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

Metodologias de quantificação de áreas verdes urbanas: mapeamento da
cobertura arbórea e inventário florestal de árvores de rua em cidades de
Estado de São Paulo

Luciana Cavalcante Pereira Rollo

Tese apresentada para obtenção do título de Doutora em Ciências, Programa: Recursos Florestais. Opção em: Conservação de Ecossistemas Florestais

Luciana Cavalcante Pereira Rollo Engenheiro Agrônomo

verdes urbanas: mapeamento da cobertura s de rua em cidades do Estado de São Paulo
Orientador: Prof. Dr. HILTON THADEU ZARATE DO COUTO
Tese apresentada para obtenção do título de Doutora em Ciências, Programa: Recursos Florestais. Opção em: Conservação de Ecossistemas Florestais

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação DIVISÃO DE BIBLIOTECA - DIBD/ESALQ/USP

Rollo, Luciana Cavalcante Pereira

Metodologias de quantificação de áreas verdes urbanas: mapeamento da cobertura arbórea e inventário florestal de árvores de rua em cidades do Estado de São Paulo / Luciana Cavalcante Pereira Rollo.- - Piracicaba, 2014. 103 p: il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2014.

1. Métodos quantitativos de áreas verdes 2. Geoprocessamento de áreas verdes 3. Inventário florestal por amostragem de árvores de rua I.Título

CDD 634.9825 R755m

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

Dedicatória

Às pessoas que sonham com cidades mais vivas.

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Florestais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (Universidade de São Paulo).

Ao Prof. Dr. Hilton Thadeu Zarate do Couto, pela orientação objetiva e clara e por acreditar no meu potencial.

À CAPES pela bolsa de estudos e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo financiamento da pesquisa.

Ao Chico, companheiro dedicado que me incentiva a crescer e comigo comemorou as vitórias e suportou as dificuldades da execução deste trabalho.

À minha mãe Emilse, minha irmã Carla e minha sobrinha Helena, que estão ao meu lado sempre.

Ao estagiário Jhony Yutaka Moriy, pelo esforço e dedicação no trabalho de campo, à Célia e à Érica, pela ajuda generosa.

Aos professores Carlos Alberto Vetorazzi, Demóstenes Ferreira da Silva, João Luís Ferreira Batista, Ciro Abbud Righi, que compartilharam comigo conhecimentos e deram bons conselhos.

Ao Dr. Jefferson Lordello Polizel e aos colegas do LMQ pela convivência agradável, pelo auxílio e opiniões sinceras.

Aos amigos verdadeiros, que se alegram com minhas conquistas.

SUMÁRIO

RESUMO	9
ABSTRACT	11
LISTA DE FIGURAS	13
LISTA DE TABELAS	15
1 INTRODUÇÃO	17
Referências	19
2 COMPARAÇÃO ENTRE PROCESSOS DE MAPEAMENTO DA COBERTU	RA DO
SOLO URBANO COM ÊNFASE NA COBERTURA ARBÓREA	23
Resumo	23
Abstract	23
2.1 Introdução	24
2.2 Material e métodos	26
2.2.1 Área de estudo	26
2.2.2 Imagem de satélite da área de estudo	27
2.2.3 Mapeamento da cobertura do solo urbano	28
2.2.4 Análise estatística	30
2.2.4.1 Comparação dos processos envolvendo todas as classes de cobertura	30
2.2.4.2 Comparação dos processos envolvendo apenas cobertura arbórea	31
2.3 Resultados	33
2.4 Discussão	36
2.4.1 Tempo de execução dos processos de mapeamento	36
2.4.2 Concordância entre processos de mapeamento (Estatística Kappa)	37
2.4.3 Acurácia da quantificação da cobertura arbórea	42
2.5 Conclusão	42
Referências	43
3 TAMANHO DE AMOSTRA E DE UNIDADES AMOSTRAIS NA AMOSTI	RAGEM
SISTEMÁTICA SIMPLES E ESTRATIFICADA DE POPULAÇÕES DE ÁRVOI	RES DE
RUA	47
Resumo	47
Abstract	47
3.1 Introdução	48
3.1.1 Metodologias de inventário por amostragem de populações de árvores de rua	49
3.1.2 Objetivos	52

3.2 Material e métodos.	52
3.2.1 Área de estudo	52
3.2.2 Métodos de amostragem	55
3.2.2.1 Amostragem sistemática simples	55
3.2.2.2 Amostragem sistemática estratificada	56
3.2.2.2.1 Estratificação da área de estudo por porcentagem de cobertura de árvores de rua	56
3.2.2.2.2 Estimadores da amostra estratificada	59
3.2.3 Coleta de dados e variáveis de interesse	60
3.2.4 Determinação do fator de correção de forma	63
3.3 Resultados e Discussão	64
3.3.1 Análise exploratória dos dados	64
3.3.2 Comparação entre amostragem sistemática simples e estratificada	66
3.3.2.1 Variabilidade das variáveis de interesse	67
3.3.2.2 Ganho em eficiência com a estratificação	68
3.3.2.3 Importância da precisão desejada	72
3.3.3 Forma e tamanho ótimos de unidades amostrais	72
3.3.4 Estratificação da população de árvores de rua	74
3.3.5 Caracterização da população de árvores de rua	75
3.4 Conclusão.	81
Agradecimentos	83
Referências	83
ANEXOS	89

RESUMO

Metodologias de quantificação de áreas verdes urbanas: mapeamento da cobertura arbórea e inventário florestal de árvores de rua em cidades do Estado de São Paulo

A disponibilidade de dados quantitativos confiáveis é primordial para compreensão da Ecologia de áreas verdes, pois a partir deles é possível entender o funcionamento desses ecossistemas e avaliar sua participação no fornecimento de serviços ambientais. As áreas verdes podem ser compreendidas como uma rede dentro da matriz urbana composta por fragmentos, representados por parques, praças e áreas de proteção, interligados por corredores, principalmente matas ciliares e ruas arborizadas. Em diversos estudos, a caracterização das áreas verdes se baseia na distribuição da cobertura arbórea e do uso do solo mensurados por processos que utilizam técnicas de interpretação de imagens de sensoriamento remoto e de geoprocessamento, que têm se tornado mais acessíveis com os softwares livres. A cobertura arbórea inclui populações de árvores de rua e populações de árvores que não são de rua, que constituem aglomerados. No capítulo 2, são aplicados sobre 6 bairros de Rio Claro – SP (Brasil) 6 processos de mapeamento do solo: Dot grid; Classificação Automática Supervisionada; Classificação Automática Supervisionada com uso do NDVI; Classificação Automática Não Supervisionada; Classificação Automática Não Supervisionada com uso do *NDVI*; Vetorização, aplicada apenas à cobertura arbórea. Os processos foram equivalentes na quantificação dos diversos tipos de cobertura (Estatísticas Kappa ≥ 0,75) e forneceram dados acurados de quantificação da cobertura arbórea (teste de Tukey, com dados de referência da Vetorização), exceto para Classificação Automática Supervisionada. Obteve-se melhor desempenho das classificações automáticas com o NDVI combinado à imagem multiespectral. Avaliações mais refinadas das áreas verdes acessam informações sobre a comunidade vegetal que as compõe por levantamentos em campo. O tipo de inventário florestal a ser utilizado depende dos objetivos e é limitado pelo tempo e recursos financeiros disponíveis. No que tange as árvores de rua, processos de amostragem podem fornecer informações adequadas para muitos projetos, além de reduzirem custos, pois a amostra da população é suficiente para visão geral de todos os aspectos, embora se percam informações específicas dos indivíduos. No capítulo 3, investiga-se a eficiência do inventário florestal pelos métodos de amostragem sistemática simples e amostragem sistemática estratificada da população de árvores de rua da área densamente urbanizada de Piracicaba – SP (Brasil), tendo como variável de estratificação a porcentagem de cobertura de árvores de rua e como variáveis de interesse: densidade em número de indivíduos por quilômetro de calçada (D_F) , densidade em área basal por quilômetro de calçada (D_G) , altura total média (\overline{H}_t) , densidade em volume por quilômetro de calçada (D_V) , densidade em número de espécies por quilômetro de calçada (D_E) . Avaliou-se também o uso de diferentes unidades amostrais representadas por: 1, 2, 3 e 4 quarteirões. Para tanto, foram amostrados sistematicamente 90 conjuntos de 4 quarteirões, nos quais foram levantados os indivíduos com CAP ≥ 12 cm plantados em calçada e canteiro central. Pela redução no Esforço amostral, foi possível observar que a amostragem sistemática estratificada foi mais eficiente que a amostragem sistemática simples, especialmente para D_F , D_G e D_V . O aumento no tamanho da unidade amostral também provocou redução no Esforço amostral, porém houve aumento na Intensidade de amostragem.

Palavras-chave: Métodos quantitativos de áreas verdes; Geoprocessamento de áreas verdes; Inventário florestal por amostragem de árvores de rua

ABSTRACT

Methodologies of green spaces quantification: mapping tree cover and forest inventory of street trees in cities of São Paulo

The availability of reliable quantitative data is primordial to understanding the Ecology of green spaces, because from them it is possible to know the functioning of these ecosystems and to evaluate their participation in provision of ecosystems services. Green spaces can be understood as a network within the urban matrix composed of fragments, represented by parks, squares and protected areas, interconnected by corridors, especially riparian forests and wooded streets. In several studies, the characterization of green areas has been based on the distribution of tree cover and land use processes measured by using techniques of interpretation of remote sensing images and GIS, which have become more accessible with the development of software free. The tree cover includes populations of street trees and populations of no street tree, forming aggregation. In chapter 2, 6 mapping processes of urban land are applied over 6 districts of Rio Claro city – SP (Brazil): Dot grid; Supervised Automatic Classification; Supervised Automatic Classification using NDVI; Unsupervised Automatic Classification; Unsupervised Automatic Classification using NDVI; Vector, applied only to tree cover. The processes were equivalent in the quantification of the several types of coverage (Kappa Statistic greater than 0.75) and provided accurate quantification data of tree cover (Tukey Test, with quantification by Vector as reference data), except for Supervised Automatic Classification. Best performance of automatic classifications was obtained by NDVI combination with multispectral imaging. More refined assessments of green spaces access information on vegetal community that makes up the tree cover through field surveys. The type of forest inventory to be used depends on the established goals and is limited by time and financial resources. In terms of street trees, the sampling methods can provide adequate information for many projects as well as reducing costs, since the sample is sufficient to overview of all aspects, despite losing specific information of each individual. In Chapter 3, we investigate the efficiency of forest inventory methods by simple systematic sampling and stratified systematic sampling of the street tree population in densely urbanized area of Piracicaba - SP (Brazil), with the percentage of street tree cover as stratification variable and the interest variables are: number of individuals per kilometer of sidewalk (D_F) , basal area per kilometer of sidewalk (D_G) , total height mean (\overline{H}_t) , volume per kilometer of sidewalk (D_V) , number of species per kilometer of sidewalk (D_E) . The use of different sampling units was evaluated too: 1 block, 2 blocks, 3 blocks, and 4 blocks. For that, 90 sets of 4 blocks were systematically sampled, in which individuals with $CAP \ge 12$ cm planted in sidewalk and median were raised. By the reduction in Sample size (n_e) , it was observed that the systematic stratified sampling was more efficient than simple systematic sampling, especially for D_F , D_G and D_V . The increase in the size of the sampling units also caused reduction in Sample size, but there was an increase in the Sample intensity ($I_{0/6}$).

Keywords: Quantitative methods of green spaces; Green spaces GIS; Sampling methods of street trees

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Área de estudo: À Esquerda. Localização do Município de Rio Claro no	
Estado de São Paulo (Brasil); Ao Centro. Destaque em cinza da área do	
Perímetro Urbano no Município de Rio Claro; À Direita. Bairros	
analisados: Alto do Santana (contorno em azul), Vila Operária (em	
amarelo), Centro Norte, Centro Médio e Centro Sul (em verde), Cidade	
Nova (em vermelho)	27
Figura 2.2 - Exemplo de matriz de erro acompanhada dos cálculos de acurácia e	
Estatística Kappa (Adaptado de JENSEN, 2005)	31
Figura 2.3 - Mapeamento do solo urbano no bairro Alto do Santana (Rio Claro - SP,	
Brazil): a. Imagem Worldview II (0,5 m de resolução); b. Dot grid; c.	
Classificação Automática Supervisionada (CAS); d. Classificação	
Automática Supervisionada com uso do NDVI (CAS_NDVI); e.	
Classificação Automática Não Supervisionada (CANS); f. Classificação	
Automática Não Supervisionada com uso do NDVI (CANS_NDVI)	40
Figura 3.1 - Área de estudo (66,8 km²) referente à área densamente urbanizada do	
perímetro urbano de Piracicaba – SP, Brasil	54
Figura 3.2 – Estratificação da área de estudo: a. Quadrículas identificadas por classe de	
porcentagem de cobertura de árvores de rua; b. Estratificação das	
quadrículas de acordo com a porcentagem de cobertura de árvores de rua	58
Figura 3.3 – Boxplot das variáveis dendrométricas dos indivíduos amostrados: diâmetro	
correspondente à altura do peito (cm); altura total (m)	64
Figura 3.4 - Distribuição de frequência das variáveis dendrométricas dos indivíduos	
amostrados: diâmetro correspondente à altura do peito (cm) e altura total	
(m)	66
Figura 3.5 – Participação em porcentagem dos tipos de hábito nos totais de número de	
indivíduos, área basal e volume estimados na área densamente urbanizada	
de Piracicaba – SP (Brasil), onde: ARB – arbustos; PAL – palmeiras; AGP	
 – árvores de grande porte; APP – árvores de pequeno porte 	76
Figura 3.6 – Distribuição de frequência relativa (%) de classes de diâmetro correspon-	
dente à altura do peito (cm) de acordo com o tipo de hábito dos	
indivíduos	77

Figura 3.7 – Espécies de maior frequência relativas na população de árvores de rua na	
área densamente urbanizada do perímetro urbano de Piracicaba - SP	
(Brasil)	79
Figura 3.8 - Frequência das espécies e dos indivíduos quanto à origem na área	
densamente urbanizada do perímetro urbano de Piracicaba - SP (Brasil),	
onde: Exótica BR - espécie exótica do Brasil; Exótica SP - espécie	
exótica do Estado de São Paulo; Exótica PI - espécie exótica da Região	
de Piracicaba; Nativa – espécie nativa da Região de	
Piracicaba	81

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Equações do Quadro da Análise de Variância para variável Cobertura
Arbórea
Tabela 2.2 – Estatística Kappa (K) obtida entre processos de mapeamento do solo
aplicados em 6 bairros de Rio Claro (SP), sendo o sistema de
classificação: cobertura arbórea, vegetação herbácea, lago, piscina,
asfalto, cimento, solo exposto, telha cerâmica, telha cinza, telha metálica,
sombra e outros
Tabela 2.3 – Quadro da Análise de Variância para variável Cobertura Arbórea (%)
Tabela 2.4 – Grupos de Média de Tukey para a variável Cobertura Arbórea (%)
Tabela 2.5 – Estatísticas do tempo de execução dos processos de mapeamento da
cobertura do solo urbano (os tempos da Vetorização e do Dot grid foram
estabelecidos a partir da aproximação da área dos bairros para 0,5 km²)
Tabela 3.1 – Principais medidas de posição e dispersão das variáveis dendrométricas
dos indivíduos amostrados: diâmetro correspondente à altura do peito
(DAP_c) e altura total (H_t)
Tabela 3.2 – Estimadores da amostragem sistemática simples (A.S.S.) para amostra e da
amostragem sistemática estratificada (A.S.E.) por estrato e para amostra
estratificada, de acordo com as variáveis de interesse: densidade em
indivíduos por quilômetro de calçada (D_F) ; densidade em área basal por
quilômetro de calçada (D_G) ; altura média total (\overline{H}_t) ; densidade em volume
por quilômetro de calçada (D_V) ; densidade em número de espécies por
quilômetro de calçada (D_e)
Tabela 3.3 – Intervalo de confiança (IC) da amostragem sistemática simples (A.S.S.) e
da amostragem sistemáti-ca estratificada (A.S.E.) seguidos de Esforço
amostral (n_e) e Intensidade de amostragem $(I_\%)$ para um dado erro de
amostragem desejado ($E_{\%}$) e probabilidade do intervalo de confiança
conter a média paramétrica $(1-lpha)$
Tabela 3.4 - Razão entre esforço amostral da amostragem sistemática simples de
unidades amostrais de 1 quarteirão e outro processo, para 10% de erro
desejado e 95% de probabilidade, sendo as variáveis de interesse:
densidade em indivíduos por quilômetro de calçada (D_F) ; densidade em

área basal por quilômetro de calçada (D_G) ; altura média total (H_t) ;	
densidade em volume por quilômetro de calçada (D_V) ; densidade em	
número de espécies por quilômetro de calçada (D_e)	73

1 INTRODUÇÃO

Saler et al. (2010), numa revisão aprofundada do contexto atual da Ecologia de áreas verdes, colocam a disponibilidade de dados quantitativos mais confiáveis como a primeira necessidade para o fortalecimento da base da ciência física sobre o assunto, uma vez que permitem: a estimativa e previsão de perdas de áreas verdes, a estimativa de mudanças na riqueza de espécies e diversidade funcional como resultado de perdas, a expansão da modelagem da paisagem urbana para um amplo portfólio de serviços ambientais, e o monitoramento da eficácia da configuração das áreas verdes. A demanda por tais dados se amplia quando se considera a particularidade geográfica de manejo e de provisão das áreas verdes nas cidades, a qual dificulta a identificação de pontos comuns e a aplicação de generalizações.

