

**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Uso de imagens de alta resolução para definição de corredores
verdes na cidade de São Paulo**

Juliana Amorim da Costa

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências. Área de concentração: Recursos
Florestais com opção em Conservação de
Ecossistemas Florestais

**Piracicaba
2010**

**Juliana Amorim da Costa
Gestora Ambiental**

**Uso de imagens de alta resolução para definição de corredores verdes na cidade
de São Paulo**

Orientador:
Prof. Dr. **DEMÓSTENES FERREIRA DA SILVA
FILHO**

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências. Área de concentração: Recursos
Florestais com opção em Conservação de
Ecossistemas Florestais

**Piracicaba
2010**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP**

Costa, Juliana Amorim da
Uso de imagens de alta resolução para definição de corredores verdes na cidade de São Paulo / Juliana Amorim da Costa. - - Piracicaba, 2010.
114 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2010.
Bibliografia.

1. Arborização 2. Espaço Urbano 3. Espaços verdes 4. Geoprocessamento 5. Planejamento ambiental 6. Sensoriamento remoto I. Título

CDD 333.72
C837u

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

*Aos meus pais, Amorim e Cida, por sempre
priorizarem minha educação e de minha
irmã, dedico.*

AGRADECIMENTOS

A Deus, por iluminar meu caminho;

Ao meu querido orientador, professor Demóstenes Ferreira da Silva Filho, pelo aprendizado e por me guiar nesse estudo;

Ao querido Jefferson, muito mais do que o técnico do laboratório, pela amizade e por toda ajuda;

Aos meus pais, Amorim e Cida, e à minha irmã, Caroline, pela paciência que tiveram comigo nesse período e por me ajudarem com a dissertação sempre que necessário;

Ao meu querido amigo e vizinho para sempre Bruno (Topô), um irmão em todos os momentos;

Aos amigos do Centro de Métodos Quantitativos, em especial: Marcos, Camila e Sâmia, pelos cafés, almoços e jantares e por todo apoio;

Aos amigos de graduação, em especial: Luiza (Ferrari), Márcia (Pi-q), Bruno (Montoro), Diego (Pêra), Paulo Guilherme (Garmin) e Marcel (Ripax) pelos momentos de descontração;

Aos amigos da Casa do Estudante Universitário, em especial: Luana (Skuna), Thaís (Fofoleti) e Isabela (Pixe), pelas conversas e pelo futebol;

Aos colegas de trabalho, em especial: Ana Maria, Nádia, Mariana (Fa-b-ne) e Aline por me acompanharem diariamente na etapa final desse estudo;

A todos os familiares e amigos que participaram e me apoiaram nessa pesquisa;

À FAPESP por financiar essa pesquisa.

*“Tem horas em que, de repente, o mundo
vira pequenininho, mas noutra de-repente ele já
torna a ser demais de grande, outra vez. A
gente deve de esperar o terceiro pensamento.”*

João Guimarães Rosa

SUMÁRIO

RESUMO.....	11
ABSTRACT	13
LISTA DE FIGURAS	15
LISTA DE TABELAS	21
1 INTRODUÇÃO	23
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	25
2.1 Urbanização no Brasil e em São Paulo e suas consequências.....	25
2.2 Corredores verdes urbanos.....	28
2.3 Sensoriamento remoto e sistemas de informação geográfica.....	31
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	35
3.1 Área de estudo	35
3.1.1 O município de São Paulo.....	35
3.2 Processamento das imagens	36
3.2.1 Fusão e classificação de imagens de alta resolução	38
3.2.1.1 Fusão das imagens Quickbird	38
3.2.1.2 Classificação automática de imagens de alta resolução	38
3.3 Cálculo do Índice de Floresta Urbana	41
3.4 Definição de áreas prioritárias para corredores verdes.....	42
3.4.1 Índice de vegetação e declividade	43
3.4.2 Pontos de alagamento e imagens classificadas.....	44
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	47
4.1 Fusão de imagens Quickbird.....	47
4.2 Obtenção de dados físicos a partir de imagens de alta resolução	52
4.2.1 Classificadores não supervisionados	53
4.2.2 Classificadores supervisionados	57
4.3 Quantificação de cobertura arbórea em áreas urbanas	64
4.3.1 Subprefeitura da Mooca	64
4.3.2 Subprefeitura da Sé	71
4.3.3 Subprefeitura de Pinheiros.....	76
4.4 Definição das áreas prioritárias para corredores verdes	80

4.4.1 Índice de vegetação e declividade	81
4.4.1.1 Índice de vegetação.....	81
4.4.1.2 Declividade em áreas urbanas	85
4.4.1.3 Áreas prioritárias para corredores verdes: índice de vegetação x declividade ..	87
4.4.2 Pontos de alagamento e árvores urbanas	97
4.4.2.1 Correlação entre copa arbórea e ocorrências de alagamentos	98
4.4.2.2 Definição de áreas prioritárias para corredores verdes	104
4.4.2.2.1 Subprefeitura da Mooca.....	104
4.4.2.2.2 Subprefeitura da Sé	106
4.4.2.2.3 Subprefeitura de Pinheiros	107
5 CONCLUSÕES.....	109
REFERÊNCIAS	111

RESUMO

Uso de imagens de alta resolução para definição de corredores verdes na cidade de São Paulo

A presença de áreas verdes nas cidades traz inúmeras melhorias a esta e melhora a qualidade de vida do cidadão. Os elementos vegetativos urbanos contribuem para a diminuição dos fenômenos conhecidos como ilhas de calor, amenização de inundações e de problemas respiratórios na população, além de exercerem funções estéticas, de lazer e educacional. Entretanto, o crescimento das cidades brasileiras não foi acompanhado por um planejamento urbano que conduzisse essa expansão e reservasse espaços para o verde, como é o caso da cidade de São Paulo. Uma metrópole que possui problemas sociais e ambientais que a cada dia ajudam a deteriorar a qualidade de vida de seus moradores, sendo vista como a capital do stress, poluição e violência. As ferramentas de geoprocessamento e sensoriamento remoto vem sendo utilizadas com sucesso para avaliar o tecido urbano e, em especial, a arborização presente na cidade. Assim, fez-se uso de imagens de alta resolução para indicar áreas prioritárias a serem arborizadas em três regiões da cidade de São Paulo, utilizando o conceito de corredores verdes: subprefeitura da Mooca, subprefeitura da Sé e subprefeitura de Pinheiros. Para isto foram avaliados diferentes métodos de obtenção de dados físicos do tecido urbano, por meio de técnicas classificação de imagens de alta resolução. O método de classificação que demonstrou ser o mais adequado para este trabalho foi o Stepwise Linear. Também foram estudadas e relacionadas variáveis que influenciam na presença do verde na cidade: índice de vegetação e declividade; e pontos de alagamento e quantidade de cobertura arbórea. Estas duas últimas variáveis não apresentaram correlação entre si. Por meio destas variáveis foi possível indicar áreas prioritárias para o desenvolvimento de corredores verdes. Foram comparadas imagens de satélite de diferentes anos para acompanhar e estudar a evolução das áreas verdes na cidade. Deste modo, oferecer diretrizes para guiar a cidade de São Paulo em direção à sustentabilidade urbana.

Palavras-chave: Geoprocessamento; Sensoriamento Remoto; Verde Urbano

ABSTRACT

Use of high-resolution images to define greenways in the city of Sao Paulo

The presence of green areas in the cities brings uncountable improvements to them and also makes better citizen's life. Urban vegetative elements contribute to reduce a phenomenon known as urban heat island; it softens inundations and people's respiratory problems, besides its esthetical, leisure and educational functions. Although Brazilian cities growth was not supported by an urban planning that would have leded expansion and also could have reserved green areas, as it is in São Paulo city. A metropolis which has social and environment problems that each day help to damage quality of people life with the image of the stress, pollution and violence center. Geoprocessing and remote sensing have been used successfully to evaluate urban area and, specially, urban forestry presence. Thus, it was used high definition images to indicate proprietary areas to be urban forestry in three zones of São Paulo, using the concept of greenways: Mooca's administrative region, Sé's administrative region and Pinheiros's administrative region. For this, it was evaluated many methods to obtain physical data from São Paulo city urban area, through high-resolution image classification techniques. The method Stepwise Linear proved to be most appropriate for this research. Also it was evaluated variables studied that influence green presence in the city: vegetation index and slope; and flooding points and quantity of tree cover. These last two variables not showed correlation. By means of these variables were indicated priority areas for greenways. Satellite images from different periods were compared to observe and study green areas evolution in the city. Therefore, offering directions to guide São Paulo city toward to urban sustainability

Keywords: Geoprocessing; Remote Sensing; Urban Green

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Área de estudo.....	36
Figura 2 - TIN gerado a partir do MDT para a imagem Quickbird 2008 da subprefeitura da Sé.....	44
Figura 3 - Testes de fusão das imagens Quickbird 2008 para a subprefeitura da Mooca: a) Imagem fusionada utilizando as bandas do azul, vermelho, infravermelho próximo e pancromática (Teste 1); b) Imagem fusionada utilizando as quatro bandas multiespectrais, mais a banda pancromática (Teste 2); c) Imagem fusionada utilizando as bandas do verde, vermelho, infravermelho próximo e pancromática (Teste 3).....	48
Figura 4 - Testes de fusão das imagens Quickbird 2008 para a subprefeitura de Pinheiros: a) Imagem fusionada utilizando as bandas do azul, vermelho, infravermelho próximo e pancromática (Teste 1); b) Imagem fusionada utilizando as quatro bandas multiespectrais, mais a banda pancromática (Teste 2); c) Imagem fusionada utilizando as bandas do verde, vermelho, infravermelho próximo e pancromática (Teste 3)	49
Figura 5 - Testes de fusão das imagens Quickbird 2008 para a subprefeitura da Sé: a) Imagem fusionada utilizando as bandas do azul, vermelho, infravermelho próximo e pancromática (Teste 1); b) Imagem fusionada utilizando as quatro bandas multiespectrais, mais a banda pancromática (Teste 2); c) Imagem fusionada utilizando as bandas do verde, vermelho, infravermelho próximo e pancromática (Teste 3)	50
Figura 6 - Testes com o classificador K-Means: a) Recorte de imagem IKONOS do ano de 2002 da subprefeitura da Mooca; b) Recorte de Imagem IKONOS classificada da subprefeitura da Mooca; c) Recorte de imagem Quickbird do ano de 2008 da subprefeitura da Mooca; d) Recorte de Imagem Quickbird classificada da subprefeitura da Mooca	54

Figura 7 - Dendograma de imagem IKONOS da subprefeitura da Mooca, classificada pelo método K- Means.....	55
Figura 8 - Testes com o classificador ISODATA: a) Recorte de imagem IKONOS do ano de 2002 da subprefeitura da Mooca; b) Recorte de Imagem IKONOS classificada da subprefeitura da Mooca; c) Recorte de imagem Quickbird do ano de 2008 da subprefeitura da Mooca; d) Recorte de Imagem Quickbird classificada da subprefeitura da Mooca.....	56
Figura 9 - Dendograma de imagem IKONOS da subprefeitura da Mooca, classificada com o método ISODATA	57
Figura 10 - Testes com o classificador de Máxima Verossimilhança: a) Recorte de imagem IKONOS do ano de 2002 da subprefeitura de Pinheiros; b) Recorte de imagem IKONOS classificada da subprefeitura de Pinheiros; c) Recorte de imagem Quickbird do ano de 2008 da subprefeitura de Pinheiros; d) Recorte de Imagem Quickbird classificada da subprefeitura de Pinheiros.....	59
Figura 11 - Dendograma de imagem Quickbird do ano de 2008 da subprefeitura de Pinheiros, classificada com o método de Máxima.....	60
Figura 12 - Testes com o classificador Stepwise Linear: a) Recorte de imagem IKONOS do ano de 2002 da subprefeitura de Pinheiros; b) Recorte de imagem IKONOS classificada da subprefeitura de Pinheiros; c) Recorte de imagem Quickbird do ano de 2008 da subprefeitura de Pinheiros; d) Recorte de Imagem Quickbird classificada da subprefeitura de Pinheiros.....	61
Figura 13 - Dendograma de imagem Quickbird da subprefeitura de Pinheiros, classificada com o método Stepwise Linear	63
Figura 14 - Rua Maria Domitila, Brás.....	65

Figura 15 - Matriz de erro de classificação da imagem IKONOS de 2002 para a subprefeitura da Mooca	67
Figura 16 - Matriz de erro de classificação da imagem Quickbird de 2004 para a subprefeitura da Mooca	68
Figura 17 - Matriz de erro de classificação da imagem Quickbird de 2006 para a subprefeitura da Mooca	68
Figura 18 - Matriz de erro de classificação da imagem Quickbird de 2008 para a subprefeitura da Mooca.....	69
Figura 19 - Rua Boa Vista, Sé.....	72
Figura 20 - Matriz de erro de classificação da imagem IKONOS de 2002 para a subprefeitura da Sé.....	73
Figura 21 - Matriz de erro de classificação da imagem Quickbird de 2004 para a subprefeitura da Sé.....	74
Figura 22 - Matriz de erro de classificação da imagem Quickbird de 2008 para a subprefeitura da Sé.....	74
Figura 23 - Avenida Antonio Batuirá, Alto de Pinheiros.....	77
Figura 24 - Matriz de erro de classificação da imagem IKONOS de 2002 para a subprefeitura de Pinheiros	78
Figura 25 - Matriz de erro de classificação da imagem Quickbird de 2008 para a subprefeitura de Pinheiros	79
Figura 26 - Alagamento na Rua Maria Domitila, Brás, dia 06 de fevereiro de 2010.....	81

Figura 27 - Índice de vegetação aplicado para a subprefeitura da Mooca: a) Resultado da aplicação do TVI; b) TVI reclassificado em quatro classes.....	83
Figura 28 - Índice de vegetação aplicado para a subprefeitura da Sé: a) Resultado da aplicação do TVI; b) TVI reclassificado em quatro classes	83
Figura 29 - Índice de vegetação aplicado para a subprefeitura de Pinheiros: a) Resultado da aplicação do TVI; b) TVI reclassificado em quatro classes.....	84
Figura 30 - Declividades referentes à subprefeitura da Mooca: a) Declividade gerada a partir do MDT e TIN; b) Declividade reclassificada em quatro classes	86
Figura 31 - Declividades referentes à subprefeitura da Sé: a) Declividade gerada a partir do MDT e TIN; b) Declividade reclassificada em quatro classes	86
Figura 32 - Declividades referentes à subprefeitura de Pinheiros: a) Declividade gerada a partir do MDT e TIN; b) Declividade reclassificada em quatro classes.....	87
Figura 33 - Áreas prioritárias para políticas de arborização na subprefeitura da Mooca.....	88
Figura 34 - Rua Santa Albertina, Água Rasa.....	89
Figura 35 - Indicação de áreas para corredores verdes na subprefeitura da Mooca.....	90
Figura 36 - Áreas prioritárias para políticas de arborização na subprefeitura da Sé	91
Figura 37 - Rua Pedroso, Bela Vista	92
Figura 38 - Indicação de áreas para corredores verdes na subprefeitura da Sé	93

Figura 39 - Áreas prioritárias para políticas de arborização na subprefeitura de Pinheiros	94
Figura 40 - Rua Jerônimo da Veiga, Itaim Bibi	95
Figura 41 - Indicação de áreas para corredores verdes na subprefeitura de Pinheiros	96
Figura 42 - Definição de corredores verdes para as subprefeituras da Mooca, da Sé e de Pinheiros	97
Figura 43 - Gráfico de correlação entre área de copa e pontos de alagamento para a subprefeitura da Mooca.....	99
Figura 44 - Gráfico de correlação entre área de copa e pontos de alagamento para a subprefeitura da Sé	101
Figura 45 - Gráfico de correlação entre área de copa e pontos de alagamento para a subprefeitura de Pinheiros.....	103
Figura 46 - Localização dos quadrantes definidos como prioritários para corredores verdes para a subprefeitura da Mooca	105
Figura 47 - Localização dos quadrantes definidos como prioritários para corredores verdes para a subprefeitura da Sé	106
Figura 48 - Localização dos quadrantes definidos como prioritários para corredores verdes para a subprefeitura de Pinheiros.....	108

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características do satélite Quickbird	37
Tabela 2 - Descrição das bandas presentes na imagem Quickbird	38
Tabela 3 - Interpretação do índice Kappa	40
Tabela 4 - Porcentagem das classes para a subprefeitura da Mooca utilizando o método de classificação de Máxima Verossimilhança	51
Tabela 5 - Porcentagem das classes para a subprefeitura da Mooca utilizando o método de Classificação Stepwise Linear	52
Tabela 6 - Cobertura do solo da região da subprefeitura da Mooca nos anos de 2002, 2004, 2006 e 2008	66
Tabela 7 - Índice de Floresta Urbana para a subprefeitura da Mooca	70
Tabela 8 - Cobertura do solo da região da subprefeitura da Sé nos anos de 2002, 2004, 2006 e 2008	73
Tabela 9 - Índice de Floresta Urbana para a subprefeitura da Sé.....	75
Tabela 10 - Cobertura do solo da região da subprefeitura de Pinheiros nos anos de 2002, 2004 e 2008	78
Tabela 11 - Índice de Floresta Urbana para a subprefeitura de Pinheiros	80
Tabela 12 - Faixas de Declividade	86
Tabela 13 - Prioridade para arborização	87
Tabela 14 - Média dos valores de prioridade para arborização nos bairros da subprefeitura da Mooca.....	89

Tabela 15 - Média dos valores de prioridade para arborização nos bairros da subprefeitura da Sé.....	91
Tabela 16 - Média dos valores de prioridade para arborização nos bairros da subprefeitura de Pinheiros	94
Tabela 17 - Valores de copa arbórea e pontos de alagamento para a subprefeitura da Mooca.....	98
Tabela 18 - Valores de copa arbórea e pontos de alagamento para a subprefeitura da Sé	100
Tabela 19 - Valores de copa arbórea e pontos de alagamento para a subprefeitura de Pinheiros	102
Tabela 20 - Quadrantes indicados como prioritários para arborização na subprefeitura da Mooca.....	105
Tabela 21 - Quadrantes indicados como prioritários para arborização na subprefeitura da Sé	106
Tabela 22 - Quadrantes indicados como prioritários para arborização na subprefeitura de Pinheiros.....	107

1 INTRODUÇÃO

A crescente crise ambiental sentida pela população mundial, principalmente, devido às consequências do aquecimento global, gerou mudanças de percepção em relação ao ambiente onde vivemos. Assim, um fator relevante na atualidade tem sido a preocupação com a questão ambiental que permeia a qualidade de vida das pessoas. Maior importância está sendo dada às áreas verdes, principalmente, às florestas. Entretanto, com a maior parte da população do planeta vivendo em áreas urbanas, deve-se dedicar uma atenção especial às áreas verdes desses locais (COSTA, 2004).

Sendo a cidade de São Paulo, uma das maiores cidades mundiais, que concentra mais de dez milhões de pessoas (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, IBGE, 2007), possuindo todos os problemas que tal título e tal adensamento populacional lhe conferem, como concentração de muitas ilhas de calor (PENHALBER et al., 2004), esta precisa de um planejamento efetivo de suas áreas verdes, para que sua população tenha uma qualidade de vida digna e para que se enquadre como uma cidade sustentável.

E de grande auxílio para o estudo e planejamento de áreas urbanas são os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e ferramentas de sensoriamento remoto. Estas permitem a identificação de elementos presentes no tecido urbano além de diversas análises quantitativas e qualitativas deste ambiente, sendo de especial importância para estudos de arborização urbana.

Este trabalho pretende analisar diferentes métodos de obtenção de dados físicos do tecido urbano da cidade de São Paulo, por meio da análise dos bairros de três regionais (Mooca, Sé e Pinheiros), também conhecidas como subprefeituras, com o auxílio de técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto, além de analisar imagens de satélite de diversos anos da cidade, para poder comparar as modificações das áreas verdes na região, e assim indicar áreas que mais necessitam de investimentos para poderem ter uma arborização de qualidade, que ofereça todos os benefícios que a mesma pode fornecer à população, bem como propor a utilização de corredores verdes nestas áreas, já que os mesmos intensificam os benefícios da arborização.

Assim o objetivo geral desse trabalho é a indicação de áreas prioritárias para corredores verdes nas três subprefeituras estudadas da cidade de São Paulo: Mooca, Sé e Pinheiros.

Como objetivos específicos desse trabalho têm-se:

(i) Análise de diferentes modelos de obtenção de dados físicos do tecido urbano da cidade de São Paulo por meio de sensoriamento remoto e sistemas de informação geográfica para a definição do melhor método para eleição de áreas prioritárias;

(ii) Análise de imagens de satélite de diferentes épocas da cidade, para verificação das transformações das áreas verdes nas três regionais em estudo;

(iii) Definição de variáveis importantes para a indicação de áreas prioritárias para corredores verdes.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Urbanização no Brasil e em São Paulo e suas consequências

Desde a colonização do Brasil as cidades construídas estabeleciam uma separação entre ambiente urbano e ambiente natural, além de estabelecer uma atitude utilitarista com a natureza (PILOTTO, 2003).

E, de acordo com Bolaffi (1992), o planejamento urbano no Brasil não foi alvo de uma política específica, apesar de existirem alguns planos espalhados em várias cidades brasileiras, até o golpe militar de 1964. Durante o período militar foram criados alguns órgãos para estabelecerem essa política e criarem a primeira política urbana nacional. Entretanto, o resultado não foi bom, houve corrupção dentro desses órgãos, as metas não foram atingidas e, muitas vezes, os planos que eram criados, ficavam apenas no papel. O próprio autor descreve como uma infeliz experiência de planejamento urbano.

Nesta época estudada por Bolaffi (1992), mesmo se constituindo numa das maiores cidades do país, São Paulo ainda não possuía um planejamento de sua urbanização.

Camarano e Beltrão (2000) estudaram o período de 1940 a 1996, no Brasil, que foi caracterizado por uma grande perda de população rural e uma acentuada concentração populacional nas grandes cidades, processo ocasionado, principalmente, pela migração. E, de acordo com este trabalho, em 1940, 80,5% dos brasileiros viviam nas áreas rurais e/ou em cidades com menos de 20 mil habitantes. Menos de 30 anos depois, em 1996, o percentual da população que vivia em áreas urbanas saltou para 78%, sendo que 17% residiam em São Paulo ou no Rio de Janeiro. O que demonstra a rápida urbanização do território brasileiro e São Paulo se consolidando como umas das maiores cidades brasileiras.

Por meio da análise do processo de urbanização brasileira, percebe-se que foram reservados poucos espaços vazios que pudessem servir como lazer e preservação ambiental (ALVAREZ; PENTEADO, 2006).

Dias (2002 apud PILOTTO, 2003), estabelece uma relação entre a expansão dos ecossistemas urbanos e o aumento dos problemas ambientais e sociais, analisando que essa expansão acarreta no aumento do consumo energético, na impermeabilização de solos, em alterações microclimáticas, fragmentação e destruição de habitats, poluição atmosférica e sonora, aumento da produção de resíduos sólidos, líquidos e gasosos despejados em locais não adequados.

Estudo realizado no Atlas Ambiental do Município de São Paulo (2010) evidencia os problemas que se intensificaram após a rápida e não planejada urbanização desta cidade. Em destaque tem-se o problema das várzeas, que foram tomadas por asfalto e construções, diminuindo a capacidade de infiltração no solo devido sua impermeabilização e contribuindo para ocorrências de alagamentos. Esta relação entre urbanização não planejada, ocupação de áreas de bacias com consequentes problemas na drenagem urbana e agravamento de enchentes também foi apresentada por Cruz et al. (2007) e Tucci (2003).

Todos estes itens apresentados acarretam em impactos negativos no ambiente e na vida da população, e os principais transtornos causados são a criação de ilhas de calor e inundações, devido ao aumento das taxas de escoamento superficial (BRYANT, 2006), dois grandes problemas vivenciados no município paulista.

Estes conjuntos de informações e dados evidenciam a caótica e não planejada urbanização e o rápido adensamento populacional da cidade de São Paulo que evoluiu muito rapidamente de uma pequena cidade com reduzida área urbanizada, para uma metrópole de *status* mundial, e as consequências dessa urbanização descontrolada são sentidas atualmente (BARBOSA, 2001; IGLECIAS, 2002).

Como exemplos do reflexo dessa ausência de políticas públicas adequadas para o município em questão, podem-se citar problemas ocasionados tanto na esfera econômica, quanto nas esferas social e ambiental, resultando na degradação da qualidade de vida da população, por meio de altos níveis de poluição, grande quantidade de resíduos, transformação de áreas verdes em áreas impermeabilizadas, altos níveis de violência e segregação social, comprometendo a saúde física e mental desta população, que já não convive mais no espaço de rua, visto como um espaço de criminalidade (BRAGA, 1999; PILOTTO, 2003).

Assim, faz-se necessária a criação de uma infra-estrutura urbana que retire essa imagem do espaço público como um local de violência e seja um ambiente para o lazer dos moradores, aumentando a qualidade de vida dos mesmos. Para que estes voltem a viver a cidade.

Além disso, a implantação de áreas verdes na cidade, graças às funções exercidas pelas mesmas, exploradas no próximo item, contribui com a amenização de diversos problemas, como ilhas de calor, enchentes e doenças respiratórias na população, do mesmo modo que contribui com a estética da cidade, com o lazer e a educação.

Quanto à sustentabilidade urbana, Wheeler (2000), analisa que esta deve conter os seguintes aspectos: preservação de áreas verdes, redução do uso do automóvel, redução de resíduos e poluição, reutilização e reciclagem, qualidade de vida à população, habitação acessível, promoção de igualdade social e de oportunidades, e desenvolvimento da economia local.

Portanto, este trabalho vai de encontro às ideias de sustentabilidade urbana, já que pretende identificar áreas insuficientes na arborização para assim poder servir como base para projetos e/ou políticas de incremento da arborização urbana. Deste modo, pretende-se que São Paulo, além de ser reconhecida como um pólo artístico, cultural, científico e tecnológico, também seja conhecida por suas ações em direção à sustentabilidade ambiental.

Devido ao seu tamanho e complexidade, a cidade de São Paulo é organizada em regionais (subprefeituras). Cada uma destas é responsável por um setor da cidade, isto é, é responsável por manter a organização e melhorar a qualidade de vida e infra-estrutura de um número específico de bairros.

A cidade está organizada em 31 subprefeituras, distribuídas em todas as suas zonas (oeste, centro, leste, sul e norte), e são as seguintes: Aricanduva (SPAF); Butantã (SPBT); Campo Limpo (SPCL); Capela do Socorro (SPCS); Casa Verde (SPCV); Cidade Ademar (SPAD); Cidade Tiradentes (SPCT); Ermelino Matarazzo (SPEM); Freguesia/Brasilândia (SPFO); Guaianases (SPG); Ipiranga (SPIP); Itaim Paulista (SPIT); Itaquera (SPIQ); Jabaquara (SPJA); Jaçanã/Tremembé (SPJT); Lapa (SPLA); M'Boi Mirim (SPMB); Mooca (SPMO); Parelheiros (SPPA); Penha (SPPE);

Perus (SPPR); Pinheiros (SPPI); Pirituba/Jaraguá (SPPJ); Santana/Tucuruvi (SPST); Santo Amaro (SPSA); São Mateus (SPSM); São Miguel Paulista (SPMP); Sé (SPSE); Vila Mariana (SPVM); Vila Maria/Vila Guilherme (SPMG); e Vila Prudente (SPVP) (PORTAL DA PREFEITURA DA CIDADE DE SÃO PAULO, 2009).

