Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"

Potencial da arborização viária na redução do consumo de energia elétrica: definição de três áreas na cidade de São Paulo – SP, aplicação de questionários, levantamento de fatores ambientais e estimativa de Graus-Hora de calor

Giuliana Del Nero Velasco

Tese apresentada para obtenção do título de doutor em Agronomia. Área de concentração: Fitotecnia

Piracicaba
2007

Livros Grátis

http://www.livrosgratis.com.br

Milhares de livros grátis para download.

Aos meus pais, Marce e Irineu, por TUDO que representam na minha vida pessoal e acadêmica;

Às árvores urbanas, que sofrem em ambiente hostil para nos proporcionar melhor qualidade de vida;

DEDICO

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP

Velasco, Giuliana Del Nero
Potencial da arborização viária na redução do consumo de energia elétrica: definição de três áreas na cidade de São Paulo – SP, aplicação de questionários, levantamento de fatores ambientais e estimativa de Graus-Hora de calor / Giuliana Del Nero Velasco. - - Piracicaba, 2007.
123 p. : il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2007.
Bibliografia.

1. Arborização 2. Clima 3. Energia elétrica 4. Geoprocessamento 5. Via pública – São Paulo (SP) I. Título

CDD 715.2

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

AGRADECIMENTOS

"Em tudo o que usas tem mãos que não são as tuas, que trabalham para o teu conforto e a tua paz. Qual deve ser o nosso gesto diante disso? Não pode ser outro: Gratidão! Um agradecimento profundo pelo que recebes de tantas mãos...".

A Deus, por mais uma existência repleta de boas oportunidades;

À FAPESP (processo 04/01842-6) pelos recursos financeiros concedidos e pela confiança do assessor frente a tantas alterações no decorrer do percurso;

À Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", seus professores e funcionários, por tantos anos de acolhimento;

À minha orientadora Prof[a]. Dra. Ana Maria Liner Pereira Lima, por todo o aprendizado em tantos anos de convivência, pela confiança nas minhas decisões e por compartilhar todos os problemas e dificuldades que ocorreram durante o trajeto. Por todo o entusiasmo, pela ajuda na obtenção dos dados, pela orientação e pela amizade que com certeza não terminará com o fim dessa etapa;

Ao Prof. Dr. Demóstenes Ferreira da Silva Filho pela co-orientação, pela essencial ajuda na parte de geoprocessamento e tratamento das imagens, pelas horas na frente do meu *notebook* na tentativa de descobrir soluções para os muitos problemas, pelas discussões dos resultados, pela prontidão, pelas boas idéias, pelas risadas no laboratório e amizade estabelecida;

Ao Prof. Dr. Hilton Thadeu Zarate do Couto, pela essencial ajuda na definição da amostragem e nas análises estatísticas, pelo estímulo, confiança, prontidão, empenho e preciosa participação para que o trabalho pudesse chegar ao fim;

À Prof[a]. Dra. Lucila Chebel Labaki, pelas conversas esclarecedoras e por toda a ajuda na definição da metodologia de coleta de dados climáticos;

Ao Prof. Dr. Sérgio Oliveira Moraes, pela essencial ajuda na idealização dos "NIKOS" (estações móveis), pelas aulas invejáveis e por todos os conhecimentos transmitidos com tanta disposição, diversão e competência;

À Prof[a]. Dra. Magda Adelaide Lombardo, por ajudar na definição da metodologia e por todo o conhecimento transmitido nas reuniões, workshops e visitas à UNESP – Rio Claro. Aos seus orientados, pela troca de informações e laços estabelecidos;

Ao Prof. Dr. Maurício Roriz, pela dedicação, paciência, incansáveis explicações e por sua imprescindível contribuição na fase final do trabalho;

Ao Prof. Dr. Gerson Barreto Mourão, pelas conversas esclarecedoras sobre as regressões;

Aos integrantes da banca examinadora do exame de qualificação: Prof. Dr. Pedro Jacob Christoffoleti; Prof. Dr. Valdemar Antônio Demétrio e Prof. Dr. Sergius Galdolfi;

Ao Laboratório de Métodos Quantitativos do Departamento de Ciências Florestais da ESALQ - USP, pela permanência na fase de tratamento das imagens de satélite;

Ao Laboratório de Fisiologia Pós-colheita pelo empréstimo da câmara fria;

Ao Instituto Geológico, vinculado à Secretaria do Meio Ambiente do Governo do Estado de São Paulo, pelo fornecimento das imagens do Satélite Ikonos II e ao Prof. Dr. Ailton Luchiari (FFLCH/USP) por permitir tal aquisição;

Ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, (INPE) na pessoa de Priscila Pereira Coltri e ao Instituto de astronomia, geofísica e ciências atmosféricas da Universidade de São Paulo (IAG/USP), na pessoa de Sérgio Torre Salum, pelo fornecimento de dados meteorológicos;

Ao amigo Jefferson Lordello Polizel, pela amizade, paciência, convivência e ajuda diária. Pela dedicação ao meu trabalho, pelo acolhimento no laboratório e por todo o tempo que passei na sua sala aprendendo tudo o que hoje sei sobre geoprocessamento;

Ao Eduardo de Rezende Francisco, da AES Eletropaulo, pelos dados fornecidos, pelos e-mails tão cuidadosos e por toda a ajuda no entendimento dos dados de consumo de energia elétrica. Ao Fernando Celso Sedeh Padilha, da CPFL Geração de Energia S/A, por tê-lo indicado;

À Prof[a.] Dra. Lucia Mascaró por todos os e-mails trocados repletos de esclarecimentos;

À Valeria Frexêda, pela essencial ajuda na elaboração do questionário e ao Marcelo Filik pela ajuda em sua revisão;

À Divisão de Biblioteca e documentação, na pessoa de Eliana Maria Garcia pela revisão das normas;

À Carmen Pilotto pelo fornecimento dos folders da ESALQ enviados às residências;

Aos moradores das residências amostradas pelos questionários respondidos;

A todos os colaboradores das coletas de dados e aplicação dos questionários;

À amiga Luciana Luiz Casanova (Bizerra) pela essencial participação em toda a parte prática de coleta de dados, aplicação dos questionários e montagem das equipes;

À amiga Cristiane Guiselini (Ziggy), pela amizade, ajuda na elaboração e interpretação dos gráficos e por todas as conversas produtivas a longa distância;

À Luciane Aparecida Lopes Toledo, secretária do programa de pós-graduação, pela competência, prontidão e por tornar a minha permanência no prédio da PG mais alegre e agradável. À Maria Solizete Granziol Silva, pela agradável convivência e tantos cafezinhos;

Ao meu pai, Irineu, por toda ajuda na criação e elaboração dos “NIKOS”, pelas conversas esclarecedoras sobre metodologia científica, pelos ensinamentos e dedicação ao longo da minha vida pessoal e acadêmica e pelo exemplo de pesquisador que me enche de orgulho;

À minha mãe, Marce, por todo o estímulo, torcida e amor que me impulsionam, pela força a cada gesto de carinho e a cada telefonema, pelo exemplo de dedicação à família que um dia espero passar à diante.

Às minhas irmãs, Cristiane e Patrícia, por estarem sempre presentes dando verdadeiro sentido à vida, pelos ensinamentos de irmãs mais velhas, pela convivência repleta de aprendizado, pela indispensável revisão da tese, com tanto zelo e carinho. Aos seus respectivos maridos, Fernando e Guilherme pela agradável presença nos momentos de folga;

Às minhas queridas amigas piracicabanas, Tais Oetterer de Andrade e Helena Barone Freire, pela sincera amizade e sensação boa de saber que estamos sempre sintonizadas, independente da distância;

Ao grupo de pós-graduandos em paisagismo – Andrea, Hamilton, Luzia, Ronan e Silvana, pela convivência diária na salinha, pelas alegres viagens aos congressos, pela troca de informações, reuniões, risadas, massagens, alongamentos e pela união que gerou o nascimento da revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana;

A todos os pós-graduandos do programa de Fitotecnia pela agradável convivência;

À amiga Paula Salgado (Foker), pelo convívio diário e sugestões em todos os detalhes da elaboração do trabalho, por toda força e colaboração na fase final, pelos ouvidos que sempre estiveram disponíveis (e cheios de paciência...), pelos bons conselhos, pelo Evangelho no nosso Lar e pelos 10 anos de cumplicidade, amizade e companheirismo;

À amiga Priscila Coltri (Malhada) pela amizade, conversas, “artiguinhos”, troca de informações e essencial ajuda na obtenção de dados meteorológicos;

À amiga Mariana Andreucci (Relp) pela amizade que se consolidou no período e essencial ajuda na elaboração do abstract;

À amiga Mariana (Maracujá), pelas conversas diárias mesmo à distância, pela amizade, pelo colo e compreensão nas horas difíceis e pela companhia nos deliciosos momentos, tornando o período muito mais agradável;

As Ex e atuais moradoras da Rep. Reboq, pela amizade, convivência e momentos de alegria;

À Rep. Dojão (Foker, Relp, Malhada, Dilúvio, Porvinha e Maetê) pela amizade estabelecida e por me acolherem de braços abertos (e muitas risadas) no meu retorno à Piracicaba;

Aos meus cachorros, que enchem minha vida de alegria a cada encontro: Nega, Filé, Mel, Ted e em especial, aos meus queridos Mequetrefe e Sino (com muitas saudades...) por tantos anos de convivência, amor e lealdade.

MUITO OBRIGADA!

“Nem tudo o que escrevo resulta numa realização, resulta mais numa tentativa. O que também é um prazer. Pois nem tudo eu quero pegar. Às vezes, quero apenas tocar. Depois, o que toco às vezes floresce e os outros podem pegar com as duas mãos.”

Clarice Lispector

SUMÁRIO

RESUMO 12

ABSTRACT 13

LISTA DE FIGURAS 14

LISTA DE TABELAS 17

1 INTRODUÇÃO 20

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 23

2.1 Ambiente urbano e consumo de energia 23

2.2 A cidade de São Paulo: caracterização e unidades climáticas 27

2.3 Sensoriamento remoto e geoprocessamento 28

2.4 Imagens de alta resolução: satélite IKONOS II 29

2.5 Índice de vegetação 30

2.6 Classificação supervisionada 31

2.7 Influência da vegetação nos elementos climáticos 33

2.8 Consumo de energia elétrica e vegetação 36

3 MATERIAL E MÉTODOS 42

3.1 Localização geográfica e clima do município 42

3.2 Definição das áreas de estudo 42

3.2.1 Aplicação de índice de vegetação em imagens de alta resolução – IKONOS II . 43

3.2.2 Mapas do município de São Paulo e aferição a campo 43

3.2.3 Classificação Supervisionada 44

3.3 Coleta e análise de dados 45

3.3.1 Amostragem das residências 45

3.3.2 Coleta de dados climáticos 46

3.3.2.1 Aparelhos utilizados 46

3.3.2.2 Validação dos aparelhos 47

3.3.2.3 Procedimento de coleta 47

3.3.2.4 Estações meteorológicas móveis 49

3.3.3 Classificação das espécies encontradas 50

3.3.4 Aplicação dos questionários 51

3.3.5 Média de exemplares por residência 53

3.3.6 Dados de consumo de energia elétrica 53

3.4 Estimativa de Graus-Hora de calor 53

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO 55

4.1 Definição das áreas de estudo 55

4.1.1 Aplicação de índice de vegetação em imagens de alta resolução - IKONOS II . 55

4.1.2 Mapas do Município de São Paulo e aferição a campo 60

4.1.3 Classificação Supervisionada 64

4.2 Coleta e análise de dados 73

4.2.1 Amostragem das residências 73

4.2.2 Validação dos aparelhos 75

4.2.3 Temperatura do ar (T_{ar}) e umidade relativa (UR) 76

4.2.3.1 Setembro/2006 76

4.2.3.1.1 Rua e calçada 76

4.2.3.1.2 Calçada 78

4.2.3.1.3 Rua 79

4.2.3.2 Março 81

4.2.3.2.1 Rua e calçada 81

4.2.3.2.2 Calçada 83

4.2.3.2.3 Rua 84

4.2.3.3 Março e Setembro 86

4.2.3.3.1 Rua e calçada 86

4.2.3.3.2 Calçada 88

4.2.3.3.3 Rua 89

4.2.4 Classificação das espécies 91

4.2.5 Média de exemplares por residência 92

4.2.6 Avaliação dos questionários 93

4.3 Necessidade de refrigeração: Cálculo de Graus-Hora de calor 98

4.4 Relação entre Graus-Hora de calor e a classificação supervisionada 105

5 CONCLUSÕES 110

6 DISCUSSÕES RELEVANTES 112

REFERÊNCIAS 114

RESUMO

Potencial da arborização viária na redução do consumo de energia elétrica: definição de três áreas na cidade de São Paulo – SP, aplicação de questionários, levantamento de fatores ambientais e estimativa de Graus-Hora de calor

A problemática na obtenção e no uso consciente de energia nas cidades é assunto polêmico e extremamente atual. As áreas urbanas têm, freqüentemente, superfícies mais escuras e menos vegetação quando comparadas a áreas circunvizinhas. Essas diferenças afetam o clima, o uso de energia e a qualidade de vida. Uma das linhas de ação para promover o uso eficiente de energia elétrica nas cidades através da redução da necessidade de consumo é o uso de vegetação. O objetivo do presente trabalho foi o de investigar - em três áreas da cidade de São Paulo-SP - o potencial da arborização viária na redução do consumo de energia elétrica. Inicialmente, considerando todo o município de São Paulo, foi feita a definição das áreas a serem estudadas, com uso de ferramentas de geoprocessamento, uso de mapas já existentes do município e diversas visitas aos locais. A segunda parte consistiu na análise, em menor escala, de fatores relacionados às residências pertencentes às áreas definidas anteriormente, com medições de variáveis climáticas (temperatura do ar e umidade relativa) nos meses de setembro de 2006 e março de 2007, questionários, classificação da vegetação existente nas calçadas das residências e valores de consumo de energia elétrica. Finalmente, foi elaborada uma estimativa de Graus-Hora de calor relacionando-os com os dados coletados. O índice de vegetação associado à classificação supervisionada e às visitas ao local permitiu a definição das três áreas de estudo. A área 1 continha 3,72% de vegetação e uma média de 1,18 plantas/residência amostrada. Já a área 2, intermediária em termos de densidade de vegetação, continha 11,71% de vegetação e média de 3,17 plantas/residência. Por fim, a área 3, caracterizada como a de maior densidade de vegetação contava com 22,92% e 5,32 plantas/residência. Em setembro de 2006, a média de temperatura do ar, nos quatro dias, nos quatro horários (7:00h, 9:00h, 14:00 e 21:00h) e nos dois locais (calçada e rua) foi de 21,61^{o}C, 21,46^{o}C e 21,25^{o}C para as áreas 1, 2 e 3, respectivamente. Já para março de 2007 tais valores foram de 26,69^{o}C, 25,79^{o}C e 25,46^{o}C. A maior diferença encontrada de temperatura entre as áreas 1 e 3 foi de 2,14^{o}C. A quantidade e uso de aparelhos de ar condicionado não diferiu entre áreas, ao contrário do consumo de energia elétrica, fato este que impossibilitou a análise e definição da influência de tais aparelhos no valor final de consumo por residência. A quantidade de aparelhos de ar condicionado foi positivamente relacionada com o consumo. A estimativa de Graus-Hora de calor foi possível a partir da estação de referência, resultando, para o mês de março, valores de 10, 6,67, 3,91 e 7,2 para as áreas 1, 2, 3 e referência, respectivamente. Para o mês de setembro, estes valores foram de 2,21, 0,76, 0 e 0, para as mesmas áreas.

Palavras-chave: Arborização viária; energia elétrica; geoprocessamento; Graus-Hora de calor

ABSTRACT

Street forestry potential on the reduction of electric energy consumption: definition of tree areas in the city of SP, interviews, evaluation of environmental factors and heat degree hour estimation

The problematic to obtain and use energy in a conscious way in cities is a polemic issue nowadays. Frequently, urban areas have darker surfaces areas with less vegetation than neighbor areas. These differences affect the climate, the energy use and the quality of life. One of the action lines to promote an efficient use of electric energy in cities, through the reduction of the necessity of consumption, is the use of vegetation. The objective of this research is to investigate – in three areas of the city of Sao Paulo – SP – the potential of street forestry in reducing the consumption of electric energy. Initially, considering the whole city of Sao Paulo, the definition of the areas to be studied was made through the use of geoprocessing, city maps that already existed and through several visits done to the chosen places. The second part consisted in the analyse, in a smaller scale, of the characteristics of the residences that belonged to the previous established areas with the evaluation of climatic variables (air temperature and relative humidity) during the months of September of 2006 and March of 2007, through questionnaires, classification of the vegetation present in the sidewalks of those residences and electric energy consumption values. Finally the estimation of heat Degree – Hours was made and related to the data collected. The association of the vegetation index to the supervised classification and to the visits done to those locals permitted the definition of three areas of study. Area 1 had 3,72% of the vegetation and an average of 1,18 plants/residence sampled. Area 2, intermediate when it comes to vegetation density, had 11,71% of vegetation and average of 3,17 plants/residence. At least, area 3 characterized as the one with higher vegetation density had 22,92% of vegetation and 5,32 plants/residence. In September of 2006 the average air temperature, in four days and four day times (7:00h, 9:00h, 14:00 e 21:00h) and in both places (sidewalk and street) was 21,61°C, 21,46°C and 21,25°C for areas 1, 2 and 3, respectively. In March of 2007 those values were 26,69°C, 25,79°C and 25,46°C. The biggest temperature difference found was between areas 1 and 3 and it was 2,14°C. The quantity and use of air conditioning systems did not differ between areas, occurring the opposite with the electric energy consumption. Because of that, the analyse and the definition of the influence of the air conditioning system in the final value of energy consumption per residence. Quantities of air conditioning systems were significant and positively correlated to the energy consumption. The estimation of heat Degree-Hours was possible due to the standard station resulting, for March 2007, in values as 10, 6,67, 3,91, e 7,2 for areas 1, 2 , 3 and standard, respectively. For September 2006 these values were 2,21, 0,76, 0 e 0, for the same areas.

Keywords: Street forestry; Electric energy; geoprocessing; Heat Degree-Hours

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação esquemática do mapa do Brasil (A) com destaque para o Estado (B) e a cidade de São Paulo (C) 42

Figura 2 – Aparelho HOBO H08-004-02 46

Figura 3 – Representação esquemática da localização dos aparelhos para coleta de dados 47

Figura 4 – Multi-Plate Radiation Shield ……. 49

Figura 5 – Estação móvel (A) e seu detalhe (B) 50

Figura 6 – Aparelho HOBO pendurado na estação móvel 50

Figura 7 – Questionário aplicado às residências 52

Figura 8 – Mosaico das sessenta e sete cenas do satélite Ikonos II, da banda NIR, abrangendo o Município de São Paulo, na tela do programa TNT Mips 6.8 55

Figura 9 – Mosaico das sessenta e sete cenas do satélite Ikonos II, da banda Red, abrangendo o Município de São Paulo, na tela do programa TNT Mips 6.8 56

Figura 10 – Índice de vegetação (NDVI) em área abrangendo o Município de SP, na tela do programa TNT Mips 6.8 56

Figura 11 – Índice de vegetação NDVI no limite do Município de SP, na tela do programa TNT Mips 6.8 57

Figura 12 – Cena NIR mostrando (a) diferença de tonalidade, (b) divisão em dois pedaços e (c) união com a aplicação do filtro de equalização .. 58

Figura 13 – Índice NDVI equalizado, na tela do programa TNT Mips 6.8 59

Figura 14 – Índice de vegetação (NDVI) com faixa homogênea em destaque, na tela do programa TNT Mips 6.8 60

Figura 15 – Unidades Climáticas Urbanas com as três áreas de estudo localizadas 61

Figura 16 – Unidades climáticas “naturais” com as três áreas de estudo localizadas 62

Figura 17 – Unidades climáticas “naturais” com destaque para a localização das áreas 63
Figura 18 – Classes de consumo de energia elétrica (kWh médio) no município de São Paulo e a localização das áreas 1, 2 e 3 64
Figura 19 – Recorte da área 1 em RGB (A) e NIR (B) 65
Figura 20 – Recorte da área 2 em RGB (A) e NIR (B) 66
Figura 21 – Recorte da área 3 em RGB (A) e NIR (B) 67
Figura 22 – Classificação supervisionada na área 1 com legenda das oito classes utilizadas 68
Figura 23 – Matriz de erro da classificação supervisionada da área 1, na tela do programa TNT Mips 6.8 69
Figura 24 – Dendrograma da área 1, na tela do programa TNT Mips 6.8 69
Figura 25 – Classificação supervisionada na área 2 com legenda das oito classes utilizadas 70
Figura 26 – Matriz de erro da classificação supervisionada da área 2, na tela do programa TNT Mips 6.8 70
Figura 27 – Dendrograma da área 2 na tela do programa TNT Mips 6.8 71
Figura 28 – Classificação supervisionada na área 3 com legenda das oito classes utilizadas 71
Figura 29 – Matriz de erro da classificação supervisionada da área 3, na tela do programa TNT Mips 6.8 72
Figura 30 – Dendrograma da área 3 na tela do programa TNT Mips 6.8 72
Figura 31 – Esquema ilustrativo que exemplifica as áreas 1, 2 e 3 75
Figura 32 – Médias de T_{ar} (^{o}C) e UR (%), da rua e calçada, nos horários (7:00h, 9:00h, 14:00h e 21:00h), nas três áreas, São Paulo, 2006 .. 77
Figura 33 – Médias de T_{ar} (^{o}C) e UR (%), na calçada, nos horários (7:00h, 9:00h, 14:00h e 21:00h), nas três áreas, São Paulo, 2006 79
Figura 34 – Médias de T_{ar} (^{o}C) e UR (%), na rua, nos horários (7:00h, 9:00h, 14:00h e 21:00h), nas três áreas, São Paulo, 2006 80
Figura 35 – Médias de T_{ar} (^{o}C) e UR (%), da rua e calçada, nos horários (7:00h, 9:00h, 14:00h e 21:00h), nas três áreas, São Paulo, 2007 .. 82

Figura 36 – Médias de T_{ar} (^oC) e UR (%), na calçada, nos horários (7:00h, 9:00h, 14:00h e 21:00h), nas três áreas, São Paulo, 2007 84
Figura 37 – Médias de T_{ar} (^oC) e UR (%), na rua, nos horários (7:00h, 9:00h, 14:00h e 21:00h), nas três áreas, São Paulo, 2007 85
Figura 38 – Médias de T_{ar} (^oC) e UR (%), da rua e calçada, nos horários (7:00h, 9:00h, 14:00h e 21:00h), nas três áreas, São Paulo, 2006/2007 87
Figura 39 – Médias de T_{ar} (^oC) e UR (%), na calçada, nos horários (7:00h, 9:00h, 14:00h e 21:00h), nas três áreas, São Paulo, 2006/2007 89
Figura 40 – Médias de T_{ar} (^oC) e UR (%), na rua, nos horários (7:00h, 9:00h, 14:00h e 21:00h), nas três áreas, São Paulo, 2006/2007 90
Figura 41 – Regressão exponencial entre consumo (kWh) e área construída (m^2): área 1 em setembro (A) e março (B); área 2 em setembro (C) e março (D); área 3 em setembro (E) e março (F) 97
Figura 42 – Média dos dias 07, 08, 09 e 10 de setembro de 2006 (A) e 04, 10, 11 e 25 de março de 2007 (B) de T_{ar} horárias (^oC), da estação de referência e T_{ar} (^oC) em quatro horários (7:00h, 9:00h, 14:00h e 21:00h) nas áreas 1, 2 e 3 101
Figura 43 – Classificação supervisionada na área referência com legenda das oito classes utilizadas 106
Figura 44 – Matriz de erro da classificação supervisionada da área referência, na tela do programa TNT Mips 6.8 106
Figura 45 – Dendrograma da área referência, na tela do programa TNT Mips 6.8 107
Figura 46 – Relação entre porcentagem (%) de vegetação (V) e Graus-Hora de calor (GHC), nos meses de setembro de 2006 (A) e março de 2007 (B)..... 108
Figura 47 – Relação entre porcentagem (%) de [construção (C) + asfalto (A)] – vegetação (V) e Graus-Hora de calor (GHC), nos meses de setembro de 2006 (A) e março de 2007 (B) 109

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resumo das especificações do satélite IKONOS II 30

Tabela 2 – Qualidade da classificação associada aos valores da estatística Kappa 45

Tabela 3 – Médias de T_{ar} (^oC) e UR (%), em três diferentes temperaturas (0^oC, 25^oC e 45^oC) nos seis aparelhos HOBO, São Paulo, 2007 75

Tabela 4 – Caracterização das áreas e aparelhos 76

Tabela 5 – Médias de T_{ar} (^oC) e UR (%) dos horários (7:00h, 9:00h, 14:00h e 21:00h), da rua e calçada, nas três áreas, São Paulo, 2006 76

Tabela 6 – Médias de T_{ar} (^oC) e UR (%), da rua e calçada, nos horários (7:00h, 9:00h, 14:00h e 21:00h), nas três áreas, São Paulo, 2006 .. 77

Tabela 7 – Médias de T_{ar} (^oC) e UR (%), na calçada, nos horários (7:00h, 9:00h, 14:00h e 21:00h), nas três áreas, São Paulo, 2006 78

Tabela 8 – Médias de T_{ar} (^oC) e UR (%), na rua, nos horários (7:00h, 9:00h, 14:00h e 21:00h), nas três áreas, São Paulo, 2006 80

Tabela 9 – Médias de T_{ar} (^oC) e UR (%), dos horários (7:00h, 9:00h, 14:00h e 21:00h), da rua e calçada, nas três áreas, São Paulo, 2007 81

Tabela 10 – Médias de T_{ar} (^oC) e UR (%), da rua e calçada, nos horários (7:00h, 9:00h, 14:00h e 21:00h), nas três áreas, São Paulo, 2007 .. 82

Tabela 11 – Médias de T_{ar} (^oC) e UR (%), na calçada, nos horários (7:00h, 9:00h, 14:00h e 21:00h), nas três áreas, São Paulo, 2007 83

Tabela 12 – Médias de T_{ar} (^oC) e UR (%), na rua, nos horários (7:00h, 9:00h, 14:00h e 21:00h), nas três áreas, São Paulo, 2007 85

Tabela 13 – Médias de T_{ar} (^oC) e UR (%), dos horários (7:00h, 9:00h, 14:00h e 21:00h), da rua e calçada, nas três áreas, São Paulo, 2006/2007 ... 86

Tabela 14 – Médias de T_{ar} (^oC) e UR (%), da rua e calçada, nos horários (7:00h, 9:00h, 14:00h e 21:00h), nas três áreas, São Paulo, 2006/2007 87

Tabela 15 – Médias de T_{ar} (^oC) e UR (%), na calçada, nos horários (7:00h, 9:00h, 14:00h e 21:00h), nas três áreas, São Paulo, 2006/2007 88

Tabela 16 – Médias de T_{ar} (^oC) e UR (%), na rua, nos horários (7:00h, 9:00h, 14:00h e 21:00h), nas três áreas, São Paulo, 2006/2007 90
Tabela 17 – Quantidade de exemplares que desempenham e não desempenham função de sombra e o total de exemplares, nas três áreas (A1, A2 e A3) 91
Tabela 18 – Médias por residência dos dados obtidos na aplicação dos questionários, nas três áreas 94
Tabela 19 – Consumo médio por residência, nos meses de setembro de 2006 e março de 2007, nas três áreas 94
Tabela 20 – Consumo médio (kWh) das residências com 0, 1, 2 e 3 aparelhos de ar condicionado, para os meses de março de 2007 e setembro de 2006 95
Tabela 21 – Consumo médio (kWh) por área das residências com 0, 1, 2 e 3 aparelhos de ar condicionado, para os meses de março de 2007 e setembro de 2006 96
Tabela 22 – Freqüência das residências que ligam ar condicionado apenas quando está muito calor (A), deixam sempre ligados (B) e ligam apenas durante a noite, nos dias quentes (C), nas áreas 1, 2 e 3 ... 96
Tabela 23 – Médias de T_{ar} (^oC) dos dias 07, 08, 09 e 10 de setembro de 2006 da estação meteorológica do Aeroporto de Congonhas, SP e das três áreas (A1, A2, A3) 99
Tabela 24 – Médias de T_{ar} (^oC) dos dias 04. 10, 11 e 25 de março de 2007 da estação meteorológica do Aeroporto de Congonhas, SP e das três áreas (A1, A2, A3) 100
Tabela 25 – T_{ar} (^oC) estimada nas três áreas (1, 2 e 3) nos períodos de setembro e março 103
Tabela 26 – Graus-Hora de calor nas áreas 1 (GH1), 2 (GH2), 3 (GH3) e referência (GHR), para os meses de setembro de 2006 e março de 2007 104

Tabela 27 – Graus-Hora de calor por dia (GHC/dia) e por mês (GHC/mês) nas áreas 1 (A1), 2 (A2), 3 (A3) e referência (Ref) nos meses de setembro de 2006 e março de 2007 105

Tabela 28 – Graus-Hora de calor, em setembro de 2006 e março de 2007 e porcentagem (%) de vegetação (V), asfalto (A), construção (C) e [(asfalto + construção) – vegetação], nas áreas 1, 2, 3 e referência (Ref) 108

1 INTRODUÇÃO

A problemática na obtenção e no uso consciente de energia nas cidades é assunto polêmico e extremamente atual. Discute-se o problema em questão primordialmente com o objetivo de aumentar a eficiência energética e o uso racional dos recursos naturais, atentando para impactos cada vez menores ao ambiente.

Desde a crise energética do petróleo na década de 70 (com conseqüente aumento dos preços da energia), a preocupação com a economia de energia em diversos paises aumentou. No Brasil, a partir da década de 80, órgãos públicos e pesquisadores da área vêm tomando consciência quanto à questão ambiental e à atenção com a economia de energia. O problema tornou-se ainda mais evidente na transição do ano de 2000 para 2001, quando em uma situação de escassez de chuva, os reservatórios, principalmente da Região Sudeste, tiveram suas reservas reduzidas a quantidades preocupantes, sendo instituída uma política de racionamento de energia. A chamada “crise do apagão” gerou polêmica em relação à geração e ao consumo de energia elétrica no país. De acordo com Loureiro (2003), para a resolução destes problemas foram desenvolvidas medidas para o uso racional de energia que introduziam novos incentivos e reformas no setor elétrico de maneira a apoiar política e financeiramente a pesquisa, o desenvolvimento e as ações de eficiência energética.

A energia elétrica ocupa lugar de destaque na matriz energética brasileira, sendo a modalidade energética mais consumida no país. O consumo crescente desse tipo de energia aliado à falta de investimento no setor de geração vem tornando seu fornecimento cada vez mais crítico. Ressalta-se a necessidade de alternativas para solucionar tal problema, tais como construção de novas usinas, implementação de campanhas de combate ao desperdício de energia e investimentos em ações que promovam o aumento da eficiência no uso de energia elétrica - alternativa essa que promove uma rápida redução no consumo com custo e tempo de retorno de investimento pequenos quando comparado às outras alternativas (ALVAREZ, 1998).

O ambiente urbano é o local de maior concentração de energia, consumida ou desperdiçada. Muitas vezes, o desconforto gerado por uma organização espacial urbana e arquitetônica não compatível com o meio (extrema verticalização, ausência de

árvores, entre outros) leva a uma maior necessidade de consumo de energia para se atingir um conforto ambiental apropriado (MASCARÓ, 2004).

Outro fator para a maior concentração de energia no ambiente urbano relaciona-se a própria divisão das cidades em áreas (comerciais, industriais e residenciais, entre outras), a qual provoca a necessidade de deslocamentos de seus habitantes, seja para o trabalho, residência ou áreas de lazer, aumentando o consumo de energia através da queima de combustíveis, liberando calor e poluentes para a atmosfera. (CASTRO, 2000).

Parte-se do princípio aceito de que há uma correlação entre microclimas urbanos e algumas variáveis relacionadas ao uso e ocupação do solo. Já se pode afirmar que o espaço construído é um dos fatores que contribui para a criação de microclimas diferenciados em relação ao clima regional; em alguns casos, inconvenientes ou desconfortáveis para o ser humano (DUARTE 2000). As áreas urbanas têm, freqüentemente, superfícies mais escuras e menos vegetação quando comparadas a áreas circunvizinhas. Essas diferenças afetam o clima, o uso de energia e a qualidade de vida nas cidades, levando à criação das chamadas ilhas de calor urbanas (ROSENFELD et al., 1995). Em regiões de climas quentes as ilhas de calor contribuem significativamente para o aumento das contas de energia elétrica devido à maior necessidade de resfriamento do ambiente (TAHA et al., 1988).

Ao longo da história, as cidades foram se expandindo e seus moradores foram se afastando cada vez mais da natureza. Principalmente a partir da formação de grandes metrópoles, os habitantes desses centros passaram a ter um convívio intenso e, em alguns casos, quase que exclusivo, com o ambiente artificial (MAGALHÃES; CRISPIM, 2003).

Assim, torna-se necessário o desenvolvimento de novas estratégias de planejamento que permitam a continuidade do crescimento das áreas urbanas de forma que a população possa viver num ambiente mais equilibrado (DUARTE, 2000).