Há uma profusão de artigos que estudam como as áreas verdes promovem benefícios fundamentais para as pessoas e a vida selvagem. Constatou-se que esses ambientes moldam o caráter da cidade e de seus bairros e engendram o senso de lugar aos habitantes da cidade (FRUMKIN, 2003; PAULEIT, 2003). Devido à profunda influência que exercem sobre o psiquismo humano, potencializam a sensação de bem-estar e a autopercepção de saúde (DE VRIES; VERHEIJ; GROENEWEGEN, 2003), mudam o comportamento, aumentando o nível de exercícios físicos (LI et al., 2005), melhoram a saúde mental pela exposição a cenas e lugares verdes (ULRICH et al., 1991; HARTIG et al., 2003). A estrutura, tamanho, tipo e composição da vegetação, manejo e localização das áreas verdes, dentre outros elementos, interferem na riqueza e abundância das espécies, assim como têm influência sobre fatores físicos promovendo serviços ambientais relevantes de forma direta e local, tais como filtragem do ar, regulação microclimática, redução de barulhos, drenagem das chuvas, armazenamento biológico de carbono (BOLUND; HUNHAMMAR, 1999).

As áreas verdes podem ser compreendidas como uma rede dentro da matriz urbana composta por fragmentos, representados por parques, praças e áreas de proteção, interligados por corredores, como matas ciliares e ruas arborizadas. A complexidade da paisagem urbana origina um rico mosaico de habitats que abriga uma ampla diversidade de organismos, alguns deles tornados raros inclusive em zona rural, devido à intensificação da agricultura (TRATALOS et al., 2007).

Não há dúvida que a urbanização é uma das questões ambientais mais preocupantes da atualidade, pois pode ser vista como um dos principais responsáveis pelos altos níveis de uso

de recursos e geração de resíduos com consequências ecológicas sérias localmente – dentro e ao redor dos centros urbanos, regionalmente – onde os fluxos de recursos e resíduos dos centros urbanos mudam mais amplamente a região, e globalmente – por exemplo, no que diz respeito às mudanças climáticas e à redução da biodiversidade. Em áreas urbanizadas, a queima de combustíveis para transporte e geração de energia é o principal responsável pela emissão de gases do efeito estufa (SATTERTHWAITE, 2011; HOORNWEG; SUGAR; GOMEZ, 2011; GRIMM et al., 2008).

Observa-se que a expansão ou intensificação da urbanização têm levado à fragmentação, isolamento e degradação das áreas verdes e esta situação tende a se agravar com a concentração da população global em cidades. Estima-se que 60 % dessa população resida em cidades em 2030 e que o número de áreas urbanas com mais de 1 milhão de habitantes cresça acima de 40 % entre 2000 e 2015. Apenas no Brasil, dados do IBGE de 2003 a 2013 registraram até 59 % de crescimento populacional em cidades médias, aquelas com 100 mil a 500 mil habitantes (CRANE; KINZIG, 2005; SOUZA, 2013; GRIMM et al., 2008).

Sendo assim, a caracterização de áreas verdes para gestão de suas funções e serviços em prol do ambiente e da população global se torna primordial, para tanto diversos estudos têm se baseado na distribuição da cobertura arbórea e do uso do solo. A cobertura arbórea, área de projeção horizontal da copa de árvores (entendam-se árvores, palmeiras e arbustos), inclui as populações de árvores de rua que, embora sejam um componente menor como um todo são um componente significativo do ambiente humano, e as populações de árvores que não são de rua, que constituem os aglomerados de árvores em parques, vazios urbanos e matas ciliares. Processos de mensuração da cobertura arbórea que utilizam técnicas de interpretação de imagens de sensoriamento remoto têm sido utilizados por serem custos-efetivos, menos trabalhosos e mais rápidos que medições em campo (NOWAK, 1994, 1996; RIDD, 1995; SILVA FILHO et al., 2005; ROLLO et al., 2007).

Avaliações mais refinadas das áreas verdes acessam informações sobre a comunidade vegetal que compõe a cobertura arbórea por meio de levantamentos em campo. O tipo de inventário florestal a ser utilizado depende dos objetivos estabelecidos e é limitado pelo tempo e recursos financeiros disponíveis para a sua execução. No que tange as árvores de rua, os processos de amostragem podem fornecer informações adequadas para muitos projetos, além de reduzirem custos, pois a amostra da população é suficiente para a visão geral de todos

os aspectos, apesar de se perderem informações específicas para cada indivíduo (GREY; DENEKE, 1978; MILLER, 1996). Diversos tipos de processos de amostragem têm sido avaliados em pequenas porções das cidades, sendo escassos estudos que envolvam o perímetro urbano (ALVAREZ et al., 2005; RACHID; COUTO, 1999; MICHI; COUTO, 1996).

Frente ao exposto, a presente tese teve como objetivo principal o estudo de métodos de quantificação de áreas verdes em cidades, tendo como objetivos específicos:

- Comparar processos de mapeamento do solo, visando a quantificação da cobertura arbórea de áreas verdes;
- Comparar os métodos de amostragem sistemática simples e amostragem sistemática estratificada e o uso de unidades amostrais de tamanho e forma diferentes no inventário da população de árvores de rua.

Referências

ALVAREZ, I.A.; VELASCO, G.D.N.; BARBIN, H.S; LIMA, A.M.L.P.; COUTO, H.T.Z. Comparison of two sampling methods for estimating urban tree density. **Journal of Arboriculture**, Champaign, v. 31, n. 5, p. 209-214, Sept. 2005.

BOLUND, P.; HUNHAMMAR, S. Ecosystems services in urban areas. **Ecological Economics**, Hanover, v. 29, n. 2, p. 293-301, May 1999.

CRANE, P.; KINZIG, A. Nature in the metropolis. **Science**, Washington, v. 308, n. 5726, p. 1225, May 2005.

DE VRIES, S.; VERHEIJ, R.A.; GROENEWEGEN, P.P. Natural environments-healthy environment? An exploraty analysis of the relationship between greenspaces and health. **Environment and Planning**, London, v. 35, n. 10, p. 1717-1731, Oct. 2003

FRUMKIN, H. Healthy places: exploring the evidence. **American Journal of Public Health**, Bethesda, v. 93, n. 9, p. 1451-1456, Set. 2003.

GREY, G.W.; DENEKE, F.J. Management of the urban forest. In: _____. **Urban forestry.** New York: Krieger Publ., 1992. chap. 6, p. 138-174.

GRIMM, N.B.; FAETH, S.H.; GOLUBIEWSKI, N.E.; REDMAN, C.L.; WU, JIANGUO; BAI, X.; BRIGGS, J.M. Global change and the ecology of cities. **Science**, Washington, v. 319, n. 5864, p. 756-760, Feb. 2008.

- HARTIG, T.; EVANS, G.W.; JAMMER, L.D.; DAVIS, D.S.; GARLING, T. Tracking restoration in natural and urban field settings. **Journal of Environment Psychology**, Philadelphia, v. 23, n. 2, p. 109-123, June 2003.
- HOORNWEG, D.; SUGAR, L.; GOMEZ, C.L.T. Cities and greenhouse gas emissions: moving forward. **Environment and Urbanization**, Thousand Oaks, v. 20, n. 10, p. 1-21, Apr. 2011.
- LI, F.Z.; FISHER, K.J.; BROWNSON, R.C.; BOSWORTH, M. Multilevel modeling of built environment characteristics related to neighborhood walking activity in older adults. **Journal of Epidemiology and Community Health**, London, v. 59, n. 7, p. 558-564, July 2005.
- MICHI, S.M.P.; COUTO, H.T.Z. Estudo de dois métodos de amostragem de árvores de rua na cidade de Piracicaba SP. In: CURSO EM TREINAMENTO SOBRE PODA EM ESPÉCIES ARBÓREAS E DE ARBORIZAÇÃO URBANA, 1., 1996, Piracicaba. Piracicaba: IPEF, 1996. p. 1-23.
- MILLER, R.W. **Urban forestry:** planning and managing urban greenspaces. 2nd ed. New Jersey: Prentice-Hall, 1996. 502 p.
- NOWAK, D.J. Understanding the structure of urban forests. **Journal of Forestry**, Bethesda, v. 92, n. 10, p. 42-46, Oct. 1994.
- NOWAK, D.J.; ROWNTREE, R.A.; MCPHERSON, E.G.; SISINNI, S.M.; KERKMANN, E.R.; STEVENS, J.C. Measuring and analyzing urban tree cover. **Landscape and Urban Planning**, Philadelphia, v. 36, p. 49-57, May 1996.
- PAULEIT, S. Perspectives on urban greenspaces in Europe. **Built Environment**, Oxfordshire, v. 29, n. 2, p. 89-93, 2003.
- RACHID, C.; COUTO, H.T.Z. Estudo da eficiência de dois métodos de amostragem de árvores de rua na cidade de São Carlos SP. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 56, p. 59-68, dez. 1999.
- RIDD, M.K. Exploring a V-I-S (Vegetation-Impervious Surface-Soil) model for urban ecosystems analysis through remote sensing: comparative anatomy for cities. **International Journal of Remote Sensing**, London, v. 16, n. 12, p. 2165-2186, Sept. 1995.
- ROLLO, F.M.A.; SILVA FILHO, D.F.; COUTO, H.T.Z.; POLIZEL, J.L. Uso de cenas videográficas para avaliação da Floresta Urbana. **REVSBAU**, Piracicaba, v. 2, n. 3, p. 63-79, Set. 2007. Disponível em: http://www.revsbau.esalq.usp.br/artigos_cientificos/artigo27.pdf>. Acesso em: 28 set. 2013.
- SADLER, J.; BATES, A.; HALE, J.; JAMES, P. Bringing cities alive: the importance of urban green spaces for people and biodiversity. In: GASTON, K.J. (Ed.). **Urban ecology.** Cambridge: Cambridge University Press, 2010. chap. 10, p. 230-260.
- SATTERTHWAITE, D. How urban societies can adapt to resource shortage and climate change. **Philosophical Transactions of the Royal Society**, London, v. 13, p. 1762-1783, May 2011.

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, n. 67, p. 88-100, abr. 2005.

SOUZA, B. 25 cidades que tiveram um boom populacional no Brasil. **Exame.com**, São Paulo, 29 dez. 2013. Disponível em: http://exame.abril.com.br/brasil/noticias/25-cidades-que-sofreram-um-boom-populacional-no-brasil. Acesso em: 05 mar. 2014.

TRATALOS, J.; FULLER, R.A.; WARREN, P.H., DAVIES, R.G.; GASTON, K.J. Urban form, biodiversity potential and ecosystem services. **Landscape and Urban Planning**, Philadelphia, v. 83, n. 4, p. 308-317, Dec. 2007.

ULRICH, R.S.; SIMONS, R.F., LOSITO, B.D.; FIORITO, E. Stress recovery during exposure to natural and urban environments. **Journal of Environmental Psychology**, Philadelphia, v. 20, n. 3, p. 91-103, Sept. 1991.

2 COMPARAÇÃO ENTRE PROCESSOS DE MAPEAMENTO DA COBERTURA DO SOLO URBANO COM ÊNFASE NA COBERTURA ARBÓREA

Resumo

A cobertura arbórea traz benefícios essenciais para a qualidade de vida nos ecossistemas urbanos, portanto o reconhecimento de sua quantidade e distribuição é fundamental para a gestão ambiental das cidades. O mapeamento da cobertura do solo urbano pode ser executado por meio de diferentes processos, que têm se tornado mais acessíveis com o desenvolvimento de softwares livres e da tecnologia de geoprocessamento. Neste capítulo, são comparados 6 processos de mapeamento do solo urbano em 6 bairros da cidade de Rio Claro (São Paulo - Brasil) quanto à equivalência na quantificação dos diferentes tipos de cobertura e especificamente, quanto à acurácia na quantificação da cobertura arbórea. Os processos avaliados são: Dot grid; Classificação Automática Supervisionada; Classificação Automática Supervisionada com uso do NDVI; Classificação Automática Não Supervisionada; Classificação Automática Não Supervisionada com uso do NDVI; Vetorização, aplicada apenas à cobertura arbórea. Os processos se mostraram concordantes na quantificação dos diversos tipos de cobertura com valores de Estatística Kappa superiores a 0,75. A acurácia da quantificação da cobertura arbórea foi avaliada pelo teste de Tukey, o qual demonstrou não haver diferenças significativas entre as médias dos processos em relação à Vetorização (dados de referência), exceto para Classificação Automática Supervisionada que apresentou média superestimada. A combinação do NDVI à imagem multiespectral aproximou as médias das classificações automáticas à da Vetorização, proporcionando inclusive a correção da superestimativa. Avaliações do tempo de execução dos processos foram incluídas.

Palavras-chave: Mapeamento da cobertura do solo urbano; Acurácia da quantificação da cobertura arbórea; Equivalência entre processos de mapeamento

Abstract

The tree cover brings key benefits to the quality of life in urban ecosystems, thus recognizing its quantity and distribution is fundamental for management of cities. The mapping of urban land cover can be executed by different processes, which have become more accessible with the development of free software e GIS technology. In this chapter, 6 mapping processes are compared in 6 districts of Rio Claro city (Sao Paulo - Brazil) on equivalent quantification of different types of coverage and specifically regarding the accurate quantification of tree cover. The processes evaluated are: Dot grid; Supervised Automatic Classification; Supervised Automatic Classification using NDVI; Unsupervised Automatic Classification; Unsupervised Automatic Classification using NDVI; Vector, applied only on tree cover. The processes were concordant about quantification of different types of coverage, with Kappa values greater than 0.75. The accuracy of quantification of tree cover was assessed by the Tukey test, which showed no significant differences between the means of the processes regarding the Vector (reference data), except for Supervised Automatic Classification that had overestimated mean. The combination of multispectral image with NDVI approached the means of the automatic classifications from Vector, including providing correction of overestimation. Evaluations about time by processes were included.

Keywords: Mapping of urban land cover; Accuracy of tree cover quantification; Equivalence between mapping processes

2.1 Introdução

O mapeamento da cobertura do solo urbano fornece informações fundamentais para a compreensão da Ecologia Urbana. Esta cobertura pode ser separada em: áreas vegetadas, compostas basicamente por áreas de vegetação herbácea e pela cobertura arbórea, que corresponde à copa de árvores, arbustos e palmeiras; áreas impermeabilizadas, aquelas recobertas por asfalto, cimento e outros materiais dos pavimentos, assim como o solo exposto compactado e os telhados das construções; e reservatórios hídricos, como rios, represas, lagos e piscinas. A proporção dos tipos de cobertura resulta em fenômenos ambientais que afetam significativamente a vida. Excessiva impermeabilização, por exemplo, pode levar ao surgimento de ilhas de calor e à ocorrência de enchentes e deslizamentos. Por outro lado, a cobertura arbórea realiza funções como interceptação da água das chuvas e diminuição do *run off*, redução da poluição da água, filtragem e umidificação do ar, amenização da temperatura, portanto pode ser devidamente alocada para proporcionar conforto, saúde e segurança. Também está associada à presença de diversas espécies, servindo-lhes de habitat e corredor para passagem.