Neste trabalho foram analisadas quanto à presença de floresta urbana, bem como a evolução da mesma em três diferentes anos, a subprefeitura da Mooca, por se localizar na região leste da cidade, com bairros carentes em arborização, a subprefeitura da Sé, localizada no centro, também uma área carente em arborização e a subprefeitura de Pinheiros, localizada na região oeste da cidade, com maiores índices de áreas verdes que as outras duas citadas.

2.2 Corredores verdes urbanos

A presença de áreas verdes nas cidades traz diversos benefícios para seus habitantes, já que, de acordo com Pizzol (2006) a qualidade do ambiente urbano está relacionada aos aspectos físicos, psicológicos e visuais da paisagem, sendo fundamental a presença de espaços livres contendo elementos vegetativos, pois a vegetação está intrinsecamente relacionada à melhoria e manutenção da qualidade ambiental urbana.

Por isso, os elementos vegetativos devem ser considerados como elementos urbanos, que fazem parte da cidade, e que esta não existe sem aqueles (MADUREIRA, 2002).

Neste projeto trabalhou-se com o conceito de *greenways*, que, de acordo com Frischenbruder e Pellegrino (2006), tem seu equivalente em português na expressão “caminhos verdes”, uma área verde que dispõe de maneira linear os elementos vegetativos. Na literatura são encontrados diversos termos para designar essa disposição linear da vegetação, como “corredores verdes”, “vias verdes” e “redes verdes” (ALVAREZ; PENTEADO, 2006; MADUREIRA, 2002; PILOTTO, 2003; QUENTAL; SILVA; LOURENÇO, 2004). Optou-se por utilizar o termo corredores verdes.

Esses corredores são áreas verdes que mantêm uma linearidade na disposição de seus elementos, planejados para desempenhar múltiplas funções, desde ecológicas, como conectividade entre as áreas verdes já existentes e manutenção da biodiversidade, até funções estéticas, culturais e recreativas, gerando assim um ordenamento sustentável do território (AHERN, 1995; FRISCHENBRUDER; PELLEGRINO, 2006).

Ahern (1995) considerou cinco ideias principais presentes no conceito de corredores verdes:

- os corredores possuem uma configuração linear, que oferece vantagens para a movimentação de animais e troca de energia e materiais, potencializando as funções de uma área verde (MADUREIRA, 2002);

- conectividade, configurando-se como sistemas integrados que adquirem propriedades sinérgicas da rede formada;

- multifuncionalidade, refletindo objetivos ecológicos, culturais, sociais e estéticos, compatibilizando diversos usos;

- são baseados no conceito de sustentabilidade, conciliando proteção ambiental e desenvolvimento econômico;

- constituem um sistema linear integrado e devem ser considerados como um complemento da paisagem urbana.

Pilotto (2003) acrescenta outra característica chave aos corredores verdes presentes na área urbana: a interdependência existente entre o ecossistema urbano e o ecossistema natural.

Devido a essas características inerentes aos corredores verdes, estes acarretam em benefícios sociais, econômicos e ambientais, já que além da função biológica (proteção da biodiversidade, criação de rotas de dispersão, gerenciamento das águas, compensação dos efeitos de fragmentação da paisagem, controle da erosão e sedimentação), possuem função educativa, atuando na sensibilização da população para a importância de áreas verdes, além de proporcionarem oportunidades de recreação e fortalecimento e coesão comunitária e cultural (AHERN, 1995; ALVAREZ; PENTEADO, 2006; BRYANT, 2006; PILOTTO, 2003; WALMSLEY, 1995). Portanto integra necessidades humanas com conservação da biodiversidade (BRYANT, 2006).

Ahern (1995) coloca algumas questões controversas quanto à utilização de corredores verdes e seus benefícios. O autor esclarece que ainda há dúvidas entre pesquisadores sobre a atuação dos corredores em facilitar a movimentação de espécies; outros acreditam que os recursos escassos reservados à proteção ambiental devem ser destinados à proteção de áreas já existentes e não à criação de novas áreas; coloca também que os corredores podem ser inapropriados para uso urbano e que a atenção dada a estes pode desviar a preocupação com outras prioridades de conservação; além de problemas políticos para a implementação dessas áreas.

Outro ponto a ser questionado é a demanda da população por essas áreas. A participação da população é crucial para o sucesso de qualquer modificação no tecido urbano. Por isso, faz-se necessário um programa de educação ambiental com os moradores para que possam se sensibilizar quanto à importância de áreas verdes na cidade e assim ver surgir uma vontade real de possuir essas áreas, gerando respeito e cuidado para com as mesmas.

Alguns estudos quanto à viabilidade e implementação desses corredores já foram realizados no Brasil. É possível citar o trabalho de Alvarez e Penteado (2006), que estudaram a viabilidade de criação de corredores verdes urbanos na cidade de Vitória, Espírito Santo; e Pilotto (2003) apresentou um método de implementação de uma rede verde urbana para Florianópolis, Santa Catarina.

Frischenbruder e Pellegrino (2006) enumeram alguns locais no Brasil que introduziram o conceito de espaço verde linear no tecido urbano: Floresta da Tijuca e Petrópolis (Rio de Janeiro), Londrina e Maringá (Paraná), Goiânia (Goiás), São José do Rio Preto (São Paulo) e Brasília. E concluem que o melhor exemplo é o da cidade de Curitiba, no Paraná, pois além de constituírem áreas que protegem corpos d'água mantendo áreas de preservação, fazem parte de um sistema público recreacional.

Entretanto, Bryant (2006) analisa que o potencial da utilização de corredores verdes na área urbana ainda não foi devidamente explorado e que o conhecimento sobre sistemas naturais nas cidades ainda está incompleto.

No Brasil, além do déficit de estudos na área ser ainda maior, como afirmam Frischenbruder e Pellegrino (2006), ainda não existem muitos modelos de corredores verdes a serem analisados no país, e aqueles já existentes são recentes.

2.3 Sensoriamento remoto e sistemas de informação geográfica

Sensores são dispositivos capazes de detectar e registrar a radiação eletromagnética em determinada faixa do espectro eletromagnético e gerar informações que possam ser transformadas num produto passível de interpretação, como na forma de imagem (MOREIRA, 2005).

Técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento são de grande auxílio para se conseguir informações referentes à visualização e quantificação da arborização urbana e sua estrutura, permitindo uma avaliação periódica das áreas, constituindo-se de um método eficiente e econômico, possibilitando uma visão total das áreas estudadas (SILVA FILHO, 2004).

Para aquisição do produto final, ou seja, das propriedades espectrais dos alvos da superfície terrestre, existem três níveis em que os sensores podem ser utilizados: terrestre, suborbital e orbital (MOREIRA, 2005).

Os satélites são sensores orbitais, e, neste trabalho foram utilizadas as imagens multiespectrais produzidas pelo satélite IKONOS, operado pela empresa *Space Imaging*, do ano de 2002, que registra a radiação eletromagnética proveniente dos alvos em várias faixas espectrais e possui alta resolução espacial (1m x 1m de lado de pixel), além de um modelo de elevação digital do terreno do município de São Paulo.

O satélite IKONOS é caracterizado como um satélite de recursos naturais, utilizado para coleta de dados sobre os recursos naturais renováveis e não renováveis da superfície terrestre (MOREIRA, 2005).

Também foram utilizadas imagens multiespectrais de alta resolução do satélite Quickbird dos anos de 2004, 2006 e 2008, desenvolvido pela *DigitalGlobe*. É um satélite de alta precisão que oferece imagens comerciais de alta resolução da Terra (QUICKBIRD, 2008). Sendo 0,61m x 0,61m de lado de pixel para as imagens pancromáticas e 2,5m x 2,5m de lado de pixel para as imagens multiespectrais.

As imagens pancromáticas e multiespectrais são planejadas para dar suporte nas aplicações em gerenciamento de avaliação de riscos e publicações de mapas com ênfase nas áreas urbanas (QUICKBIRD, 2008).

O sistema coleta dados com 61 centímetros de resolução espacial no pancromático e 2,5 metros no multiespectral em um vasto campo de observação, apresenta rápida seleção de alvo e permite a geração de pares estereoscópicos (QUICKBIRD, 2008).

De grande valia para elaboração de mapas urbanos; mapas de arruamentos e cadastro; cadastro urbano e rural; apoio em GPS; uso e ocupação do solo (urbano, sobretudo); arquitetura, urbanismo, paisagismo, dentre outras são os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) (MOREIRA, 2005).

SIGs são as ferramentas utilizadas para realizar o geoprocessamento. E geoprocessamento é a utilização de técnicas matemáticas e computacionais para tratar dados obtidos de objetos ou fenômenos, quando eles são observados por um sistema sensor (MOREIRA, 2005). Com o SIG pode-se realizar entrada de dados, gerenciamento de informações, recuperação de informações, manipulação e análise, exibição e produção de saídas, tratamento de imagens digitais. Desta forma, uma excelente ferramenta que contribui com o planejamento urbano.

São necessários processamentos em imagens de satélite para a extração de alvos urbanos das imagens de maneira satisfatória. Dentro destes processamentos têm-se, como exemplo, processos de fusão e classificação automática de imagens, além de aplicação de índices de vegetação.

A fusão de imagens permite manter a resolução espectral obtida com uma imagem multiespectral com melhora de sua resolução espacial a partir de sua imagem pancromática (CENTENO; RIBEIRO, 2007). Para este processo existem diferentes métodos.

Pinho (2005) apresenta três tipos de fusão realizados em imagens Quickbird: as que utilizam um modelo de domínio espacial, as de domínio espectral e aquelas que trabalham com operações algébricas. Este autor destacou a técnica conhecida como Brovey, a qual obteve como resultado imagens com uma variação de cores significativa, variando do verde brilhante ao azul escuro e diferença de tonalidade para áreas vegetadas. Este método foi utilizado neste estudo, ele opera por meio de um modelo algébrico com funções aritméticas pixel a pixel, realizando uma normalização de cores.

O processo de classificação é realizado para se obter informações da imagem que garantam uma análise satisfatória do território. Existem variados tipos de classificação automática, desde aquelas que necessitam de maior intervenção do usuário e a necessidade de coleta de amostras de pixels que constituem o treinador, as classificações supervisionadas e aquelas que apenas necessitam da definição de alguns parâmetros, as classificações não supervisionadas.

Dentro das classificações supervisionadas é possível citar os métodos de Máxima Verossimilhança (*Maximum Likelihood*) e Stepwise Linear. O método de Máxima Verossimilhança avalia quantitativamente a variância e a covariância dos padrões de respostas espectrais das amostras de pixels coletadas da imagem, assumindo que possuem uma distribuição normal e também faz uso de estatísticas de probabilidade para identificar qual a classe que determinado pixel pertence (LILLESAND et al., 2004). Enquanto que o método Stepwise Linear faz uso de análise linear discriminante para encontrar a classe referente a determinado conjunto de pixels (MICROIMAGES, 2006).

Para as classificações automáticas não supervisionadas tem-se, entre outros, os métodos K-Means e ISODATA (*Iterative Self-Organizing Data Analysis*). O método K-Means agrupa os pixels na quantidade de classes definida pelo usuário, calculando o centróide de cada classe para poder distribuir esses pixels. O método ISODATA também utiliza o valor do centro de cada classe para agrupar os pixels, além de aplicar técnicas de fusão, exclusão e divisão para a classificação (LILLESAND et al., 2004).

Já os índices de vegetação auxiliam na caracterização de elementos vegetativos presentes na imagem. Visam normalizar efeitos de variações no dossel, no solo e em componentes não fotossintéticos da vegetação. Diversas variações de índices de vegetação são passíveis de processamento em programas de geoprocessamento, como o NDVI (*Normalized Vegetation Index*) e o TVI (*Transformed Vegetation Index*) (JENSEN, 2007). Testes devem ser realizados para estabelecer qual o melhor índice a ser aplicado na imagem de trabalho.

Neste trabalho optou-se pelo uso do TVI. Este índice evidencia a vegetação utilizando as bandas do infravermelho próximo e do vermelho da imagem (MICROIMAGES, 2007).

Com a utilização dessas técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto foram avaliadas as áreas verdes de São Paulo, para assim ser possível direcionar áreas que mais necessitam de elementos vegetativos, com enfoque no conceito de corredores verdes, bem como contribuir para a literatura específica.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

3.1.1 O município de São Paulo

O município de São Paulo possui extensão de 1.530 km² de área, altitude 500m acima do nível do mar, localizada na latitude de 23°32.0'S e na longitude de 46°37.0'W, no estado de São Paulo, região Sudeste, Brasil (CIDADE DE SÃO PAULO, 2008), com uma população de 10.886.518 habitantes (IBGE, 2007). Caracterizado por clima subtropical (tipo Cwa segundo Köppenn), com temperaturas médias anuais de 19°C.

Dentro desta região foram estudadas e analisadas as subprefeituras da Mooca, da Sé, e de Pinheiros, que podem ser observadas na Figura 1.

A subprefeitura da Mooca possui uma área de 35,2 km² e se encontra na região leste da cidade de São Paulo. Fazem parte desta subprefeitura os seguintes bairros: Mooca, Água Rasa, Belém, Tatuapé, Pari e Brás, com uma população de 308.161 habitantes, de acordo com o censo demográfico do IBGE de 2000 (PORTAL DA PREFEITURA DA CIDADE DE SÃO PAULO, 2009).

Localizada no centro da cidade em estudo, a subprefeitura da Sé engloba uma área de 26,2 km². Esta regional é responsável pelos bairros Bom Retiro, Santa Cecília, República, Sé, Consolação, Bela Vista, Liberdade e Cambuci, e possui uma população de 373.914 habitantes, de acordo com o censo demográfico do IBGE de 2000 (PORTAL DA PREFEITURA DA CIDADE DE SÃO PAULO, 2009).

A subprefeitura de Pinheiros, localizada na região oeste da cidade, possui uma área de 31,7 km². Os bairros que fazem parte da mesma são: Alto de Pinheiros, Pinheiros, Itaim Bibi e Jardim Paulista. Possui 272.574 habitantes, de acordo com o censo demográfico do IBGE de 2000 (PORTAL DA PREFEITURA DA CIDADE DE SÃO PAULO, 2009).

Para o trabalho foi utilizado o Centro de Métodos Quantitativos, do Departamento de Ciências Florestais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ),

Universidade de São Paulo (USP), localizado na cidade de Piracicaba, São Paulo. Também foram realizadas visitas de campo nas regiões estudadas.

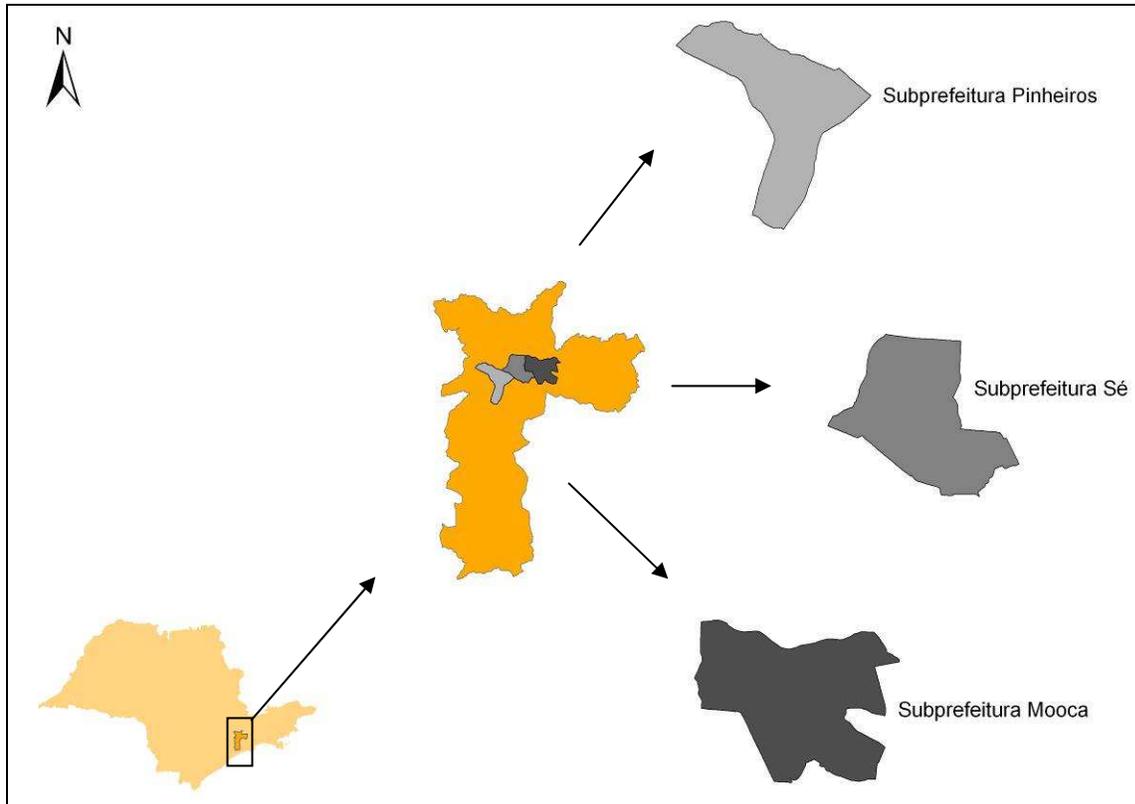


Figura 1 - Área de estudo

3.2 Processamento das imagens

Nesta etapa fez-se uso de imagens do satélite IKONOS do ano de 2002, ortorretificadas a partir do modelo digital de elevação, entregues em quatro bandas espectrais, no domínio do visível (RGB), com as bandas vermelha (Red), verde (Green) e azul (Blue), e do infravermelho próximo, com resolução espacial de 1 metro e resolução radiométrica de 11 bits (MOREIRA, 2005).

Estas imagens foram adquiridas pelo Instituto Geológico, pertencente à Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo, no ano de 2003, por meio da FUNCATE (Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologias Espaciais).

O imageamento original foi executado pelo satélite IKONOS, operado pela *Space Imaging*, em outubro de 2002, gerando imagens com ângulo de inclinação igual ou menor que 18° (considerando o NADIR equivalente a 0°); e complementado por novas aquisições de imagens em 2003, executado para minimizar a presença de névoas nas imagens, perfazendo uma cobertura de imagens à presença de nuvens em área inferior a 5% em relação à totalidade da área imageada.

Também foram utilizadas imagens do satélite Quickbird desenvolvido pela *Digital Globe*. Adquiriram-se imagens das subprefeituras da Mooca, da Sé e de Pinheiros para os anos de 2004, 2006 e 2008. Entretanto, para o ano de 2004 a imagem disponível em catálogo não abrangia toda a região da subprefeitura de Pinheiros. E para o ano de 2006, a imagem disponível em catálogo não abrangia toda a área da subprefeitura da Sé, e não havia imagem disponível para a região da subprefeitura de Pinheiros. As imagens estão no sistema de coordenadas UTM (*Universal Transverse Mercator*), zona 23, datum WGS-84.

Tabela 1 - Características do satélite Quickbird

Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral	Resolução Espacial	Resolução Temporal	Faixa Imageada
Quickbird	Pancromática	450 – 900 nm	61 a 72 cm	1 a 3,5 dias	16,5 x 16,5 km
		450 – 520 nm			
	Multiespectral	520 – 600 nm	2,4 a 2,8 m		
		630 – 690 nm			
		760 – 900 nm			

(Fonte: SISTEMAS ORBITAIS DE MONITORAMENTO E GESTÃO TERRITORIAL, 2009)

Para analisar as imagens obtidas foram utilizados os programas de geoprocessamento ArcGIS 9.2, desenvolvido pela *ESRI* e TNTmips 2009, desenvolvido pela *Microimages*.

Análises de pixel do mosaico das regiões de estudo foram elaboradas para determinação da resolução radiométrica. Os valores de pixel foram desmembrados e estudados nos espectros “R” (infravermelho próximo), “G” (vermelho) e “B” (parte do azul e todo o verde).

3.2.1 Fusão e classificação de imagens de alta resolução

3.2.1.1 Fusão das imagens Quickbird

As imagens Quickbird passaram por processo de fusão da imagem pancromática com a multiespectral, por meio de técnicas de geoprocessamento do programa TNTmips 2009, sendo utilizado o método Brovey para tal processamento. Testes foram realizados para saber qual combinação de bandas durante a fusão seria a mais interessante para a análise da cobertura arbórea da região em estudo.

Os testes de fusão foram validados por meio dos testes de classificação automática supervisionada, os quais estão explicados no item 3.2.1.2. As imagens utilizadas para os testes foram as Quickbird do ano de 2008.

Tabela 2 - Descrição das bandas presentes na imagem Quickbird

Bandas	Numeração
Azul	1
Verde	2
Vermelho	3
Infravermelho próximo	4

As seguintes combinações de bandas da imagem foram analisadas:

- (i) Teste 1: utilização das bandas do azul, vermelho e infravermelho próximo, de numeração 1, 3 e 4, respectivamente, mais a banda pancromática;
- (ii) Teste 2: utilização das quatro bandas multiespectrais mais a pancromática;
- (iii) Teste 3: utilização das bandas verde, vermelha e do infravermelho próximo, de numeração 2, 3 e 4, respectivamente, mais a banda pancromática.

3.2.1.2 Classificação automática de imagens de alta resolução

Classificações de imagens permitem a criação de classes temáticas e por meio destas é possível obter dados de área construída, área de cobertura de copa, áreas

impermeáveis, asfalto e demais tipologias urbanas, seguindo método utilizado por Silva Filho (2004).

Com o objetivo de conhecer qual o método de classificação automática mais eficiente para extrair dados de cobertura arbórea de imagens de alta resolução, foram realizados testes de quatro diferentes métodos de classificação nas imagens IKONOS (2002) e nas imagens Quickbird (2008).

As classificações testadas foram a classificação supervisionada, dentro desta o método de Máxima Verossimilhança e o método Stepwise Linear. Estes foram avaliados por análise multivariada discreta conhecida como estatística Kappa e interpretação visual e comparativa; e a classificação não supervisionada, fazendo uso dos métodos ISODATA e K-Means. Estes foram avaliados por meio de comparação com as imagens originais e com os outros métodos de classificação.

A classificação supervisionada envolve duas fases distintas: o treinamento e a classificação propriamente dita. A fase de treinamento consiste em fornecer ao sistema um conjunto de pixels representativos de cada alvo de ocupação do solo na imagem a ser classificada (MOREIRA, 2005). Para cada método fizeram-se dois treinadores que apresentaram resultados estatísticos válidos.

O método de Máxima Verossimilhança utiliza a teoria da probabilidade como base para seus cálculos, enquanto o método Stepwise Linear aplica técnicas de análise linear discriminante na análise dos pixels.

Foi utilizada uma matriz de erro e técnicas de análise multivariada discreta para determinar a concordância da classificação (mapeamento) com a verdade terrestre. Foi efetuada a estatística Kappa para avaliar a concordância entre a verdade terrestre e o mapa temático, que foi obtida a partir da interpretação visual das imagens e de visitas aos locais imageados. O índice Kappa é obtido pelas form. (1), form. (2) e form. (3) (LANDIS; KOCH, 1977).

$$K = \frac{P_o - P_c}{1 - P_c} \quad (1)$$

$$P_o = \frac{\sum_{i=1}^M n_{ij}}{N} \quad (2)$$

$$P_c = \frac{\sum_{i=1}^M n_{i+} n_{j+}}{N^2} \quad (3)$$

Onde: P_o = proporção de concordância observada; P_c = proporção de concordância esperada ao acaso; M = número de classes presentes na matriz de erro; n_{ij} = número de observações na linha i e coluna j ; n_{i+} e n_{j+} = totais marginais da linha i e da coluna j , respectivamente; e N = número total de unidades amostrais contempladas pela matriz.

De acordo com Landis e Koch (1977), tem-se a seguinte interpretação desse índice:

Tabela 3 - Interpretação do índice Kappa

Valores de Kappa (%)	Exatidão da Classificação
0	Nula
0 - 20	Pobre
21 - 40	Fraca
41 - 60	Moderada
61 - 80	Boa
81 - 100	Ótima

Para a validação dos testes de classificação supervisionada também foi analisado o dendograma de cada imagem classificada.

Na classificação não supervisionada, deve-se inserir no programa uma série de regras para que o mesmo possa realizar tal processamento. Os métodos K-Means e ISODATA utilizam procedimentos de análise e comparação dos valores de pixel para gerar a classificação.

Foram realizadas análises visuais das imagens classificadas, contrapondo a imagem classificada com a fusionada, sendo seus resultados comparados com aqueles da classificação supervisionada.

Após realizada a classificação foi aplicado um filtro na imagem classificada, chamado Hole-Filling, que substitui a classe de uma célula (pixel), por aquela em que se encontra a maioria das células vizinhas, removendo aquelas que se encontram numa

classe isolada. É possível escolher qual o tamanho da área a ser filtrada e neste trabalho escolheu-se o tamanho 3x3.

As classes utilizadas foram: copa arbórea, relvado, asfalto, piso cimento, telha cerâmica, telha cinza, telha escura, telha metálica, sombra, solo exposto e outros. Estas são as classes utilizadas para a caracterização do uso das terras em trabalhos já realizados pelo Laboratório de Silvicultura Urbana da ESALQ/USP.

Com as informações geradas pelas classificações das imagens, foi possível encontrar qual o melhor tipo de fusão de imagens Quickbird para extração de dados de cobertura arbórea, bem como qual o melhor método de classificação para imagens IKONOS e Quickbird, com enfoque na classe “cobertura arbórea”.

A partir do dendograma gerado nas classificações supervisionadas é possível saber qual a porcentagem de área de cada classe presente na imagem. Desta maneira, conseguiu-se realizar uma comparação da evolução da área de cobertura arbórea das áreas estudadas nos diferentes anos (2002, 2004, 2006 e 2008).

3.3 Cálculo do Índice de Floresta Urbana

Para analisar a cobertura arbórea nas regiões de estudo foi calculado o Índice de Floresta Urbana (IFU) proposto por Silva Filho et al. (2005). Este é um indicador para valorização de espaços arborizados que relaciona esses espaços com os outros elementos presentes na paisagem urbana. É obtido por meio da form. (4):

$$IFU = PAI + PAC \quad (4)$$

Sendo que os índices PAI (proporção entre Espaço Arborizado e Espaço Livre Impermeável) e PAC (proporção entre Espaço Arborizado e Espaço Construído) são obtidos por meio das form. (5) e form. (6):

$$PAI = \frac{ELA}{(ELA + ELI)} \quad (5)$$

$$PAC = \frac{ELA}{(ELA + EC)} \quad (6)$$

Onde: ELA representa o espaço livre arborizado (classe copa de árvore); ELI representa o espaço livre impermeabilizado (classes asfalto e piso cimento); EC é o espaço construído (classes telha cerâmica, telha metálica, telha escura e telha cinza).

O IFU varia entre os valores zero e dois, sendo que quanto maior o valor do índice, maior é a porcentagem de cobertura arbórea em relação aos demais elementos do tecido urbano (SILVA FILHO et al., 2005).

3.4 Definição de áreas prioritárias para corredores verdes

Dois estudos diferentes foram feitos para definir quais as áreas principais para uma política de arborização urbana, com enfoque no desenvolvimento de corredores verdes.

