejamento das ocupações do entorno urbano, para não comprometer o clima da cidade.

O estudo do microclima nos espaços verdes envolve uma caracterização biológica, juntamente com o espaço construído e levantamento meteorológico, **baseado em escalas diferentes**. Assis (2005) conclui que o conceito mais apropriado para o estudo do clima urbano é através do balanço de energia, usando a termodinâmica e interações atmosfera-cidade e entorno. O balanço de energia é modificado pela troca das áreas naturais por áreas construídas, sendo que essas últimas armazenam parte da energia incidente da superfície que seria utilizada na evaporação, aquecendo os ambientes urbanos, tornando-os mais quentes (ALVES, 2010).

O balanço energético produz o campo térmico urbano, em decorrência da massa edificada e das propriedades físicas dos materiais de construção do ambiente urbano, fazendo com que acumule energia térmica no ambiente.

Anjos et al. (2012) procuraram determinar o balanço energético em espaços verdes, aplicando o conceito de fator de visão do céu (sky view factor). No entanto, os autores indicam que existe uma lacuna nos estudos de cidades de pequeno e médio porte em vias de crescimento urbano e que, aliados à falta de planejamento do uso do solo urbano, geram espaços desconfortáveis do ponto de vista bioclimático.

Falta uma definição clara nas relações das áreas com vegetação, principalmente nas cidades de pequeno e médio porte, porque carecem de estudos.

Além disso, é necessário que estudos voltados para o ambiente térmico urbano levem em consideração as interferências das massas de ar sobre o campo térmico. No estado paulista, por exemplo, três massas de ar influenciam o sistema da circulação atmosférica, sendo: a Massa Tropical Atlântica, Massa Polar Atlântica e Massa Equatorial Continental.

Considerando a ação de massas de ar sobre o campo térmico urbano, Barbosa (2009), em estudo realizado para a cidade de São Carlos, demonstrou que a massa Tropical Atlântica faz com que essa cidade apresente um cenário de céu claro, alta incidência de radiação e temperatura acima da indicada pelas Normais Climatológicas. A diferença média de temperatura na malha urbana de São Carlos pode ser superior a 5°C.

Assim, os aspectos acima mencionados demonstram a importância de serem consideradas as interações entre as superfícies urbanas, as massas de

ar e o balanço de energia para que possam ser traçadas diretrizes adequadas ao planejamento urbano das cidades.

2.3. MODELOS DE SIMULAÇÕES DO CLIMA URBANO

Para uma maior abrangência do estudo do clima urbano, modelos de simulações são aplicados em diversos estudos, por permitirem a criação de cenários hipotéticos, em um espaço de tempo menor, próximos a um sistema real ou com situações extremas para uma melhor investigação do problema encontrado nas cidades.

Para Fortier e Desrochers (1990) a simulação é uma ferramenta de modelagem e tem sido utilizado por um longo período para análise de vários sistemas, por exemplo: negócios, economia, marketing, educação, política, ciências sociais, ciências comportamentais, relações internacionais, transportes, estudos urbanos, sistemas globais, computadores, fábricas entre outros. A simulação trata de vários cenários hipotéticos próximos ao um sistema real. Uma vasta gama de experiências pode ser realizada em um ambiente controlado, o tempo pode ser minimizado permitindo o estudo dos fenômenos de outra forma não observáveis, e situações sensíveis podem ser testadas em todos os componentes analisados.

Modelagem e simulação computacional é uma técnica poderosa com uma ampla gama de aplicações.

Para Katzschner e Thorsson (2009), modelagens das condições térmicas ao ar livre são indicadas como ferramentas para identificar a distribuição espacial das condições microclimáticas

Krüger e Pearlmutter (2011) aplicaram modelos em escala reduzida para avaliarem o comportamento térmico de uma configuração urbana. Os resultados mostraram uma redução da temperatura de ar no cânion urbano. As áreas molhadas na modelagem tiveram um aumento gradual do fluxo de calor latente, equivalente a implantação de gramado, ou seja, grande parte da energia recebida pelo arranjo urbano é utilizada e dissipada na evaporação de água, ou na evapotranspiração de superfícies vegetadas.

Oleson (2011) pesquisou o comportamento climático de áreas rurais e urbanas. O mesmo autor fez uma análise através de temperaturas com diferenças das médias diárias, máximas e mínimas ao longo do dia e posteriormente simulou outros cenários. Foi demonstrado que a densidade urbana é um fator motriz no aumento de temperatura nas cidades.

Uma revisão da literatura sobre modelagem na capital de São Paulo foi realizada por Monteiro e Alucci (2010), que encontraram trabalhos referentes a calibrações ou novas interpretações de modelos preexistentes, com pouca pesquisa em extrapolações para outros cenários. Monteiro e Alucci não encontraram, ao fazerem o levantamento bibliográfico, a modelagem própria e em situações urbanas reais para avaliação efetiva da ambiência térmica sob a perspectiva do usuário.

Bias, Baptista e Lombardo (2003) estudaram a relação entre os dados de sensores termais, hiperespaciais com a dinâmica intraurbana nos arredores de uma cidade. Foram verificadas variações significativas, como a apresentada em uma das áreas estudadas, em dados térmicos obtidos às 9h45min da manhã com variações de até 9°C. As variações foram intensas às 12h.

Em Belo Horizonte, Assis e Francisco (2006) estudaram o bairro da Floresta, aplicando simulações de cenários futuros com base na lei de uso e ocupação do solo (LUOS) da cidade. Chegaram à conclusão de que a validade do modelo empírico se restringe ao local de análise. Contudo, o procedimento adotado na pesquisa pode se desenvolvido em outras áreas da cidade e até em outros municípios, com finalidade de potencializar uma nova política de desenho urbano sem impactar na qualidade de vida das pessoas.

Os modelos de simulação para o clima urbano podem ser divididos em três tipos: numérico, físico (escalar) e empírico. Nakata e Souza (2013) mostram a relação dos três tipos de modelos existentes para simulação:

- A modelagem numérica possui diversas aplicações e está sendo desenvolvida continuamente. É um modelo genérico e o mais utilizado com relação aos demais simuladores, sendo usado para cidades com diversas condições ambientais. A sua limitação é que precisa de validação e calibração prévia para que a simulação confira dados precisos;
- O modelo escalar (ou modelo reduzido) é o complemento do modelo numérico, usado para modelagens de um processo

específico; a desvantagem é a obtenção da similaridade da inércia térmica. Kanda (2006) salienta que a modelagem escalar requer atenção no estudo de dispersão de turbulência, nos coeficientes de transferência turbulenta, tanto na sombra como na insolação, e nas condições termicamente estratificadas durante longos períodos do dia.

- Por fim, o modelo empírico baseia-se em observações de balanço de energia. Incluem algoritmos estatísticos, parametrizações, conceitos qualitativos e equações de engenharia. Os modelos empíricos geralmente têm sua aplicabilidade restrita às condições bem específicas, exigindo uma base de medições de longo prazo (NAKATA e SOUZA, 2013).

Dentre os muitos modelos computacionais, um dos que mais têm sido aplicados atualmente na escala do desenho urbano é o ENVI-met.

2.3.1. O ENVI-MET E SUAS APLICAÇÕES

O *software* ENVI-met foi desenvolvido pelo Prof Michael Bruse e sua equipe da Universidade Johannes Gutenberg, na cidade de Mainz, na Alemanha.

Huttner et al. (2008) descrevem o ENVI-met 3.1 como um modelo tridimensional de microclima não hidrostático, que inclui:

- Um modelo simples tridimensional do solo;
- Um modelo de transferência radiativa e;
- Um modelo de vegetação.

O *software* é executado em ambiente Microsoft Windows®. Seu número máximo de células de grade (área de simulação) é bastante limitado e não é possível simular o microclima para grandes áreas das cidades. O ENVI-met utiliza uma malha uniforme, com um máximo de cerca de 300x300x35 células com a extensão horizontal que varia entre 0,5 a 10 m.

Um dos diversos recursos que o ENVI-met possui é a possibilidade de manipular explicitamente os parâmetros da meteorologia com os limites de influxo, permitindo um controle exato do desenvolvimento de todos os parâmetros diurnos atmosféricos. De acordo com Silva e Romero (2010), o ENVI-met é um *software* de simulação térmico urbano gratuito, e aplica as leis da termodinâmica e mecânica dos fluidos, e, combinado com o *software*

Leonardo 3.75, representa os resultados da simulação no ambiente urbano. As simulações paramétricas oferecem diferentes possibilidades de configurações urbanas.

Segundo Nakata (2010) as limitações desse modelo e versão são a resolução do programa e as condições climáticas não previstas pelo software. A escala usada e a versão simplificada das edificações do ENVI-met também podem comprometer o estudo quando se analisa uma área urbana maior. A resolução é inversamente proporcional à extensão de simulação; a caracterização é pixel a pixel; o tempo de simulação é lento, podendo demorar dias ou semanas, dependendo do tamanho da malha e outras informações; *nesting grids* e importação de radiação solar podem causar erros no modelo além de outras falhas na programação do *software*; o processo de simulação é contínuo e sem pausa, uma possível queda do sistema por algum motivo pode fazer com que seja necessário reiniciar toda a simulação e a ocorrência do mesmo ser perdida.

Ainda Nakata (2010) relata que o uso do ENVI-met têm vantagens como: a área e a configuração meteorológica estão em dois arquivos, o que facilita a entrada de dados; cenários futuros podem ser elaborados a partir do fornecimento de diversas variáveis de saída; a ferramenta Leonardo 3.75, interpreta os mais variados tipos de mapas obtidos pelos dados de saídas do ENVI-met, de acordo com a preferência do usuário.

Exemplo de aplicação do modelo pode ser observado em Balázs et al. (2009). Esses autores desenvolveram um estudo em Cingapura, país tropical com 85% da população vivendo em arranha-céus e espalhada por toda a ilha. O foco da pesquisa foi a obtenção de uma compreensão mais profunda das condições climáticas, selecionando uma fração urbana com base na altura do edifício, na orientação e na densidade de ocupação de terrenos. Os dados obtidos incluíram temperatura, umidade, velocidade e direção do vento, radiação solar, precipitação, pressão e temperatura de superfície. Posteriormente foi realizada a comparação entre os dados reais e o simulado.

Thielen et al. (2000) estudaram a superfície do solo por simulações em 2D (duas dimensões) em mesoescala, indicando que os resultados nas condições de superfície não devem ser desprezados e podem ter uma influência considerável sobre a mesoescala de processos, tais como a

precipitação convectiva. Portanto, a fim de produzir simulações realistas, a inicialização correta da temperatura de superfície e os fluxos de calor sensível de superfície constituem-se como as variáveis mais importantes. Outras conclusões semelhantes podem ser desenvolvidas para as simulações que incluem topografia.

Através da técnica do CTTC (*Cluster Thermal Time Constant*), Williamson e Erell (2001) chegaram a resultados satisfatórios de simulação para um ou dois dias. Os mesmos afirmaram que as condições reais de vento em um determinado local urbano são muito difíceis de prever, uma vez que eles são afetados por advecção de microescala, devido às diferenças locais de temperaturas de superfície, variando em resposta às mudanças da estabilidade atmosférica.

Katzschner (2004) fez medições comparando modelos como o *Solweig* e o ENVI-met e observou padrão espacial similar de temperatura radiante, com média diária medida em 1,1 m de altura.

Chatzidimitriou e Yannas (2004) avaliaram o *software* ENVI-met, comparando uma simulação em espaços abertos no norte da Grécia. Constataram a possibilidade de melhoria do microclima e levantaram questões sobre o efeito potencial dos espaços interiores nos edifícios circundantes em termos de consumo de energia.

Dentro dos conjuntos do projeto de pesquisa Klimes BMBF, o modelo climático escala micro ENVI-met é utilizado pelo subprojeto Klimes JGU para simular os efeitos do aquecimento global sobre o estresse de calor em cidades da Europa Central e avaliar possíveis medidas propostas pelos planejadores urbanos. Neste estudo duas simulações foram realizadas por um modelo que contém as estruturas que podem ser encontradas na maioria das cidades da Europa Central (HUTTNER, BRUSE e DOSTAL, 2008).

Soares et al. (2011), ressaltam que no Brasil o uso do ENVI-met é pouco difundido. Em João Pessoa o autor simulou e confrontou os dados do microclima do Campus de João Pessoa no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba. Em São Paulo foi realizado o estudo do conforto térmico da população no bairro da Consolação, comparando os índices de conforto térmico em duas situações com as alturas reais das

estruturas e outra com uma redução de 4 vezes. Em ambos os casos foram observadas situações de desconforto térmico (Carfan et al., 2010).

Carfan et al. (2009) estudaram o município de Ourinhos (SP), através da calibração do modelo e da instalação de três estações automáticas, sendo uma na área central da cidade, no prédio da companhia de Saneamento de Água e Esgoto (SAE), outra na UNESP e outra no aeroporto da cidade. Nesse caso o ENVI-met simulou de forma satisfatória o comportamento da camada limite para os pontos medidos.

Impactos microclimáticos na área central de Curitiba foram estudados por Minella, Rasia e Krüger (2011). Com o uso do ENVI-met os autores constataram que os dados de vento disponíveis pela estação meteorológicas podem ser utilizados, desde que os dados de entrada sejam ajustados por diferenças da rugosidade do terreno. Com isso é possível utilizar o modelo com previsão das condições dentro do cânion urbano e de dados de padrões de climatologia.

De acordo com Huttner, Bruse e Dostal (2008), a simulação de microclima no *software* ENVI-met pode ser utilizada para estimar o efeito de alteração das condições climáticas sobre o conforto térmico humano dentro das cidades. O estudo realizado mostrou que espaços verdes são elementos de planejamento urbano, que são normalmente considerados para ajudar a melhorar o conforto térmico humano, reduzindo a temperatura do ar e a radiação refletida.

Verifica-se assim que é possível aplicar a simulação computacional do clima urbano através do ENVI-met, considerando dados de entrada relativamente acessíveis e chegando-se a resultados considerados satisfatórios por muitos pesquisadores anteriormente referenciados.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia dessa pesquisa baseou-se inicialmente na revisão bibliográfica anteriormente abordada, na seleção de uma área de estudo e sua caracterização, no monitoramento de elementos climáticos, na análise e cruzamento de informações e previsão por simulação de cenários futuros.

Para isso, a área de estudo foi estabelecida a partir de uma fração urbana na cidade de São Carlos-SP.

3.1. DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

De acordo com Lima (2007), São Carlos presenciou o mesmo processo de urbanização de outras cidades brasileiras. No ano de 1857 surgiram os primeiros arruamentos na cidade, sendo ainda uma vila. Com a economia cafeeira no auge, a atração de imigrantes era intensa, trazendo a formação de loteamentos e a expansão urbana. A formação dos lotes levou ao crescimento de quase 50% da área urbana de 1889 até 1893, 4,67% de 1894 até 1929 e 11,25% de 1894 a 1929. Até este ano prevaleceu o Código de Postura regido pela Câmara do Município. Entre os anos de 1929 até 1939 ocorreu uma desaceleração urbana.

Entre 1940 e 1950, houve o surgimento de novos loteamentos e a primeira lei que modificou do perímetro urbano. Os loteamentos se multiplicaram e com isso o tecido urbano ficou mais heterogêneo. O primeiro Plano Diretor teve início em 1959.

São Carlos, localizada na região central do Estado de São Paulo, Brasil, possui as seguintes coordenadas geográficas: latitude 22°01'06.10" Sul e longitude 47°53'28.09" Oeste [1]. Está implantada entre as altitudes de 560 e 1.000 metros, com média de 856 m de altitude [2], apresentando temperatura média anual de 19,6°C.

A cidade encontra-se na parte da província geomorfológica das Cuestas Basálticas, com vegetação predominante de cerrado. O clima regional está classificado como Cwa segundo Koeppen, isto é, subtropical mesotérmico, úmido, com chuvas de verão e com estiagem branda no inverno. A época

chuvosa vai de outubro a março, com ocorrência esporádica de geadas, sendo a estação seca, de abril a setembro (PINTO e CRESTANA, 1998).

Segundo o Censo 2010 do IBGE, a população total do município está próxima de 222 mil habitantes (este número não contabiliza a população flutuante, que se concentra em estudantes das instituições de Ensino Superior e Técnico, ampliando ainda mais esse contingente populacional local). Desses habitantes, 96% reside na zona urbana, em uma área de 1137,3 km², com apenas 5,9% do território do município situado em área urbana. Essas estatísticas indicam uma densidade de 3308,46 hab./km² [3].

A figura 1 mostra uma imagem de parte da cidade de São Carlos, com destaque para a localização da fração urbana de estudo (em cor vermelho) situada no campus da Universidade Federal de São Carlos (em cor rosa) em São Carlos. O campus da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) está sediado em uma antiga fazenda, possui características de área rural, com predominância de gramado e árvores plantadas, além de estar em área de vegetação de cerrado. Esse Campus foi tomado como referência para as características do entorno climático periférico à cidade de São Carlos. A figura 2 mostra uma visão panorâmica do campus da universidade [4].

Figura 1: São Carlos e a localização das estações.



Fonte: Adaptado do Google maps.

Figura 2: Foto Panorâmica do campus UFSCar.

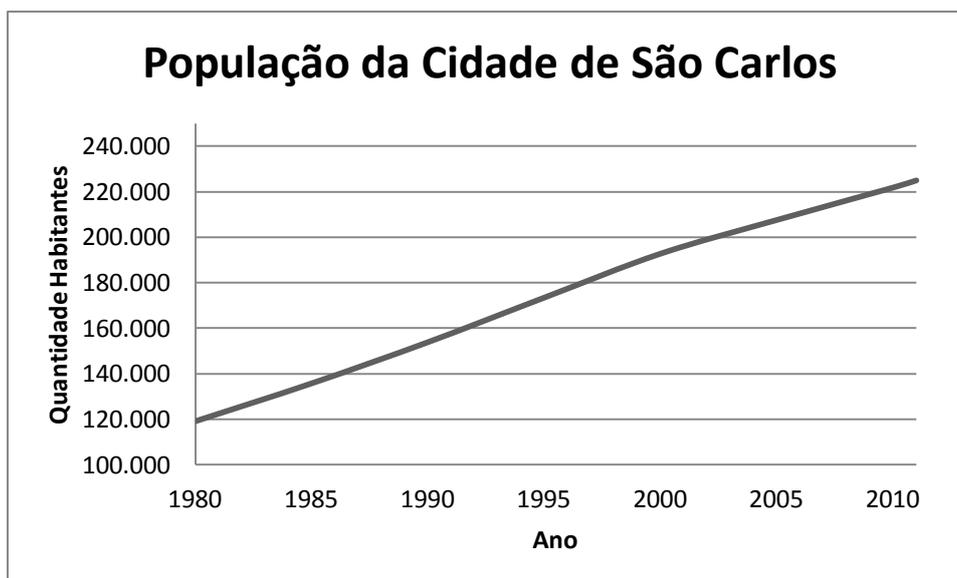


Fonte: Núcleo de Perícia e Sustentabilidade Ambiental [5].

[5] <http://www.dcam.ufscar.br/nupeasa>

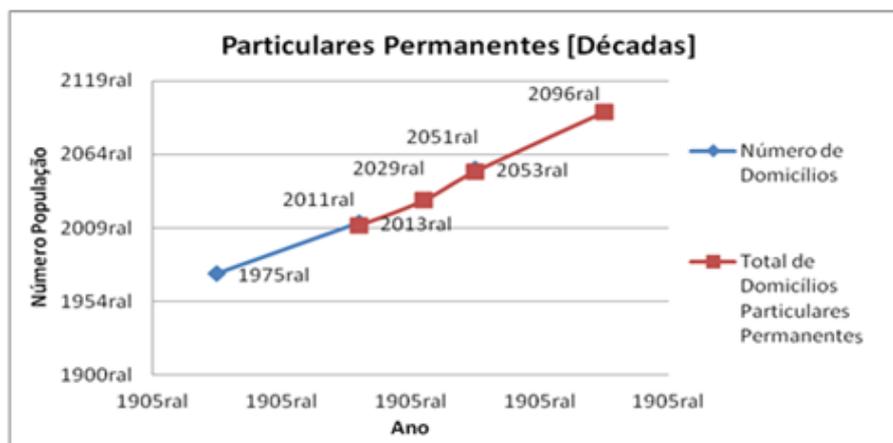
Ao longo das últimas décadas, a cidade apresentou um crescimento significativo no número de habitantes na malha urbana, como pode ser visto no gráfico 1. Evidenciando ainda esse crescimento, o gráfico 2 representa a quantidade de domicílios em São Carlos, a partir de 1980 até os dias de hoje.

Gráfico 1: Dados demográficos em São Carlos.



Fonte: Seade, SP [6].

Gráfico 2: Número de domicílios. Reprodução do autor baseado nos dados do SEADE.



Fonte: Seade 2010 [7].

Para a seleção da área de estudo para essa pesquisa, optou-se por uma fração urbana localizada em região de topografia mais elevada, uniforme, e que mesclasse os usos residencial, comercial e de prestação de serviços. Tal fração encontra-se nas bordas da grande área parcelada entre 1857 e 1929 vide anexo A no mapa elaborado por Lima (2007), configurando, atualmente, um importante subcentro de comércio e de prestação de serviços. A figura 3 indica com mais detalhe a fração central (em amarelo) selecionada.

Figura 3: Região Subcentral de São Carlos escolhida para os estudos e instalações dos equipamentos de medições.



Fonte: Adaptado do Google maps.

Dentro dessa área selecionada foram escolhidos pontos de observação e caracterização para um estudo das condições microclimáticas urbanas. Essas observações foram feitas a partir de um total de quatro pontos de coleta de dados (A, B, C e D) intraurbanos e um ponto de observação na altura do topo das edificações (T.E.), correspondente o topo da camada intraurbana. Esses podem ser observados na Figura 4. A posição dos pontos procurou garantir o mínimo de diferenças de altitudes e foi dependente da disponibilidade e autorização de moradores das residências para a instalação de equipamentos.

Figura 4: Localização dos pontos de observação da primeira etapa.



Fonte: Adaptado do *Google maps*.

3.1.1. LEVANTAMENTOS FÍSICOS DA FRAÇÃO ESCOLHIDA

Os procedimentos metodológicos básicos adotados constituem-se em etapa de levantamentos físicos da fração de estudo em São Carlos, medições e análises das condições térmicas desse local e, posteriormente, simulação e criação de cenários futuros, aplicando-se o programa computacional ENVI-met.

Com base na seleção da fração urbana anteriormente descrita, foram caracterizados seus índices urbanísticos através de levantamentos com mapas, imagens e visitas *in loco*. Os índices urbanísticos aqui considerados são aqueles estabelecidos pelo Plano Diretor, que determina o uso da ocupação dos solos, sendo eles: o de coeficiente de ocupação, o de aproveitamento e o de cobertura vegetal. Nesse trabalho esse último coeficiente foi adaptado para a denominação de coeficiente vegetal urbano.

Os coeficientes urbanísticos foram tomados a partir dos pontos de coleta. Inicialmente, foram estimadas as alturas dos edifícios, considerando três metros por pavimento e verificadas pela observação a campo. Em seguida a fração urbana foi representada no ambiente em *AutoCad®* (versão educacional) e as ferramentas nele disponíveis para cálculo permitiram a estimativa dos coeficientes urbanísticos para cada ponto de coleta.

Para a determinação dos coeficientes urbanísticos relativos a cada ponto de referência, foi considerado um raio de abrangência de 50 m. Com base no Plano Diretor de São Carlos (SÃO CARLOS, 2005), os cálculos dos coeficientes são definidos através de equações.

O Coeficiente de Ocupação (CO) pode ser determinado pela equação 1:

$$CO = \frac{\text{área de projeção da edificação}}{\text{área do lote}} \quad \text{Equação 1}$$

Na Equação 1, CO é a relação existente entre a área de projeção da edificação no solo e a área do terreno. Para o local de estudo, os Coeficientes de Ocupação estabelecidos pelo Plano Diretor correspondem aos da Zona de Ocupação Induzida - Zona 1, para a qual o máximo CO é igual a 70% (setenta por cento);

Outro índice estabelecido pelo Plano Diretor é o Coeficiente de Aproveitamento (CA). Esse representa a relação entre a área edificável e a área do terreno, sendo descrito pela equação 2:

$$CA = \frac{\text{área edificada}}{\text{área do lote}} \quad \text{Equação 2}$$

Nesse caso, para a Zona de Ocupação Induzida – Zona 1, o CA máximo permitido é de 1,4 para uso estritamente de habitações unifamiliares. Esse valor foi usado neste estudo como elemento para comparação e estimativa para cenários futuros.