Uma das linhas de ação para promover o uso eficiente de energia elétrica nas cidades, através da redução na necessidade de consumo, é o uso de vegetação. De acordo com Heisler (1986), quando grandes árvores são bem distribuídas ao longo de um bairro, todas elas, em conjunto, podem ter um impacto significante na temperatura e

no uso de energia em todas as construções pertencentes àquele local, principalmente no verão. O plantio de árvores nas cidades é visto por diversos autores como uma alternativa de baixo custo para reduzir os efeitos das ilhas de calor urbanas (BRETZ; AKBARI; ROSENFELD, 1998), devendo também ser associado como alternativa de eficiência energética.

A cidade de São Paulo foi escolhida para ser objeto de estudo principalmente pela sua condição - segundo a Prefeitura da Cidade de São Paulo (2007) - de maior cidade do Brasil, com uma população que ultrapassou em 2006 os onze milhões de habitantes e, por conseguinte, área de elevado consumo energético. Foi escolhido o setor residencial devido à sua contribuição no consumo total de energia elétrica de 22,2% (perdendo apenas para o setor industrial), segundo Brasil (2007). Estudos visando redução no consumo de energia no setor industrial tornam-se de difícil aplicação, já que a maior parte dessa energia elétrica consumida provém das máquinas (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 1997): com isso, na maioria das vezes, ações de melhoria ambiental ou mesmo arquitetônicas para atingir uma melhor eficiência energética, tornam-se secundárias.

O objetivo do presente trabalho foi o de investigar - em três áreas da cidade de São Paulo-SP - o potencial da arborização viária na redução do consumo de energia elétrica.

Os objetivos específicos foram: (i) definir - por meio de ferramentas de geoprocessamento, mapas climáticos e aferição a campo - três áreas na cidade de São Paulo-SP que diferissem quanto à de presença de vegetação; (ii) coletar e analisar dados relativos à temperatura, umidade, consumo de energia elétrica, questionários, vegetação viária, referentes às três áreas supracitadas, buscando estabelecer relações entre consumo de energia, presença de aparelhos de refrigeração e vegetação viária; (iii) elaborar uma estimativa de Graus-Hora de calor (necessidade de refrigeração) e relacioná-la com os dados coletados.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Ambiente urbano e consumo de energia

Um ambiente urbano é caracterizado pela interação de elementos naturais e construídos, bem como por uma dinâmica de ocupação do solo por construções, veículos, pedestres, entre outros, os quais resultam em uma alteração no clima urbano. Segundo Keeble, Collins e Ryser (1990/91), o aumento de áreas construídas leva a uma degradação ambiental, seja através da poluição gerada, seja pelo aumento do estresse causado pelo aquecimento, principalmente em cidades quentes. Duarte e Serra (2003) afirmam que muitas cidades são vistas como símbolo de crise ambiental e listam diversos problemas relacionados ao meio ambiente urbano, dentre eles: excesso de ruído; emissão de poluentes no ar e na água; escassez de recursos energéticos e de água; falta de tratamento adequado de resíduos; alteração no regime de chuvas e de ventos; formação de ilhas de calor, ilhas secas, ilhas de frio; inversão térmica gerando problemas de saúde na população; aumento do consumo de energia para condicionamento artificial e transporte, entre outros.

Em um ambiente urbano, o concreto, pedra, tijolo e asfalto substituem a cobertura vegetal, resultando em conseqüências como: intensificação dos piores aspectos do clima urbano; demanda crescente de energia; redução da absorção dos poluentes atmosféricos; enchentes cada vez maiores; degradação da qualidade das águas e, em áreas residenciais, depreciação das propriedades (SPIRN, 1995).

Elementos climáticos tais como radiação solar, temperatura do ar e de superfície, umidade relativa do ar, precipitação e circulação de ar são afetados pelas condições de artificialidade (características de sua superfície, materiais e edificações e ausência de vegetação) do meio urbano (BERNATZY, 1980 apud MILANO; DALCIN, 2000).

A distribuição da temperatura em um ambiente urbano é altamente afetada pelo balanço de radiação. A radiação solar incidente em superfícies urbanas é absorvida e transformada em calor sensível. Grande parte dessa radiação atinge os telhados e paredes dos prédios e apenas uma pequena parte atinge o solo. Todas essas superfícies emitem radiação de onda longa. Devido principalmente ao excesso de verticalização, essa radiação é bloqueada nas camadas mais baixas da cidade - não

havendo grande perda das radiações de ondas longas. Com esse balanço positivo de radiação têm-se, nas cidades, temperaturas mais altas quando comparado às áreas rurais (SANTAMOURIS, et al., 2001). Essa anomalia térmica é denominada ilha de calor (LOMBARDO, 1985; PAULA, 2004) e pode ser explicada pelo fato dos materiais empregados na construção civil armazenarem calor e das áreas mais adensadas e menos arborizadas tenderem a apresentar temperaturas mais elevadas, mesmo durante a noite (BIAS; BAPTISTA; LOMBARDO, 2003). Essas elevadas temperaturas aumentam os níveis de poluição e a necessidade de uso de aparelhos de refrigeração (SCHILLER; EVANS, 1996), bem como podem modificar o regime de chuvas da região (YUAN; BAUER, 2007). Para Wilmers (1988) os dois principais aspectos negativos do clima urbano são as ilhas de calor e a poluição do ar, os quais podem ser amenizados com a presença de vegetação. A sombra de árvores e as superfícies com alto albedo devem ser usadas como estratégias de baixo custo na redução das ilhas de calor urbanas (BRETZ; AKBARI; ROSENFELD, 1998; ROSENFELD, et al., 1998).

Um estudo feito por Taha (1997) analisou diversos parâmetros com potenciais para interferirem no fenômeno de ilhas de calor, dentre eles o albedo das superfícies, a evapotranspiração (através da vegetação) e o calor antropogênico. O autor concluiu que os três parâmetros analisados têm influência na mudança do clima próximo à superfície. A aplicação de simulações meteorológicas indicou que as cidades podem reverter com facilidade as ilhas de calor e minimizar seus impactos no uso de energia simplesmente com o aumento do albedo dos materiais das coberturas e pavimentos, bem como com o acréscimo de cobertura vegetal. A simulação sugere que aumentos razoáveis no albedo nas áreas urbanas podem gerar uma redução de até 2 graus Celsius (^{o}C) na temperatura do ar. O aumento de vegetação nas áreas urbanas também resulta em uma diminuição de 2°C, podendo reduzir até 4°C em situações específicas, tais como favoráveis condições meteorológicas. Em termos de albedo de materiais, Akbari et al. (1997a) estudaram a eficiência de telhados com altos albedos na economia de energia elétrica em uma residência na cidade de Sacramento, Califórnia. Chegaram a valores aproximados de economia de energia de 2,2kWh por dia mudando o albedo de 0,18 para 0,73. Estendendo o valor para todo o período de verão, estimou-se uma

economia de 80% no total consumido apenas com a mudança do telhado de baixo para alto albedo.

A demanda energética está intimamente ligada ao aumento populacional nas áreas urbanas, as quais, quando em situações de estresse térmico, usam muito mais energia para condicionamento artificial no verão. Santamouris (2001b) afirma que o aumento da população urbana em 1% remete a um aumento no consumo de energia de 2,25%, mostrando claramente o impacto do aumento populacional no uso de energia.

Ainda em termos de estresse térmico, Santamouris (2001a) afirma que o aumento de temperatura em áreas urbanas eleva a demanda pelo resfriamento do ar, afetando dramaticamente os custos de energia elétrica, como visto em pesquisa realizada por Estados Unidos (2007). O resultado de tal pesquisa apontou um aumento de 1,5-2,0% na demanda de resfriamento a cada 0,6^{o}C de aumento de temperatura.

Para Hough, 1998 apud Duarte (2000), o condicionamento artificial das construções permitiu o desenvolvimento de estruturas cujo aquecimento, refrigeração, umidade e iluminação dependessem totalmente de sistemas mecânicos, os quais são usados indiscriminadamente, ignorando as condições naturais do meio. Usa-se ar condicionado em dias frios, mantêm-se acessas as luzes de vários cômodos ao mesmo tempo (ainda que usemos um ambiente por vez), entre outros hábitos que contribuem para um gasto energético exacerbado.

A energia, nas suas mais diversas formas, é indispensável à sobrevivência da espécie humana. E mais do que sobreviver, o homem procurou sempre evoluir, descobrindo fontes e formas alternativas de adaptação ao ambiente e de atendimento às suas necessidades. Dessa forma, a exaustão, escassez ou inconveniência de um dado recurso tende a ser compensada pelo surgimento de outro. Em termos de suprimento energético, a eletricidade se tornou uma das formas mais versáteis e convenientes de energia, passando a ser recurso indispensável e estratégico para o desenvolvimento socioeconômico (FRANCISCO, 2006).

A obtenção de energia pode ser vista, atualmente, como uma fonte de problemas ambientais, seja para produção de eletricidade, setor de transportes ou indústrias. Em termos de energia elétrica, pode-se dizer que este setor é responsável por aproximadamente um terço do consumo de energia primária mundial e as tendências

indicam que essa contribuição vai aumentar nas próximas décadas, já que ainda tem-se uma realidade de dois bilhões de pessoas sem acesso à eletricidade (GOLDEMBERG; VILLANUEVA, 2003). Em se tratando apenas do consumo de energia residencial, o balanço energético nacional elaborado pelo Ministério de Minas e Energia apud Francisco (2006) afirma que a eletricidade é responsável por 64,2% de toda a energia consumida pelo setor residencial brasileiro, sendo caracterizada pela simplicidade nos seus usos finais e pela especificidade de utilização dos equipamentos domésticos. O autor cita o exemplo do condicionador de ar, muito utilizado na região Centro-Sul do Brasil como um alto consumidor de energia elétrica.

Do ponto de vista social, o consumo de energia pelo setor residencial é da maior relevância, uma vez que é condição indispensável para que as comodidades e benefícios mais essenciais da vida moderna possam ser desfrutados (FRANCISCO, 2006).

Brasil (2007) afirma que o setor residencial foi responsável por 22,2% do consumo total de energia elétrica no ano de 2005, perdendo apenas para o setor industrial com um consumo de 46,7% no mesmo ano. Além disso, Tolmasquim (2007) afirma que a economia de energia elétrica tem mais efeito sobre o consumidor residencial. Com o racionamento ocorrido em 2001, houve uma mudança no padrão de consumo, trazendo desuso de aparelhos de *freezer*, diminuição no uso de ar-condicionado e hábito de desligar a luz quando não necessário.

Outro fator relaciona-se ao uso de aparelhos de ar condicionado nas residências. De acordo com Jannuzzi e Schipper, 1991 apud Lamberts, Dutra e Pereira (1997) apenas 7% da energia consumida nas residências refere-se ao ar condicionado, porém, o uso desse aparelho a nível nacional é ainda pequeno (apenas 6% das residências possuem ar condicionado). Isso indica que, com o desenvolvimento social crescente e a pouca qualidade das construções atuais, a aquisição de tais aparelhos será cada vez mais significativa, podendo tornar-se um problema em breve.

A dificuldade de desenvolver pesquisas sobre uso e economia de energia elétrica no setor residencial é grande, visto ser fortemente influenciada pelas atitudes e comportamentos de seus moradores. Cavalcanti (2002) afirma que o uso de energia na classe residencial está ligado ao hábito de consumo e posses de eletrodomésticos, o

que gera uma grande limitação devido às inúmeras variáveis que influenciam o consumo de energia na classe residencial (tanto técnicas como comportamentais). A autora afirma a necessidade de estudar os hábitos de consumo e posse de eletrodomésticos no setor residencial, formando o perfil deste consumidor e, por conseguinte, implementar programas de conservação dessa energia.

A energia voltada às residências é destinada, basicamente, para a cocção de alimentos, aquecimento de água, iluminação, condicionamento ambiental, conservação de alimentos (geladeira e *freezer*), serviços gerais (uso de máquinas para lavar roupas, secar roupas e lavar louças, microondas, ferro elétrico, aspirador de pó, microcomputador) e lazer (televisão, videocassete, *home theater*, aparelho de som) (ACHÃO, 2003 apud FRANCISCO, 2006). Desta forma, um programa de conservação de energia no setor residencial requer, necessariamente, o prévio estudo dos usos finais de energia supracitados (incluído aí os hábitos de consumo).

2.2 A cidade de São Paulo: caracterização e unidades climáticas

São Paulo, maior cidade do Brasil desde a década de 60 compõe com outros trinta e oito municípios a Região Metropolitana de São Paulo, um aglomerado urbano de dezenove milhões de habitantes, o quarto maior do mundo. Com área de 1.522,986 quilômetros quadrados (km^2), dividida em trinta e uma subprefeituras e noventa e seis distritos municipais, a cidade de São Paulo contava, em 2006, com uma população de 11.016.703 de habitantes, concentrando mais de 50% da população da Região Metropolitana de São Paulo e pouco mais de 6% da população do Brasil (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2006; PREFEITURA DA CIDADE DE SÃO PAULO, 2007).

A população do município teve um aumento de aproximadamente dois milhões de habitantes, em 1950, para onze milhões em 2006. As maiores taxas de crescimento populacional ocorreram nas áreas periféricas, onde, da mesma forma, verificaram-se as maiores ocorrências de perda de cobertura vegetal. Em dez anos (1991 a 2001) foi constatado que o município perdeu 5.345 hectares de cobertura vegetal sendo que 56% das áreas desmatadas localizam-se em apenas dez distritos (do total de 96 distritos), situados em áreas periféricas (SÃO PAULO, 2004).

Tarifa e Armani (2001a) classificaram a cidade de São Paulo em unidades climáticas urbanas e “naturais”. As unidades urbanas foram divididas em quatro Macro-Unidades Climáticas: Unidade climática urbana central, Unidade climática urbana periférica, Unidade climática urbana fragmentada e Unidade climática não urbana. Essas unidades podem ser consideradas como homogêneas para cada dimensão das relações entre os controles climáticos urbanos (uso do solo, fluxo de veículos, densidade populacional, densidade de edificações, orientação e altura das edificações, áreas verdes, represas, parques e emissão de poluentes) e os atributos (temperatura da superfície, do ar, umidade, insolação, radiação solar, qualidade do ar, pluviosidade e ventilação). Cada uma dessas quatro macro-unidades foram dividas em outras unidades e essas, por vez, em outras, totalizando setenta e sete unidades climáticas urbanas no município de São Paulo.

Já as unidades climáticas “naturais” foram divididas em cinco categorias de climas locais, a saber: Clima Tropical Úmido de Altitude do Planalto Paulistano, Clima Tropical Úmido Serrano da Cantareira – Jaraguá, Clima Tropical Úmido de Altitude do Alto Juqueri, Clima Tropical Sub-oceânico Super-úmido do Reverso do Planalto Atlântico e Clima Tropical Oceânico Super-úmido da Fachada Oriental do Planalto Atlântico. As cinco unidades climáticas também foram divididas em outras unidades, totalizando vinte e seis unidades climáticas “naturais” no município de São Paulo (TARIFA; ARMANI, 2001b).

2.3 Sensoriamento remoto e geoprocessamento

Um dos objetivos do sensoriamento remoto é o de expandir a percepção sensorial do ser humano através da obtenção de informações inacessíveis à visão humana, bem como da visão panorâmica proporcionada pela aquisição das informações aéreas ou espaciais (NOVO, 1992).

O uso de imagens de satélite para estudos de vegetação no ambiente urbano é uma prática muito utilizada, principalmente quando faz referência a cidades de grande porte, como é o caso do município de São Paulo. De acordo com Florenzano (2002), as imagens de satélite proporcionam uma visão sinóptica (de conjunto) e multitemporal (de dinâmica) de extensas áreas da superfície terrestre. Assim, tais imagens permitem uma

visão do todo, possibilitando a obtenção de informações que seriam inviáveis de serem adquiridas sem sua utilização.

Cada alvo (asfalto, vegetação, água, entre outros) tem comportamento espectral diferente na mesma condição ambiental. A água apresenta a mais baixa reflectância e absorve toda a radiação acima de 750 nanômetros (nm). O asfalto não ultrapassa 10% no valor da reflectância (MOREIRA, 2005). Segundo Tucker (1979), a vegetação é caracterizada por uma intensa absorção devido à clorofila na região do vermelho (0,58 a 0,68 micrômetros - µm) e por uma intensa reflexão na faixa do infravermelho próximo (0,76 a 1,35 µm) causada pela estrutura celular das folhas. A diferença entre as bandas do vermelho e infravermelho é proporcional à reflectância da imagem, correspondendo ao grau de vegetação na imagem.

O geoprocessamento, por sua vez, utiliza técnicas matemáticas e computacionais para tratar dados obtidos de objetos ou fenômenos geograficamente identificados, bem como extrair informações, quando eles são observados por um sistema sensor (MOREIRA, 2005). É uma ferramenta essencial para facilitar a identificação e a extração das informações contidas nas imagens, para posterior interpretação. Assim, sistemas de computação especializados são usados para atividades interativas de análise e manipulação das imagens brutas. O resultado desse processo é a produção de outras imagens, já contendo informações específicas, extraídas e realçadas a partir das imagens brutas (CROSTA, 1999).

2.4 Imagens de alta resolução: satélite IKONOS II

O satélite Ikonos II, considerado de altíssima resolução espacial - 1 metro (m) na pancromática e 4m na multiespectral - foi colocado na órbita em 24 de setembro de 1999 a uma altitude de 680 quilômetros, operando nos comprimentos de onda entre 400 e 1.100nm (MOREIRA, 2005). Reúne a alta resolução espacial das fotografias aéreas e sensores aerotransportados, com a alta resolução temporal de sensores orbitais. Além disso, possui alta resolução radiométrica (11bits), o que possibilita uma maior distinção entre os alvos urbanos (PINHO, 2006).

As principais características do satélite IKONOS II podem ser vistas na tabela 1, segundo sua empresa responsável, a *Space Imaging*.

Tabela 1 – Resumo das especificações do satélite IKONOS II

Características	IKONOS II
Data de lançamento	24 de setembro de 1999
Tempo de operação	Acima de 8 anos
Órbita	98,1º sol-síncrona
Velocidade na órbita	7,5 km/s
Tempo de uma órbita	98 min
Altitude	681 km
Resolução espacial	Pancromática: 1,0 m Multiespectral: 4,0 m
Hora em que passa pelo Equador	10:30 h
Tempo de revisita (dependendo da latitude)	3,0 dias
Resolução radiométrica	11 bits
Bandas	Pancromática: 0,45 – 0,90 mm Azul: 0,45 – 0,52mm Verde: 0,51 – 0,60mm Vermelho: 0,63 – 0,70mm Infravermelho próximo: 0,76 – 0,85mm

Fonte: traduzido de Space Imaging, 2006

Alguns estudos já foram desenvolvidos utilizando imagens do satélite IKONOS II para a caracterização de alvos intra-urbanos como visto em Paes; Pinto e Dutra (2003) que, através da aplicação de classificadores digitais supervisionados buscaram a discriminação de tipos de coberturas de edificações, cobertura vegetal, pavimentação de ruas e corpos d'água. Os autores confirmaram a potencialidade do uso de imagens de alta resolução do satélite IKONOS II como ferramenta para análise de alvos intra-urbanos.

2.5 Índice de vegetação

Os índices de vegetação são transformações lineares da reflectância de duas ou mais bandas do espectro eletromagnético, que podem ser obtidos através de soma, diferença e razão de banda (como é o caso do *Normalized Difference Vegetation Index*

– NDVI e *Ration Vegetation Index* – RVI) (BARET; GUYOT, 1991; GOWARD et al., 1991; WIEGAND, 1991). Tais índices têm grande utilidade para caracterizar grandes áreas em termos de densidade de vegetação, permitindo que se tenha uma visão global da região e, a partir daí, localizar possíveis áreas de estudo. Um exemplo foi um estudo feito por Kawashima (1990/91) no Japão o qual relacionou a presença de vegetação na cidade de Tokyo com temperatura de superfície. A cidade, que é uma das maiores do mundo, foi caracterizada em termos de densidade de vegetação através da aplicação do índice e, por conseguinte, os resultados foram cruzados com dados de temperatura de superfície. Moreira (2005) afirma que a principal finalidade dos índices é a de ressaltar o comportamento espectral da vegetação em relação ao solo e a outros alvos da superfície terrestre (intensificando o contraste). O autor cita diversos estudos que atestam que os índices NDVI e RVI são os mais utilizados, embora o primeiro seja mais sensível à vegetação esparsa do que o segundo.

O índice de vegetação NDVI, de acordo com Deering et al. (1975 apud MOREIRA, 2005), consiste em uma equação que tem como variáveis as bandas do vermelho e infravermelho próximo, como segue:

$$\textbf{NDVI: IVP – V / IVP + V} \qquad \textbf{(1)}$$

Sendo,
IVP: Infravermelho próximo
V: vermelho

2.6 Classificação supervisionada

Classificar, em sensoriamento remoto, significa associar pontos de uma imagem a uma classe de grupo, ou ainda processo de reconhecimento de classes ou grupos cujos membros exibem características em comum (ROSA, 1992, apud N-BARBOSA; ACCO; KIRCHNER, 2003). A classificação transforma uma imagem quantitativa em qualitativa, fazendo com que os *pixels* (abreviação de *“picture elements”*) passem a

pertencer a um número restrito de classes temáticas. De forma geral, as técnicas de classificação de imagens atuam sobre uma determinada cena considerando suas várias bandas espectrais. (PEREIRA, 1995, apud N-BARBOSA; ACCO; KIRCHNER, 2003).

Na classificação de dados digitais, os alvos do universo real recebem a denominação genérica de classes ou classes temáticas, identificando cada *pixel* da imagem segundo a ocupação do solo. Para tal, utilizam-se programas apropriados, também denominados algoritmos de classificação ou simplesmente classificadores. São utilizados programas computacionais para categorizar (rotular) os valores dos níveis de cinza, os quais utilizam algoritmos estatísticos de reconhecimento de padrões espectrais. Dependendo do algoritmo utilizado neste procedimento, a classificação é dita supervisionada ou não-supervisionada, envolvendo duas fases distintas: o treinamento e a classificação propriamente dita (MOREIRA, 2005).

O autor afirma a necessidade de elaboração da validação da exatidão da classificação, sendo o meio mais utilizado a construção de uma matriz de erro, a qual, através de técnicas de análise multivariada, determina a concordância da classificação com a verdade de campo. A estatística Kappa (K) é um método muito utilizado para avaliar a concordância entre a verdade terrestre e o mapa temático, obtido a partir da interpretação visual de imagens de satélite. O valor Kappa é obtido por meio de equações e seu resultado é comparado a valores existentes em uma tabela que qualifica o mapa temático nas classes péssima ($K<0,00$), ruim ($0,00<K<0,20$), razoável ($0,20<K<0,40$), boa ($0,40<K<0,60$), muito boa ($0,60<K<0,80$) e excelente ($0,80<K<1,00$).

Alguns estudos foram feitos utilizando softwares de geoprocessamento para analisar e quantificar as diferentes superfícies urbanas através de métodos de classificação, os quais, como em Akbari, Rose e Taha (2003), partem da análise visual e, posteriormente, utilizam dos recursos de tais programas e de imagens digitais para caracterizar a malha urbana e os tipos de uso do solo. Nesta pesquisa os autores estudaram o efeito das superfícies nas cidades, com o intuito de restringir a demanda de energia para resfriamento em edifícios, através da classificação dos vários tipos de superfície de recobrimento (grama, telhado, calçada, asfalto, entre outros) e suas porcentagens no tecido urbano.

2.7 Influência da vegetação nos elementos climáticos

Diversos estudos pontuam a importância da vegetação como modificadora do clima de uma cidade, principalmente no que diz respeito à atenuação de temperatura (TARIFA; AZEVEDO, 2001; WENG, 2003; SCHILLER; EVANS, 1996), sendo ressaltada a importância do uso da vegetação para mitigar os efeitos antropogênicos gerados nas áreas urbanas (AVISSAR, 1996).

As árvores em ambiente urbano têm a capacidade de reduzir o escoamento superficial (runoff) através da interceptação da precipitação, de absorver poluentes, de modificar o fluxo de radiação solar que atinge a superfície, de reduzir a temperatura do ar, de aumentar a umidade relativa, de alterar a velocidade dos ventos, entre outros. Especificamente em relação à energia elétrica, as árvores têm a capacidade de reduzir o uso de energia no condicionamento de ar, possivelmente pela alteração no regime de radiação solar (SIMPSON; McPHERSON, 1998). Com a presença de vegetação, a variação de temperatura do ar também é menor, ou seja, tem-se uma menor amplitude térmica sob a vegetação, principalmente no verão, período em que a densidade foliar e a evapotranspiração das plantas são mais intensas (MASCARÓ, 2004). Ademais, árvores em avenidas são capazes de filtrar até 70% da poluição do ar (BERNATZKY, 1982).

A vegetação exerce um papel fundamental em termos de alteração microclimática em um ambiente urbano. Isso porque as árvores utilizam energia solar para completarem seu processo metabólico, absorvendo carbono e liberando oxigênio no processo de fotossíntese. De acordo com Larcher (2004), a condição prévia para o processo fotossintético ocorrer é a absorção de energia radiante pelos cloroplastos. Bernatzky (1982) afirma que as plantas não armazenam calor no interior das células, sendo que a energia solar é, em média, 60-75% consumida nos processos fisiológicos.

As folhas das árvores, como qualquer corpo, absorvem, refletem e transmitem a energia incidente. Embora a energia absorvida seja alta, a temperatura superficial da folha não é elevada, mantendo-se abaixo da temperatura dos corpos vizinhos, visto utilizar parte da energia recebida para o processo da fotossíntese (BARBUGLI, 2004).

A redução de temperatura gerada pela presença de árvores ocorre de forma direta e indireta, através do sombreamento e da evapotranspiração, respectivamente.

Para Mascaró e Mascaró (2005), o sombreamento é uma das funções mais importantes das árvores no meio ambiente urbano, por reduzir a temperatura do ar e as temperaturas superficiais dos pavimentos e fachadas das edificações. Além disso, atenua a sensação de calor pelas pessoas.

Givoni 1994 apud Duarte (2000) coloca o sombreamento como pré-requisito para se chegar a um microclima desejado. Para tanto, o primeiro recurso seria criar sombra de boa qualidade com uma arborização de larga escala, já que a proteção à radiação solar tem um grande efeito na redução do stress térmico.

Alguns estudos foram feitos relacionando a presença de vegetação nas cidades e a redução da temperatura do ar. Segundo Wilmers (1990/91) a vegetação diminui os picos de temperatura durante o dia. Heisler (1977) afirmou que a diferença de temperatura foi de 9°C entre duas superfícies de casas de madeira, uma não sombreada e a outra recebendo a sombra de um *Acer saccharum*. No Japão foi feito um estudo em Kumamoto, cidade com uma população de 600.000 habitantes. Utilizaram recursos do sensoriamento remoto para obter valores de temperatura de superfície, assim como para a classificação das superfícies urbanas. Foram feitas também medições móveis de temperatura e umidade. Os principais resultados mostraram que a diferença de temperatura entre áreas no centro da cidade e no subúrbio foi de 3°C durante o dia e 2°C durante a noite. Os autores afirmam que mesmo pequenas áreas verdes (60m x 40m) têm efeito no resfriamento do ar (SAITO; ISHIHARA; KATAYAMA, 1990/91).

Barbugli (2004) cita pesquisa feita na cidade de San Ruan, na qual os autores demonstraram que os efeitos da arborização no verão resultaram em uma diminuição de 2,1^{o}C na temperatura do ar e aumento de 5,2% na umidade relativa. Em Sacramento e Phoenix, estudos mostraram que aumentando em 25% o número de árvores, obtinha-se uma redução de temperatura durante o verão que variava de 3,3 a 5,6^{o}C (AKBARI; TAHA, 1992). Já em Bloomington, Indiana, pesquisas mostraram que a temperatura ao meio dia foi de 0,7 a 1,3^{o}C menor sob as copas de árvores quando comparadas às áreas sem vegetação (SOUCH; SOUCH, 1993). Em Los Angeles, Sailor (1995) simulou alterações no albedo e na porcentagem de cobertura vegetal, demonstrando que seria possível uma redução de 1,3^{o}C na temperatura no pico do verão com aumento de 14%

de vegetação na área central da cidade. Em sua tese de doutorado, Bartholomei (2003), analisando conforto térmico em salas de aula, concluiu que com a presença de árvores na área externa a temperatura era 1,5^{o}C menor quando comparada ao local sem árvores. Shashua-Bar e Hoffman (2000) estudaram o efeito da vegetação no clima com base em levantamento de dados em campo e desenvolvimento de um modelo de estimativa de redução de temperatura. O estudo foi feito em onze locais arborizados (dois jardins, quatro avenidas, uma praça, dois quintais, e duas ruas). Em todos os locais foi significativo o efeito da vegetação no resfriamento sendo que 80% deste efeito foi proveniente da sombra das árvores.

Estudos feitos por Quattrochi e Ridd (1998) com uso do sensoriamento remoto apontaram que a vegetação urbana tem grande responsabilidade na redução do calor que chega à superfície urbana.

No Japão foi desenvolvido um estudo que analisou o efeito da vegetação em construções quando se tem falta de espaço para plantio. Assim, foram feitos plantios de espécies em sistema hidropônico nos telhados de prédios e medições de temperatura do ar, de superfície e umidade relativa nos períodos de verão e inverno. Os resultados corroboram com os estudos anteriormente descritos de plantio de árvores nas ruas das cidades, sendo que no verão os resultados foram mais acentuados, obtendo-se temperatura de superfície de 35°C na presença de vegetação. Por outro lado, na situação controle (sem vegetação) atingiu-se valores de 50°C. A temperatura do ar foi 2°C menor na situação com vegetação quando comparada a controle. Houve aumento da umidade relativa do ar na situação com vegetação, mais notável no verão do que no inverno. Foi medido o fluxo de calor que era transferido para dentro do prédio. Em dias claros de verão, no prédio com vegetação o calor transferido foi de 10W/m^{2}, ao passo que no prédio sem a presença de vegetação esse calor foi de 200W/m^{2}. Os autores concluíram que o plantio de vegetação nos telhados dos prédios pode colaborar na redução da carga térmica em construções e amenizar o excesso de calor no período do verão em áreas urbanas (HARAZONO et al., 1990/91).

Ainda no Japão, pesquisadores estudaram através de modelos de simulação os efeitos das áreas verdes nas suas áreas mais próximas. A intensidade desse efeito foi analisada através da diferença de temperatura entre o máximo valor na área urbana e o

mínimo valor na área com vegetação. A distribuição da temperatura e umidade foi fornecida pelo modelo; os principais resultados mostraram que a temperatura era menor quanto maior a área vegetada (HONJO; TAKAKURA, 1990/91).

As plantas utilizam a umidade para controlar sua temperatura, transformando-a em vapor d'água, que é liberado para a atmosfera (MASCARÓ; MASCARÓ; AGUIAR, 2001). As árvores funcionam como bombas de água auto-reguláveis, pois abrem seus estômatos quando existe disponibilidade de água e calor (refrescando o meio através da evapotranspiração) e os fecham quando situações adversas ocorrem, preservando condições favoráveis e condicionando o clima urbano (SILVA FILHO et al., 2005). De acordo com Grey e Deneke (1978) as árvores podem ser chamadas de "condicionadores de ar naturais" visto amenizarem as temperaturas do ar no período de verão através da evapotranspiração. Para Kramer e Kozlowski, 1970 apud Grey e Deneke (1978) uma árvore isolada pode transpirar aproximadamente 400 litros de água por dia (em condições de suficiente quantidade de água no solo), resultando em um resfriamento que pode ser comparado, segundo Federer (1976) ao de cinco aparelhos de ar condicionado médios (2500 kcal/h) em funcionamento durante 20 horas por dia.

Em termos de vento, as árvores podem obstruir, reduzir ou orientar o fluxo de ar, agindo nas correntes e em fatores ligados a esses fluxos, como a própria temperatura. A vegetação pode bloquear ventos frios no inverno ou dirigir a entrada de correntes que resfriem o ambiente no verão (MAGALHÃES; CRISPIM, 2003).

2.8 Consumo de energia elétrica e vegetação

De acordo com Simpson e McPherson (1996), árvores estrategicamente colocadas no meio urbano afetam o consumo de energia elétrica em residências por meio da interceptação da radiação solar incidente.

Santamouris (2001b), Akbari e Konopacki (2004) afirmam que as árvores e áreas verdes contribuem significantemente para o resfriamento das cidades e economia de energia, refletindo em redução de gastos com eletricidade. Simpson (1998) em um estudo feito na cidade de Sacramento, Califórnia, indica que as árvores lá plantadas são responsáveis por uma economia de energia elétrica de aproximadamente 157GWh (o que equivale a 18,5 milhões de dólares) por ano.

De acordo com Laverne e Lewis (1996) um limitado número de estudos relaciona presença de vegetação e energia elétrica baseando-se em dados coletados nos locais de estudo. A grande maioria é conduzida com modelos gerados em computador. Este fato deve-se principalmente à grande quantidade de fatores que interferem em tal relação, dificultando o isolamento apenas do efeito da vegetação. Além disso, é complicado mensurar variáveis relacionadas aos padrões de uso de energia nas residências. Os autores sugerem que a influência da vegetação no uso de energia seja inferida através das alterações provocadas pelas árvores nos microclimas das cidades.

Simpson (2002) afirma que, um modelo para simular o efeito da vegetação no consumo de energia elétrica, normalmente, leva em conta as características das espécies, das construções e do clima do local, sendo que, muitas vezes, seu uso em larga escala pode se tornar limitado devido a sua complexidade e grande quantidade de dados requeridos.