No primeiro, informações de declividade e de índice de vegetação foram analisados. O índice de vegetação escolhido foi o TVI (*Transformed Vegetation Index*), gerado a partir do programa TNTmips 2009, que ressaltou de maneira mais eficiente as áreas verdes das regiões de estudo.

No segundo foram estudados pontos de alagamentos fornecidos pelo CGE (Centro de Gerenciamento de Emergências do Município de São Paulo) da região de estudo dos anos de 2003 a 2010, meses de novembro a março. Esses dados foram analisados juntamente com o resultado da classificação das imagens Quickbird do ano de 2008. E assim foi possível verificar se há correlação entre diminuição de pontos de alagamentos com aumento de área de copa arbórea e definir áreas prioritárias para arborização urbana.

3.4.1 Índice de vegetação e declividade

O TVI é um índice de vegetação derivado de imagens multiespectrais. Ele utiliza as bandas do vermelho e do infravermelho próximo para destacar as áreas vegetadas de uma imagem. É obtido pela form. (7):

$$TVI = \sqrt{[(IR - RED) + (IR + RED)]} \quad (7)$$

Onde: TVI é o índice de vegetação transformado; IR = banda do infravermelho; RED: banda do vermelho.

O mapa de TVI foi gerado no programa TNTmips 2009, a partir das imagens do satélite Quickbird das subprefeituras da Mooca, Sé e Pinheiros de 2008, e depois trabalhado e reclassificado no programa ArcGIS 9.2.

A reclassificação consiste em transformar os valores da imagem em valores compatíveis para se realizar uma álgebra de mapas. O mapa final desse índice de vegetação foi composto de quatro classes, de 0 a 3. Onde o valor 0 representa uma área sem vegetação, e o valor 3 uma área com o máximo de vegetação.

Para o mapa de declividade da região foi utilizado o Modelo Digital de Elevação do Terreno (MDT) da região metropolitana de São Paulo gerado pela FUNCATE do ano de 2003. O MDT possui resolução vertical de 5m e 10m, para as áreas conurbadas e periféricas respectivamente; compatíveis com as precisões altimétricas das cartas 1:10.000 e 1:25.000, utilizadas para compilação das informações sobre esta região. O mesmo está na projeção UTM.

Para a obtenção da base altimétrica (curvas e pontos cotados) necessária para a produção do MDT foram digitalizadas as cartas topográficas 1:10.000 e 1:25.000 da região a partir de scanner com resolução de 300 dpi.

No programa ArcGIS 9.2, a partir do MDT, foi gerado um mapa hipsométrico conhecido como TIN (*Triangulated Irregular Network*), que representa a superfície do terreno por meio de uma grade triangular (Figura 2).

A partir do TIN foi gerado o mapa de declividade, em porcentagem, das imagens Quickbird das subprefeituras da Mooca, Sé e Pinheiros do ano de 2008. O mesmo foi

classificado em faixas de declive de interesse para área urbana e depois reclassificado em quatro classes, de 0 a 3, para a realização da álgebra de mapas. Sendo representadas pela classe de valor 0 regiões de menor declividade e pela classe de valor 3 as regiões mais declivosas.

Com os mapas de declividade e de TVI reclassificados realizou-se uma álgebra de mapas no programa ArcGIS 9.2 e no mapa resultante foi possível verificar quais são as áreas com menos vegetação e com declividades maiores, áreas estas indicadas para uma política de arborização voltada à implantação de corredores verdes.

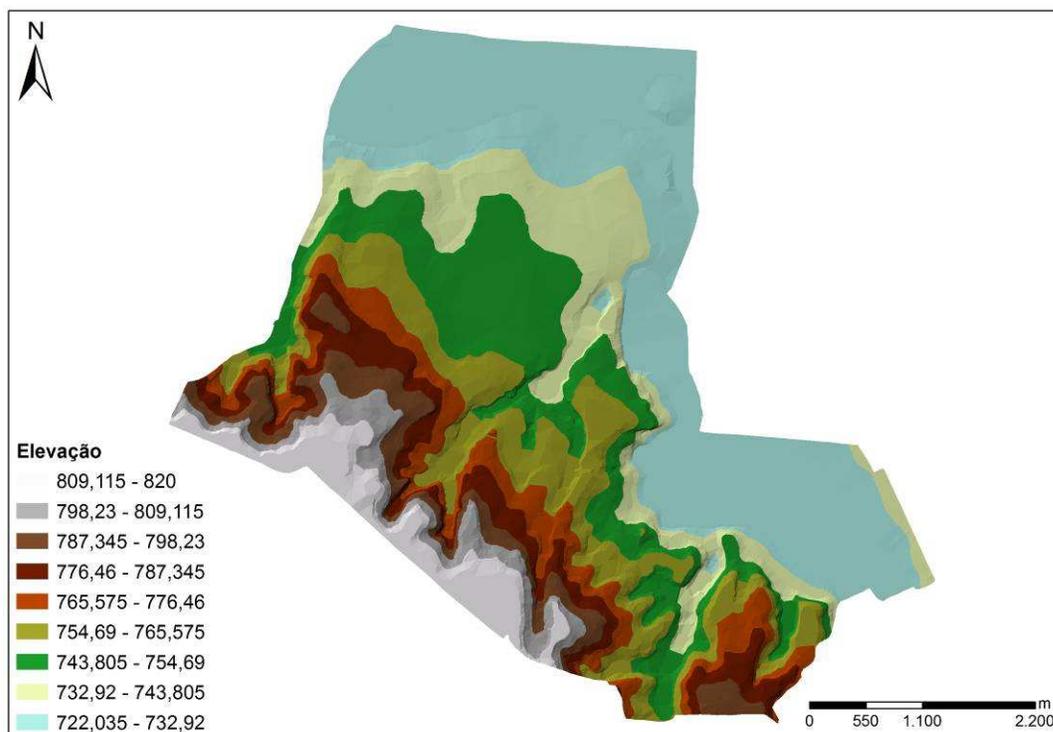


Figura 2 - TIN gerado a partir do MDT para a imagem Quickbird 2008 da subprefeitura da Sé

Realizaram-se visitas a campo nos locais de mais alta prioridade para arborização para observar a realidade do terreno.

3.4.2 Pontos de alagamento e imagens classificadas

Os pontos de alagamento fornecidos pelo CGE vieram em formato de tabela do Microsoft Office Excel, com dados de localização do ponto (logradouro e referência) e

sua data de ocorrência, num total de 2413 pontos, sendo 846 referentes à subprefeitura da Sé, 843 pontos referentes à subprefeitura de Pinheiros e 724 pontos referentes à subprefeitura da Mooca. Os pontos se referem aos anos de 2003 a 2010, abrangendo os meses de novembro a março. Estes foram localizados no programa Google Earth para serem trabalhados em programas de geoprocessamento.

Cada subprefeitura foi dividida em quadrantes de 1400m x 1400m. Para cada quadrante foi calculado, com auxílio dos programas TNTmips 2009 e ArcGIS 9.2, a porcentagem de área de copa arbórea, utilizando imagens Quickbird classificadas do ano de 2008, e a quantidade de pontos de alagamento.

Com o programa estatístico R, utilizando a correlação de Pearson, foi possível estabelecer se há ou não relação entre diminuição de pontos de alagamento e aumento de área de cobertura arbórea.

Os quadrantes que apresentaram menor porcentagem de área de copa com maior quantidade de pontos de alagamento foram definidos como regiões prioritárias para arborização urbana, já que a mesma aumenta a permeabilidade do solo, contribuindo para a diminuição do escoamento superficial e assim diminuição de áreas alagadas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Fusão de imagens Quickbird

A aplicação de métodos de fusão de imagens é utilizada para se obter um ganho de análise em imagens de satélite. Com este processamento objetiva-se potencializar a alta resolução espacial da banda pancromática e a resolução espectral das bandas multiespectrais.

Foram então fusionadas as bandas multiespectrais de resolução espacial de 2,5 metros da imagem Quickbird, em diferentes combinações, com a banda pancromática, de resolução espacial de 0,61 metros, no programa TNTmips 2009, que possui uma função específica para a fusão de imagens Quickbird, sendo aplicado o método Brovey.

Este método combina bandas multiespectrais de baixa resolução espacial, representada como R (Vermelho), G (Verde) e B (Azul), de uma imagem com a banda pancromática, de alta resolução espacial. Este método faz uso de técnicas aritméticas de soma e multiplicação (VRABEL, 1996).

O Teste 1 fez uso de duas bandas do visível (azul e vermelha) mais a banda do infravermelho próximo, fusionadas com a banda pancromática. O Teste 2 utilizou as quatro bandas multiespectrais, combinadas com a banda pancromática. Já o Teste 3 fusionou a banda pancromática com as bandas do verde, do vermelho e do infravermelho próximo. Os resultados se encontram nas Figuras 3, 4 e 5, respectivamente subprefeituras da Mooca, de Pinheiros e da Sé.

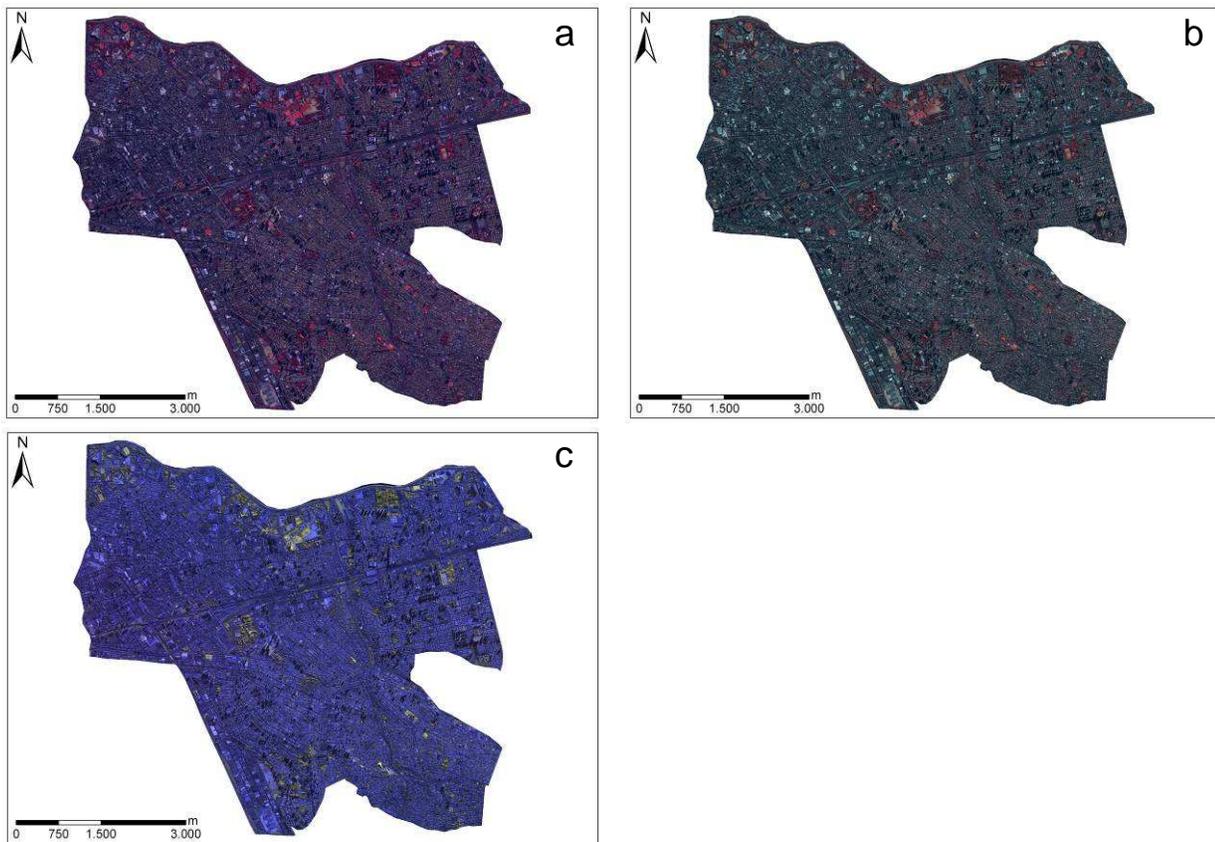


Figura 3 - Testes de fusão das imagens Quickbird 2008 para a subprefeitura da Mooca: a) Imagem fusionada utilizando as bandas do azul, vermelho, infravermelho próximo e pancromática (Teste 1); b) Imagem fusionada utilizando as quatro bandas multiespectrais, mais a banda pancromática (Teste 2); c) Imagem fusionada utilizando as bandas do verde, vermelho, infravermelho próximo e pancromática (Teste 3)

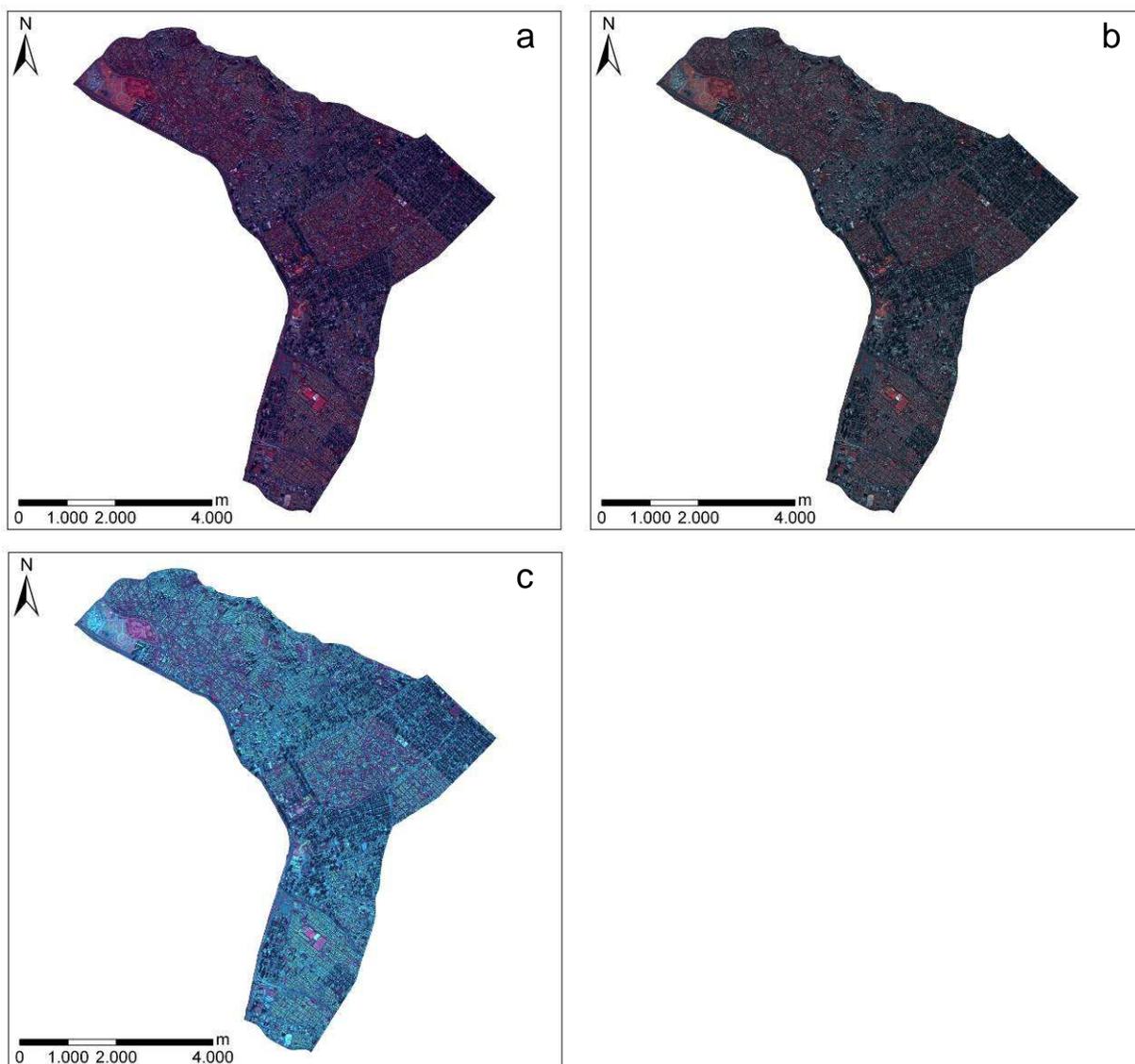


Figura 4 - Testes de fusão das imagens Quickbird 2008 para a subprefeitura de Pinheiros: a) Imagem fusionada utilizando as bandas do azul, vermelho, infravermelho próximo e pancromática (Teste 1); b) Imagem fusionada utilizando as quatro bandas multiespectrais, mais a banda pancromática (Teste 2); c) Imagem fusionada utilizando as bandas do verde, vermelho, infravermelho próximo e pancromática (Teste 3)

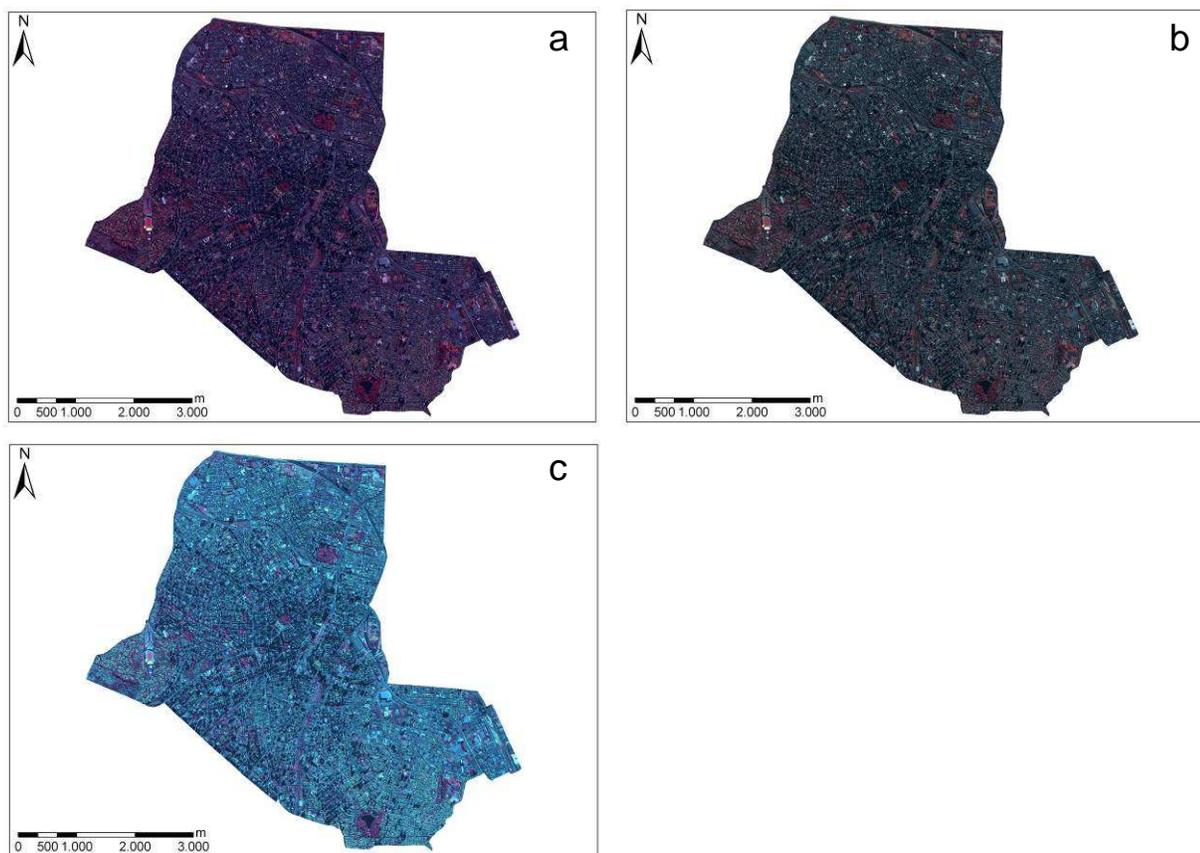


Figura 5 - Testes de fusão das imagens Quickbird 2008 para a subprefeitura da Sé: a) Imagem fusionada utilizando as bandas do azul, vermelho, infravermelho próximo e pancromática (Teste 1); b) Imagem fusionada utilizando as quatro bandas multiespectrais, mais a banda pancromática (Teste 2); c) Imagem fusionada utilizando as bandas do verde, vermelho, infravermelho próximo e pancromática (Teste 3)

A diferente combinação das bandas das imagens multiespectrais fornece diferentes respostas espectrais, já que são diferentes combinações de comprimentos de onda para os mesmos alvos de uma determinada imagem. Nota-se nas Figuras 3, 4 e 5 as diferenças nas cores de cada imagem dependendo da combinação utilizada.

Com o objetivo de identificar qual combinação de bandas é a mais interessante para extração de dados de cobertura arbórea da imagem, realizou-se a classificação automática supervisionada das mesmas.

Por meio da análise visual e análise do dendograma obtido pelo programa TNTmips 2009, constatou-se que as diferentes combinações de bandas multiespectrais utilizadas para a fusão da imagem influenciam nos resultados de classificação automática, principalmente no que tange à porcentagem de cada classe encontrada na imagem. Para exemplificar, seguem as tabelas de porcentagem de classes da

subprefeitura da Mooca com os resultados para o classificador de Máxima Verossimilhança e para o classificador Stepwise Linear.

Tabela 4 - Porcentagem das classes para a subprefeitura da Mooca utilizando o método de classificação de Máxima Verossimilhança

Classe	Teste 1 (%)	Teste 2 (%)	Teste 3 (%)
Piscina	0,06	0,08	0,04
Copa de Árvore	5,45	7,39	9,16
Solo Exposto	2,57	2,54	3,78
Asfalto	14,10	14,95	14,40
Relvado	7,06	2,40	10,07
Telha Escura	33,85	24,02	30,64
Telha Cerâmica	3,72	3,39	4,05
Sombra	12,81	15,85	11,96
Telha Metálica	0,25	0,23	0,60
Telha Cinza	3,84	3,79	2,40
Lago/Rio	2,17	0,01	0,42
Piso Cimento	11,71	11,66	5,90
Outros	2,41	13,70	5,58

Observa-se na classe “copa de árvore”, a de maior interesse nesse estudo, a existência de grande diferença entre os valores de porcentagem encontrados para cada tipo de combinação de bandas. Isso evidencia a necessidade de testes para saber qual a melhor combinação a ser utilizada para se extrair dados de uma imagem de satélite.

Tabela 5 - Porcentagem das classes para a subprefeitura da Mooca utilizando o método de Classificação Stepwise Linear

Classe	Teste 1 (%)	Teste 2 (%)	Teste 3 (%)
Piscina	0,04	0,04	0,04
Copa de Árvore	3,13	2,50	2,58
Solo Exposto	4,51	2,52	5,24
Asfalto	20,10	14,64	20,58
Relvado	3,55	3,25	6,60
Telha Escura	27,41	36,86	23,09
Telha Cerâmica	2,52	2,95	3,47
Sombra	26,33	26,83	25,53
Telha Metálica	0,53	0,75	1,14
Telha Cinza	3,85	3,06	4,54
Lago/Rio	0,15	0,04	0,47
Piso Cimento	6,67	6,27	4,77
Outros	1,22	0,30	1,95

Com a diferente resposta espectral dos alvos de estudo, dependendo da fusão realizada, verifica-se a diferença na quantidade de pixels encontrados para cada classe.

Além disso, com a análise do dendograma é possível avaliar o grau de separabilidade dos alvos. Desta maneira, a combinação mais adequada de bandas, foi aquela que mostrou menor separabilidade entre os alvos que possuem material semelhante em sua constituição, como é o caso de copa de árvore e relvado, mas que apresentam alta separabilidade entre os diferentes alvos.

Assim, constatou-se que a fusão mais adequada para extração de dados de cobertura arbórea foi aquela com a combinação de bandas azul, vermelha e do infravermelho próximo fusionadas com a banda pancromática (Teste 1).

4.2 Obtenção de dados físicos a partir de imagens de alta resolução

Para a extração de dados de cobertura arbórea de imagens dos satélites IKONOS e Quickbird foram realizados testes de classificação automática por meio de classificadores supervisionados (Máxima Verossimilhança e Stepwise Linear) e de classificadores não-supervisionados (ISODATA e K-Means).

4.2.1 Classificadores não supervisionados

Classificadores automáticos não supervisionados não exigem a confecção de um treinador. Os parâmetros são definidos pelo usuário e o programa aplica as técnicas apropriadas a cada método

O método de classificação não supervisionado K-Means baseia-se na análise e comparação entre os valores numéricos dos dados de entrada e determina a localização inicial dos centros de cada classe. Neste processo, células são marcadas na classe mais próxima e novos centros são calculados. O novo centro é o ponto que minimiza a soma das distâncias entre os pontos da classe e do centro da classe. A cada iteração esse procedimento é novamente realizado. O processo se repete até que a mudança de cada centro das células assuma um valor abaixo do especificado ou atinja o máximo número de iterações estipulado (MICROIMAGES, 2006).

Assim, o usuário deve fornecer ao algoritmo o número de classes espectrais prováveis, a distância mínima desejada entre os valores dos níveis digitais de duas classes e o número de iterações realizadas. Este método faz o agrupamento de pixels homogêneos em n classes espectrais (MOREIRA, 2005). Limitou-se o algoritmo em 13 classes e 20 iterações.

Os testes com o classificador K-Means demonstraram não ser este apropriado para extração de dados de elementos da paisagem urbana numa imagem de alta resolução, seja ela IKONOS ou Quickbird.

Verificou-se que o classificador faz confusão entre classes, como pode ser observado na Figura 6. Há áreas classificadas como “solo exposto” (marrom) que na realidade são “telhas cinza” ou “piso cimento” (tons de cinza). Além de “telhas cerâmicas” (laranja) que foram classificadas como “relvado” (verde claro). “Telha escura”, “piso cimento” e “asfalto” foram classes não diferenciadas pelo algoritmo.



Figura 6 - Testes com o classificador K-Means: a) Recorte de imagem IKONOS do ano de 2002 da subprefeitura da Mooca; b) Recorte de Imagem IKONOS classificada da subprefeitura da Mooca; c) Recorte de imagem Quickbird do ano de 2008 da subprefeitura da Mooca; d) Recorte de Imagem Quickbird classificada da subprefeitura da Mooca

Com a análise dos dendogramas, observou-se o grau de separabilidade entre as classes (Figura 7). Constatou-se que elementos que deveriam estar com um grau de separabilidade menor, por serem constituídos de materiais de resposta espectral semelhante, estavam distantes e próximos a elementos de resposta espectral totalmente distinta.