Além desses coeficientes, para este trabalho foi elaborada uma adaptação do Coeficiente de Cobertura Vegetal (CCV), normalmente aplicado para zonas verdes e mananciais. Adotou-se então um Coeficiente Vegetal Urbano (CVU) para parques e bosques. Esse representa a relação entre a área coberta por vegetação arbórea ou arbustiva de um determinado imóvel e a sua área total (Equação 3).

$$\text{CVU} = \frac{\text{área vegetada urbana}}{\text{área do lote}} \quad \text{Equação 3}$$

Para que na fração de estudo pudessem ser determinados os coeficientes anteriormente mencionados, foram calculadas as seguintes áreas dentro do raio de 50m de abrangência de cada ponto de coleta: área construída e área vazia; área da rua e da calçada; área de piso e de revestimento; área verde. A determinação do raio de abrangência baseou-se na pesquisa de Rocha (2011) e Romero (2011).

3.1.2. LEVANTAMENTO DAS CONDIÇÕES TÉRMICAS

Em período seco, entre julho e agosto, nos pontos de coleta urbanos foram realizadas medições de dados térmicos, correspondentes à temperatura do ar e à umidade relativa do ar, enquanto foram registrados dados climáticos rurais disponibilizados pela estação meteorológica do INMET.

Para as medições intraurbanas, foram instalados equipamentos nos quatro pontos de coleta A, B, C e D mostrado na figura 5. São pontos em locais de uso misto, tendo edifícios com um ou vários pavimentos, residenciais e comerciais, além de alguns pontos disporem de áreas verdes urbanas.

Figura 5: Pontos de coleta e instalação dos *data-loggers*.



Fonte: Google maps.

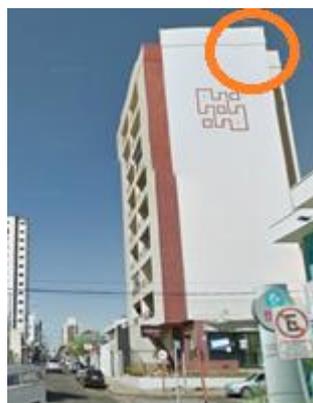
Nesses casos, os equipamentos utilizados foram quatro *data-loggers* marca HOBO Pro v2 modelo U23-001 da ONSET, com sensores de temperatura (precisão de -40 a 70 °C) e umidade (0-100%), ambos com erro de 1%. Todos os sensores de temperatura e umidade foram protegidos contra radiação solar direta e disponibilizados pelo Núcleo de Pesquisas em Acústica e Térmica nas Edificações e Redes Viárias (NUPA) /CONFEE do Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia (CCET-UFSCar). Esses *data-loggers* foram posicionados na altura do usuário, equivalendo a 1,5 m do nível do solo. A posição de instalação é mostrada na figura 6 (destaque no círculo em vermelho).

Figura 6: Posição da instalação do HOBO em um dos pontos de medição.



No ponto T.E. de coleta de dados no topo da camada intraurbana, a 30 metros de altura do solo, foi instalada uma estação marca *Solar*® disponibilizado pelo Núcleo de Conforto Ambiental (NUCAM) da UNESP-Campus de Bauru, equipada com um anemômetro para medir a velocidade e direção dos ventos. Essa estação teve por finalidade obter os dados de velocidade do vento na fração urbana de estudo, para possibilitar uma análise posterior do campo térmico intraurbano. A figura 7 mostra o local em que foi instalada a estação (destaque no círculo em laranja).

Figura 7: Local da instalação da Estação no ponto T.E.



Fonte: Google maps.

Paralelamente a essas medições, foram anotados os registros feitos pela estação meteorológica do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia),

localizada no Campus da Universidade Federal de São Carlos. Esses registros representaram uma situação que se aproxima das condições térmicas da área rural, já que o referido campus se situa a cerca de 5,0 km do centro da cidade (distância em relação à proximidade dos pontos de medição).

Procurou-se realizar as medições em período sujeito a condições de baixa umidade na região de estudo. A baixa umidade do ar é indicada para a verificação da maior influência da estrutura urbana sobre as condições térmicas, conforme apontado por Oke (1982). Assim, as medições foram realizadas nos períodos de 13 de julho a 14 de agosto de 2012.

Dentro daquele período, foram identificadas janelas de tempo (sem nuvens), que melhor representassem o período seco, sendo para isso observadas cartas sinóticas e mapas de satélites (no anexo B são apresentados dois exemplos do dia 18 de julho e do dia 06 de agosto para o horário das 15 horas), acessados pelo site do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). Assim sendo, a campanha de medições gerou duas janelas de tempo. Os seguintes períodos correspondem, portanto, aos conjuntos de dados que compuseram o estudo em 2012: de 18 de julho a 21 de julho e 06 de agosto a 12 de agosto.

O Apêndice A apresenta os dados climáticos correspondentes ao período de análise.

Os dados de cada uma dessas janelas de tempo foram analisados por parâmetros estatísticos básicos, observando-se médias, máximas, mínimas e amplitudes. Inicialmente cada janela foi caracterizada por suas médias de temperaturas diárias e suas diferenças entre os pontos de coleta, médias de temperaturas em horários sujeitos à radiação solar direta (das 7h às 18h) e suas diferenças urbana-rural nos pontos de coleta, médias de temperatura noturna sob as condições de liberação da radiação de ondas longas e suas diferenças urbana-rural entre os pontos, média das amplitudes térmicas (diferenças entre máximas e mínimas) e suas diferenças urbana-rural entre os pontos.

Após esse tratamento de dados, as médias das informações térmicas por janelas individuais foram agrupadas para a determinação de uma média geral do período seco. Essas serviram de base para uma primeira análise das tendências térmicas da fração estudada em relação aos coeficientes

urbanísticos. Além disso, esse resultado serviu de parâmetro para a validação do modelo de simulação computacional aplicado para a criação de cenários futuros.

3.1.3. VALIDAÇÃO, SIMULAÇÃO E CRIAÇÃO DE CENÁRIOS APLICANDO O PROGRAMA COMPUTACIONAL ENVI-MET

A primeira etapa da simulação das condições térmicas da fração urbana estudada, visou verificar a compatibilidade dos dados reais e simulados com o auxílio do modelo computacional ENVI-met. Com isso, buscou-se obter uma validação do modelo para permitir a criação de cenários, para a análise da influência dos coeficientes estudados sobre as condições térmicas microclimáticas.

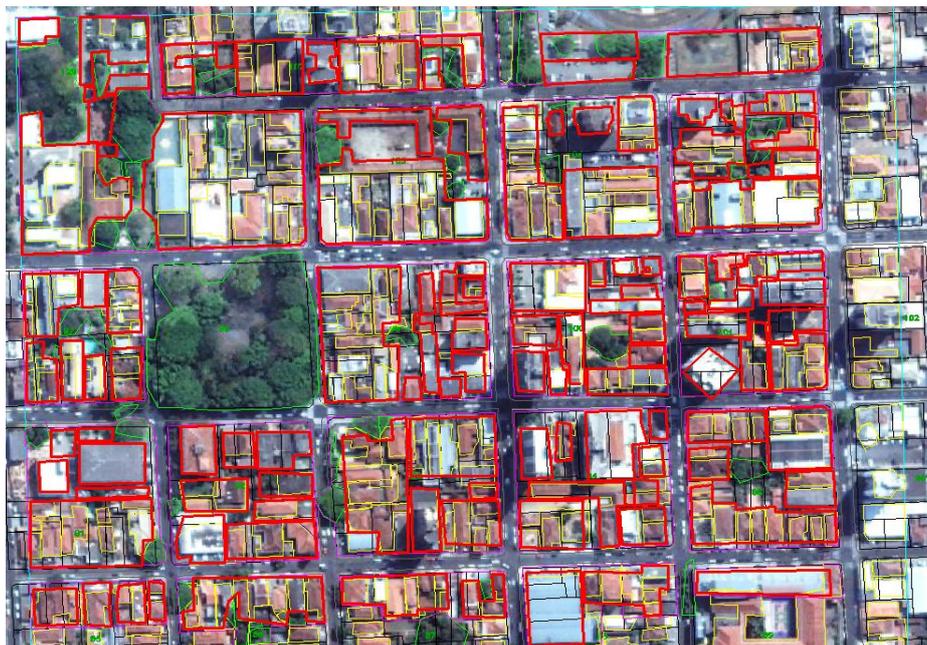
As simulações foram realizadas para as condições médias determinadas para o período seco anteriormente caracterizado.

Para os cenários hipotéticos, após a validação do modelo, foram promovidas alterações nos coeficientes urbanísticos, de forma que fossem simuladas situações de crescimento construtivo e/ou de áreas de vegetação urbana. Esses cenários futuros foram desenvolvidos com base no plano diretor para a área de estudo, permitindo identificar o impacto dessas alterações no ambiente térmico urbano.

Para simular um cenário hipotético com os coeficientes máximos para edificações propostos pelo Plano Diretor de São Carlos, adotou-se o C.O. de 0,7 e C.A. de 1,4. A referência para esses cálculos foram os mesmos pontos de coleta dos dados climatológicos reais. O critério de adensamento respeitou as construções dos edifícios originais já existentes e previu o aumento do espaço construído das residências, respeitando os locais verdes (com cobertura vegetal urbana).

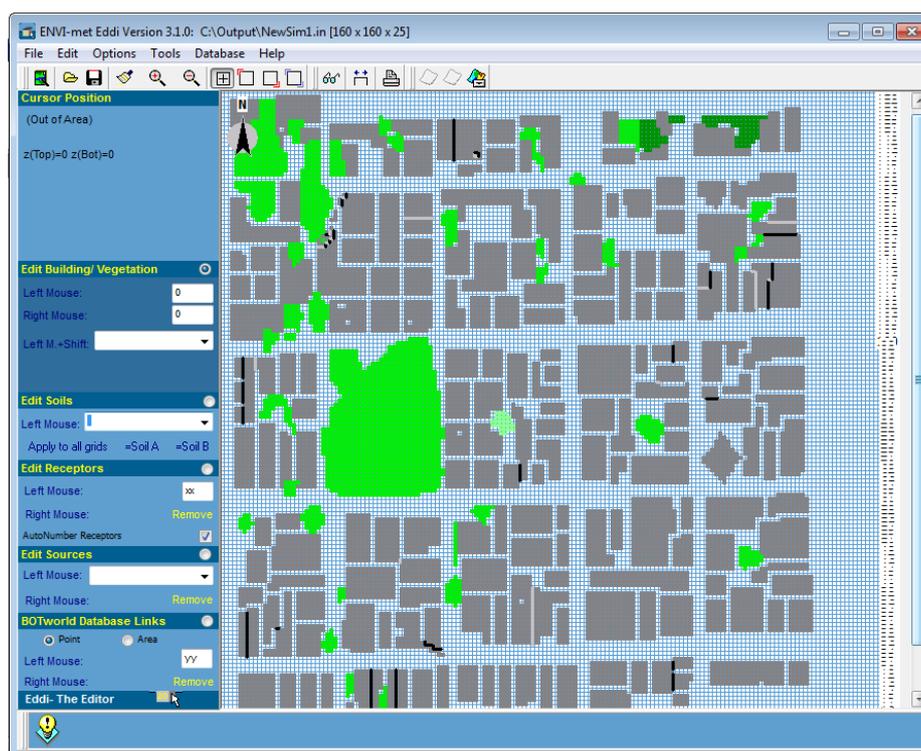
Na figura 8, é mostrado um exemplo da forma de adensamento adotada como cenário hipotético, com destaque em vermelho para os locais adensados. Após esse procedimento, o desenho em formato *bitmap* foi incorporado ao programa ENVI-met e as alturas dos edifícios foram informadas como dados de entrada.

Figura 8: Mapa da região simulada com destaque em vermelho nas áreas calculadas para os coeficientes urbanísticos.



A base em *bitmap* permitiu o redesenho na interface do ENVI-met, como mostrado na figura 9. Considerou-se também a pavimentação asfáltica e suas propriedades, a partir de dados disponíveis no ENVI-met.

Figura 9: Mapa da região simulada e digitalizada no ENVI-met.



A figura 10 mostra os campos de ajuste da grade (denominada grid) de configuração (x-Grids=160, y-Grids=160, z-Grids=25) do modelo. Assim, a resolução da área de simulação compreendeu todo o território. Os dados para o modelo com as coordenadas foi obtido de acordo com o IBGE e prefeitura municipal de São Carlos. Quanto à proporção do grid foi dx3, dy3 e dz2, ou seja, cada 1 metro real representa 3 metros de comprimento x e largura y, e 2 metros de altura virtual, respeitando-se o padrão de entrada de dados exigido pelo programa. Os demais dados meteorológicos de entrada para o ENVI-met foram obtidos através do INMET, observando-se o devido ajuste de horário existente na coleta de dados. Isso foi necessário, pois existem 3 horas de diferença nominal entre o horário oficial de Brasília e o horário registrado pelo INMET, devido à região de fuso-horário em que se encontra o território brasileiro (menos 3 horas em relação ao horário do meridiano de Greenwich).

Para cada hora real, o tempo de simulação correspondeu a 1 hora, no caso dos coeficientes reais e atuais, e de 3h45min para os coeficientes dos cenários hipotéticos.

Figura 10: Configuração para o modelo no ENVI-met.

The screenshot shows the 'Change or create model Domain' dialog box in ENVI-met. It is organized into several sections:

- Number of grids and nesting properties:**
 - Main model area: x-Grids: 160, y-Grids: 160, z-Grids: 25
 - Nesting grids around main area: Nr of nesting grids: 3, Soil A: l, Soil B: s
- Grid size and structure in main area:**
 - Size of grid cell in meter: dx= 3.00, dy= 3.00, dz= 2.00 (base height)
 - Method of vertical grid generation: equidistant (all dz are equal except lowest grid box) is selected.
- Geographic Properties:**
 - Model rotation out of grid north: 0.00
 - Location on earth: Name of location: São Carlos/Brasil
 - Position on earth: Latitude (deg. +N, -S): -47.53, Longitude (deg. -W, +E): -22.01
 - Reference time zone: Name: PST/GMT-3, Reference longitude: -50.00
- Georeference:**
 - Co-ordiante of lower right grid: x-value: 0.00, y-value: 0.00
 - Reference system: <plane>
- Model area description:** A brave new area

Buttons for 'Create new area', 'Apply changes', and 'Cancel' are located on the right side of the dialog.

A obtenção dos dados climatológicos a 2500m, que servem de entrada no ENVI-met, foi realizada através da página eletrônica

(<http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>) da University of Wyoming - Radiosonde.

Como não existem dados específicos da cidade de São Carlos disponíveis naquela base de dados, foi necessário interpolar dados registrados para três aeroportos, sendo eles: São Paulo, Minas Gerais e Brasília.

A interpolação foi realizada através da equação 4:

$$x = \left(\frac{\text{altitude}_1 - \text{altitude}_2}{\text{umidade}_1 - \text{umidade}_2} \right) \times (2500 - \text{altitude}_1) \quad \text{Equação 4.}$$

Na equação 4, a altitude_1 e umidade_1 são as maiores e a umidade_2 e altitudes_2 são as menores. Em seguida obteve-se o valor pela equação 5:

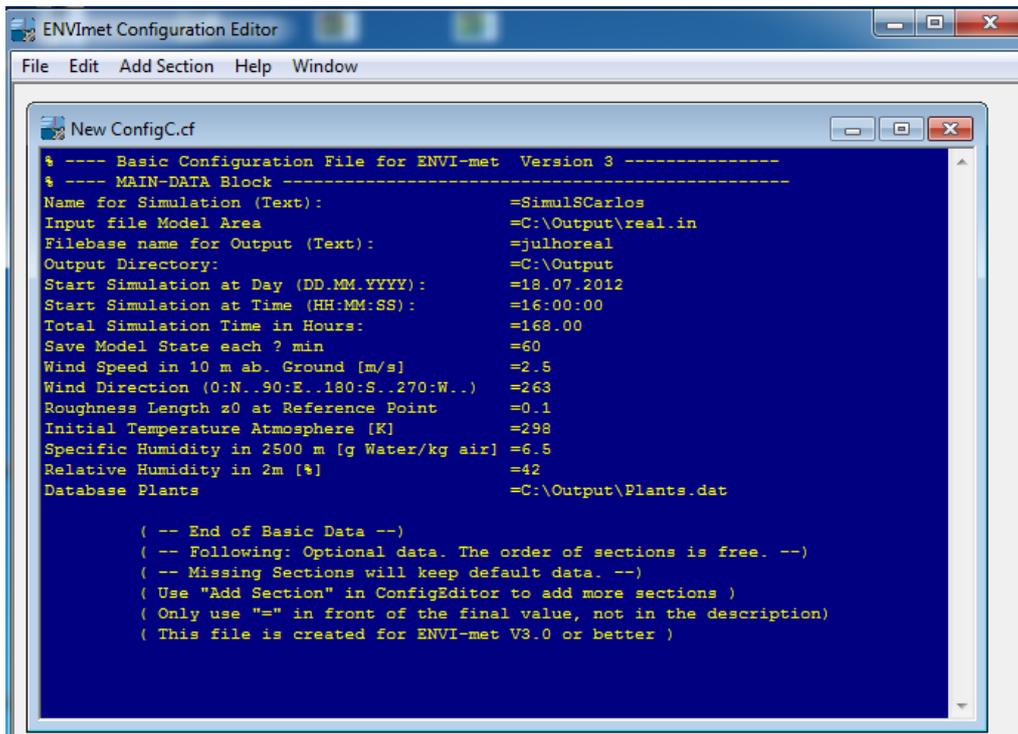
$$y = x + \text{umidade}_1 \quad \text{Equação 5.}$$

Respeitando os procedimentos indicados por Nakata (2010), os seguintes dados de entrada permitiram a inicialização da simulação:

- Velocidade dos ventos a 10 metros [m / s];
- Direção dos ventos a (0 - Norte, 90 - Leste, 180 - Sul e 270 - Oeste);
- Coeficiente de rugosidade da superfície;
- Temperatura atmosférica a inicial em Kelvin [K];
- Umidade absoluta a 2500 metros de altitude [$\text{g}_{\text{água}} / \text{kg}_{\text{ar}}$];
- Umidade relativa a 2 metros [%].

As figuras 11 e 12 exemplificam os dados de entrada na interface do ENVI-met, com os dados medidos no dia 18 de julho e 6 de agosto respectivamente.

Figura 11: Configuração para simulação do primeiro período referente a julho.



```

ENVI-met Configuration Editor
File Edit Add Section Help Window

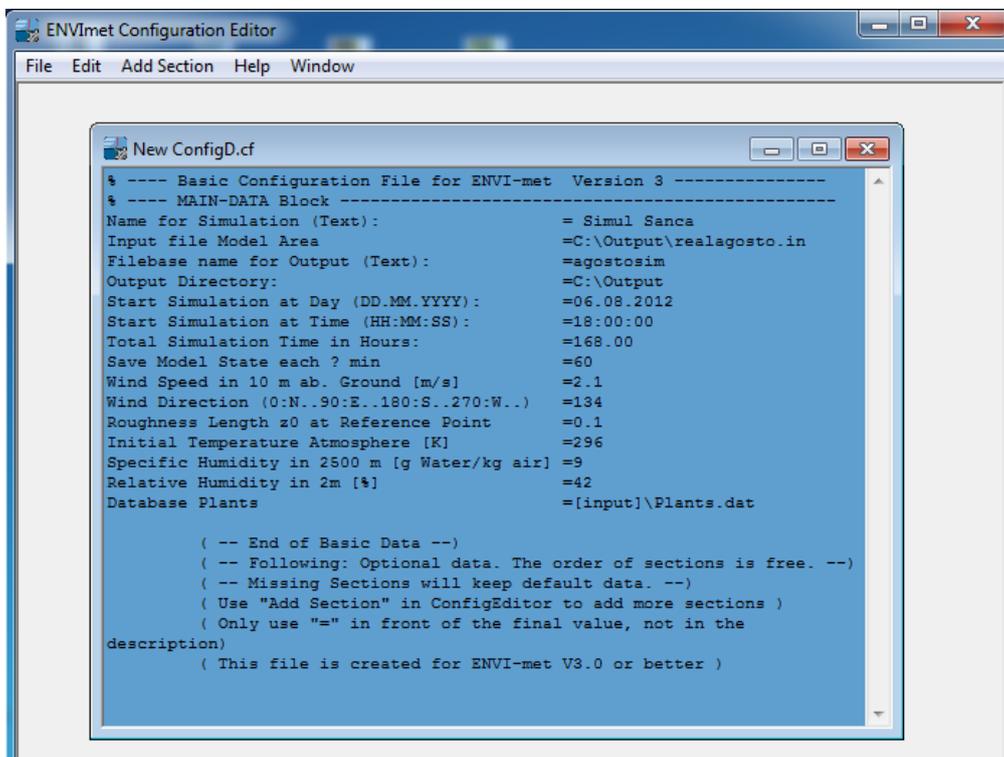
New ConfigC.cf

% ---- Basic Configuration File for ENVI-met Version 3 ----
% ---- MAIN-DATA Block ----
Name for Simulation (Text):           =SimulSCarlos
Input file Model Area                 =C:\Output\real.in
Filebase name for Output (Text):     =julhoreal
Output Directory:                    =C:\Output
Start Simulation at Day (DD.MM.YYYY): =18.07.2012
Start Simulation at Time (HH:MM:SS): =16:00:00
Total Simulation Time in Hours:      =168.00
Save Model State each ? min          =60
Wind Speed in 10 m ab. Ground [m/s] =2.5
Wind Direction (0:N..90:E..180:S..270:W..) =263
Roughness Length z0 at Reference Point =0.1
Initial Temperature Atmosphere [K]   =298
Specific Humidity in 2500 m [g Water/kg air] =6.5
Relative Humidity in 2m [%]          =42
Database Plants                      =C:\Output\Plants.dat

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

```

Figura 12: Configuração para simulação do segundo período referente a agosto.



```

ENVI-met Configuration Editor
File Edit Add Section Help Window

New ConfigD.cf

% ---- Basic Configuration File for ENVI-met Version 3 ----
% ---- MAIN-DATA Block ----
Name for Simulation (Text):           = Simul Sanca
Input file Model Area                 =C:\Output\realagosto.in
Filebase name for Output (Text):     =agostosim
Output Directory:                    =C:\Output
Start Simulation at Day (DD.MM.YYYY): =06.08.2012
Start Simulation at Time (HH:MM:SS): =18:00:00
Total Simulation Time in Hours:      =168.00
Save Model State each ? min          =60
Wind Speed in 10 m ab. Ground [m/s] =2.1
Wind Direction (0:N..90:E..180:S..270:W..) =134
Roughness Length z0 at Reference Point =0.1
Initial Temperature Atmosphere [K]   =296
Specific Humidity in 2500 m [g Water/kg air] =9
Relative Humidity in 2m [%]          =42
Database Plants                      =[input]\Plants.dat

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

```

A leitura dos resultados das simulações foram realizadas através da aplicação da interface Leonardo, disponível no próprio simulador ENVI-Met.

As condições da construção dos mapas para a simulação foram divididas em situação real, cenário adensado e cenário arborizado com edificações reais.

3.1.4 ANÁLISE PARA EXTRAÇÃO DE RESULTADOS

Após a validação, foi determinado o horário de menor diferença entre os dados reais e simulados. Esse horário foi a base de análise para que fossem relacionadas, as médias das temperaturas por quadra e os coeficientes urbanísticos, assim como a influência dos cenários sobre a velocidade do ar.

Inicialmente foi realizada uma análise geral da área, em função da temperatura do ar e da velocidade do ar. Posteriormente, foram analisados os pontos iniciais de observação dentro do contexto da situação real simulada, para serem apontadas as tendências de cada um deles. Por fim, aplicando-se a técnica de regressão múltipla, foi desenvolvido um modelo para que fosse possível isolar a influência de cada um dos coeficientes estudados sobre a condição térmica do local.

Para a criação desse modelo de regressão múltipla, consideraram-se os valores simulados para a situação real, relacionaram-se as médias das temperaturas do ar das quadras aos seus coeficientes urbanísticos. Além dos coeficientes, o modelo baseou-se também nas variáveis de velocidade do ar simulada e na absorvância para a radiação solar média da quadra. Essa última foi estimada pelas cores das superfícies horizontais das quadras e tomando-se como referência os valores sugeridos pela NBR.15.220.

O modelo foi desenvolvido pela aplicação de ferramentas da planilha eletrônica *Microsoft Excel*®.

Após desenvolvido o modelo, alterou-se o valor de uma variável do modelo por vez, enquanto as demais foram mantidas com seus valores médios. Assim, foi possível realizar um teste de verificação do papel de cada coeficiente na temperatura do ar.

4. RESULTADOS E ANÁLISE DOS DADOS REAIS MEDIDOS

Nesse tópico são inicialmente apresentados nos itens 4.1 e 4.2 os resultados obtidos para a caracterização dos coeficientes urbanísticos e os patamares térmicos alcançados nos pontos de observação. Ao final, no tópico 4.3 é feita uma análise pelo cruzamento das informações do item 4.1 e 4.2.

4.1. CARACTERIZAÇÃO DOS COEFICIENTES URBANÍSTICOS NOS PONTOS DE OBSERVAÇÃO

A partir dos pontos de observação A, B, C e D, foram efetuadas as caracterizações de índices urbanísticos, em relação ao raio de abrangência de 50 m a partir dos pontos de coleta (Tabelas 3 a 6).