Para o manejo da cobertura do solo urbano por meio de diagnósticos corretos e intervenções eficazes, torna-se necessária a utilização de técnicas que forneçam o mapeamento acurado, preferencialmente de baixo custo para possibilitar repetições que acompanhem o dinamismo da cidade (MILLER, 1996).

Antecede o mapeamento da cobertura, a aquisição de uma imagem da área, que pode ser obtida no nível suborbital (fotografias aéreas e videografia) ou no nível orbital (imagens de satélite). A imagem é produto da captura por parte de sensores das ondas eletromagnéticas refletidas pelos objetos na superfície terrestre e é caracterizada pela faixa do espectro eletromagnético armazenada em cada pixel e pela resolução espacial, que expressa o nível de detalhamento do solo. No contexto urbano, a resolução espacial geralmente deve ser alta devido ao tamanho diminuto dos alvos (JENSEN, 2009a).

Na década de 60, difundiram-se os métodos vetoriais de mapeamento, nos quais os tipos de cobertura do solo eram separados por fotointerpretação, utilizando-se pontos, linhas, e polígonos para demarcar e delimitar feições. A princípio, eram executados em papel e aplicados principalmente a áreas rurais e naturais. Para áreas urbanas, devido à alta heterogeneidade da cobertura que aumenta drasticamente a quantidade de feições e as classes

de cobertura, foram adaptados métodos nos quais a forma e o tamanho dos polígonos eram pré-determinados e posteriormente o tipo de cobertura identificado, como o *Dot grid Method*.

O *Dot grid Method* (Método da Grade de Pontos) envolve a fotointerpretação da cobertura encontrada sob pontos distribuídos sistematicamente numa imagem da área. A proporção de uma determinada cobertura corresponde ao número de pontos que cai sobre ela dividido pelo total de pontos na área. Nowak et al. (1996) analisaram as técnicas utilizadas para o levantamento de cobertura arbórea em 68 cidades norte-americanas e observaram que em 42 delas havia sido utilizado o *Dot grid*.

Na década de 80, o desenvolvimento da informática permitiu que os métodos vetoriais fossem executados com mais facilidade por meio dos sistemas de informação geográfica. Também possibilitou o surgimento dos métodos matriciais ou por *raster*, nos quais a interpretação digital ou automática de imagens multiespectrais é utilizada para identificação do padrão espectral dos pixels. Os primeiros *softwares* de geoprocessamento faziam apenas a interpretação digital, posteriormente possibilitaram a execução de métodos híbridos com entrada de informações de interpretação visual que aprimoraram muito o mapeamento.

A Classificação Automática Não Supervisionada (CANS) é um processo em que o *software* separa os pixels da imagem em grupos por faixa de assinatura espectral e posteriormente o intérprete determina a qual classe de cobertura cada grupo pertence por meio da similaridade de distribuição com a imagem. A Classificação Automática Supervisionada (CAS) segue o caminho inverso da CANS: o intérprete informa ao *software* quais os padrões espectrais dos tipos de cobertura por meio de pequenas amostras da imagem e o *software* classifica a imagem pixel por pixel (MOREIRA, 2011).

Nas classificações automáticas, o confundimento entre classes de cobertura ocorre quando suas assinaturas espectrais são próximas, dessa forma quanto maior a resolução espectral da imagem mais precisa é a separação. Por isso são utilizadas imagens multiespectrais, que contêm bandas na faixa visível do espectro eletromagnético (0,4 a 0,7 μm) e na faixa do infravermelho próximo (0,7 a 1,1 μm) e médio (1,1 a 3,0 μm). A separação acurada da vegetação de outros tipos de cobertura, como asfalto e rios, só é possível devido à utilização da banda do infravermelho, pois as folhas absorvem a radiação fotossinteticamente ativa, que abrange a faixa do vermelho e do azul e refletem passivamente a faixa do verde,

porém possuem mecanismos internos que fazem o infravermelho ser intensamente refletido, diferenciando-as dos demais materiais (CARLLER; DEBEIR; WOLFF, 2005).

Com o intuito de ressaltar o comportamento espectral da vegetação foram criados índices baseados na álgebra de bandas, que podem ser combinados às imagens espectrais. O *Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)*, um dos mais difundidos, utiliza a banda do vermelho (*R*), na qual a vegetação aparece relativamente escura devido à absorção para fotossíntese, e a banda do infravermelho próximo (*NIR*), onde aparece clara devido à reflexão ativa. Quanto mais folhas a planta tem e mais vigorosas, mais esses comprimentos de onda são afetados, viabilizando diferenciar inclusive vegetação herbácea de cobertura arbórea (WEIER; HERRING, 2000).

Neste trabalho, processos de mapeamento do solo são comparados quanto à concordância na quantificação dos tipos de cobertura, à acurácia na quantificação da cobertura arbórea e ao tempo de execução. Os processos são: *Dot grid*; Classificação Automática Supervisionada; Classificação Automática Supervisionada com uso do *NDVI*; Classificação Automática Não Supervisionada; Classificação Automática Supervisionada com uso do *NDVI*; Vetorização, aplicada apenas à cobertura arbórea.

2.2 Material e métodos

2.2.1 Área de estudo

A área de estudo compreende quatro bairros contíguos (3,17 km²) do perímetro urbano de Rio Claro, delimitados de acordo com o zoneamento realizado pela Prefeitura em 2007 (Figura 2.1). O Centro de Rio Claro foi o maior bairro analisado (1,84 km²) e foi dividido em três porções, consideradas aqui como bairros – Centro Norte (0,63 km²), Centro Médio (0,71 km²) e Centro Sul (0,50 km²) – para que os processos de mapeamento fossem aplicados em áreas de tamanhos próximos. Alto do Santana (0,5 km²) e Vila Operária (0,44 km²) são bairros ao norte do Centro e Cidade Nova (0,39 km²) a leste. A escolha dos bairros se baseou primeiramente na quantidade de cobertura arbórea, o Centro é visivelmente pouco arborizado em relação aos demais bairros. As particularidades são o lago do Parque Municipal localizado na Vila Operária e a maior quantidade de vegetação herbácea no bairro Cidade Nova.

Os pontos extremos da área estão situados entre as latitudes 22°23'16" S e 22°25'26" S e as longitudes 47°33'03" O e 47°33'35" O; a elevação média do terreno é de 610 m em

relação ao nível do mar. Na região, o clima é do tipo Cwa de acordo com a classificação de Köppen, caracterizado por temperatura média anual mínima de 15,1 C° e máxima de 28,0 C°, e por precipitação média de 1.366,8 mm por ano. As chuvas de verão acumulam acima de 600 mm entre dezembro e fevereiro, e durante a estiagem de inverno entre junho e agosto, chove menos de 100 mm (CENTRO DE PESQUISAS METEOROLÓGICAS E CLIMÁTICAS APLICADAS À AGRICULTURA - CEPAGRI, 2013). Predominam Argissolos Vermelhos e Vermelhos-Amarelos e são encontrados Chernossolos e Neossolos Litólicos. A vegetação original é composta por Cerrado e Floresta Estacional Semidecidual.



Figura 2.1 - Área de estudo: À Esquerda. Localização do Município de Rio Claro no Estado de São Paulo (Brasil); Ao Centro. Destaque em cinza da área do Perímetro Urbano no Município de Rio Claro; À Direita. Bairros analisados: Alto do Santana (contorno em azul), Vila Operária (em amarelo), Centro Norte, Centro Médio e Centro Sul (em verde), Cidade Nova (em vermelho)

2.2.2 Imagem de satélite da área de estudo

Foi adquirida uma imagem multiespectral do satélite WorldView II (resolução espacial de 0,5 m) composta pelas bandas do vermelho (*R*), verde (*G*), azul (*B*) e infravermelho próximo (*NIR*), fusionada, georreferenciada para *WGS 1984 datum* e sistema de coordenadas *Universal Transversal Mercartor (UTM)* Zona 23 Sul, e ortorretificada. Foi capturada em 27 de julho de 2011, durante a estiagem de inverno, quando há menor oclusão pelas nuvens e a vegetação herbácea está menos vigorosa (exceto em áreas irrigadas).

Foi combinada à imagem multiespectral uma banda *NDVI* obtida por meio da Calculadora *Raster* do *software* gratuito Quantum GIS (1.8.0) (eq. 2.1):

$$NDVI = \frac{(NIR - VIS)}{(NIR + VIS)} \tag{2.1}$$

Onde *VIS* é a banda do vermelho (*R*) e *NIR* a banda do infravermelho próximo. Os valores de *NDVI* variam de -1 a 1, quanto mais próximo de -1, mais a *VIS* é refletida e não há vegetação, quanto mais próximo de +1 a *NIR* é refletida e há vegetação (NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION - NASA, 2012).

2.2.3 Mapeamento da cobertura do solo urbano

Para mapeamento da cobertura do solo urbano foram estabelecidas 12 classes de cobertura: cobertura arbórea, vegetação herbácea, lago, piscina, asfalto, cimento, solo exposto, telha cerâmica, telha cinza, telha metálica, sombra, outros (SILVA FILHO et al., 2005; ROLLO et al., 2007). Foram executados 6 processos de mapeamento do solo: (1) Vetorização, aplicada apenas à cobertura arbórea; (2) *Dot grid*; (3) Classificação Automática Supervisionada utilizando a imagem multiespectral (CAS); (4) Classificação Automática Supervisionada utilizando a imagem multiespectral combinada ao *NDVI* (CAS_*NDVI*); (5) Classificação Automática Não Supervisionada utilizando a imagem multiespectral (CANS); (6) Classificação Automática Não Supervisionada utilizando a imagem multiespectral combinada ao *NDVI* (CANS_*NDVI*). Para cada processo, foram calculadas as porcentagens dos tipos de cobertura e registrado o tempo de execução por bairro. Abaixo segue a descrição básica da execução dos processos:

Vetorização: executada no *software* Quantum GIS (1.8.0). Para cada bairro foi estabelecido um projeto composto pela camada *raster* da imagem com exibição das bandas *R*, *G*, *B* (similar a uma fotografia aérea colorida), sobre a qual foi colocada uma camada vetorial. Nesta foram delimitados os polígonos da cobertura arbórea com as ferramentas de edição do *software*.

Dot grid: executado com auxílio do Quantum GIS (1.8.0), no qual foi construído um projeto para cada bairro formado por 3 camadas: i. a camada *raster* da imagem Worldview II multiespectral com exibição das bandas *R*, *G*, *B*; ii. uma grade vetorial composta por polígonos de 10 x 10 m; iii. uma camada de pontos regulares dispostos no centro dos

polígonos da grade vetorial. Cada polígono da grade vetorial foi classificado de acordo com a cobertura do solo demarcada pelo ponto ao centro.

Classificação Automática Supervisionada: executada no software gratuito Multispec (3.3), utilizando-se a imagem multiespectral (CAS) e a imagem multiespectral combinada ao NDVI (CAS_NDVI). Optou-se pela exibição das bandas NIR, G, B da imagem, na qual a vegetação é realçada pela coloração avermelhada, para visualização da área e seleção das amostras das classes de cobertura. No Multispec, podem ser fornecidos dois conjuntos de amostras chamados de treinador e de auditor. O auditor pode ser entendido como um segundo treinador, por meio do qual o software reclassifica os pixels da imagem e compara os resultados com aqueles do treinador. Foram fornecidas 5 amostras de cada classe de cobertura para o treinador e 5 para o auditor. O tamanho das amostras foi de 3 x 3 pixels, porém quando a classe se apresentou muito fragmentada, foram selecionadas amostras menores. Os mesmos conjuntos de amostras foram utilizados para a classificação da imagem sem e com NDVI, por meio do algoritmo Maximum Likelihood. As estatísticas do software a partir do treinador e auditor foram utilizadas como parâmetro de qualidade, de forma que a classificação foi considerada satisfatória quando a Acurácia Geral e Estatística Kappa foram superiores a 80% e as acurácias das classes superiores a 50%. A comparação visual com a imagem também foi utilizada como indicativo da qualidade, apesar de não substituir a verificação de campo, pela qual são avaliados os erros de omissão e comissão (CONGALTON, 1991; BINGING; CONGALTON, 1989).

Classificação Automática Não Supervisionada: executada no Multispec (3.3). Por meio do algoritmo Isodata, foram separados 24 *clusters* ou grupos de pixels por faixas de assinatura espectral. A assinatura espectral foi composta *a priori* pelas camadas *R*, *G*, *B* e *NIR* e posteriormente pelas camadas *R*, *G*, *B* e *NIR* combinadas ao *NDVI* (CANS e CANS_*NDVI*, respectivamente). Os clusters foram classificados por identificação visual de acordo com o tipo de cobertura de maior ocorrência e quando apresentavam duas classes ocorrendo paralelamente foram divididos igualmente entre elas.

Uma pessoa iniciante em geoprocessamento executou os processos para se avaliar a facilidade de assimilação e aplicação. O tempo de execução não foi registrado para a CAS_NDVI por utilizar os mesmos treinadores e auditores da CAS, e para CANS_NDVI, pois seria influenciado pela experiência adquirida pelo usuário ao executar a CANS. Obtiveram-se o tempo médio, mínimo e máximo, intervalo de confiança com 99% de probabilidade e

coeficiente de variação. No caso do *Dot grid* e da Vetorização, a área dos bairros foi aproximada para 0,5 km² por influenciar no tempo de execução, assim foi possível fazer comparações.

Nas classificações automáticas, foram observados os principais confundimentos entre classes. Devido à dificuldade em se separar as classes piscina e solo exposto das classes telha metálica e telha cerâmica, respectivamente, optou-se por excluir a primeira e separar-se apenas em parte a segunda (PEREIRA-ROLLO et al., 2012).

2.2.4 Análise estatística

2.2.4.1 Comparação dos processos envolvendo todas as classes de cobertura

Na comparação entre os processos de mapeamento envolvendo todas as classes de cobertura, a Vetorização não foi incluída por abranger apenas a cobertura arbórea. Aplicou-se a Estatística Kappa estabelecida por Cohen (1960) para avaliar a concordância das porcentagens das classes obtidas entre pares de processos. Para tanto, se utilizou parte da matriz de erro, na qual os totais marginais das linhas correspondem às porcentagens obtidas por um processo, os totais marginais das colunas às porcentagens de outro processo, e a diagonal às porcentagens que concordam entre os dois processos (Figura 2.2). Segue o cálculo do Kappa (*K*):

$$K = \frac{P_o - P_a}{1 - P_a} \tag{2.2}$$

$$P_o = \frac{\sum_{i=1}^{M} n_{ii}}{N} \tag{2.3}$$

$$P_a = \frac{\sum_{i=1}^{M} l_i * c_i}{N^2} \tag{2.4}$$

Onde: P_o é a proporção de acordo observado (proporção da área que é classificada nas mesmas classes de cobertura pelos dois processos); P_a a proporção de acordo devida ao acaso; M, o número de classes presentes na matriz de erro; n_{ii} , a porcentagem da área categorizada na mesma classe (corresponde aos valores na diagonal da matriz); N, porcentagem da área contemplada pela matriz (no caso 100%); l_i e c_i são as porcentagens de uma mesma classe obtidas pelos dois processos.