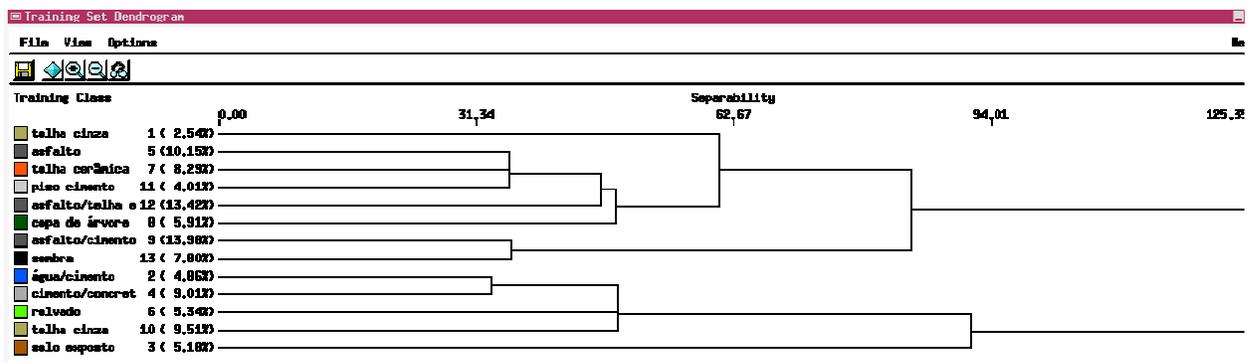


Figura 7 - Dendrograma de imagem IKONOS da subprefeitura da Mooca, classificada pelo método K-Means

A classe “copa de árvore”, seguindo o mesmo raciocínio, deveria estar próxima à classe “relvado”, porém não apresenta esse comportamento. Aproxima-se de elementos que deveriam ter um grau de separabilidade maior, já que suas respostas espectrais são muito diferentes, como com a classe “cimento/concreto”.

O método de classificação não supervisionado ISODATA é similar ao K-Means, mas incorpora critérios de divisão, combinação e descarte para as classes a fim de obter um número satisfatório de classes de saída. Baseia-se na análise de agrupamentos onde são identificados pixels com características similares (MICROIMAGES, 2006). Foram definidos no programa o limite de 13 classes e 20 iterações.

Os testes com o classificador ISODATA demonstraram não ser este apropriado para extração de dados de elementos da paisagem urbana numa imagem de alta resolução, seja ela IKONOS ou Quickbird.

Verificou-se que o mesmo não consegue separar alguns elementos, como “telha cerâmica” (laranja) e “piscina” (azul) e não distingue outros alvos. Na Figura 8, pode ser observada essa confusão entre classes. Observa-se também uma forte mistura entre os elementos “piso cimento”, “telha escura” e “asfalto” (tons de cinza), e também no que se refere à “copa de árvore” (verde escuro) e “relvado” (verde claro).



Figura 8 - Testes com o classificador ISODATA: a) Recorte de imagem IKONOS do ano de 2002 da subprefeitura da Moooca; b) Recorte de Imagem IKONOS classificada da subprefeitura da Moooca; c) Recorte de imagem Quickbird do ano de 2008 da subprefeitura da Moooca; d) Recorte de Imagem Quickbird classificada da subprefeitura da Moooca

Esta confusão entre classes pelo método ISODATA também foi identificada por Valerio et al. (2008). O autor gerou mapas temáticos de uso do solo e de qualidade da água no Reservatório do Rio Manso em Cuiabá, MT. E comparou o classificador ISODATA com um classificador supervisionado de Máxima Verossimilhança, utilizando imagens Landsat TM. Este último classificador apresentou melhor correlação entre a imagem original e a imagem classificada. No mapa de qualidade da água que possuía menos elementos para serem classificados do que o mapa de uso do solo, o método ISODATA apresentou menor confusão entre as classes.

Os dendogramas dessas imagens, como no caso do classificador K-Means, demonstraram maior separabilidade entre classes de semelhante resposta espectral, do

que entre classes com diferente resposta espectral, como pode ser verificado na Figura 9.

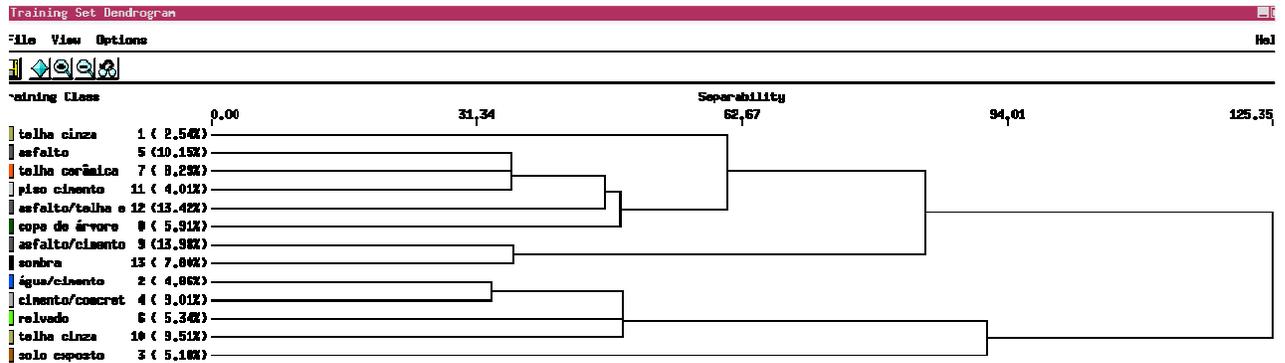


Figura 9 - Dendrograma de imagem IKONOS da subprefeitura da Mooca, classificada com o método ISODATA

Os elementos “copa de árvore” e “relvado” deveriam estar mais próximos na chave. Porém “copa de árvore” se aproxima de “piso cimento” e “relvado” se aproxima de uma classe onde não houve distinção entre os alvos “água” e “piso cimento”.

Imagens de alta resolução possuem diversos alvos, com diferentes respostas espectrais e, assim a escolha de um classificador adequado é de extrema importância. Verificou-se que os dois classificadores não supervisionados utilizados neste estudo não apresentaram resultados satisfatórios na classificação de elementos urbanos em imagens de alta resolução.

4.2.2 Classificadores supervisionados

Classificadores automáticos supervisionados são aqueles que exigem a confecção de um treinador para serem aplicados. O treinador deve coletar amostras distribuídas por toda imagem para que seja representativo.

O método de Máxima Verossimilhança utiliza da teoria da probabilidade para realizar a classificação. São determinados os centros das classes do treinador, e a variabilidade dos valores de cada banda de entrada para cada classe. O que permite determinar a probabilidade de cada célula no conjunto da imagem de entrada pertencer a uma classe particular do treinador. A probabilidade depende da distância da célula do

centro da classe e do tamanho e forma da classe no espaço espectral (MICROIMAGES, 2006).

Os resultados obtidos com este método de classificação demonstraram que o mesmo superestima a quantidade de cobertura arbórea, já que classifica áreas de relvado e algumas áreas de solo exposto como pertencentes à classe copa de árvore.

Ribeiro e Centeno (2001) também observaram esse fato quando classificaram imagens Landsat TM. Os autores identificaram que classes espectralmente próximas não eram separadas no processo de classificação, exemplificando com as classes “cultura” e “pastagem”. E concluem dizendo que uma quantidade maior de amostras no treinamento pode gerar uma melhora do resultado.

Ouma e Tateishi (2008) em um trabalho sobre extração de dados de cobertura arbórea em áreas urbanas, utilizando imagens Quickbird, também concluíram que o classificador de máxima verossimilhança superestimou a quantidade de árvores urbanas. Os autores observaram que este algoritmo possui dificuldade em distinguir estatisticamente pixels pertencentes às classes relvado, arbusto, árvores e sombra.

É possível observar na Figura 10 que uma parte da área de “relvado” (verde claro) é classificada como “copa de árvore” (verde escuro). Além disso, nota-se também certa indistinção entre as classes “relvado” e “copa de árvore” com “telha cerâmica” (laranja), evidenciado no dendograma, na Figura 11.



Figura 10 - Testes com o classificador de Máxima Verossimilhança: a) Recorte de imagem IKONOS do ano de 2002 da subprefeitura de Pinheiros; b) Recorte de imagem IKONOS classificada da subprefeitura de Pinheiros; c) Recorte de imagem Quickbird do ano de 2008 da subprefeitura de Pinheiros; d) Recorte de Imagem Quickbird classificada da subprefeitura de Pinheiros

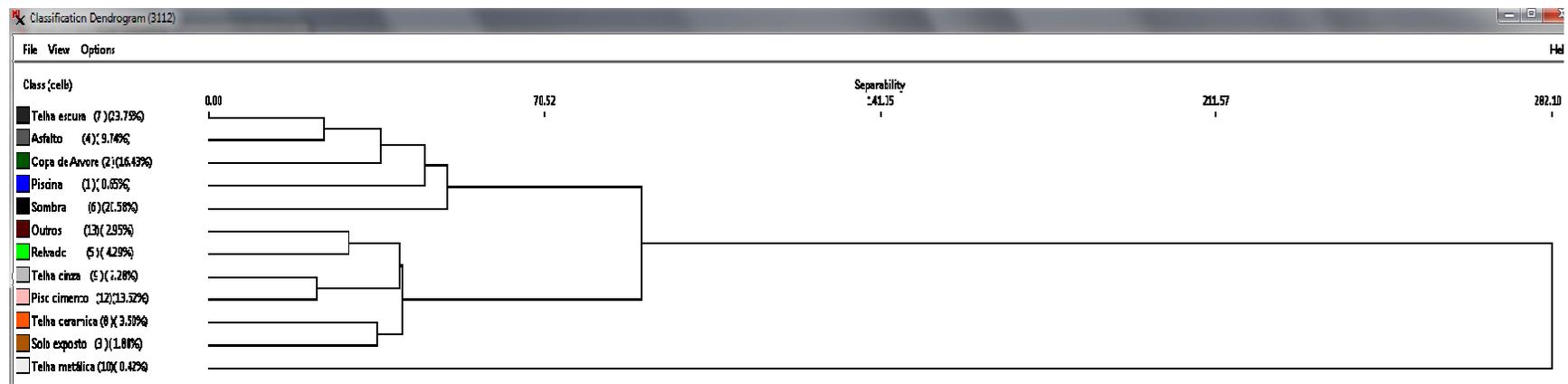


Figura 11 - Dendrograma de imagem Quickbird do ano de 2008 da subprefeitura de Pinheiros, classificada com o método de Máxima Verossimilhança

O método Stepwise Linear aplica técnicas de análise linear discriminante para a classificação da imagem, fazendo uso de funções discriminantes. Por meio de análise do treinador, é escolhido o conjunto de funções discriminantes que produzem a melhor possibilidade de separação entre as classes (MICROIMAGES, 2006).

A Figura 12 mostra um teste de classificação utilizando o método Stepwise Linear. Nota-se que há, como no método de Máxima Verossimilhança, certa confusão entre “relvado” (verde claro) e “copa de árvore” (verde escuro).

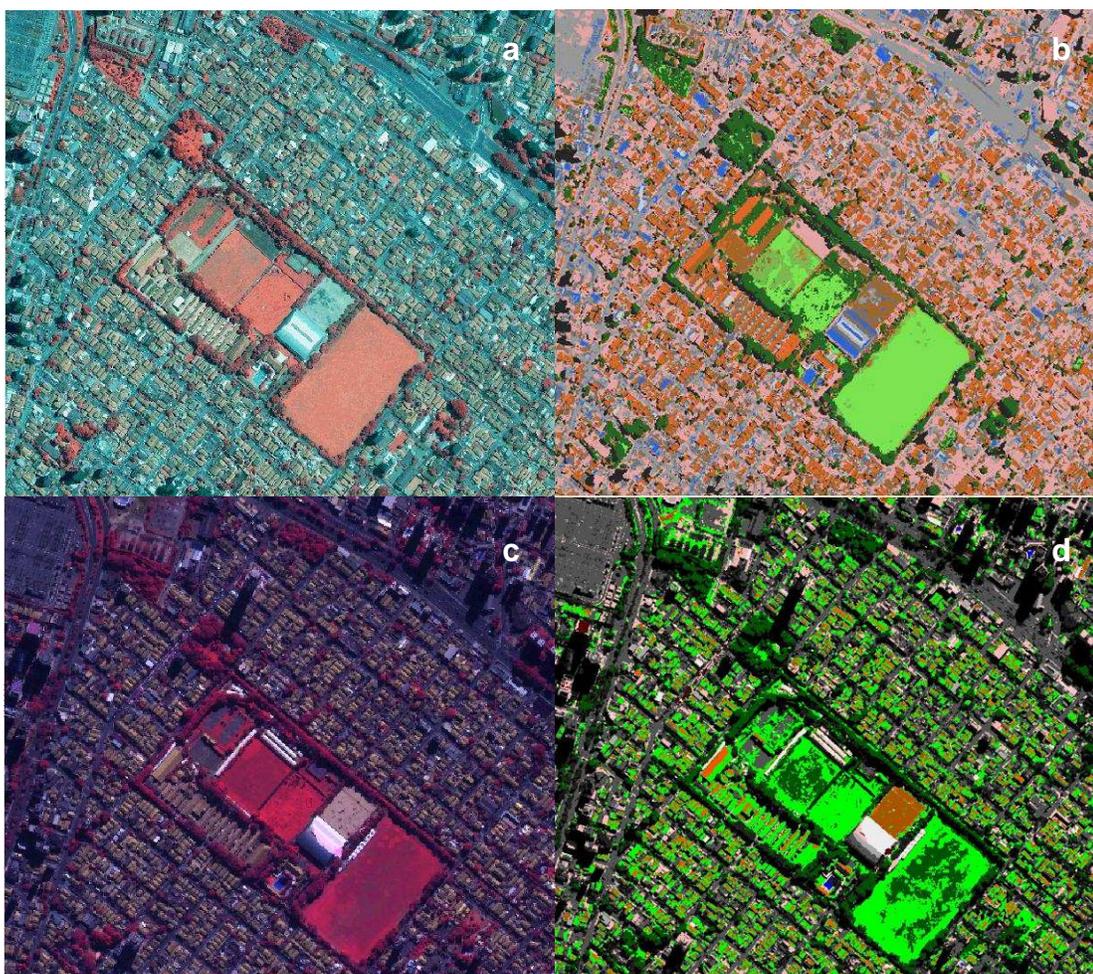


Figura 12 - Testes com o classificador Stepwise Linear: a) Recorte de imagem IKONOS do ano de 2002 da subprefeitura de Pinheiros; b) Recorte de imagem IKONOS classificada da subprefeitura de Pinheiros; c) Recorte de imagem Quickbird do ano de 2008 da subprefeitura de Pinheiros; d) Recorte de Imagem Quickbird classificada da subprefeitura de Pinheiros

Entretanto, por meio de análise visual dos testes realizados, verificou-se que essa confusão é menor quando comparada com as classificações realizadas com o método de Máxima Verossimilhança.

Weber, Petropoulou e Hirsch (2005) estudaram o desenvolvimento da área metropolitana de Atenas, na Grécia, utilizando técnicas de geoprocessamento. O autor realizou uma classificação supervisionada com o método Stepwise Linear em imagens do satélite SPOT e verificou que este classificador conseguiu diferenciar os alvos presentes na paisagem urbana, de acordo com características como presença/ausência de vegetação e presença/ausência de áreas construídas. Dessa maneira demonstrou ser um classificador adequado para áreas urbanas.

Os dendogramas analisados mostram uma separabilidade menor entre alvos de semelhante resposta espectral, como “copa de árvore” e “relvado” e separabilidade maior entre aqueles com diferente resposta espectral, exemplificado na Figura 13. O classificador Stepwise Linear mostra-se mais fiel à verdade terrestre quando se trata da classe copa de árvore, alvo de interesse desse estudo.

Desta maneira, para a extração de dados de cobertura arbórea das regiões de estudo foi aplicado o método Stepwise Linear para a classificação das imagens de alta resolução.

Ressalta-se que atualmente novas técnicas de classificação também são utilizadas para imagens de alta resolução, como a classificação orientada a objeto, a qual utiliza diversos outros parâmetros para realizar a classificação. Destaca-se então a importância de trabalhos que comparem essas técnicas e assim ter o conhecimento de qual apresenta melhores resultados para cada tipo de estudo.

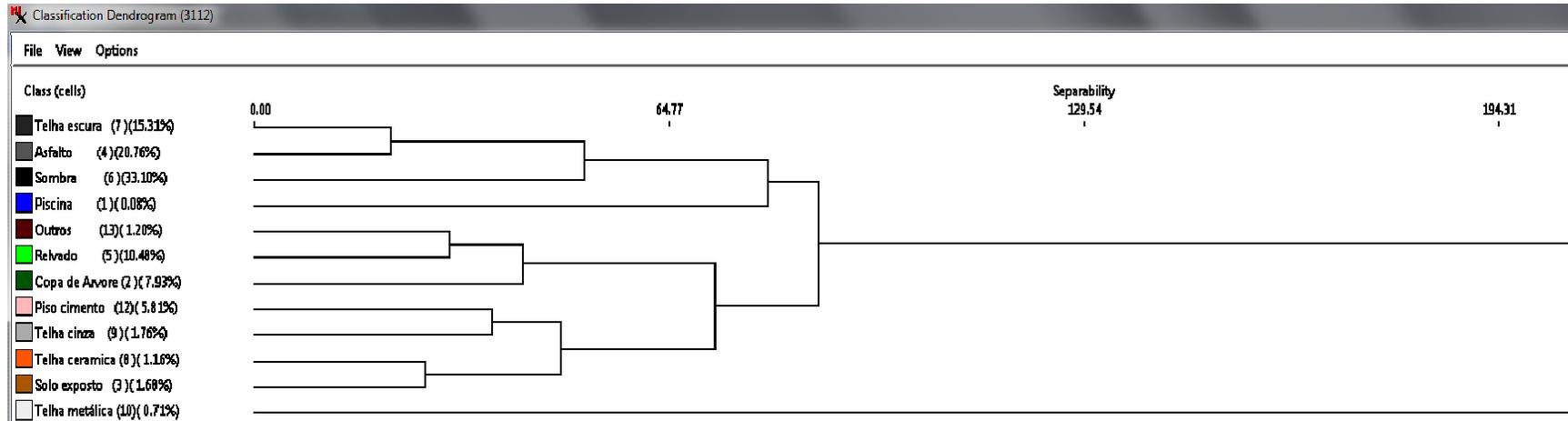


Figura 13 - Dendrograma de imagem Quickbird da subprefeitura de Pinheiros, classificada com o método Stepwise Linear

4.3 Quantificação de cobertura arbórea em áreas urbanas

Foram utilizadas imagens de diferentes anos das áreas de estudo para quantificar a cobertura arbórea da região. Cabe ressaltar que as imagens foram coletadas em meses diferentes. As imagens Quickbird são de agosto de 2004, novembro de 2006 e junho de 2008. Portanto são de diferentes épocas do ano, em que as copas podem estar mais ou menos vigorosas, sendo assim influenciam na análise quantitativa da classe “cobertura arbórea” e essa informação deve ser cuidadosamente considerada.

4.3.1 Subprefeitura da Mooca

A subprefeitura da Mooca é composta pelos bairros: Mooca, Água Rasa, Belém, Tatuapé, Pari e Brás (PORTAL DA PREFEITURA DA CIDADE DE SÃO PAULO, 2009), localizados na região leste da cidade. Em visita aos bairros foi possível observar as principais características da região.

Os bairros da Mooca, Água Rasa e Belém são marcados por construções antigas, com um misto de residências, comércio e pequenas indústrias.

Tatuapé era caracterizado no passado como um bairro industrial, com presença de grandes pátios industriais. Após a saída dessas instalações, grandes incorporadoras adquiriram estes terrenos e construíram residências de médio e alto padrão, sendo considerado hoje um bairro residencial.

Pari e Brás são os bairros mais antigos da cidade de São Paulo caracterizados por construções antigas de influência européia. Nas áreas centrais dos dois bairros há concentração de comércio, principalmente de confecções, e presença de ruas antigas e estreitas, o que desfavorece a presença de árvores, como é verificado na Figura 14. Principalmente o bairro do Brás é conhecido pelo turismo de compras, como o realizado no Largo da Concórdia.



Figura 14 - Rua Maria Domitila, Brás

Observa-se que todos os bairros da subprefeitura da Mooca são marcados por áreas comerciais, com exceção do bairro do Tatuapé. Apresentam, assim, grande fluxo de pessoas durante a semana e aos sábados, o que traz certo grau de degradação a estes no que diz respeito principalmente ao lixo jogado nas ruas e falta de cuidado com os equipamentos públicos.

Especialmente nos bairros caracterizados como comerciais não foi observado presença marcante de arborização no viário.

A região também foi caracterizada por meio de ferramentas de geoprocessamento. Fez-se uma classificação automática supervisionada, utilizando o método Stepwise Linear, de imagens de alta resolução dos anos de 2002, 2004, 2006 e 2008, tendo como foco a cobertura arbórea da região.

Segue abaixo a divisão da cobertura do solo do tecido urbano da região com as respectivas porcentagens de cada elemento, durante o período analisado.

Tabela 6 - Cobertura do solo da região da subprefeitura da Mooca nos anos de 2002, 2004, 2006 e 2008

Classe	2002 (%)	2004 (%)	2006 (%)	2008 (%)
Piscina	0,06	0,03	0,04	0,04
Copa de Árvore	2,78	1,98	4,35	3,13
Solo Exposto	9,04	2,45	4,69	4,51
Asfalto	20,60	29,53	17,50	20,10
Relvado	1,18	1,50	1,89	3,55
Telha Escura	19,31	21,78	37,53	27,41
Telha Cerâmica	12,88	1,42	6,93	2,52
Sombra	14,44	19,97	6,66	26,33
Telha Metálica	1,02	0,69	3,66	0,53
Telha Cinza	7,73	2,57	3,27	3,85
Lago/Rio	-	0,60	0,42	0,15
Piso Cimento	6,72	7,51	12,62	6,67
Outros	4,25	9,99	0,45	1,22

As classificações foram avaliadas por meio da estatística Kappa. Nas Figuras 15, 16, 17 e 18 estão as matrizes de erro de classificação das imagens dos anos de 2002, 2004, 2006 e 2008, respectivamente.

Na matriz de erro, além do índice Kappa, devem ser analisados os valores apresentados por cada classe na matriz de erro, isto é, o número de pixels representativos de cada classe. Na matriz apresentada estes números são observados em destaque na cor vermelha. Para que o resultado da classificação seja considerado satisfatório, estes números devem estar dispostos como uma “escada”, representando que o maior número de pixels amostrados naquela classe realmente pertence à mesma. Todas as matrizes de erro apresentadas, referentes às classificações realizadas, apresentaram esse comportamento.

Ground Truth Data														
Nome	Piscina	Copa de	Relvado	Telha az	Solo exp	Asfalto	Sombra	Telha ne	Telha ce	Piso cin	Telha es	Telha ci	Total	Accuracy
Piscina	1730	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1730	100,00%
Copa de	0	1650	5	0	0	0	0	0	4	0	0	0	1659	99,46%
Relvado	0	141	2555	0	0	0	0	0	28	0	0	0	2724	93,80%
Telha az	1	1	0	498	0	2	0	0	2	11	4	0	519	95,95%
Solo exp	0	0	0	0	1741	1	0	0	153	46	2	0	1943	89,60%
Asfalto	0	0	0	0	0	1384	0	0	0	5	497	76	1962	70,54%
Sombra	0	0	0	0	0	0	3873	0	0	0	183	0	4056	95,49%
Telha ne	0	0	0	0	0	0	0	1503	0	5	0	0	1508	99,67%
Telha ce	0	26	166	0	4	0	0	0	556	3	0	0	755	73,64%
Piso cin	0	0	0	0	101	0	0	0	0	361	0	0	534	67,60%
Telha es	0	0	0	4	0	283	40	0	3	0	1863	0	2193	84,95%
Telha ci	18	0	0	0	9	23	0	0	0	27	0	3277	3354	97,70%
Total	1749	1818	2726	502	1855	1693	3913	1503	744	449	2556	3429	22937	
Accuracy	90,91%	90,76%	93,73%	99,20%	93,85%	81,75%	98,98%	100,00%	74,73%	80,40%	72,89%	95,57%		

Overall Accuracy = 91,52% Khat Statistic = 90,49%

Figura 15 - Matriz de erro de classificação da imagem IKONOS de 2002 para a subprefeitura da Mooca

A classificação da imagem de 2002 obteve acurácia de 91,52% e o índice Kappa de 90,49%, valor que de acordo com Landis e Koch (1977) enquadra a classificação como ótima.

A classificação da imagem de 2004 obteve acurácia de 87,10% e o índice Kappa de 85,61%, valor que de acordo com Landis e Koch (1977) enquadra a classificação como ótima.

A classificação da imagem de 2006 obteve acurácia de 94,37% e o índice Kappa de 93,47%, valor que de acordo com Landis e Koch (1977) enquadra a classificação como ótima.

A classificação da imagem de 2008 obteve acurácia de 87,06% e o índice Kappa de 85,63%, valor que de acordo com Landis e Koch (1977) enquadra a classificação como ótima.

Ground Truth Data															
Name	G_1	G_2	G_3	G_4	G_5	G_6	G_7	G_8	G_9	G_10	G_11	G_12	G_13	Total	Accuracy
Piscina	1038	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1038	100.00%
Copa de	0	2723	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	2733	99.63%
Solo exp	0	0	2907	0	0	0	0	237	0	36	0	0	0	3230	90.00%
Asfalto	0	0	0	2109	0	0	612	0	159	0	0	0	0	2880	73.23%
Relvado	0	69	0	0	2147	0	0	0	0	0	0	0	0	3216	97.85%
Sombra	0	0	0	0	0	1444	7	0	0	0	7	0	0	1458	99.04%
Telha es	0	20	0	881	0	0	1574	0	28	0	13	0	0	2516	62.56%
Telha ce	0	0	725	0	0	0	0	1501	0	0	0	0	4	2030	64.09%
Telha ci	0	0	0	0	0	0	0	0	3901	0	0	1	0	3902	99.97%
Telha me	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1624	0	0	0	1624	100.00%
Lago/riu	45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	303	0	0	348	87.07%
Piso cim	0	0	103	0	0	0	0	17	324	11	0	151	0	606	24.02%
Outras	0	8	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	594	608	97.04%
Total	1003	2820	3735	2990	3157	1444	2193	1615	4412	1670	323	152	594	26180	
Accuracy	95.84%	96.56%	77.83%	70.54%	99.68%	100.00%	71.77%	80.56%	38.42%	97.19%	93.81%	99.34%	99.33%		
Overall Accuracy =	87.00%		KhatStatistic =		85.61%										

Figura 16 - Matriz de erro de classificação da imagem Quickbird de 2004 para a subprefeitura da Mooca

Ground Truth Data															
Name	G_1	G_2	G_3	G_4	G_5	G_6	G_7	G_8	G_9	G_10	G_11	G_12	G_14	Total	Accuracy
Piscina	2072	0	0	0	0	0	0	0	0	0	606	0	0	2678	77.37%
Copa de	0	6650	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6650	100.00%
Relvado	0	990	6412	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	7403	86.61%
Sombra	0	0	0	750	0	0	0	0	0	0	0	0	0	750	100.00%
Telha ce	0	0	0	0	950	0	0	0	196	0	0	0	0	1146	82.90%
Telha ci	0	0	0	0	0	7287	3	0	0	0	7	0	12	7309	99.70%
Telha me	0	0	0	0	1	0	3373	0	35	0	0	0	0	3409	98.94%
Telha es	0	20	0	0	1	0	0	2334	0	146	0	13	9	2528	92.33%
Solo exp	0	0	0	0	23	0	0	0	12796	0	0	0	32	12859	99.51%
Asfalto	0	0	0	0	0	0	0	142	0	661	25	0	25	853	77.48%
Água/lag	520	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4122	0	0	4642	88.80%
Outras	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	658	0	658	100.00%
Piso cim	0	0	0	0	0	0	0	0	84	0	0	0	650	734	88.56%
Total	2592	7660	6412	750	975	7287	3376	2476	13111	807	4760	664	729	51619	
Accuracy	79.94%	86.81%	100.00%	100.00%	97.44%	100.00%	89.91%	94.26%	97.60%	81.91%	86.60%	96.70%	89.16%		
Overall Accuracy =	94.31%		KhatStatistic =		93.47%										

Figura 17 - Matriz de erro de classificação da imagem Quickbird de 2006 para a subprefeitura da Mooca

		Ground Truth Data														
	Name	G_1	G_2	G_3	G_4	G_5	G_6	G_7	G_8	G_9	G_10	G_11	G_12	G_13	Total	Accuracy
I m a g e s	Piscina	1799	0	0	0	0	0	0	0	0	0	120	0	0	1919	93.75%
	Copa de	0	9441	0	0	111	0	0	0	0	0	0	0	2	9554	98.82%
	Solo exp	0	0	7129	0	0	0	369	0	0	0	0	44	10	7552	94.40%
	Asfalto	0	0	0	5093	0	221	6	0	0	0	1	5	0	7626	86.88%
	Relvedo	0	345	0	0	5365	0	11	0	0	0	0	0	0	5721	93.70%
	Telhas	0	17	170	2784	0	6667	0	0	0	0	0	0	134	9467	77.88%
	Telhas ce	0	0	1573	0	0	0	1730	0	0	0	0	0	76	3379	51.20%
	Sombra	0	109	0	71	0	133	0	7647	0	0	0	285	0	8245	92.75%
	Telhas me	0	0	0	0	0	0	0	0	3171	0	0	0	0	3171	100.00%
	Telhas cl	7	0	0	0	0	33	0	0	0	6171	11	0	83	6302	97.92%
	Lago/rio	164	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4265	0	0	4429	96.30%
	Piso cim	0	0	184	0	0	0	3	0	0	237	0	569	1	1014	58.09%
	Outros	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2079	2081	99.90%
	Total	1970	9907	9856	7448	5476	9549	2119	7647	3171	6408	4682	720	2307	70460	
	Accuracy	91.32%	95.30%	78.72%	68.38%	97.97%	71.80%	81.64%	100.00%	100.00%	56.30%	91.09%	81.81%	90.12%		
	Overall Accuracy =		87.06%		Khet Stability =		85.62%									

Figura 18 - Matriz de erro de classificação da imagem Quickbird de 2008 para a subprefeitura da Mooca

As classes foram distribuídas nos seguintes grupos para o cálculo do IFU (SILVA FILHO et al., 2005):

- (i) Espaços livres vegetados: copa de árvore e relvado;
- (ii) Espaços livres permeáveis: solo exposto;
- (iii) Espaços livres impermeáveis: piso cimento e asfalto;
- (iv) Espaços construídos: telha cerâmica, telha metálica, telha escura e telha cinza;
- (v) Espaços d'água: lago/rio e piscina;
- (vi) Outros: sombra e outros.