Destaca-se que nas referidas tabelas representativas dos pontos, a figura à direita é apenas um diagrama simplificado, não correspondente às áreas reais utilizadas para cálculo. Os cálculos reais são baseados na imagem à esquerda.

Tabela 3: Áreas e índices para o ponto de coleta A.

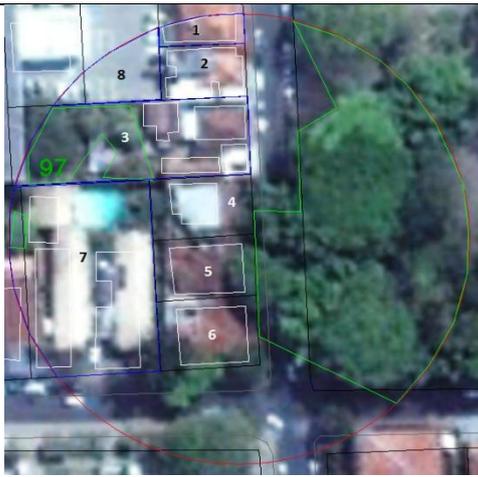
 <p>Ponto A</p>	 <p>Altura das edificações no ponto A</p>	<p>Pavimentos</p> <ul style="list-style-type: none"> 2 andares 1 andar
Área total de abrangência do ponto	7853, 99 m ²	
	Áreas Parciais	Índice
C.A. (área construída)	2052,14 m ²	0,26
C.O. (área de projeção)	1576,64 m ²	0,20
C.V.U. (arbórea)	2727,08 m ²	0,35

Tabela 4: Áreas e índices para o ponto de coleta B.

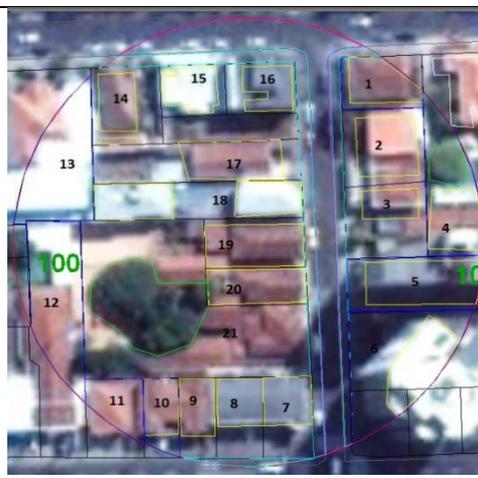
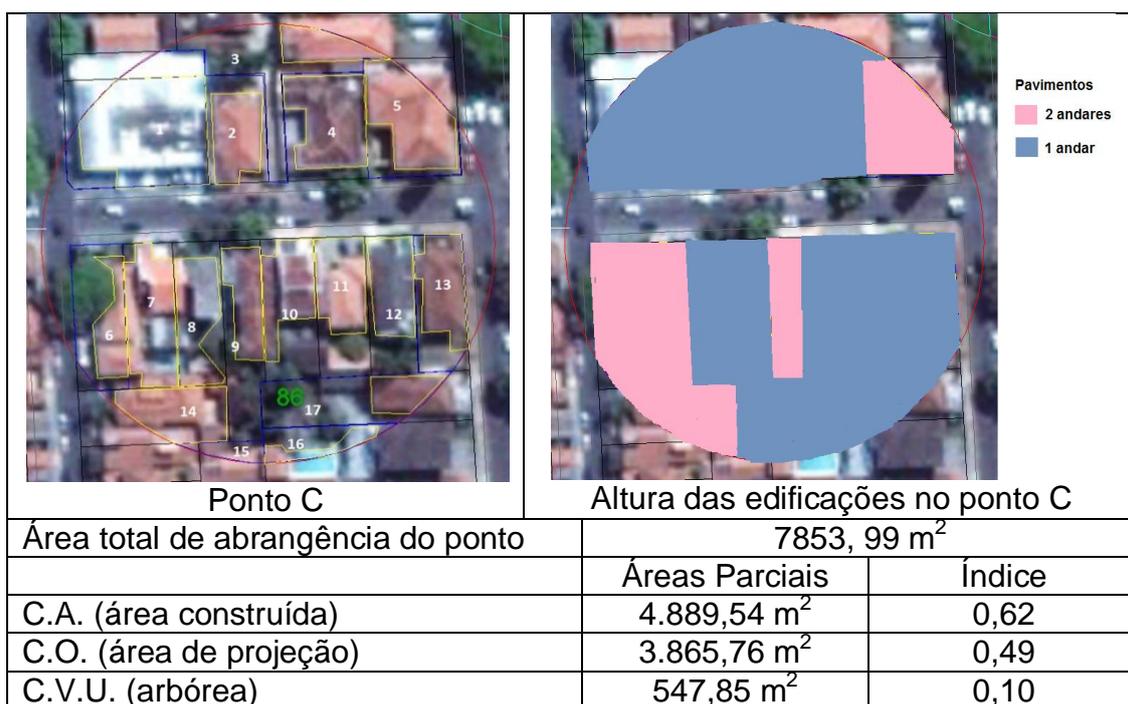
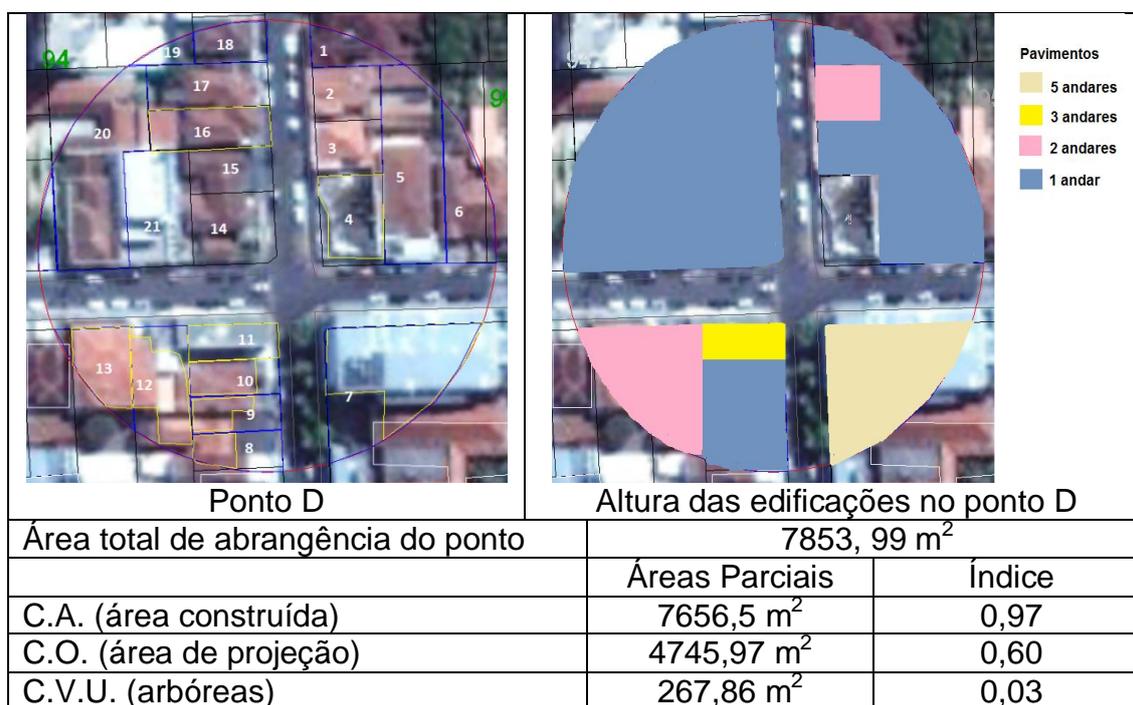
 <p>Ponto B</p>	 <p>Altura das edificações no ponto B</p>	<p>Pavimentos</p> <ul style="list-style-type: none"> 18 andares 4 andares 2 andares 1 andar
Área total de abrangência do ponto	7853, 99 m ²	
	Áreas Parciais	Índice
C.A. (área construída)	10.820,09 m ²	1,38
C.O. (área de projeção)	4473,93 m ²	0,57
C.V.U. (arbórea)	464,43 m ²	0,06

Tabela 5: Áreas e índices para o ponto de coleta C.**Tabela 6:** Áreas e índices para o ponto de coleta D.

No ponto A encontram-se os menores índices de ocupação, assim como maior cobertura vegetal e menor coeficiente de aproveitamento. Os pontos B, C e D indicam maior coeficiente de ocupação e de aproveitamento e menor presença de cobertura vegetal urbana. Dentre esses últimos, o ponto B

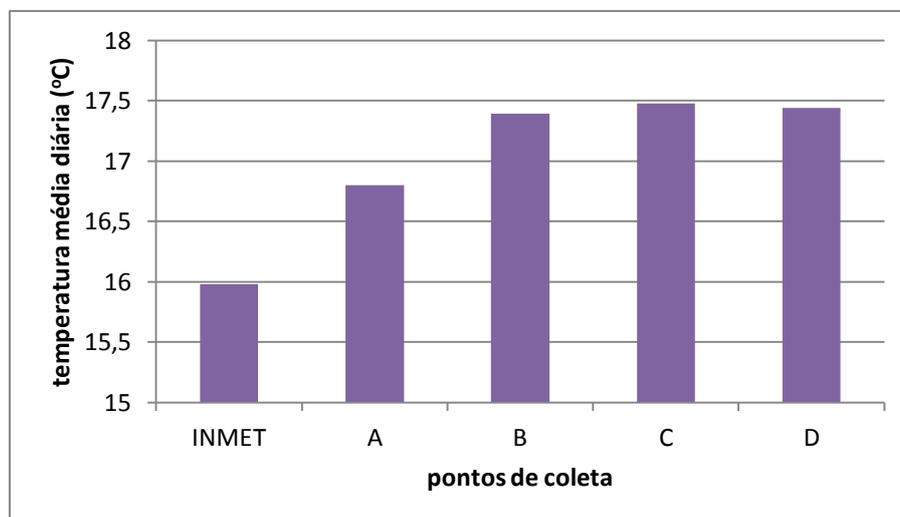
apresenta maior coeficiente de aproveitamento e ocupação similar a do ponto D.

4.2. CARACTERIZAÇÃO TÉRMICA

As médias resultantes do agrupamento dos dois períodos de tempo são aqui apresentadas nos gráficos de 3 a 10. Elas se referem às:

- Temperaturas médias diárias e diferenças urbana-rural entre os pontos;
- Médias de temperaturas diurnas em horários sujeitos à radiação solar direta (das 7h às 18h) e suas diferenças urbana-rural entre os pontos;
- Médias de temperaturas noturnas sob condições de liberação da radiação de ondas longas (19h às 6h) e suas diferenças urbana-rural entre os pontos;
- Média das amplitudes térmicas (diferenças entre máximas e mínimas) e suas diferenças urbana-rural entre os pontos.

Gráfico 3: Temperaturas do ar médias diárias.

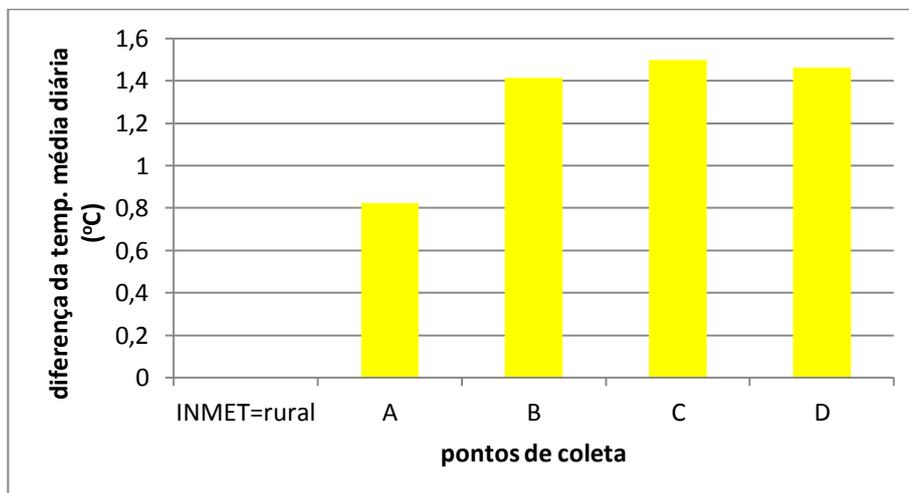


As temperaturas médias diárias indicam as diferenças mais significativas entre a área rural e a área urbana do que entre os pontos intraurbanos, chegando a 1,5°C para o ponto C mostrado no gráfico 3.

Os pontos B, C e D apresentam grandezas semelhantes para as temperaturas médias diárias, com tendência ao ponto C apresentar

temperatura média e diferença urbana-rural maiores. O ponto A mostra-se com menor temperatura do que os demais, com diferença urbana-rural menos significativa como mostra o gráfico 4.

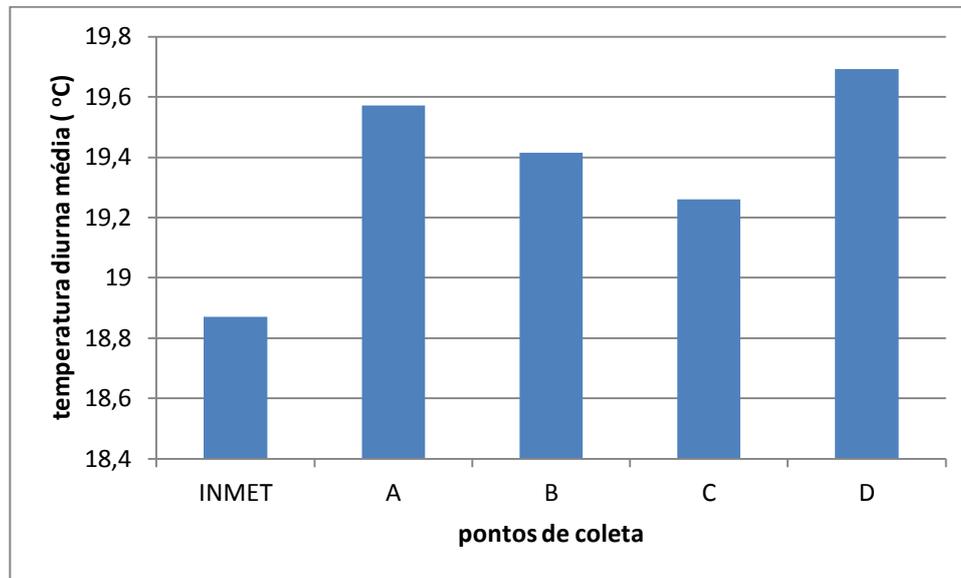
Gráfico 4: Diferenças das temperaturas do ar médias diárias.



Isto indica um comportamento térmico diferenciado do ponto A em relação ao demais, que pode ser explicado pela presença de grande massa verde no local (praça Dr. Christiano Altenfelder Silva).

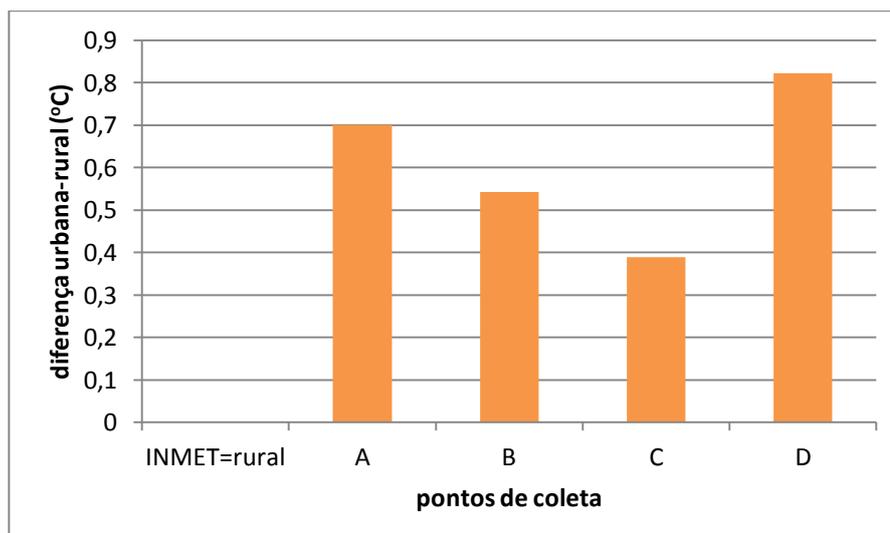
As temperaturas médias diurnas (7h às 18h) mostram-se semelhantes entre os pontos intraurbanos, com diferenças mais significativas para a temperatura rural como mostrado no gráfico 5.

Gráfico 5: Média das temperaturas diurnas do ar (das 7h às 18h).



O gráfico 6 mostrou que a diferença entre o ponto de maior temperatura média diurna e a área rural é menor do que 1°C. O ponto D desenvolve maior temperatura diurna e corresponde ao ponto de menor cobertura vegetal urbana.

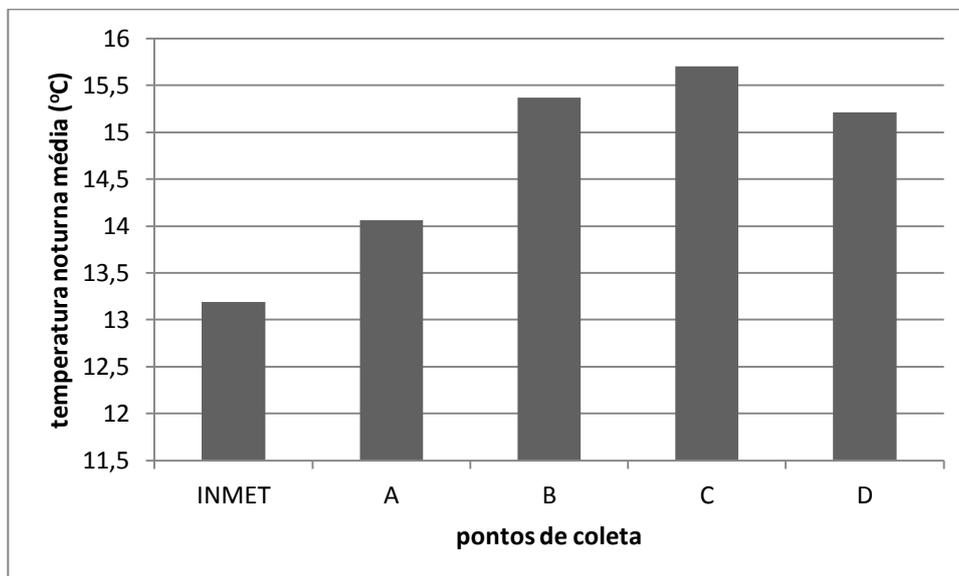
Gráfico 6: Diferença média de temperatura do ar diurna urbana-rural.



As temperaturas noturnas são o parâmetro térmico que evidenciaram com mais clareza a influência da morfologia urbana sobre o ambiente térmico.

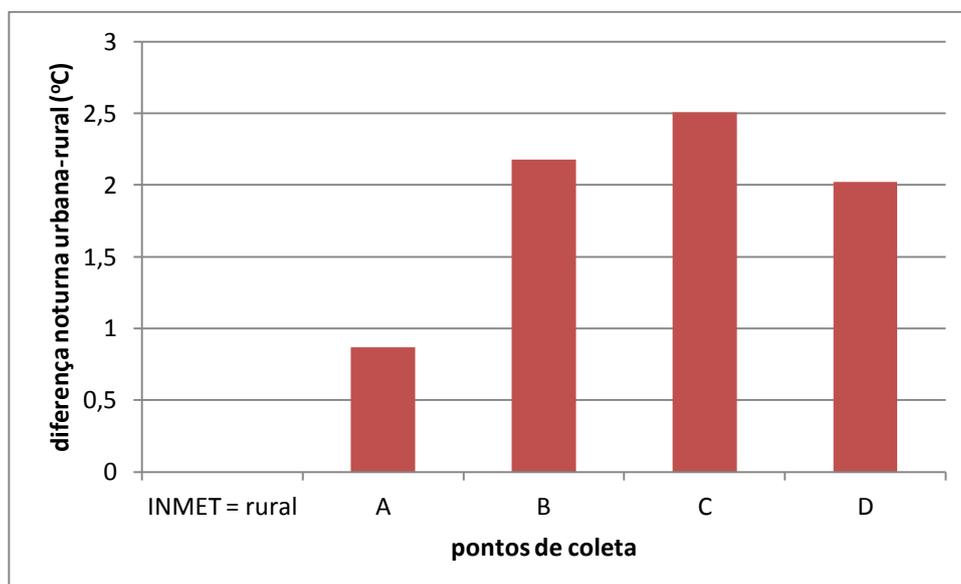
As diferenças de temperaturas noturnas são mais significativas do que as das temperaturas diurnas. O gráfico 7 mostrou que o ponto A é o que mais se aproxima das temperaturas noturnas da área rural, com 0,9°C a mais.

Gráfico 7: Média das temperaturas noturnas do ar (das 19 às 6h).



O gráfico 8 mostra que nos pontos B, C e D as diferenças médias das temperaturas do ar noturna são maiores do que 2°C, com tendência a que o ponto C alcance temperaturas noturnas mais altas, com média de 2,5°C a mais do que a área rural.

Gráfico 8: Diferença média de temperatura do ar noturna urbana-rural.



Os Gráficos 9 e 10 demonstram que o ponto B atinge menores amplitudes do que os demais. Isso indica a sua maior estabilidade térmica. Dentre os pontos urbanos, o que mais se aproxima da amplitude térmica do INMET é o ponto D, revelando que está sujeito a mudanças significativas de temperaturas entre o dia e a noite.

Gráfico 9: Amplitude térmica do ar média diária.

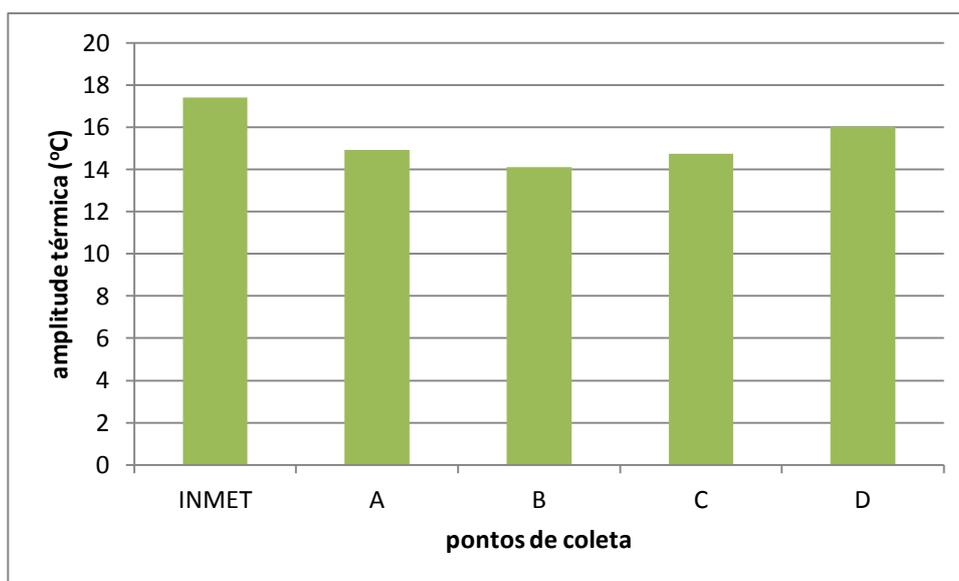
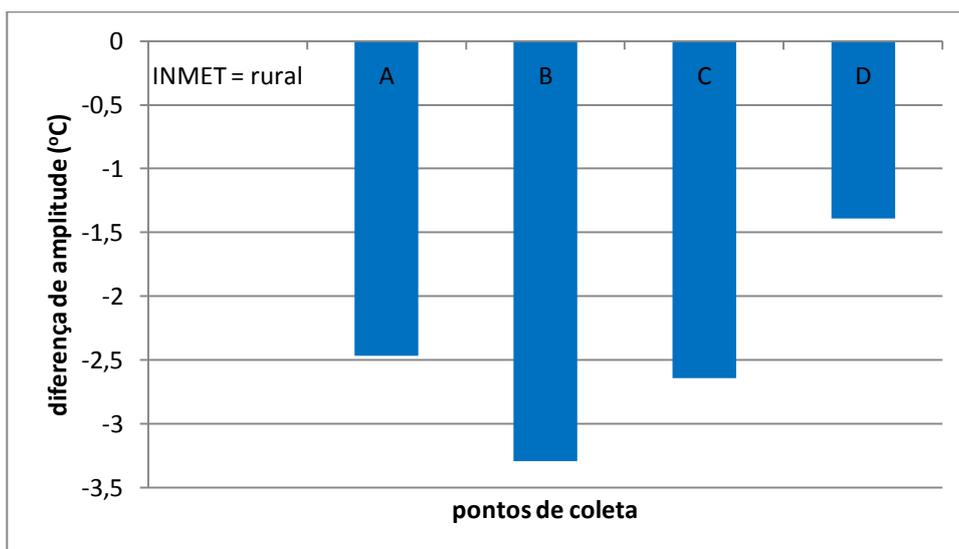


Gráfico 10: Diferença da amplitude térmica do ar média diária.