Dados de Referência						
Classificação	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Total da Linha		
Classe 1	8	1	3	12		
Classe 2	2	9	0	11		
Classe 3	0	0	7	7		
Total da Coluna	10	10	10	30		
Acurácia Geral = (8 + 9 + 7)/30 = 80%						

Acurácia do Produtor (E	Erro de Omissão)	Acurácia do Usuário (Erro de Comissão)				
Classe $1 = 8/10 = 80\%$	(20%)	Classe $1 = 8/12 = 67\%$	(33%)			
Classe $2 = 9/10 = 90\%$	(10%)	Classe $2 = 9/11 = 82\%$	(18%)			
Classe $3 = 7/10 = 70\%$	(30%)	Classe $3 = 7/7 = 100\%$	(0%)			

Cálculo da Estatística Kappa (K)
$$P_o = \frac{(8+9+7)}{30} = 0.8 \qquad P_a = \frac{[(10*12)+(10*11)+(10*7)]}{30^2} = 0.33$$

$$K = \frac{P_o - P_a}{1 - P_a} = \frac{0.8 - 0.33}{1 - 0.33} = 0.7 = 70\%$$

Figura 2.2 - Exemplo de matriz de erro acompanhada dos cálculos de acurácia e Estatística Kappa (Adaptado de JENSEN, 2005)

2.2.4.2 Comparação dos processos envolvendo apenas cobertura arbórea

Para comparação entre os processos quanto à quantificação da cobertura arbórea, cada bairro foi compreendido como uma repetição. A Análise de Variância (FISHER, 1918) foi utilizada para testar a hipótese nula de que não houve diferença entre os processos de mapeamento na obtenção das porcentagens de cobertura arbórea (H_0 : $\bar{X}_{\text{vetor}} = \bar{X}_{Dot \, grid} = \bar{X}_{\text{cas}} = \bar{X}_{\text{cans},NDVI} = \bar{X}_{\text{cans}} = \bar{X}_{\text{cans},NDVI}$). Para que este teste estatístico seja usado, é necessário que: (1) as amostras sejam obtidas aleatoriamente; (2) os valores da variável tenham distribuição normal; (3) as variâncias dos processos de mapeamento sejam homogêneas. O primeiro pressuposto não foi observado, uma vez que os bairros foram pré-selecionados conforme a ocorrência de cobertura arbórea. Como consequência, o bairro foi incluído como uma das fontes de variação

no cálculo do F (Tabela 2.1). O teste Box-Cox (BOX; COX, 1964) foi utilizado para indicar se o segundo e o terceiro pressupostos foram cumpridos ou se seria necessária uma transformação dos dados. No caso, os dados precisaram passar pela transformação logarítmica ($X' = \ln X$) para apresentarem distribuição normal e homocedasticidade das variâncias.

Tabela 2.1 - Equações do Quadro da Análise de Variância para variável Cobertura Arbórea

Fontes da	GL	SQ	QM	F calculado	
Variação	GL	SQ	QWI	1 calculado	
Processo	(w – 1)	$\sum_{i=1}^k l_i * (\bar{X}_i - \bar{X})^2$	SQ _{processo} / GL _{processo}	$\frac{\left(QM_{processo} + QM_{bairro}\right)/}{QM_{res}}$	
Bairro	(n-1)	$\sum_{i=1}^n k_i * (\bar{X}_i - \bar{X})^2$	$SQ_{bairro}/\left.GL_{bairro}\right.$		
Resíduo	$\begin{aligned} GL_{total} - \\ (GL_{processo} + GL_{bairro}) \end{aligned}$	$SQ_{total} - \\ (SQ_{processo} + SQ_{bairro})$	SQ_{res} / GL_{res}		
Total	N – 1	$\sum_{i=1}^{k_l} \sum_{j=1}^{l_l} (X_{ij} - \bar{X})^2$			

GL: graus de liberdade; SQ: soma dos quadrados das diferenças; QM: quadrado médio; w: número de processos (6); n: número de repetições, ou seja, de bairros (6); N: número de observações (n * w = 36); l: processo observado; k: bairro observado; i: contador

Pela Análise de Variância, observou-se que houve diferença entre os processos para obtenção da cobertura arbórea (rejeitou-se H_0), pois F calculado foi maior que o valor crítico de F igual a 5,03 para α = 5%, $GL_{processo}$ + GL_{bairro} = 10, $GL_{resíduo}$ = 25. Na sequência, o teste de Tukey (ZAR, 2010) foi utilizado para determinar entre quais pares de processos de mapeamento não houve diferença significativa (H_0 : $\bar{X}_B = \bar{X}_A$). Para tanto, as médias dos processos foram colocadas em ordem decrescente e foi calculada a diferença entre pares ($\bar{X}_B - \bar{X}_A$). Em seguida, calculou-se o erro padrão (EP):

$$EP = \sqrt{\frac{s^2}{n}}$$
 2.5

Onde: s^2 é a variância do resíduo ou QM_{res} ; n é o número de repetições ou bairros em cada processo (6).

E calculou-se a diferença mínima significativa (Δ) a partir da amplitude estudentizada ou q tabelado:

$$\Delta = q * \sqrt{EP}$$
 2.6

Onde: q é igual a 4,358 (para $\alpha = 5\%$, $GL_{resíduo} = 25$, número de processos = 6).

Por fim, rejeitou-se H₀ para os pares de processos cuja diferença entre médias foi superior à diferença mínima significativa. A Vetorização foi utilizada como processo de referência para avaliação da acurácia dos demais processos por ser puramente baseada na fotointerpretação.

2.3 Resultados

A Tabela 2.2 exibe os resultados da Estatística Kappa (*K*) calculada para avaliação da concordância entre os processos de mapeamento do solo em cada bairro. Os processos comparados foram: *Dot grid*; Classificação Automática Supervisionada (CAS); Classificação Automática Supervisionada com uso do *NDVI* (CAS_*NDVI*); Classificação Automática Não Supervisionada com uso do *NDVI* (CANS_*NDVI*). A Vetorização não foi incluída, pois foi aplicada apenas à cobertura arbórea.

Formaram-se 60 pares de processo, observou-se $0,8007 \le K \le 0,9967$ entre 46 pares (76,7%), nos 14 pares restantes (23,3%) $0,7508 \le K \le 0,7989$. Os pares formados por *Dot grid*, CAS ou CAS_*NDVI* apresentaram K > 0,8 em todos os bairros, assim como os pares de CANS com CANS_*NDVI*. No entanto, quando CANS e CANS_*NDVI* foram pareados com *Dot grid*, CAS e CAS_*NDVI*, obtive-se K > 0,8 entre 22 pares (61,1%) e $0,7508 \le K \le 0,7989$ entre 14 pares (38,9%).

Tabela 2.2 - Estatística Kappa (*K*) obtida entre processos de mapeamento do solo aplicados em 6 bairros de Rio Claro (SP), sendo o sistema de classificação: cobertura arbórea, vegetação herbácea, lago, piscina, asfalto, cimento, solo exposto, telha cerâmica, telha cinza, telha metálica, sombra e outros

	Centro	Centro	Centro	Alto do	Cidade	Vila
	Norte	Médio	Sul	Santana	Nova	Olímpia
Dot grid X CAS	0,8712	0,8362	0,8759	0,8675	0,9057	0,8816
Dot grid X CAS_NDVI	0,8665	0,8380	0,8666	0,8392	0,8877	0,9028
Dot grid X CANS	0,8231	0,8481	0,7648	0,8108	0,7613	0,8637
Dot grid X CANS_NDVI	0,8162	0,8064	0,7853	0,8293	0,8226	0,8130
CAS X CAS_NDVI	0,8974	0,9967	0,9606	0,9664	0,9776	0,9636
CAS X CANS	0,8611	0,8443	0,8080	0,7508	0,7821	0,7798
CAS X CANS_NDVI	0,8346	0,7944	0,8594	0,7976	0,8570	0,7957
CAS_NDVI X CANS	0,8222	0,8462	0,8291	0,7528	0,8024	0,8007
CAS _NDVI X CANS_NDVI	0,7880	0,7938	0,8564	0,7989	0,8793	0,7700
CANS X CANS_NDVI	0,9463	0,8482	0,8515	0,8465	0,8700	0,8232

CAS: Classificação Automática Supervisionada; CAS_NDVI: Classificação Automática Supervisionada com uso do NDVI; CANS: Classificação Automática Não Supervisionada; CANS_NDVI: Classificação Automática Não Supervisionada com uso do NDVI

A Tabela 2.3 mostra os resultados da Análise de Variância utilizada para a comparação entre os processos de mapeamento a cerca apenas da cobertura arbórea (%). F calculado foi igual a 35,55, superior ao valor crítico de F ($F_{5\%,10,25} = 5,03$; valor-p < 0,001), portanto rejeitou-se a hipótese nula de que não havia diferença significativa entre as médias de cobertura arbórea obtidas pelos processos de mapeamento do solo (H_0 : $\bar{X}_{Dot\ grid} = \bar{X}_{cas} = \bar{X}_{cas_NDVI} = \bar{X}_{cans} = \bar{X}_{cans_NDVI} = \bar{X}_{vetor}$).

Tabela 2.3 - Quadro da Análise de Variância para variável Cobertura Arbórea (%).

Fontes da Variação	GL	SQ	QM	F calculado	Valor-p
Processo	5	0,893	0,178	37,55	<0,001
Bairro	5	5,407	1,082		
Resíduo	25	0,419	0,017		
Total	35	6,720			

GL: graus de liberdade; SQ: soma dos quadrados das diferenças; QM: quadrado médio

A partir do teste de Tukey, avaliou-se a diferença entre as médias de cobertura arbórea dos processos de mapeamento, sendo a diferença mínima significativa (Δ) igual a 0,2305 (Tabela 2.4). Formaram-se quatro grupos de médias entre as quais não houve diferenças significativas: o grupo A, composto pelas médias da CAS, do *Dot grid* e da CAS_*NDVI*; o grupo B, pelas médias do *Dot grid*, da CAS_*NDVI* e da Vetorização; grupo C, médias da CAS_*NDVI*, da Vetorização e da CANS_*NDVI*; o grupo D, médias da Vetorização, da CANS_*NDVI* e da CANS. Apenas a CAS apresentou diferença significativa em relação à Vetorização.

Tabela 2.4 - Grupos de Média de Tukey para a variável Cobertura Arbórea (%)

Grupos	de Média de	Média	Processo	
	A		2.57605	CAS
В	A		2.48773	Dot grid
В	A	C	2.45749	CAS_NDVI
В	D	C	2.30420	Vetorização*
	D	C	2.24076	CANS_NDVI
	D		2.11690	CANS

CAS: Classificação Automática Supervisionada; CAS_NDVI: Classificação Automática Supervisionada com uso do NDVI; CANS: Classificação Automática Não Supervisionada; CANS_NDVI: Classificação Automática Não Supervisionada com uso do NDVI; A, B, C, D: grupos de médias; * Utilizada como referência para avaliação da acurácia dos demais processos.

Em relação ao tempo de execução dos processos, média, valor mínimo e máximo, intervalo de confiança com 99% de probabilidade e coeficiente de variação são sumarizados na Tabela 2.5.

Tabela 2.5 - Estatísticas do tempo de execução dos processos de mapeamento da cobertura do solo urbano (os tempos da Vetorização e do *Dot grid* foram estabelecidos a partir da aproximação da área dos bairros para 0,5 km²)

Processo de Mapeamento	\bar{x} (h)	Mín. (h)	Máx. (h)	IC (99%)	CV (%)
Vetorização*	3,50	1,91	4,66	$3,50 \pm 2,21$	30,75
Dot grid *	1,89	0,88	2,81	$1,98 \pm 1,89$	46,55
Dot grid	13,18	11,23	14,56	$13,18 \pm 3,06$	11,28
CAS	1,75	0,75	3,50	$1,75 \pm 1,77$	61,38
CANS	1,04	0,73	1,10	$1,04 \pm 0,32$	18,60

Onde: \bar{x} : média; Mín.: valor mínimo observado; Máx: valor máximo observado; IC: Intervalo de Confiança; CV: Coeficiente de Variação; CAS: Classificação Automática Supervisionada; CANS: Classificação Automática Não Supervisionada; * Aplicada (o) apenas à cobertura arbórea

Nas classificações automáticas, os principais confundimentos observados foram: piscina e telha metálica; telha metálica e cimento; cimento e telha cinza; asfalto, sombra e telha cinza; árvores isoladas e da periferia dos aglomerados e vegetação herbácea; vegetação herbácea, telha cerâmica, solo exposto.

2.4 Discussão

O aperfeiçoamento de sensores remotos e o desenvolvimento de *softwares* gratuitos têm expandido o uso das geotecnologias para a aquisição de informações em área urbana. Existem diversos processos para o mapeamento da cobertura do solo e a escolha do processo a ser utilizado depende dos objetivos do mapeamento e da disponibilidade de tempo e de recursos financeiros.

2.4.1 Tempo de execução dos processos de mapeamento

A interpretação visual de imagens é uma das principais ferramentas na execução dos processos avaliados. Por meio de cor, tonalidade, textura, tamanho e forma, arranjo especial, sombra, altura e profundidade, contexto, o intérprete reúne informações que o capacitam a identificar e separar objetos (JENSEN, 2009b). Tradicionalmente a fotointerpretação é aceita como correta (BIGING, CONGLATON, 1989; CONGALTON, 1991), no entanto quanto mais o método depende dela, mais tempo é necessário para sua execução. À vista disso, a interpretação digital utilizada nos processos híbridos proporciona a redução desse tempo,

porém imagens multiespectrais são necessárias para a separação acurada das classes (Tabela 2.5).

Ainda na Tabela 2.5, em relação ao tempo de aplicação dos processos a todas as classes de cobertura do solo, observou-se que o *Dot grid* se mostrou moroso (\bar{x} = 13,18 h), enquanto as classificações automáticas foram executadas em curto espaço de tempo (\bar{x} = 1,75 h para CAS; \bar{x} = 1,04 h para CANS). O alto valor do CV da CAS em relação à CANS (61,18 % e 18,60 %, respectivamente) demonstra que a primeira requer maior tempo para assimilação pelo usuário, principalmente na capacidade de seleção de amostras das classes, e a segunda é a princípio de mais fácil aplicação. Depois de certo treino, a CAS pode ser executada em períodos tão curtos quanto à CANS (Mín.= 0,75 h para CAS; Mín.= 0,73 h para CANS).

Comparando-se Vetorização e *Dot grid* aplicados apenas à cobertura arbórea, observase que o tempo de execução médio do primeiro processo foi de 3,5 h enquanto do segundo foi 1,89 h, pois a Vetorização requer que o usuário desenhe cada polígono. No *Dot grid* basta selecionar as quadrículas que representam a classe. O CV para ambos foi alto (30,75 % e 46,55 %, respectivamente), devido principalmente às diferenças na quantidade de cobertura arbórea entre bairros.

2.4.2 Concordância entre processos de mapeamento (Estatística Kappa)

Convencionalmente, a avaliação da acurácia do mapeamento da cobertura do solo é feita a partir da matriz de erro (Figura 2.2). Nela são sumarizadas para comparação informações de duas fontes: a classificação derivada do processo de mapeamento e os dados de referência obtidos em campo ou por fotointerpretação de imagens de alta resolução. Os dados do mapeamento são geralmente dispostos nas linhas e os de campo nas colunas, de forma que os elementos da matriz expressam o número de unidades amostrais (representadas por pixels, grupos de pixels ou polígonos) assinaladas em uma determinada classe no mapeamento em relação à verificação de campo. Os elementos da diagonal da matriz correspondem às concordâncias e os demais elementos aos erros do mapeamento. São chamados erros de comissão (ou inclusão) quando unidades amostrais são atribuídas a uma classe sem que pertençam a ela, e erros de omissão (ou exclusão) quando deixam de ser incluídas na classe a que pertencem. Os totais marginais de linha correspondem aos totais das

classes de acordo com o mapeamento e os totais marginais de coluna aos totais das classes de acordo com os dados de referência (JENSEN, 2005).