Foram identificados na classe de cobertura “outros” helipontos e quadras poliesportivas. A classe de cobertura “lago/rio” foi “mascarada” (retirada da imagem para a classificação) na imagem IKONOS de 2002, pois estava sendo confundida fortemente com as outras classes. Além disso, não é uma classe quantitativamente significativa para a região.

Nuvens e sombras são fatores que prejudicam a classificação (RIBEIRO; CENTENO, 2001). Assim foi criada uma classe especial para sombra, e as nuvens foram desconsideradas pelo classificador, aplicando-se uma máscara nessas regiões.

A classe “sombra” influencia nas porcentagens de outras classes, já que varia de imagem para imagem, e esconde os elementos na mesma. Por isso pode-se observar na tabela algumas variações bruscas de porcentagem em alguns elementos. Entretanto, a principal classe de estudo, “copa de árvore”, não sofreu variações repentinas ao longo dos anos.

Chegou-se aos seguintes resultados para o IFU:

Tabela 7 - Índice de Floresta Urbana para a subprefeitura da Mooca

Período	IFU
2002	0,155945
2004	0,120363
2006	0,204238
2008	0,188283

A baixa presença de áreas arborizadas constatadas em campo foi confirmada pelo baixo valor do IFU para o período de estudo. O índice sofreu no geral um pequeno aumento durante os anos de 2002 a 2008, sendo que houve uma leve diminuição do ano de 2006 para o ano de 2008.

Silva Filho et al. (2005) aplicou o IFU para nove bairros da cidade de Piracicaba/SP. O menor valor encontrado foi para o bairro Cidade Alta, com IFU de 0,445. Mesmo este sendo o menor valor, é superior àquele encontrado para a região da subprefeitura da Mooca. O que demonstra a reduzida quantidade de árvores na região, e a necessidade de políticas públicas voltadas para o aumento do verde e de educação para a valorização de espaços vegetados na cidade.

Cabe ressaltar que esta é uma análise regional, que oferece um panorama geral da área. Uma análise mais específica pode ser feita bairro a bairro, já que numa mesma região podem existir bairros com um déficit alto de vegetação, o que influencia nos valores regionais.

Todavia como esses bairros são administrados por uma mesma subprefeitura, o panorama de toda a região é necessário para se ter um registro de como está a atuação da subprefeitura frente a políticas de arborização urbana.

4.3.2 Subprefeitura da Sé

Localizada no centro da cidade de São Paulo, a subprefeitura da Sé é composta pelos bairros Bom Retiro, Santa Cecília, República, Sé, Consolação, Bela Vista, Liberdade e Cambuci (PORTAL DA PREFEITURA DA CIDADE DE SÃO PAULO, 2009). Em visita aos bairros foi possível observar as principais características da região.

O bairro do Bom Retiro é caracterizado por ruas de comércio, principalmente no ramo de confecções, e poucas residências. Nos bairros República, Sé e Consolação predominam edifícios de escritórios e comerciais. O bairro da Liberdade possui área central com grande comércio e ruas secundárias com edifícios residenciais.

Santa Cecília é um bairro marcado pela grande quantidade de edifícios residenciais e pouco comércio. A presença de grandes casarões do início do século XX

e pequenos comércios caracterizam o bairro da Bela Vista. Cambuci, bairro residencial com influência italiana, possui grande quantidade de casas antigas.

Nesta região há um misto de áreas residenciais e comerciais. Observou-se que nos bairros mais centrais como Sé e República há grande trânsito de pessoas durante a semana, além de moradores em situação de rua. A região apresenta-se um tanto quanto degradada, principalmente no que se refere aos equipamentos públicos (Figura 19).



Figura 19 - Rua Boa Vista, Sé

Também aqui não foi observada presença marcante de árvores no viário, apesar da existência de algumas praças arborizadas, como a Praça da República.

A região também foi caracterizada por meio de ferramentas de geoprocessamento. Fez-se uma classificação automática supervisionada, utilizando o método Stepwise Linear, de imagens de alta resolução dos anos de 2002, 2004, 2006 e 2008, tendo como foco a cobertura arbórea da região. Entretanto a imagem referente ao ano de 2006 está incompleta, portanto foi desconsiderada para o cálculo do IFU.

Segue na tabela a distribuição da cobertura do solo do tecido urbano da região com as respectivas porcentagens de cada elemento, durante o período analisado.

Tabela 8 - Cobertura do solo da região da subprefeitura da Sé nos anos de 2002, 2004, 2006 e 2008

Classe	2002 (%)	2004 (%)	2006 (%)*	2008 (%)
Piscina	0,03	0,04	0,03	0,03
Copa de Árvore	6,96	3,05	6,87	4,99
Solo Exposto	4,62	1,51	2,08	2,22
Asfalto	12,78	21,26	16,90	13,88
Relvado	0,80	1,47	1,60	4,51
Telha Escura	23,96	25,61	26,20	26,55
Telha Cerâmica	5,47	1,49	12,45	0,65
Sombra	10,56	31,29	9,06	35,26
Telha Metálica	2,40	0,40	3,42	0,60
Telha Cinza	3,05	7,96	3,57	2,62
Lago/Rio	13,31	-	-	-
Piso Cimento	12,97	4,63	14,26	5,85
Outros	3,10	1,30	3,56	2,89

*Imagem incompleta

As classificações foram avaliadas por meio da estatística Kappa. Abaixo seguem as matrizes de erro de classificação, nas Figuras 20, 21 e 22.

Ground Truth Data															Total	Accuracy
Nome	Piscina	Copa de	Relvado	Telha az	Solo exp	Asfalto	Sombra	Telha ne	Telha ce	Piso cin	Telha es	Telha ci	Lago/rio	Total	Accuracy	
Piscina	585	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	592	98,82%	
Copa de	0	2072	19	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	2098	98,71%	
Relvado	0	238	1554	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1792	86,72%	
Telha az	0	0	0	577	0	3	0	0	1	0	1	1	2	585	98,63%	
Solo exp	0	0	0	0	1025	0	0	0	54	11	0	0	0	1090	94,04%	
Asfalto	0	0	0	0	0	1034	0	0	0	6	185	0	0	1226	84,34%	
Sombra	0	1	0	0	0	0	1348	0	0	0	4	0	0	1354	98,59%	
Telha ne	0	0	0	0	0	0	0	2524	0	0	0	0	0	2524	100,00%	
Telha ce	0	8	8	0	158	0	0	0	1049	0	0	0	0	1223	85,77%	
Piso cin	0	0	0	0	33	0	0	0	0	108	3	0	0	140	74,29%	
Telha es	0	0	0	0	0	26	0	0	5	3	1015	0	0	1049	96,76%	
Telha ci	19	5	0	0	0	0	0	0	0	2	1	1436	0	1463	98,15%	
Lago/rio	3	12	0	0	0	16	16	0	0	0	9	0	8352	8408	99,33%	
Total	607	2343	1581	577	1216	1073	1358	2524	1117	126	1219	1437	8371	23555		
Accuracy	96,38%	88,43%	98,23%	100,00%	84,23%	95,63%	98,82%	100,00%	93,91%	82,54%	83,26%	99,93%	99,77%			

Overall Accuracy = 96,24% Khat Statistic = 95,47%

Figura 20 - Matriz de erro de classificação da imagem IKONOS de 2002 para a subprefeitura da Sé

Ground Truth Data														
Name	G_1	G_2	G_3	G_4	G_5	G_6	G_7	G_8	G_9	G_10	G_12	G_13	Total	Accuracy
Piscina	316	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	316	100.00%
Copa de	0	1850	0	0	15	0	0	0	0	0	0	0	1865	99.20%
Solo exp	0	0	1728	0	0	0	0	185	0	0	1	0	1914	90.28%
Asfalto	0	0	0	1823	0	0	997	0	321	0	0	0	3141	50.04%
Relvado	0	18	0	0	1661	0	0	0	0	0	0	0	1679	90.93%
Sombra	0	0	0	0	0	572	16	0	0	0	0	0	588	97.28%
Telha es	0	1	0	575	0	0	2977	0	4	0	6	35	3598	82.74%
Telha ce	0	0	255	0	0	0	0	2227	0	0	0	0	2482	89.73%
Telha ci	7	0	0	0	0	0	10	0	15194	0	45	11	15267	99.52%
Telha me	0	0	2	0	0	0	0	0	0	805	23	0	830	96.99%
Piso cim	0	0	72	0	0	0	0	3	0	1	276	0	352	78.41%
Outros	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	646	646	100.00%
Total	323	1869	2057	2398	1676	572	4000	2415	15519	806	351	692	32678	
Accuracy	97.83%	98.98%	84.01%	76.02%	99.11%	100.00%	74.42%	92.22%	97.91%	99.88%	78.63%	93.35%		
Overall Accuracy =	92.03%		Khat Statistic =		89.25%									

Figura 21 - Matriz de erro de classificação da imagem Quickbird de 2004 para a subprefeitura da Sé

Ground Truth Data														
Name	G_1	G_2	G_3	G_4	G_5	G_6	G_7	G_8	G_9	G_10	G_12	G_13	Total	Accuracy
Piscina	1213	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1213	100.00%
Copa de	0	8807	0	0	608	0	0	0	0	0	0	0	9415	93.54%
Solo exp	0	0	1058	0	0	0	0	53	0	0	39	137	1287	82.21%
Asfalto	0	0	0	3289	0	0	670	0	19	0	10	0	3988	82.47%
Relvado	0	1103	54	0	11164	0	0	37	0	0	3	9	12370	90.23%
Sombra	0	96	0	65	0	6697	0	0	0	0	0	0	6858	97.65%
Telha es	0	4	0	1786	0	0	2726	0	0	0	38	342	4896	55.68%
Telha ce	0	0	39	0	3	0	0	1954	0	0	0	32	2028	96.35%
Telha ci	9	0	0	0	0	0	0	0	5247	0	80	0	5336	98.33%
Telha me	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1003	0	0	1005	99.80%
Piso cim	1	0	168	0	0	0	0	0	3	0	1084	13	1269	85.42%
Outros	0	81	0	0	79	0	0	0	0	0	2	2726	2888	94.39%
Total	1223	10091	1319	5140	11854	6697	3396	2046	5269	1003	1256	3259	52553	
Accuracy	99.18%	87.28%	80.21%	63.89%	94.18%	100.00%	80.27%	95.50%	99.58%	100.00%	86.31%	83.65%		
Overall Accuracy =	89.37%		Khat Statistic =		87.72%									

Figura 22 - Matriz de erro de classificação da imagem Quickbird de 2008 para a subprefeitura da Sé

A classificação da imagem de 2002 obteve acurácia de 96,24% e o índice Kappa de 95,47%, valor que de acordo com Landis e Koch (1977) enquadra a classificação como ótima.

A classificação da imagem de 2004 obteve acurácia de 92,03% e o índice Kappa de 89,25%, valor que de acordo com Landis e Koch (1977) enquadra a classificação como ótima.

A classificação da imagem de 2008 obteve acurácia de 89,37% e o índice Kappa de 87,72%, valor que de acordo com Landis e Koch (1977) enquadra a classificação como ótima.

Foram identificados na classe de cobertura “outros” helipontos e quadras poliesportivas. A classe de cobertura “lago/rio” foi “mascarada” (retirada da imagem para a classificação) nas imagens de 2004, 2006 e 2008. Conforme mencionado, a imagem de 2006 foi descartada do cálculo do IFU por não abranger toda a região de estudo. A classe “sombra” influencia nas porcentagens de outras classes, já que varia de imagem para imagem, e esconde os elementos na mesma.

As classes foram distribuídas nos mesmos grupos especificados na análise da subprefeitura da Mooca. Chegou-se aos seguintes resultados para o IFU:

Tabela 9 - Índice de Floresta Urbana para a subprefeitura da Sé

Período	IFU
2002	0,379127
2004	0,184591
2008	0,342781

A baixa presença de áreas arborizadas constatadas em campo foi confirmada pelo baixo valor do IFU para o período de estudo. O índice sofreu no geral uma diminuição de 2002 a 2004, sendo que houve um aumento do ano de 2004 para o ano de 2008.

Novamente comparando com o trabalho de Silva Filho et al. (2005) que aplicou o IFU para bairros da cidade de Piracicaba/SP, o menor valor encontrado para um bairro em Piracicaba (0,445) ainda é maior do que os valores encontrados para a região da subprefeitura da Sé.

E mais uma vez constata-se a reduzida quantidade de árvores na região e a necessidade de políticas públicas voltadas para o aumento do verde e de educação para a valorização de espaços vegetados na cidade. Entretanto, comparando-se com a subprefeitura da Mooca, a região da Sé apresenta maiores valores para o IFU.

4.3.3 Subprefeitura de Pinheiros

A subprefeitura de Pinheiros, localizada na região oeste da cidade, é composta pelos bairros: Alto de Pinheiros, Pinheiros, Itaim Bibi e Jardim Paulista (PORTAL DA PREFEITURA DA CIDADE DE SÃO PAULO, 2009). Em visita a campo, foi possível observar as principais características da região.

Alto de Pinheiros e Pinheiros são bairros de classe média alta, marcados por construções de alto padrão, tanto residencial quanto para fins de escritório, com forte presença de indivíduos arbóreos no viário. Jardim Paulista é um bairro planejado, predominantemente residencial e com edifícios de alto padrão. Itaim Bibi antes um bairro residencial agora concentra grande quantidade de escritórios em edifícios de alto padrão.

Essa região, comparando-se com as outras duas já caracterizadas, durante as visitas de campo demonstrou ser a com maior quantidade de árvores no viário, sendo uma região marcada por construções novas e com características residenciais (Figura 23).



Figura 23 - Avenida Antonio Baturia, Alto de Pinheiros

Ferramentas de geoprocessamento foram utilizadas para caracterizar a cobertura arbórea da região. Fez-se uma classificação automática supervisionada, utilizando o método Stepwise Linear, de imagens de alta resolução dos anos de 2002, 2004 e 2008, tendo como foco a cobertura arbórea da região.

O estudo foi prejudicado por dois fatores referentes às imagens de 2004 e 2006, pois para esta subprefeitura a imagem referente ao ano de 2004 está incompleta e não há imagem em catálogo para o ano de 2006. Desta maneira foram desconsideradas do cálculo do IFU.

Segue na tabela a distribuição da cobertura do solo no tecido urbano da região com as respectivas porcentagens de cada elemento, durante o período analisado.

Tabela 10 - Cobertura do solo da região da subprefeitura de Pinheiros nos anos de 2002, 2004 e 2008

Classe	2002 (%)	2004 (%)*	2008 (%)
Piscina	0,53	0,12	0,08
Copa de Árvore	6,89	6,34	7,93
Solo Exposto	10,45	2,53	1,68
Asfalto	13,57	16,07	20,76
Relvado	1,37	1,55	10,48
Telha Escura	33,14	32,02	15,31
Telha Cerâmica	7,44	2,38	1,16
Sombra	12,98	27,13	33,10
Telha Metálica	3,46	0,85	0,71
Telha Cinza	4,13	1,82	1,76
Lago/Rio	-	-	-
Piso Cimento	6,03	7,30	5,81
Outros	-	1,88	1,20

* Imagem incompleta

As classificações foram avaliadas por meio da estatística Kappa. As matrizes de erro de classificação são apresentadas nas Figuras 24 e 25.

		Ground Truth Data											
	Name	Piscina	Copa de	Relvado	Solo exp	Asfalto	Sombra	Telha me	Telha ce	Piso cim	Telha es	Total	Accuracy
	Piscina	430	0	0	54	34	0	0	0	5	0	523	82,22%
	Copa de	0	1577	4	0	0	0	0	0	0	0	1581	99,75%
	Relvado	0	20	12520	0	0	0	0	0	0	0	12540	99,84%
	Solo exp	0	0	34	2202	0	0	0	105	18	0	2359	93,34%
	Asfalto	0	0	0	0	703	0	0	0	3	6	712	96,74%
	Sombra	0	0	0	0	0	1178	0	0	0	0	1178	100,00%
	Telha me	0	0	0	0	0	0	921	0	21	0	942	97,77%
	Telha ce	0	0	340	174	0	0	0	571	0	0	1085	52,63%
	Piso cim	0	0	0	59	0	0	0	2	77	0	138	55,60%
	Telha es	0	0	0	51	85	0	0	0	1	885	1022	86,59%
	Total	430	1597	12698	2540	822	1178	921	678	125	891	22080	
	Accuracy	100,00%	98,75%	97,07%	86,69%	85,52%	100,00%	100,00%	84,22%	61,60%	99,33%		
	Overall Accuracy =	95,40%		Khat Statistic =		92,82%							

Figura 24 - Matriz de erro de classificação da imagem IKONOS de 2002 para a subprefeitura de Pinheiros

A classificação da imagem de 2002 obteve acurácia de 95,40% e o índice Kappa de 92,82%, valor que de acordo com Landis e Koch (1977) enquadra a classificação como ótima.

Ground Truth Data														
Name	G_1	G_2	G_3	G_4	G_5	G_6	G_7	G_8	G_9	G_10	G_12	G_13	Total	Accuracy
Piscina	1191	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1191	100.00%
Copa de	0	2827	0	0	241	0	0	0	0	0	0	0	3068	92.14%
Solo exp	0	0	1575	0	0	0	0	60	0	0	8	0	1643	95.86%
Asfalto	15	0	0	2255	0	0	818	0	0	0	6	0	3094	72.86%
Relvado	0	231	0	0	7437	0	0	3	0	0	0	0	7671	96.95%
Sombra	0	0	0	0	0	6069	39	0	0	0	0	0	6108	99.36%
Telha es	0	13	0	320	0	0	2113	0	0	0	0	24	2470	85.55%
Telha ce	0	0	151	0	0	0	0	1558	0	0	0	0	1710	91.17%
Telha ci	0	0	0	0	0	0	0	0	1328	0	19	0	1347	98.59%
Telha me	0	0	0	0	0	0	0	0	0	581	0	0	581	100.00%
Piso cim	0	0	175	0	0	0	0	0	0	0	458	2	635	72.13%
Outros	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2047	2047	100.00%
Total	1206	3071	1901	2575	7678	6069	2970	1622	1328	581	491	2073	31565	
Accuracy	98.76%	92.05%	82.85%	87.57%	96.86%	100.00%	71.14%	96.12%	100.00%	100.00%	93.28%	98.75%		
Overall Accuracy =	93.27%		Khat Statistic =		92.22%									

Figura 25 - Matriz de erro de classificação da imagem Quickbird de 2008 para a subprefeitura de Pinheiros

A classificação da imagem de 2008 obteve acurácia de 93,27% e o índice Kappa de 92,22%, valor que de acordo com Landis e Koch (1977) enquadra a classificação como ótima.

Foram identificados na classe de cobertura “outros” helipontos e quadras poliesportivas. A classe de cobertura “lago/rio” foi “mascarada” (retirada da imagem para a classificação) nas imagens do período de análise. A classe “sombra” influencia nas porcentagens de outras classes, já que varia de imagem para imagem, e esconde os elementos na imagem. Entretanto, a principal classe de estudo, “copa de árvore”, não sofreu variações repentinas ao longo dos anos.

As classes foram distribuídas nos mesmos grupos já especificados na análise das outras subprefeituras. Foram encontrados os seguintes valores para o IFU:

Tabela 11 - Índice de Floresta Urbana para a subprefeitura de Pinheiros

Período	IFU
2002	0,385234
2008	0,524980

A região da subprefeitura de Pinheiros foi a que apresentou maiores índices de floresta urbana. Sendo que no período entre os anos de 2002 e 2008 houve um aumento desse índice. Como constatado em campo como a região mais arborizada quando comparada às outras duas subprefeituras, os valores do IFU confirmam este dado.

Em comparação com o trabalho de Silva Filho et al. (2005), a região da subprefeitura de Pinheiros obteve IFU maior do que quatro dos nove bairros estudados na cidade de Piracicaba/SP (Jardim Monumento, Centro, Cidade Alta e São Dimas).

4.4 Definição das áreas prioritárias para corredores verdes

Definição de áreas prioritárias para áreas verdes incluem diversas variáveis que devem considerar o relevo da região, a quantidade de cobertura arbórea e áreas permeáveis existentes, incidência de processos erosivos, presença de alagamentos, vazios urbanos, entre outras, de acordo com as características da região de estudo.

O município de São Paulo sofre com frequentes ocorrências de alagamentos que afetam a população nos períodos chuvosos do ano (Figura 26). E como a floresta urbana é conhecida por diminuir as taxas de escoamento superficial, aumentar a impermeabilidade do solo, além de absorver a água da chuva optou-se por escolher variáveis relacionadas a essa temática para a definição das áreas prioritárias.

Sendo assim, em um primeiro estudo foram abordadas as variáveis declividade e índice de vegetação. Ocorrências de alagamento e quantidade de copa de árvore presente nas regiões de estudo, foram abordadas em um segundo estudo.



Figura 26 - Alagamento na Rua Maria Domitila, Brás, dia 06 de fevereiro de 2010

4.4.1 Índice de vegetação e declividade

4.4.1.1 Índice de vegetação

Índices de vegetação são utilizados em sensoriamento remoto para estudos sobre os elementos vegetativos presentes em dada imagem. Estes envolvem medidas radiométricas que indicam a abundância e a atividade da vegetação, como porcentagem de cobertura vegetal, quantidade de biomassa verde e absorção fotossintética. Estes índices são ajustados para normalizar efeitos decorridos de variações no dossel e no solo e diferenças na senescência e na parte lenhosa da planta (JENSEN, 2007).

Neste trabalho optou-se por utilizar o *Transformed Vegetation Index* (TVI), por mostrar resultados satisfatórios para destacar a vegetação em imagens de satélite de alta resolução. O TVI utiliza as bandas do vermelho e do infravermelho próximo da imagem para detectar a vegetação existente (MICROIMAGES, 2007)

O TVI foi aplicado às imagens das áreas de estudo por meio do programa TNTmips 2009. Os resultados estão nas Figuras 27, 28 e 29, nas quais as áreas mais claras destacam a presença de vegetação, enquanto que nas áreas mais escuras esse índice considera como ausência de vegetação.

Um estudo de Tucker (1979) mostrou que o TVI fornece resultados satisfatórios para monitorar a atividade fotossintética de copas de árvores. O autor utilizou dados coletados em campo com um espectômetro para quantificar e avaliar as relações entre as radiâncias do vermelho e do infravermelho próximo. E concluiu que a razão entre a radiação do infravermelho próximo e do vermelho é sensível para detectar atividade fotossintética e presença de biomassa.

Após a aplicação desse índice para destacar onde é marcante a presença de vegetação, o resultado foi trabalhado no programa ArcGIS 9.2. Foi feita uma reclassificação da imagem em quatro classes, onde os valores variam de 0 a 4, sendo que o valor zero corresponde à ausência de vegetação, e o valor quatro presença marcante de vegetação.

O resultado da reclassificação está nas Figuras 27, 28 e 29, onde o verde mais claro corresponde ao valor 0 e o verde mais escuro ao valor 4.