4.3. CRUZAMENTO DE DADOS URBANÍSTICOS E TÉRMICOS

Com base nos dados apresentados nos itens 4.1 e 4.2, foi realizado o cruzamento entre os coeficientes urbanísticos de cada ponto e os dados térmicos.

As análises se basearam nas diferenças urbana-rural, considerando as temperaturas médias diárias, as temperaturas médias diurnas, as temperaturas médias noturnas e as amplitudes médias. As Tabelas 7 a 10 apresentam as análises parciais desses parâmetros térmicos em função dos coeficientes urbanísticos.

Tabela 7: Relações entre os coeficientes urbanísticos e a temperatura média diária (com base nas 24 horas).

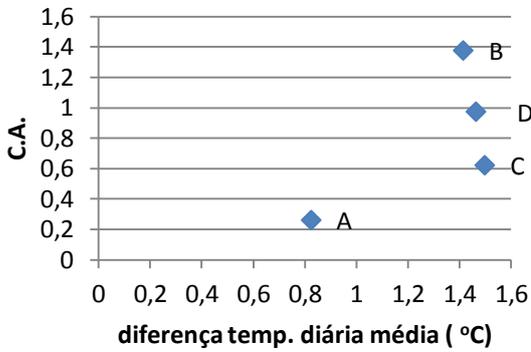
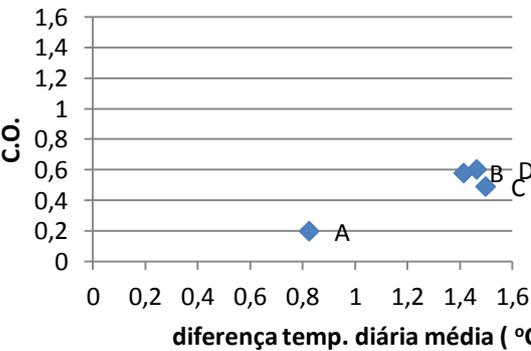
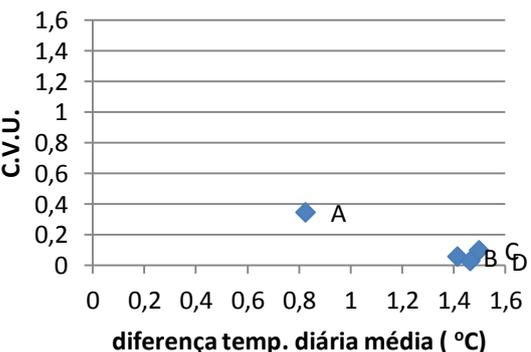
Relações	Análise
 <p>Gráfico de dispersão mostrando a relação entre o Coeficiente de Aproveitamento (C.A.) no eixo Y e a diferença de temperatura diária média (°C) no eixo X. O ponto A está em (0,8, 0,3). Os pontos B, C e D estão agrupados no lado direito do gráfico, com C.A. entre 0,6 e 1,4 e diferença de temperatura entre 1,4 e 1,5.</p>	<ul style="list-style-type: none"> O coeficiente de aproveitamento do ponto A é menor e sua diferença de temperatura é menor; Dentre os demais pontos, as diferenças de temperaturas médias diárias atingidas são muito similares, apesar de algumas diferenças de C.A.; Considerando-se a diferenciação de comportamento do ponto A pela cobertura vegetal e comparando-se apenas B, C e D, observa-se que existe uma pequena tendência de redução da diferença de temperatura média diária com o aumento de C.A. para os pontos de maior C.A.
 <p>Gráfico de dispersão mostrando a relação entre o Coeficiente de Ocupação (C.O.) no eixo Y e a diferença de temperatura diária média (°C) no eixo X. O ponto A está em (0,8, 0,2). Os pontos B, C e D estão agrupados no lado direito do gráfico, com C.O. entre 0,5 e 0,6 e diferença de temperatura entre 1,4 e 1,5.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Coeficiente de ocupação do ponto A é menor e sua temperatura média diária é menor; Os pontos B e D apresentam coeficientes de ocupação similares e suas temperaturas médias diárias também similares; Os pontos B e D indicam coeficientes de ocupação maiores que C, porém temperaturas médias diárias menores; Os pontos B, D e C não apresentam tendência clara entre o C.O. e a temperatura média diária.
 <p>Gráfico de dispersão mostrando a relação entre o Coeficiente de Cobertura Vegetal (C.V.U.) no eixo Y e a diferença de temperatura diária média (°C) no eixo X. O ponto A está em (0,8, 0,3). Os pontos B, C e D estão agrupados no lado direito do gráfico, com C.V.U. entre 0,1 e 0,2 e diferença de temperatura entre 1,4 e 1,5.</p>	<ul style="list-style-type: none"> O coeficiente de cobertura vegetal do ponto A é maior e sua temperatura média diária é menor; B, D e C, com baixo coeficiente de cobertura vegetal atingem temperaturas médias diárias maiores; Os pontos B, D e C não apresentam tendência clara entre C.V. e a temperatura média diária.
<p>Análise geral</p> <p>Para a temperatura média diária, o coeficiente de aproveitamento permitiu identificar indícios de uma tendência, com ressalva para o comportamento diferenciado apresentado pelo ponto A em relação aos demais B, C e D.</p>	

Tabela 8: Relações entre os coeficientes urbanísticos e as diferenças de temperaturas diurnas médias (com base no período das 7h às 18h).

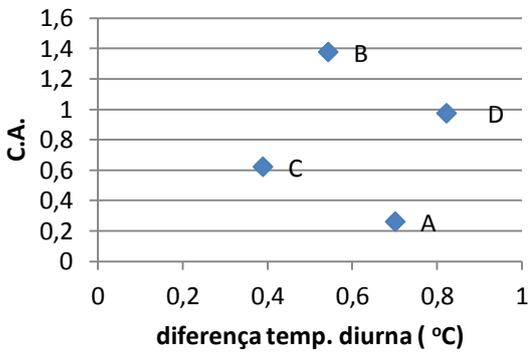
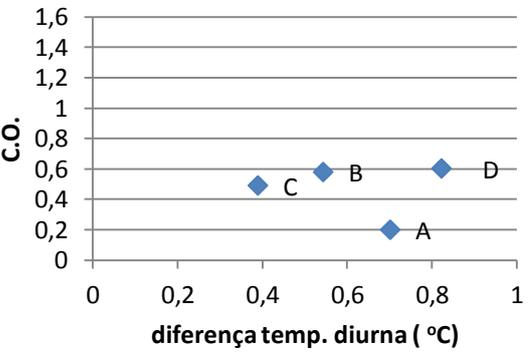
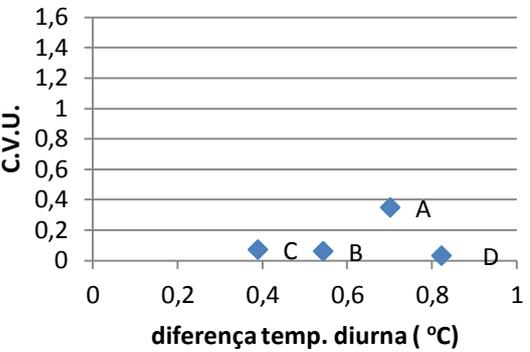
Relações	Análise
 <p>Gráfico de dispersão mostrando a relação entre a diferença de temperatura diurna (°C) no eixo X e o coeficiente de aproveitamento (C.A.) no eixo Y. O eixo X varia de 0 a 1,0 em incrementos de 0,2. O eixo Y varia de 0 a 1,6 em incrementos de 0,2. Quatro pontos são plotados: B (aprox. 0,5, 1,4), D (aprox. 0,85, 1,0), C (aprox. 0,4, 0,6) e A (aprox. 0,7, 0,3).</p>	<ul style="list-style-type: none"> O coeficiente de aproveitamento de A é menor, mas sua diferença de temperatura diurna média não foi menor; Para B, D e C, não parece existir relação entre o parâmetro de temperatura diurna e coeficiente de aproveitamento.
 <p>Gráfico de dispersão mostrando a relação entre a diferença de temperatura diurna (°C) no eixo X e o coeficiente de ocupação (C.O.) no eixo Y. O eixo X varia de 0 a 1,0 em incrementos de 0,2. O eixo Y varia de 0 a 1,6 em incrementos de 0,2. Quatro pontos são plotados: C (aprox. 0,4, 0,5), B (aprox. 0,55, 0,6), D (aprox. 0,85, 0,6) e A (aprox. 0,7, 0,2).</p>	<ul style="list-style-type: none"> O coeficiente de ocupação ressalva novamente a diferenciação de A em relação a diferença de temperatura diurna; Os pontos B, C e D apresentam uma ligeira tendência entre eles, revelando que quanto maior o C.O., maior a temperatura diurna média para os pontos de maior C.O.
 <p>Gráfico de dispersão mostrando a relação entre a diferença de temperatura diurna (°C) no eixo X e o coeficiente de cobertura vegetal (C.V.U.) no eixo Y. O eixo X varia de 0 a 1,0 em incrementos de 0,2. O eixo Y varia de 0 a 1,6 em incrementos de 0,2. Quatro pontos são plotados: C (aprox. 0,4, 0,1), B (aprox. 0,55, 0,1), A (aprox. 0,7, 0,35) e D (aprox. 0,85, 0,1).</p>	<ul style="list-style-type: none"> O coeficiente de cobertura vegetal, quando relacionado à temperatura média diurna, não demonstrou tendência entre os pontos.
<p>Análise Geral</p> <p>Para a diferença de temperatura diurna média, o coeficiente de ocupação permitiu identificar indícios de uma tendência, com ressalva para o comportamento diferenciado apresentado pelo ponto A em relação aos demais B, C e D.</p>	

Tabela 9: Relações entre os coeficientes urbanísticos e as diferenças de temperaturas noturnas (com base no período das 19h às 6h).

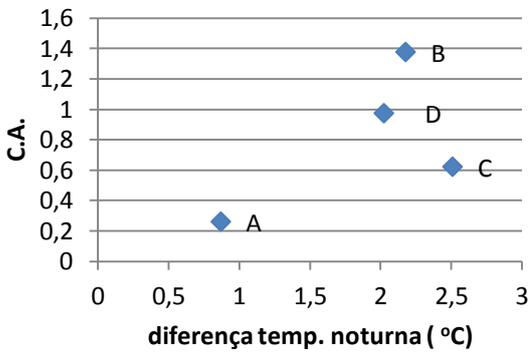
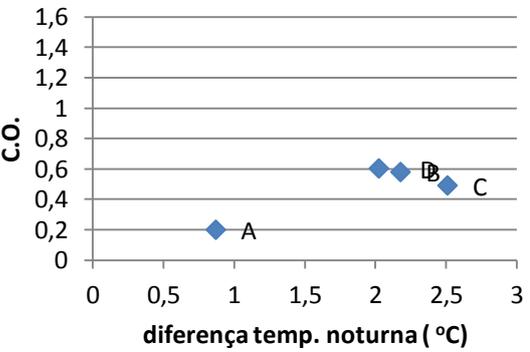
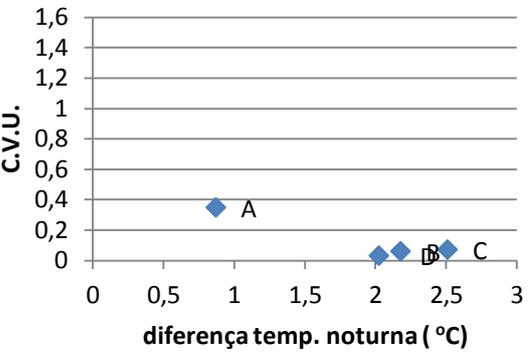
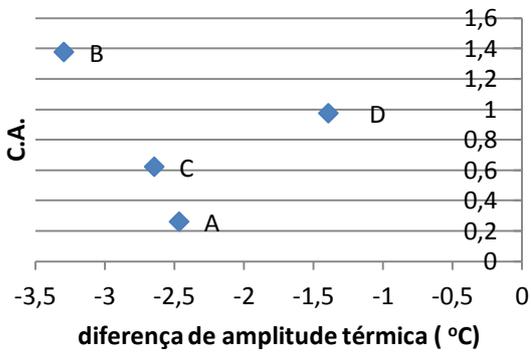
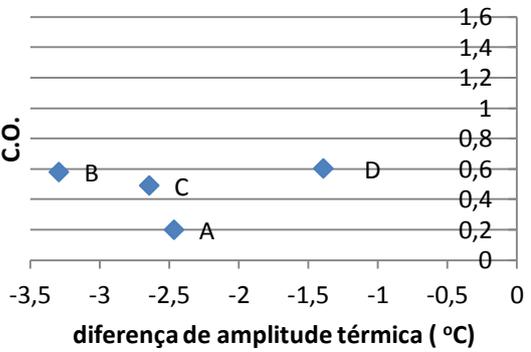
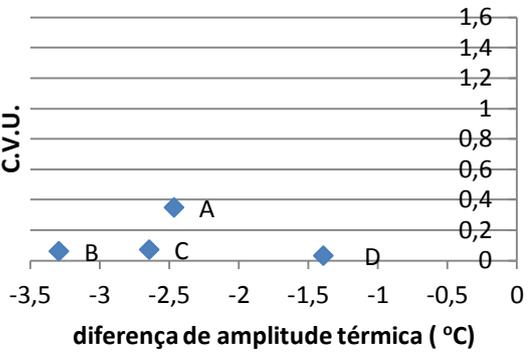
Relações	Análise
 <p>Gráfico de dispersão mostrando a relação entre o coeficiente de aproveitamento (C.A.) no eixo Y e a diferença de temperatura noturna (em °C) no eixo X. Os pontos A, B, C e D representam diferentes amostras. O ponto A está isolado com baixa C.A. e baixa diferença de temperatura. Os pontos B, C e D estão agrupados em C.A. mais altas e diferenças de temperatura mais elevadas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> O coeficiente de aproveitamento de A é menor e sua diferença de temperatura noturna é a menor; Para B, D e C, não parece existir relação entre o parâmetro de diferença de temperatura noturna e coeficiente de aproveitamento.
 <p>Gráfico de dispersão mostrando a relação entre o coeficiente de ocupação (C.O.) no eixo Y e a diferença de temperatura noturna (em °C) no eixo X. O ponto A está isolado com baixa C.O. e baixa diferença de temperatura. Os pontos B, C e D estão agrupados em C.O. mais altas e diferenças de temperatura mais elevadas, mostrando uma leve tendência inversa.</p>	<ul style="list-style-type: none"> O coeficiente de ocupação ressalva novamente a diferenciação de A em relação à diferença de temperatura noturna; Os pontos B, C e D apresentam uma ligeira tendência entre eles, revelando que quanto menor o C.O., maior a diferença de temperatura noturna média para os arborizados pontos de maior C.O.
 <p>Gráfico de dispersão mostrando a relação entre o coeficiente de cobertura vegetal (C.V.U.) no eixo Y e a diferença de temperatura noturna (em °C) no eixo X. O ponto A está isolado com baixa C.V.U. e baixa diferença de temperatura. Os pontos B, C e D estão agrupados em C.V.U. muito baixas e diferenças de temperatura mais elevadas, sem uma tendência clara.</p>	<ul style="list-style-type: none"> O coeficiente de cobertura vegetal, quando relacionado à temperatura média noturna, não demonstrou tendência entre os pontos.
<p>Análise Geral</p> <p>Para a temperatura noturna média, o coeficiente de ocupação permitiu identificar indícios de uma tendência, com ressalva para o comportamento diferenciado apresentado pelo ponto A em relação aos demais B, C e D.</p>	

Tabela 10: Relações entre os coeficientes urbanísticos e as amplitudes térmicas (com base no período das 19h às 6h).

Relações	Análise
 <p data-bbox="268 353 799 705">C.A.</p> <p data-bbox="268 629 799 705">diferença de amplitude térmica (°C)</p>	<ul data-bbox="858 353 1433 405" style="list-style-type: none"> • Não parece existir relação entre C.A. e a amplitude térmica dos pontos.
 <p data-bbox="268 768 799 1120">C.O.</p> <p data-bbox="268 1043 799 1120">diferença de amplitude térmica (°C)</p>	<ul data-bbox="858 768 1433 819" style="list-style-type: none"> • Não parece existir relação entre C.O. e a amplitude térmica dos pontos
 <p data-bbox="268 1182 799 1534">C.V.U.</p> <p data-bbox="268 1458 799 1534">diferença de amplitude térmica (°C)</p>	<ul data-bbox="858 1182 1433 1234" style="list-style-type: none"> • Não parece existir relação entre C.V. e a amplitude térmica dos pontos
<p data-bbox="762 1585 938 1615">Análise Geral</p> <p data-bbox="347 1619 1353 1648">Não parece existir relação entre os coeficientes estudados e a amplitude térmica dos pontos intraurbanos.</p>	

Em uma análise geral destacam-se alguns pontos de influência entre a morfologia urbana estudada e o ambiente térmico urbano. O ponto com maior coeficiente de vegetação apresenta comportamento diferenciado para a maioria dos parâmetros térmicos estudados. Para os demais pontos que apresentam baixa cobertura vegetal, destaca-se que:

- a relação entre o coeficiente de aproveitamento e a diferença de temperatura média demonstrou tendências para pontos com coeficiente de aproveitamento maiores do que 60%;
- a relação entre o coeficiente de ocupação e a temperatura diurna média mostrou indícios de tendências para pontos com coeficiente de ocupação maior do que 35%;
- a relação entre o coeficiente de ocupação e a temperatura noturna apresentou indícios de tendências para pontos com coeficiente de ocupação maior do que 40%;

Não houve relação aparente entre os coeficientes estudados e a diferença de amplitude térmica entre a área urbana e rural.

5. RESULTADOS E ANÁLISES DOS DADOS SIMULADOS

Os resultados encontrados para as simulações de validação do modelo e análise de cenários são apresentados nesse tópico.

5.1. VALIDAÇÃO DOS DADOS SIMULADOS

Para cada um dos pontos de medição utilizados, é feita a validação, comparando-se dados de temperaturas simuladas com as médias das janelas de tempo de julho e de agosto.

De acordo com os testes realizados por Nakata (2010), a curva de melhor aproximação entre dados reais e simulados é aquela que representa os cálculos realizados para a 6^a iteração de dados. Essa foi também a curva aqui considerada para que fossem verificadas as diferenças entre dados reais e simulados. A partir dela puderam ser identificados os horários de maior precisão das simulações e desenvolvimento das análises.

Os gráficos contidos nas tabelas 11 e 12 permitem estabelecer as diferenças máximas, mínimas e médias entre os dados reais e simulados para a janela de tempo de julho e agosto, respectivamente, para cada um dos pontos de observação.

Tabela 11: Comparação entre dados simulados e medidos para os pontos de observação na janela de tempo de julho.

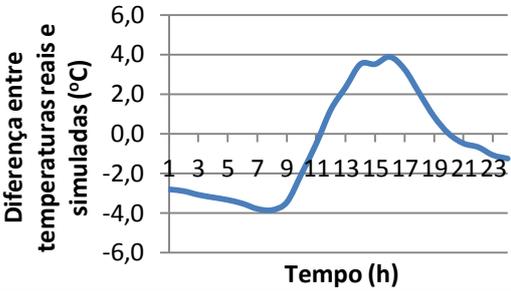
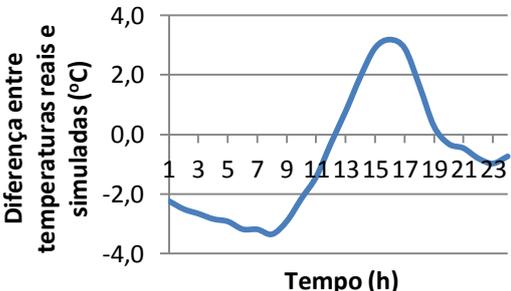
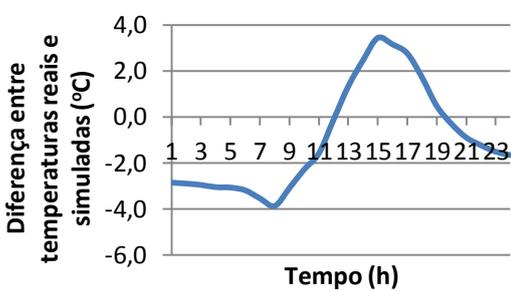
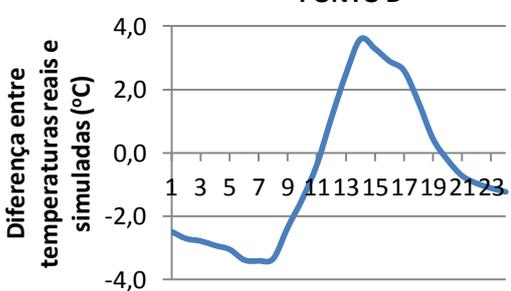
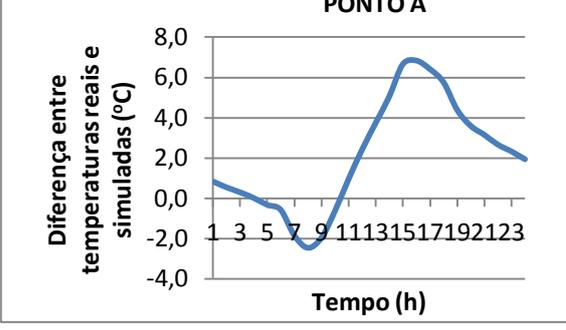
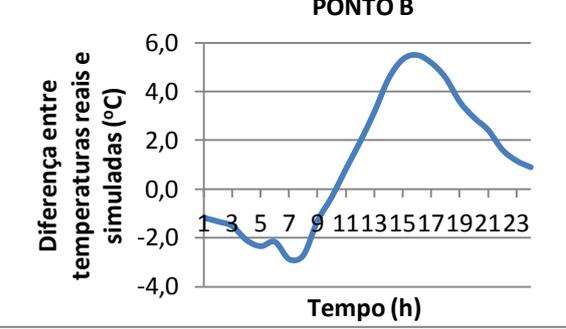
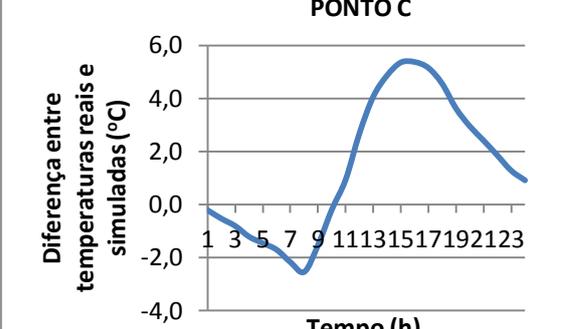
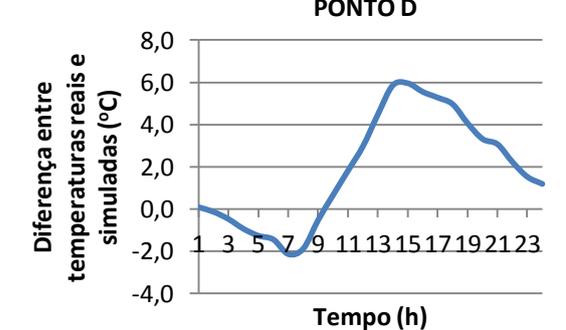
Curvas de Diferenças por Pontos	Análise
<p style="text-align: center;">PONTO A</p>  <p style="text-align: center;">Tempo (h)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Erro médio diário foi de 2,4°C, com temperatura significativamente similar às 11h e diferença de 0,5 °C; • Para os horários noturnos (19h-06h), observa-se que existem erros que atingem um valor máximo de 3,5°C; • Para os horários da tarde (12h-18h), as temperaturas simuladas alcançam até 3,9°C acima das reais.
<p style="text-align: center;">PONTO B</p>  <p style="text-align: center;">Tempo (h)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Erro médio diário observado foi de 1,9°C, com temperatura significativamente similar às 12h; • Para os horários noturnos (19h-6h), observa-se que existem erros que atingem um valor máximo de 3,2°C; • Para os horários da tarde (12h-18h), as temperaturas simuladas alcançam até 3,3°C acima das reais.
<p style="text-align: center;">PONTO C</p>  <p style="text-align: center;">Tempo (h)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Erro médio diário observado foi de 2,2°C, com temperatura significativamente similar às 12h; • Para os horários noturnos (19h-6h), observa-se que existem erros que atingem um valor máximo de 3,6°C; • Para os horários da tarde (12h-18h), as temperaturas simuladas alcançam até 3,9°C acima das reais.
<p style="text-align: center;">PONTO D</p>  <p style="text-align: center;">Tempo (h)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Erro médio diário observado foi de 2,1°C, com temperatura significativamente similar às 11h; • Para os horários noturnos (19h-6h), observa-se que existem erros que atingem um valor máximo de 3,4°C; • Para os horários da tarde (12h-18h), as temperaturas simuladas alcançam até 3,6°C acima das reais.
<p>Análise Geral</p> <p>Os horários das 11h e 12h foram os que permitiram maior fidelidade de simulação.</p>	

Tabela 12: Comparação entre dados simulados e medidos para os pontos de observação na janela de tempo de agosto.