Por meio da matriz de erro são calculadas acurácias para cada classe, que quando são calculadas a partir dos totais de coluna (dados de referência) correspondem à acurácia do produtor e são usadas para o cálculo dos erros de omissão. Enquanto que se calculadas a partir dos totais de linha (mapeamento) correspondem à acurácia do usuário e permitem calcular os erros de comissão. São obtidas também a Acurácia Geral, calculada da mesma forma que a proporção de acordo observado (eq. 2.2) e a Estatística Kappa (eq. 2.1). Esta última tem sido utilizada para avaliação da acurácia das classificações de dados de sensoriamento remoto, pois indiretamente incorpora os elementos fora da diagonal da matriz por meio da porcentagem de acordo devida ao acaso (eq. 2.3) (JENSEN, 2005; CONGALTON, 1991).

Neste experimento, a Estatística Kappa foi utilizada com enfoque diferente do convencional, pois serviu para avaliar a concordância entre processos de mapeamento abordando a equivalência entre eles na obtenção de porcentagem das classes de cobertura. Na matriz de erro foram incluídos os totais de porcentagem de classe de dois processos e as porcentagens de coincidência entre eles a partir de toda área dos bairros, em detrimento da verificação em campo de unidades amostrais e da localização dos erros de omissão e comissão. Assim informações a respeito de 5 processos de mapeamento executados em 6 bairros, portanto 60 pares de processos, puderam ser sumarizadas em uma única tabela (Tabela 2.2).

Divisões arbitrárias dos valores de Kappa têm sido estabelecidas para padronizar as avaliações de concordância. Fleiss (2003), colega de Cohen e pesquisador do equacionamento da Estatística Kappa, estabeleceu a seguinte divisão: K > 0,75 - concordância excelente; 0,40 $< K \le 0,75$ - concordância satisfatória à boa; $K \le 0,40$ - concordância pobre. Landis e Koch (1977) sugeriram uma divisão mais rigorosa que se tornou popular, sendo: 0,8 < K < 1 - concordância quase perfeita; $0,6 < K \le 0,80$ - concordância substancial; $0 < K \le 0,60$ - de pobre a moderada. Segundo a divisão de Fleiss, a concordância foi excelente entre todos os pares de processo. Para a divisão de Landis e Koch, a concordância foi quase perfeita entre 46 pares de processo (76,7 %) e substancial entre os 14 pares restantes (23,3 %). Como enfatizado nos resultados, os valores de Kappa abaixo de 0,8 se concentraram nos pares de processo em que um dos constituintes era CANS ou CANS_*NDVI* e o outro *Dot grid*, CAS ou CAS_*NDVI*, especificamente em 38,9 % dos pares assim configurados. De maneira

generalizada, os processos podem ser considerados equivalentes na obtenção das porcentagens de classes de cobertura, apesar de as classificações automáticas não supervisionadas poderem apresentar menor concordância com os demais métodos.

Observa-se que a discordância esteve presente entre todos os pares de processo ($K \neq 1$), pois está associada a características dos processos de mapeamento dentre outros fatores (Figura 2.3). Neste sentido, o *Dot grid* tem como fonte de erro a extrapolação da classe sob o ponto para toda área da quadrícula, apesar de ser baseado na fotointerpretação, e é claro que quanto menor a quadrícula e a fragmentação da classe de cobertura, menor deve ser o erro. A presença periódica de uma determinada classe (por exemplo o asfalto) também pode levar a erro, porém uma forma de evitá-lo é a aleatorização da posição do ponto na quadrícula (NOWAK, 1996) (Figura 2.3.b). Nas classificações automáticas, o refinamento da resolução espacial aumenta a variabilidade da reflectância dentro das unidades de cobertura do solo, que por sua vez reduz a separabilidade dentro do espaço espectral disponível. A diminuição da separabilidade tende a reduzir a acurácia das classificações pixel a pixel, inclusive do algoritmo *Maximun Likelihood* (CARLLER; DEBEIR; WOLFF, 2005). No entanto, Hester et al. (2008) demonstraram que elas podem gerar mapas altamente precisos, apesar das sobreposições espectrais entre classes.

Confundimentos devido às sobreposições espectrais são reportados em literatura, como entre solo exposto e superfícies impermeáveis e entre tipos de vegetação (HESTER et al., 2008; THOMAS; HENDRIX; CONGALTON, 2003; LUNETTA et al., 2003; HAMAMURA, 2013). É claro que se as classes que se sobrepõem ocorrem em maior proporção, especificamente dentro da faixa espectral da sobreposição, o confundimento será mais intenso, sobressaindo o efeito sal pimenta (mistura de pixels de classes diferentes). Tratando-se da classificação automática supervisionada, em que as faixas espectrais de cada classe são informadas pelo usuário, pode haver situações em que seja possível separar uma das classes apenas em parte deixando os pixels da sobreposição para a outra, como optou-se em fazer com o solo exposto em relação à telha cerâmica, ou simplesmente pode-se excluir uma delas se ocorrer em pequena proporção e seus pixels serão incorporados pela outra classe, caso da classe piscina em relação à telha metálica (PEREIRA-ROLLO et al., 2012) (Figura 2.3.c, 2.3.d). Por outro lado, nas classificações automáticas não supervisionadas, os clusters são estabelecidos a partir de faixas espectrais pré-definidas de amplitudes iguais que acabam por reunir classes diferentes com assinaturas espectrais próximas.

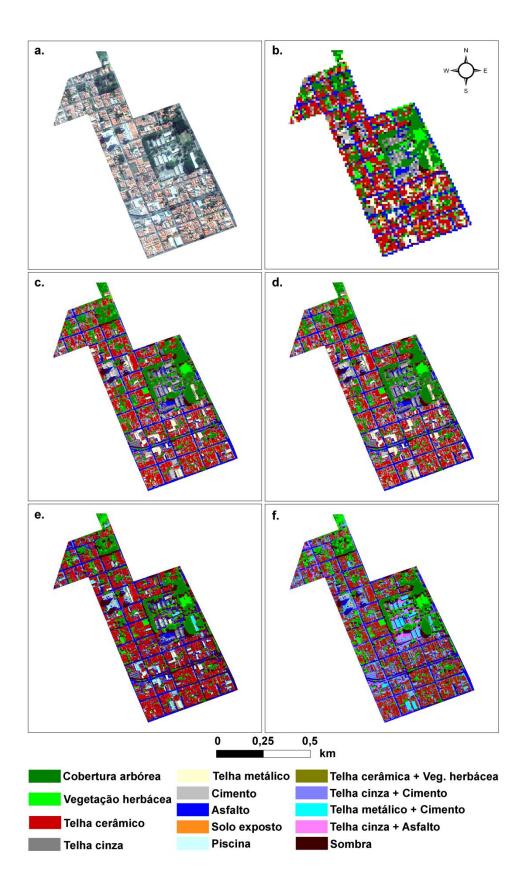


Figura 2.3 – Mapeamento do solo urbano no bairro Alto do Santana (Rio Claro – SP, Brazil): a. Imagem Worldview II (0,5 m de resolução); b. *Dot grid*; c. Classificação Automática Supervisionada (CAS); d. Classificação Automática Supervisionada com uso do *NDVI* (CAS_*NDVI*); e. Classificação Automática Não Supervisionada (CANS); f. Classificação Automática Não Supervisionada com uso do *NDVI* (CANS_*NDVI*)

Consequentemente os confundimentos podem ser mais pronunciados, como o observado entre telha metálica e cimento, por as classes ocorrerem concomitantemente em alguns *clusters*, assim optou-se por dividir os pixels entre elas (Figura 2.3.e, 2.3.f). O procedimento convencional é aumentar o número de *cluster*, porém apenas dividir os pixels do *cluster* entre as classes foi muito mais prático. Como a cobertura do solo urbano é muito heterogênea, mais *clusters* podem aumentar a dificuldade do usuário em determinar as classes ao invés de resolver a confusão entre elas. Certamente os confundimento terão importância de acordo com os objetivos do levantamento, sendo assim, supondo-se que se deseja estimar a quantidade e distribuição da cobertura arbórea, confundimentos que não envolvam esta classe serão pouco relevantes.

Diversas alternativas para lidar com a lacuna de resolução espectral que leva às sobreposições de classes nas imagens de alta resolução espacial e aos confundimentos nas classificações estão em desenvolvimento. Associações de técnicas podem ser utilizadas, como por exemplo, vetorização de um tipo de cobertura seguida de classificação automática do restante da imagem, uso paralelo de classificação automática e lidar, dentre outras (HESTER et al., 2008; LUNETTA et al., 2003; TOOKE et al., 2009). Análises orientadas a objeto, que incorporam informações sobre textura, forma, contexto, além do padrão espectral, têm se mostrado consistentes nos levantamentos de cobertura do solo, porém são técnicas ainda em estudo e disponíveis a alto-custo (MOSKAL; STYERS; HALABISKY, 2011; TRIMBLE, 2013). Pode-se optar pelo uso de filtros que suavizam a heterogeneidade de reflectância dos objetos na imagem (HALL, 2007; HAMAMURA, 2013). E há também os índices baseados na álgebra de bandas que podem ampliar e realçar informações espectrais, e consequentemente, melhorar as classificações automáticas (ZHA; GAO; NI, 2003; SAWAIA et al., 2003).

2.4.3 Acurácia da quantificação da cobertura arbórea

Por meio da Análise de Variância e do Teste de Tukey foi possível reconhecer as diferenças entre as médias de cobertura arbórea (%) em 6 bairros utilizando 6 métodos de mapeamento da cobertura do solo e também as consequências do uso do *NDVI* nas classificações automáticas (Tabela 2.3). A partir da pressuposição tradicionalmente aceita de que a fotointerpretação é correta (CONGALTON, 1991), a Vetorização da cobertura arbórea pode servir como dado de referência para aferir a consistência da quantificação da cobertura arbórea pelos demais processos. Ainda se baseando naquela pressuposição, fica explicado

porque o *Dot grid* quantificou acuradamente a cobertura arbórea, não se diferenciando significativamente da Vetorização, apesar da estrapolação da classe sob o ponto para toda área da quadrícula.

Nas classificações automáticas, com a incorporação da banda do infravermelho próximo nas imagens de sensoriamento remoto, tornou-se mais precisa a separação da cobertura vegetal dos demais tipos de cobertura do solo. No entanto, a sobreposição espectral entre classes de cobertura vegetal permaneceu sendo um desafio. Neste experimento, ocorreram confundimentos principalmente entre vegetação herbácea, árvores isoladas e árvores da periferia dos aglomerados, que podem ser explicados pelo menor volume de folhas das árvores em ambas as condições e ao maior vigor da vegetação herbácea em algumas áreas, resultando em uma reflectância do infravermelho próximo semelhante entre elas. Por isso a média da CAS acabou se afastando da média da Vetorização e se apresentou superestimada, no entanto foi semelhante à media do *Dot grid* e da CAS_*NDVI*.

A adição da banda do *NDVI* à imagem multiespectral se mostra vantajosa por possibilitar ampliar e enfatizar informações espectrais de forma simples e sem custos adicionais. No caso, a utilização do NDVI corrigiu a superestimativa da CAS e melhorou o desempenho da CANS, a ponto de apresentar a média mais próxima à da Vetorização que o próprio *Dot grid*.

2.5 Conclusão

Os processos de mapeamento aplicados à cobertura do solo urbano se mostraram equivalentes na quantificação das diferentes classes de cobertura de acordo com a Estatística Kappa (K). Os pares formados por $Dot\ grid$ e classificações automáticas supervisionadas apresentaram maior concordância (K > 0.8) que os pares formados por um desses processos combinados às classificações automáticas não supervisionadas (K > 0.75). Vale ressaltar que as classificações automáticas não supervisionadas foram executadas de forma diferenciada da convencional, quando se dividiu os pixels entre classes que ocorreram concomitantemente no cluster.

Quando os processos foram avaliados apenas quanto à quantificação da cobertura arbórea, tendo a Vetorização como dado de referência, apenas a média da Classificação Automática Supervisionada se apresentou superestimada de acordo com o teste de Tukey. As

médias da classificação automática supervisionada e não supervisionada se aproximaram da média da Vetorização quando o *NDVI* foi combinado à imagem multiespectral, inclusive proporcionando a correção da superestimativa. Portanto o *NDVI* se mostrou útil para ampliar e realçar as informações espectrais da imagem, melhorando a acurácia das classificações automáticas.

Na decisão pelo processo de mapeamento a ser aplicado, deve-se levar em consideração o tempo, os recursos financeiros disponíveis e o custo para execução. Nas áreas urbanas estudadas de aproximadamente 0,5 km², os métodos de fotointerpretação (*Dot grid* e Vetorização) demandaram maior tempo de execução que os métodos híbridos. Porém podem ser executados com imagens de menor custo, por exemplo, fotografias aéreas digitalizadas, mesmo em preto e branco. Já os processos híbridos fornecerão dados precisos apenas por meio de imagens multiespectrais com a banda do infravermelho próximo, que são obtidas com tecnologias ainda onerosas.

Os *softwares* gratuitos apresentaram bom desempenho durante sua utilização, porém sua eficiência poderá ser diferente para aplicação em imagens de áreas maiores que 0,70 km².

Referências

BIGING, G.; CONGALTON, R. Advances in forest inventory using advanced digital imagery. In: _____. **Proceedings of global natural research monitoring and assessments:** preparing for the 21st century. Veneza: IUFRO, 1989. v. 3, p. 1241-1249.

BOX, G.E.P.; COX, D.R. An analysis of transformation. **Journal of the Royal Statistical Society**, London, v. 26, n. 2, p. 211-252, Apr. 1964.

CARLLER, A.P.; DEBEIR, O.; WOLFF, E. Assessment of very high spatial resolution satellite image segmentations. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, Ithaca, v.71, n. 11, p. 1285-1294, Nov. 2005.

CENTRO DE PESQUISAS METEOROLÓGICAS E CLIMÁTICAS APLICADAS À AGRICULTURA. **Clima dos municípios paulistas:** Rio Claro. Disponível em: http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_494.html>. Acesso em: 28 set. 2013.

COHEN, J. A coefficient of agreement for nominal scales. **Educational and Psychological Measurement**, Minnesota, v. 20, n. 1, p. 37-46, 1960.

CONGALTON, R.G. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. **Remote Sensing of Environment**, Philadelphia, v. 37, p. 35-46, Apr. 1991.

FISHER, R.A. The correlation between on the supposition of Mendelian inheritance. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London**, Endinburgh, v. 52, p. 399-433, 1918.

FLEISS, J. The measurement of interrater agreement. In: _____. **Statistical methods for rates and proportions**. 3rd ed. New York: John Wiley, 2003. chap. 18, p. 598-626.

HALL, M. Smooth operator: smoothing seismic interpretations and attributes. **The Leding Edge**, Tulsa, v. 26, p. 16-20, 2007.

HAMAMURA, C. **Mapeamento de quintais privados por meio de sensoriamento remoto.** 2013. 106 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) — Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013. Disponível em: http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/tde-12072013-164641/pt-br.php. Acesso em: 29 set. 2013.

HESTER, D.B.; CAKIR, H.I.; NELSON, S.A.C.; KHORRAM, S. Per-pixel classification of high spatial resolution satellite imagery for urban land-cover mapping. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, Ithaca, v. 74, n. 4, p. 463-471, Apr. 2008.

JENSEN, R.J. Land-use classification map accuracy assessment. In: _____. **Introductory digital image processing:** a remote sensing perspective. 2nd ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2005. chap. 8, p. 247-256.

_____. Sensoriamento remoto da paisagem urbana. In: _____. **Sensoriamento remoto do ambiente:** uma perspectiva em recursos terrestres. Tradução de K.C. Clarke. São José dos Campos: Parênteses, 2009a. cap. 13, p. 445-510.

_____. Elementos de interpretação visual de imagens. In: _____. **Sensoriamento remoto do ambiente:** uma perspectiva em recursos terrestres. Tradução de K.C. Clarke. São José dos Campos: Parênteses, 2009b. cap. 5, p. 129-149.

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

LUNETTA, R.S.; EDIRIWICKREMA, J.; IIAMES, J.; JOHNSON, D.M.; LYON, J.G.; MCKERROW, A.; PILANT, A. A quantitative assessment of a combined spectral and GIS rule-based land cover classification in the Neuse River Basin of North Carolina. **Photogrametric Engineering & Remote Sensing**, Ithaca, v.69, n. 2, p. 299-310, Apr. 2008.