Mascaró, Mascaró e Aguiar (2001) citam trabalhos que afirmam que em termos de sombreamento, no sul da Flórida, foi estimada, com a presença de vegetação, uma redução de custos de condicionamento artificial no verão de 40%. Na Pensilvânia os autores apontaram a sombra das árvores reduzindo em até 75% os custos de refrigeração de uma casa pequena. Em termos de evapotranspiração, (onde seu efeito é mais difícil de quantificar) são feitas simulações computacionais que estimam que o plantio de três árvores em cada casa, nas orientações norte, leste e oeste poderia resultar em uma poupança energética de refrigeração de 30% em Sacramento, Califórnia, 17% em Phoenix, Arizona e 23% em Lake Charles, Louisiana.

Os autores citam ainda as pesquisas do Lawerence Berkeley Laboratory, em Berkeley, Califórnia, as quais estimam que custa cerca de US$ 0,001 a redução da demanda de pico energético de 1 kWh plantando árvores. O mesmo custo da poupança para o mesmo kWh por investimentos na melhoria da eficiência energética é de cerca de US$ 0,025. Também em termos da demanda de pico energético estudo feito por Akbari; Pomerantz e Taha (2001) concluiu que tal demanda aumenta de 2 a 4% para cada 1°C de aumento de temperatura.

No mesmo laboratório, comandado pelo Prof. Dr. Hashem Akbari, foi desenvolvido um experimento envolvendo duas casas em Sacramento, Califórnia:

foram monitorados o pico de energia e a economia de energia para resfriamento através da sombra de árvores. Foram coletados dados de energia elétrica gasta no resfriamento, temperatura do ar, das paredes e umidade fora e dentro das casas, temperatura de superfície dos telhados e tetos, insolação, velocidade e direção do vento. Foram utilizadas dezesseis árvores, oito com 6m de altura e oito com 2,40m. Os principais resultados indicaram uma correlação direta entre os valores diários de temperatura e o uso diário de energia para resfriamento, sendo obtido uma média de 30% na economia de energia para tal fim dada apenas à presença da vegetação ao redor das casas (AKBARI et al., 1997b).

O mesmo pesquisador elaborou um estudo em quatro cidades do Canadá (incluindo Toronto), com simulações computacionais. Estimou que, aumentando em 30% a cobertura vegetal, o uso de energia para o aquecimento seria 10% menor em residências dentro de áreas urbanas e 20% menor em residências no subúrbio, devido à proteção das árvores contra os ventos na área urbana (AKBARI; TAHA, 1992). Outras simulações foram feitas com dados da cidade de Los Angeles: foi aumentado em 7,5% o albedo da cidade e em 5% a cobertura arbórea com o acréscimo de 10 milhões de árvores. O modelo indicou que o novo cenário obtido com telhados claros e sombras de árvores poderia reduzir a necessidade de condicionamento de ar em 18% (ROSENFELD et al., 2007).

Pesquisas feitas pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos, afirmam que a economia de energia através da presença das árvores pode ser significante, sendo que, nos Estados Unidos, o efeito anual é de uma economia de 20 a 25% nos custos de energia em residências com presença de vegetação arbórea quando comparadas às residências sem a presença das mesmas (ESTADOS UNIDOS, 2007). Já Parker (1983 apud SANTAMOURIS, 2001b) chegou a uma redução nos custos de refrigeração da ordem de 40% em estudo utilizando árvores e arbustos no Sul da Flórida, afirmando que as paredes de casas sombreadas têm 2°C a menos de temperatura em relação às casas sem sombra de árvores.

McPherson, Herrington e Heisler (1988) elaboraram um estudo para avaliar os impactos da vegetação no aquecimento e resfriamento de residências em quatro cidades americanas. Foram escolhidas quatro residências parecidas, com 143m^2 cada,

nas cidades de Madison, Salt Lake City, Tucson e Miami, representando quatro tipos diferentes de clima. A redução da irradiância pela vegetação foi modelada através dos programas computacionais SPS (shadow pattern simulation), o qual simula a sombra projetada nas construções pelas árvores e MICROPAS. Foram simuladas situações nas quais a velocidade do vento manteve-se constante, variando apenas a irradiância, bem como situações onde a velocidade do vento variava e a irradiância permanecia constante. Os autores concluíram que nas cidades de clima frio havia um aumento de 21% nos custos para aquecimento devido à redução de irradiância quando utilizadas espécies de copa densa. Já com espécies decíduas não tiveram influência nos custos de aquecimento. Já nas cidades de clima quente houve uma redução de 61% nos custos para resfriamento das residências. Os autores comentaram a necessidade de planejar o plantio das espécies para que estas possam ser favoráveis tanto na época de frio (servindo de barreira de vento, por exemplo) como na época de calor (sombreando as residências).

Os mesmos programas de simulação (SPS e MICROPAS) foram usados em outro estudo, desenvolvido por Simpson e McPherson (1998) na cidade de Sacramento, Califórnia, com 254 residências avaliando a magnitude dos efeitos das árvores na redução da demanda no uso de ar condicionado no verão e também do aumento do consumo devido ao resfriamento provocado pelas árvores no período de inverno. Os modelos utilizaram as características das árvores, das construções e dados climáticos. O estudo foi feito no período de um ano, analisando os efeitos do vento e do sombreamento. Estimou-se uma redução dos custos de resfriamento de $15,25 por cada árvore e um aumento de $5,25 nos custos de aquecimento, o que resulta em uma economia de $10,00 por árvore gerando sombra. Em termos de vento, obtiveram um aumento nos custos de resfriamento de $2,80 e uma economia nos custos de refrigeração de $6,80, o que resulta em uma economia de $4,00 por árvores reduzindo a velocidade do vento.

Os mesmos autores, em posterior estudo, também no Estado da Califórnia, avaliaram (por meio da análise foto interpretativa e modelos computacionais) a presença das árvores reduzindo o uso de energia elétrica. Foram encontrados 177,3 milhões de árvores conservando energia elétrica e 241,6 milhões de espaços potenciais

para receber plantios. Custos e benefícios gerais foram calculados e a redução de energia da ordem de 2,5% totalizou uma economia de 485,8 milhões de dólares (MCPHERSON; SIMPSON, 2003).

Um exemplo bem sucedido que acreditou no potencial da vegetação para redução do consumo de energia elétrica é o Sacramento Shade, feito na cidade de Sacramento, Califórnia, o maior programa americano de plantio de árvores para redução das cargas de resfriamento de edifícios. Foram estabelecidas metas de plantio de 50.000 árvores em um período de dez anos (1990 a 2000), sendo que em 1995 mais de 20.000 árvores já tinham sido plantadas. O programa contou com a participação da comunidade, a qual recebia a muda para plantio junto com ensinamentos de como utilizar tal muda para o benefício de economia de energia no verão (HILDEBRANDT; SARKOVICH, 1998). Tal programa, bem como outros existentes no Estado da Califórnia, contaram com apoio do departamento de psicologia da Universidade da Califórnia, o qual desenvolveu um programa de apoio ao plantio de árvores urbanas com aplicação de questionários à comunidade, colaborando para que os programas de plantio tivessem sucesso (SUMMIT; SOMMER, 1998).

Estudo feito na cidade de Tucson, Arizona, analisou não só os custos relacionados ao consumo de energia elétrica como também computou gastos com irrigação. Foram construídos três protótipos de casas, com ¼ do tamanho de uma casa típica e em cada uma o espaço que a circundava foi tratado de forma diferente. Em uma delas plantaram-se dezoito arbustos próximos às paredes da construção. Tal protótipo foi chamado de protótipo sombreado. Na outra casa foi colocado grama em toda a área que a circundava e na terceira casa foi colocada uma camada de 0,5 cm de pedra granito sem presença de vegetação. Foram feitas medidas de consumo de ar condicionado dentro das residências, bem como gastos com irrigação dos arbustos e grama. Os principais resultados constataram que a energia consumida para o condicionamento de ar no protótipo de rocha granito foi de 20 a 30% maior quando comparado aos outros dois modelos e que o custo com a água de irrigação foi menor que o custo com o condicionamento de ar. Além disso, os autores afirmaram que se fossem plantadas árvores ao invés de arbustos provavelmente os custos de condicionamento de ar seriam ainda menores, visto que as árvores sombreiam não só

as paredes das casas como também seus telhados (McPHERSON; SIMPSON; LIVINGSTON, 1989).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização geográfica e clima do município

A cidade de São Paulo tem uma altitude média de 760 m acima do nível do mar. É cortada pelo Rio Tietê, tendo como principais afluentes os rios Pinheiros e Tamanduateí. Situa-se entre as coordenadas geográficas 23º32’52’’ de latitude sul e 46º38’09’’ de longitude oeste. O clima é considerado subtropical (tipo Cwa segundo Köppen), com temperatura média anual de 18,3 ºC. O mês mais quente, janeiro, tem temperatura média de 21,2ºC e o mês mais frio, julho, de 14,8ºC (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2006; PREFEITURA DA CIDADE DE SÃO PAULO, 2007). A figura 1 mostra uma representação esquemática da cidade de São Paulo, inserida no estado e no país.

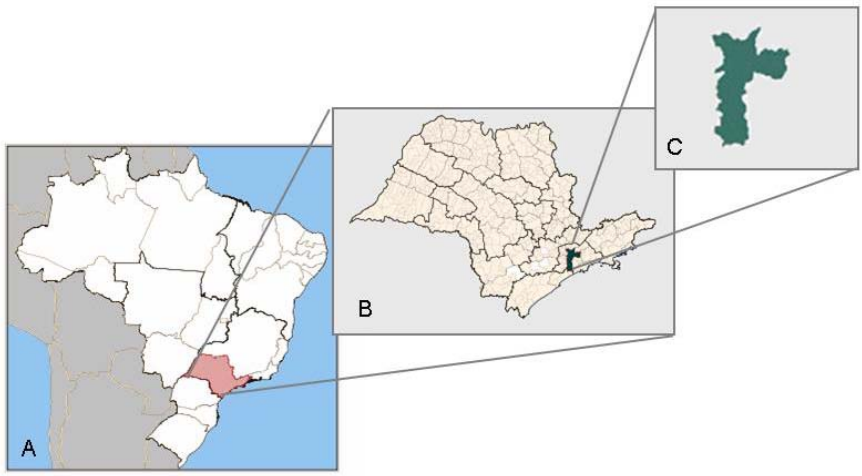


Figura 1 – Representação esquemática do mapa do Brasil (A) com destaque para o Estado (B) e a cidade de São Paulo (C)

3.2 Definição das áreas de estudo

Foram escolhidas três áreas para o presente estudo: baixa, média e alta densidade de vegetação. Tal escolha foi feita com base na aplicação do índice de vegetação (NDVI), uso de mapas já existentes do município de São Paulo, classificação supervisionada e aferição a campo.

3.2.1 Aplicação de índice de vegetação em imagens de alta resolução – IKONOS II

Foram utilizadas imagens de 2002 do satélite IKONOS II, cedidas pelo Instituto Geológico, vinculado à Secretaria do Meio Ambiente do Governo do Estado de São Paulo. As cenas (com uma área de 5 x 5km cada) foram fornecidas no formato geotiff, já georreferenciadas, nas bandas azul (blue), vermelho (red), verde (green), infravermelho próximo (NIR) e na composição vermelho – verde - azul (RGB). Para abranger todo o município de São Paulo, foram necessárias sessenta e sete cenas do satélite.

O programa de geoprocessamento utilizado foi o TNT Mips 6.8, da MicroImages.

Para que o município pudesse ser caracterizado em termos de densidade de vegetação foi aplicado o índice de vegetação NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), explicado no item 2.5 da revisão bibliográfica.

O primeiro passo foi agrupar as cenas correspondentes à área do Município, tal qual um quebra-cabeça, montando um mosaico composto por uma só cena englobando todo o município. Foram montados mosaicos das bandas NIR e Red, por serem as bandas utilizadas na fórmula do índice.

3.2.2 Mapas do município de São Paulo e aferição a campo

Como supracitado, a partir do índice de vegetação foram escolhidas três regiões distintas em termos de densidade de vegetação: baixa, média e alta. Para auxiliar na definição das três áreas de estudo, foram analisados alguns mapas do município de São Paulo, tais como os mapas de unidades climáticas (“naturais” e urbanas) elaborados por Tarifa e Armani (2001a, b) conforme explicado no item 2.2 da revisão bibliográfica e o mapa por classe de consumo de energia elétrica (consumo médio em kWh) fornecido pela AES ELETROPAULO.

A etapa de aferição a campo foi feita para confirmar os dados obtidos pelas imagens e também verificar fatores que não puderam ser obtidos através das mesmas, tais como o padrão das residências (sendo selecionadas apenas as áreas com padrão médio a alto, pela maior probabilidade de usarem aparelhos de refrigeração) e o tipo de uso da construção (sendo selecionadas apenas as construções residenciais).

3.2.3 Classificação Supervisionada

Para a etapa da classificação supervisionada foram utilizados os programas TNTMips 6.8 e ArcView GIS 3.3. A classificação foi feita usando o método estatístico “Stepwise linear”.

Foram escolhidas três áreas bem distintas em termos de densidade de vegetação e, nelas, feita uma redução da dimensionalidade, ou seja, recortes para reduzir o tamanho da área, resultando em três polígonos.

Esse procedimento foi aplicado nas cenas RGB (red, green e blue) e NIR (infravermelho próximo), sendo, portanto, gerados seis polígonos (dois polígonos por área). Além disso, a cena RGB foi separada em três bandas distintas (R, G e B) já que na classificação supervisionada são utilizadas as bandas G, B e NIR.

Na classificação, cada alvo do universo real recebe a denominação de classe temática ou simplesmente classe. Foram determinadas, assim, as classes que existiam na imagem e montado um treinador, onde localizava-se, na imagem, a classe pré-determinada. Em seguida foi feito um segundo treinador, chamado de treinador auditor, o qual serviu para comprovar a eficiência do primeiro treinador.

Para averiguação da exatidão da classificação foram confeccionadas matrizes de erro e utilizado o índice de precisão Kappa (K), o qual consiste, segundo Monteiro (2005), na equação:

$$K = Po - Pc / 1 - Pc \qquad (2)$$

Sendo:

K: índice de precisão Kappa;

Po: exatidão geral;

Pc: proporção de unidades que concordam por casualidade.

O valor obtido na estatística Kappa foi comparado aos valores contidos na tabela 2, desenvolvida por Landis e Koch, 1977 apud Monteiro (2005).

Tabela 2 – Qualidade da classificação associada aos valores da estatística Kappa

Valor de Kappa	Qualidade do mapa temático
< 0,00	Péssima
0,00 – 0,20	Ruim
0,20 – 0,40	Razoável
0,40 – 0,60	Boa
0,60 – 0,80	Muito boa
0,80 – 1,00	Excelente

3.3 Coleta e análise de dados

3.3.1 Amostragem das residências

Dentro de cada área de estudo foram escolhidos cem pontos (cem residências), resultando em trezentas residências no total da pesquisa.

O número de cem residências correspondeu a uma pré-amostragem. Posteriormente, seria determinada a proficiência desta em amostrar residências em cada estrato. Isso foi feito considerando a variância e o intervalo de confiança para as amostras que deveriam ficar com um erro máximo de 10% com 95% de probabilidade.

Se necessária uma amostragem complementar, seriam escolhidos dias com temperaturas próximas às médias de inverno e verão para realizar a complementação dos períodos.

As cem residências foram escolhidas através do método de amostragem sistemática, o qual permitiu uma distribuição uniforme das amostras, representando adequadamente a área de estudo.

Desta forma, foram selecionadas as ruas que estão dentro de cada área e cada rua foi divida em quarteirões. Foi então dividido o número de cem residências pelo total de quarteirões, resultando em quantas residências deveriam ser amostradas por quarteirão.

3.3.2 Coleta de dados climáticos

3.3.2.1 Aparelhos utilizados

Nessa etapa foram utilizados aparelhos micro processados do modelo HOBO H08-004-02 (Figura 2), os quais coletam dados de temperatura, umidade relativa e luminosidade. O aparelho foi programado através do software BoxCar Pro 4 para fazer a coleta dos dados a cada 15s.

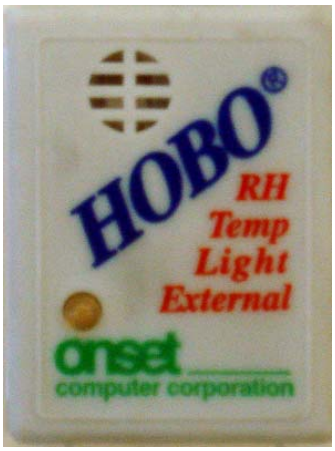


Figura 2 – Aparelho HOBO H08-004-02

Em cada área foram utilizados dois aparelhos, coletando dados na calçada (em frente à residência amostrada) e na rua, (na mesma direção da residência). Foram ao todo seis aparelhos coletando dados ao mesmo tempo nas três regiões. Caso houvesse árvore na frente da residência, o aparelho seria colocado sob a copa da mesma. Os aparelhos coletavam dados a uma altura de 1,5m do chão. A posição dos aparelhos para coleta de dados seguiu o esquema encontrado em Zafiriadis (2006), mostrado na figura 3.

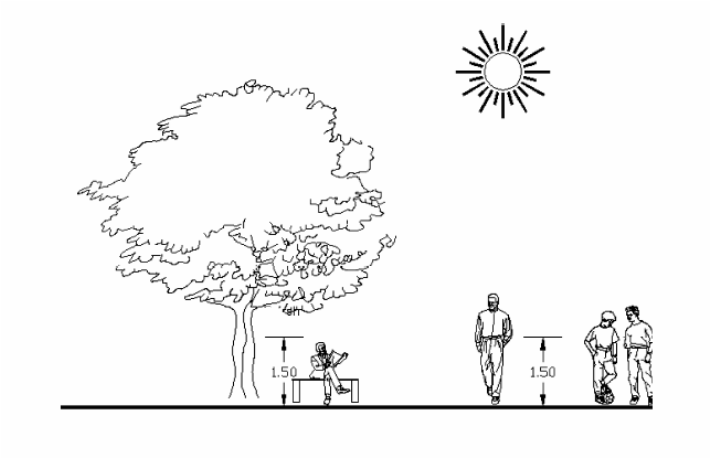


Figura 3 – Representação esquemática da localização dos aparelhos para coleta de dados
Fonte: Adaptado de Zafiriadis, 2006

3.3.2.2 Validação dos aparelhos

Foi feita uma validação dos seis aparelhos HOBO para verificar se havia diferença significativa entre os dados coletados por cada um, numa determinada temperatura.

Os aparelhos foram submetidos a três diferentes temperaturas: baixa (0^oC), média (25^oC) e alta (45^oC). Foram deixados por 20min e depois tomadas cinco medidas em intervalos de 5min. Foram geradas médias dos valores coletados nas três temperaturas e tais valores foram analisados com o auxílio do programa estatístico SAS (Statistic Analysis System).

3.3.2.3 Procedimento de coleta

Em relação ao horário de coleta, a pesquisa baseou-se na recomendação do Centro de análise e planejamento ambiental (2006) de quatro observações diárias: às 7:00h, às 9:00h, às 15:00h e às 21:00h, que fazem parte da Rede de Postos do Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo, e recebem o prefixo D4112M do DAEE.

Como a coleta foi feita nas ruas da cidade de São Paulo e necessitou de seis pessoas trabalhando ao mesmo tempo, manuseando aparelhos de alto custo, optou-se, principalmente por problemas de segurança, disponibilidade de tempo e capacidade de armazenamento de dados dos aparelhos em fazer a coleta nos dois horários

intermediários. Além disso, a coleta das 15:00h foi antecipada para ter inicio as 14:00h por necessidade de adequação da capacidade de tempo máximo do aparelho em armazenar dados. Se a coleta tivesse inicio às 15:00h, o aparelho pararia de coletar dados antes do término da mesma.

Foi escolhido um dos dias para fazer a coleta de dez pontos em cada uma das três áreas nos horários de 7:00h e 21:00h e através de regressão linear, verificado a possibilidade de extrapolar os valores coletados em dez pontos para os cem pontos em cada área.

Foram feitas medições em quatro dias no mês de setembro de 2006 e quatro dias no mês de março de 2007 (quatro repetições).

Para cada área foi montada uma planilha na qual foram inseridas as cem casas amostradas e suas localizações (nomes das ruas e números), facilitando o percurso no momento das coletas de dados, já que cada casa estaria cadastrada em seqüência de acordo com sua localização. Cada dupla recebeu uma prancheta com a planilha contendo as casas amostradas de um a cem, bem como um mapa do trecho para eventuais dúvidas. Anotava-se na planilha o horário que o aparelho foi colocado e retirado do local, permanecendo no mesmo por volta de 30s. Como o aparelho foi programado para coletar dados a cada 15s, permanecer 30s em cada ponto foi suficiente para coletar ao menos um valor em cada residência.

Além da planilha de coleta de dados foram utilizados três relógios (um em cada área), ajustados ao horário exato do *notebook* utilizado para descarregar os dados, pois a única forma de saber a medida de temperatura e umidade de uma determinada residência é através do horário, sendo – para isso – necessário os aparelhos estarem ajustados com os relógios utilizados nas ruas.

Os dados de cada aparelho foram descarregados no *notebook* e transferidos para o programa Excel. Foram então selecionados, de cada planilha, quais os valores de temperatura e umidade relativa que correspondiam ao intervalo em que o aparelho estava parado no ponto, sendo esse o valor utilizado. Assim, para cada aparelho, foram obtidos quatro valores (quatro repetições) em cada ponto, em cada horário, totalizando seis aparelhos com duas medições por dia por quatro dias, além dos pontos coletados nos horários de 7:00h e 21:00h para uso na regressão linear.

Os dados foram analisados no programa estatístico SAS (Statistic Analysis System). Foram feitas correlações de valores de temperatura e umidade entre as três áreas, bem como comparações de médias nos quatro horários (7:00h, 9:00h, 14:00h e 21:00h). Por fim, foi aplicado o teste estatístico Tukey a 5% de significância.

3.3.2.4 Estações meteorológicas móveis

Para manuseio a campo dos aparelhos HOBO, a elaboração e construção de estações meteorológicas móveis foram necessárias, permitindo uma condição padrão para medições: altura de 1,50 a 2,00m acima do nível do chão, proteção de incidência direta de radiação solar e livre passagem do ar (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2002).

Assim, baseou-se no modelo já existente chamado “Multi-Plate Radiation Shield”, comercializado pela empresa norte-americana R.M. Young Company, o qual tem a função de proteger os sensores de temperatura e umidade relativa de erros produzidos pela radiação solar e precipitação. Uma foto do modelo pode ser vista na Figura 4.

Figura 4 – Multi-Plate Radiation Shield
Fonte: R M Young Company, 2007

A estação móvel construída no presente trabalho pode ser vista na Figura 5.

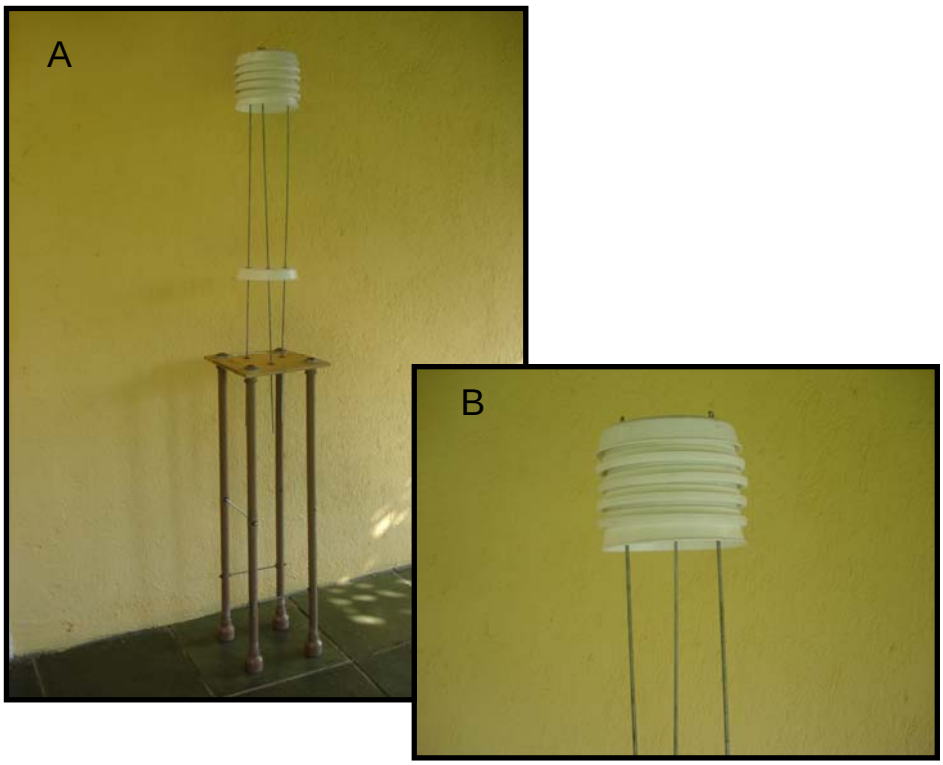


Figura 5 - Estação móvel (A) e seu detalhe (B)

A figura 6 mostra o aparelho HOBO dentro da estação móvel.

Figura 6 - Aparelho HOBO pendurado na estação móvel

3.3.3 Classificação das espécies encontradas

Foi feita uma classificação das espécies que se encontravam na frente das trezentas residências amostradas em árvores ou arbustos, muda ou planta adulta. Os exemplares também foram avaliados em relação à altura, com base na altura da fiação

elétrica. Assim, foram agrupados em três classes: até a fiação secundária, entre a fiação secundária e a primária, e acima da primária. Ademais, o exemplar foi avaliado, com base numa análise visual, em eficiente ou não para a produção de sombra.

3.3.4 Aplicação dos questionários

Foram elaborados questionários (Figura 7) a serem aplicados nas trezentas residências amostradas. Buscou-se levantar a quantidade dos principais elementos que interferiam no consumo de energia elétrica bem como o hábito de uso dos aparelhos de refrigeração. Foi feita uma análise, comparando as três áreas, verificando se tais parâmetros diferiam ou não entre áreas. Caso a quantidade de aparelhos de ar condicionado e seu uso fossem diferentes entre áreas, seria analisada sua contribuição no consumo final de cada residência.

Foi feita a análise de variância e aplicação do teste Tukey, a 5% de significância bem como a análise de tabela de contingência usando o teste G (razão da máxima verossimilhança). As análises foram feitas utilizando o programa estatístico SAS (Statistic Analysis System).

Além disso, foi enviada pelo correio uma carta para as trezentas residências com explicações sobre a pesquisa, informando que o questionário seria solicitado.

Rua: Nome do Morador:

1. Número de pessoas na casa: Moradores ( ) Funcionários ( )
Quantas ficam mais tempo em casa de manhã ( ) a tarde ( ) a noite ( ) dia todo ( )

2. Qual o total de área construída? Quantos quartos ( ), salas ( ), banheiros ( )

3. Tem árvore(s) dentro do terreno? ( ) Sim ( ) Não Quantas ( ) Tamanho:

4. O sol da manhã bate em quais cômodos da casa? ( ) quartos ( ) salas ( ) cozinha ( ) outros_____

5. O sol da tarde bate em quais cômodos da casa? ( ) quartos ( ) salas ( ) cozinha ( ) outros_____

6. Quantos desses aparelhos têm na sua residência?
Chuveiro elétrico ( ) Geladeira ( ) Freezer ( ) Aparelho de Som ( ) T.V ( ) DVD ( ) Computador ( ) Microondas ( )
vídeo cassete ( ) Torneira elétrica ( ) luminárias de jardim (spots) ( ) Máquina de lavar roupa ( ) Máquina de lavar louça ( )
Ferro de passar roupa ( )

7. Qual é o tipo de aquecimento (água)? Elétrico ( ) Solar ( ) A gás ( )

8. Em quais dos três meses: dezembro ( ) janeiro ( ) ou fevereiro ( ) que mais tem gente em casa?

9. Quantos aparelhos de refrigeração têm na sua casa? Ar condicionado ( ) Ventilador ( )

10. Em quais cômodos eles se encontram?
Ar condicionado: ( ) quartos ( ) salas ( ) cozinha ( ) outros_____
Ventilador: ( ) quartos ( ) salas ( ) cozinha ( ) outros_____

11. Como usa cada um dos aparelhos? Colocar entre parênteses o número de aparelhos referente a cada forma de uso.
Ar condicionado:
( ) Ligo apenas quando está muito calor. Qual horário?
( ) deixo sempre ligado. Qual horário?
( ) Ligo apenas durante o dia (em todas as épocas do ano). Qual horário?
( ) Ligo apenas durante o dia (nos dias quentes). Qual horário?
( ) Ligo apenas durante a noite (em todas as épocas do ano). Qual horário?
( ) Ligo apenas durante a noite (nos dias quentes). Qual horário?

Ventilador:
( ) Ligo apenas quando está muito calor. Qual horário?
( ) deixo sempre ligado. Qual horário?
( ) Ligo apenas durante o dia (em todas as épocas do ano). Qual horário?
( ) Ligo apenas durante o dia (nos dias quentes). Qual horário?
( ) Ligo apenas durante a noite (em todas as épocas do ano). Qual horário?
( ) Ligo apenas durante a noite (nos dias quentes). Qual horário?

12. Em quais dos três meses: junho ( ) julho ( ) ou agosto ( ) que mais tem gente em casa?

13. Quantos aquecedores de ar têm na sua casa?

14. Em quais cômodos eles se encontram?

15. Como você usa esses aparelhos? Colocar entre parênteses o número de aparelhos referente a cada forma de uso.
( ) Ligo apenas quando está muito frio. Qual horário
( ) deixo sempre ligado. Qual horário?
( ) Ligo apenas durante o dia (em todas as épocas do ano). Qual horário?
( ) Ligo apenas durante o dia (nos dias frios). Qual horário?
( ) Ligo apenas durante a noite (em todas as épocas do ano). Qual horário?
( ) Ligo apenas durante a noite (nos dias frios). Qual horário?

Figura 7 – Questionário aplicado às residências

3.3.5 Média de exemplares por residência

O valor referente a exemplares por residência compreende a soma dos valores médios de plantas de dentro do terreno e da frente das residências, obtido através dos questionários e da classificação das espécies da frente das residências. Somou-se o número de plantas que havia dentro dos terrenos das casas entrevistadas e dividiu-se pelo número total de casas que responderam o questionário. Tal média foi somada ao valor médio de plantas na frente das casas (soma das plantas existentes na frente de cada residência dividido pelo total de cem residências). Assim, chegou-se a um valor médio de quantas plantas havia por residência, nas três áreas.

3.3.6 Dados de consumo de energia elétrica

Foram obtidos, junto à Concessionária de energia elétrica, AES ELETROPAULO, dados de consumo (em kWh – quilowatt-hora) das trezentas residências amostradas dos meses de junho de 2006 até março de 2007.

3.4 Estimativa de Graus-Hora de calor

De acordo com Roriz (2001), considerou-se como sendo Graus-Hora a quantidade de graus que ultrapassou a temperatura de neutralidade térmica (Tn), ou seja, a diferença horária entre a temperatura do ar exterior e a Tn. Com base em norma desenvolvida pela ANSI/ASHRAE (2004), Tn é definida como a média entre as temperaturas do ar sob as quais a maioria das pessoas não sente calor ou frio. Existe um limite de tolerância (o qual atende a 90% das pessoas) que estabelece uma margem de 2,5^{o}C de tolerância, ou seja, 2,5^{o}C acima da Tn indica o limite superior de conforto (também chamado de Graus-Hora de calor) e 2,5^{o}C abaixo de Tn, o limite inferior (Graus-Hora de frio).

Assim, para obter a Tn, foi calculada a temperatura média exterior (TMExt). Utilizaram-se dados de temperaturas médias dos meses de setembro de 2006 e março de 2007, dos últimos dez anos, fornecidos pelo Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo (IAG/USP).

O cálculo da Tn é mostrado na equação 3, de acordo com ANSI/ASHRAE (2004):

$$Tn = 17,6 + 0,31 \times TMExt \quad (3)$$

Sendo:

Tn: temperatura de neutralidade;

TMExt: temperatura média externa

Para a obtenção das temperaturas horárias das três áreas foi feita uma estimativa com base na estação fixa mais próxima às mesmas (estação de referência).

Foram analisadas as oscilações de temperaturas ao longo do dia na estação de referência e tais oscilações comparadas com as obtidas nos quatro horários de coleta. Tais oscilações foram calculadas, hora a hora, de acordo com Roriz[1] pela diferença entre a temperatura no horário (h) e a temperatura mínima diária. Tal diferença foi dividida pela amplitude (informação verbal).

Caso as curvas de oscilação fossem próximas, as temperaturas das áreas seriam estimadas na mesma proporção da referência. Caso contrário, seriam tomadas as temperaturas mais altas de cada dia para identificar as diferenças entre os pontos medidos e a estação de referência.

Estimadas as temperaturas horárias das áreas foi, então, calculada, hora a hora, a quantidade de graus Celsius que ultrapassava o limite superior em cada uma das quatro áreas (1, 2, 3 e referência), nos dois períodos estudados, resultando em valores de Graus-Hora de calor por dia.

Foi feita a classificação supervisionada da área em que se localizava a estação de referência, o que permitiu a relação entre as classificações nas quatro áreas e seus respectivos valores de Graus-Hora de calor.

[1] RORIZ, M. Universidade Federal de São Carlos – UFSCAR.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Definição das áreas de estudo

4.1.1 Aplicação de índice de vegetação em imagens de alta resolução - IKONOS II

Os mosaicos montados das sessenta e sete cenas nas duas bandas (NIR e Red) podem ser vistos nas figuras 8 e 9 respectivamente.