Curvas de Diferenças por Pontos	Análise
<p style="text-align: center;">PONTO A</p>  <p style="text-align: center;">Tempo (h)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Erro médio diário foi de 2,7°C, com temperatura significativamente similar às 10h; • Para os horários noturnos (19h-6h), observa-se que existem erros que atingem um valor máximo de 4,4°C; • Para os horários da tarde (12h-18h), as temperaturas simuladas alcançam até 6,8°C acima das reais.
<p style="text-align: center;">PONTO B</p>  <p style="text-align: center;">Tempo (h)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Erro médio diário observado foi de 2,6°C, com temperatura significativamente similar às 10h; • Para os horários noturnos (19h-6h), observa-se que existem erros que atingem um valor máximo de 3,6°C; • Para os horários da tarde (12h-18h), as temperaturas simuladas alcançam até 5,5°C acima das reais.
<p style="text-align: center;">PONTO C</p>  <p style="text-align: center;">Tempo (h)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Erro médio diário observado foi de 2,4°C, com temperatura significativamente similar às 10h; • Para os horários noturnos (19h-6h), observa-se que existem erros que atingem um valor máximo de 2,9°C; • Para os horários da tarde (12h-18h), as temperaturas simuladas alcançam até 5,4°C acima das reais.
<p style="text-align: center;">PONTO D</p>  <p style="text-align: center;">Tempo (h)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Erro médio diário observado foi de 2,6°C, com temperatura significativamente similar às 9h; • Para os horários noturnos (19h-6h), observa-se que existem erros que atingem um valor máximo de 4,1°C; • Para os horários da tarde (12h-18h), as temperaturas simuladas alcançam até 6,0°C acima das reais.
<p>Análise Geral</p> <p>Os horários das 9h e 10h foram os que permitiram maior fidelidade de simulação</p>	

Complementando os dados encontrados nas tabelas 11 e 12, as tabelas 13 e 14 apontam os valores para os erros médios diários, as temperaturas máximas e mínimas nos períodos diário, diurno e noturno, com destaque para o horário em que ocorreu a melhor aproximação entre os dados medidos e simulados para a condição real de índices urbanísticos.

Tabela 13: Temperaturas com os erros médios, máximas e mínimas, e o melhor horário para a simulação em julho.

	Períodos			Melhor horário
	diário	diurno	noturno	
média	2,4	2,8	1,9	Ponto A
máximo	3,9	3,9	3,5	
mínimo	0,0	0,5	0,0	11 h
média	1,9	2,2	1,7	Ponto B
máximo	3,3	3,3	3,2	
mínimo	0,3	0,3	0,3	12 h
média	2,2	2,5	2,2	Ponto C
máximo	3,9	3,9	3,6	
mínimo	0,1	0,1	0,3	12 h
média	2,1	2,4	1,8	Ponto D
máximo	3,6	3,6	3,4	
mínimo	0,2	0,4	0,2	11 h

Tabela 14: Temperaturas com os erros médios, máximas e mínimas, e o melhor horário para a simulação em agosto.

	Períodos			Melhor horário
	diário	diurno	noturno	
média	2,7	3,7	1,7	Ponto A
máximo	6,8	6,8	4,4	
mínimo	0,0	0,6	0,0	10 h
média	2,6	3,2	1,9	Ponto B
máximo	5,5	5,5	3,6	
mínimo	0,3	0,3	0,9	10 h
média	2,4	3,3	1,6	Ponto C
máximo	5,4	5,4	2,9	
mínimo	0,2	0,2	0,5	10 h
média	2,6	3,5	1,6	Ponto D
máximo	6,0	6,0	4,1	
mínimo	0,1	0,5	0,1	09 h

Em função dos resultados anteriormente apresentados, observa-se que a extração de informações a partir das simulações devem ser, preferencialmente, realizadas para os horários entre 9 e 12 horas, para que os resultados possam ser mais fidedignos. Esse resultado coincide com as recomendações de Nakata (2010), que considera o horário de 10h aquele de melhor precisão de dados simulados em relação aos dados reais.

Considerando que os menores erros médios para as janelas de tempo analisadas foram atingidos pela simulação de julho, foi tomado o horário das 11h do mês de julho como referência para as análises. Destaca-se ainda que, para julho, tanto 11h como 12h seriam períodos adequados de análise, porém o período das 11h se aproxima mais daquele horário recomendado por NAKATA (2010) e, por isso, foi aqui priorizado em relação ao de 12h.

5.2. COMPARAÇÃO ENTRE A SITUAÇÃO REAL E OS CENÁRIOS HIPOTÉTICOS

Foram realizadas simulações e extraídos os dados para as seguintes situações: situação real com os coeficientes urbanísticos atuais; cenário futuro com coeficientes adensados para o máximo permitido pelo plano diretor (ou seja, C.A. = 1.4 e C.O. = 0.7); e, situação para um cenário hipotético mais arborizado com as edificações hoje existentes.

As análises procuraram verificar a influência geral dessas situações urbanas sobre a temperatura e a velocidade do ar. Posteriormente, foi feita uma análise específica para os valores simulados daqueles pontos de observação iniciais (os mesmos pontos de medição A, B, C e D, que foram tomados como referência para a validação do modelo). Por último, foi desenvolvido um modelo de regressão múltipla para análise da influência dos coeficientes estudados sobre a temperatura do ar.

5.2.1. ANÁLISE GERAL DA TEMPERATURA DO AR

As figuras 13 a 15 apresentam os resultados para o mês de julho às 11h. Nelas os pontos brancos destacados em cada esquina representam locais de leitura dos dados.

Figura 13: Mapa térmico para a situação real.

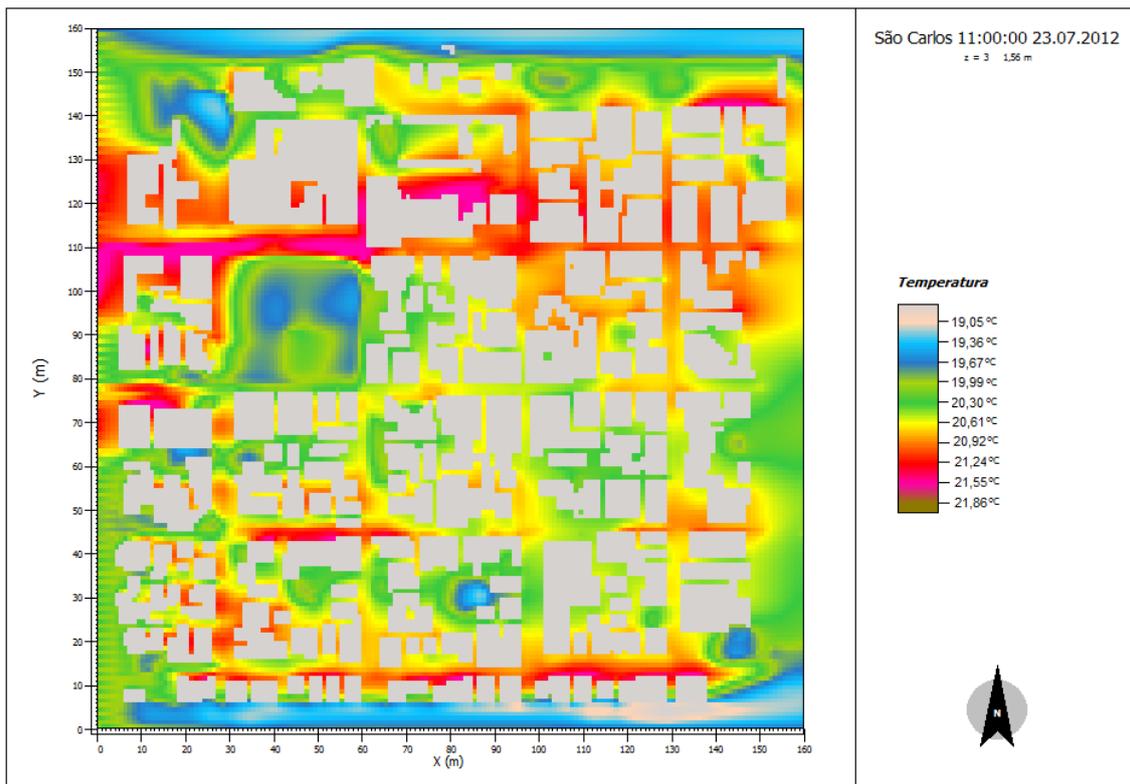


Figura 14: Mapa térmico para o cenário adensado.

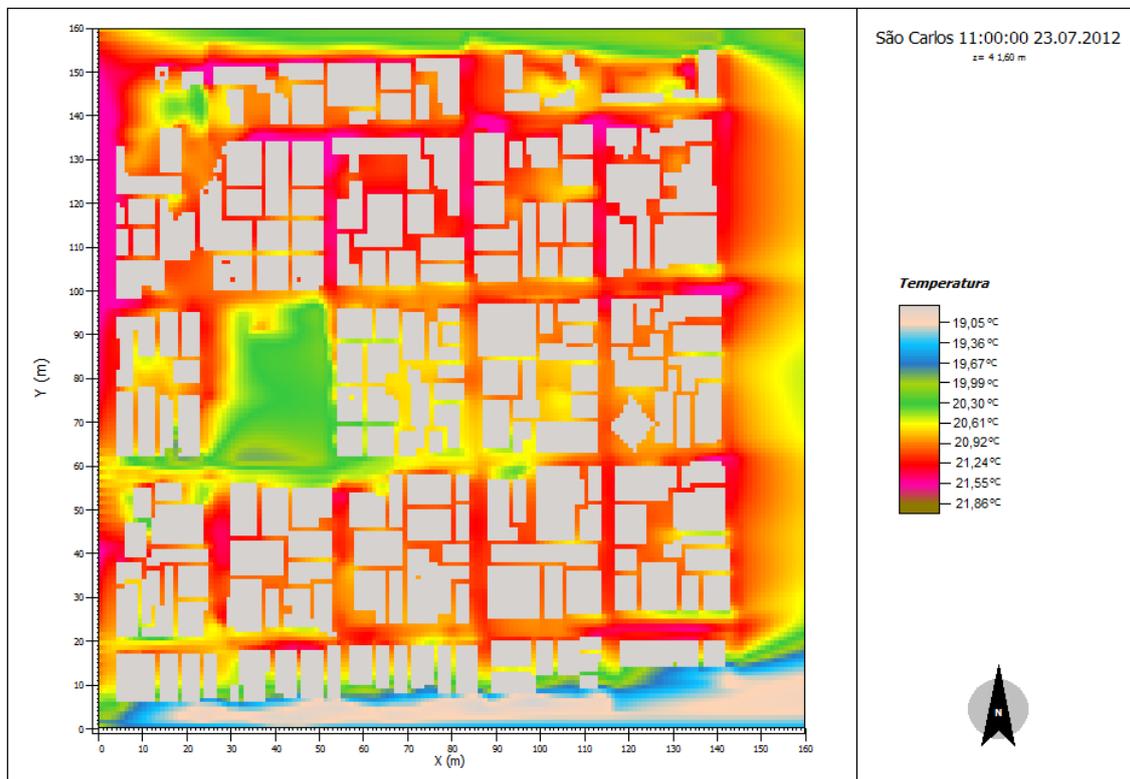
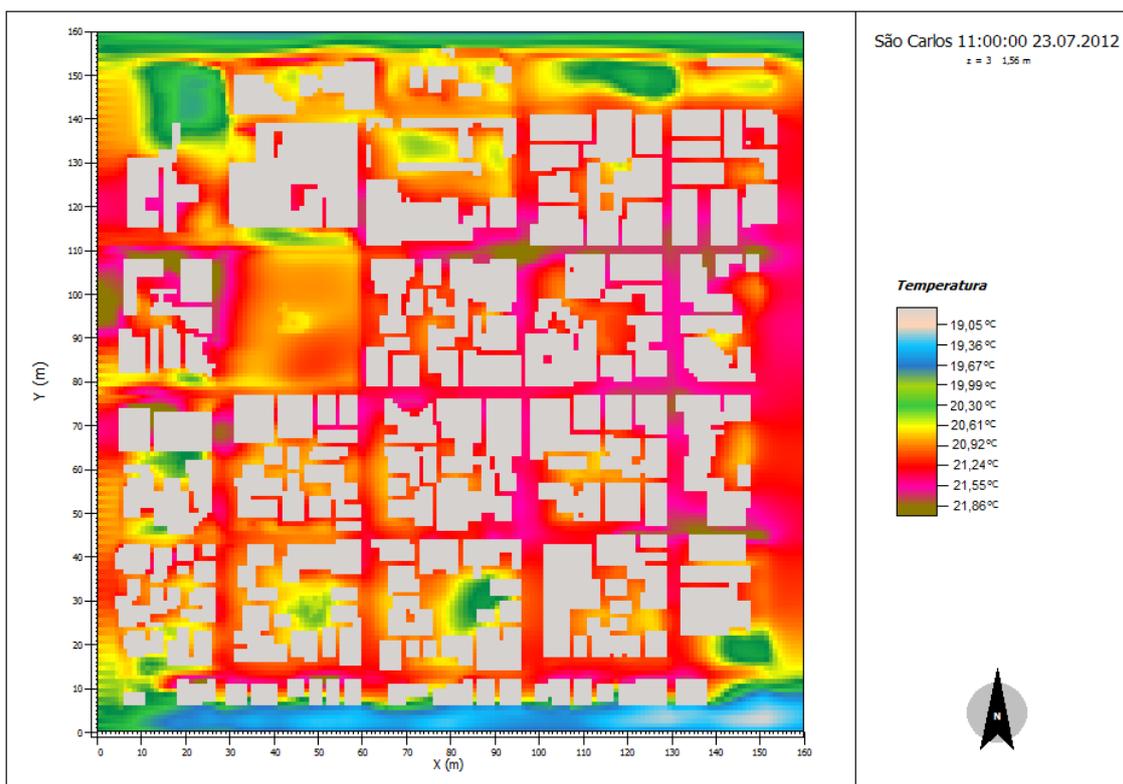


Figura 15: Mapa térmico para o cenário arborizado com edificações reais.



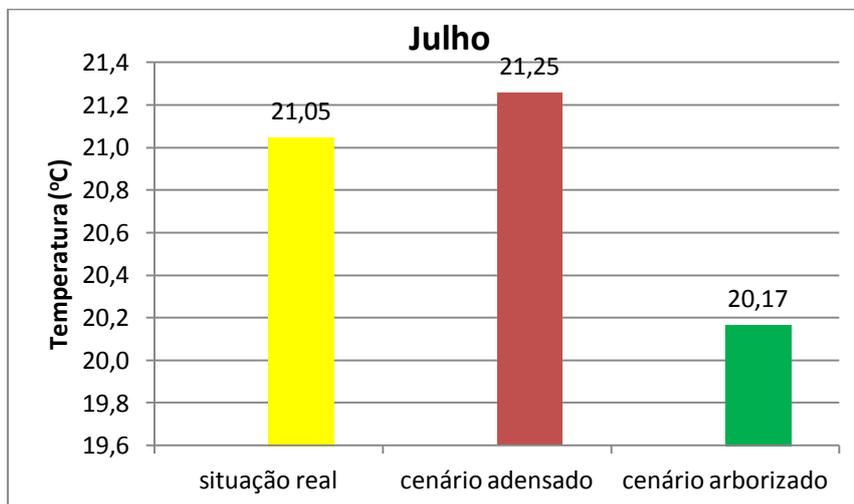
Observa-se pelos mapas térmicos, que as quadras situadas a sudoeste tenderam a apresentar um ambiente térmico mais arrefecido do que as demais quadras da área de estudo. É também nessa parte da área de estudo que se concentram quadras que oferecem as edificações mais afastadas entre si e centros de quadras menos ocupados.

No geral o cenário adensado apresenta um ambiente com frequência maior de temperaturas mais altas, distribuídas mais homoganeamente e, portanto, com menos pontos de contraste do que a situação real e o cenário arborizado.

A quadra em que se encontra a praça arborizada é notoriamente o local de destaque térmico em relação às demais. Em todos os cenários essa é a quadra que se mantém mais resfriada, confirmando o potencial apresentado pela vegetação na mitigação do calor. Ressalta-se ainda que essa quadra não sofreu adensamento em nenhum dos cenários simulados.

Analisando-se as diferenças médias de temperatura nos diversos pontos de leitura entre os cenários estudados, o gráfico 11 permite estabelecer uma análise quantitativa complementar aos mapas térmicos.

Gráfico 11: Diferenças térmicas entre os cenários em julho.



Verificou-se uma elevação da temperatura média do ar de cerca de $0,21^{\circ}\text{C}$ para julho, quando a situação atual é comparada ao cenário adensado. Comparando-se a situação atual com o cenário arborizado, verificaram-se reduções nas temperaturas do ar de cerca de $0,88^{\circ}\text{C}$. Quando verificadas as diferenças entre o cenário adensado e o arborizado, são encontrados valores da ordem de $1,09^{\circ}\text{C}$ para julho.

Portanto, foi possível constatar apenas um pequeno impacto de aquecimento sobre o ambiente térmico da área, provocado pelo adensamento. Por outro lado, houve um impacto de resfriamento significativo quando a arborização foi intensificada, principalmente se considerada a comparação entre os cenários adensados e arborizado.

Destaca-se que a análise apenas pelos valores médios das diferenças térmicas por si só não são capazes de revelar a abrangência espacial desse aquecimento ou resfriamento provocados pelas alterações nos cenários. Para revelar essa espacialidade, além dos mapas térmicos gerados pelo ENVI-met, a visualização por quadras como unidades térmicas torna-se uma escala de mais rápida apreensão das informações (da mesma forma apontado por

Mendonça *et al.* (2013) em um estudo acústico). Um exemplo dessa técnica pode ser constatado pela observação das Figuras 16 a 18.

Naquelas figuras, foram consideradas classes térmicas de algumas quadras pelas médias das temperaturas encontradas no seu entorno.

Figura 16: Diferenças térmicas das quadras para a situação atual.

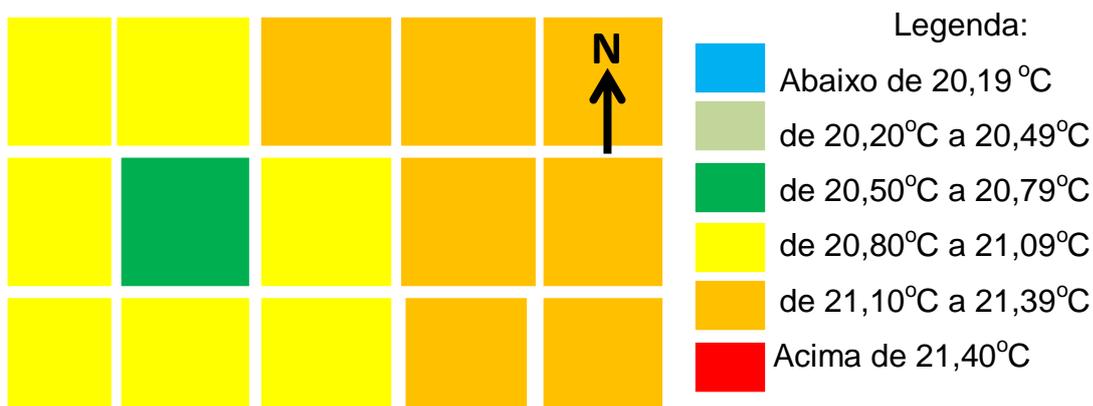


Figura 17: Diferenças térmicas das quadras para o cenário adensado.

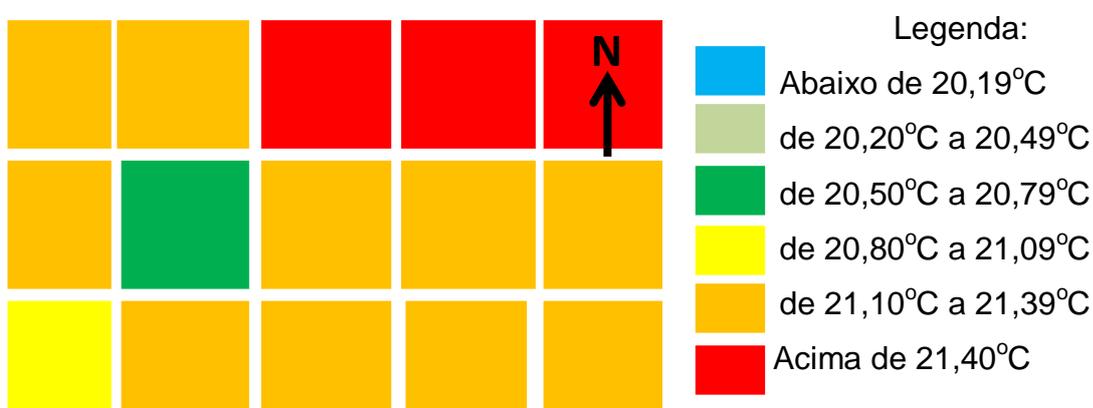
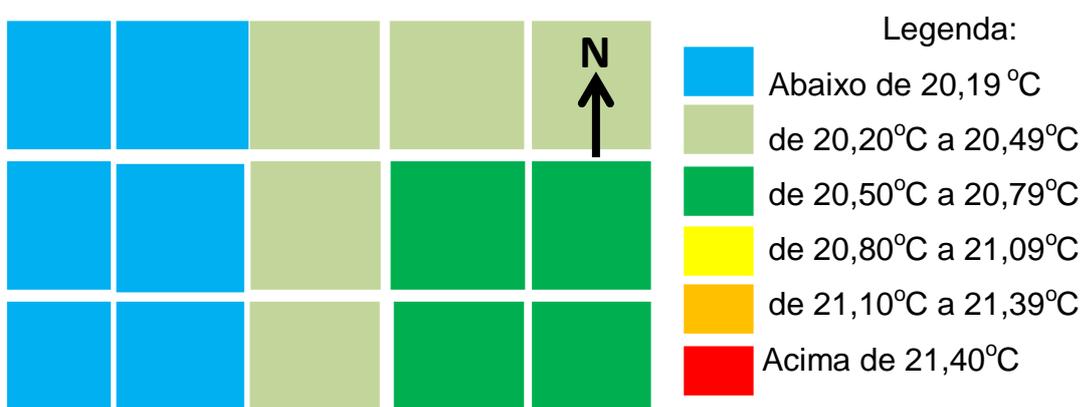


Figura 18: Diferenças térmicas das quadras para o cenário arborizado.

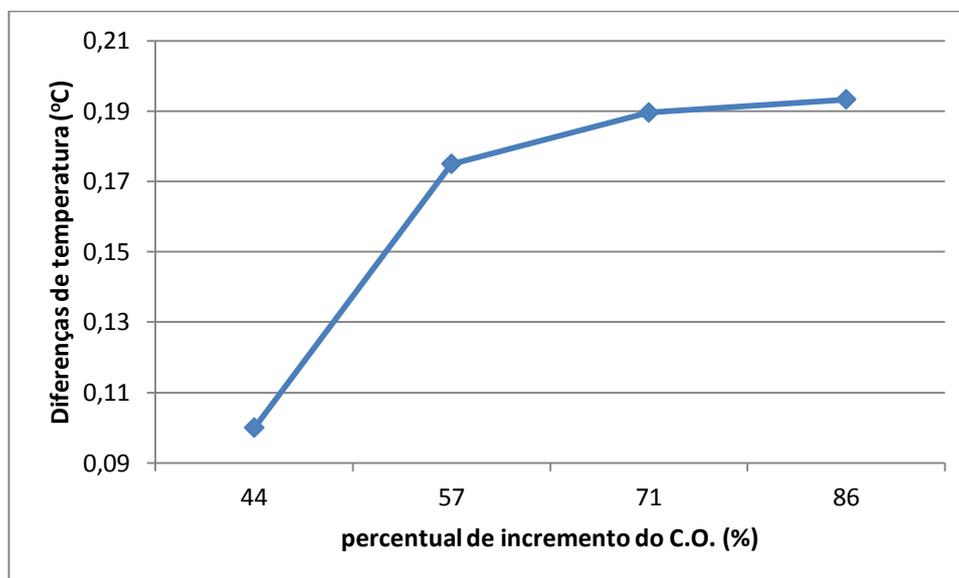


Os mapas de classes térmicas de quadras urbanas indicam que um número significativo de quadras sofreu alterações, tanto pelo adensamento, quanto pela arborização. Quando é comparada a situação atual com o cenário adensado, a porcentagem de quadras acima de 21°C passou de 47% para 87% do total de quadras da área.