MILLER, R.W. **Urban forestry:** planning and managing urban greenspaces. 2nd ed. New Jersey: Prentice-Hall, 1996. 502 p.

MOREIRA, M.A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação.** 4. ed. Viçosa: UFV, 2011. 422 p.

MOSKAL, L.M.; STYERS, D.M.; HALABISKY, M. Monitoring urban tree cover using object-based image analysis and public domain remotely sensed data. **Remote Sensing of Environment**, Philadelphia, v.3, p. 2243-2262, Oct. 2011.

- NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. **Measuring vegetation** (**NDVI & EVI**). 2000. Disponível em:
- http://earthobservatory.nasa.gov/Features/MeasuringVegetation/>. Acesso em: 06 mar. 2014.
- NOWAK, D.J.; ROWNTREE, R.A.; MCPHERSON, E.G.; SISINNI, S.M.; KERKMANN, E.R.; STEVENS, J.C. Measuring and analyzing urban tree cover. **Landscape and Urban Planning**, Philadelphia, v. 36, p. 49-57, May 1996.
- PEREIRA-ROLLO, L.C.; VETORAZZI, C.A.; POLIZEL, J.L.; SILVA-FILHO, D.F; COUTO, H.T.Z. Comparação entre dois processos de mapeamento da cobertura do solo urbano. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ECOLOGIA DE PAISAGENS, 2., 2012, Salvador. Disponível em:
- http://cmq.esalq.usp.br/wiki/lib/exe/fetch.php?media=publico:projetos:processos_mapeamento.pdf >. Acesso em: 29 set. 2013.
- ROLLO, F.M.A.; SILVA FILHO, D.F.; COUTO, H.T.Z.; POLIZEL, J.L. Uso de cenas videográficas para avaliação da Floresta Urbana. **REVSBAU**, Piracicaba, v. 2, n. 3, p. 63-79, Set. 2007. Disponível em:
- http://www.revsbau.esalq.usp.br/artigos_cientificos/artigo27.pdf>. Acesso em: 28 set. 2013.
- SAWAYA, K.E.; OLMANSON, L.G.; HEINERT, N.J.; BREZONIK, P.L.; BAUER, M.E. Extending satellite remote sensing to local scales: land and water resource monitoring using high-resolution imagery. **Remote Sensing of Environment**, Philadelphia, v. 88, n. 1/2, p. 144-156, Nov. 2003.
- 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, n. 67, p. 88-100, abr. 2005.
- THOMAS, N.; HENDRIX, C.; CONGALTON, R.G. A Comparison of urban mapping methods using high-resolution digital imagery. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, Ithaca, v. 69, n. 9, p. 963-972, Sept. 2003.
- TOOKE, T.R.; COOPS, N.C.; GOODWIN, N.R.; VOOGT, J.A. Extracting urban vegetation characteristic using spectral mixture analysis and decision tree classifications. **Remote Sensing of Environment**, Philadelphia, v. 113, n. 2, p. 398-407, Feb. 2009.
- TRIMBLE. **eCognition Software.** 2003. Disponível em: http://www.ecognition.com/>. Acesso em: 12 nov. 2013.
- WEIER, J.; HERRING, D. **Measuring vegetation.** NASA Earth Observatory, 2000. Disponível em: http://earthobservatory.nasa.gov/Features/MeasuringVegetation/. Acesso em: 28 set. 2013.
- ZAR, J.H. Multiple comparisons. In: _____. **Biostatistical analysis.** 5th ed. New Jersey: Prentice-Hall, 2010. chap. 10, p. 226-244.

ZHA, Y; GAO, J.; NI, S. Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. **International Journal of Remote Sensing**, Nottingham, v. 24, n. 3, p. 583-594, Feb. 2003.

3 TAMANHO DE AMOSTRA E DE UNIDADES AMOSTRAIS NA AMOSTRAGEM SISTEMÁTICA SIMPLES E ESTRATIFICADA DE POPULAÇÕES DE ÁRVORES DE RUA

Resumo

O inventário de populações de árvores de rua adquire nova importância com o reconhecimento dos serviços ambientais fornecidos por essa vegetação, os quais são indispensáveis para o bem-estar da sociedade e para conservação ambiental. Em vista disso, os objetivos deste capítulo foram: i. comparar os métodos de amostragem sistemática simples e amostragem sistemática estratificada quanto à suficiência amostral e ao uso de diferentes formas e tamanhos de unidades amostrais para estimativa das variáveis de interesse: densidade em número de indivíduos por quilômetro de calçada (D_F) , densidade em área basal por quilômetro de calçada (D_G) , altura total média (\overline{H}_t) , densidade em volume por quilômetro de calçada (D_V) , densidade em número de espécies por quilômetro de calçada (D_E) ; ii. caracterizar a população de árvores de rua por meio dos dados do inventário florestal. Para tanto, na área densamente urbanizada do perímetro urbano de Piracicaba – SP (Brasil), foram amostrados sistematicamente 90 conjuntos de 4 quarteirões, que originaram 4 unidades amostrais diferentes representadas por: 1 quarteirão, 2 quarteirões, 3 quarteirões, e 4 quarteirões. Nas unidades amostrais, os indivíduos com CAP ≥ 12 cm plantados em calçada e canteiro central foram levantados. A estratificação da área de estudo foi baseada na porcentagem de cobertura de árvore de rua obtida por mapeamento em imagem de satélite Worldview II (resolução espacial de 0,5 m). Por meio da redução no Esforço amostral (n_e) , observou-se que a amostragem sistemática estratificada foi mais eficiente que a amostragem sistemática simples, especialmente para D_F , D_G e D_V . Em relação à \overline{H}_t e D_E , essa redução foi menos expressiva. O aumento no tamanho da unidade amostral também provocou redução no Esforço amostral, porém houve aumento na Intensidade de Amostragem ($I_{\%}$). Estima-se que há 60.146 indivíduos na área de estudo, pertencentes a 165 espécies, 122 gêneros e 53 famílias. Apenas 16 % das espécies e 16 % dos indivíduos são nativas da região de Piracicaba. As árvores de grande porte representam 49 % dos indivíduos da população e 84 % volume total, assim quando se visa o fornecimento de serviços ambientais, seu cultivo demonstra ser mais adequados do que de indivíduos com outros hábitos.

Palavras-chave: Árvores de rua; Inventário por amostragem; Forma e tamanho de unidade amostral; Mapeamento de cobertura de árvores de rua

Abstract

The inventory of street trees populations acquires new importance with the recognition of the ecosystems services provided by this vegetation, which are indispensable to the welfare and environmental conservation. Thus, the objectives of this chapter are: i. to compare the methods of simple systematic sampling and stratified systematic sampling about the sample size and the use of different shapes and sizes of sample units to estimate the variables of interest: number of individuals per kilometer of sidewalk (D_F) , basal area per kilometer of sidewalk (D_G) , average total height (\overline{H}_t) , volume per kilometer of sidewalk (D_V) , number of species per kilometer of sidewalk (D_E) ; ii. to characterize the street trees population by forest

inventory data. For this, in the densely urbanized area of the urban perimeter of Piracicaba - SP (Brazil), 90 sets of 4 blocks were systematically sampled and they originated 4 different sampling units represented by: 1 block, 2 blocks, 3 blocks, and 4 blocks. In the sample units, individuals planted in sidewalk and greenway with CBH \geq 12 cm were recorded. The stratification of study area was based on the street tree cover (%) obtained by mapping Worldview II satellite image (0.5 m spatial resolution). Through reduction in the sample size (n_e) , it was observed that the stratified systematic sampling was more efficient than simple systematic sampling, especially for D_F , D_G and D_V . Regarding \overline{H}_t and D_E , the reduction was less pronounced. The increase of sample unit size also caused reduction in sample size, but there was increase in sample intensity ($I_{\%}$). It is estimated that there are 60,146 individuals in the study area, of 165 species, 122 genera and 53 families. Only 16 % of the species and 16% of individuals are native from region of Piracicaba. The large trees represent 49% of individuals in the population and 84% of the total volume, so when it aims to provide ecosystems services, their yield proves to be more suitable than other habits of individuals.

Keywords: Street trees; Sampling inventory; Shape and size of sample units; Mapping street tree cover

3.1 Introdução

As árvores de rua ocupam um espaço e desempenham funções diferentes de qualquer outra vegetação plantada nos centros urbanos, sendo muitos os benefícios que propiciam sobre aspectos psicológicos, sociais e econômicos, contribuindo para a qualidade de vida dos moradores e visitantes das cidades. As ruas arborizadas atuam diretamente sobre a revitalização da paisagem e a hospitalidade da cidade, e embora constituam apenas uma pequena fração das áreas verdes urbanas, são dentre elas as mais acessível para boa parte dos cidadãos de renda baixa e média (HEYNEN; PERKINS; ROY, 2006). É reconhecida a economia com saúde, energia elétrica e infraestrutura devida aos serviços ambientais como purificação do ar, conforto térmico, redução das ilhas de calor e diminuição das enxurradas prestados pela vegetação urbana, da qual as árvores de rua se destacam pela distribuição e pela proximidade das pessoas e do tráfico de automóveis (CHOW; ROTH, 2006; MACO; McPHERSON, 2003; BECKETT; FREER-SMITH; TAYLOR, 2000). Os benefícios ecológicos que trazem são também significativos, uma vez que as ruas arborizadas funcionam como conectores da paisagem e habitat para pássaros e outros animais, participando na conservação da biodiversidade (FERNANDEZ-JURICIC, 2000). Podem também representar um estoque de carbono considerável e permanente, portanto serem incorporadas às políticas de mitigação e adaptação às mudanças climáticas (MacFARLANE, 2009).

Apesar de todos os benefícios que propiciam, as árvores de rua são muitas vezes pouco valorizadas e pobremente manejadas, sofrendo com solos inóspitos, podas inadequadas

e falta de espaço para crescer, além de serem sacrificadas negligentemente em prol do desenvolvimento da infraestrutura urbana (WARE, 1994; JIM, 1999; THAIUTSA et al., 2008; NAGENDRA; GOPAL, 2010). Torna-se assim imperativo o estudo das populações de árvores de rua e de seus serviços ambientais, para o qual o inventário florestal é uma ferramenta primária.

Sabe-se que a abrangência, as variáveis de interesse, a precisão e o método do inventário florestal são determinados pelos objetivos e limitados pelos recursos financeiros e pelo tempo, também podem ser influenciados por características específicas da área e da população. No caso de populações de árvores de rua, o inventário por amostragem pode fornecer informações adequadas a muitos projetos, além de ser executado com menores custos que o inventário por censo. A amostra é suficiente para a visão geral dos aspectos da população, apesar de não se obterem dados específicos de todos os indivíduos (GREY; DENEKE, 1986; MILLER, 1996).

Uma vez que a distribuição e a composição da população de árvores de rua são influenciadas por diversos fatores como grau de urbanização, zoneamento, infraestrutura viária, investimento e manejo municipal, afinidade por vegetação e grau educacional dos moradores (COSTA, 2004; NAGENDRA; GOPAL, 2010; VIANA, 2013), deverão ocorrer regiões mais arborizadas que outras ao longo do perímetro urbano, portanto as variáveis de interesse certamente apresentarão distribuição espacial agrupada. Neste contexto, a amostragem sistemática se apresenta como um processo adequado para a seleção da amostra, pois as unidades amostrais estarão uniformemente espaçadas na área e deverão ser mais representativas da população que uma amostra aleatória, além de sua localização ser facilitada. Por outro lado, existindo diferenças marcantes entre regiões da população, a estratificação da área em subpopulações consideradas homogêneas permitirá a estimativa precisa de parâmetros da população a partir de um menor esforço amostral (SHIVER; BORDER, 1996; AVERY; BURKHART, 1983).

Nos inventários por amostragem de populações de árvores de rua, as variáveis de interesse são usualmente definidas por unidade de comprimento de calçada. A unidade amostral é o quarteirão ou a rua, e via de regra, suas bordas são calçadas. São fáceis de alocar e consequentemente de se determinar quais indivíduos devem ser levantados. Nota-se que a unidade amostral com forma e tamanho ótimos seria aquela que fornecesse estimativas a partir de uma pequena variância (S^2) . O aumento do tamanho pode diminuir a variabilidade

entre unidades amostrais, porém implicará em maior custo de levantamento em unidade de tempo ou dinheiro e este custo só será compensado se houver redução suficiente do esforço amostral (SHIVER; BORDER, 1996; AVERY; BURKHART, 1983).

Nota-se que grande parte dos estudos que envolvem o levantamento de populações de árvores de rua se concentra principalmente no reconhecimento das espécies, distribuição diamétrica, condição fitossanitária e da relação com o espaço urbano. Devido à expansão da Ecologia Urbana e ao interesse nos serviços ambientais das árvores de rua, há demanda por pesquisas direcionadas à determinação de métodos de inventário eficientes para estimativa acurada de variáveis quantitativas antes pouco exploradas, tais como área de copa, volume, biomassa da população e das espécies que a compõem. São dados importantes para o manejo da população com a finalidade de potencializar os serviços que fornece.

3.1.1 Metodologias de inventário por amostragem de populações de árvores de rua

Segue abaixo a revisão de trabalhos a cerca de metodologia de inventário florestal de árvores de rua que auxiliaram na determinação dos objetivos deste capítulo:

Nagendra e Gopal (2010) levantaram a população de árvores de rua da região densamente urbanizada da cidade de Bangalore – Índia por meio da separação das vias por categoria de largura, sendo: largas – vias com mais de 24 m de largura; médias – de 12 a 24 m; e estreitas – abaixo de 12 m. Quadrados alternados de 1 km² foram selecionados sistematicamente e neles foi feita amostragem aleatória de um trecho de 200 m de cada categoria de via. Foi possível identificar diferenças significativas nas médias do número de árvores por quilômetro de via entre as três categorias, e também do DAP médio e da altura dos indivíduos das vias estreitas em comparação às demais. Os valores de desvio padrão mostram que houve acentuada variabilidade na amostra, cuja intensidade foi igual a 0,9 % do comprimento total das vias na área de estudo.

Alvarez et al. (2005) compararam a amostragem simples aleatória e a amostragem estratificada no bairro Santa Cecília em Piracicaba – SP para o levantamento da variável número de árvores por quilômetro de calçada. Quatro estratos foram definidos a partir da data inicial de ocupação de regiões do bairro. O aumento no erro amostral da amostra estratificada revela que a variável de estratificação não foi adequada para expressar as diferenças de distribuição da variável de interesse.

Meneghetti, Couto e Lima (2004) comparação o desempenho da amostragem sistemática simples e da amostragem sistemática estratificada na estimativa do número de árvores por quilômetro de calçada. A área de estudo foi composta por 5 bairros da orla marítima da cidade de Santos – SP, sendo cada bairro considerado um estrato, e a unidade amostral foi o quarteirão. Não houve ganho em eficiência com a estratificação por meio da divisão administrativa, assim recomendou-se a utilização da amostragem sistemática simples.

Tendo como área de estudo a cidade de São Carlos – SP, Rachid e Couto (1999) compararam a amostragem simples aleatória e a amostragem estratificada no levantamento das variáveis número de árvores por quilômetro de calçada e número de árvores por hectare. Obtiveram-se 5 estratos tendo o nível socioeconômico como variável de estratificação. A estratificação não promoveu redução no esforço amostral em relação à amostragem aleatória simples, pois o nível socioeconômico não teve influência sobre a distribuição do número de árvores de rua nos estratos. Recomendou-se usar a variável número de árvores por quilômetro de calçada por ser de fácil medição.

Michi e Couto (1996) compararam a amostragem por conglomerado de 3 quarteirões com a amostragem com probabilidade proporcional ao tamanho, pela qual as vias com maior comprimento tiveram maior probabilidade de serem selecionadas. Adotaram como área de estudo 3 bairros de Piracicaba – SP de níveis socioeconômicos diferentes, sendo cada um considerado um estrato. Ambos os métodos foram úteis para o levantamento do número de árvores por quilômetro de calçada, todavia o comprimento das vias selecionadas como unidades amostrais não foi apresentado e não há como identificar o método mais eficiente. O nível socioeconômico foi inadequado para estratificação, porém se observou que as vias comerciais e mistas apresentaram menor número de indivíduos que as residenciais.