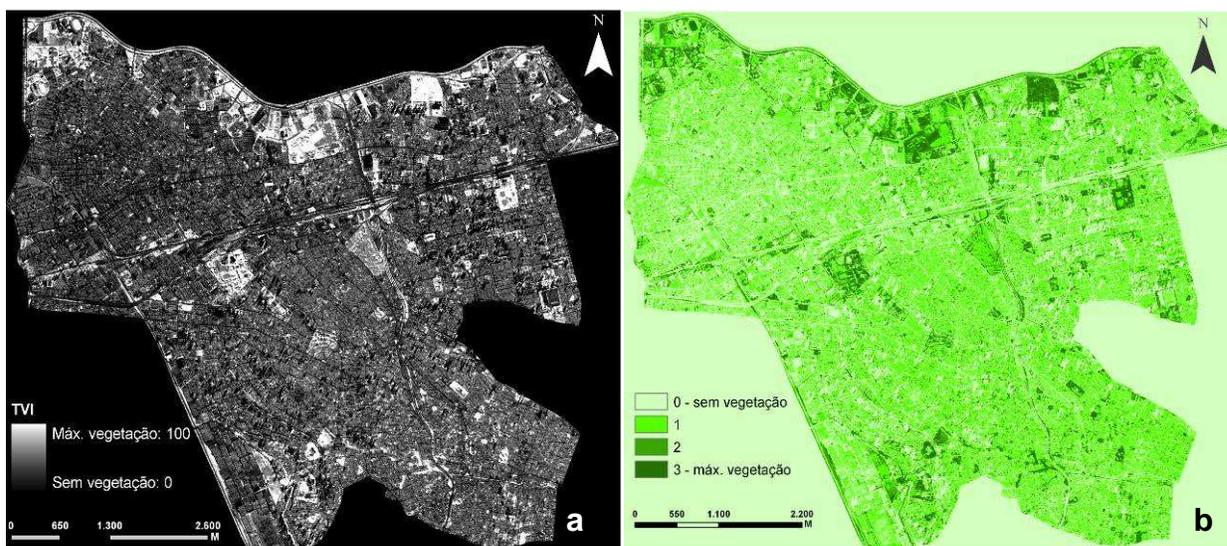


Figura 27 - Índice de vegetação aplicado para a subprefeitura da Mooca: a) Resultado da aplicação do TVI; b) TVI reclassificado em quatro classes

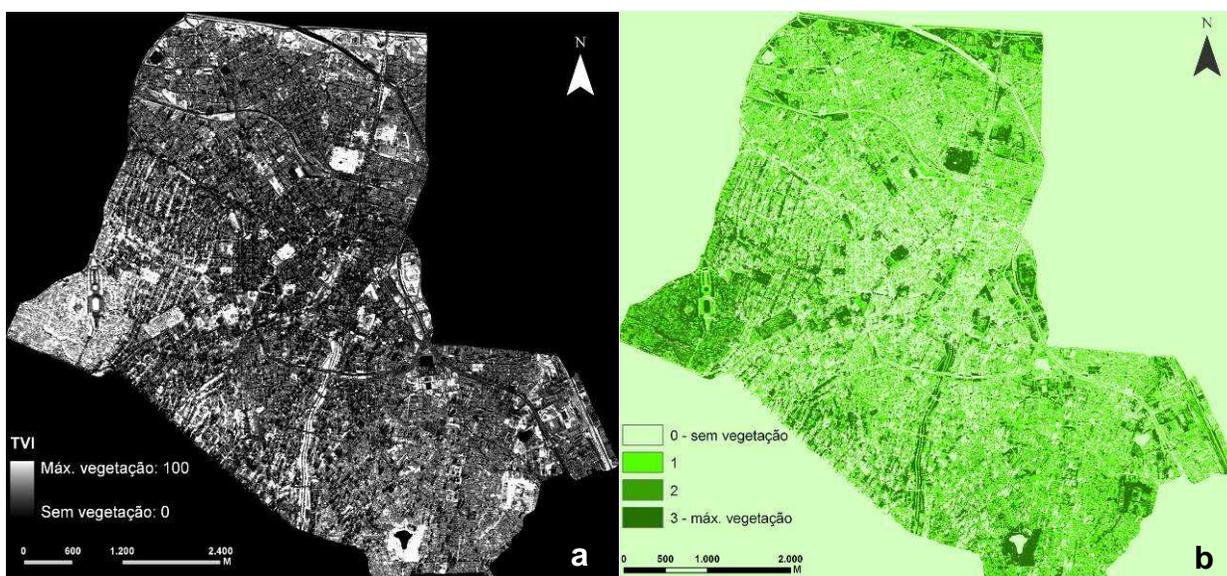


Figura 28 - Índice de vegetação aplicado para a subprefeitura da Sé: a) Resultado da aplicação do TVI; b) TVI reclassificado em quatro classes

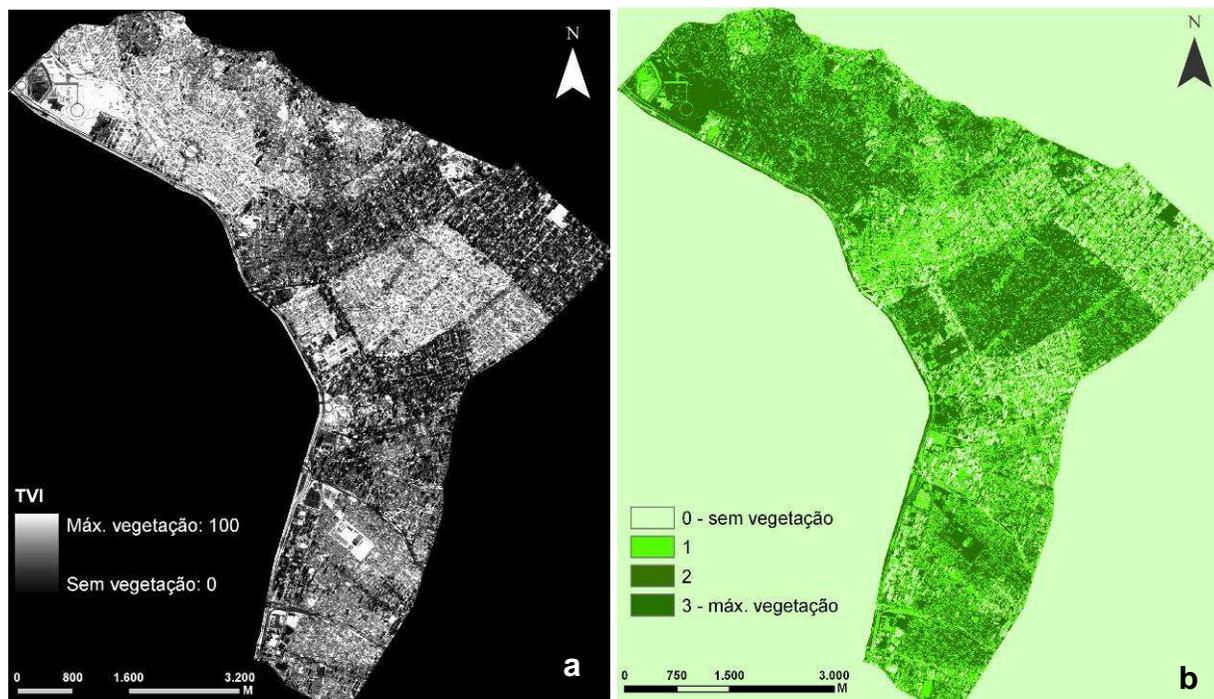


Figura 29 - Índice de vegetação aplicado para a subprefeitura de Pinheiros: a) Resultado da aplicação do TVI; b) TVI reclassificado em quatro classes

Fazendo uso do TVI foi possível destacar as áreas que possuem alta densidade de vegetação em contraposição àquelas áreas que não possuem tal elemento ou que não o possuem de forma tão abundante.

Bairros com arborização densa, praças e parques são facilmente identificados na imagem pela diferença de cor. Isto auxilia também no estudo da distribuição de florestas urbanas numa determinada região.

É possível visualizar nas subprefeituras da Mooca e da Sé que as áreas mais densamente arborizadas são poucas e estão alocadas no terreno de forma dispersa. Já a região abrangida pela subprefeitura de Pinheiros possui uma maior quantidade de bairros densamente arborizados e locais que concentram florestas urbanas.

Desta maneira, nota-se que a subprefeitura de Pinheiros em comparação com as duas outras subprefeituras possui uma maior quantidade de áreas em que o TVI indica como de forte presença de vegetação. O que reforça as informações evidenciadas no tópico que abordou o Índice de Floresta Urbana (IFU), em que essa subprefeitura apresentou os maiores valores para esse índice.

4.4.1.2 Declividade em áreas urbanas

O estudo de declividade em áreas urbanas é essencial para o planejamento ambiental. Por meio desta variável é possível indicar quais as áreas mais favoráveis à ocupação humana, bem como quais áreas necessitam de atenção especial, que normalmente são as áreas mais declivosas.

Áreas mais declivosas não são indicadas para ocupação, já que são mais suscetíveis a processos erosivos e também a altas taxas de escoamento superficial.

De acordo com Torres (2003), declividades abaixo de 18% têm menor tendência a sofrer processos erosivos, sendo uma área favorável para ocupação; regiões com declividade entre 18% e 30% ainda são favoráveis para ocupação humana, entretanto já há certo risco de processos erosivos; áreas com declividade acima de 30% já possuem alto risco de processos erosivos, e a ocupação deve ser realizada com cautela.

A Lei nº 6.766 de 1979, que dispõe sobre o parcelamento do solo urbano, em seu artigo terceiro, parágrafo único, inciso III diz que não será permitida construção em terrenos com declividade igual ou superior a 30%.

Ainda segundo Torres (2003) a eliminação da vegetação em regiões com declividades acima de 58% (30°) é a causa de processos erosivos e desmoronamento de morros.

Desta maneira, o planejamento das áreas verdes também deve considerar a declividade do local. Áreas declivosas devem receber atenção especial quanto à presença de elementos vegetativos, já que o mesmo auxilia na diminuição das taxas de escoamento superficial e na contenção de escoamentos de solo.

Assim, para este estudo foram gerados mapas de declividade a partir do MDT. Primeiro foram confeccionados mapas hipsométricos e então os mapas de declividade, no programa ArcGIS 9.2. Os mapas de declividade foram reclassificados de acordo como mostra a tabela a seguir.

Tabela 12 - Faixas de Declividade

Faixas de Declividade (%)	Reclassificação
0 - 5	0
5 - 10	1
10 - 30	2
> 30	3

As Figuras 30, 31 e 32 mostram os mapas de declividade das regiões de estudo e os mapas com a declividade já reclassificada.

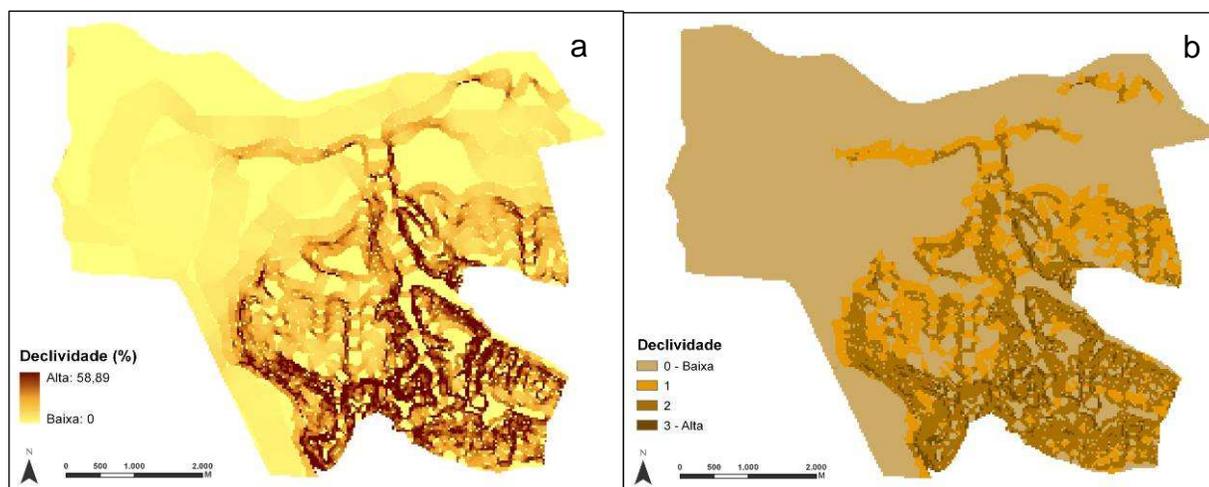


Figura 30 - Declividades referentes à subprefeitura da Mooca: a) Declividade gerada a partir do MDT e TIN; b) Declividade reclassificada em quatro classes

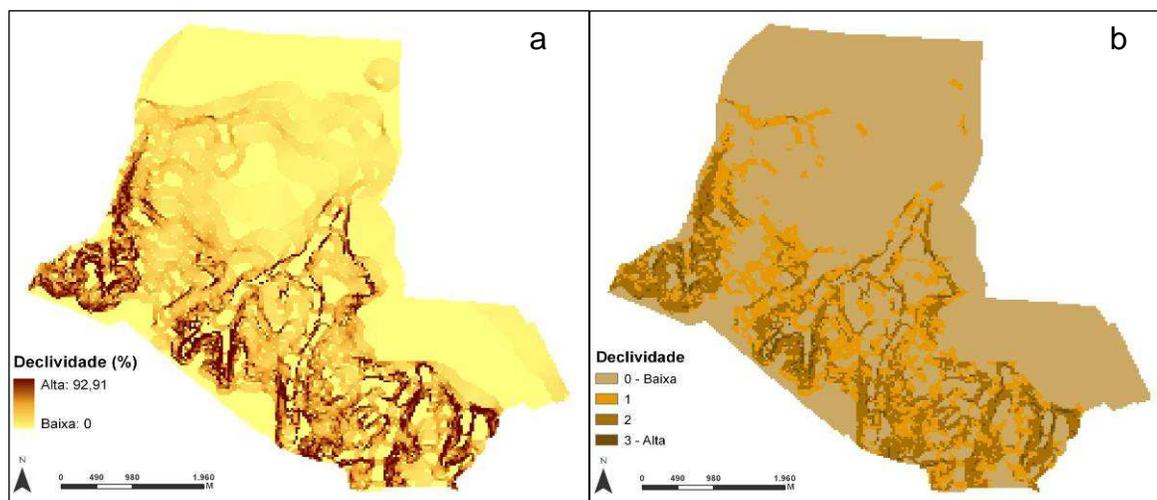


Figura 31 - Declividades referentes à subprefeitura da Sé: a) Declividade gerada a partir do MDT e TIN; b) Declividade reclassificada em quatro classes

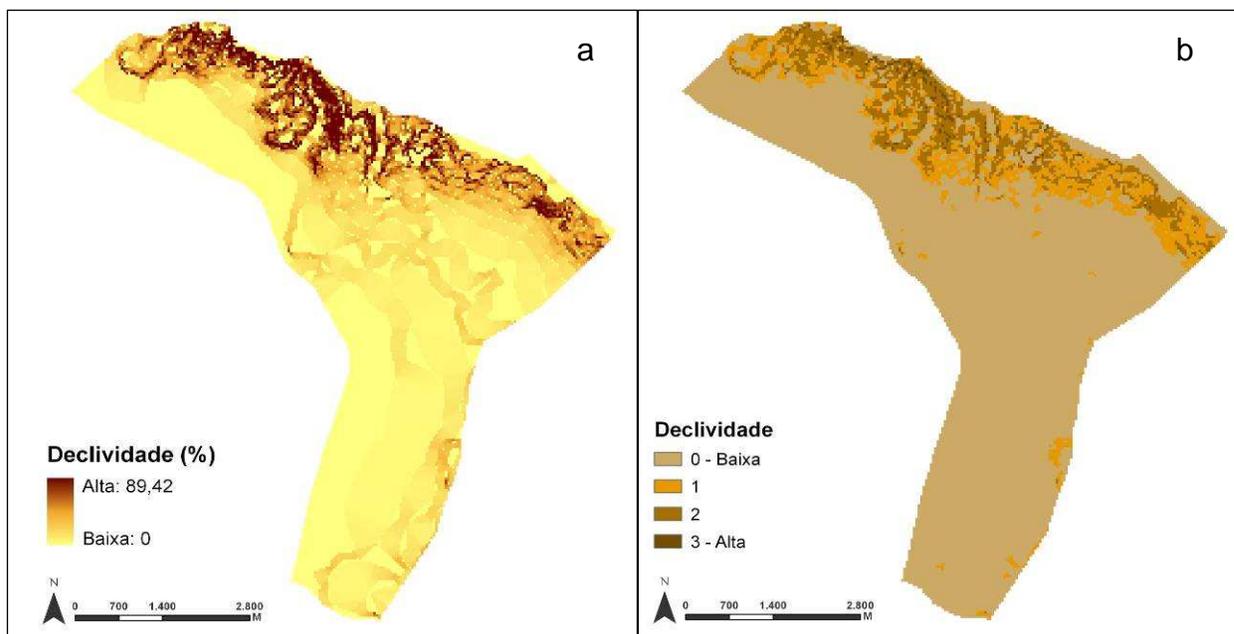


Figura 32 - Declividades referentes à subprefeitura de Pinheiros: a) Declividade gerada a partir do MDT e TIN; b) Declividade reclassificada em quatro classes

4.4.1.3 Áreas prioritárias para corredores verdes: índice de vegetação x declividade

Os resultados da combinação dos mapas de declividade com os mapas de TVI mostram as áreas prioritárias para uma política de arborização, já que são as áreas mais declivosas e com menor presença de áreas verdes, de acordo com o índice de vegetação aplicado.

O mapa resultante para cada subprefeitura possui 7 classes de prioridade.

Tabela 13 - Prioridade para arborização

Valores	Prioridade
-3	Muito Alta
-2	Alta
-1	Média Alta
0	Média
1	Média Baixa
2	Baixa
3	Muito Baixa

Foram feitas análises para cada subprefeitura, bairro a bairro. Com os resultados foi possível saber por quais bairros se deve iniciar um processo que leve ao aumento da arborização urbana, em cada subprefeitura, com foco em corredores verdes. Abaixo segue o mapa representativo de áreas prioritárias para políticas de arborização da subprefeitura da Mooca (Figura 33).

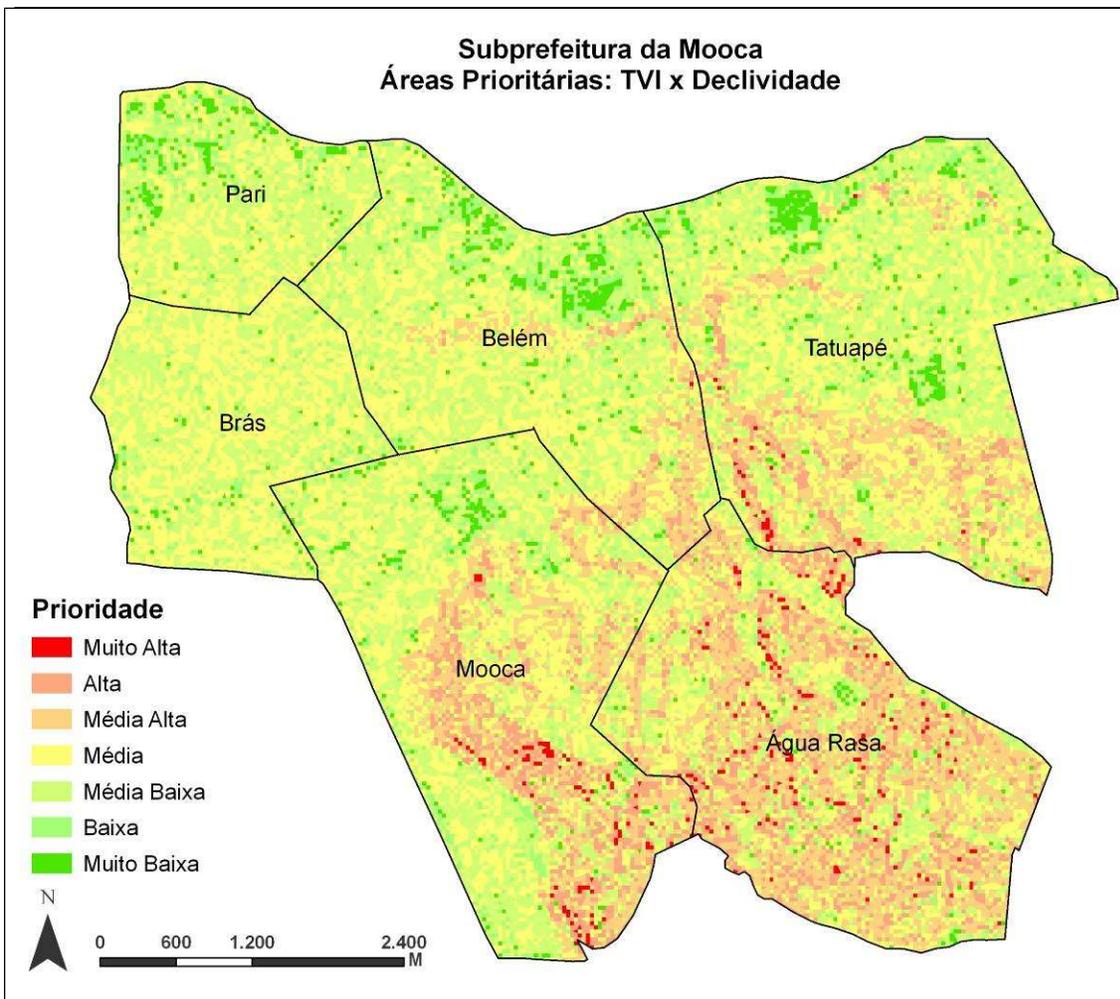


Figura 33 - Áreas prioritárias para políticas de arborização na subprefeitura da Mooca

Fez-se uma média dos valores de prioridade para cada bairro da subprefeitura representada na Figura 33 e chegou-se ao seguinte resultado:

Tabela 14 - Média dos valores de prioridade para arborização nos bairros da subprefeitura da Mooca

Bairros	Média
Água Rasa	-0,53
Mooca	0,07
Tatuapé	0,35
Brás	0,56
Belém	0,58
Pari	0,85

Esta média, então, considera os valores atingidos por cada pixel do mapa, representado na Figura 33, quando se cruza valores de TVI e de declividade. Assim quanto menor o número correspondente a uma classe, mais alta sua prioridade. Desta maneira, quanto menor o valor da média da área correspondente a um bairro, maior é a necessidade de incremento da arborização urbana.

Como já foi possível visualizar no mapa, de acordo com as cores apresentadas, o bairro da Água Rasa é o que possui a maior necessidade de políticas de arborização, atingido um valor negativo para sua média de prioridade (Figura 34). Outro bairro com um valor crítico é a Mooca, que atingiu um valor baixo para a sua média. Sendo que o bairro do Pari apresentou a melhor média.



Figura 34 - Rua Santa Albertina, Água Rasa

É possível visualizar corredores formados por áreas prioritárias para arborização na Figura 33. Assim, na Figura 35 tem-se o desenho desses corredores considerando essas áreas prioritárias para arborização, ligando-as a regiões que são de prioridade baixa, ou seja, possuem maior índice de vegetação e menor declividade.

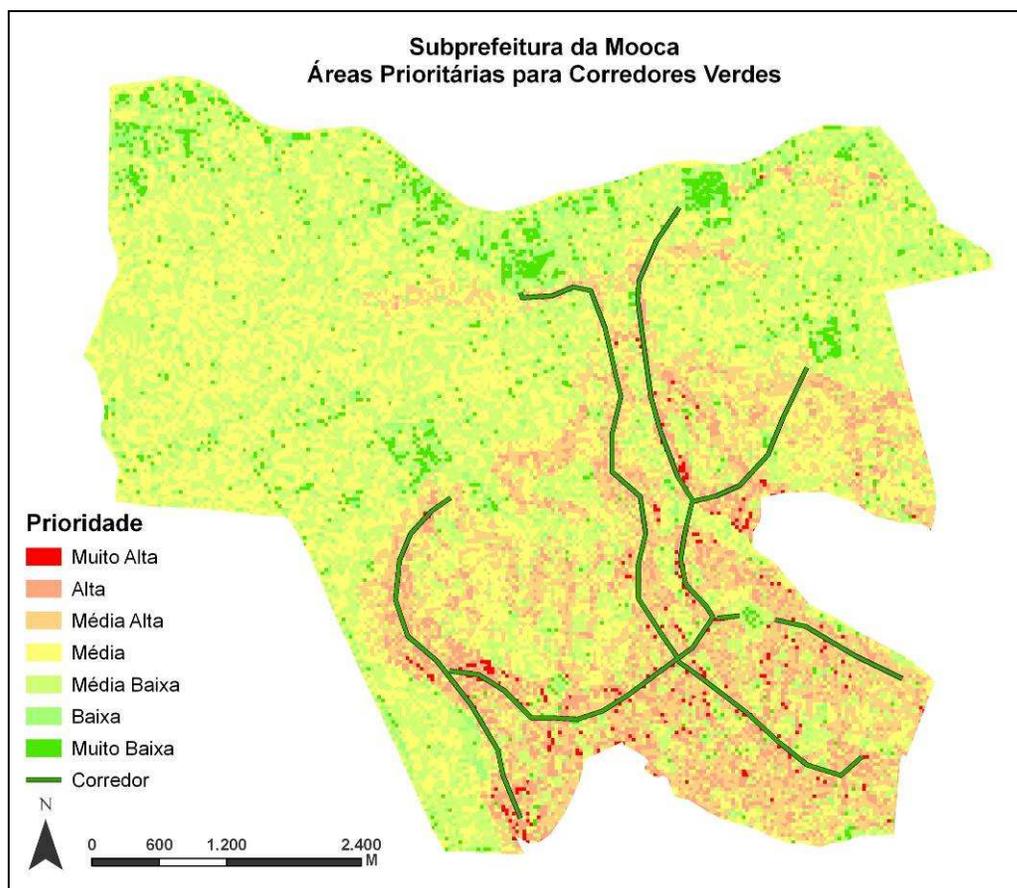


Figura 35 - Indicação de áreas para corredores verdes na subprefeitura da Mooca

A Figura 36 a seguir mostra o mapa representativo de áreas prioritárias para políticas de arborização da subprefeitura da Sé.

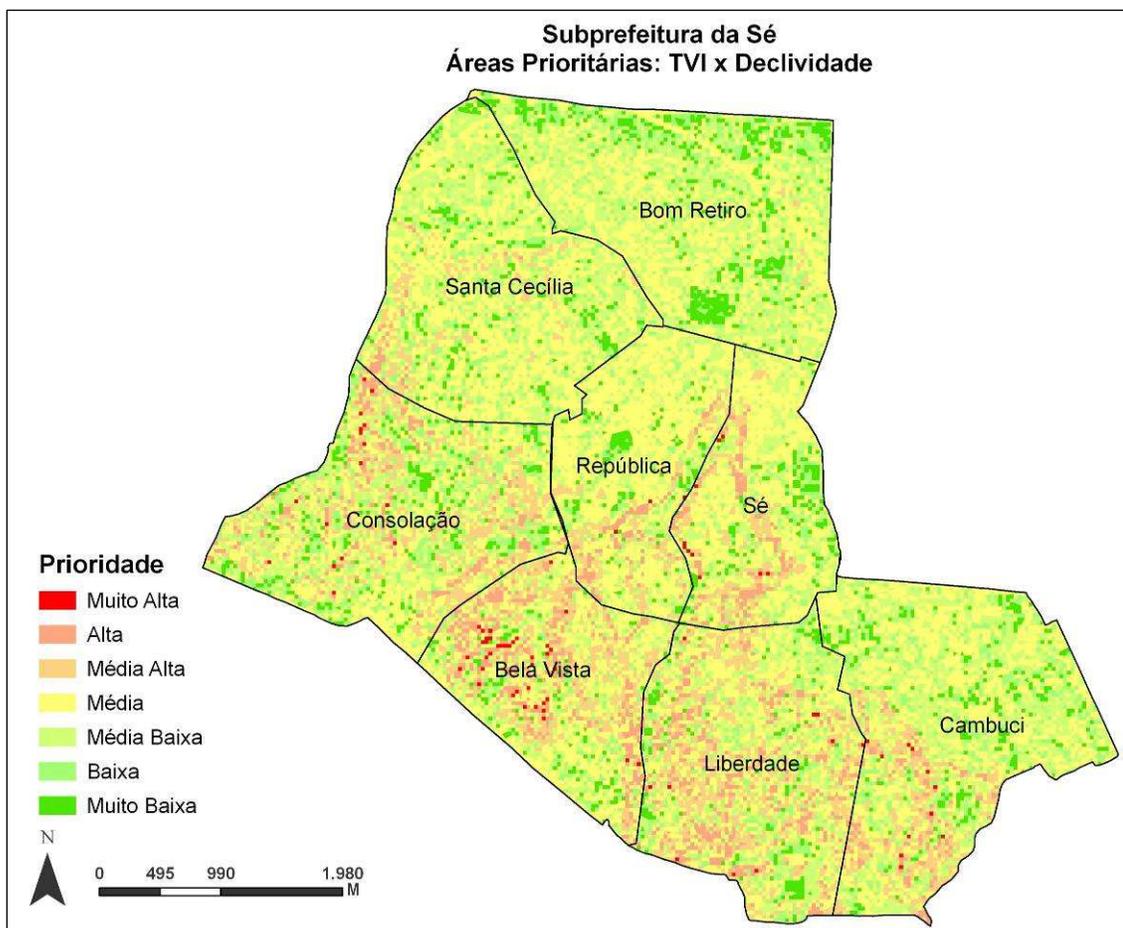


Figura 36 - Áreas prioritárias para políticas de arborização na subprefeitura da Sé

Fez-se uma média dos valores de prioridade para cada bairro da subprefeitura apresentada na Figura 36, sendo que, como já explicado, quanto menor o valor da média para um bairro, maior a prioridade para sua arborização, chegou-se ao seguinte resultado:

Tabela 15 - Média dos valores de prioridade para arborização nos bairros da subprefeitura da Sé

Bairros	Média
Bela Vista	0,16
Liberdade	0,23
Consolação	0,58
Sé	0,71
Cambuci	0,82
República	0,85
Santa Cecília	1,04
Bom Retiro	1,30

Como já foi possível observar no mapa, de acordo com as cores apresentadas, o bairro da Bela Vista é o que possui a maior necessidade de incremento de arborização quando se considera as variáveis declividade e índice de vegetação, atingindo a menor média quando comparado aos outros bairros (Figura 37). Outro bairro com um valor crítico é o bairro da Liberdade, com uma média de 0,23. E o bairro Bom Retiro apresentou a melhor média.