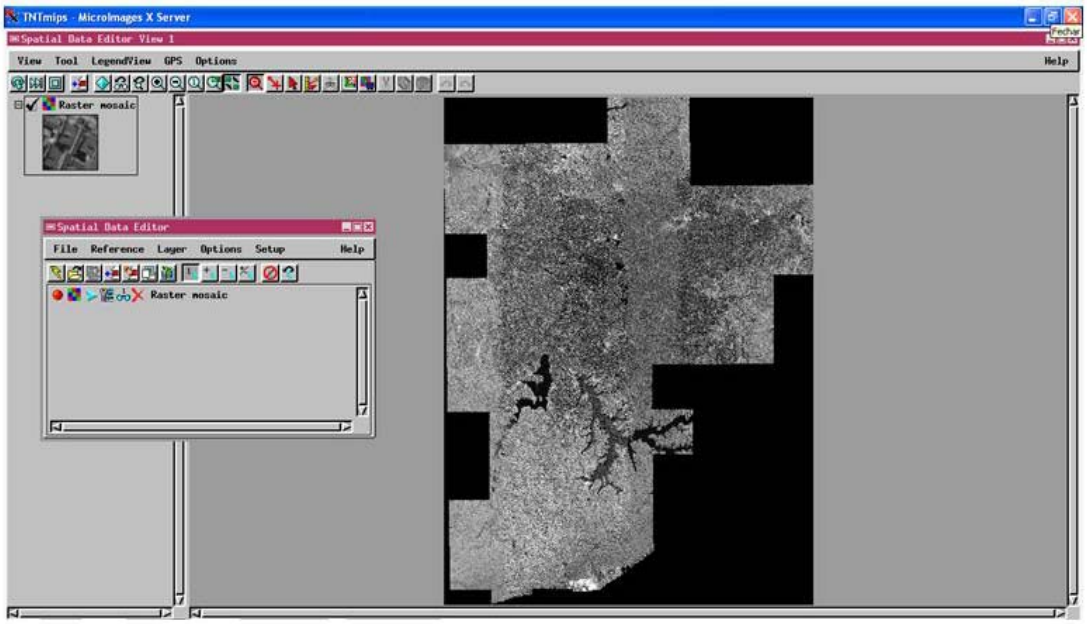


Figura 8 - Mosaico das sessenta e sete cenas do satélite Ikonos II, da banda NIR, abrangendo o Município de São Paulo, na tela do programa TNT Mips 6.8

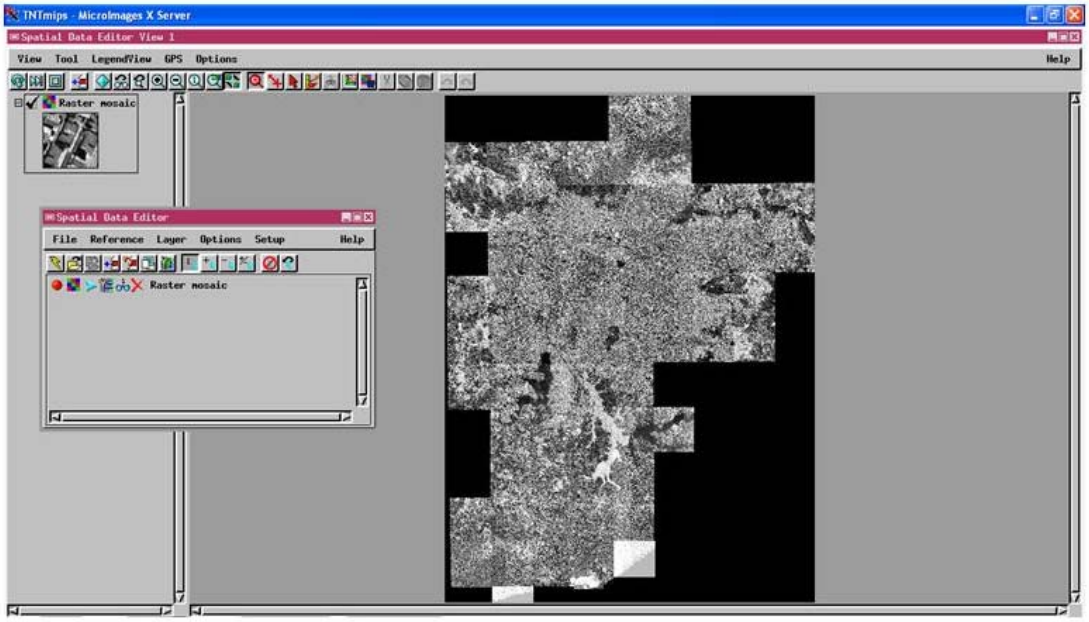


Figura 9 - Mosaico das sessenta e sete cenas do satélite Ikonos II, da banda Red, abrangendo o Município de São Paulo, na tela do programa TNT Mips 6.8

A partir dos dois mosaicos foi gerado o índice de vegetação NDVI. Seu resultado pode ser visto na figura 10.

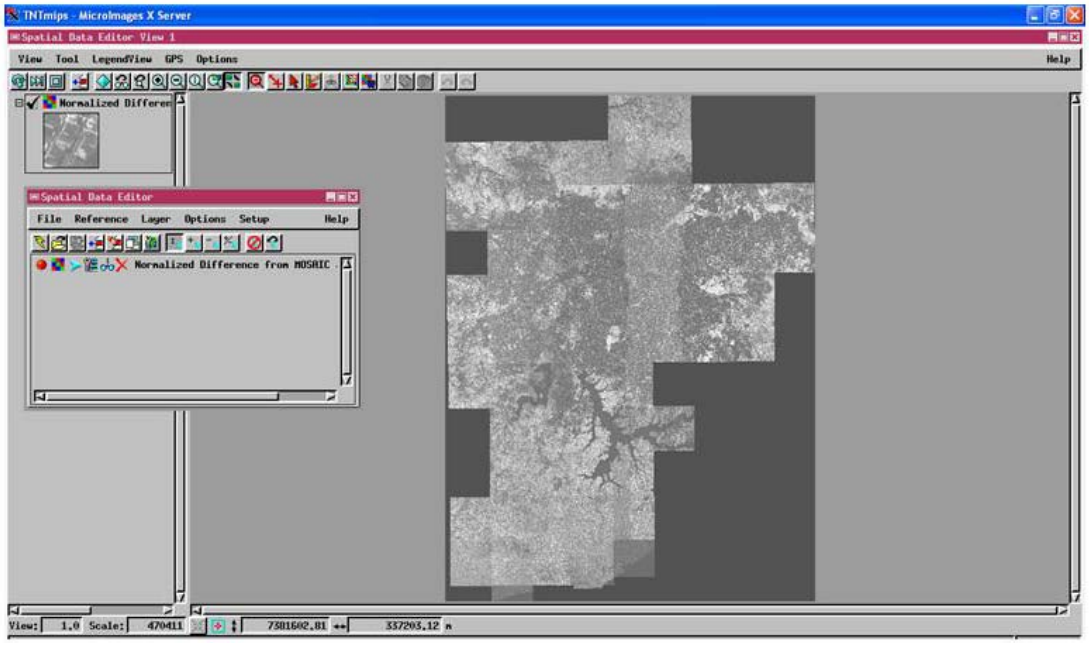


Figura 10 - Índice de vegetação (NDVI) em área abrangendo o Município de SP, na tela do programa TNT Mips 6.8

A figura 11 mostra o NDVI e o limite que confere o Município de São Paulo.

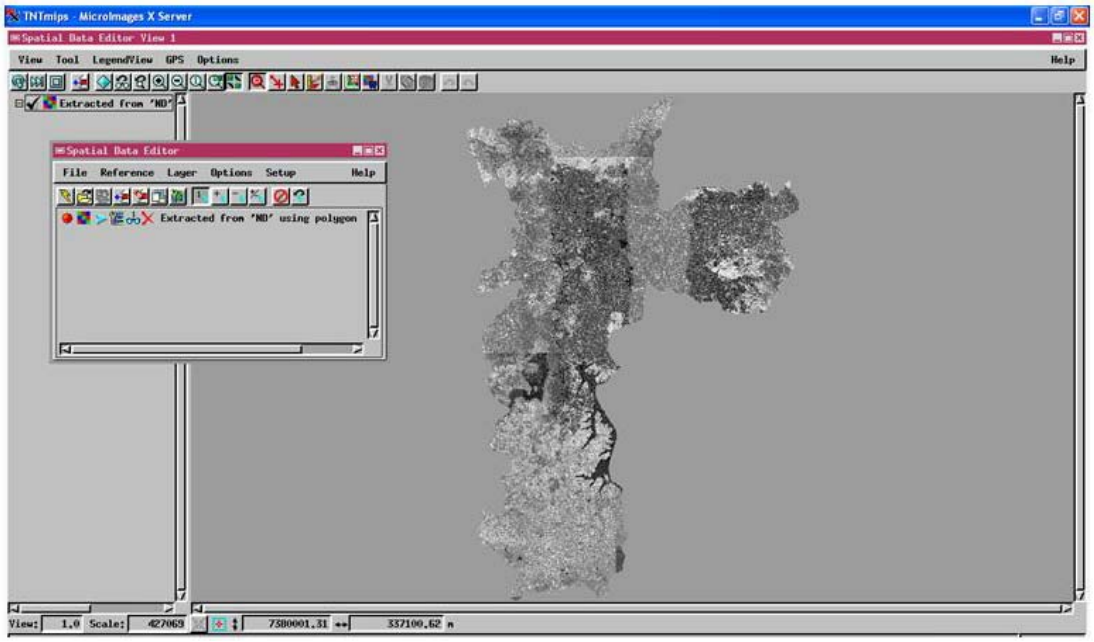


Figura 11 - Índice de vegetação NDVI no limite do Município de SP, na tela do programa TNT Mips 6.8

Notou-se, com a obtenção do índice, uma desigualdade de cores, sendo nítida a presença de faixas que não deveriam ter ocorrido. Tal fato demonstrou a ocorrência de algum tipo de erro, o que impedia a obtenção de um índice que representasse, fielmente, todo o município. Isso ainda é reforçado pelo fato do NDVI ser interpretado por tonalidade de cores, ou seja, a variação na presença de vegetação deve ser representada por uma diferença de cor; um erro gerado no índice resultando em diferentes faixas de tonalidade poderia prejudicar a correta interpretação do mesmo.

Com isso, iniciou-se uma tentativa de corrigir essa diferença na tonalidade do índice através de ferramentas fornecidas pelo software utilizado. Os mosaicos foram gerados novamente, bem como o índice, para conferir se o procedimento tinha sido feito de maneira correta. Todavia, não houve diferença no resultado. Também foram feitos diversos testes com a geração dos mosaicos e a aplicação de filtros de normalização e equalização, no intuito de homogeneizar a tonalidade, mas os resultados não foram positivos. Assim, as cenas foram estudadas individualmente e descobriu-se que a diferença de tonalidade estava dentro de cada cena, sendo que

grande parte das cenas fornecidas estava com essa diferença de cor. Uma possível explicação para esse problema é a de que as cenas foram obtidas no ano de 2002 e algumas foram corrigidas no ano seguinte, o que pode ter gerado tal diferença.

Com essa constatação, e com a impossibilidade de obter outras cenas, procurou-se corrigir aquelas que apresentavam tal problema, uma a uma, para assim gerar novamente os mosaicos e, em seguida, o índice de vegetação.

Desse modo, somando as bandas do vermelho e infravermelho, totalizavam cento e trinta e quatro cenas a serem corrigidas. O procedimento feito foi o de, cena a cena, dividi-la em dois pedaços, exatamente no limite onde estava a diferença de coloração. Então, uniram-se - com a aplicação de um filtro de equalização - novamente os pedaços, no intuito de homogeneizar a tonalidade dentro de cada cena.

O procedimento adotado para cada cena que apresentava alteração de tonalidade é indicado abaixo, a partir de figuras que ilustram os passos acima descritos: a identificação do erro, a divisão da cena em dois pedaços e a unificação a partir da aplicação do filtro (Figura 12).

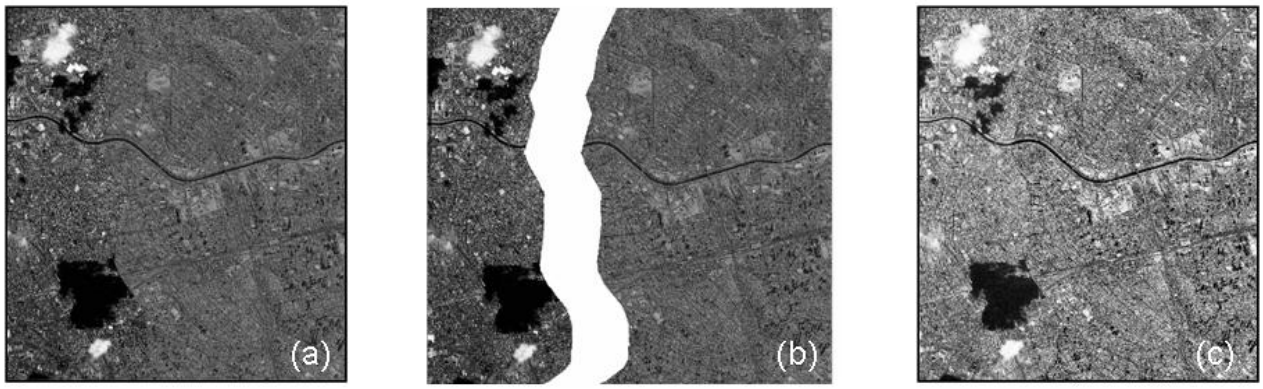


Figura 12 – Cena NIR mostrando (a) diferença de tonalidade, (b) divisão em dois pedaços e (c) união com a aplicação do filtro de equalização

Notou-se com a aplicação do filtro que a cena ficou mais homogênea em termos de coloração, embora ainda fosse possível notar diferença de cor. Assim, foi feito o mesmo procedimento nas cento e trinta e quatro cenas. Em seguida foi feito o mosaico das sessenta e sete cenas do NIR e das sessenta e sete cenas do Red, resultando

novamente em duas cenas (uma de cada banda) abrangendo o Município de SP, agora equalizadas. A partir dos mosaicos já equalizados das bandas NIR e Red, o novo índice de vegetação foi gerado, agora com uso de cenas equalizadas. Tal índice pode ser visto na figura 13.

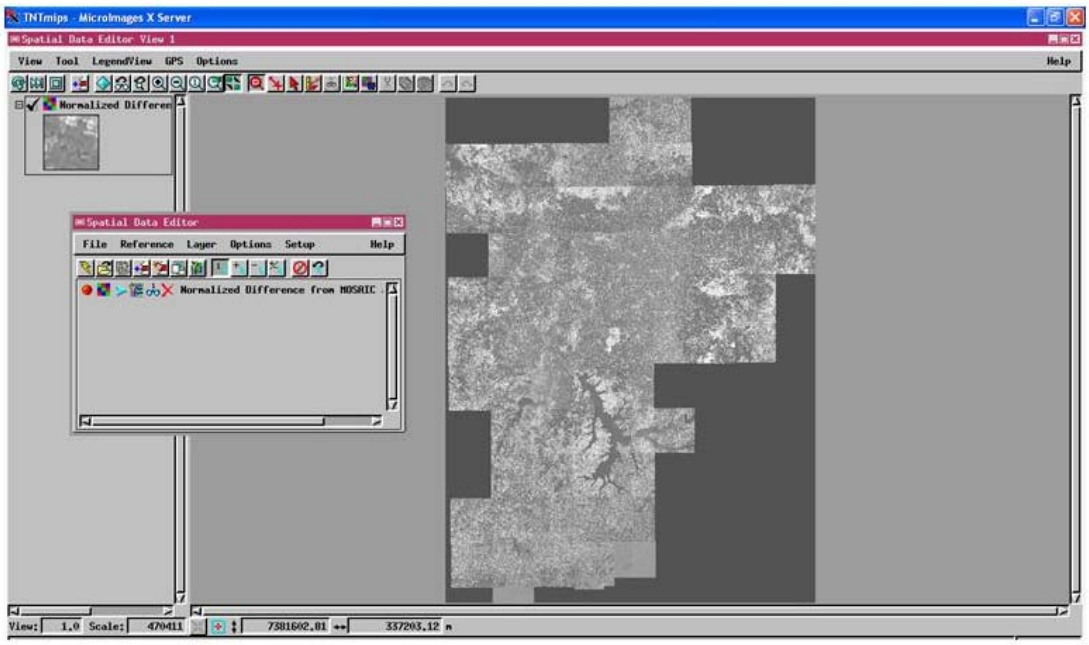


Figura 13 - Índice NDVI equalizado, na tela do programa TNT Mips 6.8

Notou-se com a figura precedente que a aplicação do filtro de equalização não solucionou os problemas de diferença de tonalidade: embora tenha havido uma relativa homogeneização das faixas anteriormente vistas, observou-se uma fragmentação das cenas, o que não ocorre quando o resultado do índice é correto.

Desta forma, optou-se pelo uso do primeiro índice gerado (figura 10) e a escolha de uma das faixas (de cor homogênea) para ser o objeto de estudo. Assim, as três áreas a serem trabalhadas seriam escolhidas dentro de uma única faixa, desde que homogênea e que abrangesse áreas com diferenças de vegetação. Tal faixa pode ser vista em destaque na figura 14.

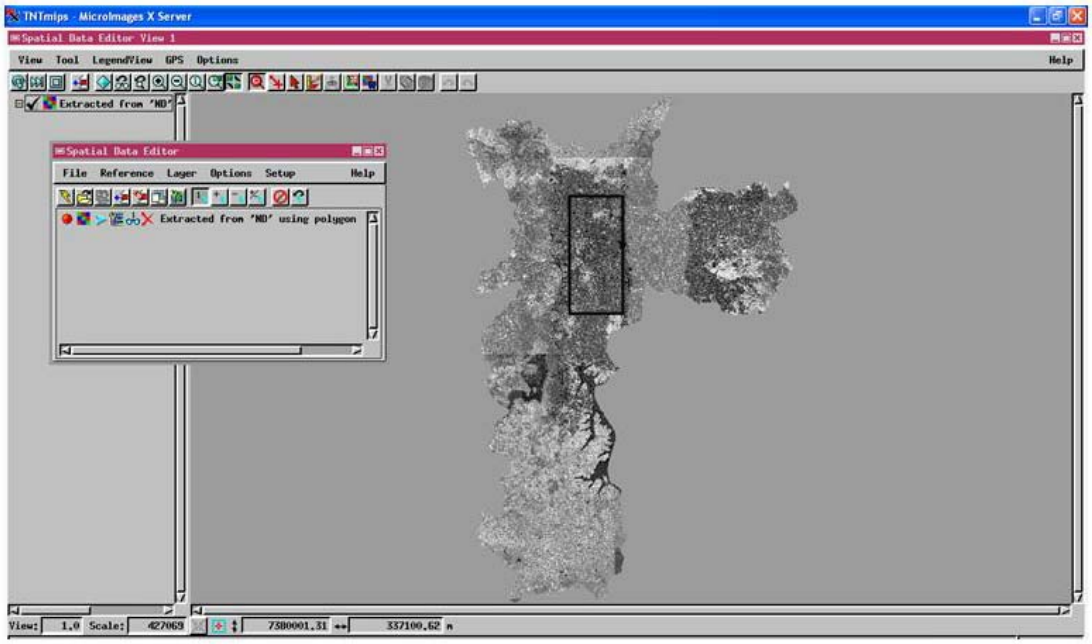


Figura 14 – Índice de vegetação (NDVI) com faixa homogênea em destaque, na tela do programa TNT Mips 6.8

4.1.2 Mapas do Município de São Paulo e aferição a campo

Com a área homogênea definida em termos de densidade de vegetação foram então escolhidas três áreas que se enquadravam dentro da classe I de unidade climática urbana (Classe Urbana Central), como pode ser visto na figura 15; e dentro da classe I de unidades climáticas “naturais” (Classe Clima Tropical Úmido de Altitude do Planalto Paulistano) como pode ser visto na figura 16.

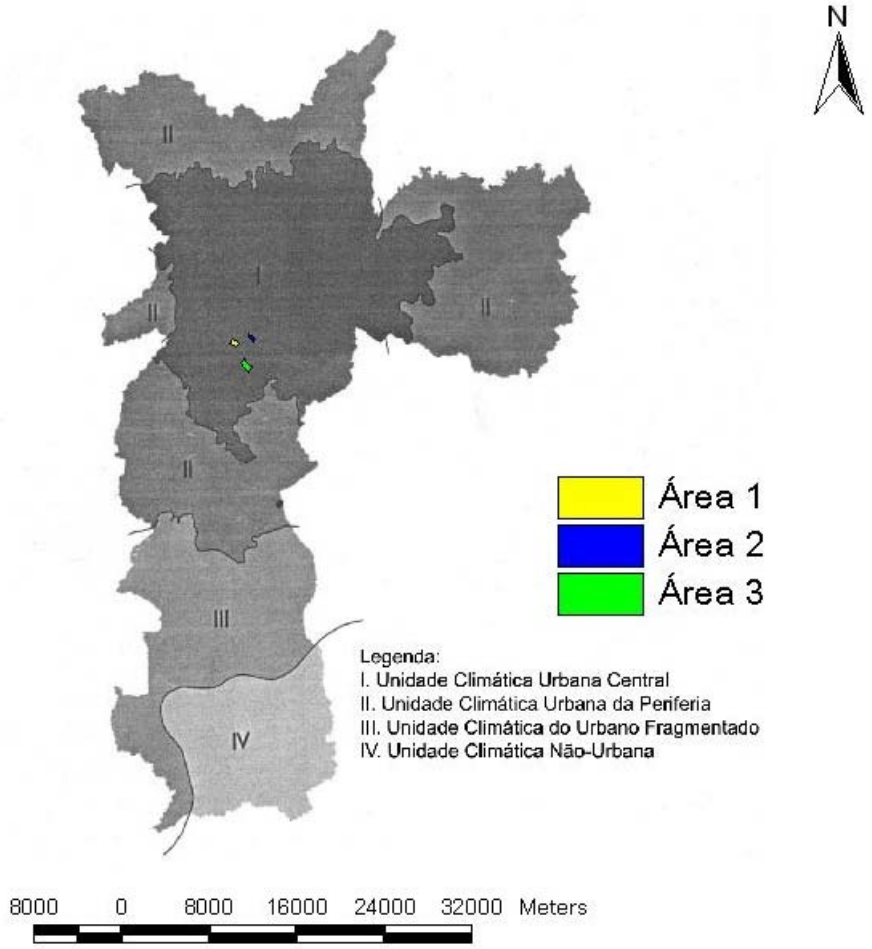


Figura 15 – Unidades Climáticas Urbanas com as três áreas de estudo localizadas

Fonte: Adaptado de Tarifa e Armani (2001a)

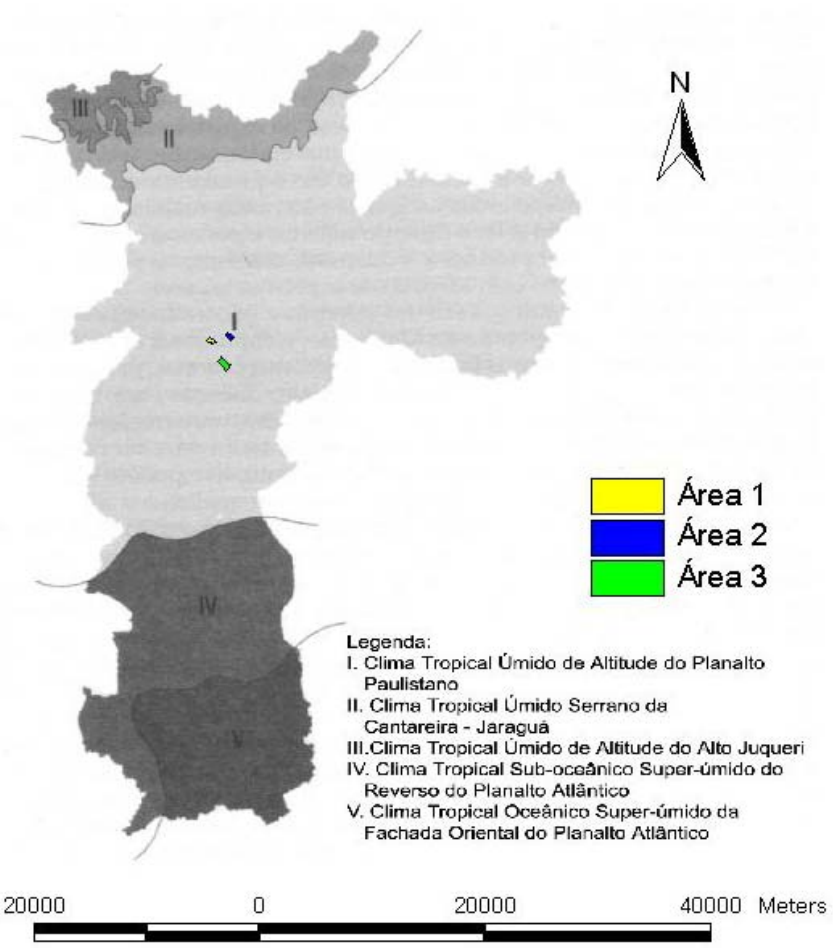


Figura 16 – Unidades climáticas “naturais” com as três áreas de estudo localizadas
Fonte: Adaptado de Tarifa e Armani (2001b)

Em uma menor escala climática, onde as cinco unidades climáticas “naturais” mostradas na Figura 16 foram divididas em vinte e seis unidades climáticas “naturais”, as três áreas de estudo também foram localizadas. De acordo com Tarifa e Armani (2001b), as vinte e seis unidades climáticas tinham altitude variando de 50 à 950m. As áreas de estudo localizaram-se em uma altitude que variou entre 720 e 800m. A área 1 encontrava-se em sua totalidade na unidade climática “natural” de altitude entre 720 à 740m (no mapa denominada de IC3). Já a área 2, a uma altitude de 740 à 800m (no mapa denominada de IB2). Por fim, a área 3 localizava-se, parte à uma altitude semelhante à área 1 (IC3 – 720 à 740m) e parte semelhante á área 2 (IB2 – 740 à

800m). A Figura 17 mostra a localização das três áreas nas unidades climáticas “naturais”.

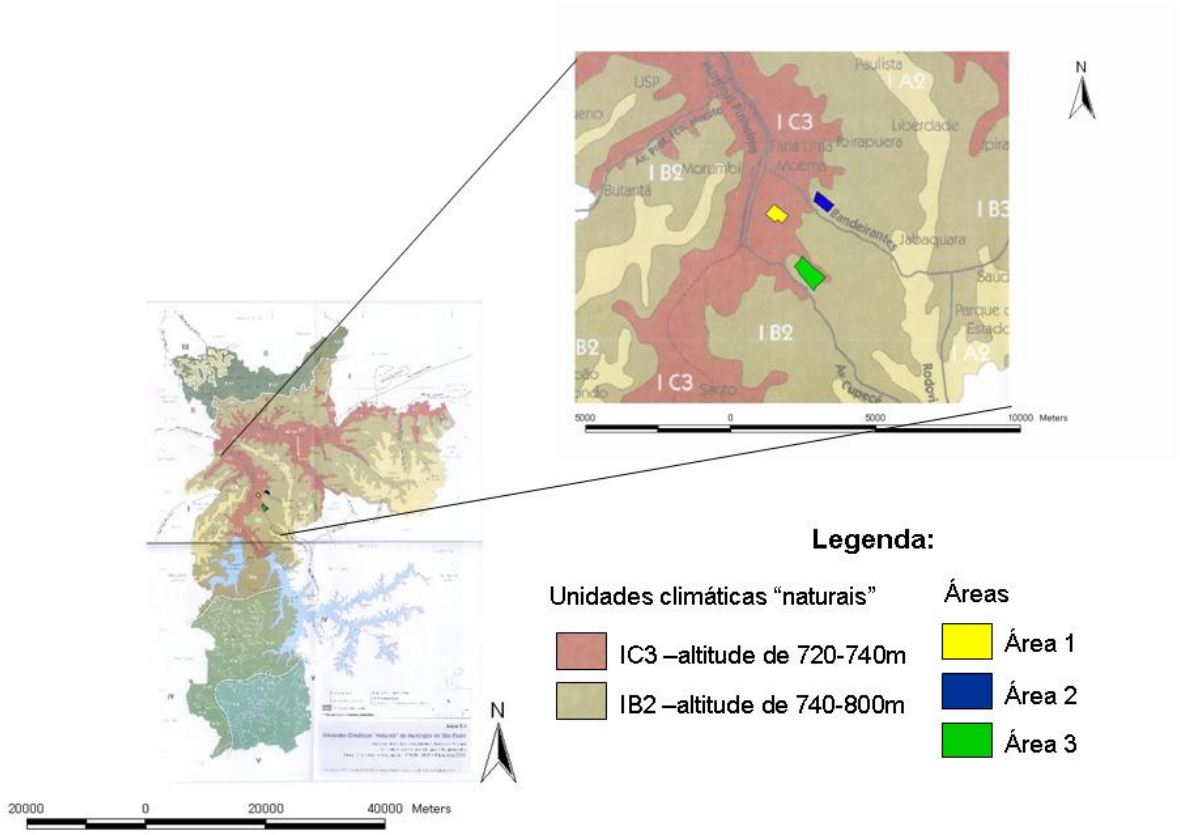


Figura 17 – Unidades climáticas “naturais” com destaque para a localização das áreas
Fonte: Adaptado de Tarifa e Armani (2001b)

Comparando com o mapa de consumo médio de energia elétrica, observa-se que as três áreas estavam localizadas em regiões da mesma classe de consumo, fato favorável ao trabalho, por facilitar a comparação. A figura 18 mostra o mapa do município caracterizado por classes de consumo médio de energia elétrica (em kWh médio), bem como a localização das três áreas.

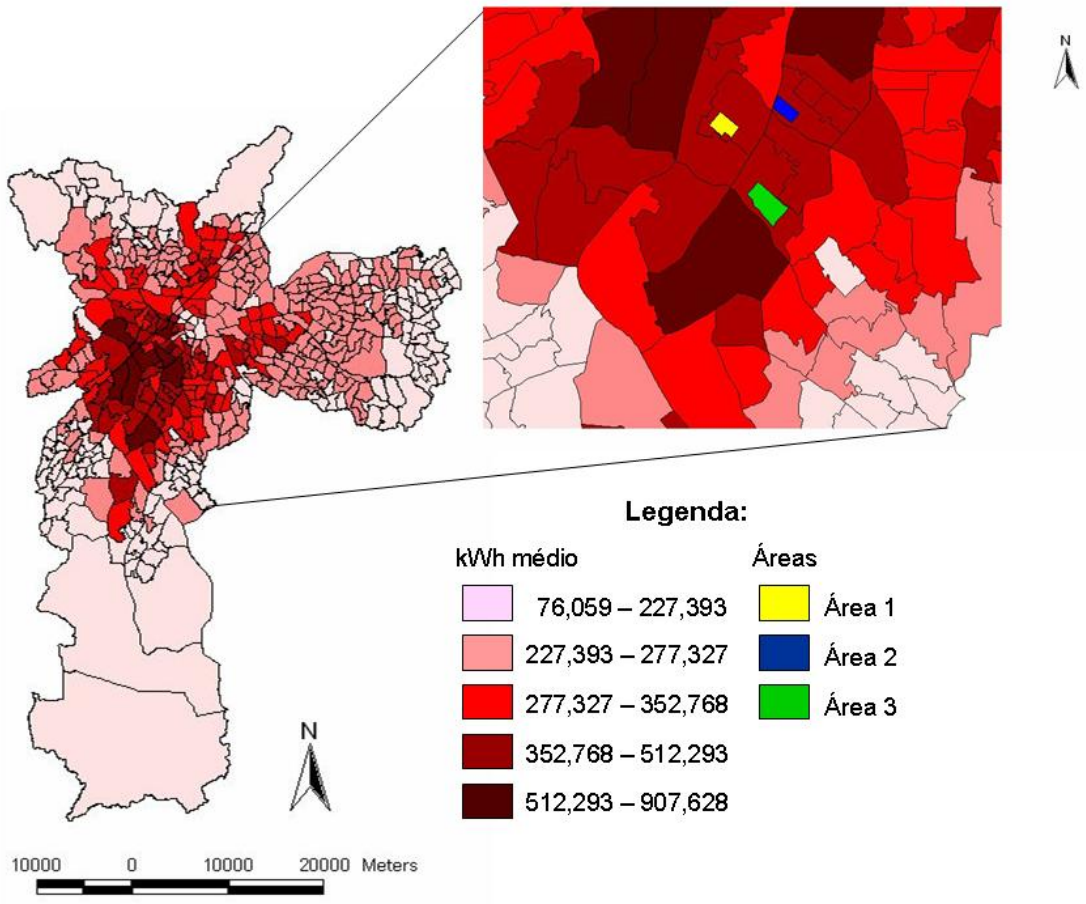
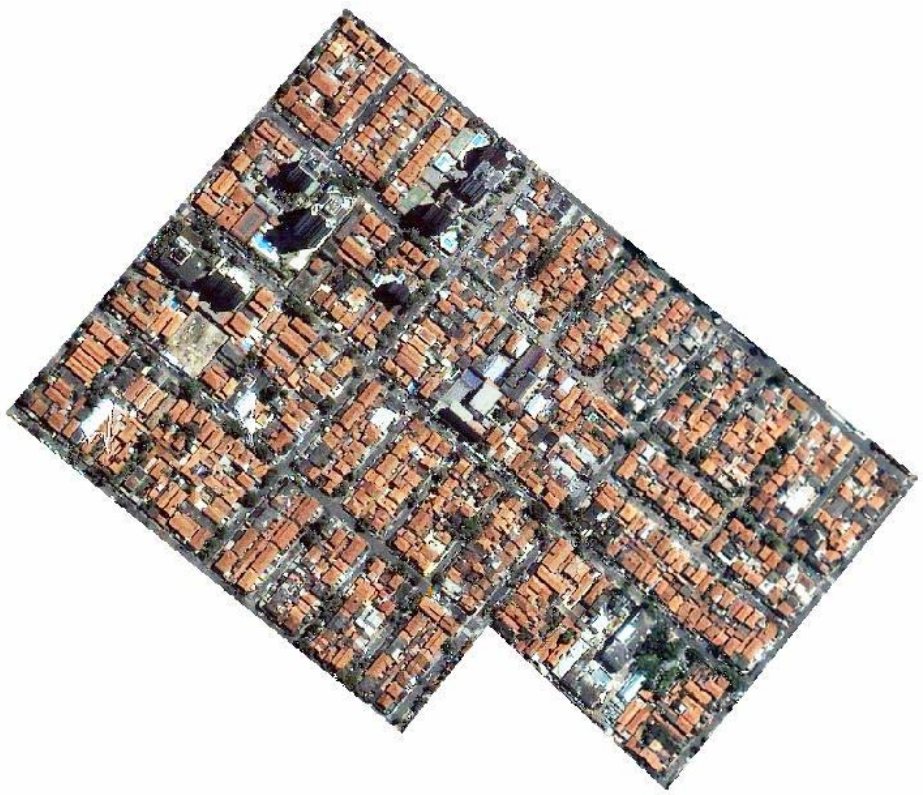


Figura 18 – Classes de consumo de energia elétrica (kWh médio) no município de São Paulo e a localização das áreas 1, 2 e 3

Fonte: Adaptado de Francisco (2006)

4.1.3 Classificação Supervisionada

As cenas em RGB e NIR cortadas das áreas 1, 2 e 3 (que foram utilizadas na classificação supervisionada) podem ser vistas nas figuras 19, 20 e 21, respectivamente.