A estratificação da população de árvores de rua por meio de variáveis sociopolíticas (nível socioeconômico, divisão administrativa, data de ocupação) não foi bem sucedida a ponto de se considerar vantajoso o uso da amostragem estratificada. Por outro lado, melhores resultados foram obtidos quando uma variável quantitativa foi adotada, no caso a largura da via. A estratificação por porcentagem de cobertura de árvore de rua é um procedimento para o qual não foram encontrados precedentes na literatura, no entanto parece coerente, uma vez que correlações positivas entre área de copa, diâmetro à altura do peito e altura total do indivíduo são continuamente observadas (LIBONI et al., 2010; TONINI; ARCO-VERDE, 2005; O'BRIEN et al., 1995; BRIX; MITCHELL, 1983; OLIVEIRA, 1982). Em relação ao

número de indivíduos, é esperado que muitos indivíduos ocupem maior área de copa do que poucos, a não ser que haja importantes diferenças quanto ao porte das espécies ou nos estágios de desenvolvimento.

3.1.2 Objetivos

Em vista do contexto e dos conceitos apresentados acima, os objetivos deste capítulo foram:

- Comparar os métodos de amostragem sistemática simples e amostragem sistemática estratificada, utilizando como variável de estratificação a porcentagem de cobertura de árvores de rua, para o inventário da população de árvores de rua da área densamente urbanizada do perímetro urbano de Piracicaba SP e estimativa das variáveis de interesse: densidade em número de árvores por quilômetro de calçada; densidade em área basal por quilômetro de calçada; altura total média; densidade em volume por quilômetro de calçada; densidade em número de espécies por quilômetro de calçada;
- Comparar o uso de unidades amostrais de formas e tamanhos diferentes, representados por 1 quarteirão, 2 quarteirões, 3 quarteirões e 4 quarteirões, no inventário por amostragem sistemática simples e amostragem sistemática estratificada;
- Caracterizar a população de árvores de rua inventariada por meio dos dados do inventário florestal.

3.2 Material e métodos

3.2.1 Área de estudo

A área de estudo abrange a região intensamente urbanizada do perímetro urbano de Piracicaba – SP (221,07 km²), delimitado pela Prefeitura Municipal em 2011. No perímetro urbano foram incluídas áreas para a expansão imobiliária, assim seus limites extremos passaram a estar nas latitudes 22°38′05" S e 22°49′38" S e longitudes 47°30′06" O e 47°47′52" O; a elevação média do terreno é de 554 m em relação ao nível do mar. O clima da região é do tipo Cwa de acordo com a classificação de Köppen, caracterizado por temperatura média anual mínima de 14,8 C° e máxima de 28,2 C°, e por precipitação média de 1.328,1

mm por ano. No verão, entre dezembro e fevereiro, ocorrem as maiores precipitações, que acumulam mais de 625 mm. Enquanto que durante a estiagem de inverno, entre junho e agosto, chove menos de 105 mm (CENTRO DE PESQUISAS METEOROLÓGICAS E CLIMÁTICAS APLICADAS À AGRICULTURA, 2013). Os tipos de solo predominantes são o neossolo litólico e o podzólico vermelho-escuro (OLIVEIRA et al., 1999). Os biomas da região de Piracicaba são: Floresta Estacional Semidecidual (aluvial e não aluvial), Floresta Paludosa, Floresta Estacional Decidual e diversas fisionomias de Cerrados (RODRIGUES, 1999).

Para delimitação da área de estudo, foi utilizada uma imagem do perímetro urbano capturada em 22 de abril de 2011 pelo satélite WorldView II (resolução espacial de 0,5 m) composta pelas bandas do vermelho (*R*), verde (*G*), azul (*B*) e infravermelho próximo (*NIR*), fusionada, georreferenciada para *WGS 1984 datum* e sistema de coordenadas *Universal Transversal Mercartor* (*UTM*) Zona 23 Sul, e ortorretificada. Uma grade georreferenciada com quadrículas de 0,74 km² (861,5 x 861,5 m) foi disposta sobre a imagem do perímetro urbano. Foram selecionadas as quadrículas que apresentassem cerca de metade da área urbanizada e formassem uma área contínua; totalizaram-se 90 quadrículas (66,8 km²) referentes a 30,2 % do perímetro urbano. Os 69,8 % restantes foram constituídos por algumas ocupações distantes da mancha urbana principal e predominantemente por vazios urbanos (Figura 3.1).

3.2.2 Métodos de amostragem

3.2.2.1 Amostragem sistemática simples

A amostragem sistemática simples foi realizada tendo como referência as 90 quadrículas da área de estudo. Foi utilizada uma rede de pontos para marcar o centro das quadrículas e cada ponto serviu para localizar o conjunto mais próximo de quatro quarteirões, dispostos preferencialmente em torno de uma encruzilhada, que não contivessem praças ou parques. Quatro amostras foram estabelecidas por meio de diferentes configurações da unidade amostral, representadas por: 1 quarteirão, 2 quarteirões, 3 quarteirões e 4 quarteirões. O número total de quarteirões na área foi 3.759, portanto a intensidade das amostras por tipo de unidade amostral foi respectivamente: 2,4 %; 4,8 %; 7,2 %; 9,6 %.

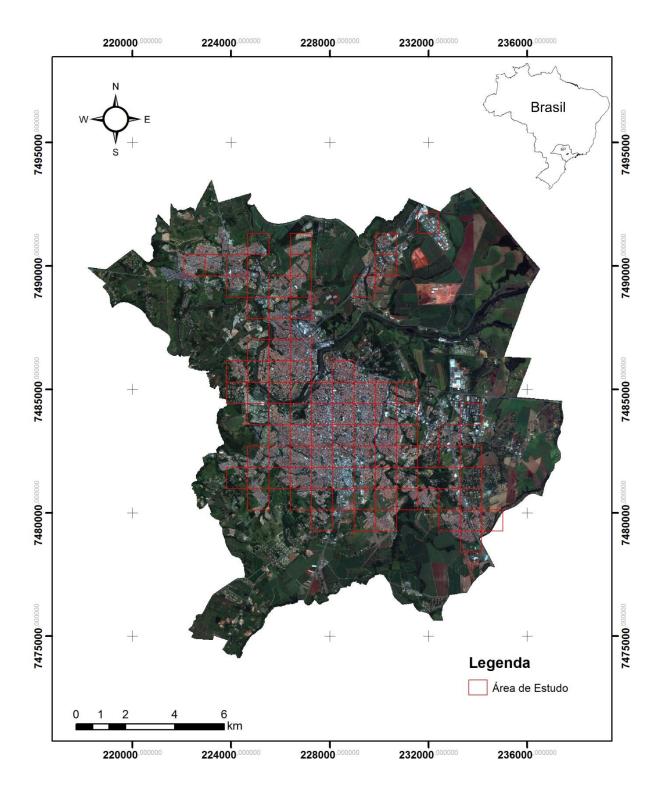


Figura 3.1 – Área de estudo (66,8 km²): referente à área densamente urbanizada do perímetro urbano de Piracicaba – SP, Brasil

Scheaffer et al. (1990) demonstraram que os estimadores da amostragem aleatória simples são válidos para a amostragem sistemática simples para todos os tipos de população,

exceto populações periódicas. Dessa forma, a suficiência amostral da amostragem sistemática simples foi determinada para cada amostra por meio dos estimadores da amostragem aleatória simples para populações finitas, descritos de acordo com Shiver e Bruce (1996):

• Média da amostra (\bar{x}) :

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} x_i \tag{3.11}$$

• Variância da amostra (S^2):

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})^2}{n - 1} \tag{3.12}$$

• Coeficiente de variação (*CV*):

$$CV(\%) = \frac{\sqrt{S^2}}{\bar{x}} * 100 \tag{3.13}$$

• Variância da média $(S_{\bar{x}}^2)$:

$$S_{\bar{x}}^2 = \frac{S^2}{n} \binom{N-n}{N} \tag{3.14}$$

• Erro padrão da média $(S_{\bar{x}})$:

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{S_{\bar{x}}^2} \tag{3.15}$$

• Intervalo de confiança da média (*IC*):

$$IC = \bar{x} \pm t_{\alpha} * S_{\bar{x}} \tag{3.16}$$

• Esforço amostral (n_e) :

$$n_e = \frac{t_{\alpha}^2 * CV^2}{(E/100)^2 * N + t_{\alpha}^2 * CV^2}$$
 (3.17)

• Intensidade de Amostragem (*I*):

$$I_{\%} = \frac{n_e}{N} * 100 \tag{3.18}$$

Onde: x é o valor observado da variável de interesse na unidade amostral; i é o contador de observações; n é o número de unidades amostrais da amostra; N é o número de unidades amostrais da população; t é o valor de t de Student para α ; $1-\alpha$ é a probabilidade do intervalo de confiança conter a média paramétrica.

O Esforço amostral (n_e) foi determinado para 95 % e 90 % de probabilidade do intervalo de confiança conter a média paramétrica ($\alpha = 0.05$ e $\alpha = 0.1$, respectivamente) com erro admissível $(E_{\%})$ de 10 %, 15 % e 20 %.

3.2.2.2 Amostragem sistemática estratificada

3.2.2.2.1 Estratificação da área de estudo por porcentagem de cobertura de árvores de rua

A área de estudo foi estratificada de acordo com a porcentagem de cobertura de árvores de rua das quadrículas. Primeiramente, a área considerada urbanizada foi selecionada, utilizando-se o *software* ArcGIS 9.3 para vetorizar e excluir na imagem: vazios urbanos – correspondentes às áreas não urbanizadas; novos loteamentos – pois apesar de possuírem infraestrutura urbana, não apresentam arborização de rua consolidada; áreas de exploração mineral e agrícola – geralmente são muito maiores que um quarteirão e estão em áreas industriais e da periferia da cidade; matas ciliares e rios – por serem áreas protegidas que podem ocupar grandes extensões, a exemplo do Rio Piracicaba. Estas áreas foram calculadas e subtraídas das quadrículas.

Posteriormente, foi obtida a área ocupada pela cobertura de árvores de rua. Para tanto, mais uma vez foi utilizado o *software* ArcGIS 9.3 para se vetorizar e excluir da imagem: os quarteirões – eliminando a vegetação dos quintais para deixar apenas as calçadas; parques e praças - inclusive suas calçadas, pois geralmente possuem mais indivíduos que as dos demais quarteirões. Por fim obteve-se um *shape* contendo apenas ruas e calçadas com a vegetação de interesse. A Classificação Automática Supervisionada executada no *software* Multispec 3.3 foi utilizada para mapeamento das seguintes classes de cobertura do solo: cobertura de árvores de rua, asfalto, e solo exposto. Em cada quadrícula, foi obtida a área de cobertura de árvores de rua e dividida pela área urbanizada da quadrícula para cálculo da porcentagem de cobertura de árvores de rua.

Para possibilitar a identificação dos estratos da área de estudo, as quadrículas foram separadas de acordo com classes de porcentagem de cobertura de árvores de rua: 1% - 2%; 2% - 3%; 3% - 4%; 4% - 5%; 5% - 6%; 6% - 7%; 7% - 8%; 8% - 9%; 9% - 12% (Figura 3.2.a). As quadrículas foram divididas em dois estratos, de forma que as que possuíssem porcentagem de cobertura de árvores de rua acima de 5% estivessem predominantemente no Estrato 1% e abaixo de 1% no Estrato 1%, levando em consideração a continuidade do estrato. As quadrículas com porcentagem de cobertura entre 1% continuidade do estrato. As quadrículas com porcentagem de cobertura entre 1% continuidade do estratos de acordo com a estratificação das quadrículas vizinhas (Figura 3.2.b).

3.2.2.2 Estimadores da amostra estratificada

Após a estratificação da área de estudo por porcentagem de cobertura de árvores de rua, foram utilizados, sobre as quatro amostras formadas pelas diferentes unidades amostrais, os seguintes estimadores da amostragem estratificada para populações finitas, descritos de acordo com Shiver e Bruce (1996):

• Média por Estrato h (\bar{x}_h):

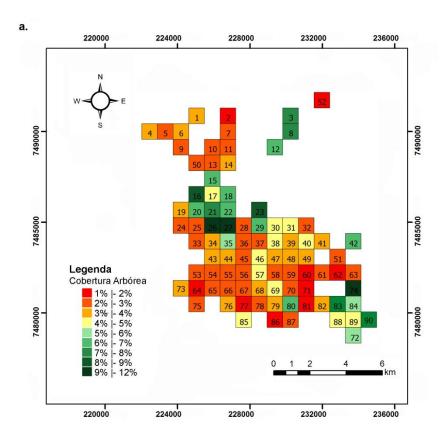
$$\bar{x}_h = \frac{1}{n_h} \sum_{i=1}^{n_h} x_{h,i} \tag{3.19}$$

• Variância por Estrato h $(S_{x_h}^2)$:

$$S_{x_h}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_{h,i} - \bar{x}_h)^2}{n_h - 1}$$
 (3.20)

• Coeficiente de variação por Estrato h (CV_{x_h}):

$$CV_{x_h}(\%) = \frac{\sqrt{S_{x_h}^2}}{\bar{x}} * 100$$
 (3.21)



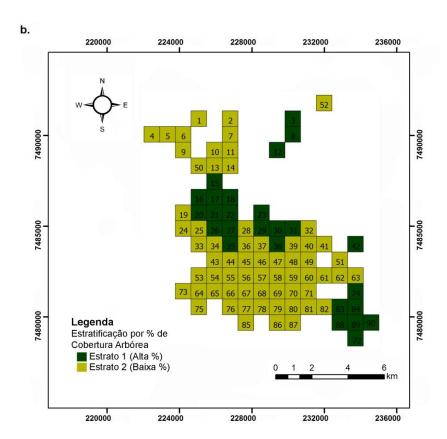


Figura 3.2 – Estratificação da área de estudo: a. Quadrículas identificadas por classe de porcentagem de cobertura de árvores de rua; b. Estratificação das quadrículas de acordo com a porcentagem de cobertura de árvores de rua

• Variância da Média por Estrato h $(S_{\bar{x}_h}^2)$:

$$S_{\bar{x}_h}^2 = \frac{S_{x_h}^2}{n_h} * \left(\frac{N_h - n_h}{N_h}\right) \tag{3.22}$$

• Variância da Média da Amostra Estratificada $(S_{\bar{\chi}_{qe}}^2)$:

$$S_{\bar{x}_{ae}}^2 = \sum_{h=1}^{L} \left(\frac{N_h}{N}\right)^2 S_{\bar{x}_h}^2$$
 (3.23)

• Erro padrão da Média da Amostra Estratificada ($S_{\bar{x}_{ae}}$):

$$S_{\bar{x}_{ae}} = \sqrt{S_{\bar{x}_{ae}}^2} \tag{3.24}$$

• Limite do erro admissível pela média (B_M) :

$$B_M = \left(\frac{E}{100} * \bar{x}_{ae}\right) \tag{3.25}$$

• Intervalo de confiança da Média (*IC*):

$$IC = \bar{x}_{ae} \pm t_{\alpha} * S_{\bar{x}_{ae}} \tag{3.26}$$

• Esforço amostral (n_e) :

$$n_e = \frac{4\sum_{h=1}^{L} \frac{N_h^2 S_{\chi_h}^2}{w_h}}{B_M^2 N^2}$$
 (3.27)

• Intensidade de Amostragem (*I*):

$$I_{\%} = \frac{n_e}{N} * 100 \tag{3.28}$$

Onde: $x_{h,i}$ é o valor da variável de interesse na unidade amostral do estrato h; n_h é o número de unidade amostrais da amostra no estrato h; N_h é o número de unidades amostrais no estrato h; N é o número de unidades amostrais na área; L é o número de estratos; t é o valor de t de Student para α ; $1 - \alpha$ é a probabilidade do intervalo de confiança conter a média paramétrica.