Figura 37 - Rua Pedroso, Bela Vista

É possível visualizar corredores formados por áreas prioritárias para arborização na Figura 36. Assim, na Figura 38 tem-se o desenho desses corredores considerando essas áreas prioritárias para arborização, ligando-as a regiões que são de prioridade baixa, ou seja, possuem maior índice de vegetação e menor declividade.

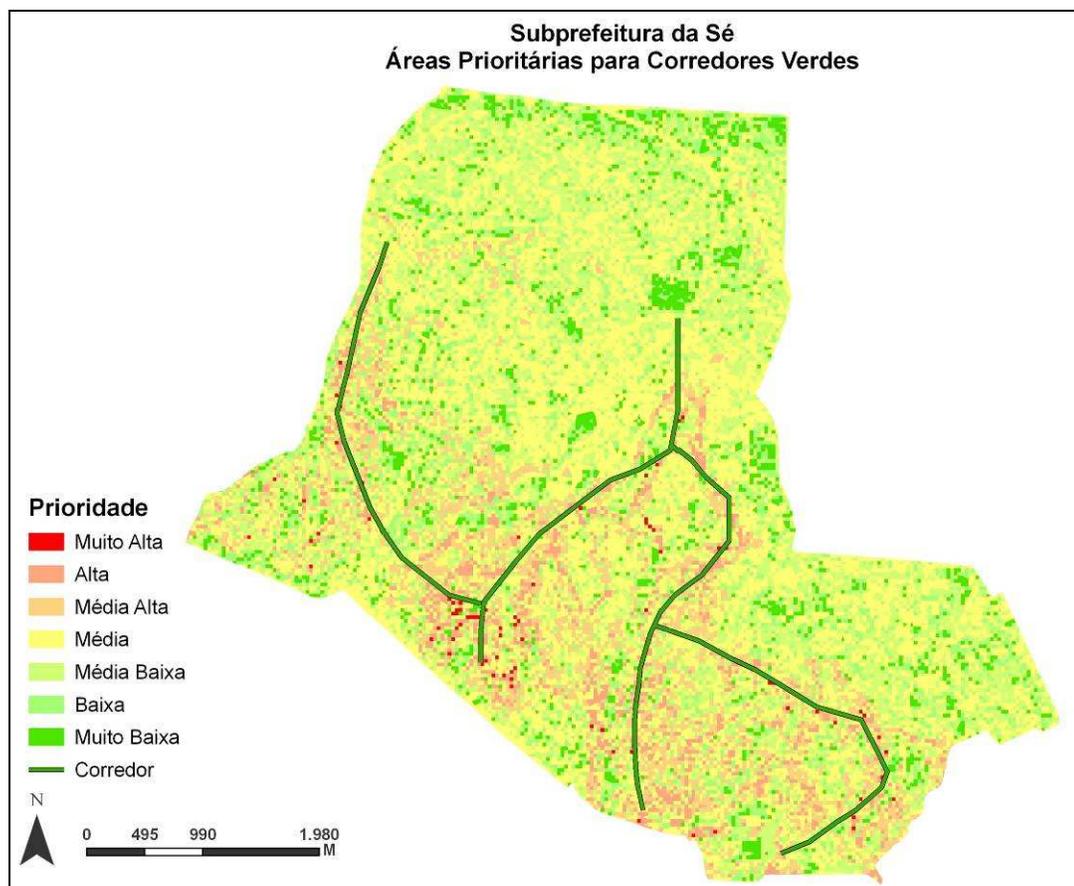


Figura 38 - Indicação de áreas para corredores verdes na subprefeitura da Sé

A Figura 39 a seguir mostra o mapa de áreas prioritárias para políticas de arborização da subprefeitura de Pinheiros.

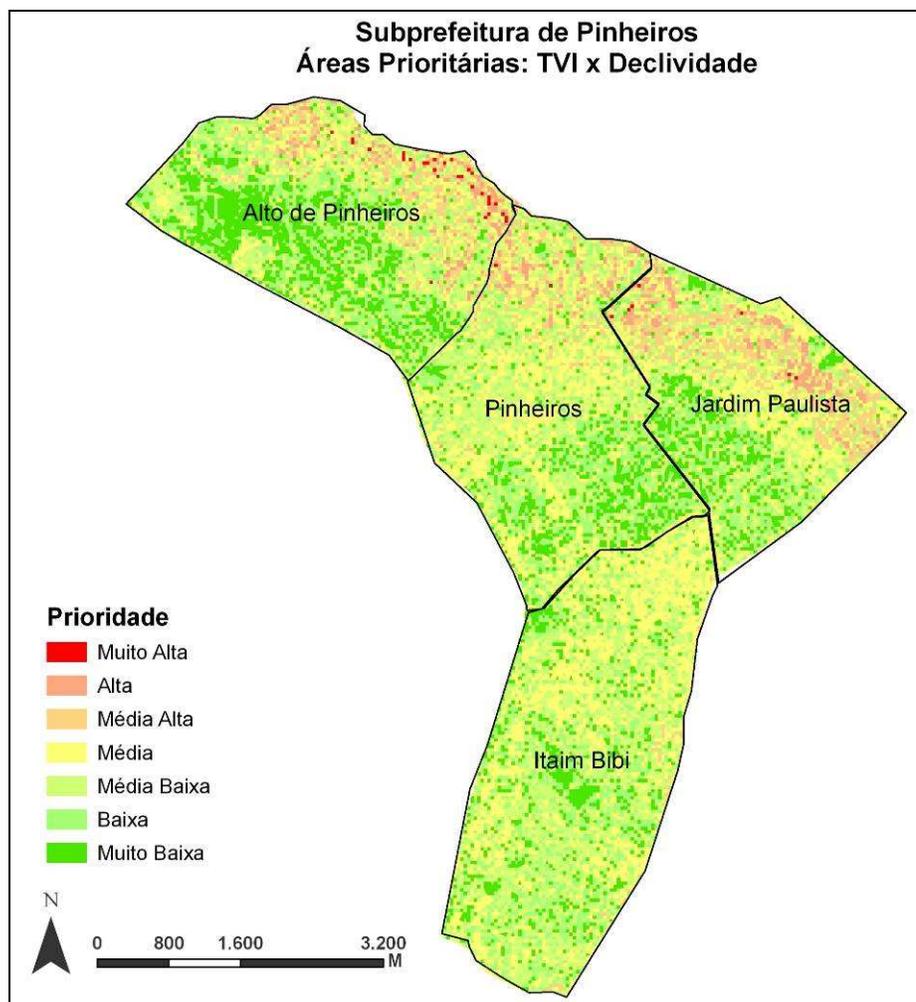


Figura 39 - Áreas prioritárias para políticas de arborização na subprefeitura de Pinheiros

Fez-se uma média dos valores de prioridade para cada bairro da subprefeitura apresentada na Figura 39, sendo que, como já explicado, quanto menor o valor da média para um bairro, maior a prioridade para sua arborização, chegou-se ao seguinte resultado:

Tabela 16 - Média dos valores de prioridade para arborização nos bairros da subprefeitura de Pinheiros

Bairros	Média
Alto de Pinheiros	0,88
Jardim Paulista	0,90
Pinheiros	1,10
Itaim Bibi	1,45

De acordo com seu IFU apresentado e com a análise da aplicação do TVI na região desta subprefeitura, a mesma apresenta bons resultados quanto à arborização urbana, principalmente, quando comparada com as outras subprefeituras analisadas neste estudo. Desta maneira a variável declividade teve peso fundamental no valor de prioridade dos bairros.

Este mapa de áreas prioritárias, então, auxilia para novas ações de incremento de arborização a serem realizadas pela subprefeitura de Pinheiros. Assim observa-se que os bairros Alto de Pinheiros e Jardim Paulista devem ser considerados como prioritários para novas políticas de arborização nesta regional. Itaim Bibi foi o bairro que apresentou a melhor média (Figura 40).



Figura 40 - Rua Jerônimo da Veiga, Itaim Bibi

É possível visualizar corredores formados por áreas prioritárias para arborização na Figura 39. Assim, na Figura 41 tem-se o desenho desses corredores considerando essas áreas prioritárias para arborização, ligando-as a regiões que são de prioridade baixa, ou seja, possuem maior índice de vegetação e menor declividade.

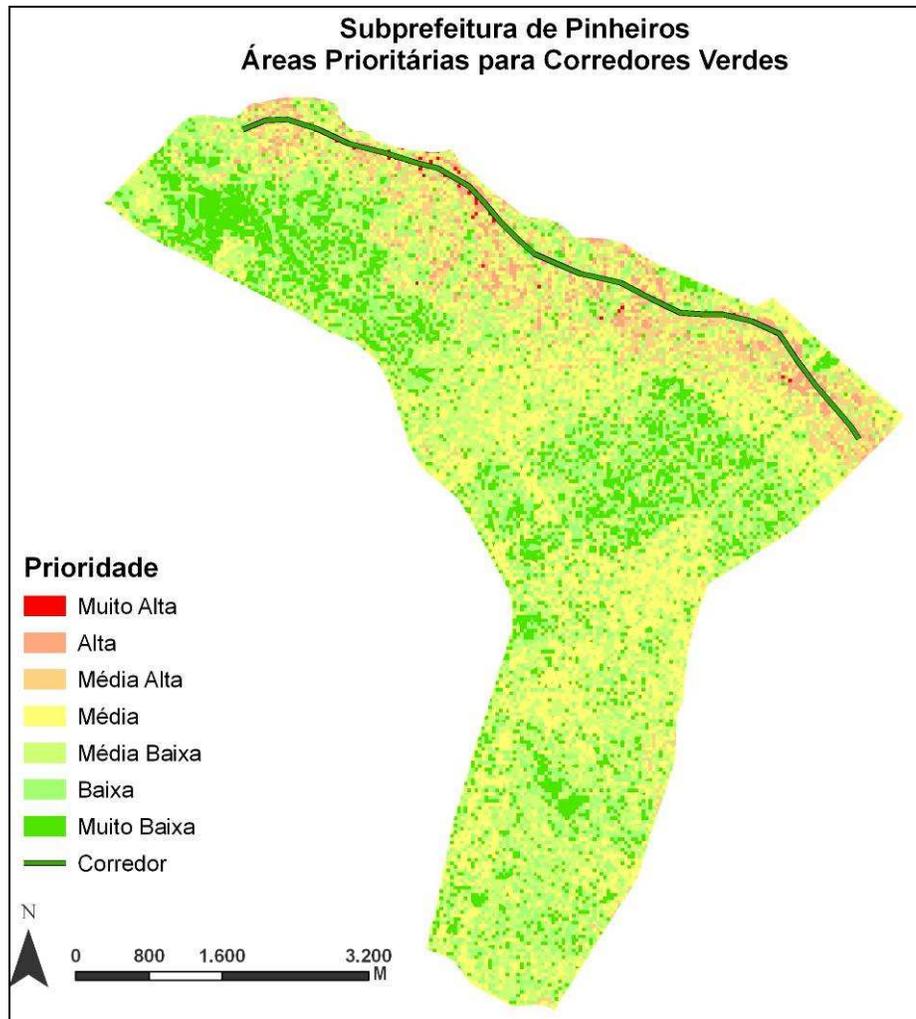


Figura 41 - Indicação de áreas para corredores verdes na subprefeitura de Pinheiros

Definiu-se também um corredor leste-oeste que ligue essas três subprefeituras de acordo com as áreas prioritárias para arborização, como segue na Figura 42.

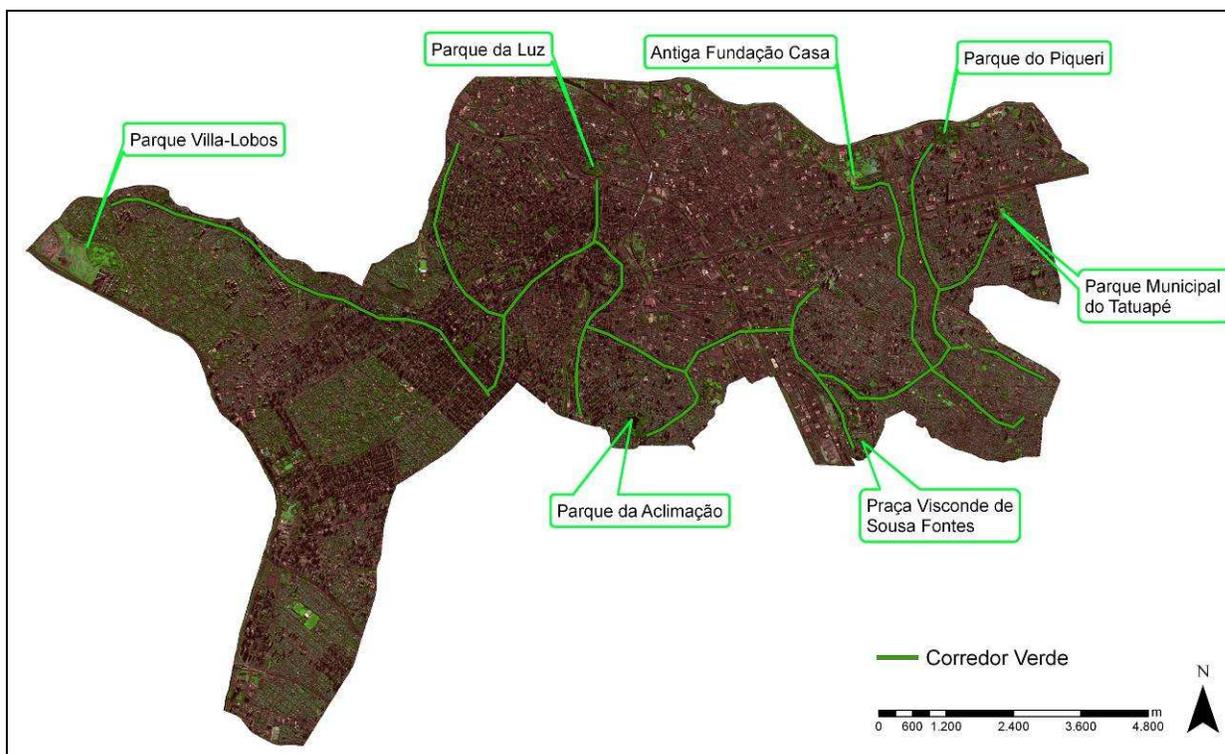


Figura 42 - Definição de corredores verdes para as subprefeituras da Mooca, da Sé e de Pinheiros

Verificou-se que as ligações realizadas por esse corredor conseguiu conectar parques, praças e outras áreas arborizadas, como o Parque da Aclimação, a Praça Visconde de Sousa Fontes e o terreno onde se localizava a Fundação Casa.

4.4.2 Pontos de alagamento e árvores urbanas

O Atlas Ambiental do Município de São Paulo (2010) aponta como principais causas das enchentes nesta cidade a ocupação das várzeas e a impermeabilização do solo. A implantação e conservação de áreas verdes na cidade aumentam a área permeável do solo e assim minimizam a ocorrência de alagamentos.

Desta maneira, fez-se um estudo para correlacionar área de copa de árvore e pontos de alagamento nas subprefeituras da Sé, Mooca e Pinheiros.

Foram definidas áreas prioritárias para corredores verdes de acordo com os quadrantes que apresentaram valores baixos para porcentagem de copa de árvore e maior ocorrência de pontos de alagamento.

4.4.2.1 Correlação entre copa arbórea e ocorrências de alagamentos

A Tabela 17 mostra os resultados encontrados para os quadrantes da subprefeitura da Mooca.

Tabela 17 - Valores de copa arbórea e pontos de alagamento para a subprefeitura da Mooca

Quadrante	Área Total (m ²)	Área de Copa (m ²)	% Copa Arbórea	Quantidade Pontos Alagamento	% Pontos Alagamento
Q_1	762366,958	71234,323	9,344	63	8,702
Q_2	867440,535	39253,267	4,525	23	3,177
Q_3	224539,918	20222,639	9,006	9	1,243
Q_4	73566,722	1014,845	1,379	3	0,414
Q_5	434474,285	49432,294	11,377	2	0,276
Q_6	354989,170	14374,824	4,049	32	4,420
Q_7	1148024,521	14914,071	1,299	73	10,083
Q_8	1960279,920	19356,090	0,987	34	4,696
Q_9	1854052,557	75454,917	4,070	6	0,829
Q_10	1895548,675	97353,727	5,136	28	3,867
Q_11	1960279,920	100020,657	5,102	19	2,624
Q_12	1283355,722	48538,794	3,782	31	4,282
Q_13	1193217,486	17349,136	1,454	108	14,917
Q_14	1961120,160	33107,371	1,688	65	8,978
Q_15	1960279,920	71122,291	3,628	127	17,541
Q_16	1960279,920	44802,708	2,286	47	6,492
Q_17	1924339,680	49322,174	2,563	0	0,000
Q_18	1112468,761	24597,702	2,211	1	0,138
Q_19	565040,522	9866,871	1,746	15	2,072
Q_20	1959440,040	26725,668	1,364	7	0,967
Q_21	1959440,040	34739,990	1,773	1	0,138
Q_22	1485534,961	31561,512	2,125	7	0,967
Q_23	1542677,042	41506,231	2,691	6	0,829
Q_24	1538846,274	71756,309	4,663	0	0,000
Q_25	1923865,197	60130,407	3,126	0	0,000
Q_26	1049541,123	17355,252	1,654	0	0,000
Q_27	243403,922	7265,858	2,985	15	2,072
Q_28	94275,002	3174,130	3,367	2	0,276
Q_29	184285,436	4291,559	2,329	0	0,000
Q_30	126344,878	7182,728	5,685	0	0,000
Q_31	253545,473	11696,420	4,613	0	0,000

No programa estatístico R, fez-se a análise de correlação entre a porcentagem de copa arbórea e a porcentagem de pontos de alagamento para cada quadrante e foi calculado o coeficiente de correlação de Pearson (r). Para esta subprefeitura apresentou o valor de $-0,1446$ (Figura 43).

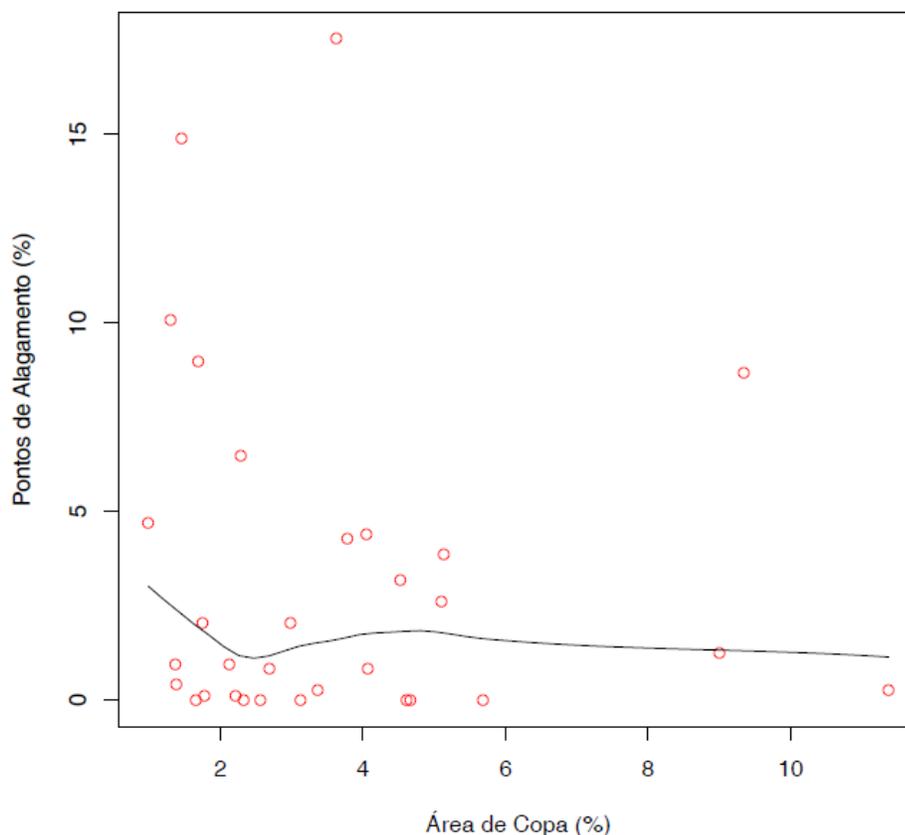


Figura 43 - Gráfico de correlação entre área de copa e pontos de alagamento para a subprefeitura da Mooca

Portanto não foi encontrada correlação entre diminuição de pontos de alagamento e aumento de área de copa. Não há uma relação linear entre essas variáveis. Isto porque há outros fatores que contribuem para a ocorrência de alagamentos na área urbana, relacionados com a drenagem urbana.

A Tabela 18 mostra os resultados encontrados para os quadrantes da subprefeitura da Sé.

Tabela 18 - Valores de copa arbórea e pontos de alagamento para a subprefeitura da Sé

Quadrante	Área Total (m ²)	Área de Copa (m ²)	% Copa Arbórea	Quantidade Pontos Alagamento	% Pontos Alagamento
Q_1	78352,914	1652,764	2,109	7	0,827
Q_2	1431058,313	55794,193	3,899	18	2,128
Q_3	1333823,051	57434,428	4,306	19	2,246
Q_4	563688,720	43171,925	7,659	63	7,447
Q_5	466674,481	18313,566	3,924	19	2,246
Q_6	1960279,920	57551,434	2,936	42	4,965
Q_7	1959440,040	80062,161	4,086	62	7,329
Q_8	790090,207	30419,966	3,850	73	8,629
Q_9	105627,237	11430,716	10,822	3	0,355
Q_10	1439721,722	178883,530	12,425	0	0,000
Q_11	1961120,160	127905,127	6,522	26	3,073
Q_12	1960279,920	75135,954	3,833	215	25,414
Q_13	785748,959	42436,450	5,401	108	12,766
Q_14	492645,954	42367,664	8,600	22	2,600
Q_15	1689088,323	92360,502	5,468	47	5,556
Q_16	1959440,040	75539,884	3,855	19	2,246
Q_17	1919117,519	51374,875	2,677	73	8,629
Q_18	1524162,240	58248,753	3,822	15	1,773
Q_19	167667,482	2920,328	1,742	2	0,236
Q_20	1300456,426	73505,156	5,652	5	0,591
Q_21	1918689,842	123063,089	6,414	3	0,355
Q_22	719890,928	48792,576	6,778	5	0,591

No programa estatístico R, fez-se a análise de correlação entre a porcentagem de copa arbórea e a porcentagem de pontos de alagamento para cada quadrante e calculou-se o coeficiente de correlação de Pearson (r). Para esta subprefeitura apresentou o valor de -0,2307 (Figura 44).

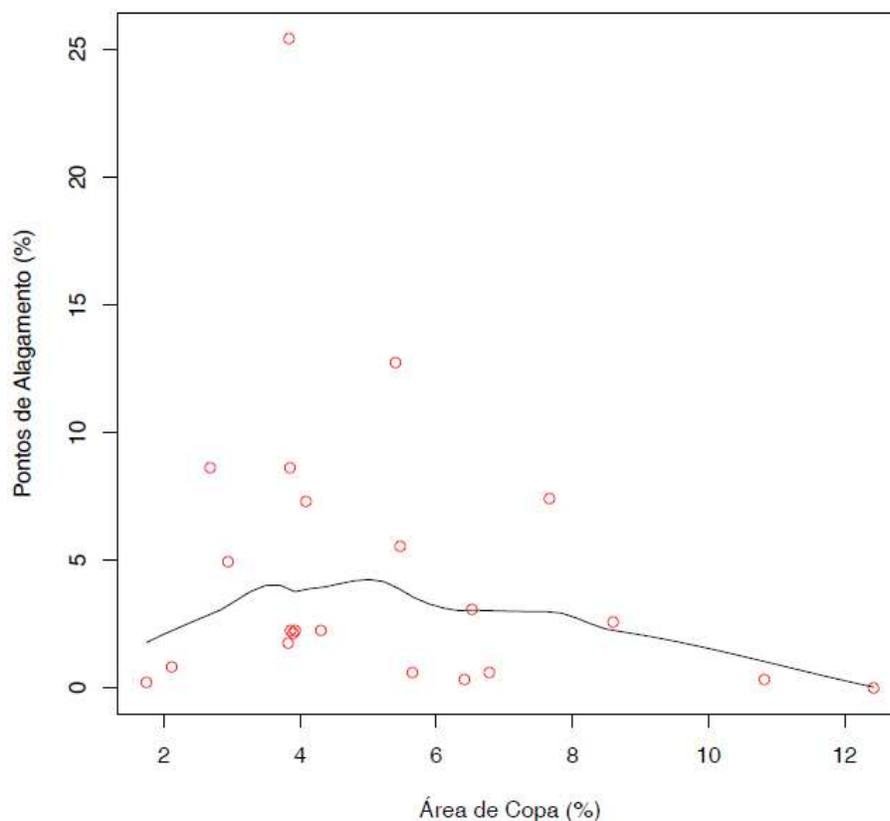


Figura 44 - Gráfico de correlação entre área de copa e pontos de alagamento para a subprefeitura da Sé

Portanto não foi encontrada correlação entre diminuição de pontos de alagamento e aumento de área de copa. Não há uma relação linear entre essas variáveis. Isto porque há outros fatores que contribuem para a ocorrência de alagamentos na área urbana, relacionados com a drenagem urbana.

A Tabela 19 mostra os resultados encontrados para os quadrantes da subprefeitura de Pinheiros.