(A)

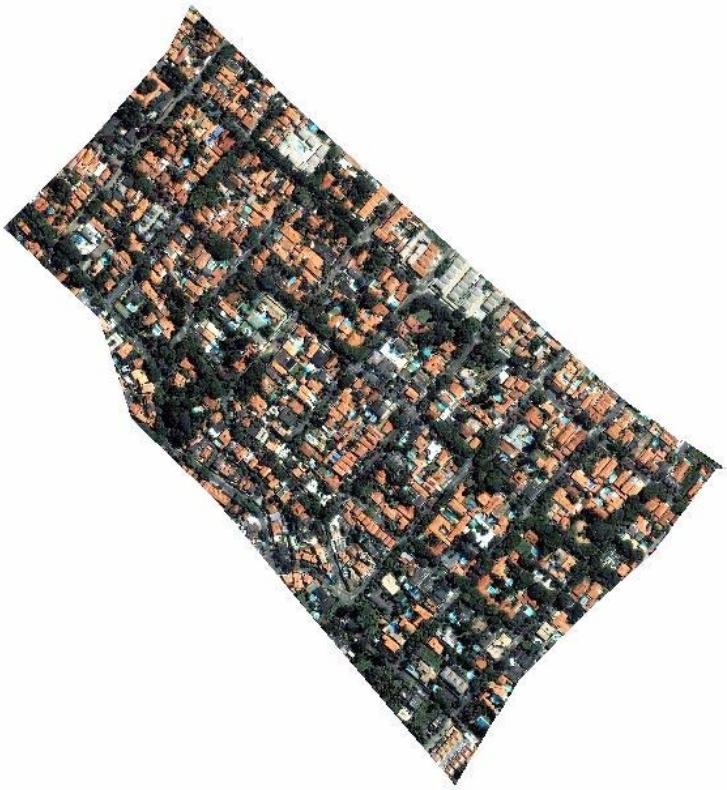
(B)

Figura 19 – Recorte da área 1 em RGB (A) e NIR (B)

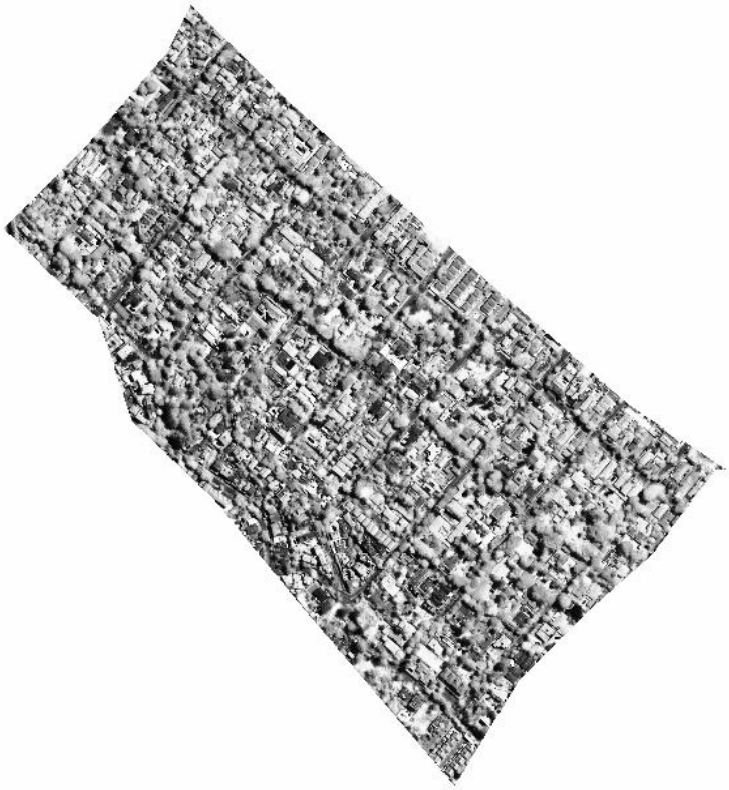
(A)

(B)

Figura 20 – Recorte da área 2 em RGB (A) e NIR (B)



(A)



(B)

Figura 21 – Recorte da área 3 em RGB (A) e NIR (B)

Com base em análise visual das regiões, foram definidas oito classes de ocupação, a saber: asfalto, outro piso, sombra, telhado cerâmico, telhado claro, telhado escuro, água e árvores/arbusto. A classe denominada “outro piso” abrangeu pisos que não eram asfalto, tais como áreas permeáveis (de terra, grama), entre outros. As piscinas das residências foram as únicas expressões da presença de água nas três áreas sendo essa a composição da classe de mesmo nome.

O resultado da classificação supervisionada, da matriz de erro e do dendrograma por distância euclidiana pode ser visto nas figuras de 22 a 30.

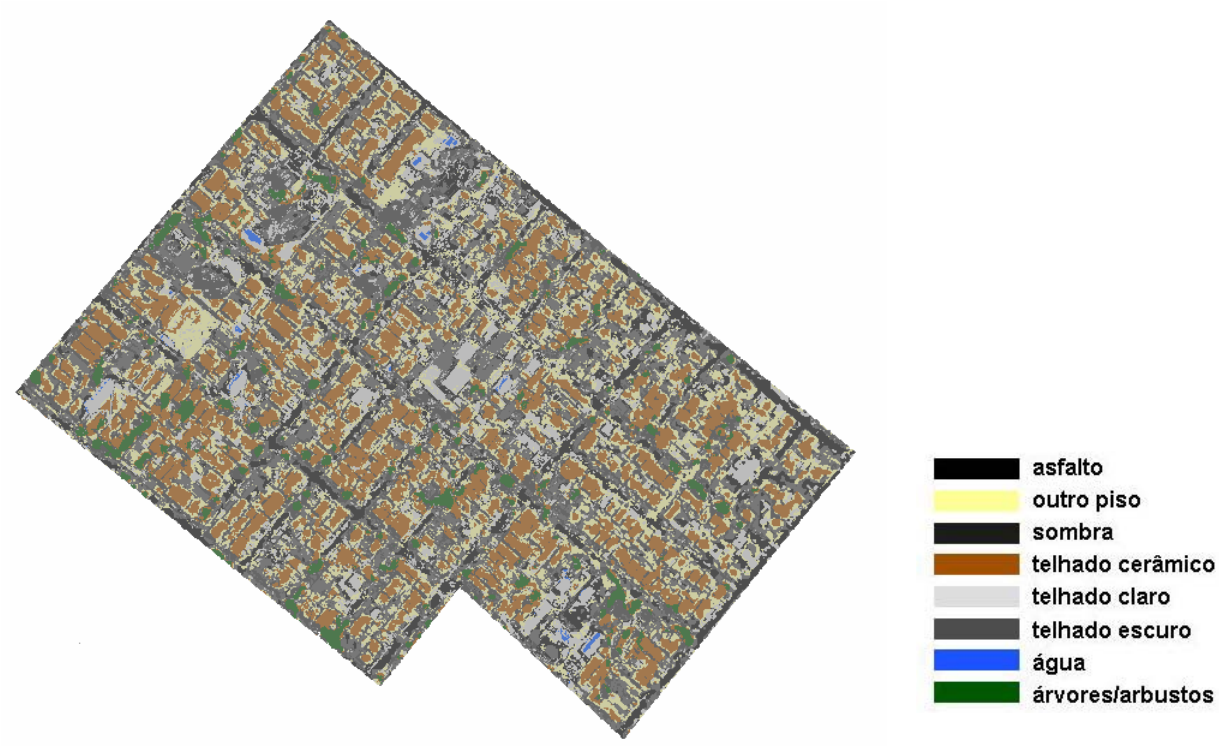


Figura 22 – Classificação supervisionada na área 1 com legenda das oito classes utilizadas

Error Matrix

Ground Truth Raster... ADO\ÁREAS\AREA 1\Classificação_FINAL\treinador_audit.rvc / TRAINING_SET Help Close

Ground Truth Data

Classificatio Name	árvores/	asfalto	telhado	telhado	água	telhado	sombra	outro pi	Total	Accuracy
árvores/	57	0	0	0	0	0	0	12	69	82.61%
asfalto	0	52	0	4	0	0	0	0	56	92.86%
telhado	0	0	332	0	0	0	0	36	368	90.22%
telhado	0	0	0	61	0	0	0	0	61	100.00%
água	0	0	0	0	16	0	0	0	16	100.00%
telhado	0	1	0	0	0	37	0	19	57	64.91%
sombra	0	0	0	1	0	0	22	0	23	95.65%
outro pi	0	1	1	0	0	2	0	61	65	93.85%
Total	57	54	333	66	16	39	22	128	715	
Accuracy	100.00%	96.30%	99.70%	92.42%	100.00%	94.87%	100.00%	47.66%		

Overall Accuracy = 89.23% Khat Statistic = 84.97%

Figura 23 – Matriz de erro da classificação supervisionada da área 1, na tela do programa TNT Mips 6.8

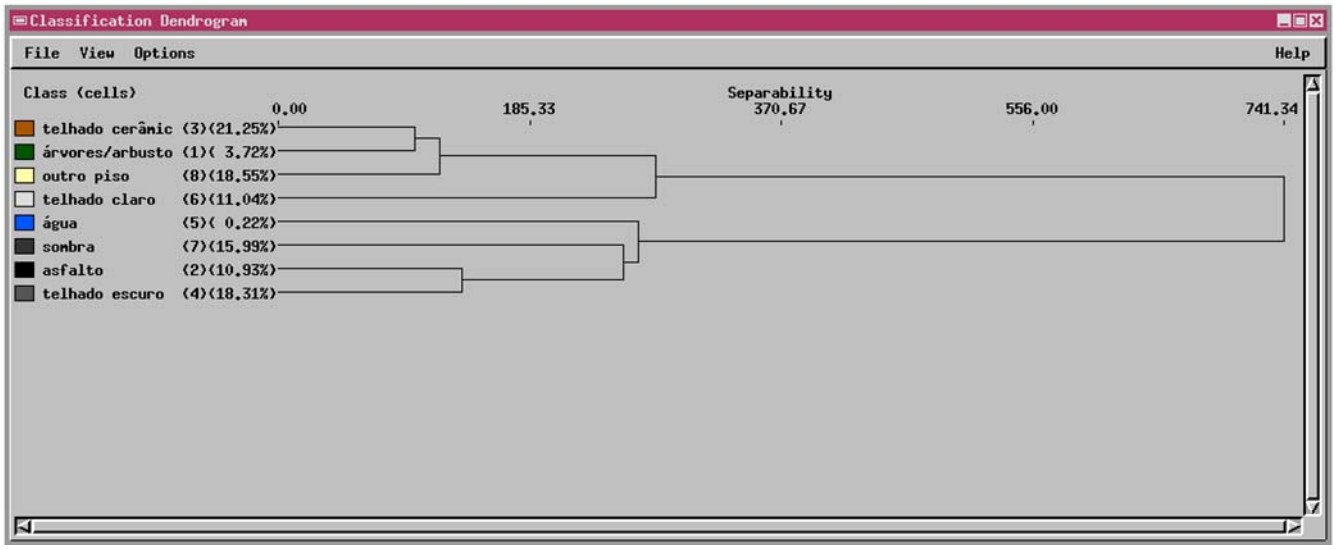


Figura 24 – Dendrograma da área 1, na tela do programa TNT Mips 6.8

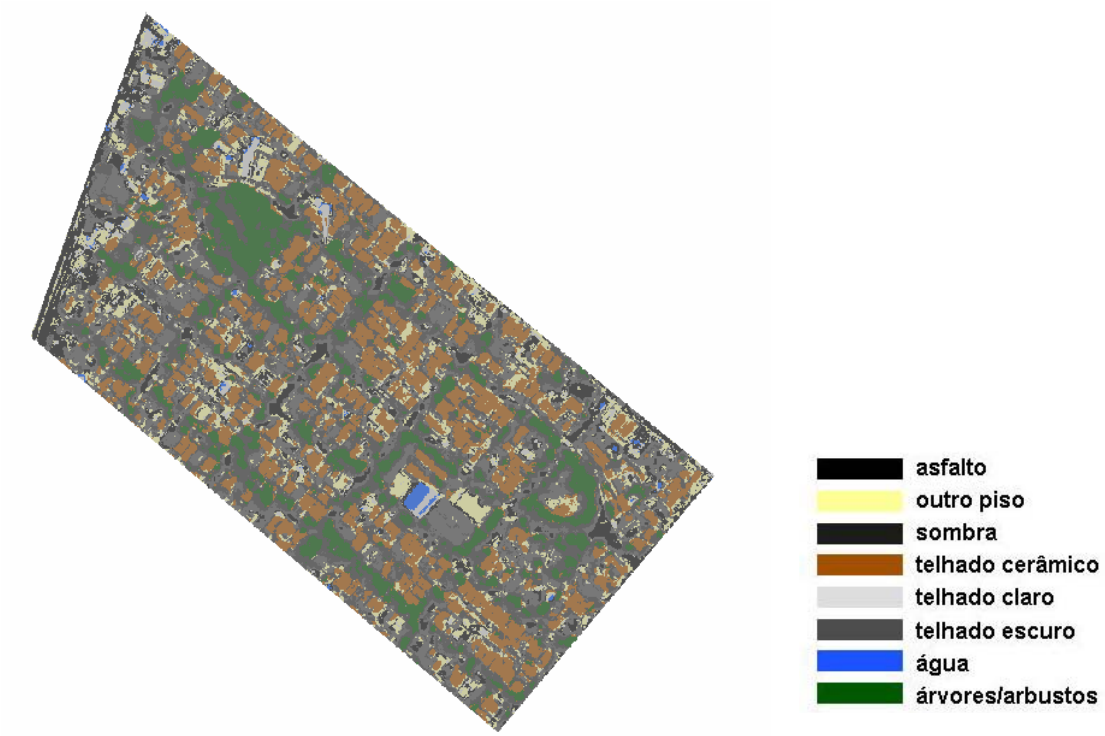


Figura 25 - Classificação supervisionada na área 2 com legenda das oito classes utilizadas

Error Matrix

Ground Truth Raster... DRADO\ÁREAS\AREA 2\Classificação_FINAL\treinador_audit.rvc / TRAINING_SET Help Close

Classificatio	Ground Truth Data									
Name	árvores/	asfalto	telhado	telhado	água	telhado	sombra	outro pi	Total	Accuracy
árvores/	96	0	0	0	0	0	0	0	96	100.00%
asfalto	0	123	0	0	0	2	0	15	140	87.86%
telhado	0	0	110	0	0	0	0	0	110	100.00%
telhado	0	8	0	102	0	0	0	0	110	92.73%
água	0	0	0	0	9	27	0	0	36	75.00%
telhado	0	0	0	0	1	9	0	0	10	90.00%
sombra	0	0	0	0	0	0	6	0	6	100.00%
outro pi	0	0	0	0	1	16	0	39	56	69.64%
Total	96	131	110	102	11	54	6	54	564	
Accuracy	100.00%	93.89%	100.00%	100.00%	0.00%	66.67%	100.00%	72.22%		

Overall Accuracy = 90.78% Khat Statistic = 88.79%

Figura 26 - Matriz de erro da classificação supervisionada da área 2, na tela do programa TNT Mips 6.8

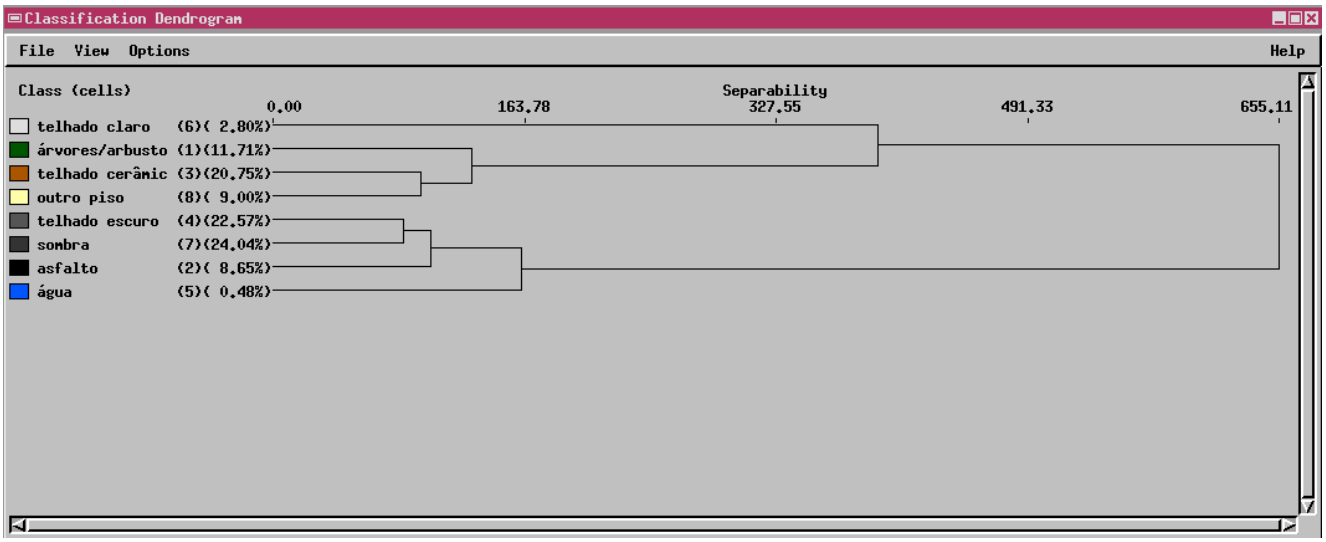


Figura 27 – Dendrograma da área 2 na tela do programa TNT Mips 6.8

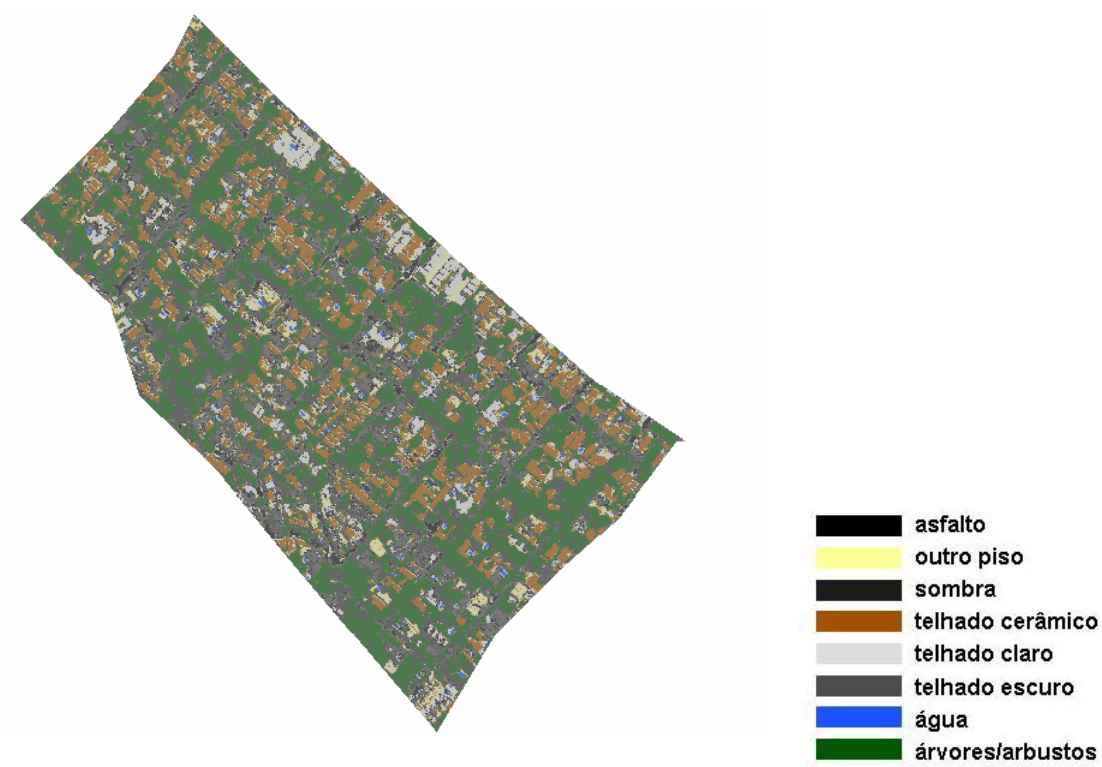


Figura 28 - Classificação supervisionada na área 3 com legenda das oito classes utilizadas

Error Matrix

Ground Truth Raster... ADO\ÁREAS\AREA 3\Classificação_FINAL\trein_auditor.rvc / TRAINING_SET Help Close

Ground Truth Data

Classificatio Name	árvores/	asfalto	telhado	telhado	água	telhado	sombra	outro pi	Total	Accuracy
árvores/	275	0	0	0	0	0	0	0	275	100.00%
asfalto	0	76	0	2	1	0	0	0	79	96.20%
telhado	0	0	161	0	0	0	0	0	161	100.00%
telhado	0	4	0	29	0	0	0	0	33	87.88%
água	0	0	0	0	29	0	0	0	29	100.00%
telhado	0	2	1	0	1	76	0	15	95	80.00%
sombra	0	0	0	0	0	0	22	0	22	100.00%
outro pi	0	0	1	0	0	12	0	39	52	75.00%
Total	275	82	163	31	31	88	22	54	746	
Accuracy	100.00%	92.68%	98.77%	93.55%	93.55%	86.36%	100.00%	72.22%		

Overall Accuracy = 94.77% Khat Statistic = 93.31%

Figura 29 - Matriz de erro da classificação supervisionada da área 3, na tela do programa TNT Mips 6.8

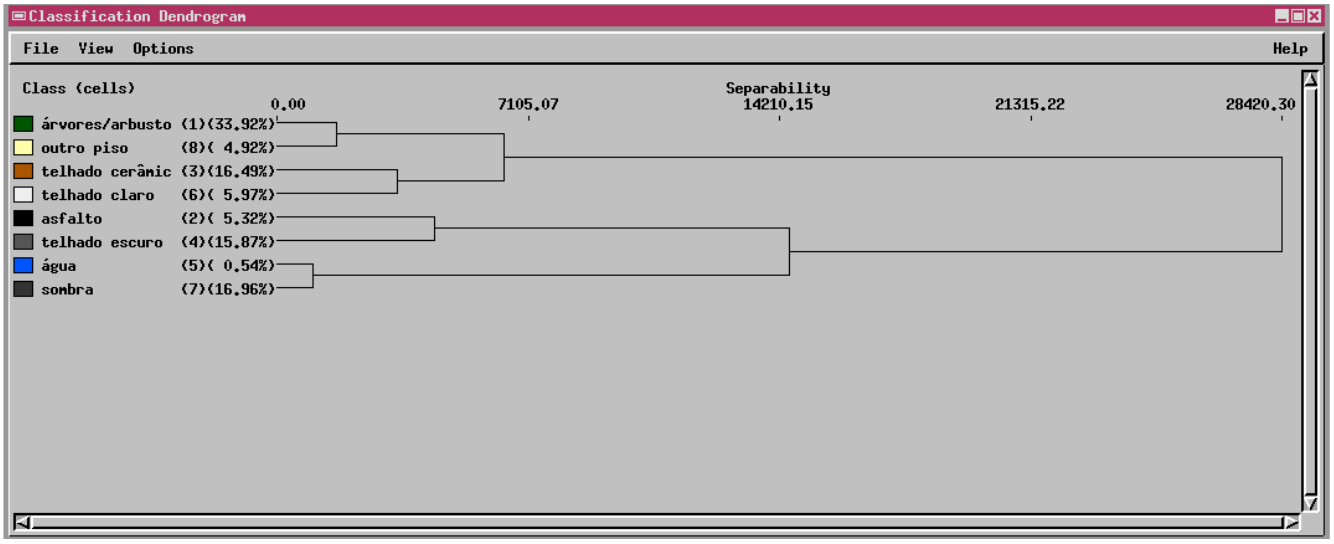


Figura 30 – Dendrograma da área 3 na tela do programa TNT Mips 6.8

A respeito da classificação supervisionada, pode-se dizer que ocorreram algumas confusões entre classes devido à existência de alvos urbanos com assinaturas espectrais semelhantes, principalmente na área 2, onde a água foi confundida com telhado escuro.

É possível afirmar que os resultados da classificação supervisionada indicam a possibilidade de avaliação da estrutura urbana pelas imagens recortadas do satélite

IKONOS II, dado que o índice Kappa obtido foi de 84,97% na área 1, 88,79% na área 2 e 93,31 na área 3, todos acima de 80%, valor tido como excelente de acordo com a tabela mostrada no item 3.2.3 do material e métodos.

Analisando o dendrograma por distância euclidiana, nota-se que a classificação supervisionada confirmou o encontrado na aplicação do índice de vegetação, onde a área 1 tem menor porcentagem de vegetação (3,72%), seguida da área 2 (11,71%) e 3 (33,92%).

A partir da análise dos dendrogramas, podem-se fazer algumas considerações. Nota-se que o fator que teve maior variação de porcentagem entre as áreas foi a vegetação, com uma diferença de 30,2% entre as áreas 1 e 3. O percentual de água, por sua vez, foi semelhante nas três áreas. Já o percentual de sombra diferiu entre as áreas, mas este não é um elemento que pode ser analisado apenas com um valor pontual de porcentagem, já que varia ao longo do dia, da época do ano, entre outros. Finalmente, as variações dos outros elementos – os tipos de telhados, os outros tipos de pisos e o asfalto – entre as áreas 1 e 3 foram em média de 5%, não sendo consideradas, para o presente estudo, como significativas. Isto porque, em alguns casos, a área 1 continha maior porcentagem de elementos que poderiam resultar em uma maior temperatura do ar (tal como maior porcentagem de asfalto) quando comparada à área 3, mas em contrapartida, continha maior porcentagem de outros elementos (como o telhado claro e os outros pisos), os quais teriam a função de reduzir os valores de temperatura. Considerou-se, desta forma, que as áreas poderiam ser avaliadas como homogêneas em termos dos elementos classificados, exceto em relação à porcentagem de vegetação.

4.2 Coleta e análise de dados

Os dados foram coletados em duas épocas: no mês de setembro de 2006 e março de 2007.

4.2 1 Amostragem das residências

Corresponderam à área 1 dezenove ruas: Flórida, Cipriano Lopes França, Ana Pereira Leão, Guaraiúva, Cincinati, Chicago, Filadélfia, Hollywood, Los Angeles, Miami,

São João Brito, Califórnia, Michigan, Manguatá, Porto União, Munduba, Conceição de Monte Alegre, Arizona e Ribeiro do Vale. Dessas, somaram-se trinta e cinco quarteirões. Dividindo cem residências (total de amostras por área) por trinta e cinco, obteve-se um valor de 2,857 residências por quarteirão. Como não se pode amostrar valores quebrados, foi feita a única combinação possível: amostrar três residências em trinta quarteirões e duas residências em cinco quarteirões.

Já a área 2 envolvia trinta e quatro quarteirões distribuídos em dez ruas: Juruena, Praça Fernandes de Lima, Emb. Ribeiro Couto, Gaivota, Praça Paul Harris, Jauaperi, Ilamônia, Iraúna, Inhambu, Dr. José Cândido de Souza e Catuiçara, o que resultaria em amostrar 2,94 casas por quarteirão. Optou-se pela única combinação inteira possível: amostrar três casas em trinta e dois quarteirões e duas casas nos últimos dois quarteirões.

Por fim, a área 3 contou com trinta e seis quarteirões em onze ruas: Joaquim Nabuco, Porto Alegre, Laplace, João Álvares Soares, Zacarias de Góis, Sônia Ribeiro, Pirandello, Cristóvão Pereira, Vicente Leporace, República do Iraque e Tomé Portes, resultando em uma amostra de 2,7 casas por quarteirão. Assim, foram amostradas três casas nos primeiros vinte e oito quarteirões e duas casas nos oito restantes.

A Figura 31 ilustra algumas situações encontradas nas três áreas estudadas.

Figura 31 – Esquema ilustrativo que exemplifica as áreas 1, 2 e 3

4.2.2 Validação dos aparelhos

O resultado da validação dos aparelhos mostrou que não houve diferença estatística significativa entre eles, tanto nos valores de temperatura do ar (T_{ar}) medidos em graus Celsius (^oC) quanto nos valores de umidade relativa (UR) medidos em porcentagem (%), permitindo a comparação dos valores obtidos na coleta de dados. O resultado da análise estatística pode ser visto na tabela 3.

Tabela 3 – Médias de T_{ar} (^oC) e UR (%), em três diferentes temperaturas (0^oC, 25^oC e 45^oC) nos seis aparelhos HOBO, São Paulo, 2007

Médias	HOBO 1	HOBO 2	HOBO 3	HOBO 4	HOBO 5	HOBO 6
T_{ar} (^oC)	23,34a	23,34a	23,34a	23,34a	23,34a	23,34a
UR (%)	38,39a	39,20a	37,75a	38,29a	37,50a	38,27a

Nota: Médias seguidas de letras diferentes, na linha, diferem (P<0,05) pelo teste Tukey

4.2.3 Temperatura do ar (T_{ar}) e umidade relativa (UR)

A tabela 4 mostra a caracterização das áreas em termos de densidade de vegetação, indicando quais aparelhos foram utilizados em cada área.

Tabela 4 - Caracterização das áreas e aparelhos

Área	% de vegetação	HOBO – calçada	HOBO – rua
1	Baixa	I	II
2	Média	III	IV
3	Alta	V	VI

4.2.3.1 Setembro/2006

Foi feita a média de T_{ar} e UR dos quatro horários e dos dois locais (calçada e rua), nas três áreas. Os resultados podem ser vistos na tabela 5.

Tabela 5 – Médias de T_{ar} (^oC) e UR (%) dos horários (7:00h, 9:00h, 14:00h e 21:00h), da rua e calçada, nas três áreas, São Paulo, 2006

Médias	Área 1	Área 2	Área 3
T_{ar} (^oC)	21,61a	21,46b	21,25c
UR (%)	51,74a	51,88a	51,27a

Nota: Médias seguidas de letras diferentes, na linha, diferem (P<0,05) pelo teste Tukey.

Os resultados mostram um valor maior de T_{ar} na área 1, seguida da área 2 e uma menor T_{ar} na área 3, com uma diferença de 0,36^oC entre as áreas 1 e 3. Tal resultado confere com as pesquisas realizadas (mostradas no item 2.7 da revisão bibliográfica), em que um ambiente com maior presença de vegetação altera o microclima pela atenuação da radiação solar pela copa das árvores, reduzindo a fração de radiação que chega à superfície tal como o asfalto, por exemplo. Já a média de UR não resultou em diferença estatística significativa entre as áreas, analisando as médias dos horários e locais.

4.2.3.1.1 Rua e calçada

Analisando separadamente os quatro horários de coleta (7:00h, 9:00h, 14:00h e 21:00h), fazendo média dos quatro dias coletados e dos valores coletados na rua e na calçada, têm-se, na tabela 6 e na figura 32, os resultados das médias de T_{ar} e UR.

Tabela 6 – Médias de T_{ar} (^oC) e UR (%), da rua e calçada, nos horários (7:00h, 9:00h, 14:00h e 21:00h), nas três áreas, São Paulo, 2006

	Horário	Área 1	Área 2	Área 3
T_{ar} (^oC)	07:00	18,69b	19,29a	19,34a
	09:00	22,17a	21,38b	21,31b
	14:00	26,39a	26,01b	25,23c
	21:00	19,17a	19,16b	19,12c
UR (%)	07:00	68,14a	67,03b	67,00b
	09:00	47,69b	48,83a	48,87a
	14:00	37,32b	36,93c	38,76a
	21:00	53,80b	54,71a	50,43c

Nota: Médias seguidas de letras diferentes, na linha, diferem (P<0,05) pelo teste Tukey.