Em todos os cenários, evidenciou-se o papel da praça como amenizador climático. Esse papel da vegetação é ainda mais significativo quando o cenário arborizado é observado. Nesse caso, 100% das quadras passou a apresentar temperaturas mais baixas do que 21°C.

Apesar da pequena ordem de grandeza do aquecimento decorrente do adensamento promovido, foi possível elaborar o Gráfico 12. Nele são examinados os percentuais de adensamento promovidos na área (aumento do coeficiente de ocupação) e as respostas térmicas médias obtidas em relação à situação real. Para a construção desse gráfico, foram calculadas as diferenças médias de temperatura encontradas por faixa de percentual de adensamento.

Gráfico 12: Diferenças de temperaturas em função do aumento do coeficiente de ocupação.



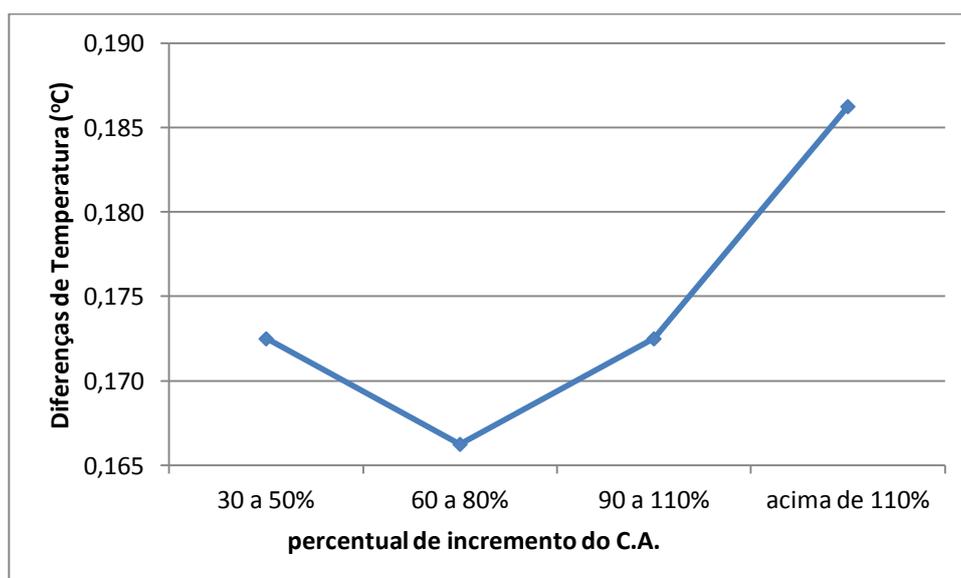
Pode-se assim observar, que, guardada as limitações do grau de aquecimento ocorrido, ainda é possível verificar que quanto maior o coeficiente de ocupação, maior foi a diferença de temperatura no cenário adensado em

relação à situação real. Porém, é também importante destacar que o impacto de adensamento foi mais significativo entre 44% e 57% do que nas faixas acima de 57%. Isso pode ser constatado pelas declividades apresentadas pela curva do Gráfico 12. Inicialmente, entre 44 e 57%, a curva apresenta um aclave maior do que as faixas seguintes entre 57 e 86%, pois essas últimas tendem a formar um patamar.

Essa observação indica que o impacto de um adensamento em uma quadra pouco ocupada é maior do que aquele de uma quadra que já apresente ocupação mais significativa. Essa tendência para a mesma área de estudo já havia sido anteriormente apontada por Souza (1996). A tendência pode ser facilmente explicada pelas características térmicas dos materiais de construção em relação ao solo natural. Os materiais de construção apresentam calor específico mais baixo do que as superfícies vegetais ou solos naturais e, portanto, elevam rapidamente a sua temperatura ao receberem a radiação solar.

Para análise da relação das diferenças da temperatura do ar com o percentual de incremento no índice de aproveitamento, foi desenvolvido o Gráfico 13.

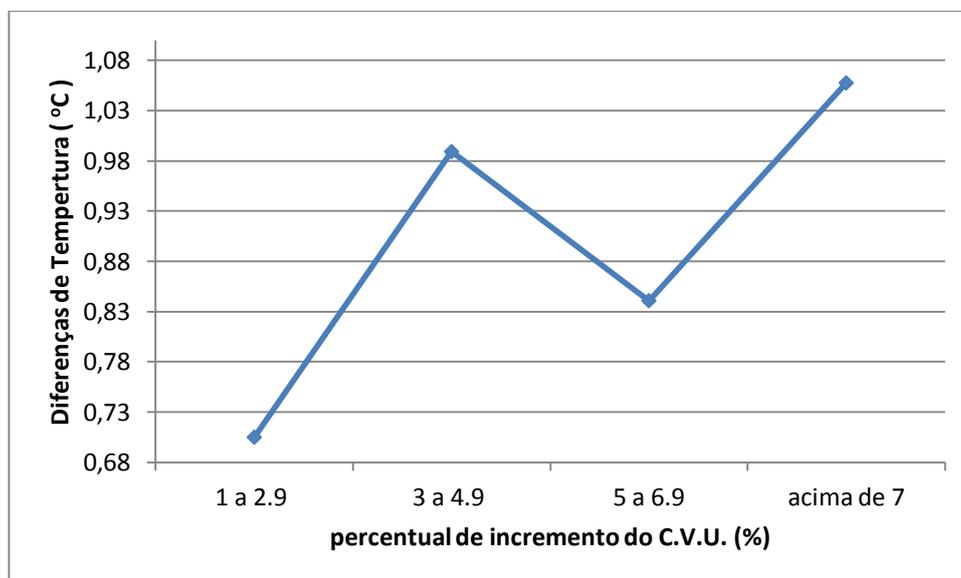
Gráfico 13: Diferenças de temperaturas em função do aumento do coeficiente de aproveitamento.



Nesse caso, observou-se que a da faixa de incremento entre 60 e 80% de coeficiente de aproveitamento apresentou uma tendência de menores diferenças de temperatura em relação à situação real. O coeficiente de aproveitamento está diretamente ligado ao aumento de superfícies e aumento de sombreamento das áreas urbanas. Por isso, esse comportamento pode ser um indício de que o sombreamento gerado pela elevação das edificações nessa faixa (com incremento de C.A. entre 60 e 80%) pode gerar um sombreamento termicamente significativo em relação à situação atual. Nesse caso, o aumento da temperatura do ar pode não ser tão intenso quanto aquele encontrado com o incremento da faixa entre 30 e 50%. Acredita-se que esse seja um resultado do impacto do sombreamento promovido pela faixa entre 60 e 80% ter sido maior do que o impacto das propriedades térmicas decorrente do aumento das superfícies dos materiais de construção.

O mesmo tipo de análise foi desenvolvido para relacionar o incremento do coeficiente de vegetação urbana com as diferenças térmicas. Os resultados encontrados são apresentados no Gráfico 14.

Gráfico 14: Diferenças de temperaturas em função do aumento do coeficiente de vegetação urbana.



Para o incremento do C.V.U., apesar de não ser verificado um comportamento linear, nota-se um tendência de maior influência da vegetação sobre a temperatura, a medida que ocorreu um incremento na taxa de

vegetação. A capacidade de resfriamento da temperatura do ar foi mais uma vez confirmada e revelou que as diferenças de temperatura podem alcançar mais de 1°C, quando o aumento do C.V.U. é acima de 7%. Para todas as faixas de incremento de C.V.U. foram verificadas diferenças significativas, reduzindo a temperatura do ar do entorno.

De uma forma geral, os pequenos valores encontrados nas diferenças térmicas, principalmente para o cenário adensado, pode ainda estar relacionado ao efeito da ventilação sobre a região. A área de estudo está situada na parte topográfica mais alta do sítio onde o subcentro da cidade de São Carlos se desenvolveu, o que facilita a entrada de ventos regionais.

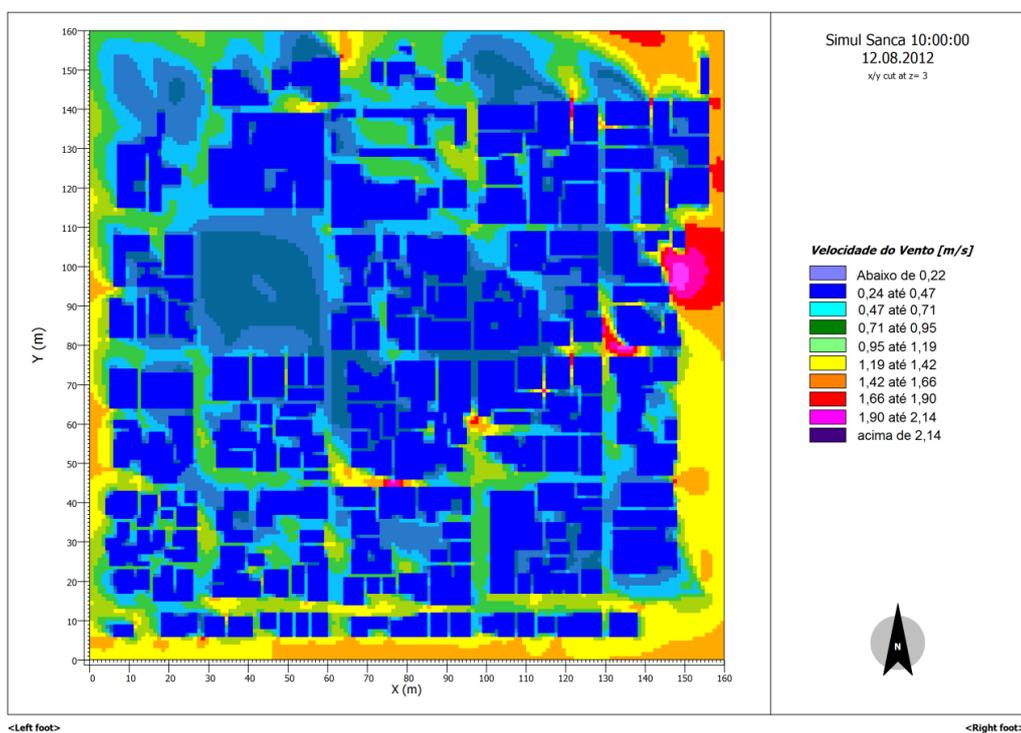
Por essa razão, um estudo sobre a ventilação nessa área também merece atenção para a análise do seu ambiente térmico.

5.2.2. ANÁLISE GERAL DO COMPORTAMENTO DO VENTO NOS CENÁRIOS ESTUDADOS

Para o estudo da influência da ventilação sobre o ambiente térmico da área de estudo, foi simulada a condição de vento dominante (sudeste), representando-se assim a tendência da janela de tempo das medições realizadas.

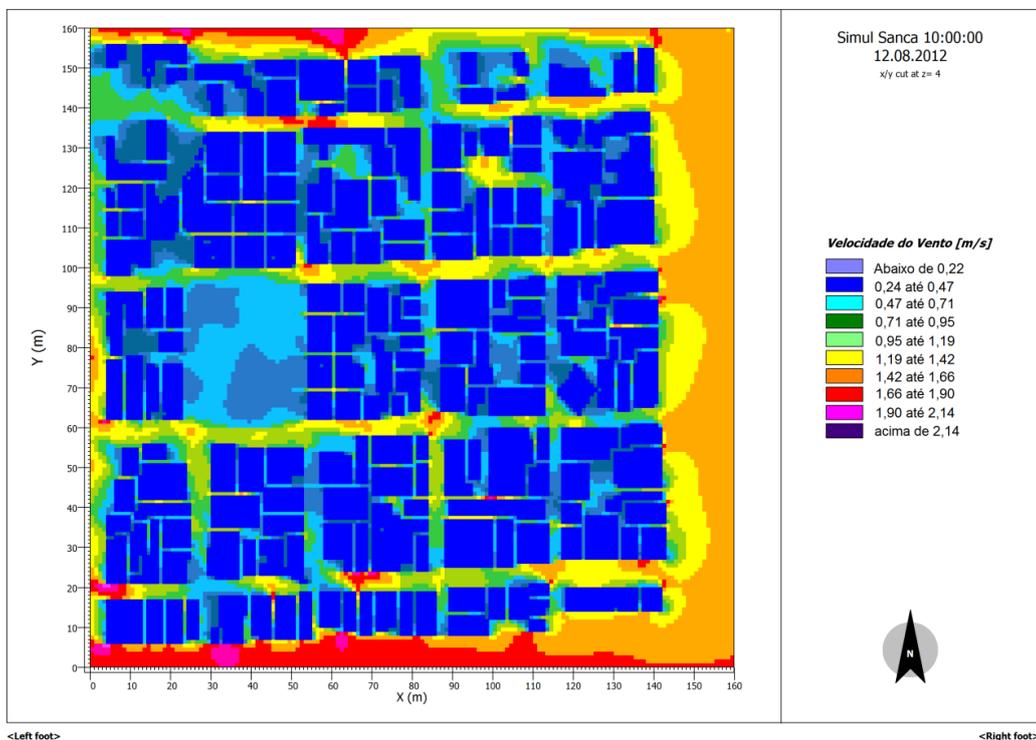
As figuras 19, 20 e 21 mostram as velocidades alcançadas pelo vento no interior da malha urbana da área estudada, para a situação real, para o cenário futuro e para o cenário arborizado.

Figura 19: Mapa da velocidade do ar para a situação atual.



A figura 19 indica uma região central do mapa que apresenta a velocidade mais uniforme. Esse comportamento ocorre, porque nessa área grande parte das edificações é de altura homogênea e não ultrapassam dois pavimentos. Essa característica acaba por formar uma barreira ao vento, pela falta de diversidade de alturas. A diversidade de alturas pode levar a diferentes áreas de pressão e, conseqüentemente, maior movimentação do ar.

Figura 20: Mapa da velocidade do vento para no cenário adensado.



Quando, no entanto, são observadas as velocidades do vento na figura 20, que representa o cenário adensado (com os coeficientes de ocupação e aproveitamento atingindo os valores máximos permitidos pelo Plano Diretor), observa-se que existem mais contrastes em várias regiões do mapa. As velocidades do vento são mais heterogêneas e indicam a influência dos altos edifícios sobre a estratificação do movimento do ar. Esse cenário demonstra a existência de locais sujeitos a maiores velocidades provocadas pelas diferenças de pressão criadas nas diversas alturas das superfícies das edificações.

O cenário arborizado também foi analisado sobre essa questão (Figura 21) e demonstra também o efeito da altura das superfícies interagindo com o movimento do ar e gerando contrastes de velocidade do vento. Naquele mapa observou-se com mais clareza que as vias tornam-se um corredor de vento com velocidades mais altas do que aquelas apresentadas para os centros de quadras.

A Tabela 15 procura quantificar as velocidades do vento, comparando as maiores velocidades atingidas nos diversos cenários simulados.

Figura 21: Mapa da velocidade do vento para o cenário arborizado.

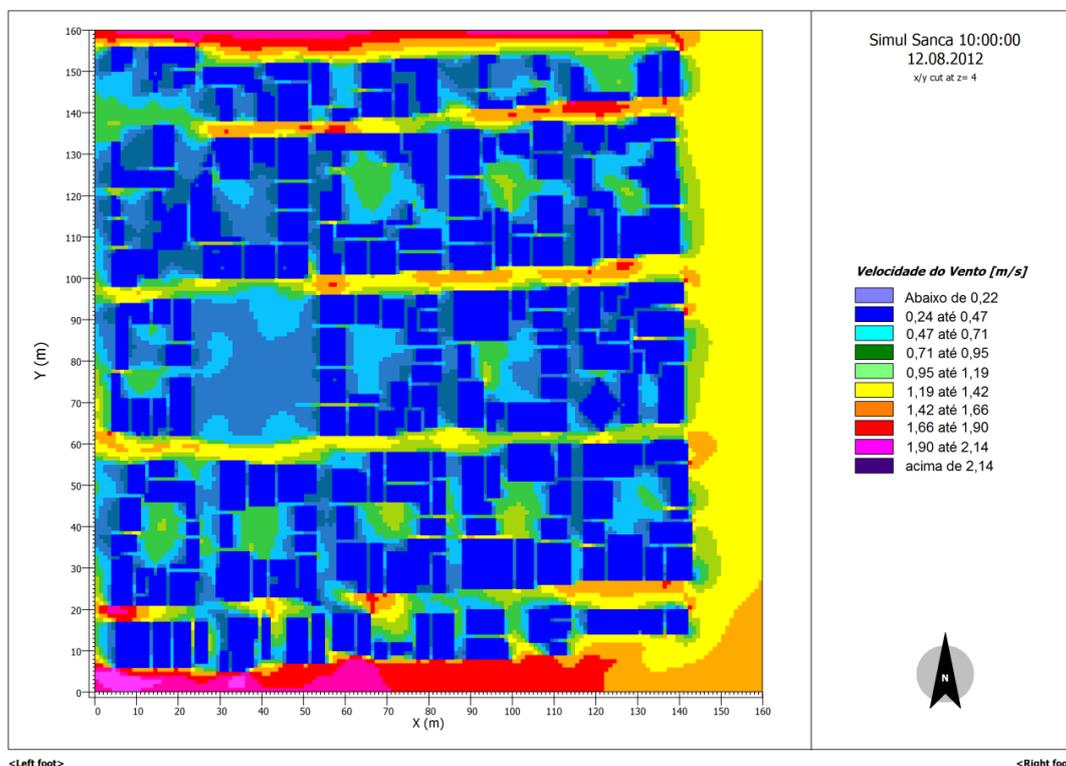


Tabela 15: Pontos com as maiores velocidades do vento [m/s] nos três cenários.

	Real	Futuro	Arborizado
	1,06	1,76	1,70
	0,27	1,72	1,38
	2,24	1,81	1,74
média	1,19	1,76	1,61

A média da velocidade do ar foi maior no cenário futuro do que cenário real. O cenário arborizado apresentou velocidade do ar menor do que a do cenário adensado, devido a influência das maiores taxas de C.V.U. no cenário arborizado e maiores C.A. no cenário adensado.

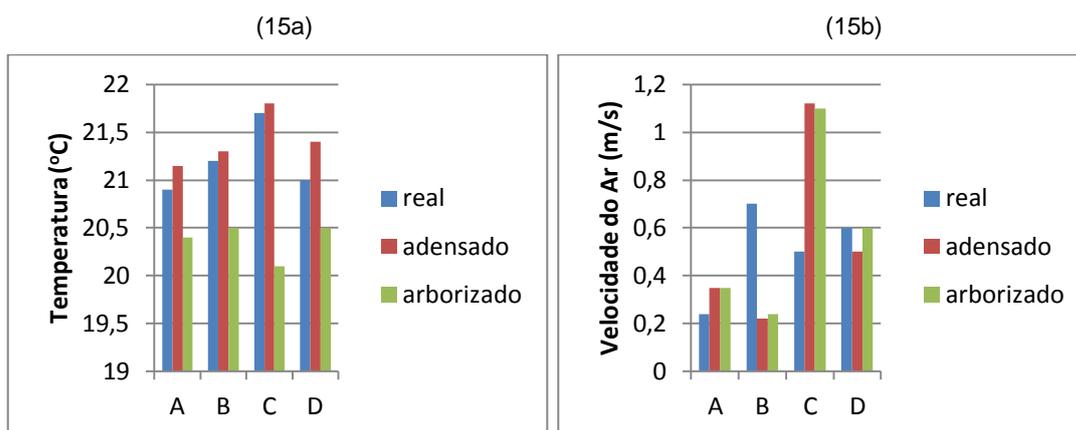
A diversidade de altura das edificações acaba por gerar esse quadro de maiores velocidades em locais específicos.

5.2.3. ANÁLISE ESPECÍFICA DOS PONTOS DE OBSERVAÇÃO

Após a análise das médias gerais, foram tomados os valores simulados especificamente para os pontos de observação A, B, C e D, verificando-se assim as influências dos cenários sobre a sua temperatura e a velocidade do vento.

Os resultados obtidos para essa comparação são observados no Gráfico 15a e 15b.

Gráfico 15: Comparação das temperaturas (15a) e velocidades dos ventos (15b) simuladas nos pontos A, B, C e D para os diversos cenários de estudo.



Para a situação real, os valores simulados indicam que o ponto A é o de menor temperatura naquele horário de simulação, confirmando a sua tendência apresentada também com os valores reais. Este se mantém também com a menor temperatura no cenário adensado. Trata-se do ponto que mais se aproxima do entorno da praça arborizada e, portanto o C.V.U. é maior. No entanto, quando o cenário arborizado é considerado, e todos passam a um coeficiente de cobertura vegetal maior, o ponto A não se mantém com a menor temperatura. Nesse caso, o ponto C, para o qual o movimento do ar atinge maiores velocidades, revela as menores temperaturas dentre os pontos de observação.

O Gráfico 15b permite observar que o ponto C foi o de alteração mais significativa na velocidade do vento. Com isso, a sua condição de ponto mais aquecido na situação atual, foi alterada, tornando-se o ponto mais resfriado no cenário arborizado. No entanto, no cenário adensado, apesar da velocidade do ar atingida pelo ponto C ser também a mais elevada entre os pontos, não é suficiente para evitar a sua condição de ponto mais aquecido.

Esse fato revela a importância ainda maior da vegetação no entorno urbano, colocando o C.V.U. como o índice prioritário para a redução de temperaturas e revelando também a necessidade do traçado urbano promover a porosidade ao vento. Essas duas condições em conjunto podem trazer o benefício do resfriamento em locais que apresentem armazenamento de calor excessivo.

A eficiência de resfriamento pelo vento no cenário adensado não se mostrou tão eficaz quanto no cenário arborizado.

5.2.4. VERIFICAÇÃO DO PAPEL TÉRMICO DE CADA COEFICIENTE URBANÍSTICO

Procurando verificar o papel de cada coeficiente urbanístico estudado sobre a característica térmica da área de estudo, desenvolveu-se um modelo de regressão múltipla envolvendo as seguintes variáveis de entrada: coeficiente de ocupação, coeficiente de aproveitamento, cobertura vegetal urbana, velocidade do ar e absorvância média das quadras. Ressalta-se que, a variável absorvância foi incluída como uma forma de ser levado em conta o potencial que as quadras apresentam na absorção da radiação solar incidente. Essa é uma variável inerente aos materiais construtivos e permite melhor ponderação ao modelo desenvolvido.

Esclarece-se que o modelo proposto é apenas uma técnica aplicada para verificação da influência de cada variável isoladamente. Em função da pequena variação de temperatura encontrada entre os pontos, do próprio tamanho da área e do número de amostras, não existe a intenção de que o modelo assumira um caráter preditivo. Além disso, o modelo é proposto apenas

para aquela condição específica de período de tempo e área de estudo, não podendo ter esses limites extrapolados.

Os intervalos de valores de entrada das variáveis aplicadas no desenvolvimento do modelo constam da Tabela 16.

Tabela 16: Intervalo de variáveis do modelo de regressão múltipla.

Variáveis	Intervalos	Médias	Desvio Padrão
C.O.	$0 \leq \text{C.O.} \leq 0,6$	0,44	0,15
C.A.	$0 \leq \text{C.A.} \leq 3$	1,09	0,86
C.V.U.	$0 \leq \text{C.V.U.} \leq 0,9$	0,11	0,23
Vento (m/s)	$0,24 \leq u \leq 1,23$	0,70	0,24
Absortância	$0,2 \leq \alpha \leq 0,8$	0,60	0,19

O modelo alcançou um coeficiente de determinação (r^2) de 0,55 e um coeficiente de correlação (r) de 0,74. Os resultados de coeficientes da regressão múltipla encontrados para cada variável são apresentados na tabela 17.

Tabela 17: Coeficientes resultantes da regressão múltipla.