Tabela 19 - Valores de copa arbórea e pontos de alagamento para a subprefeitura de Pinheiros

Quadrante	Área Total (m ²)	Área de Copa (m ²)	% Copa Arbórea	Quantidade Pontos Alagamento	% Pontos Alagamento
Q_1	418650,844	28700,641	6,856	0	0,000
Q_2	241049,525	30231,367	12,542	0	0,000
Q_3	435048,123	18790,197	4,319	18	2,135
Q_4	1918089,361	311281,881	16,229	0	0,000
Q_5	1909361,519	224195,029	11,742	2	0,237
Q_6	1234436,387	103993,581	8,424	1	0,119
Q_7	312343,195	25094,145	8,034	3	0,356
Q_8	257255,998	32205,610	12,519	2	0,237
Q_9	1364147,286	203357,842	14,907	58	6,880
Q_10	1960279,920	124559,705	6,354	5	0,593
Q_11	1951954,921	86599,403	4,437	42	4,982
Q_12	1470042,020	80011,113	5,443	22	2,610
Q_13	263897,281	30379,692	11,512	47	5,575
Q_14	168393,245	8007,468	4,755	53	6,287
Q_15	1794952,443	97494,137	5,432	144	17,082
Q_16	1959440,040	250498,785	12,784	17	2,017
Q_17	1958115,600	196915,727	10,056	48	5,694
Q_18	824733,739	19866,956	2,409	2	0,237
Q_20	812791,808	98225,738	12,085	129	15,302
Q_21	1960265,159	98623,479	5,031	90	10,676
Q_22	730847,882	42571,115	5,825	18	2,135
Q_23	1004139,366	62593,228	6,234	88	10,439
Q_24	1922847,477	64249,591	3,341	10	1,186
Q_25	1554805,441	86577,768	5,568	25	2,966
Q_26	1486647,714	97918,589	6,587	4	0,474
Q_27	1246534,915	62634,230	5,025	13	1,542
Q_28	469349,646	26366,003	5,618	2	0,237

No programa estatístico R, fez-se a análise de correlação entre a porcentagem de copa arbórea e a porcentagem de pontos de alagamento para cada quadrante e calculou-se o coeficiente de correlação de Pearson (r) que para esta subprefeitura apresentou o valor de -0,0257 (Figura 45).

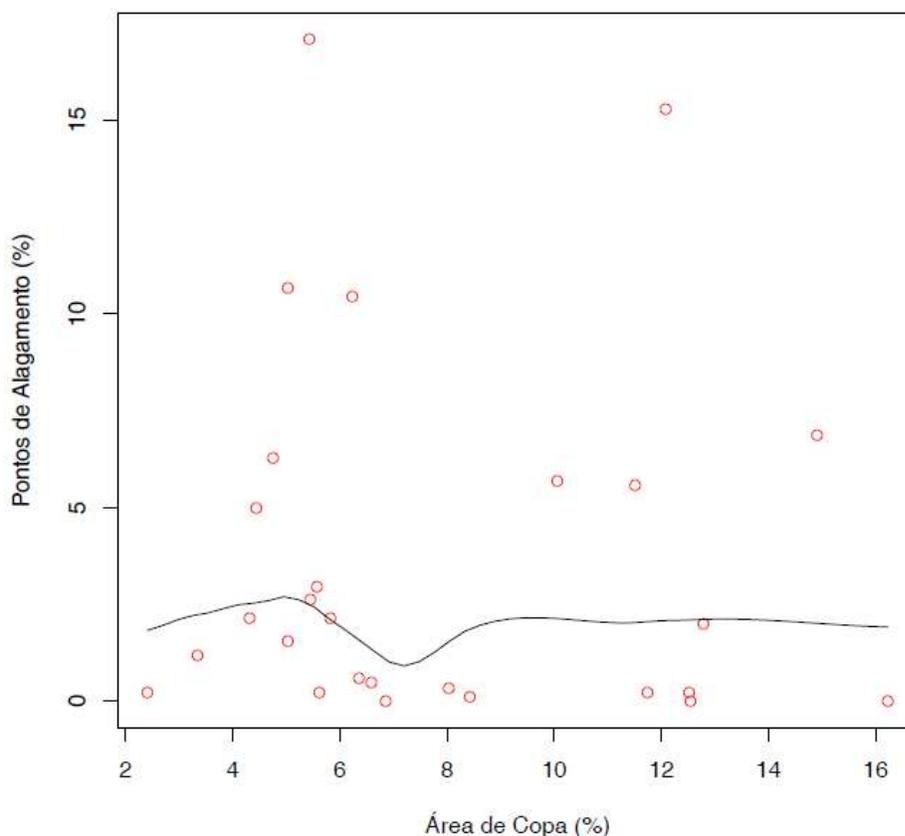


Figura 45 - Gráfico de correlação entre área de copa e pontos de alagamento para a subprefeitura de Pinheiros

E mais uma vez constatou-se que não há correlação entre diminuição de pontos de alagamento e aumento de área de copa. Não há uma relação linear entre essas variáveis. Isto porque há outros fatores que contribuem para a ocorrência de alagamentos na área urbana, relacionados com a drenagem urbana.

De acordo com Cruz et al. (2007) são diversos os fatores que contribuem para formação de alagamentos na área urbana, como: o aumento da impermeabilidade do solo com o aumento do volume pluvial escoado, além da grande quantidade de resíduos sólidos levados às redes de drenagem. Além disso, ainda segundo Cruz et al. (2007) a ausência de um planejamento específico para a drenagem urbana, que está desvinculado de ações para água, esgoto e resíduos sólidos e os projetos de drenagem urbana que visam apenas conduzir a água gerada para longe o mais rápido possível, provocando apenas a transferência do ponto de alagamento também são fatores que influenciam na ocorrência de alagamentos.

O Atlas Ambiental do Município de São Paulo (2010) também aponta a ocupação das áreas de várzea, impermeabilização do solo, retirada de vegetação e questões ligadas à microdrenagem urbana como lançamento de esgoto e de resíduos sólidos nos cursos d'água e galerias de águas pluviais, como questões importantes a serem abordadas para estudos de drenagem urbana.

4.4.2.2 Definição de áreas prioritárias para corredores verdes

Apesar de não ser encontrada correlação entre copa de árvore e ocorrências de alagamento, a presença de árvores nas áreas urbanas contribui para o aumento da permeabilidade da área, já que aumenta a capacidade de infiltração do solo, além de interceptação da água da chuva e assim auxilia na minimização de problemas relacionados a alagamentos.

Uma área permeável com quantidade satisfatória de cobertura arbórea aumenta a capacidade de infiltração de água no solo para 90% (ATLAS AMBIENTAL DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO, 2010).

Xiao e McPherson (2003) demonstram o benefício das árvores para amenizar problemas de alagamentos, já que estas interceptam e armazenam água da chuva.

Um estudo feito por Silva (2008), que mediu a interceptação da água da chuva pelas copas das árvores das espécies *Caesalpinia pluviosa*, conhecida como sibipiruna, e *Tipuana tipu*, conhecida como tipuana, demonstrou que essas contribuem em média, respectivamente, na interceptação de 78,7% e 80,9% da água da chuva.

Foram definidas áreas prioritárias para corredores verdes em cada subprefeitura de acordo com os valores que cada quadrante apresentou para porcentagem de copa arbórea e quantidade de pontos de alagamento.

4.4.2.2.1 Subprefeitura da Mooca

Para a subprefeitura da Mooca a média de porcentagem de área de copa arbórea foi de 3,613% , e para os pontos de alagamento a média foi de 23,355 pontos por quadrante. Desta maneira, foram indicados como prioritárias as áreas dos

quadrantes que possuíam valores menores do que a média encontrada para porcentagem de copa arbórea e valores maiores do que a média para pontos de alagamento.

Tabela 20 - Quadrantes indicados como prioritários para arborização na subprefeitura da Mooca

Quadrante	% Copa Arbórea	Quantidade Pontos Alagamento
Q_7	1,299	73
Q_8	0,987	34
Q_13	1,454	108
Q_14	1,688	65
Q_16	2,286	47

De acordo com a Figura 46, os corredores devem ligar esses quadrantes, buscando unir áreas de praças, canteiros centrais, árvores do viário e até mesmo jardins de residências.

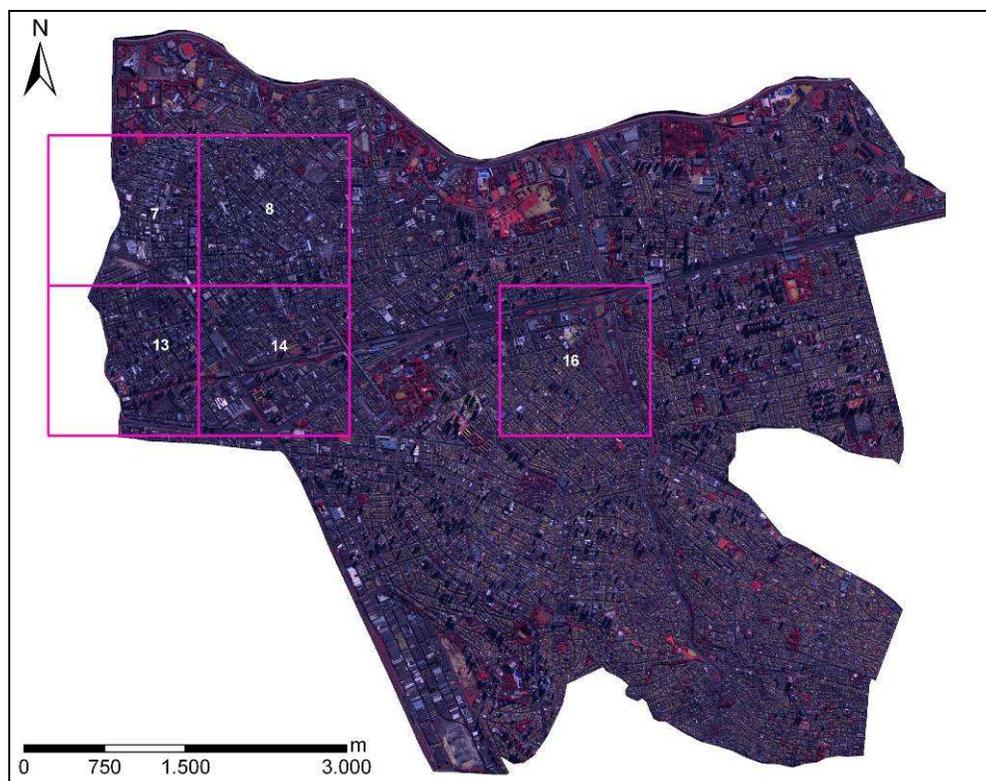


Figura 46 - Localização dos quadrantes definidos como prioritários para corredores verdes para a subprefeitura da Mooca

4.4.2.2 Subprefeitura da Sé

Para a subprefeitura da Sé a média de porcentagem de área de copa arbórea foi de 5,308%, e para os pontos de alagamento a média foi de 38,455 pontos por quadrante. Desta maneira, foram indicados como prioritários as áreas dos quadrantes que possuíam valores menores do que a média encontrada para copa arbórea e valores maiores para pontos de alagamento (Figura 47).

Tabela 21 - Quadrantes indicados como prioritários para arborização na subprefeitura da Sé

Quadrante	% Copa Arbórea	Quantidade Pontos Alagamento
Q_6	2,936	42
Q_8	3,850	73
Q_12	3,833	215
Q_17	2,677	73

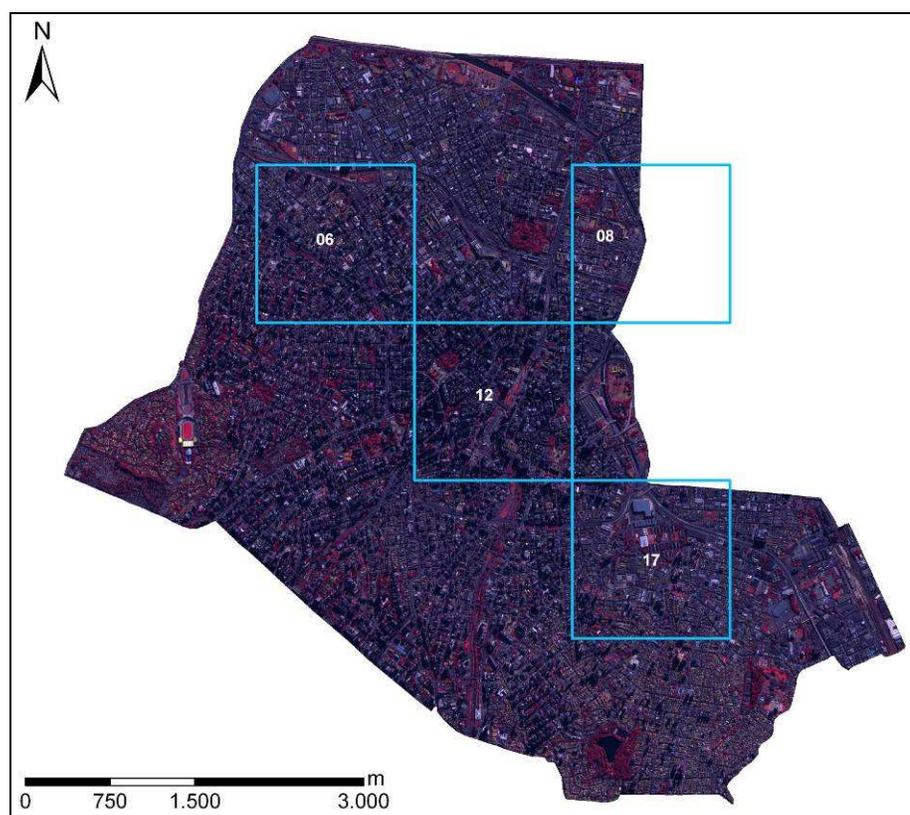


Figura 47 - Localização dos quadrantes definidos como prioritários para corredores verdes para a subprefeitura da Sé

É possível observar na Figura 47 que os quadrantes já estão conectados. Assim deve-se desenvolver um corredor nesta áreas. Desta maneira seria possível aumentar a arborização dessas regiões, ligando praças já existentes, canteiros centrais arborizados, passando por jardins residenciais e árvores no viário.

4.4.2.2.3 Subprefeitura de Pinheiros

Para a subprefeitura de Pinheiros a média de porcentagem de área de copa arbórea foi de 7,928%, e para os pontos de alagamento a média foi de 31,222 pontos por quadrante. Desta maneira, foram indicados como prioritárias as áreas dos quadrantes que possuíam valores menores do que a média encontrada para copa arbórea e valores maiores para pontos de alagamento.

Tabela 22 - Quadrantes indicados como prioritários para arborização na subprefeitura de Pinheiros

Quadrante	% Copa Arbórea	Quantidade Pontos Alagamento
Q_11	4,437	42
Q_14	4,755	53
Q_15	5,432	144
Q_21	5,031	90
Q_23	6,234	88

É possível observar na Figura 48 que os quadrantes estão conectados. Assim o correto seria um corredor que ligasse os mesmos. Desta maneira seria possível aumentar a arborização dessas regiões mais sensíveis e trabalhar com o conceito de corredores verdes já exposto.

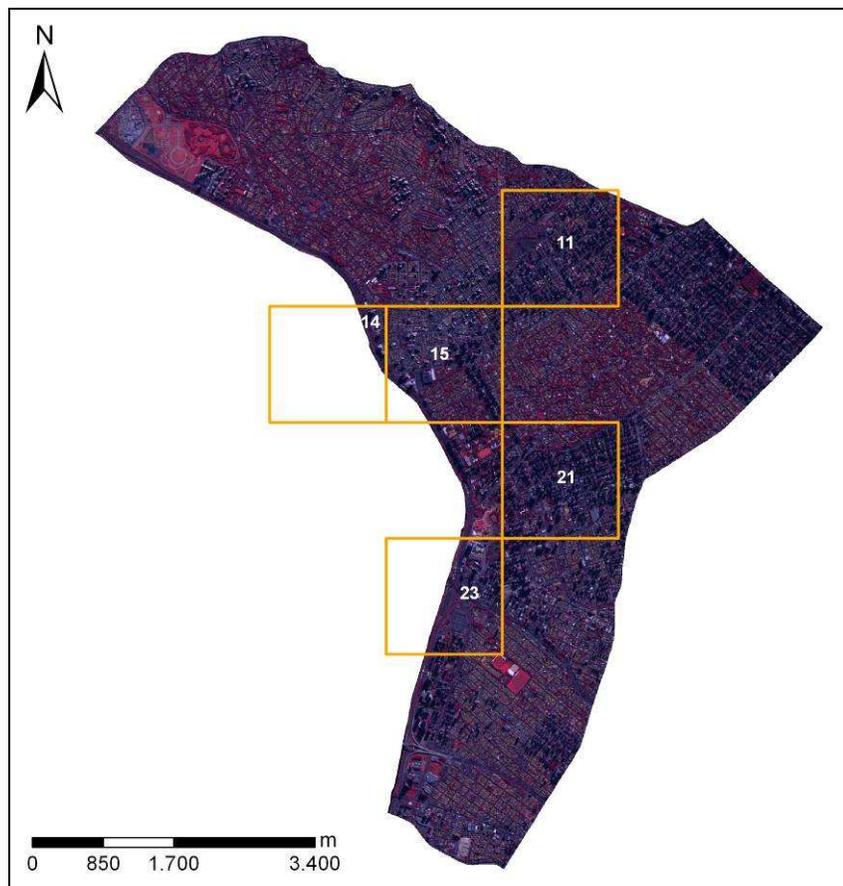


Figura 48 - Localização dos quadrantes definidos como prioritários para corredores verdes para a subprefeitura de Pinheiros

5 CONCLUSÕES

Com a aplicação dos métodos desenvolvidos nesse trabalho foi possível realizar análises da arborização urbana e identificar locais prioritários para corredores verdes nas regiões de estudo.

- A subprefeitura de Pinheiros apresentou níveis satisfatórios de arborização urbana, principalmente quando comparada com as regiões das subprefeituras da Mooca e da Sé;

- O uso de ferramentas de geoprocessamento e sensoriamento remoto permitiram obter dados físicos do tecido urbano da cidade de São Paulo. Entretanto o tratamento e o processamento dos dados de entrada são de extrema importância para garantir resultados compatíveis com a realidade de campo;

- O uso do método de classificação automática supervisionada Stepwise Linear apresentou melhores resultados para identificação de arborização urbana em imagens de alta resolução quando comparado com os resultados obtidos utilizando o método de Máxima Verossimilhança e quando se fez uso de classificadores não supervisionados;

- A confecção de um treinador de boa qualidade na classificação supervisionada é imprescindível para a obtenção de resultados compatíveis com a realidade do terreno;

- O Índice de Floresta Urbana (IFU) demonstrou ser de grande utilidade para se analisar a relação entre elementos permeáveis e elementos impermeáveis presentes numa região e acompanhar suas modificações em diferentes anos;

- A utilização das variáveis “índice de vegetação” e “declividade” em conjunto permitiu a localização de áreas prioritárias para corredores verdes nas subprefeituras da Mooca, da Sé e de Pinheiros;

- O uso conjunto das variáveis “pontos de alagamento” e “presença de cobertura arbórea”, apesar destas não apresentarem correlação entre si, forneceu resultados satisfatórios para a localização de áreas para serem conectadas por corredores verdes.

REFERÊNCIAS

AHERN, J. Greenways as a planning strategy. **Landscape and Urban Planning**, Amsterdam, v. 33, n. 1/3, p. 131-155, 1995.

ALVAREZ, C.E.; PENTEADO, H.M. Corredores verdes urbanos: estudo da viabilidade de conexão das áreas verdes de Vitória. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENSINO DE PAISAGISMO EM ESCOLAS DE ARQUITETURA E URBANISMO NO BRASIL, 8, 2006, São Paulo. **Anais...** Vitória: UFES. p. 1-12.

ALVAREZ, I.A. **Qualidade do espaço verde urbano**: uma proposta de índice de avaliação. 2004. 187 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

ATLAS AMBIENTAL DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO. Disponível em: <<http://atlasambiental.prefeitura.sp.gov.br/>>. Acesso em: 30 jul. 2010.

BARBOSA, E. **Evolução do uso do solo residencial na área central do município de São Paulo**. 2001. 230 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

BRAGA, R. Região e gestão metropolitana no final do século XX: uma análise do caso paulista (limitações e avanços). In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOGRAFIA URBANA, 6, 1999, PRESIDENTE PRUDENTE. **Anais...** Presidente Prudente: AGB, 1999. p. 320-325.

BOLAFFI, G. Urban planning in Brazil: past experience, current trends. **Habitat International**, Oxford, v. 16, n. 2, p. 99-111, 1992.

BRASIL. **Lei n. 6766, de 19 de dezembro de 1979**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L6766.htm>. Acesso em: 6 set. 2010.

BRYANT, M.M. Urban landscape conservation and the role of ecological greenways at local and metropolitan scales. **Landscape and Urban Planning**, Amsterdam, v.76, n. 1/4, p. 23-44, 2006.

CAMARANO, A.A.; BELTRÃO, K.I. Distribuição espacial da população brasileira: mudanças na segunda metade deste século. Rio de Janeiro: IPEA, 2000. p. 1-28. In: **Textos para discussão** n. 766.

CENTENO, J.A.S.; RIBEIRO, S.R.A.R. Um método simplificado de fusão de imagens. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13, 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. p. 5667-5673.

CIDADE DE SÃO PAULO. Disponível em: <<http://www.cidadedesapaulo.com/dados.asp>>. Acesso em: 05 mar. 2008

COSTA, F.P.S. **Evolução urbana e da cobertura vegetal de Piracicaba – SP (1940-2000)**. 2004. 82 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Agroecossistemas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

CRUZ, M.A.S.; SOUZA, C.F.; TUCCI, C.E.M. Controle da drenagem urbana no Brasil: avanços e mecanismos para sua sustentabilidade. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 17, 2007. São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ABRH, 2007. p. 1-18.

FRISCHENBRUDER, M.T.M.; PELLEGRINO, P. Using greenways to reclaim nature in brazilian cities. **Landscape and Urban Planning**, Amsterdam, v. 76, n. 1/4, p. 67-78, 2006.

IGLECIAS, W. Impactos da mundialização sobre uma metrópole periférica. **Revista Brasileira de Ciências Sociais**, São Paulo, v. 17, n. 50, p. 47-70, 2002.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, IBGE. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/default.php>>. Acesso em: 05 mar. 2008.

JENSEN, J.R. **Remote sensing of the environment: an earth resource**. 2nd ed. New Jersey: Prentice Hall, 2007.. 592 p.

LANDIS, J.R.; KOCH, G.G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, Washington v. 33, n.1, p. 159-174, 1977.

LILLESAND, T.M.; KIEFER, R.W.; CHIPMAN, J.W. **Remote sensing and image interpretation**. 5th ed. New York: John Wiley, 2004. 763 p.

MADUREIRA, H. Processos de transformação da estrutura verde do Porto. **Revista da Faculdade de Letras - Geografia**, Porto, v. 17/18, série I. p. 137-218, 2001-2002

MICROIMAGES, **TNTMIPS: Image Classification**. Linconl: MicroImages, 2006. 36p.

MICROIMAGES, **TNTMIPS: Using Geospatial Formulas**. Linconl: MicroImages. 2007, 20p.

MONICO, I.M. **Árvores e arborização urbana no município de Piracicaba/SP: um olhar sobre a questão à luz da educação ambiental**. 2001. 184p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

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

OUMA, Y.O.; TATEISHI, R. Urban-trees extraction from Quickbird imagery using multiscale spectex-filtering and non-parametric classification. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, Washington, v. 63, n. 3, p. 333-351, 2008.

PENHALBER, E.F; KOHLER, M.C.M.; CORTES, M.T.M.; CABRAL, V.B.C. Aspectos Urbanísticos de Espaços Públicos e Áreas Verdes. In: ROMÉRIO, M.A.; PHILIPPI JR, A.; BRUNA, G.C. (Ed.). **Panorama ambiental da metrópole de São Paulo**. São Paulo: Signus, 2004. cap. 14, p. 305-350.

PILOTTO, J. **Rede verde urbana**: um instrumento de gestão ecológica. 2003. 206 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

PINHO, C.M.D.; RENNÓ, C.D.; KUX, H.J.H. Avaliação de técnicas de fusão aplicadas à imagem Quickbird. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12, 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. p. 4225-4232.

PIZZOL, K.M.S.A. A dinâmica urbana: uma leitura da cidade e da qualidade de vida no urbano. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 7 n. 17, p. 1-7, 2006.

PORTAL DA PREFEITURA DA CIDADE DE SÃO PAULO. Disponível em: <<http://www.capital.sp.gov.br/portalmmsp/homec.jsp>>. Acesso em: 28 jan 2009.

QUENTAL, N.; SILVA, M.; LOURENÇO, J. Integração de critérios objectivos de sustentabilidade ambiental na elaboração de planos regionais de ordenamento do território. In: JORNADAS DA ASSOCIAÇÃO DE URBANISTAS PORTUGUESES, 11. Santa Maria da Feira: Universidade do Minho, 2004.

QUICKBIRD. Disponível em <<http://www.sat.cnpm.embrapa.br/satelite/quickbird.html>>. Acesso em: 20 jun. 2008.

RIBEIRO, S.R.A.; CENTENO, J.A.S. Classificação do uso do solo utilizando redes neurais e o algoritmo MAXVER. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 10, 2001. Foz do Iguaçu. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2001. p.1341-1348.

SILVA, L.F. **Interceptação da chuva nas espécies de Sibipiruna (*Caesalpinia pluviosa* DC.) e Tipuana (*Tipuana tipu* O. kuntze)**. 2008. 60 p. Tese (Doutorado em Agronomia), Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

SILVA FILHO, D.F. **Aplicação de videografia aérea multiespectral na avaliação de floresta urbana**. 2004. 88 p. Tese (Doutorado em Agronomia), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2004.

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

SISTEMAS ORBITAIS DE MONITORAMENTO E GESTÃO TERRITORIAL, 2009.
Disponível em: <<http://www.sat.cnpm.embrapa.br/conteudo/quickbird.htm>>. Acesso em:
03 abr. 2010

TORRES, E.M. **Metodologia para macroplanejamento de áreas verdes urbanas**. 2003. 68 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.

TUCCI, C.E.M. Drenagem Urbana. **Ciência e Cultura**, Barretos, v. 55, n. 4, p. 36-37, 2003.

TUCKER, C.J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 8, n. 2, p. 127-150, 1979.

VALERIO, A.M.; SILVA, G.B.S.S.; KAMPEL, M.; STECH, J.L. Avaliação da classificação não supervisionada do uso do solo e tipos de água no reservatório de manso, MT. **Geografia: Ensino e Pesquisa**, Santa Maria, v. 12, n. 1, p. 4081-4095, 2008.

VRABEL, J. Multispectral imagery band sharpening study. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, Washington, v. 62, n. 9, p. 1075-1083, 1996.

XIAO, Q.; McPHERSON, E.G. Rainfall interception by Santa Monica's municipal urban forest. **Urban Ecosystems**, Davis, v. 6, p. 291-302, 2003.

WALMSLEY, A. Greenways and the making of urban form. **Landscape and Urban Planning**, Amsterdam, v. 33, n. 1/3, p. 81-127, 1995.

WEBER, C; PETROPOULOU, C.; HIRSCH, J. Urban development in the Athens metropolitan area using remote sensing data with supervised analysis and GIS. **International Journal of Remote Sensing**, Amsterdam, v. 26, n. 4, p. 785-796, 2005.

WHEELER, S.M. Planning for metropolitan sustainability. **Journal of Planning Education and Research**, California, v. 20, n. 2, p. 133-145, 2000.