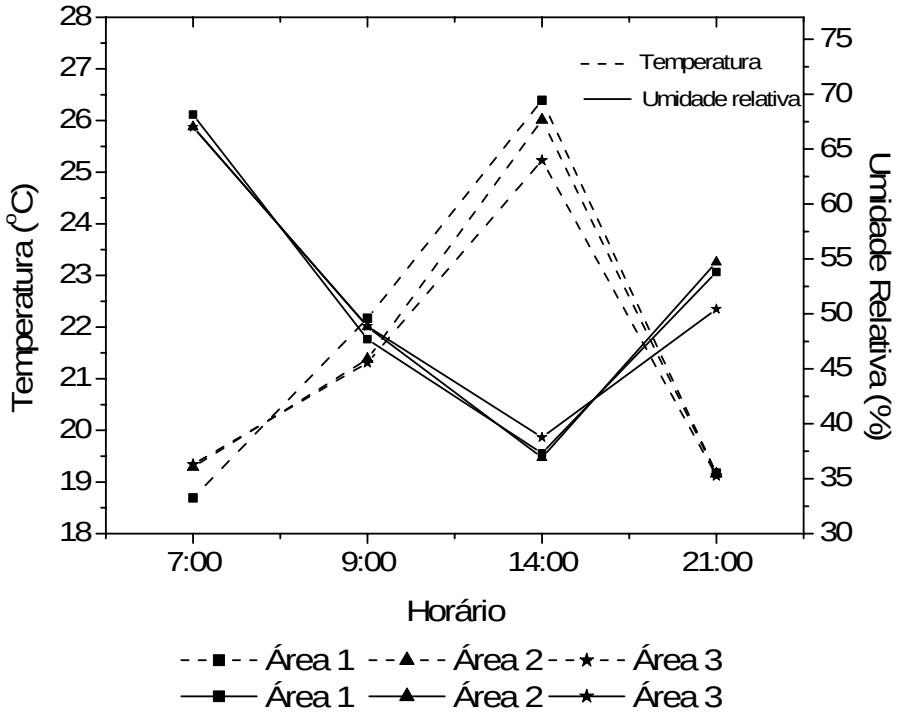


Figura 32 - Médias de T_{ar} (^oC) e UR (%), da rua e calçada, nos horários (7:00h, 9:00h, 14:00h e 21:00h), nas três áreas, São Paulo, 2006

Observa-se que, com exceção do horário das 7:00h, todos os outros horários apresentaram a mesma tendência em relação aos valores médios de T_{ar} com valores maiores na área 1, medianos na 2 e menores na área 3. Este resultado é muito

interessante visto colaborar com a hipótese de que áreas com maior presença de vegetação possuem valores menores de T_{ar}.

A T_{ar} no horário das 7:00h não apresentou essa tendência, sendo maior na área com maior vegetação. Esse resultado pode ser explicado pela capacidade que a vegetação tem na retenção de onda longa emitida pelas superfícies, fazendo com que o calor demore mais tempo para se dissipar. Assim, na área com menor vegetação a T_{ar} às 7:00h fica menor do que na área mais vegetada.

Por outro lado temos que a área mais vegetada, no horário mais quente (14:00h), conseguiu manter o ambiente com 1°C a menos que a área menos vegetada e, além disso, a área com menor vegetação demorou praticamente 10 horas (das 21:00h às 7:00h) para conseguir reduzir a temperatura em 1 ^{o}C.

Outro ponto interessante relaciona-se à amplitude térmica. Cabe lembrar que, neste caso, o termo amplitude térmica foi usado para mostrar a diferença entre temperatura máxima e mínima dos quatro horários coletados e não do dia todo, como por definição. A área 1 teve uma amplitude térmica maior (7,7^{o}C) quando comparada à área 2 (6,85^{o}C) e área 3 (6,11^{o}C), mostrando mais uma vez a influência da vegetação no microclima urbano.

4.2.3.1.2 Calçada

Os valores obtidos nas calçadas são mostrados na tabela 7 e na figura 33.

Tabela 7 – Médias de T_{ar} (^{o}C) e UR (%), na calçada, nos horários (7:00h, 9:00h, 14:00h e 21:00h), nas três áreas, São Paulo, 2006

	Horário	Área 1	Área 2	Área 3
T_{ar} (^{o}C)	07:00	18,69b	19,34a	19,44a
	09:00	22,17a	21,30b	21,17b
	14:00	26,39a	25,90b	25,07c
	21:00	19,17a	19,15b	19,12c
UR (%)	07:00	68,45a	66,64b	66,62b
	09:00	47,36b	49,24a	49,27a
	14:00	37,05b	37,23b	38,98a
	21:00	54,42a	54,00a	49,90a

Nota: Médias seguidas de letras diferentes, na linha, diferem (P<0,05) pelo teste Tukey.

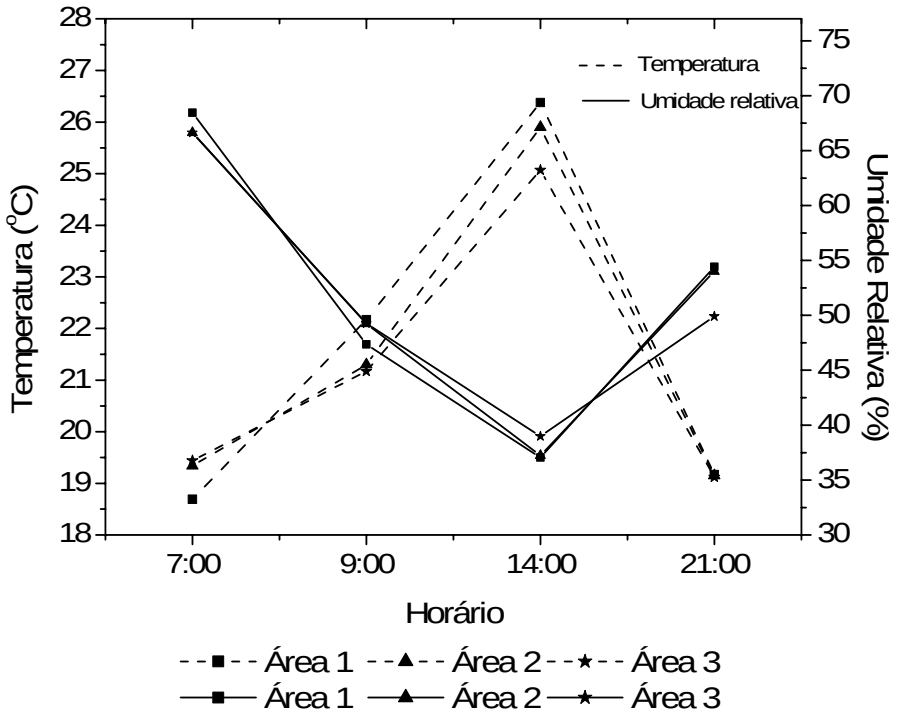


Figura 33 - Médias de T_{ar} (°C) e UR (%), na calçada, nos horários (7:00h, 9:00h, 14:00h e 21:00h), nas três áreas, São Paulo, 2006

A tendência dos resultados na calçada foi a mesma quando comparada aos valores de rua e calçada, com T_{ar} da área 1 menor que as outras áreas apenas no horário das 7:00h. A diferença na amplitude térmica entre as áreas quando analisada apenas valores na calçada foram ainda maiores. A área 1 teve uma amplitude de 7,7°C, a área 2 de 6,75°C e a área 3 de 5,95°C.

4.2.3.1.3 Rua

Os valores obtidos nas ruas são mostrados na tabela 8 e na figura 34.

Tabela 8 – Médias de T_{ar} (^oC) e UR (%), na rua, nos horários (7:00h, 9:00h, 14:00h e 21:00h), nas três áreas, São Paulo, 2006

	Horário	Área 1	Área 2	Área 3
T_{ar} (^oC)	07:00	18,69b	19,24a	19,24a
	09:00	22,16a	21,45b	21,44b
	14:00	26,40a	26,12b	25,40c
	21:00	19,17a	19,16b	19,13c
UR (%)	07:00	67,82a	67,42a	67,38a
	09:00	48,01a	48,44a	48,47a
	14:00	37,58b	36,63c	38,53a
	21:00	53,19b	55,42a	50,96c

Nota: Médias seguidas de letras diferentes, na linha, diferem (P<0,05) pelo teste Tukey.

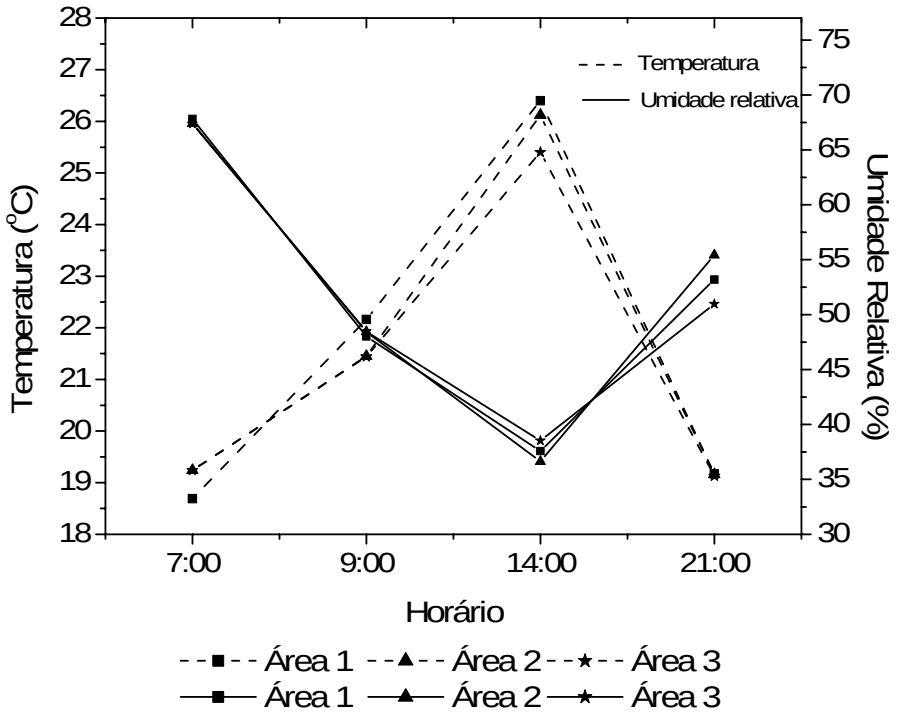


Figura 34 – Médias de T_{ar} (^oC) e UR (%), na rua, nos horários (7:00h, 9:00h, 14:00h e 21:00h), nas três áreas, São Paulo, 2006

A amplitude térmica dos dados coletados na rua mantiveram a mesma tendência, com um valor maior na área 1 (7,71^oC) quando comparado as áreas 2 (6,96^oC) e 3 (6,27^oC).

Notou-se com os resultados mostrados anteriormente que a tendência da T_{ar} nas três áreas foi a mesma, quer apenas na calçada, na rua ou na média entre calçada e rua. A maior diferença entre as áreas sempre ocorreu no horário mais quente (14:00h), mostrando a capacidade da vegetação em manter o ambiente, mesmo no horário de maior calor, com uma temperatura de até 1,32^{o}C menor quando comparado às áreas de menor vegetação.

4.2.3.2 Março

Foi feita a média de T_{ar} e UR dos quatro horários, dos dois locais (calçada e rua), nas três áreas. Os resultados podem ser vistos na tabela 9:

Tabela 9 – Médias de T_{ar} (^{o}C) e UR (%), dos horários (7:00h, 9:00h, 14:00h e 21:00h), da rua e calçada, nas três áreas, São Paulo, 2007

Médias	Área 1	Área 2	Área 3
T_{ar} (^{o}C)	26,69a	25,79b	25,46c
UR (%)	56,05b	56,34ab	56,86a

Nota: Médias seguidas de letras diferentes, na linha, diferem (P<0,05) pelo teste Tukey.

No período coletado, considerando a média dos dias, dos dois locais (calçada e rua) e dos quatro horários, tem-se uma T_{ar} maior na área 1, seguida da área 2 e uma menor T_{ar} na área 3, com uma diferença de 1,23^{o}C entre as áreas 1 e 3. A média de UR foi maior na área 3 quando comparada à área 1, com diferença estatística significativa.

4.2.3.2.1 Rua e calçada

Analisando separadamente os quatro horários de coleta (7:00h, 9:00h, 14:00h e 21:00h), fazendo média dos dias coletados e dos valores coletados na rua e na calçada, tem-se, na tabela 10 e na figura 35, os resultados das médias de T_{ar} e UR.

Tabela 10 – Médias de T_{ar} (^oC) e UR (%), da rua e calçada, nos horários (7:00h, 9:00h, 14:00h e 21:00h), nas três áreas, São Paulo, 2007

	Horário	Área 1	Área 2	Área 3
T_{ar} (^oC)	07:00	25,75a	25,12b	25,07b
	09:00	29,90a	28,00b	27,86b
	14:00	29,81a	29,14b	28,45c
	21:00	21,31a	20,88b	20,44c
UR (%)	07:00	72,21a	68,97b	68,92b
	09:00	41,85b	46,45a	46,51a
	14:00	49,03b	48,75b	51,49a
	21:00	61,12a	61,18a	60,52b

Nota: Médias seguidas de letras diferentes, na linha, diferem (P<0,05) pelo teste Tukey.

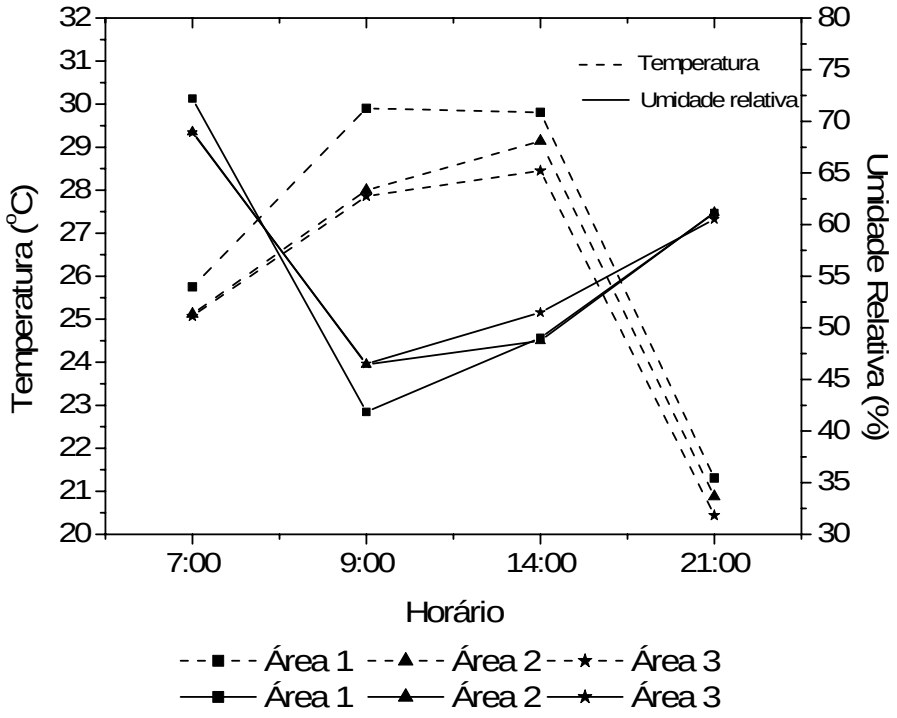


Figura 35 – Médias de T_{ar} (^oC) e UR (%), da rua e calçada, nos horários (7:00h, 9:00h, 14:00h e 21:00h), nas três áreas, São Paulo, 2007

Da mesma forma que ocorreu no período do inverno, a amplitude térmica na área 3 (8,01^oC) foi menor quando comparada às áreas 2 (8,26^oC) e 1 (8,59^oC).

Observa-se que, no mês de março, às 7:00h, a T_{ar} na área 1 foi maior que nas áreas 2 e 3, diferente do ocorrido no mês de setembro. Esse fato pode se dar devido à radiação solar já existente mesmo nos primeiros horários do dia, fazendo com que o efeito tampão provocado pela vegetação ocorresse apenas nessas primeiras horas, não sendo mais observado às 7:00h, quando já se verificavam valores altos de T_{ar}.

A maior diferença de T_{ar} entre áreas, na análise de dados de rua e calçada foi às 9:00h, com 2,04^{o}C a mais na área 1 comparada à 3. Às 14:00h, a diferença foi de 1,36^{o}C entre as áreas 1 e 3 e, às 21:00h, a área 3 ainda permanecia mais fria, com diferença de 0,87^{o}C em relação à 1. Nota-se, assim, a influência da vegetação nos horários mais quentes do dia, reduzindo as temperaturas máximas.

4.2.3.2.2 Calçada

Em se tratando apenas dos valores obtidos nas calçadas, tem-se os resultados na tabela 11 e na figura 36.

Tabela 11 – Médias de T_{ar} (^{o}C) e UR (%), na calçada, nos horários (7:00h, 9:00h, 14:00h e 21:00h), nas três áreas, São Paulo, 2007

	Horário	Área 1	Área 2	Área 3
T_{ar} (^{o}C)	07:00	25,70a	25,07b	24,99c
	09:00	29,75a	27,85b	27,61c
	14:00	29,77a	29,05b	28,25c
	21:00	21,29a	20,83b	20,31c
UR (%)	07:00	72,09a	68,33b	68,53b
	09:00	42,02b	47,35a	47,07a
	14:00	48,83b	49,33b	51,71a
	21:00	61,17a	61,04a	60,47b

Nota: Médias seguidas de letras diferentes, na linha, diferem (P<0,05) pelo teste Tukey

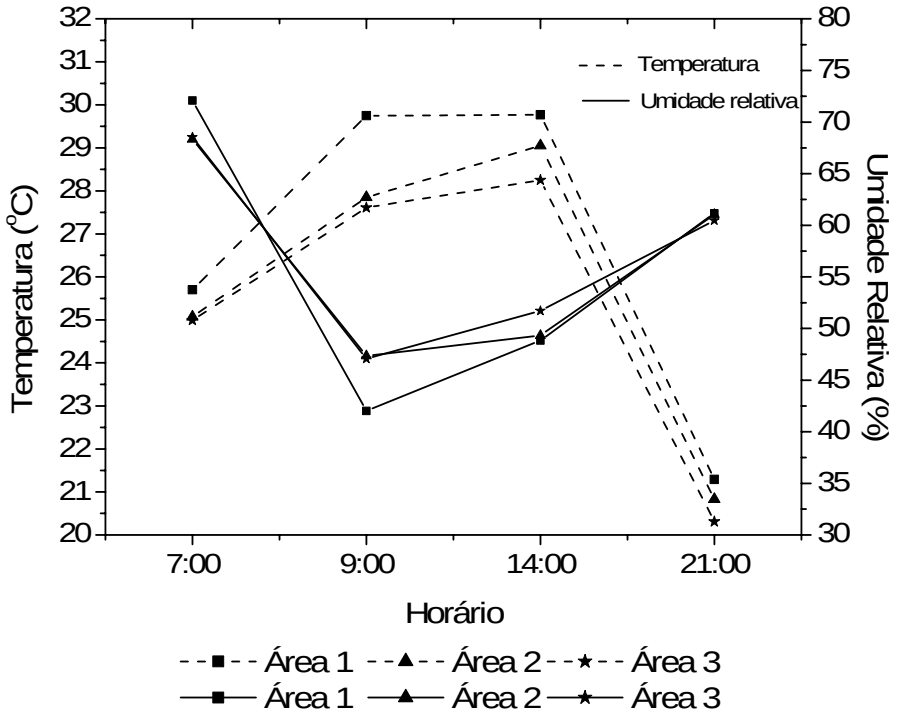


Figura 36 – Médias de T_{ar} (°C) e UR (%), na calçada, nos horários (7:00h, 9:00h, 14:00h e 21:00h), nas três áreas, São Paulo, 2007

Os dados coletados apenas na calçada foram análogos às médias obtidas entre rua e calçada, uma vez que a T_{ar} na área 1 foi maior que nas áreas 2 e 3 nas duas situações.

Os valores de amplitude térmica são também maiores na área 1 (8,48°C) quando comparados às áreas 2 (8,22°C) e 3 (7,94°C).

A maior diferença de T_{ar} entre áreas ocorreu no horário das 9:00h com a área 1 2,14°C mais quente que a área 3. A diferença às 14:00h entre as duas áreas foi de 1,52°C, às 21:00h de 0,98°C e às 7:00h de 0,71 °C.

4.2.3.2.3 Rua

Para os valores obtidos nas ruas temos os resultados na tabela 12 e figura 37.

Tabela 12 – Médias de T_{ar} (^oC) e UR (%), na rua, nos horários (7:00h, 9:00h, 14:00h e 21:00h), nas três áreas, São Paulo, 2007

	Horário	Área 1	Área 2	Área 3
T_{ar} (^oC)	07:00	25,80a	25,17b	25,16b
	09:00	30,05a	28,15b	28,11b
	14:00	29,85a	29,22b	28,65c
	21:00	21,34a	20,94b	20,57c
UR (%)	07:00	72,33a	69,61b	69,31b
	09:00	41,68b	45,54a	45,95a
	14:00	49,22b	48,18b	51,27a
	21:00	61,07a	61,32a	60,58b

Nota: Médias seguidas de letras diferentes, na linha, diferem (P<0,05) pelo teste Tukey

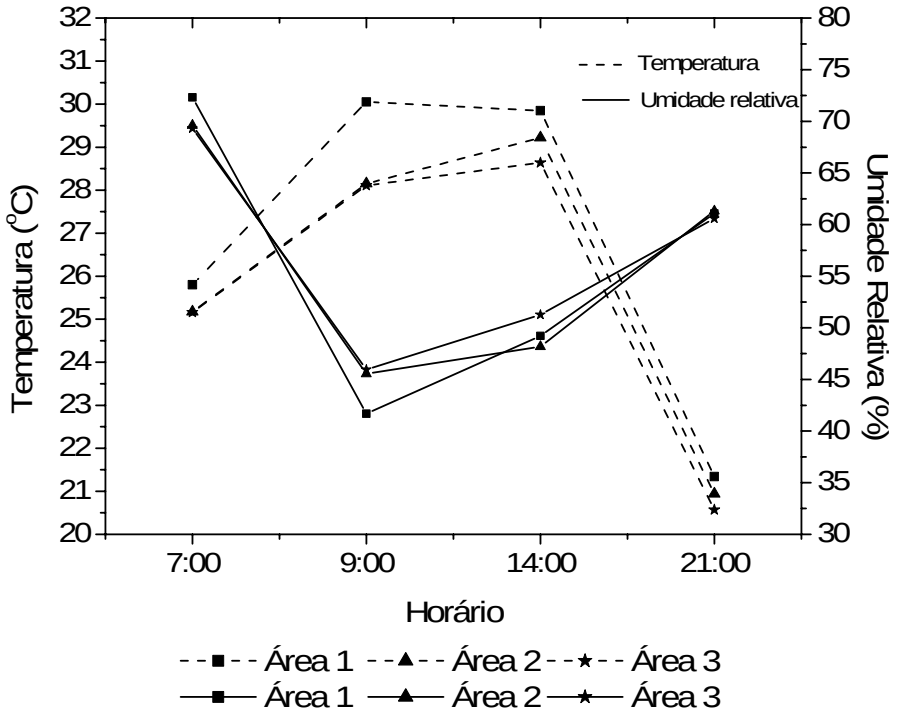


Figura 37 – Médias de T_{ar} (^oC) e UR (%), na rua, nos horários (7:00h, 9:00h, 14:00h e 21:00h), nas três áreas, São Paulo, 2007

Considerando os dados coletados na rua, a amplitude térmica da área 1 (8,71^oC) continuou maior que a área 2 (8,28^oC) e que a área 3 (8,08^oC).

A maior diferença de T_{ar} entre as áreas ocorreu, assim como nos dados de calçada e de calçada e rua, às 9:00h, com a área 1 apresentando 1,94^{o}C a mais que a área 3. Às 14:00h, a diferença entre as duas áreas foi de 1,20^{o}C, às 21:00h foi de 0,77^{o}C e às 7:00h de 0,64^{o}C.

Nota-se que no mês de março, todos os horários e locais de coleta seguiram a mesma tendência, com a área 1 mais quente que a área 2 e esta, por sua vez, mais quente que a área 3.

4.2.3.3 Março e Setembro

Foi feita uma média entre os dois períodos coletados, os quatro horários de coleta e os dois locais, obtendo-se os resultados na tabela 13.

Tabela 13 – Médias de T_{ar} (^{o}C) e UR (%), dos horários (7:00h, 9:00h, 14:00h e 21:00h), da rua e calçada, nas três áreas, São Paulo, 2006/2007

Médias	Área 1	Área 2	Área 3
T_{ar} (^{o}C)	24,15a	23,62b	23,35c
UR (%)	54,05a	54,20a	54,38a

Médias seguidas de letras diferentes, na linha, diferem (P<0,05) pelo teste Tukey.

A T_{ar} foi maior na área 1 quando comparada às áreas 2 e 3. Já a UR não teve diferença estatística significativa entre as áreas.

4.2.3.3.1 Rua e calçada

Analisando separadamente os quatro horários de coleta (7:00h, 9:00h, 14:00h e 21:00h) e fazendo a média dos dias e dos valores coletados na rua e na calçada, têm-se, na tabela 14 e na figura 38, os resultados das médias de T_{ar} e UR.

Tabela 14 – Médias de T_{ar} (^oC) e UR (%), da rua e calçada, nos horários (7:00h, 9:00h, 14:00h e 21:00h), nas três áreas, São Paulo, 2006/2007

	Horário	Área 1	Área 2	Área 3
T_{ar} (^oC)	07:00	22,22a	22,20a	22,21a
	09:00	26,03a	24,69b	24,58b
	14:00	28,10a	27,57b	26,84c
	21:00	20,24a	20,02b	19,78c
UR (%)	07:00	70,18a	68,00a	67,96a
	09:00	44,77b	47,64a	47,69a
	14:00	43,17b	42,84b	45,12a
	21:00	58,11a	58,33a	56,76b

Nota: Médias seguidas de letras diferentes, na linha, diferem (P<0,05) pelo teste Tukey.

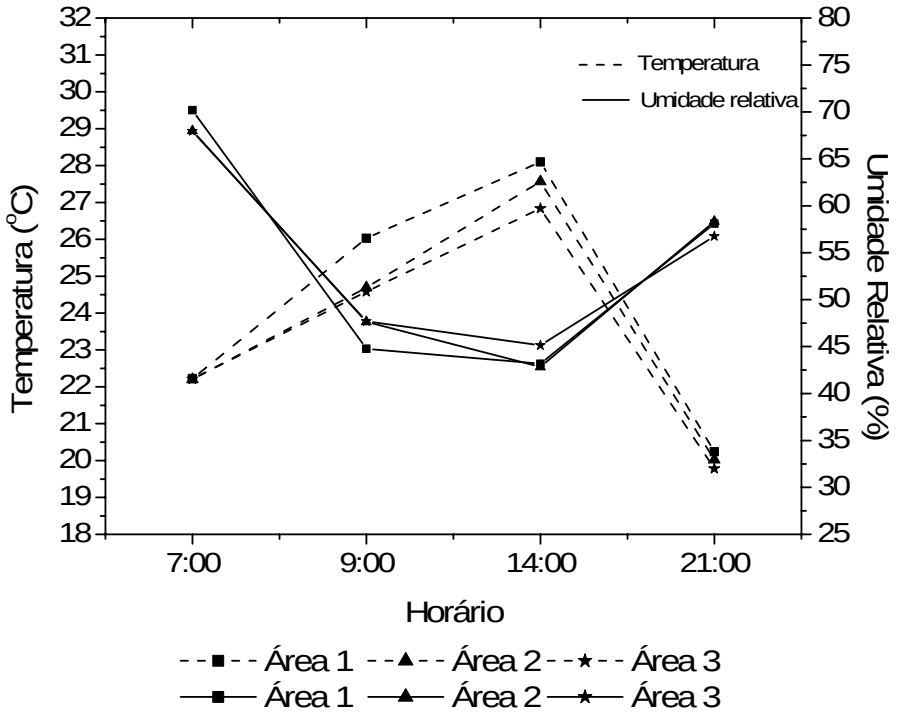


Figura 38 – Médias de T_{ar} (^oC) e UR (%), da rua e calçada, nos horários (7:00h, 9:00h, 14:00h e 21:00h), nas três áreas, São Paulo, 2006/2007

Analisando a média dos dois meses, tem-se uma amplitude térmica na área 1 (7,86^oC) maior que a área 2 (7,55^oC) e maior que a área 3 (7,06^oC).

Como os resultados para o horário das 7:00h diferiram entre as duas estações, obtendo-se no inverno, maior T_{ar} na área 3 do que na 1 e no verão maior T_{ar} na área 1 do que na 3, temos que a média das duas estações não resultou em diferença estatística significativa entre as áreas 1 e 3 às 7:00h.

4.2.3.3.2 Calçada

Os valores obtidos nas calçadas são apresentados na tabela 15 e figura 39.

Tabela 15 – Médias de T_{ar} (^oC) e UR (%), na calçada, nos horários (7:00h, 9:00h, 14:00h e 21:00h), nas três áreas, São Paulo, 2006/2007

	Horário	Área 1	Área 2	Área 3
T_{ar} (^oC)	07:00	22,19a	22,21a	22,22a
	09:00	25,96a	24,58b	24,39c
	14:00	28,08a	27,48b	26,66c
	21:00	20,23a	19,99b	19,72c
UR (%)	07:00	70,27a	67,48b	67,57b
	09:00	44,69b	48,30a	48,17a
	14:00	42,94b	43,28b	45,35a
	21:00	58,36a	57,93a	56,54b

Nota: Médias seguidas de letras diferentes, na linha, diferem (P<0,05) pelo teste Tukey.

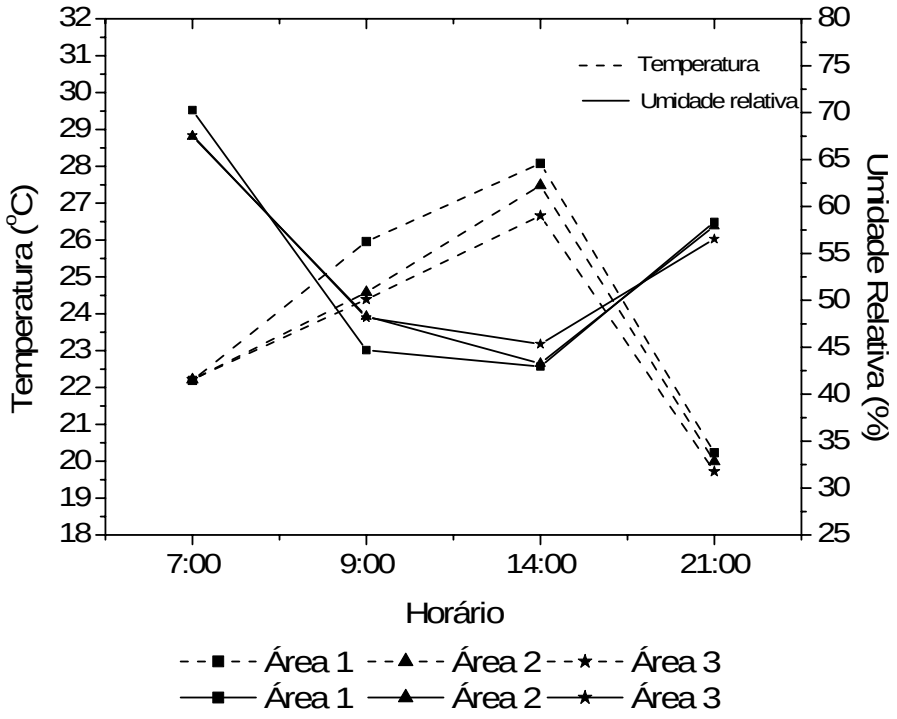


Figura 39 – Médias de T_{ar} (°C) e UR (%), na calçada, nos horários (7:00h, 9:00h, 14:00h e 21:00h), nas três áreas, São Paulo, 2006/2007

Analisando os resultados coletados nas calçadas, tem-se que a tendência foi a mesma dos valores médios entre rua e calçada, ou seja, no horário das 7:00h não houve diferença estatística significativa entre as áreas e nos demais horários a área 1 permaneceu com T_{ar} maior que as áreas 2 e 3.

4.2.3.3.3 Rua

A tabela 16 e a figura 40 mostram os valores obtidos na rua.

Tabela 16 – Médias de T_{ar} (^oC) e UR (%), na rua, nos horários (7:00h, 9:00h, 14:00h e 21:00h), nas três áreas, São Paulo, 2006/2007

	Horário	Área 1	Área 2	Área 3
T_{ar} (^oC)	07:00	22,25a	22,20a	22,20a
	09:00	26,11a	24,80b	24,78b
	14:00	28,12a	27,67b	27,02c
	21:00	20,26a	20,05b	19,85c
UR (%)	07:00	70,08a	68,51b	68,35b
	09:00	44,85b	46,99a	47,21a
	14:00	43,40b	42,40b	44,90a
	21:00	57,85b	58,72a	56,98c

Nota: Médias seguidas de letras diferentes, na linha, diferem (P<0,05) pelo teste Tukey.