Variáveis	Intervalos
Intersecção	21,23
C.O.	0,032
C.A.	-0.145
C.V.U.	-0.589
Vento (m/s)	-0.344
Absortância	0.406

Portanto, o modelo descreve a temperatura do ar através da Equação 6:

$$T_{ar} = 21,23 + 0,032 \text{ CO} - 0.145 \text{ CA} - 0.589 \text{ CVU} - 0.344 u + 0.406\alpha \quad (\text{Equação 6})$$

Onde:

T_{ar} é a temperatura do ar no entorno da quadra de estudo;

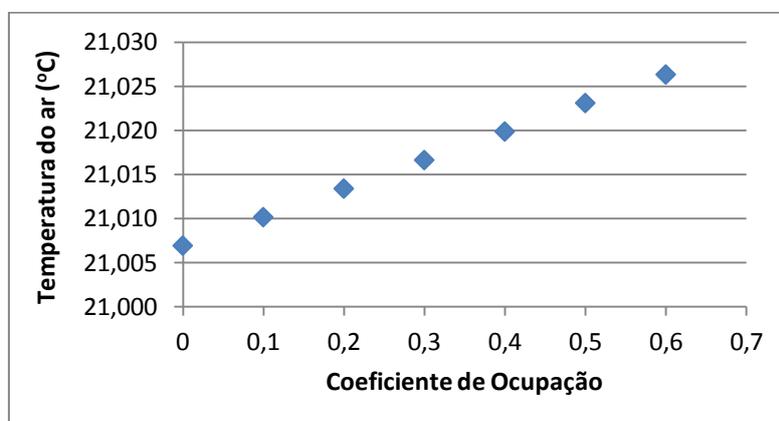
CO é o coeficiente de ocupação;

CA é o coeficiente de aproveitamento;

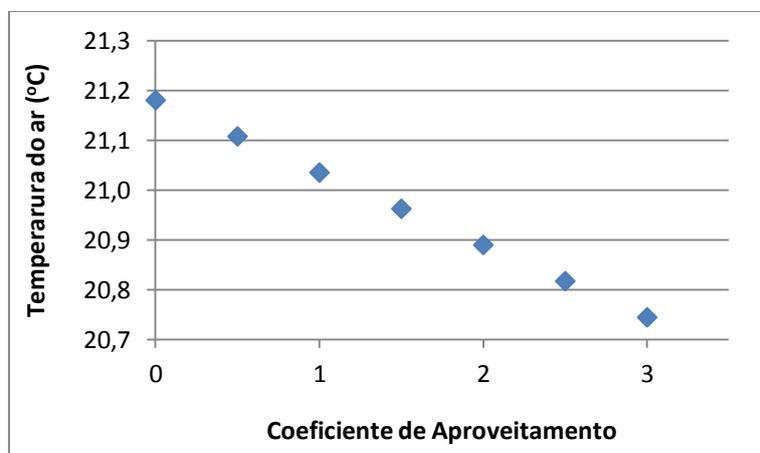
CVU é a cobertura vegetal urbana;
 u é a velocidade do vento em m/s;
 α é absorvância média da quadra tomada pelas cores das superfícies horizontais (telhados e pisos)

Aplicando-se o modelo de forma a que uma variável por vez seja alterada e mantendo-se as demais em seus valores médios (da tabela 16), é possível estabelecer um teste para verificação da influência da variável que está sendo alterada. Os resultados desses testes são apresentados nos Gráficos 16 a 20.

Gráfico 16: Relação entre o CO e Temperatura do ar.

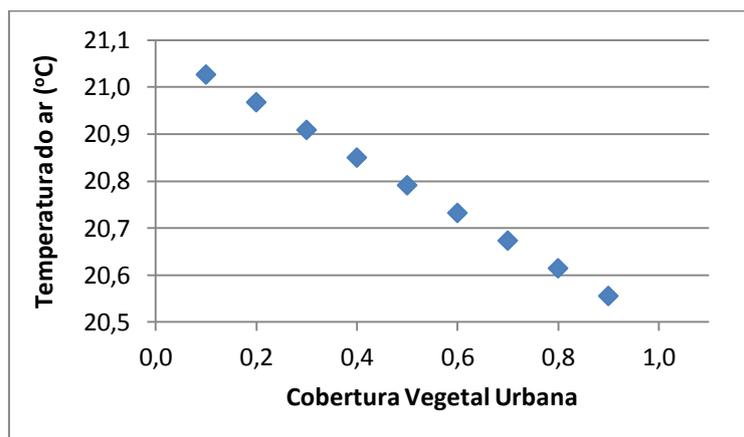


No gráfico 16, verificou-se que, apesar da temperatura do ar sofrer uma leve influência do coeficiente de ocupação, sua ordem de grandeza é muito pequena. Nota-se que o aumento do CO em 0,6 provocou o acréscimo de cerca de 0,03°C na temperatura do ar. É importante ressaltar que o C.O. é um índice que se relaciona com a porosidade do tecido urbano e mantém relação inversa com o C.V.U. Portanto, o seu aumento representa também uma redução na superfície vegetal, ao mesmo tempo que leva a um aumento de superfícies recobertas com materiais construtivos.

Gráfico 17: Relação entre o CA e Temperatura do ar.

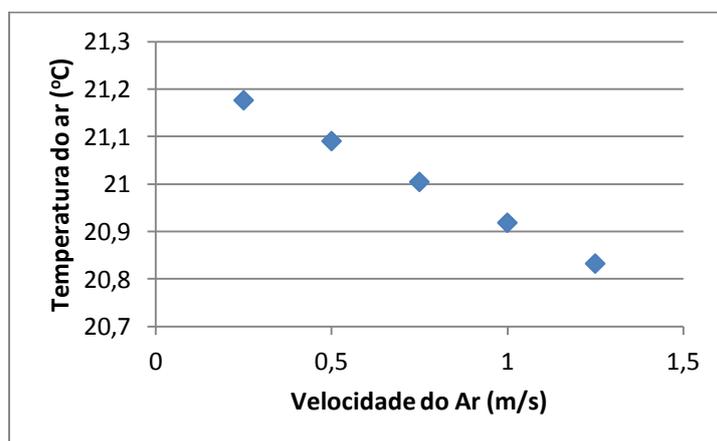
O gráfico 17 demonstra que o C.A. apresenta determinada potencialidade para o planejamento urbano, devendo ser um elemento a ser estudado com mais atenção. Sua tendência de resfriamento em torno de até $0,5^{\circ}\text{C}$ para as faixas estudadas pode estar relacionada com o sombreamento e com a velocidade dos ventos. Mais uma vez, chama-se a atenção de que a altura das edificações promove sombras, ao mesmo tempo em que produz diferenças de pressão e, portanto, movimentação do ar. No entanto, essas só podem ser consideradas como elementos de planejamento, se forem associadas à porosidade do espaço para permitir a entrada de ventilação.

O agrupamento de edifícios altos de forma compacta pode ser prejudicial à entrada de ventos regionais e, portanto, perdendo o potencial de dispersão oferecido por esse elemento climático. Essa questão ressalta a importância da consideração integrada entre os índices C.A, C.O. e C.V.U.

Gráfico 18: Relação entre o C.V.U. e Temperatura do ar.

O gráfico 18 reforça o potencial de resfriamento da vegetação, comprovando que o C.V.U. é um coeficiente que oferece subsídios para a previsão térmica do ambiente urbano. Para a faixa de valores estudada, foi verificada uma queda significativa de temperatura, mesmo para as pequenas proporções que apresenta a área de estudo.

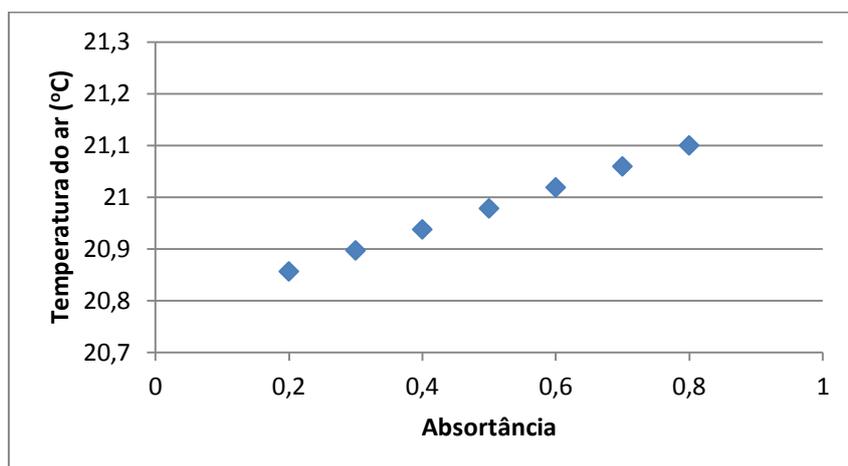
O modelo, mais uma vez, estabelece coerência com as observações anteriormente realizadas.

Gráfico 19: Relação entre Velocidade do ar e Temperatura do ar.

Quanto à velocidade do ar, a sua eficiência no resfriamento do ambiente é demonstrada no gráfico 19. Para a faixa entre 0,3 e 1,25 m/s, verificou-se uma queda em torno de 0,4°C na temperatura do ar. Mais uma vez, é importante destacar que a porosidade do meio urbano é o elemento que facilita essa penetração dos ventos e por isso, é importante que as edificações de

regiões de entrada de vento da cidade não se comportem como barreiras ao vento. No caso dessa região específica de estudo, ela assume um papel relevante para permitir o escoamento dessa ventilação para o restante da cidade, principalmente por estar em situação topográfica privilegiada.

Gráfico 20: Relação entre Absortância e a Temperatura do ar.



O gráfico 20, relativo à absortância à radiação solar, levanta a questão da necessidade de serem adotados pelos gestores e planejadores urbanos, índices urbanísticos que considerem a absorção de calor. Como se trata de uma propriedade relacionada com a cor dos materiais, esse seria um elemento de aplicação factível.

Como pode ser verificado, quanto maior o valor da absortância das superfícies, maior a temperatura do ar. Normalmente, guardadas as devidas limitações físicas envolvidas na determinação da absortância, as cores claras estão relacionadas a menores absortâncias e, portanto, menores temperaturas são atingidas no entorno das superfícies claras.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo de estabelecer relações entre os coeficientes de ocupação, o coeficiente de aproveitamento e o coeficiente de vegetação urbana com as condições térmicas do entorno da área de estudo foi alcançado. Apesar das grandezas encontradas terem sido menores do que as esperadas, algumas tendências puderam ser verificadas e comprovam a necessidade de serem aprofundados os estudos sobre o potencial desses parâmetros como indicadores térmicos urbanos. Ressalta-se que esses índices são usualmente aplicados pelos tomadores de decisões e planejadores urbanos para regulamentações construtivas na cidade. Portanto, conferi-los um caráter térmico, significa oferecer uma ferramenta que permita estabelecer uma previsão de cenários microclimáticos mais adequados ao conforto do ser humano.

Nesse sentido, a aplicação da ferramenta computacional para a simulação dos microclimas urbanos da área de estudo revelou-se um instrumento indispensável para o desenvolvimento de mapas térmicos e análise de cenários. Ainda que o tempo para simulações seja dispendioso e dificulte a agilidade de obtenção de resultados, o modelo aplicado permitiu que fossem realizadas previsões microclimáticas e extraídas importantes relações para o planejamento urbano.

Verificou-se que o coeficiente de ocupação - C.O - tem uma leve influência sobre a temperatura do ar, enquanto os coeficientes de aproveitamento - C.A. – e a cobertura vegetal urbana – C.V.U. – indicaram uma influência térmica mais significativa. Esses dois últimos indicaram tendências à redução da temperatura do ar. No caso da cobertura vegetal, esse pode ser um comportamento esperado, mas no caso do C.A. são necessários mais estudos que se aprofundem nos limites térmicos desse coeficiente dentro das condições climáticas específicas de cada estudo.

Como o C.A. está relacionado à altura das edificações, seu incremento pode trazer o sombreamento e diminuição de temperaturas em determinadas épocas do ano. Porém também pode representar uma barreira à entrada de ventos, se a porosidade da geometria urbana for prejudicada, e conseqüente

acarretar o aquecimento do entorno. Além disso, pode também significar maior armazenamento de calor pelas superfícies dos materiais construtivos. Por isso, são necessários estudos que permitam estabelecer o ponto de equilíbrio para que esse coeficiente não dificulte o adequado balanço térmico urbano.

A cobertura vegetal urbana, C.V.U, dentre os coeficientes estudados, foi o que apresentou maior impacto sobre a temperatura do ar no entorno. Nas simulações realizadas as diferenças alcançadas foram de até 1°C . Para todos os cenários estudados, a região da praça arborizada é a que apresenta menores temperaturas do ar. Além disso, o cenário arborizado, apresentou-se como o de temperaturas mais baixas.

Por outro lado, observou-se que, dentro da fração escolhida, o cenário adensado apresentou as maiores médias de temperatura em relação aos cenários real e arborizado.

O ambiente térmico urbano sofre também fortes influências da ventilação urbana. A área de estudo situou-se em uma condição topográfica de altitude mais elevada do que as áreas urbanas ao seu redor. Essa característica confere penetração de ventos regionais sobre a área, porém as velocidades do vento sofrem interferências diretas da geometria urbana de São Carlos. Quando analisado o cenário adensado, pode ser verificado que as superfícies mais altas promovem mais turbulência e maiores velocidades do vento do que a situação real. Como na situação real existem muitas edificações térreas ou de poucos pavimentos, uma barreira é formada pela homogeneidade da geometria urbana, criando menores diferenças verticais de velocidade do ar e, portanto, menores velocidades do ar junto ao solo.

A velocidade do ar em conjunto com a arborização pode trazer o resfriamento do entorno. O papel da velocidade do vento foi mais eficiente no cenário arborizado do que no cenário adensado.

A pesquisa ainda revelou a necessidade de ser dada mais atenção ao potencial oferecido pela absorvância das superfícies como índice urbanístico. O modelo de regressão múltipla desenvolvido permitiu verificar o papel exercido por essa propriedade dos materiais sobre a temperatura do ar. Como é uma característica que mantém certa relação com as cores dos materiais, esse ser um elemento-chave para o planejamento térmico urbano.

Outro aspecto a ser destacado, foi a contribuição efetiva da análise térmica pela adoção de um mapeamento por unidades de quadras urbanas. Essa forma de representação vem sendo adotada pelo Grupo de Pesquisa em Acústica e Térmica nas Edificações e Redes Viárias (NUPA) da UFSCar e tem se revelado promissora para fins de rápida análise visual e extração de informações úteis ao planejamento urbano.

Por fim, com o dinamismo apresentado pelas cidades hoje, cada vez mais a consideração do ambiente térmico urbano deve ser considerado para a maior qualidade de vida urbana. Nesse sentido, pesquisas futuras nessa área devem se preocupar com o aprofundamento de ferramentas de previsão, de forma a que os planejadores urbanos possam contar com um efetivo apoio à tomada de decisões. Para isso, no entanto, é necessário que as áreas de abrangência dos estudos sejam maiores, abarcando o maior número de variáveis possíveis.

Aliado a isso, um sistema de monitoramento térmico urbano contínuo seria necessário, para que fosse possível serem criadas bases de dados históricos e identificadas áreas de ações emergenciais quanto à qualidade térmica urbana.

7. REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220; Desempenho térmico de edificações. Comitê Brasileiro de Construção Civil. Comissão de Estudo de Desempenho Térmico de Edificações. Set. 2003. 66 p.

ALVES, A. C. N.; ANDRADE, T. C. Q.; NERY, J. M. F. G.; A Influência da vegetação e da ocupação do solo no clima urbano: Um exercício analítico sobre a Avenida Paralela. **Fórum Patrimônio: Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável**. Belo Horizonte. vol. 4. nº 1. 2011. pg. 43-52.

ALVES, E. D. L.; Ilha de calor ou ilha de energia térmica: um conceito aberto à discussão. **Revista Espaço Acadêmico**. nº 110. 2010. 6 p.

ALVES, E. D. L.; BIUDES, M. S.; O uso do solo e as mudanças climáticas: estudo de caso no campus de Cuiabá da Universidade Federal de Mato Grosso. **Ateliê Geográfico Goiânia-GO**. vol. 6, nº 2. 2012. pg. 95-111.

ANJOS, M. W. B.; GOIS, D. V.; CRUZ, R.; LIMA, L. P.; Climatologia urbana e espaços verdes: Contributo ao planejamento das Cidades. **Revista Geonorte. Edição Especial 2**, vol. 2. nº 5. 2012. pg. 233 – 245.

ARRAU, C. P.; PEÑA, M. A.. The urban heat island (UHI) effect. 2011. Disponível: Urban Heat Islands. <http://www.urbanheatlands.com/home>. Acesso em 15 jan. 2012.

ASSIS, E. S.; RAMOS, J. G. L.; SOUZA, R. V. G.; CORNACCHIA, G. M. M.; Aplicação de dados do clima urbano no desenvolvimento de planos diretores de cidades mineiras. IX ENCONTRO NACIONAL E V LATINO AMERICANO DE CONFORTO E AMBIENTE CONSTRUÍDO. Ouro Preto. 2007. 10 p.

ASSIS, E. S.; FRANCISCO, P. T.; Aplicação de um modelo preditivo de conforto térmico urbano na avaliação do impacto do adensamento previsto pela

L.U.O.S. num bairro de Belo Horizonte - MG. ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO. vol. 11. Florianópolis. SC. 2006. 10 p.

ASSIS, E. S.; Aplicações da climatologia urbana no planejamento da cidade: revisão dos estudos brasileiros. **Revista de Urbanismo e Arquitetura**. vol. 7. nº 1. 2006. pg. 20-25.

_____; A abordagem do clima urbano e aplicações no planejamento da cidade: reflexões sobre uma trajetória. In.: 8 ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, e 4 CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA SOBRE CONFORTO TÉRMICO E DESEMPENHO ENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES. 2005, Maceió. **Anais dos Encontros Nacionais sobre Conforto no Ambiente Construído**. ANTAC. Maceió. 2005. pg. 92-101.

_____; Métodos preditivos da Climatologia como subsídios ao planejamento urbano: aplicação em conforto térmico. Terra Livre. São Paulo. Ano 19. vol. 1. nº 20. 2003. pg. 145-158.

BALÁZS, B; HALL, T.; ROTH, M; NORFORD, L. K.; Microclimate in a high-rise residential development in Singapore. In: THE SEVENTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN CLIMATE. 29 June-3 July 2009, Yokohama. Japan. 2009. 4 p. Disponível: <http://censam.mit.edu/publications/balazs.pdf>. Acesso em 13 set. 2013.

BARBIERO, M.; Avaliação das percepções quanto ao ambiente térmico em uma indústria metalúrgica: Um estudo de caso. Porto Alegre. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Engenharia). 2004. 140 p.

BARBOSA, R. V. R.; Estudo do campo térmico urbano de São Carlos - SP: Análise da intensidade da ilha de calor urbano em episódio climático de verão.

Tese doutorado Pós Graduação e Área de Concentração em Ciências da Engenharia Ambiental. Escola de Engenharia de São Carlos USP. 2009. 188 p.

BIAS, E. S.; BAPTISTA, G. M. M.; LOMBARDO, M. A.; Análise do fenômeno de ilhas de calor urbanas, por meio da combinação de dados Landsat e Ikonos. Anais XI SBSR. Belo Horizonte. Brasil. INPE. 2003. pg. 1741–1748.

BRANDÃO, R. S.; ALUCCI, M. P.. Impacto da ocupação urbana na ambiência térmica da cidade: Estudo a partir do caso do Bairro de Moema - São Paulo. In: XI ENCAC ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO E VII. ELACAC ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO. Búzios. RJ. 2011. 10 p.

CALLEJAS, I. J. A.; OLIVEIRA, A. S.; SANTOS, F. M. M.; DURANTE, L. C.; NOGUEIRA, M. C. J. A.; Estudo comparativo de temperatura e umidade entre meio urbano e rural. In: XI ENCAC ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO E VII ELACAC ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO. Búzios. RJ. 2011. 10 p.

CARFAN, A, C.; GALVANI, E.; NERY, J. T.; Calibração do modelo ENVI-met: Estudo do clima urbano de Ourinhos - SP. 2009. 13 p. Disponível: http://www.geo.ufv.br/simposio/simposio/trabalhos/trabalhos_completos/eixo8/002.pdf. Acesso em 12 mar. 2013.

_____ ; O Efeito do sombreamento no conforto térmico. Estudo de caso: Cidade de São Paulo. In: VI SEMINÁRIO LATINO AMERICANO DE GEOGRAFIA FÍSICA. II SEMINÁRIO IBERO AMERICANO DE GEOGRAFIA FÍSICA. Universidade de Coimbra. Mai. 2010. 13 p. Disponível: http://www.uc.pt/fluc/cegot/VISLAGF/actas/tema3/ana_carfan. Acesso em 12 mar. 2013.

CHATZIDIMITRIUOU, A; YANNAS, S.; Microclimatic studies of urban open spaces in Northern Greece. Plea 2004 – In: THE 21ST CONFERENCE ON

PASSIVE AND LOW ENERGY ARCHITECTURE. Eindhoven, The Netherlands. Set. 2004. pg. 1-6.

CIBSE Guide A; **Environmental design**. The Chartered Institution of Building Services Engineers London. Norwich, Norfolk. Ed. 7. 2006. 326 p.

CORBELLA, O. D.; MAGALHÃES, M. A. A. A.; Conceptual differences between the bioclimatic urbanism for Europe and for the tropical humid climate. **Renewable Energy**. vol. 33. Issue 5. May. 2008. pg. 1019–1023.

DUARTE, D. H. S.; Variáveis urbanísticas e microclimas urbanos: Modelos empírico de proposta de um indicador. **Fórum Patrimônio: Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável**. Belo Horizonte. vol. 4. n° 1. 2010. 42 p. Disponível: http://www.forumpatrimonio.com.br/seer/index.php/forum_patrimonio/article/view/48/43. Acesso em 17 out. 2013.

FIALHO, E. S.; SOUZA, J. J. L.; Utilização do clima no planejamento como reflexo das condições ambientais nos centros urbanos. Universidade Federal de Viçosa. **Revista ACTA Geográfica**, Ano I. n° 2. 2007. pg. 29-41. 13 p.

FORTIER, P. J.; DESROCHERS, R.; **Modeling and analysis of local area networks**. Ed. CRC Press. 1990. 313 p.

GIVONI, B.; **Man, climate and architecture**. 2nd ed. Applied Science publishers Ltd. London. 1976. 483 p.

_____; **Urban design in different climate**. World meteorological organization. World Climate Programme. WMO/TD n° 346. WCAP -10. 1989.

_____; **Climate Considerations in building and Urban Design**. John Wiley & Sons, Inc. USA, 1998. 480p.

HIGUERAS, E. G.; Urbanismo bioclimático. Barcelona. Editorial Gustavo Gili GG. Spain. 2006. 242 p.

HUTTNER, S.; BRUSE, M. DOSTAL, P.; Using ENVI-met to simulate the impact of global warming on the microclimate in central European cities. In: 5TH JAPANESE-GERMAN MEETING ON URBAN CLIMATOLOGY. **Source: Berichte des Meteorologischen Instituts der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg**. Nr. 18 (2008): Helmut Mayer and Andreas Matzarakis (eds.). 2008. pg. 307-312. Disponível: http://www.ENVI-met.com/documents/papers/Huttner_etal_2008.pdf. Acesso em 16 nov 2013.

IZARD, J. L.; GUYOT, A.; **Arquitectura Bioclimática**. GG Ediciones G. Gili. México. 1983. 192 p.

JOHANSSON, E.; Influence of urban geometry on outdoor thermal comfort in a hot dry climate: A study in Fez, Morocco. **Building and Environment**. vol. 41. 2006. pg. 1326–1338. Disponível: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132305001952>. Acesso em 10 nov. 2012.

KANDA, M; Progress in the scale modeling of urban climate: **Review. Theoretical Applied Climatology**. Printed in Austria. vol. 84. 2006. pg. 23–33.

KATZSCHNER, L. Open space design strategy based on thermal comfort analysis. In: PLEA 2004 - THE 21ST CONFERENCE ON PASSIVE AND LOW ENERGY ARCHITECTURE. EINDHOVEN. BUILT ENVIRONMENTS AND ENVIRONMENTAL BUILDINGS. **Proceedings. Eindhoven: Plea International**. vol. 1. 2004. pg. 47-52.

KATZSCHNER, L; KATZSCHNER, M. A.; Workshop thermal comfort in urban planning and architecture under consideration of global climate change. In: UNIKASSEL VERSIT'A'T. Feb 20th and 21st. Kassel. Germany. 2008. 448 p.

KATZSCHNER, L.; THORSSON, S.; Microclimatic investigations as tool for urban design. In: THE SEVENTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN CLIMATE. Yokohama. Japan. 2009. 4 p.

KLEERREKOPER, L.; ESCH, M. V.; SALCEDO, T. B.; How to make a city climate-proof, addressing the urban heat island effect. **Resources, Conservation and Recycling**. vol. 64. Elsevier. 2011. pg. 30-38. Disponível em: www.elsevier.com/locate/resconrec Acesso em 15 out. 2012.

KRÜGER, E. L.; PEARLMUTTER, D.; Estudo realizado em Israel: uso de modelo físico na análise do efeito da evapotranspiração em arranjo urbano sob condições desérticas. **Fórum Patrimônio**. Belo Horizonte. vol. 4. nº 1. 2011. pg. 53-68.

LACERDA, R.; Densidade populacional e desenvolvimento. *Jornal da Cidade*. 2012. 3 p. Disponível: http://cenariosdesenvolvimento.blogspot.com.br/2012_03_01_archive.html. Acesso em 15 ago. 2013.

LANDSBERG, H. E. The climate of towns. **Revista do Departamento de Geografia**. nº 18. 2006. pg. 95-111.

LEITE, A. D.; Brevíssima revisão histórica. In: **A economia brasileira – De onde viemos e onde estamos**. cap 1. 2011. pg. 3–15.

LEE, D. O.; Urban Warming? An analysis of recent trends in London's heat island. **Royal Meteorological Society**. London. vol. 47. 1992. pg. 50-56.