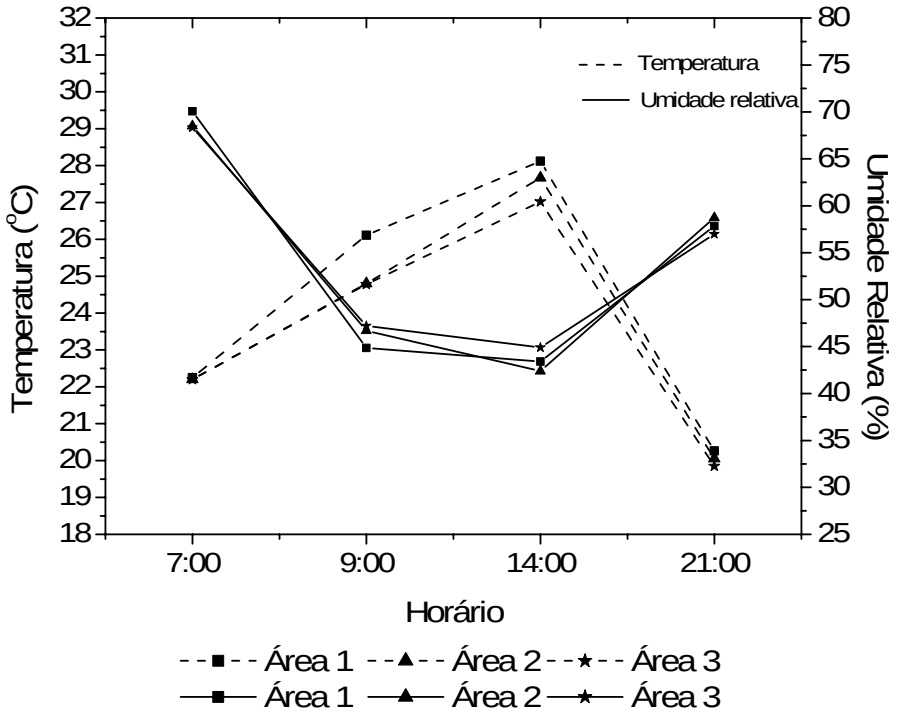


Figura 40 – Médias de T_{ar} (^oC) e UR (%), na rua, nos horários (7:00h, 9:00h, 14:00h e 21:00h), nas três áreas, São Paulo, 2006/2007

Os resultados coletados nas ruas tiveram a mesma tendência que os coletados nas calçadas e na média entre rua e calçada, com valores iguais estatisticamente de T_{ar}

nas três áreas, no horário das 7:00h, e valores maiores de T_{ar} na área 1 nos outros horários em relação às áreas 2 e 3.

4.2.4 Classificação das espécies

Em relação à área 1 os principais resultados mostraram que setenta das cem residências não tinham nenhuma espécie plantada à frente, na calçada. Já na área 2, trinta e uma residências não tinham exemplares na frente e, na área 3, apenas onze residências.

A tabela 17 mostra a quantidade de exemplares encontrados nas áreas, separados por tipo (árvores ou arbustos, mudas ou planta adulta), bem como quantos destes estavam ou não desempenhando função de sombreamento.

Tabela 17 – Quantidade de exemplares que desempenham e não desempenham função de sombra e o total de exemplares, nas três áreas (A1, A2 e A3)

	Desempenha função de sombra			Não desempenha função de sombra			Total		
	A1	A2	A3	A1	A2	A3	A1	A2	A3
Árvore adulta	24	60	107	7	11	38	31	71	145
Árvore muda	0	0	0	1	8	12	1	8	12
Arbusto adulto	0	0	0	3	0	0	3	0	0
Arbusto muda	0	0	0	0	0	0	0	0	0

O resultado da tabela 17 atesta o obtido no índice de vegetação, confirmando a maior presença de árvores na área 3 quando comparada às áreas 1 e 2.

Relacionando a função de desempenhar sombra com a altura das plantas, tem-se que, na área 1, todos os exemplares que não desempenhavam sua função de sombreamento estavam na classe mais baixa de altura, ou seja, com uma altura que não ultrapassava a fiação secundária. Dos exemplares que estavam desempenhando função de sombreamento, oito deles tinham a altura intermediária (entre fiação secundária e primária) e os outros dezesseis tinham altura acima da rede primária de energia elétrica.

Já na área 2, dos dezenove exemplares que não desempenhavam sua função de sombreamento, dezoito estavam dentro da menor classe de altura e apenas um tinha a altura acima da fiação primária. Das plantas que desempenhavam função de

sombreamento, apenas três tinham altura até a fiação secundária, dezesseis estavam dentro da classe intermediária de altura e, a maioria, quarenta e uma, tinha a altura acima da fiação primária.

Na área 3, das cinqüenta plantas que não desempenhavam função de sombreamento, quarenta e duas se encaixavam na menor classe de altura, cinco na classe intermediária e três na classe de maior altura. Já os exemplares que desempenhavam tal função, quatro estavam na menor classe de altura, vinte e seis na classe intermediária e setenta e sete na classe de maior altura.

Analisando as três áreas, tem-se que do total de plantas que se enquadravam na menor classe de altura (setenta e oito), apenas sete desempenhavam o papel de sombreamento. Das cinqüenta e cinco plantas de altura intermediária, cinco delas não desempenhavam função e, a maioria, cinqüenta exemplares, desempenhava tal função. Já as plantas que se encaixavam na maior classe de altura, apenas quatro não desempenhavam função de sombreamento, mas a grande maioria, cento e trinta e quatro exemplares, sim.

4.2.5 Média de exemplares por residência

Na área 1, das quarenta e uma casas que atenderam as entrevistas, obteve-se trinta e quatro exemplares (árvores e arbustos), resultando em um valor médio de 0,83 plantas/residência. Já na frente das cem casas estudadas, somaram-se trinta e cinco plantas, gerando uma média de 0,35 plantas/residência. A soma das duas médias parciais resulta em um valor de 1,18 plantas/residência.

Já na área 2, das quarenta e sete casas entrevistadas, obteve-se cento e doze exemplares (árvores e arbustos), resultando em um valor médio de 2,38 plantas/residência. Já na frente das cem casas estudadas, foram encontradas setenta e nove plantas, gerando uma média de 0,79 plantas/residência. A soma das duas médias parciais resulta em um valor de 3,17 plantas/residência.

Por fim, na área 3, das trinta e duas casas entrevistadas, haviam cento e vinte exemplares (árvores e arbustos), resultando em um valor médio de 3,75 plantas/residência. Já na frente das cem casas estudadas, eram cento e cinqüenta e

sete plantas, gerando uma média de 1,57 plantas/residência. A soma das duas médias parciais resulta em um valor de 5,32 plantas/residência.

Desta forma, a quantidade média de plantas/residência teve uma proporção de 1: 2,7: 4,5 nas áreas 1, 2 e 3, respectivamente.

Nota-se que, nas três áreas, a maior contribuição em termos de vegetação foi com espécies dentro dos terrenos das residências (quintais) e não com plantas nas calçadas.

O resultado mostrado no presente item confirma o obtido através da aplicação do índice NDVI, mostrando menor quantidade de vegetação na área 1, seguida da área 2 e 3.

4.2.6 Avaliação dos questionários

Mesmo com a carta enviada para todas as residências, a aceitação dos moradores em responder o questionário foi baixa: das trezentas residências, apenas cento e vinte questionários foram obtidos.

É importante ressaltar essa baixa aceitação da população em colaborar com a pesquisa, alegando como principal motivo, a falta de tempo e o desinteresse pelo assunto. Notou-se também que muitos moradores apresentaram medo de responder as questões.

Da análise dos resultados obtidos nos questionários, pode-se dizer que a quantidade de residências que possuía aparelhos de refrigeração foi baixa (apenas vinte e uma residências dos cento e vinte questionários respondidos). Tal resultado confirma os dados citados por Lamberts, Dutra e Pereira (1997), indicando que, em média, apenas 6% das residências possuem ar condicionado.

A tabela 18 mostra o resultado da análise feita com uso do programa estatístico SAS, a partir dos dados obtidos dos questionários, nas três áreas.

Tabela 18 – Médias por residência dos dados obtidos na aplicação dos questionários, nas três áreas

	Área 1	Área 2	Área 3
Quantidade de moradores	3,37a	3,58a	3,38a
Quantidade de funcionários	0,63b	1,07a	1,23a
Permanência no período da manhã	1,08ab	0,87b	1,50a
Permanência no período da tarde	0,63b	0,91ab	1,47a
Permanência no período da noite	2,58a	3,04a	3,38a
Permanência durante o dia todo	1,34a	1,38a	1,82a
Área construída (m^2)	206,00b	256,48b	381,50a
Quantidade de quartos	3,13a	3,43a	3,53a
Quantidade de salas	1,74b	2,30a	1,85b
Quantidade de banheiros	3,26a	3,85a	3,76a
Quantidade de chuveiro elétrico	2,5a	1,84b	2,47a
Quantidade de *freezer*	0,58b	0,51b	1,03a
Quantidade de geladeira	1,24a	1,51a	1,44a
Quantidade de aparelho de som	1,55a	1,69a	1,94a
Quantidade de aparelho de Televisão	2,63a	2,69a	2,62a
Quantidade de aparelho de DVD	1,26a	1,27a	1,32a
Quantidade de computador	1,13a	1,31a	1,41a
Quantidade de microondas	0,87a	0,93a	1,00a
Quantidade de videocassete	0,79a	0,56a	0,55a
Quantidade de torradeira elétrica	0,71a	0,44a	0,56a
Quantidade de luminárias de jardim (spot)	1,13b	1,75ab	2,70a
Quantidade de máquina de lavar roupa	1,05a	1,00a	0,94a
Quantidade de máquina de lavar louça	0,42a	0,51a	0,38a
Quantidade de ferro de passar roupa	1,21a	1,13a	1,08a
Quantidade de ar condicionado	0,18a	0,24a	0,29a
Quantidade de ventiladores	1,81a	2,04a	1,68a
Quantidade de aquecedor de ar	0,05a	0,19a	0,00a

Nota: Médias seguidas de letras diferentes, na linha, diferem (P<0,05) pelo teste Tukey.

Quanto à quantidade de aparelhos de ar condicionado, não houve diferença, entre áreas, ao contrário do consumo médio entre as três áreas, que diferiu estatisticamente, como pode ser visto na tabela 19.

Tabela 19 – Consumo médio por residência, nos meses de setembro de 2006 e março de 2007, nas três áreas

Consumo médio por residência (kWh)	Área 1	Área 2	Área 3
setembro 2006	351.32c	521.06b	695.21a
março 2007	352.45c	480.61b	656.24a

Nota: Médias seguidas de letras diferentes, na linha, diferem (P<0,05) pelo teste Tukey.

O aparelho que mais diferiu na quantidade, entre as áreas 1 e 3, foi o *freezer*, mas provavelmente a diferença entre consumo nas áreas não se deu apenas devido à quantidade diferente de *freezers.* Segundo dados do PROCEL, 2005 apud Francisco (2006) um *freezer* de 1300 Watts de potência consome mensalmente, em média, 50kWh, não podendo ser responsabilizado pela diferença significativa de consumo entre áreas.

Somando os valores de todas as casas das três áreas e caracterizando-as de acordo com a quantidade de aparelhos de ar condicionado, tem-se na tabela 20 a relação entre consumo de energia elétrica (em kWh) e quantidade de aparelhos de ar condicionado nos meses de setembro de 2006 e março de 2007

Tabela 20 – Consumo médio (kWh) das residências com 0, 1, 2 e 3 aparelhos de ar condicionado, para os meses de março de 2007 e setembro de 2006

	Quantidade de aparelhos de ar condicionado			
Consumo (kWh)	0	1	2	3
setembro	448,2b	723,8ab	754,3ab	1062,0a
março	415,4c	721,7bc	796,7ab	1072,7a

Nota: Médias seguidas de letras diferentes, na linha, diferem (P<0,05) pelo teste Tukey.

Pode-se afirmar que, dentro dos valores estudados, o consumo médio foi positivamente relacionado à variável ar condicionado, ou seja, as casas que não continham tal eletrodoméstico tinham valores de consumo menores quando comparada às casas com três aparelhos.

Analisando separadamente cada uma das áreas e caracterizando as residências quanto à quantidade de aparelhos de ar condicionado, tem-se na tabela 21 o consumo médio nas áreas 1, 2 e 3.

Tabela 21 – Consumo médio (kWh) por área das residências com 0, 1, 2 e 3 aparelhos de ar condicionado, para os meses de março de 2007 e setembro de 2006

	Consumo (kWh)	Quantidade de aparelhos de ar condicionado			
		0	1	2	3
Área 1	setembro	327,6a	483,7a	449,0a	-
	março	309,41b	566,27a	660,67a	-
Área 2	setembro	469,6b	664,5ab	891,8ab	1059,7a
	março	432,0b	577,3ab	932,7a	936,3ª
Área 3	setembro	588,6b	929,2ab	-	1402,3a
	março	542,5b	915,2ab	-	1345,3a

Nota: Médias seguidas de letras diferentes, na linha, diferem (P<0,05) pelo teste Tukey.

Da mesma maneira do ocorrido quando analisada as três áreas juntas, nota-se na tabela 21 que os consumos das residências, separadas por quantidade de aparelhos de ar condicionado, teve, na maioria das situações, valores maiores quanto maior a quantidade dos eletrodomésticos, principalmente comparando casas com nenhum e com três aparelhos.

Em relação ao uso dos aparelhos de ar condicionado tem-se, na tabela 22 o resultado da análise estatística.

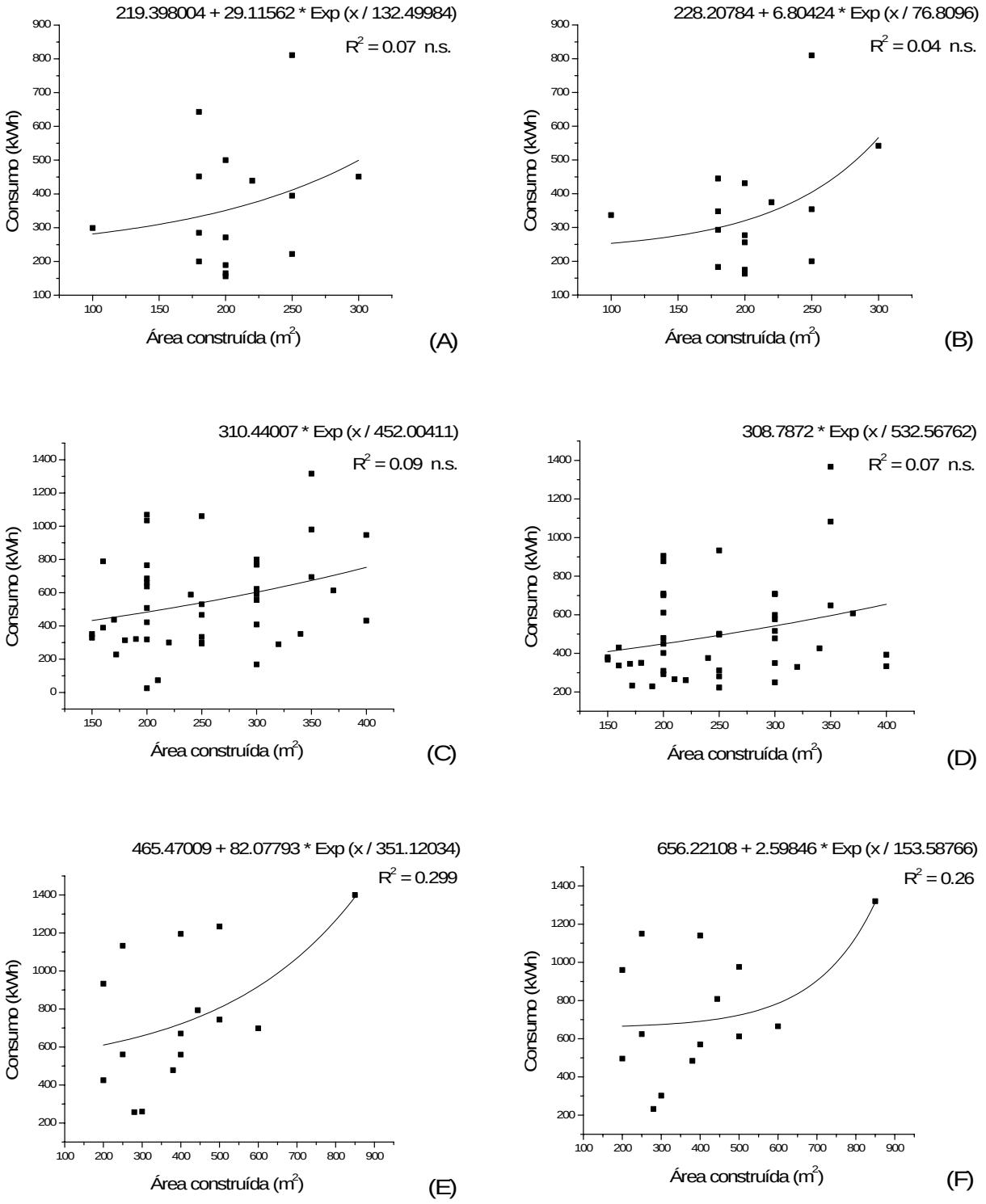
Tabela 22 – Freqüência das residências que ligam ar condicionado apenas quando está muito calor (A), deixam sempre ligados (B) e ligam apenas durante a noite, nos dias quentes (C), nas áreas 1, 2 e 3

	Freqüência			
	A	B	C	Total
Área 1	2	1	3	6
Área 2	2	0	4	6
Área 3	1	0	7	8

P=0,4009

Nota-se com a tabela 22 que os valores não diferem estatisticamente (P>0,05), não havendo diferença entre os hábitos de uso de aparelhos de ar condicionado, nas três áreas.

Tem-se na figura 41 a relação entre a área construída, em m^2, e o consumo de energia, em kWh.



Nota: n.s. = não significativo

Figura 41 – Regressão exponencial entre consumo (kWh) e área construída (m^2): área 1 em setembro (A) e março (B); área 2 em setembro (C) e março (D); área 3 em setembro (E) e março (F)

As áreas 1 e 2 não tiveram resultados significativos. A área 3, tanto no mês de setembro quanto em março, teve resultados significantes ao nível de 0,05 afirmando uma relação de crescimento exponencial entre consumo e área construída. A pesquisa de Francisco (2006) obteve resultados considerados significantes ao nível de 0,01, chegando a valores de R^2 de 0,402.

Os resultados analisados através dos questionários mostraram a dificuldade de mensurar a influência de áreas mais vegetadas (refletida na menor necessidade de uso de aparelhos de ar condicionado) no valor final de consumo de energia elétrica, com base nos dados coletados. Além dos fatores físicos (tais como presença de equipamentos elétricos) têm-se também os fatores subjetivos, tais como hábito de uso de aparelhos de refrigeração – variando de acordo com o gosto de cada indivíduo – não sendo possível mensurar, através das contas de energia, tal influência.

Tais resultados confirmam pesquisas na área que apontam para uma grande dificuldade de obter, apenas por dados coletados, uma relação direta entre uso de aparelhos de refrigeração e presença de vegetação, principalmente, segundo McPherson; Rowntree e Wagar (1995), pela dificuldade de isolar o efeito da vegetação no valor final do consumo.

4.3 Necessidade de refrigeração: Cálculo de Graus-Hora de calor

A estação meteorológica mais próxima às áreas de estudo é a do Aeroporto de Congonhas, denominada SBSP 83780. Situa-se a uma latitude 23° 37' 36" S, longitude de 46° 39' 19" W e uma altitude de 803 metros (METAR, 2007).

A tabela 23 mostra a média horária de temperatura da estação fixa, dos dias 07, 08, 09 e 10 de setembro de 2006, e as médias nos quatro horários coletados (7:00h, 9:00h, 14:00h e 21:00h), nos mesmos dias, nas três áreas.

Tabela 23 – Médias de T_{ar} (^oC) dos dias 07, 08, 09 e 10 de setembro de 2006 da estação meteorológica do Aeroporto de Congonhas, SP e das três áreas (A1, A2, A3)

Horário	Médias de T_{ar} (^oC) setembro	Médias de T_{ar} (^oC) coletadas A1	A2	A3
1	16.5			
2	16.5			
3	16			
4	16			
5	16			
6	15.5			
7	15.5	18.69	19.29	19.34
8	15			
9	14.75	22.17	21.38	21.31
10	14.75			
11	16			
12	17.75			
13	20.5			
14	23	26.39	26.01	25.23
15	22.75			
16	22.75			
17	22.5			
18	22.25			
19	22			
20	21.75			
21	21.25	19.17	19.16	19.12
22	20.5			
23	20			
24	16.5			

A tabela 24 mostra a média horária de temperatura da estação fixa, dos dias 04, 10, 11 e 25 de março de 2007, e as médias nos quatro horários coletados (7:00h, 9:00h, 14:00h e 21:00h), nos mesmos dias, nas três áreas.

Tabela 24 – Médias de T_{ar} (^oC) dos dias 04. 10, 11 e 25 de março de 2007 da estação meteorológica do Aeroporto de Congonhas, SP e das três áreas (A1, A2, A3)

Horário	Médias de T_{ar} (^oC) março	Médias de T_{ar} (^oC) coletadas A1	A2	A3
1	22.75			
2	22.75			
3	22.25			
4	22			
5	21.25			
6	21			
7	21	25.75	25.12	25.07
8	21.25			
9	21.25	29.90	28.00	27.86
10	21.5			
11	22.5			
12	25			
13	26			
14	29.25	29.81	29.14	28.45
15	28.75			
16	28.75			
17	28			
18	27			
19	25.5			
20	24.75			
21	23.25	21.31	20.88	20.44
22	22.75			
23	22			
24	22.25			

É possível visualizar, na figura 42 a disposição horária dos dados mostrados nas tabelas 23 e 24.

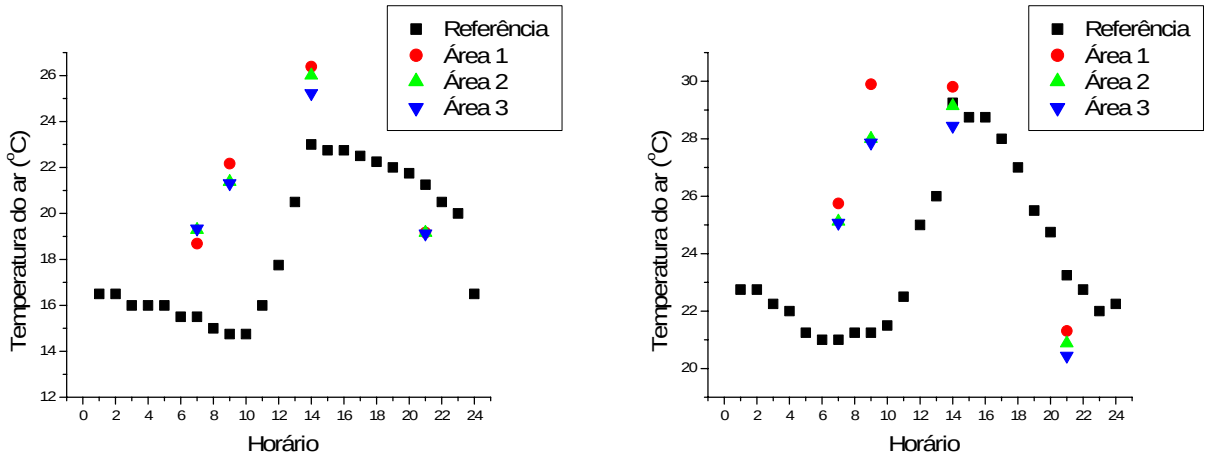


Figura 42 – Média dos dias 07, 08, 09 e 10 de setembro de 2006 (A) e 04, 10, 11 e 25 de março de 2007 (B) de T_{ar} horárias (°C), da estação de referência e T_{ar} (°C) em quatro horários (7:00h, 9:00h, 14:00h e 21:00h) nas áreas 1, 2 e 3

Os valores médios de temperatura, nos quatro dias do mês de março e setembro, obtidos nas três áreas, diferiam do valor obtido na estação de referência, exceto as 14:00h que, em ambos os meses, teve valores próximos à estação do aeroporto e condizentes com o normalmente encontrado em tal horário.

Com isso, não foi possível adotar a metodologia de estimar os valores horários das três áreas com base no fator de temperatura que envolve temperatura mínima e amplitude. Decidiu-se, desta forma, optar pela utilização da outra proposta colocada no item *material e métodos*, na qual, para a estimativa horária seriam computadas as temperaturas mais altas de cada dia para identificar a diferença entre os pontos medidos e a estação de referência supondo-se que estas diferenças fossem mantidas ao longo de todo o dia.

Com isso, as três áreas de estudo teriam valores horários de temperatura respeitando a relação entre áreas obtida a campo.

Foi feito o cálculo da diferença existente entre a temperatura às 14:00h da referência e das áreas 1, 2 e 3 e então somada (ou subtraída) tal diferença em todos os valores horários da estação de referência, passando a ter valores horários ajustados para cada uma das áreas.

Tal procedimento foi o único possível para estimar as temperaturas horárias das três áreas, levando em conta a temperatura máxima da referência (14:00h). O principal problema existente neste caso é que não foi levada em conta a amplitude de cada área, já que não se utilizou os valores de temperatura mínima no cálculo. A amplitude das três áreas foi considerada igual à da referência, fato que pode subestimar a capacidade que a vegetação tem de reduzir a amplitude térmica, mantendo apenas sua qualidade de redução das temperaturas máximas diárias.

Para o mês de setembro, às 14:00h, a diferença encontrada entre as temperaturas da área 1 e da referência foi de 3,39^{o}C, valor acrescentado a cada temperatura horária desta última, gerando valores horários da área 1. O mesmo procedimento foi feito para as áreas 2 e 3, utilizando valores de 3,01^{o}C e 2,23^{o}C respectivamente, bem como para as três áreas no mês de março, com valores a serem acrescentados de 0,56 e 0,11 para as áreas 1 e 2, respectivamente e de -0,80, valor que foi subtraído da referência para gerar temperaturas horárias na área 3.

Tem-se na tabela 25 as temperaturas horárias das três áreas, calculadas a partir da referência.

Tabela 25 - T_{ar} (^oC) estimada nas três áreas (1, 2 e 3) nos períodos de setembro e março

Horário	T_{ar} (^oC) setembro			T_{ar} (^oC) março		
	A1	A2	A3	A1	A2	A3
1	19,89	19,51	18,73	23,31	22,64	21,95
2	19,89	19,51	18,73	23,31	22,64	21,95
3	19,39	19,01	18,23	22,81	22,14	21,45
4	19,39	19,01	18,23	22,56	21,89	21,2
5	19,39	19,01	18,23	21,81	21,14	20,45
6	18,89	18,51	17,73	21,56	20,89	20,2
7	18,89	18,51	17,73	21,56	20,89	20,2
8	18,39	18,01	17,23	21,81	21,14	20,45
9	18,14	17,76	16,98	21,81	21,14	20,45
10	18,14	17,76	16,98	22,06	21,39	20,7
11	19,39	19,01	18,23	23,06	22,39	21,7
12	21,14	20,76	19,98	25,56	24,89	24,2
13	23,89	23,51	22,73	26,56	25,89	25,2
14	26,39	26,01	25,23	29,81	29,14	28,45
15	26,14	25,76	24,98	29,31	28,64	27,95
16	26,14	25,76	24,98	29,31	28,64	27,95
17	25,89	25,51	24,73	28,56	27,89	27,2
18	25,64	25,26	24,48	27,56	26,89	26,2
19	25,39	25,01	24,23	26,06	25,39	24,7
20	25,14	24,76	23,98	25,31	24,64	23,95
21	24,64	24,26	23,48	23,81	23,14	22,45
22	23,89	23,51	22,73	23,31	22,64	21,95
23	23,39	23,01	22,23	22,56	21,89	21,2
24	19,89	19,51	18,73	22,81	22,14	21,45

O mês de março teve uma média de temperatura do ar (nos últimos dez anos) de 21,98^oC e o mês de setembro de 17,7^oC, com base nos valores fornecidos pelo IAG. Aplicando tais médias à fórmula de Tn mostrada no item 3.4 do *materiais e métodos*, obteve-se valores de Tn de 24,41^oC para março e 23,09^oC para setembro. Considerando a tolerância de 2,5^oC tem-se, para março, uma Tn de 26,91 e de 25,59^oC para o mês de setembro.

Na tabela 26 são apresentados os Graus-Hora de calor nos dois períodos, nas quatro áreas (A1, A2, A3 e referência).

Tabela 26 – Graus-Hora de calor nas áreas 1 (GH1), 2 (GH2), 3 (GH3) e referência (GHR), para os meses de setembro de 2006 e março de 2007

	setembro/2006				março/2007			
Horário	GH1	GH2	GH3	GHR	GH1	GH2	GH3	GHR
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0,80	0,42	0	0	2,9	2,23	1,54	2,34
15	0,55	0,17	0	0	2,4	1,73	1,04	1,84
16	0,55	0,17	0	0	2,4	1,73	1,04	1,84
17	0,3	0	0	0	1,65	0,98	0,29	1,09
18	0,05	0	0	0	0,65	0	0	0,09
19	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0

Somando os vinte e quatro valores de Graus-Hora de calor tem-se um valor de Graus-Hora de calor por dia que multiplicado pelo número total de dias no mês, tem-se um valor estimado de Graus-Hora de calor por mês. Tais resultados podem ser vistos na tabela 27.

Tabela 27 – Graus-Hora de calor por dia (GHC/dia) e por mês (GHC/mês) nas áreas 1 (A1), 2 (A2), 3 (A3) e referência (Ref) nos meses de setembro de 2006 e março de 2007

	setembro/2006				março/2007			
	A1	A2	A3	Ref	A1	A2	A3	Ref
GHC/dia	2,25	0,76	0	0	10,0	6,67	3,91	7,2
GHC/mês	67,50	22,80	0	0	310	206,77	121,21	223,2

Ao mesmo tempo em que a área 3 é a que contém maior porcentagem de vegetação bem como maior número de árvores por residência, na análise da tabela 27, nota-se que, essa área foi a que teve menores valores de Graus-Hora de calor, o que, em outras palavras, seria a área que teria menor necessidade de refrigeração artificial, nos meses de setembro de 2006 e março de 2007, embora no primeiro mês, os dias de calor fossem bem menos expressivos. Resultado similar foi encontrado em Sailor (1998) em um estudo que simula os impactos do aumento da vegetação nos valores de Graus-dia. Tais simulações mostraram que a temperatura do local pode ser reduzida por meio do aumento da quantidade de vegetação urbana.

4.4 Relação entre Graus-Hora de calor e a classificação supervisionada

Para a classificação da área da estação referência foram elaboradas 8 classes de ocupação, a saber: asfalto, água, sombra, árvore/arbusto, telhado cerâmico, telhado escuro, telhado claro, piso permeável e piso claro.

O resultado da classificação supervisionada, da matriz de erro e do dendrograma por distância euclidiana para a estação de referência pode ser visto nas figuras 43, 44 e 45.

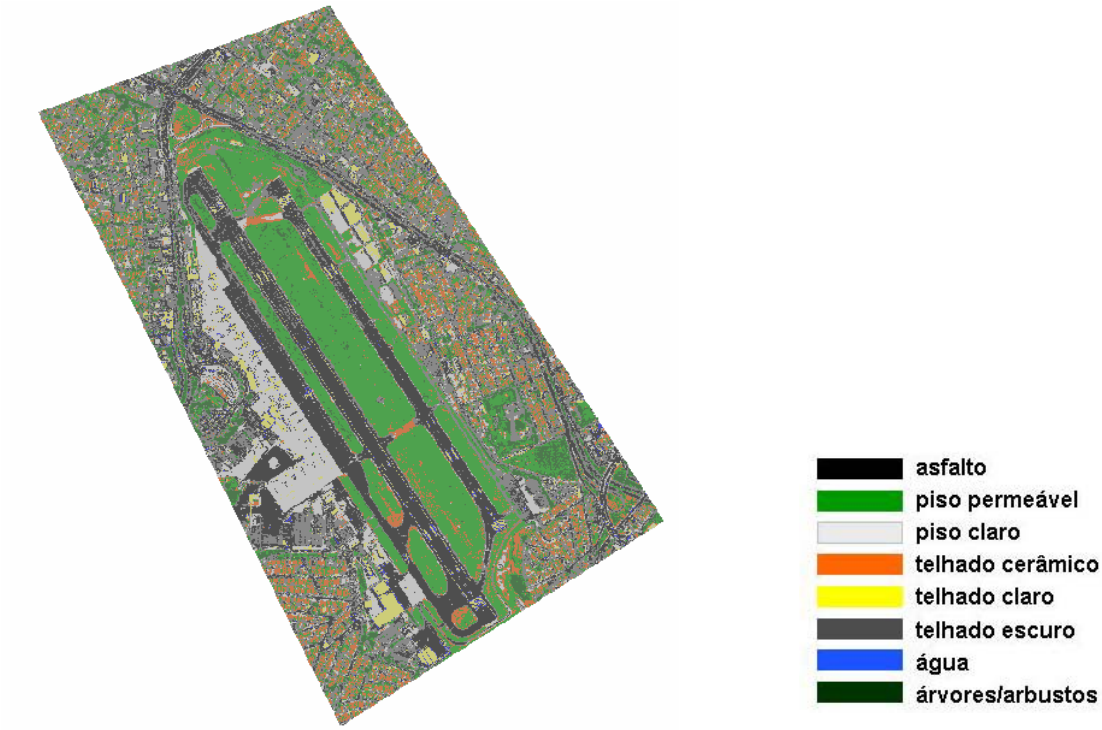


Figura 43 - Classificação supervisionada na área referência com legenda das oito classes utilizadas

Error Matrix

Ground Truth Raster... C:\GIULIANA\DOUTORADO\Areas\trein_auditor_ref.rvc / TRAINING_SET Help Close

Classificatio	Ground Truth Data									
Name	árvores/	asfalto	telhado	telhado	água	telhado	piso cla	piso per	Total	Accuracy
árvores/	133	0	0	0	0	0	0	53	186	71.51%
asfalto	0	404	0	48	0	0	0	0	452	89.38%
telhado	0	0	42	0	0	0	0	7	49	85.71%
telhado	1	56	0	170	0	0	0	0	227	74.89%
água	0	0	0	0	8	0	0	0	8	100.00%
telhado	0	0	0	0	0	331	41	0	372	88.98%
piso cla	0	0	0	0	0	7	251	0	258	97.29%
piso per	12	0	6	0	0	0	0	1360	1378	98.69%
Total	146	460	48	218	8	338	292	1420	2930	
Accuracy	91.10%	87.83%	87.50%	77.98%	100.00%	97.93%	85.96%	95.77%		

Overall Accuracy = 92.12% Khat Statistic = 88.98%

Figura 44 - Matriz de erro da classificação supervisionada da área referência, na tela do programa TNT Mips 6.8

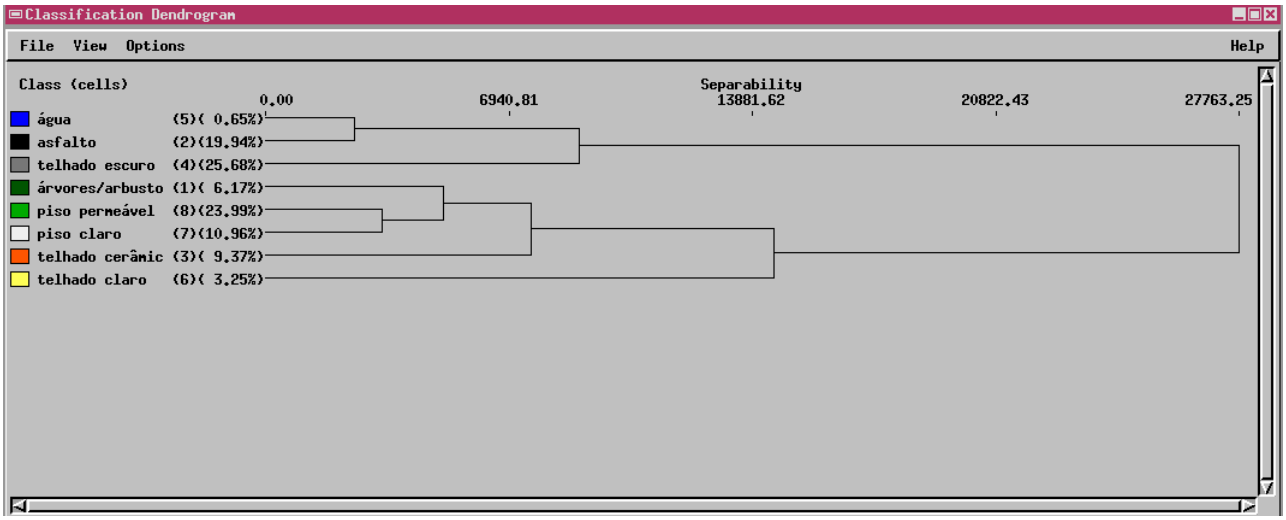


Figura 45 – Dendrograma da área referência, na tela do programa TNT Mips 6.8

Da mesma maneira do ocorrido nas três áreas, o índice Kappa obtido na classificação supervisionada da estação de referência foi de 88,98%, valor tido como excelente, o que indica a possibilidade de avaliação da estrutura urbana utilizando tal método.

Os valores de Graus-Hora de calor podem ser vistos na tabela 28, bem como as porcentagens dos elementos vegetação, asfalto e construção, nas quatro áreas. Adotou-se como fator construção a soma das porcentagens de telhados (telhado cerâmico, claro e escuro).

Tabela 28 – Graus-Hora de calor, em setembro de 2006 e março de 2007 e porcentagem (%) de vegetação (V), asfalto (A), construção (C) e [(asfalto + construção) – vegetação], nas áreas 1, 2, 3 e referência (Ref)

Áreas	GH calor setembro	GH calor março	Elementos (%)			
			Vegetação (V)	asfalto (A)	Construção (C)	(A+C)-V
1	2,25	10	3.72	10.93	50.60	57.81
2	0,76	6.67	11.71	8.65	46.12	43.06
3	0	3.91	33.92	5.32	38.33	9.73
Ref	0	7.2	6.17	19.94	38.30	52.07

A figura 46 mostra a relação entre a porcentagem de vegetação e os valores de Graus-Hora de calor, nas quatro áreas nos meses de setembro de 2006 e março de 2007.

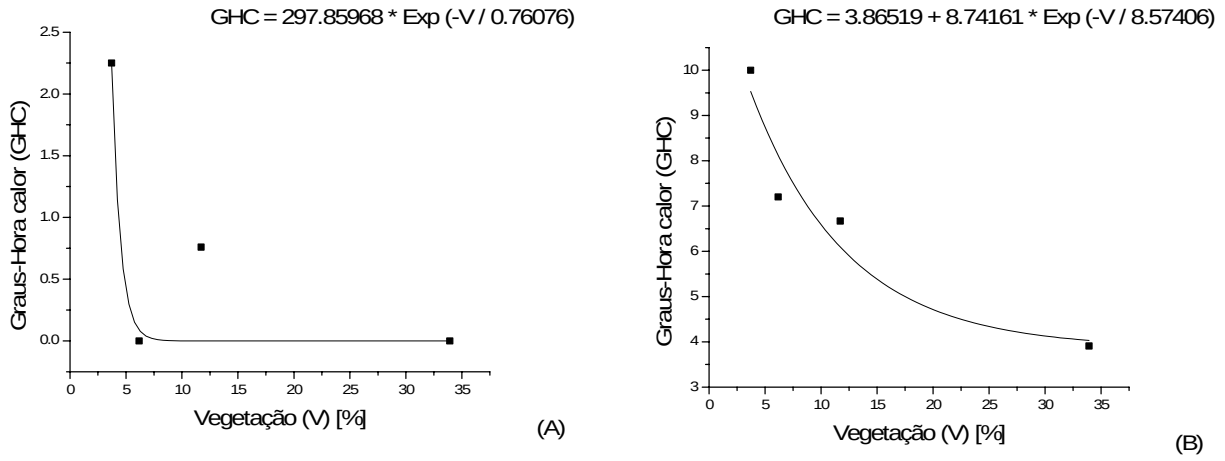


Figura 46 – Relação entre porcentagem (%) de vegetação (V) e Graus-Hora de calor (GHC), nos meses de setembro de 2006 (A) e março de 2007 (B)

A figura 47 mostra a relação estabelecida entre os elementos asfalto, vegetação e construção.

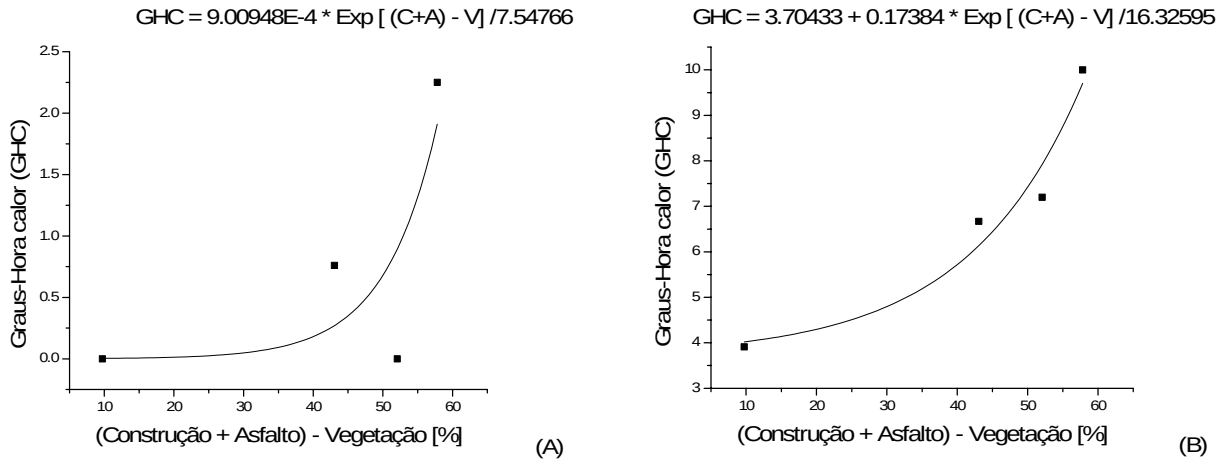


Figura 47 - Relação entre porcentagem (%) de [construção (C) + asfalto (A)] – vegetação (V) e Graus-Hora de calor (GHC), nos meses de setembro de 2006 (A) e março de 2007 (B)

Nota-se, a partir das relações mostradas nas figuras 46 e 47, que dentro dos valores estudados, a vegetação foi negativamente relacionada aos Graus-Hora de calor ao passo que a componente [(construção + asfalto) – vegetação] teve uma relação positiva, ou seja, com crescimento na mesma direção.

5 CONCLUSÕES

As principais conclusões do presente trabalho foram:

1. A aplicação do índice de vegetação NDVI sobre imagens do satélite IKONOS II permitiu a separação da cidade em termos de densidade de vegetação, sendo uma ferramenta importante para uso, principalmente em grandes áreas, nas quais o levantamento da vegetação através de censo torna-se praticamente inviável.

2. O resultado do índice de vegetação foi corroborado tanto pelo obtido na classificação supervisionada quanto pelo levantamento a campo, caracterizando a área 1 como a de menor densidade de vegetação, seguida das áreas 2 e 3.

3. A média dos valores de temperatura coletados nos dois períodos estudados, nos quatro horários, foi maior na área 1, seguida pelas áreas 2 e 3, chegando a diferenças de valores de até 2,14^{o}C entre a área 1 e 3 no horário das 9:00h.

4. O consumo de energia elétrica teve seu crescimento na mesma direção do aumento da quantidade de aparelhos de ar condicionado, sendo significativa tal relação.

5. Apenas com os dados coletados nos questionários não foi possível isolar o efeito dos aparelhos de ar condicionado no valor total do consumo de energia elétrica.

6. Foi possível estimar Graus-Hora de calor por meio da estação fixa de referência. Os valores de Graus-Hora de calor foram negativamente relacionados à porcentagem de vegetação, com aumentos em direções opostas. Já a componente [(construção + asfalto) – vegetação] foi positivamente relacionada com os valores de Graus-Hora de calor.

7. Sob o aspecto de redução das temperaturas máximas diárias, conclui-se que a área que continha maior porcentagem de cobertura vegetal foi a que apresentou menor necessidade de refrigeração artificial.

6 DISCUSSÕES RELEVANTES

O primeiro ponto interessante refere-se às imagens de satélite utilizadas na pesquisa. O cronograma proposto teve que ser alterado em função de um erro existente nas cenas obtidas, resultando em um índice de vegetação não representativo de todo o município, com faixas heterogêneas que não puderam ser comparadas entre si. Futuros trabalhos interessados nessa metodologia devem atentar para a aplicação do índice de vegetação, apenas com o uso das faixas específicas geradas já que, em toda a extensão do município, o presente trabalho provou ser inviável.

Em relação aos questionários, pode-se dizer que cabe, em pesquisas futuras, acrescentar outro tipo de abordagem, mais aprofundada em relação ao hábito de uso de eletrodomésticos nas residências, não só de aparelhos de ar condicionado como também de refrigeradores, os quais têm seu uso (e consumo) variando de acordo com a época do ano. Dessa forma, seria possível e muito interessante analisar a contribuição de cada um dos equipamentos no valor final do consumo de energia elétrica. Ademais, seria conveniente o monitoramento do consumo em cada aparelho, facilitando a obtenção de sua contribuição individual no consumo final. Porém, o principal empecilho para o aprimoramento da coleta de informações dentro das residências é (ou foi no caso aqui estudado) a dificuldade de conseguir a colaboração dos moradores, fato que dificultou ou até mesmo tornou limitante a obtenção dos resultados no presente trabalho. Talvez o fato de maior relevância na presente pesquisa tenha sido a insistência em obter os dados reais, apesar de todas as adversidades. A prioridade atribuída aos dados reais coletados, por sua vez, é fundamentada no pressuposto de que as informações assim obtidas são mais confiáveis, podendo servir – com maior precisão – como base tanto para outras pesquisas, como para a confecção de modelos teóricos de simulação.

Quanto à quantidade de vegetação verificou-se, nas três áreas, um maior número de plantas nos quintais das residências quando comparado às calçadas. Tal fato é preocupante, pois caso tais ocupações tenham seus padrões alterados, por exemplo, de residências para prédios comerciais, deve haver redução substancial ou mesmo perda total da área agora vegetada.

É importante ressaltar, igualmente, que a área 3, mesmo tendo sido classificada como a área mais arborizada, ainda tem potencial para receber novos plantios.

Embora com inúmeras dificuldades vivenciadas, resultados relevantes foram alcançados, reafirmando um dos importantes benefícios da vegetação e contribuindo para que essa qualidade possa ser assimilada e levada em conta no planejamento urbano.

Assim, não se encerra com o fim desse trabalho a preocupação quanto ao futuro de nossas cidades, cada vez mais quentes, menos sustentáveis, bem como, e principalmente, quanto ao destino da vegetação que ainda resta - tratada com descaso crescente e sem nenhuma prioridade – já que, além de visto, tem-se vivenciado situações sérias que nos trazem perda significativa da qualidade de vida almejada.

REFERÊNCIAS

AKBARI, H.; KONOPACKI, S. Energy effects of heat-island reduction strategies in Toronto, Canada. **Energy**, Oxford, v. 29, p. 191-210, 2004.

AKBARI, H.; TAHA, H. The impacts of trees and white surfaces on residential heating and cooling energy use in four Canadian cities. **Energy**, Oxford, v. 17, p. 141-149, 1992.

AKBARI, H.; POMERANTZ, M; TAHA, H. Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban áreas. **Solar Energy**, Phoenix, v. 70, p. 295-310, 2001.

AKBARI, H.; ROSE, L.S.; TAHA, H. Analyzing the land cover of an urban environment using high-resolution orthophotos. **Landscape and Urban Planning**, Amsterdam, v. 63, p. 1-14, 2003.

AKBARI, H.; BRETZ, S.E.; KURT, D.M.; HANFORD, J.W. Peak power and cooling energy savings of high-albedo roofs. **Energy and Buildings**, Lausanne, v.25, p. 117-126, 1997a.

AKBARI, H.; KURT, D.M.; BRETZ, S.E.; HANFORD, J.W. Peak power and cooling energy savings of shade trees. **Energy and Buildings**, Lausanne, v.25, p. 139-148, 1997b.

ALVAREZ, A.L.M. **Uso racional e eficiente de energia elétrica: metodologia para a determinação dos potenciais de conservação dos usos finais em instalações de ensino e similares.** 1998. 159 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia e Automação Elétricas) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

ANSI/ASHRAE. **Standard 55-2004:** thermal environmental conditions for human occupancy. Atlanta, 2004. 26 p.

AVISSAR, R. Potential effects of vegetation on the urban thermal environment. **Atmospheric Environment**, Oxford, v. 30, n. 3, p. 437-448, 1996.

BARBUGLI, R.A. **Influência do ambiente construído na distribuição das temperaturas do ar em Araraquara/SP**. 2004. 170 p. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2004.

BARET, F; GUYOT. G. Potentials and limits of vegetation indices for LAI and APAR assessment. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 35, p. 161-173, 1991.

BARTHOLOMEI, C.L.B. I**nfluência da vegetação no conforto térmico urbano e no ambiente construído.** 2003. Tese (Doutorado em Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

BERNATZKY, A. The contribution of trees and green spaces to a town climate. **Energy and Buildings**, Lausanne, v. 5, p. 1-10, 1982.

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. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11., 2003, Belo Horizonte. **Anais ...** São José dos Campos: INPE, 2003. p. 1741-1748.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/site/menu/select_main_menu_item.do?channelId=1432&pageId=10780>. Acesso em: 28 jun. 2007.

BRETZ, S.; AKBARI, H.; ROSENFELD, A. Practical issues for using solar-reflective materials to mitigate urban heat islands. **Atmospheric Environment**, Oxford, v. 32, n. 1, p. 95-101, 1998.

CASTRO, A.W.S. **Clima urbano e saúde:** as patologias do aparelho respiratório associadas aos tipos de tempo no inverno, em Rio Claro – SP. 2000. 202 p. Tese (Doutorado em Geografia) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Rio Claro, 2000.

CAVALCANTI, R.C. **O consumo energético residencial em Campo Grande e a eficiência energética**. 2002. 123 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

CENTRO DE ANÁLISE E PLANEJAMENTO AMBIENTAL. Disponível em: <http://www.rc.unesp.br/igce/ceapla/estacao.php>. Acesso em: 24 jul. 2006.

CROSTA, A.P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. Campinas: IG, UNICAMP, 1999. 170 p.

DUARTE, D.H.S. **Padrões de ocupação do solo e microclimas urbanos na região de clima tropical continental**. 2000. 278 p. Tese (Doutorado em Arquitetura) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

DUARTE, D.H.S.; SERRA, G.G. Padrões de ocupação do solo e microclimas urbanos na região de clima tropical continental brasileira: correlações e propostas de um indicador. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 3, n. 2, p. 7-20, 2003.

ESTADOS UNIDOS. Departament of Energy. Disponível em: <http://www.eren.doe.gov>. Acesso em: 28 jun. 2007.

FEDERER, C.A. Trees modify the urban microclimate. **Journal of Arboriculture**, Illinois, v. 2, n. 7, p. 121-127, 1976.

FLORENZANO, T.G. **Imagens de satélite para estudos ambientais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002. 97 p.

FRANCISCO, E.R. **Relação entre o consumo de energia elétrica, a renda e a caracterização econômica de famílias de baixa renda do município de São Paulo.** 2006. 349 p. Dissertação (Mestrado em Administração de Empresas) – Escola de Administração de Empresas de São Paulo, Fundação Getulio Vargas, São Paulo, 2006.

GOLDEMBERG, J.; VILLANUEVA, L.D. **Energia, meio ambiente & desenvolvimento**. 2.ed. São Paulo: EDUSP, 2003. 226 p.

GOWARD, S.N.; MARKHAM, B.; DYE, D.G; DULANEY, W.; YANG, J. Normalized Difference Vegetation Index measurements from the advanced Very High Resolution Radiometer. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 35, p. 257-277, 1991.

GREY, G.W.; DENEKE, F.J. **Urban forestry**. New York: John Wiley, 1978. 279 p.

HARAZONO, Y.; TERAOKA, S.; NAKASE, I.; IKEDA, H. Effects of rooftop vegetation using artificial substrates on the urban climate and the thermal load of buildings. **Energy and Buildings**, Lausanne, v. 15/16, p. 435-442, 1990/91.

HEISLER, G.M. Trees modify metropolitan climate and noise. **Journal of Arboriculture**, Illinois, v. 3, n. 11, p. 201-207, 1977.

_____. Energy savings with trees. **Journal of Arboriculture**, Illinois, v. 12, n. 5, p. 113-125, 1986.

HILDEBRANDT, E.W.; SARKOVICH, M. Assessing the cost-effectiveness of SMUD'S Shade Tree Program. **Atmospheric Environment**, Oxford, v. 32, n. 1, p. 85-94, 1998.

HONJO, T.; TAKAKURA, T. Simulation of thermal effects of urban green areas on their surrounding areas. **Energy and Buildings**, Lausanne, v. 15/16, p. 443-446, 1990/91.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 6 set. 2006.

KAWASHIMA, S. Effect of vegetation on surface temperature in urban and suburban areas in winter. **Energy and Buildings**, Lausanne, v. 15/16, p. 465-469, 1990/91.

KEEBLE, E.J.; COLLINS, M.; RYSER, J. The potential of land-use planning and development control to help achieve favorable microclimates around buildings: a European review. **Energy and Buildings**, Lausanne, v. 15/16, p. 823-836, 1990/91.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F.O.R. **Eficiência energética na arquitetura**. São Paulo: PW Editores, 1997. 192 p.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RiMa, 2004. 531 p.

LAVERNE, R.J.; LEWIS, G. McD. The effect of vegetation on residential energy use in Ann Arbor, Michigan. **Journal of Arboriculture**, Illinois, v. 22, n. 5, p. 234-243, Sept. 1996.

LOMBARDO, M.A. **Ilhas de calor nas metrópoles:** o exemplo de São Paulo. São Paulo: Hucitec, 1985. 244 p.

LOUREIRO, K.C.G. **Análise de desempenho térmico e consumo de energia de residências na cidade de Manaus**. 2003. 139 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

MAGALHÃES, L.M.S.; CRISPIM, A.A. Vale a pena plantar e manter árvores e florestas na cidade?. **Ciência hoje**, Rio de Janeiro, v. 33, n. 193, p. 64-68, maio 2003.

MASCARÓ, J.L.; MASCARÓ, L.; AGUIAR, C.M.L.S. Cidade: energia, arborização urbana e impacto ambiental. **Ciência e Ambiente**, Santa Maria, v. 22, p. 59-72, jan./jul. 2001.

MASCARÓ, L. **Ambiência urbana**. 2.ed. Porto Alegre: Mais Quatro Editora, 2004. 199 p.

MASCARÓ, L.; MASCARÓ, J. **Vegetação urbana**. 2.ed. Porto Alegre: Mais Quatro Editora, 2005. 204 p.

McPHERSON, E.G; SIMPSON, J.R. Potential energy savings in buildings by an urban tree planting programme in California. **Urban Forestry and Urban Greening**, Hørsholm, v. 2, p. 73-86, 2003.

McPHERSON, E.G.; HERRINGTON, L.P.; HEISLER, G.M. Impacts of vegetation on residential heating and cooling. **Energy and Buildings**, Lausanne, v. 12, p. 41-51, 1988.

McPHERSON, E.G.; ROWNTREE, R.; WAGAR, A. Energy-efficient landscapes. In: BRADLEY, G.A. (Ed.). **Urban forest landscapes:** integrating multidisciplinary perspectives. Seattle: University of Washington Press, 1995. Chap. 13, p. 150-163.

McPHERSON, E.G.; SIMPSON, J.R.; LIVINGSTON, M. Effects of three landscape treatments on residential energy and water use in Tucson, Arizona. **Energy and Buildings**, Lausanne, v. 13, p. 127-138, 1989.

METAR. Disponível em: <http://weather.gladstonefamily.net/site/SBSP>. Acesso em: 9 out. 2007.

MILANO, M.; DALCIN, E. **Arborização de vias públicas.** Rio de Janeiro: LIGHT, 2000. 226 p.

MOREIRA, M.A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 3.ed. Viçosa: UFV, 2005. 320 p.

N-BARBOSA, K.M.; ACCO, M.; KIRCHNER, F. F. Classificação de imagens Ikonos e comparação por meio de segmentação e fotointerpretação da área amostral. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11., 2003, Belo Horizonte. **Anais ...** São José dos Campos: INPE, 2003. p. 281-283.

NOVO, E.M.L. de. **Sensoriamento remoto:** princípios e aplicações. 2.ed. São José dos Campos: Edgard Blücher, 1992. 308 p.

PAES, F.C.; PINTO, S.A.F.; DUTRA, L.V. Um estudo exploratório para obtenção de índices de qualidade de vida urbana (IQV) utilizando imagens de alta resolução do Satélite IKONOS II. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11., 2003, Belo Horizonte. **Anais ...** São José dos Campos: INPE, 2003. p. 1907-1914.

PAULA, R.Z.R. de. **A influência da vegetação no conforto térmico do ambiente construído**. 2004. 110 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C. **Agrometeorologia**: fundamentos e aplicações práticas. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478 p.

PINHO, C.M.D. de. **Análise orientada a objetos de imagens de satélite de alta resolução espacial aplicada à classificação de cobertura do solo no espaço intra-urbano: o caso de São José dos Campos – SP**. 2006. 180 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2006.

PREFEITURA DA CIDADE DE SÃO PAULO. Disponível em: <http://www.prefeitura.sp.gov.br>. Acesso em: 6 abr. 2007.

QUATTROCHI, D.A.; RIDD, M.K. Analysis of vegetation within a semi-arid urban environment using high spatial resolution airborne thermal infrared remote sensing data. **Atmospheric environment**, Oxford, v. 32, n. 1, p. 19-33, 1998.

R M YOUNG COMPANY. Disponível em: <http://www.youngusa.com/ >. Acesso em: 24 jul. 2007.

RORIZ, M. Consumo de energia no condicionamento térmico de edificações: um método de avaliação. In: ENCONTRO LATINO-AMERICANO SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 3., 2001, São Pedro. **Anais …** São Carlos: 2001.

ROSENFELD, A.H.; AKBARI, H.; ROMM, J.J.; POMERANTZ, M. Cool communities: strategies for heat island mitigation and smog reduction. **Energy and Buildings**, Lausanne, v. 28, p. 51-62, 1998.

ROSENFELD, A.H.; ROMM, J.J.; AKBARI, H.; LLOYD, A.C. **Painting the town white and green.** Disponível em: <http://eetd.lbl.gov/heatisland/pubs/painting >. Acesso em: 25 jun. 2007.

ROSENFELD, A.H.; AKBARI, H.; BRETZ, S.; FISHMAN, B.L.; KURN, D.M.; SAILOR, D.; TAHA, H. Mitigation of urban heat islands: materials, utility programs, updates. **Energy and Buildings**, Lausanne, v. 22, p. 255-265, 1995.

SAILOR, D.J. Simulated urban climate response to modifications in surface albedo and vegetative cover. **Journal of Applied Meteorology**, Boston, v. 34, n. 7, p. 1694-1704, 1995.

_____. Simulations of annual degree day impacts of urban vegetative augmentation. **Atmospheric environment**, Oxford, v. 31, n. 1, p. 43-52, 1998.

SAITO, I.; ISHIHARA, O.; KATAYAMA, T. Study of the effect of green areas on the thermal environment in an urban area. **Energy and Buildings**, Lausanne, v. 15/16, p. 493-498, 1990/91.

SANTAMOURIS, M. On the built environment – the urban influence. In: _____. **Energy and climate in the urban built environment**. Greece: James & James, 2001a. Chap. 1, p. 3-18.

_____. The role of green spaces. In: _____. **Energy and climate in the urban built environment**. Greece: James & James, 2001b. chap. 10, p. 145-159.

SANTAMOURIS, M.; PAPANIKOLAOU, N.; LIVADA, I.; KORONAKIS, I.; GEORGAKIS, C.; ARGIRIOU, A.; ASSIMAKOPOULOS, D.N. On the impacto f urban climate on the energy consumption of buildings. **Solar Energy**, Phoenix, v. 70, n. 3, p. 201-216, 2001.

SÃO PAULO. Secretaria Municipal do Verde e Meio Ambiente. **Atlas ambiental do Município de São Paulo – O verde, o Território, o Ser Humano**: diagnóstico e bases para a definição de políticas públicas para as áreas verdes no Município de São Paulo. São Paulo, 2004. 266 p.

SCHILLER, S. de; EVANS, J.M. Training architects and planners to designd with urban microclimates. **Atmospheric Environment**, Oxford, v. 30, n. 3, p. 449-454, 1996.

SHASHUA-BAR, L.; HOFFMAN, M.E. Vegetation as a climatic component in the design of an urban street: an empirical model for predicting the cooling effect of urban green areas with trees. **Energy and Buildings**, Lausanne, v. 31, p. 221-235, 2000.

SILVA FILHO, D.F. da; PIVETTA, K.F.L.; COUTO, H.T.Z. do; POLIZEL, J. L. Indicadores de floresta urbana a partir de imagens aéreas multiespectrais de alta resolução. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 67, p. 88-100, abr. 2005.

SIMPSON, J.R. Urban forest impacts on regional cooling and heating energy use: Sacramento county case study. **Journal of Arboriculture**, Illinois, v. 24, n. 4, p. 201-214, July 1998.

_____. Improved estimates of tree-shade effects on residential energy use. **Energy and Buildings**, Lausanne, v. 34, p. 1067-1076, 2002.

SIMPSON, J.R.; McPHERSON, E.G. Potential of tree shade for reducing residential energy use in California. **Journal of Arboriculture**, Illinois, v. 22, n. 1, p. 10-18, jan. 1996.

_____. Simulation of tree shade impacts on residential energy use for space conditioning in Sacramento. **Atmospheric Environment**, Oxford, v. 32, p. 69-74, 1998.

SOUCH, C.A.; SOUCH, C The effect of trees on summertime below canopy urban climates: a case study Bloomington, Indiana. **Journal of Arboriculture**, Illinois, v.19, n. 5, p. 303-312, Sept. 1993.

SPACE IMAGING. **IKONOS imagery products guide.** 2006. 19 p. Disponível em: <http://www.geoeye.com/products/imagery/ikonos/default.htm> Acesso em: 05 dez. 2006.

SPIRN, A.W. **O jardim de granito**. Tradução de P.R.M. Pellegrino. São Paulo: EDUSP, 1995. 345 p.

SUMMIT, J.; SOMMER, R. Urban tree-planting programs – a model for encouraging environmentally protective behavior. **Atmospheric Environment**, Oxford, v. 32, n. 1, p. 1-5, 1998.

TAHA, H. Urban climates and heat islands: albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat. **Energy and Buildings**, Lausanne, v. 25, p. 99-103, 1997.

TAHA, H.; AKBARI, H.; ROSENFELD, A.; HUNG, J. Residential cooling loads and the urban heat island – the effects of albedo. **Building and Environment**, Oxford, v. 23, n. 4, p. 271-283, 1988.

TARIFA, J.R.; ARMANI, G. Os climas urbanos. In: TARIFA, J.R.; AZEVEDO, T.R. de. (Org.). **Os climas na cidade de São Paulo:** teoria e prática. São Paulo. São Paulo: GEOUSP, 2001a. cap. 3, p. 47-70.

TARIFA, J.R.; ARMANI, G. Os climas “naturais”. In: TARIFA, J.R.; AZEVEDO, T.R. de. (Org.). **Os climas na cidade de São Paulo:** teoria e prática. São Paulo. São Paulo: Geousp, 2001b. cap. 2, p. 34-46.

TARIFA, J.R.; AZEVEDO, T.R. de. (Org.). **Os climas na cidade de São Paulo:** teoria e prática. São Paulo. São Paulo: GEOUSP, 2001. 199 p.

TOLMASQUIM, M. **País precisa de programa nacional de conservação de energia**. [Entrevista a Vladimir Platonow]. Disponível em <http://www.eletrobras.com/elb/procel/>. Acesso em: 28 jun. 2007.

TUCKER, C.J. Red and photographic infrared l,lnear combinations for monitoring vegetation. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 8, p. 127-150, 1979.

WENG, Q. Fractal analysis of satellite-detected urban heat island effect. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, Bethesda, v. 69, n. 5, p. 555-566, May 2003.

WIEGAND, C.L. Vegetation Indices in Crop Assessments. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 35, p. 105-119, 1991.

WILMERS, F. Green for melioration of urban climate. **Energy and Buildings**, Lausanne, v. 11, p. 289-299, 1988.
_____. Effects of vegetation on urban climate and buildings. **Energy and Buildings**, Lausanne, v. 15/16, p. 507-514, 1990/91.

YUAN, F.; BAUER, M.E. Comparison of impervious surface area and normalized difference vegetation index as indicators of surface urban heat island effects in Landsat imagery. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 106, p. 375-386, 2007.

ZAFIRIADIS, N. J. G. K. The impact of park trees on microclimate in urban areas. **Urban Ecosystems**, New York, v. 9, p. 195-209, 2006.

Livros Grátis

(http://www.livrosgratis.com.br)

Milhares de Livros para Download:

Baixar livros de Administração
Baixar livros de Agronomia
Baixar livros de Arquitetura
Baixar livros de Artes
Baixar livros de Astronomia
Baixar livros de Biologia Geral
Baixar livros de Ciência da Computação
Baixar livros de Ciência da Informação
Baixar livros de Ciência Política
Baixar livros de Ciências da Saúde
Baixar livros de Comunicação
Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE
Baixar livros de Defesa civil
Baixar livros de Direito
Baixar livros de Direitos humanos
Baixar livros de Economia
Baixar livros de Economia Doméstica
Baixar livros de Educação
Baixar livros de Educação - Trânsito
Baixar livros de Educação Física
Baixar livros de Engenharia Aeroespacial
Baixar livros de Farmácia
Baixar livros de Filosofia
Baixar livros de Física
Baixar livros de Geociências
Baixar livros de Geografia
Baixar livros de História
Baixar livros de Línguas

Baixar livros de Literatura
Baixar livros de Literatura de Cordel
Baixar livros de Literatura Infantil
Baixar livros de Matemática
Baixar livros de Medicina
Baixar livros de Medicina Veterinária
Baixar livros de Meio Ambiente
Baixar livros de Meteorologia
Baixar Monografias e TCC
Baixar livros Multidisciplinar
Baixar livros de Música
Baixar livros de Psicologia
Baixar livros de Química
Baixar livros de Saúde Coletiva
Baixar livros de Serviço Social
Baixar livros de Sociologia
Baixar livros de Teologia
Baixar livros de Trabalho
Baixar livros de Turismo