LIMA, A. P.; AMORIM, M. C. C. T.; O clima urbano em Rosana SP: Comparações entre a cidade e o campo. **Caderno Prudentino de Geografia, Presidente Prudente**. vol. 2. nº 33. 2011. pg. 66-84.

LIMA, R. P.; O processo e o (des)controle da expansão urbana de São Carlos (1857-1977). Dissertação Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e

Urbanismo. Área de Concentração: Arquitetura e Urbanismo. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. 2007. 193 pg.

MARTIN F. F.; **Computer modeling and simulation**. Ed. John Wiley & Inc. 1968. 331 p.

MELO, J. D.; BARBIRATO G. M.; Informações para o planejamento a partir da caracterização climática urbana: Estudo em Maceió-AL. In: XI ENCAC ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO E VII ELACAC ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO. Búzios. RJ. 2011. 10 p.

MENDONÇA, F.; MONTEIRO, C. A. F.; **Clima Urbano**. Ed. Contexto. São Paulo. 2003. 192 p.

MENDONÇA, A.B.D; SURIANO,M.T.; SOUZA, L.C.L.; VIVIANI, E. **Classes de quadras urbanas determinadas pelos níveis de ruídos**. Revista Brasileira de Gestão Urbana. vol 5. nº 2. 2013. p 63-77

MILLS, G.; Urban climatology and its relevance to urban design. In: PLEA 2008. 25TH CONFERENCE ON PASSIVE AND LOW ENERGY ARCHITECTURE. Dublin. Oct. 22nd - 24th, **Paper nº 25**. 2008. 6 p.

MINELLA, F. C. O.; HONJO, S.; KRÜGER, E. L. Estratégias de melhoria do ambiente térmico diurno em situação de verão de uma fração urbana da cidade de São Paulo. **Ambiente Construído**. Porto Alegre, vol. 12. nº 4. 2012. pg. 139-158.

MINELLA, F. C. O.; RASIA, F. B. C.; KRÜGER, E. L.; Impactos microclimáticos do desenho urbano: Estudos realizados em Curitiba. Departamento de Geografia da UFPR. Curitiba. Revista RA´EGA. vol. 21. 2011. pg. 298-336.

MONTEIRO, C. A. F.; O clima e a organização do espaço no Estado de São Paulo: problemas e perspectivas. São Paulo. IGEOG-USP. Tese (Série Teses e Monografias). 1976.

MONTEIRO, L. M.; ALUCCI, M. P.; Índices de conforto térmico em espaços urbanos abertos. **Fórum Patrimônio: ambiente construído e patrimônio**. Belo Horizonte. vol. 4. nº 1. 2010. 40 p.

MOREIRA, E. B. M.; GALVÍNCIO, J. D.; Análise multitemporal da ilha de calor urbana na cidade do Recife, através de imagens do Landsat TM-5. **Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal. Brasil. 25-30 Abr. 2009. INPE. pg. 1441-1448.

NAKATA, C. M.; O Comportamento do pedestre e ambiente térmico urbano. Dissertação (Mestrado Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação). Bauru. 2010. Universidade Estadual Paulista. 2010. 132 p.

NAKATA, C. M.; SOUZA, L. C. C.; A review of methods of urban climate representation and simulation. In: International Conference On Urban Climate and History of Meteorology, 2013, Florença. Proceedings of International Conference On Urban Climate and History of Meteorology. Florença. Italy. 2013. v. 1. p. 172-179.

NINCE, P. C. C.; Avaliação do desempenho termo-luminoso de uma escola na cidade de Cuiabá – MT. Estudo de caso: Cuiabá - MT. Universidade Federal de Mato Grosso. Instituto de Física. Programa de Pós Graduação de Física pelo Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental. Mai. 2009. 108 p.

OH, E.J. LEE, H. W.; KONDO, A.; KAGA, A.; YAMAGUSHI, K.; Micro-climate prediction in a residential development region using a numerical model. **Ecological Modelling**. vol. 177. 2004. pg. 283–295.

OKE, T. R.; The energetic basis of the urban heat island. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**. vol. 108, nº 455, 1982. pg. 1-24.

OKE, T. R.; Towards a prescription for the greater use of climatic principles in settlement planning. **Energy and Buildings**. Netherlands. n° 7. 1984. pg. 1-10.

_____. Initial Guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites. **World Meteorological Organization Instruments and Observing Methods**. Report n°. 81. WMO/TD-n°. 1250. 2006. 51 p.

OKE, T. R.; WAYNE, R. R.; BAILEY, W. G.; **The surface climates of Canada** McGilligan Books. Collection: Canadian Association of Geographers Series in Canada, 1998. 369 p.

OLESON, K; Contrasts between urban and rural climate in CCSM4 CMIP5 climate change scenarios. **National Center for Atmospheric Research**. Boulder. Colorado. 2011. 64 p.

PINTO L. F. G.; CRESTANA, S.; Viabilidade do uso da adubação verde nos agroecossistemas da região de São Carlos, SP. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. vol. 22. n° 2 Ano 19. Minas Gerais. 1998. pg. 329-336.

REN, C.; NG, E.; KATZSCHNER, L.; Review of worldwide urban climatic map study and its application in planning. In: THE SEVENTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN CLIMATE. 29 Jun - 3 Jul, 2009. Yokohama. Japan. 2009. 4 p.

ROCHA, L. M. V.; SOUZA, L. C. L.; CASTILHO, F. J. V.; Ocupação do solo e ilha de calor noturna em avenidas marginais a um córrego urbano. *Ambiente Construído*, vol. 11, n° 3. 2011. pg. 161- 175.

ROCHA, L. M. V.; Influência térmica das configurações urbanas ao longo do eixo do córrego canela na cidade de São José do Rio Preto. Dissertação de Mestrado pelo Programa de Pós Graduação em Engenharia Urbana. Universidade Federal de São Carlos. UFSCAR. 2011. 121 p.

ROMERO, M. A. B.; Princípios Bioclimáticos Para o Desenho Urbano. 7. Ed. Studio Nobel. São Paulo. 2003. 244 p.

ROMERO, M. A. B.; Correlação entre o microclima urbano e a configuração do espaço residencial de Brasília. **Fórum Patrimônio: ambiente construído e patrimônio**, Belo Horizonte. vol. 4. nº 1. 2011. pg. 9-22. Disponível: http://www.forumpatrimonio.com.br/seer/index.php/forum_patrimonio/article/view/11/10. 01 em out. 2013.

ROWE, A.; STARR, Z.; RAJKUMAR R.; Using micro-climate sensing to enhance RF localization in assisted living environments. 2007. In: IEEEXPLORE DIGITAL LIBRARY, 2007. 8 p. Disponível: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=04414137>. Acesso em 06 dez. 2012.

SANTAMOURIS, M.; Energy and climate in the urban built environment. **Published by James & James (Science Publishers) Ltd**. London, UK. 2001. 401 p.

SÃO CARLOS (Município). Lei nº 13.691, de 25 de novembro de 2005. Institui o Plano Diretor do Município de São Carlos e dá outras providências. Seção 1. 25 de Novembro de 2005. 69 p. Disponível: http://www.saocarlos.sp.gov.br/images/stories/pdf/Lei_13691_05_Plano_Diretor.pdf Acesso em 24 out. 2012.

SILVA, C. F.; ROMERO, M. A. B.; Desempenho ambiental de vias públicas quanto ao conforto térmico urbano, estudo de caso: Teresina- Piauí- Brasil. In: PLURIS 2010. THE CHALLENGES OF PLANNING IN A WEB WIDE WORLD. 4º CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO PARA O PLANEJAMENTO URBANO, REGIONAL, INTEGRADO, SUSTENTÁVEL. 6-8 Out. 2010. 10 p.

SOARES, A. R.; SILVA F. S.; SANTOS, M. P.; CARVALHO, H. J. M.; SANTOS, M. A.; Calibração do software ENVI-met ao clima de João Pessoa - PB: aplicação ao Campus João Pessoa do IFPB. In: 7ª SEMANA DE CIÊNCIA E

TECNOLOGIA DO IFPB. Campus João Pessoa. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia. Paraíba, Campus João Pessoa. 2011. 8 p.

SOUZA, H. M.; Avaliação do desempenho térmico nos microclimas das praças: Piedade e Visconde de Cayrú, Salvador-BA. Salvador. 2010. 203 p.

SOUZA, L. C. L.; Influência da Geometria Urbana na Temperatura do Ar ao Nível do Pedestre. Tese de Doutorado pelo Programa de Pós Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental. Escola de Engenharia de São Carlos. USP. 1996. 200 p.

SOUZA, L. C. L.; POSTIGO, C. P.; NAKATA, C. M.; SORANO, E. C.; Ambiente térmico do pedestre. **Revista Minerva**. vol. 5. nº 2. 2008. pg. 121-127.

SOUZA, L. C. L.; OLIVEIRA, A. P.; Energy consumption as Function of Urban Variables. In: PLEA 2008, 25TH CONFERENCE ON PASSIVE AND LOW ENERGY ARCHITECTURE. Dublin. 22nd to 24th Oct. 2008.

SOUZA, L. C. L.; TENTE, C. M.; GIUNTA, M. B.; NAKATA, C. M.; Fator de visão do céu e intensidade de ilhas de calor na escala do pedestre. **Ambiente Construído** (Online). vol. 10. 2010. pg. 155-167.

TEZA, C. T. V.; BAPTISTA, G. M. M.; Identificação do fenômeno ilhas urbanas de calor por meio de dados ASTER on Demand 08 – Kinetic Temperature (III). In: METRÓPOLES BRASILEIRAS. **Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, INPE**. Goiânia. Brasil. 16-18 Abr. 2005. pg. 3911-3918.

THIELEN, J.; WOBROCK, W.; GADIAN, A.; MESTAYER, P. G.; CLEUTIN, J. D.; The possible influence of urban surfaces on rainfall development: a sensitivity study in 2D in the meso-g-scale. **Atmospheric Research**. Ed. 54, 2000. pg. 15–39.

UNGER, J.; PONGRÁCZ, R.; Urban climate research in Hungary .Urban Climate News. **Quarterly Newslerrer of the IAUC. International Association for Urban Climate**. ISSUE nº 28. Jun. 2008. 26 p. Disponível: www.urban-climate.org. Acesso em 09 dez 2012.

WILLIAMSON, T. J.; ERELL, E.; Thermal performance simulation and the urban microclimate: measurements and prediction. In: SEVENTH INTERNATIONAL IBPSA CONFERENCE RIO DE JANEIRO, Brasil. Building Simulation. Aug. 13-15. 2001. pg. 159-166.

YANNAS, S.; DYER, M.; CHUNG C.; PERRY.; Design programme guide 2011-12. **Master of Science Master of Architecture. MSc & MArch Sustainable Environmental**. 2011. 86 p.

7.1. DADOS INFOGRÁFICOS

[1] Prefeitura Municipal de São Carlos. Disponível:

<http://www.saocarlos.sp.gov.br/index.php/conheca-sao-carlos/115442-dados-da-cidade-geografico-e-demografico.html>. 12/12/2012 às 11:26.

[2] <http://www.saocarlos.sp.gov.br/index.php/conheca-sao-carlos/115442-dados-da-cidade-geografico-e-demografico.html>. Acesso: 19/04/2012 às 15:47.

[3] IBGE. Disponível:

http://www.censo2010.ibge.gov.br/primeiros_dados_divulgados/index.php.

Acesso 19/04/2012 às 16:52.

[4] Universidade Federal de São Carlos (UFSCar. Disponível:

<http://www2.ufscar.br/aufscar/auniversidade.php>. Acesso: Acesso: 22/09/2012 às 11:37.

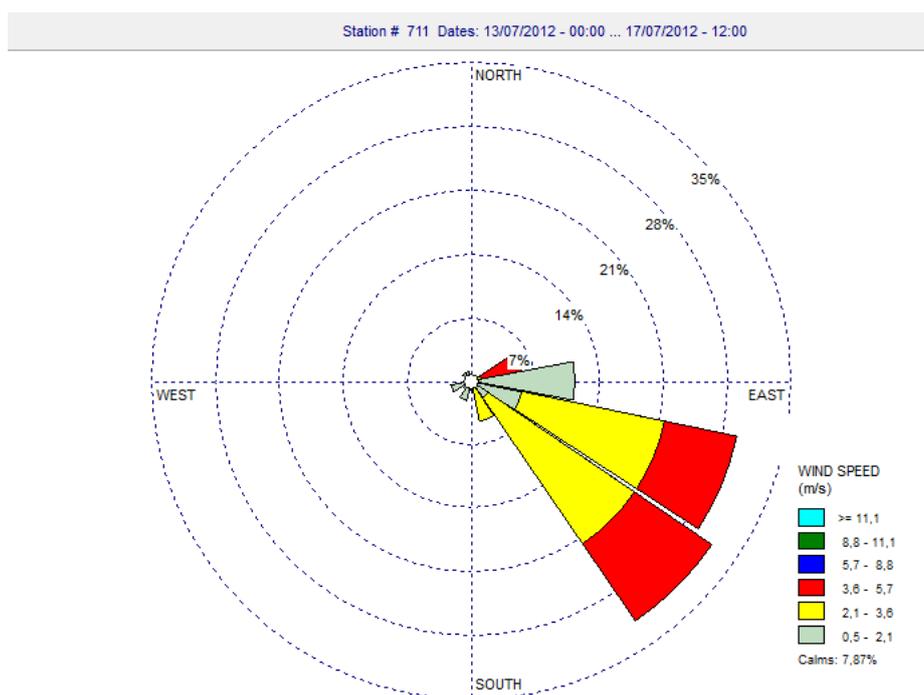
[5] Seade 2010. Disponível:

http://www.seade.gov.br/produtos/imp/index.php?page=consulta&action=ano_s_ave#0. Acesso 20/04/2010 às 15:12.

[6] Núcleo de Perícia e Sustentabilidade Ambiental. Disponível:
<http://www.dcam.ufscar.br/nupeasa>. Acesso 22/09/2012 às 12:08.

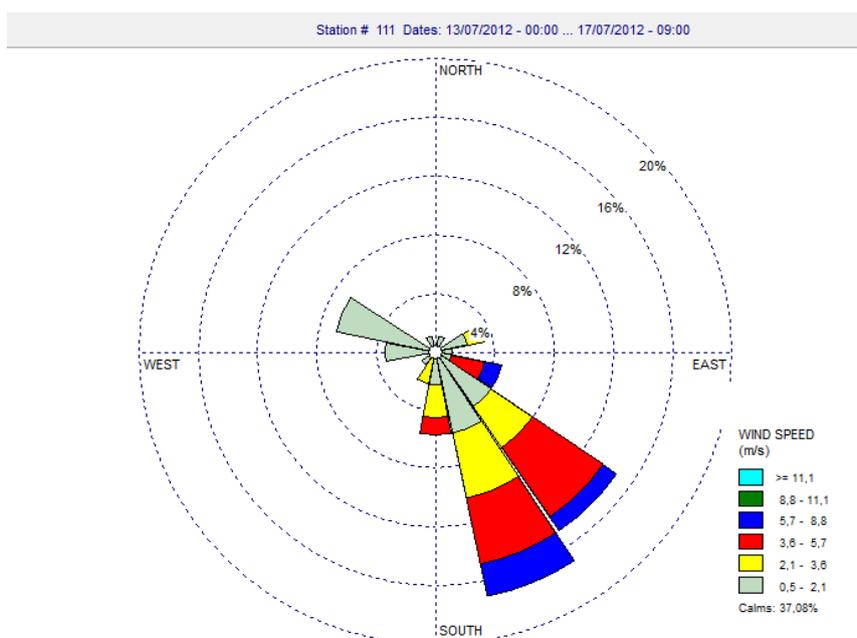
[7] Seade 2010. Disponível:
<http://www.seade.gov.br/produtos/chartserver/imp/fc/lva/489/557,555/1980,1991,1996,2000,2010/00/1/2/> Acessado 20/04/2010 às 15:43.

Figura A_p.1: Rosa dos ventos da estação do INMET.



Por sua vez, na estação T.E. (Figura A_p.2) no mesmo período, os ventos chegaram até 8,8 m/s, média de 1,51 m/s e com calmaria de 37,08% (33 horas de registro), com base em 89 horas analisadas e 98,88% de dados avaliados.

Figura A_p.2: Rosa dos ventos no ponto T.E..



Comparando-se as tendências do vento na área rural e urbana, observa-se que a estação T.E., apresentou direção de vento mais ao sul do que a estação do INMET, localizada em campo aberto.

Quanto aos dados de umidade relativa nas duas janelas de tempo, podem ser observados nos gráficos A_n.2 e A_n.3.

Gráfico A_n.2: Dados de umidade relativa média nas estações e pontos de observação na janela de tempo de 18 a 21 de julho.

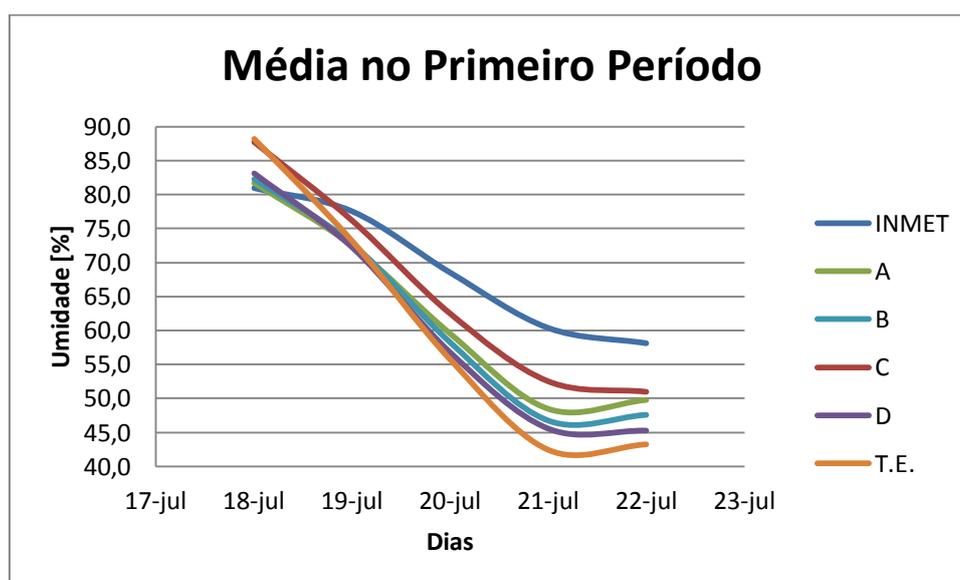
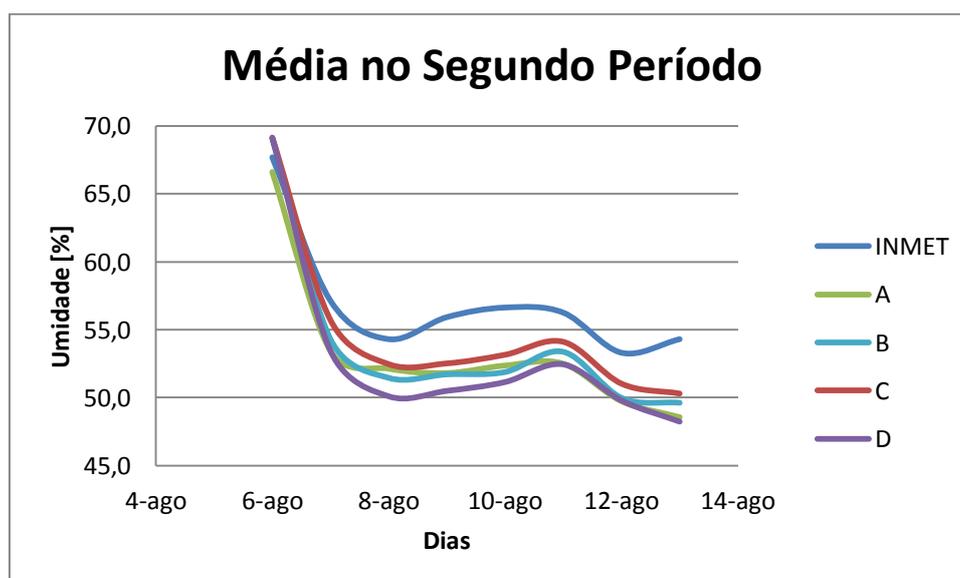


Gráfico A_n.3: Dados de umidade relativa média nas estações e pontos de observação na janela de tempo de 06 a 12 de agosto*.

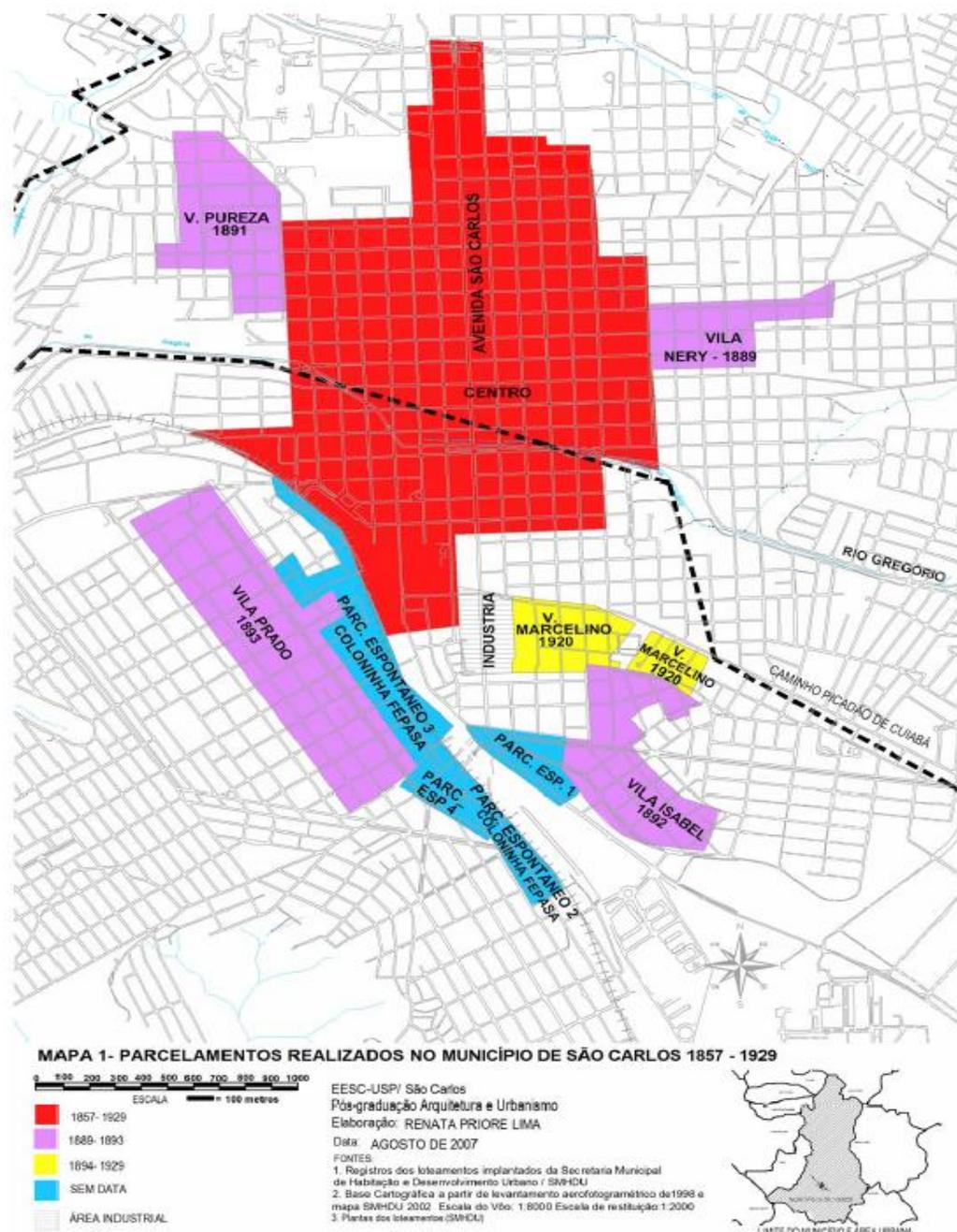


*Nesse período não foi computado os dados da estação T.E. por motivos de queda da estação

ANEXO A: MAPA DA ÁREA URBANIZADA DE SÃO CARLOS ATÉ 1929

O anexo A mostra, na figura A_n.1, a região central de São Carlos, a partir da qual foi selecionada a fração estudada e analisada neste trabalho.

Figura A_n.1: Parcelamento realizado em São Carlos e vizinhanças (1857-1929).



Fonte: Lima, R. P. (2007).

ANEXO B: IMAGENS DO SATÉLITE GOES EM JULHO/AGOSTO DE 2012

Mapas do satélite GOES para a escolha de dados nos períodos secos.

Figura B.1: Mapa da região Sudeste e vizinhança no dia 18/07/2012 às 15:00.



Figura B.2: mapa da região Sudeste e vizinhança no dia 06/08/2012 às 15:00.