Assim como na amostragem sistemática simples, o Esforço amostral (n_e) foi determinado para 95 % e 90 % de probabilidade do intervalo de confiança conter a média paramétrica ($\alpha=0.05$ e $\alpha=0.1$, respectivamente) com erro admissível ($E_{\%}$) de 10 %, 15 % e 20 %.

3.2.3 Coleta de dados e variáveis de interesse

Para cálculo das variáveis de interesse, entre os meses de fevereiro e maio de 2013, foram coletados dados dos indivíduos com CAP ≥ 12 cm das unidades amostrais, plantados nas calçadas e nos canteiros centrais com até 3,0 m de largura (canteiros centrais maiores foram considerados como praças). Os dados foram armazenados em campo em planilha do *software* Microsoft Excel 2010 com o uso de Tablet Acer Iconia W500, sendo eles:

- Localização: para localização do indivíduo foi atribuído um número para unidade amostral, um número para o quarteirão e um número para o indivíduo em ordem de ocorrência no quarteirão e foi registrado o nome da rua em que se encontrava;
- Espécie: a identificação botânica da espécie foi realizada em campo e quando não foi possível, foi coletado material botânico (galho preferencialmente com flores e/ou frutos) com tesoura de poda e herborizado para a identificação com auxílio de um especialista em taxonomia vegetal, por meio de comparação com exsicatas do herbário ESA (USP/ESALQ, Piracicaba – SP) ou consulta a obras bibliográficas e a revisões específicas;
- Circunferência a altura do peito (*CAP*, cm): mensurada do fuste do indivíduo a 1,30 m do solo com trena de 10 m e 0,1 cm de precisão, enquanto que em indivíduos bifurcados abaixo de 1,30 m foram medidos todos os galhos com CAP ≥ 12 cm;
- Altura total do indivíduo (H_t, m): altura da base até o topo do indivíduo, mensurada com hipsômetro Haglof Vertex IV, cujo erro de medição pode chegar a 0,3 m (VASILESCU, 2013);
- Altura da primeira bifurcação do indivíduo (H_b, m): altura da base até a primeira bifurcação do fuste do indivíduo, mensurada também com hipsômetro Haglof Vertex IV.

A partir dos dados coletados, foram calculados para cada indivíduo:

• Área seccional (G, em m²):

$$G = \sum_{i=1}^{g} \frac{\pi}{4} * DAP_i^2$$
 (3.29)

$$DAP = \frac{CAP}{\pi} \tag{3.30}$$

• Diâmetro correspondente à altura do peito (DAP_c , em cm):

$$DAP_c = \left(\sqrt{\frac{4}{\pi} * G}\right) * 100 \tag{3.31}$$

• Volume $(V, \text{ em m}^3)$:

$$V = H_t * G * f_c \tag{3.32}$$

Onde: g é a área seccional do fuste ou de cada galho do indivíduo, em m²; DAP é o diâmetro a altura do peito do fuste ou do galho, em m; CAP é a circunferência a altura do peito do fuste ou do galho, em m; H_t é a altura total do indivíduo, em m; f_c é o fator de correção de forma (igual a 0,5178 conforme item 3.2.4).

O perímetro dos quarteirões foi mensurado (em m) a partir das guias das calçadas com trena de roda digital LEE Tolls para leitura de até 10.000 m com 0,1 m de precisão. As espécies foram separadas em família e classificadas quanto ao hábito comum em área urbana como: arbusto – planta lenhosa com ramificações desde o colo, que pode ser podada em forma de arvoreta e alcança cerca de 4 m de altura; árvore de pequeno porte – atinge cerca de 6 m de altura; árvore de grande porte – pode alcançar 10 m de altura ou mais; palmeira – cujo caule é estipe. As espécies também foram classificadas quanto à origem como: nativa da região de Piracicaba, exótica do Estado de São Paulo e exótica do Brasil.

Após coleta, foi realizada a análise exploratória dos dados para se averiguar erros de entrada de dados e de medição e a presença de *outliers*, e para se observar a distribuição de frequência das variáveis. Para tanto foi contada a frequência das variáveis qualitativas

(espécie, família, hábito e origem) e avaliadas as principais medidas de posição e de dispersão, o gráfico *boxplot* e o histograma das variáveis dendrométricas (diâmetro correspondente à altura do peito $-DAP_c$, e altura total $-H_t$). Foi utilizado o *software* estatístico R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2013).

A partir dos dados obtidos, as variáveis de interesse determinadas para cada unidade amostral foram:

• Densidade em número de indivíduos por quilômetro de calçada (D_F , em u/km):

$$D_F = \frac{f}{R} \tag{3.33}$$

• Densidade em área basal por quilômetro de calçada (D_G , em m²/km):

$$D_G = \frac{\sum_{i=1}^{f} G_i}{P} \tag{3.34}$$

• Altura total média (\overline{H}_t , em m):

$$\overline{H}_t = \frac{\sum_{i=1}^f H_{t_i}}{f} \tag{3.35}$$

• Densidade em volume por quilômetro de calçada (D_V , em m³/km):

$$D_V = \frac{\sum_{i=1}^f V_i}{P}$$
 (3.36)

• Densidade em número de espécies por quilômetro de calçada (D_E , em u/km):

$$D_E = \frac{e}{P} \tag{3.37}$$

Onde: f é o número de indivíduos na unidade amostral, em u; P é o perímetro da unidade amostral, em km; G é a área seccional do indivíduo, em m^2 ; i é o contador de indivíduos; H_t é a altura total do indivíduo, em m; V é o volume do indivíduo, em m^3 ; e é o número de espécies na unidade amostral, em u.

3.2.4 Determinação do fator de correção de forma

Para se estabelecer o fator de correção de forma (f_c) para a população de árvores de rua levantada foram reconhecidas as 10 espécies de maior frequência, que representaram 56,6 % dos indivíduos. Foram elas: *Murraya paniculata* (L.) Jack, *Licania tomentosa* (Benth.) Fritsch., *Poincianella pluviosa* (DC.) L.P.Queiroz, *Lagerstroemia indica* L., *Schinus molle* L., *Magnolia champaca* L., *Handroanthus chrysotrichus* (Mart. ex DC.) Mattos, *Syagrus romanzoffiana* (Cham.) Glassman., *Calistemon viminalis* G. Don ex Loud., *Terminalia catappa* L.

Para cada espécie, foi obtida a amplitude de área seccional e os indivíduos foram divididos em três classes. Dentro de cada classe foram sorteados aleatoriamente 2 indivíduos cujo fuste bifurcasse acima de 1,30 m. Para *L. tomentosa* foram admitidos indivíduos com bifurcação abaixo de 1,30 m por ser característica do hábito da espécie na área urbana estudada.

Os indivíduos selecionados foram cubados em pé com uso do dendrômetro eletrônico Criterium RD 1000 (Laser Technology, Inc., USA), que fornece estimativas de altura e diâmetro ao longo do fuste com precisão de até 0,635 cm (LASER TECHNOLOGY, 2014). O fuste principal foi medido até que apresentasse 5 cm de diâmetro ou que surgisse algum impedimento à medição, como folhas da copa ou numerosas bifurcações. O volume real do indivíduo foi calculado pela Fórmula de Smalian utilizada de acordo com Husch, Beers e Kershaw Jr. (2002), os quais afirmam ser necessário, para se obter boa precisão, medir os diâmetros a partir do solo a 0,1 m, 0,3 m, 0,7 m, 1,3 m e posteriormente a intervalos de 1 m. Por fim, o fator de correção de forma (f_c) foi estabelecido pela seguinte fórmula:

$$f_c = \frac{\sum_{i=1}^{60} \frac{v_{r_i}}{v_{c_i}}}{60} \tag{3.38}$$

$$V_c = G * H_t \tag{3.39}$$

Onde: f_c é o fator de correção de forma; V_r é o volume real do indivíduo obtido por Smalian, em m³; V_c é o volume cilíndrico do indivíduo, em m³; G é a área seccional do indivíduo, em m²; H_t é a altura total do indivíduo, em m; 60 é o número de indivíduos cubados (6 indivíduos vezes 10 espécies).

3.3 Resultados e Discussão

3.3.1 Análise exploratória dos dados

A área de estudo englobou áreas residenciais, comerciais e industriais de ocupação antiga e recente do perímetro urbano de Piracicaba, SP (Brasil). Foram amostrados 5.744 indivíduos em 360 quarteirões, que correspondem a 9,6 % do número total de 3.759 quarteirões na área de estudo. O ANEXO A apresenta a frequência dos indivíduos por espécie, o hábito, a origem e um nome popular das espécies, e o ANEXO B a frequência dos indivíduos por família. Foram identificadas 165 espécies pertencentes a 122 gêneros e a 53 famílias. Quatorze espécies que somaram 126 indivíduos foram identificadas apenas quanto ao gênero e 2 indivíduos não foram identificados.

A Figura 3.3 apresenta os diagramas de caixa (boxplots) das variáveis dendrométricas dos indivíduos: diâmetro correspondente à altura do peito (DAP_c) e altura total (H_t). Os valores extremos são destacados nos boxplots pelos pontos, se originam dos maiores indivíduos e são consistentes, apesar de provocarem o achatamento da caixa. Sendo assim, nenhum dado foi identificado como outlier.

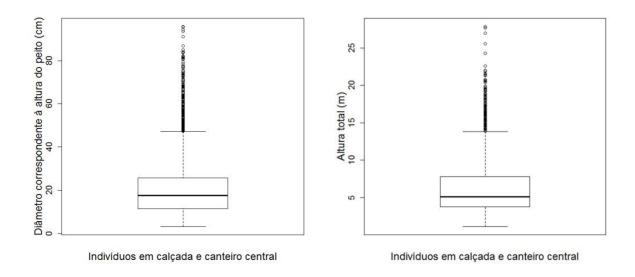


Figura 3.3 – *Boxplot* das variáveis dendrométricas dos indivíduos amostrados: diâmetro correspondente à altura do peito (cm); altura total (m)

Na Tabela 3.1 estão as principais medidas de posição e dispersão das variáveis dendrométricas. Observa-se que as médias (21,04 cm de DAP_c e 6,2 m de H_t) e as medianas (17,5 cm de DAP_c e 5,1 m de H_t) são valores atribuíveis a árvores de pequeno porte. O 1°

quartil (11,46 cm de DAP_c e 3,75 m de H_t) apresenta valores associados a arbustos, enquanto os valores do 3º quartil (25,79 cm de DAP_c e 7,8 m de H_t) representam árvores de grande porte em desenvolvimento.

Tabela 3.1 – Principais medidas de posição e dispersão das variáveis dendrométricas dos indivíduos amostrados: diâmetro correspondente à altura do peito (DAP_c) e altura total (H_t) .

Variável	f = 5.744 indivíduos											
v arraver	\bar{x}	med	mín	$1^{o}q$	$3^{o}q$	máx	S	CV(%)				
DAP_c (cm)	21,04	17,51	3,82	11,46	25,79	95,81	13,71	65,16				
H_t (m)	6,20	5,10	1,50	3,75	7,80	27,90	3,45	55,59				

Onde: f é o número total de indivíduos, \bar{x} é a média, med é a mediana, min é o valor mínimo observado, l^oq é o primeiro quartil, l^oq é o terceiro quartil, l^oq é o valor máximo observado, l^oq é o desvio padrão, l^oq é o coeficiente de variação

Na Figura 3.4 estão os histogramas das variáveis dendrométricas, que apresentaram distribuição Weibull com parâmetros de forma e escala respectivamente iguais a 1,67 e 0,24 para DAP_c , e a 1,94 e 7,03 para H_t . Na distribuição de diâmetros correspondentes à altura do peito, observa-se a presença de indivíduos jovens com até 10 cm de DAP_c , que estão nas duas primeiras classes do histograma (1.073 indivíduos ou 18,7 %). Os indivíduos que chegaram ao estágio reprodutivo se concentram nas classes entre 10 e 30 cm de DAP_c (3.620 indivíduos ou 63 %), são aqueles que possuem dimensões a partir das quais podem trazer benefícios consideráveis ao ambiente. As demais classes, entre 30 e 100 cm de DAP_c , englobam indivíduos plenamente desenvolvidos que atuam intensamente sobre a qualidade ambiental (1.050 indivíduos ou 18,3 %).

Quanto à distribuição de alturas totais, observa-se que 3.459 indivíduos (60,2%) possuem até 6 m de H_t , alturas atribuídas aos arbustos, árvores de pequeno porte e mudas; 1.521 indivíduos (26,5%) possuem entre 6 e 10 m de H_t e correspondem sobretudo às árvores de grande porte em desenvolvimento; enquanto 763 indivíduos (13,3%) têm de 10 a 28 m de H_t , considerados árvores de grande porte ou palmeiras bem desenvolvidas.

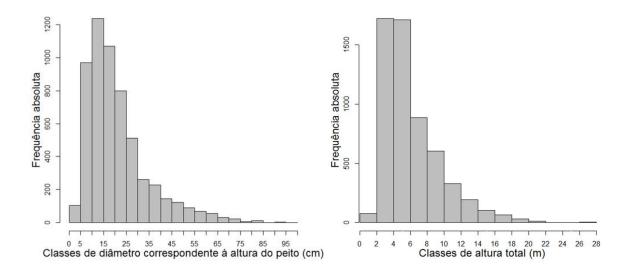


Figura 3.4 – Distribuição de frequência das variáveis dendrométricas dos indivíduos amostrados: diâmetro correspondente à altura do peito (cm) e altura total (m)

3.3.2 Comparação entre amostragem sistemática simples e estratificada

A escolha por métodos de amostragem sistemática se mostra apropriada para o inventário de populações de árvores de rua, uma vez que são usualmente utilizados em povoamentos florestais por propiciarem vantagens em relação à amostragem aleatória. Uma delas é a alocação das unidades amostrais a intervalos constantes, a partir de um determinado padrão espacial, o que facilita a sua localização. Além disso, é garantida a cobertura total da população, sem haver risco das unidades amostrais serem agrupadas em uma determinada região.

A principal dificuldade potencial da amostragem sistemática está associada à periodicidade da população, que pode ocorrer caso existam regiões heterogêneas na área. Evidentemente, só se manifestará se os intervalos entre as unidades amostrais coincidirem periodicamente com tais regiões. Nestas condições, as estimativas das variáveis de interesse serão incorretas e haverá subestimativa das variâncias, pois a amostra não se parecerá com a população. Por outro lado, em populações heterogêneas, a amostragem estratificada pode ser um processo mais eficiente, pois as estimativas serão produzidas separadamente para cada estrato ou subpopulação homogênea e posteriormente para toda população, resultando em erros padrões menores. É certo que a estratificação só trará bons resultados se os estratos estiverem bem definidos. Felizmente, para áreas em perímetro urbano, costumam existir informações disponíveis em mapas, imagens de sensoriamento remoto ou mesmo de

inventários anteriores, que podem auxiliar no reconhecimento de regiões diferenciadas na população de árvores de rua.

A partir do exposto, é possível compreender os resultados apresentados na Tabela 3.2 e Tabela 3.3, que foram obtidos a partir dos dados das unidades amostrais apresentados no ANEXO C e no ANEXO D. Primeiramente, verifica-se que ambos os métodos produziram estimativas semelhantes da média paramétrica da população (\bar{x}) para todas as variáveis de interesse (Tabela 3.2), portanto podem ser considerados úteis no inventário de populações de árvores de rua.

3.3.2.1 Variabilidade das variáveis de interesse

Ainda na Tabela 3.2, a variabilidade entre unidades amostrais pode ser avaliada por meio dos valores de coeficiente de variação ($CV_{\%}$) das amostras sistemáticas simples e das subamostras no Estrato 1 e no Estrato 2. Observa-se que a variável densidade em volume por quilômetro de calçada (D_V) foi aquela com maior variabilidade entre unidades amostras, representada pelos $CV_{\%}$ das amostras simples entre 144,07 % e 115,39 %, das subamostras no Estrato 1 entre 92,78 % e 77,44 % e das subamostras no Estrato 2 entre 98,55 % e 87,09 %. Esta variabilidade pode ser explicada pelo volume dos indivíduos ser calculado a partir da área seccional e da altura total, portanto são três dimensões espaciais que podem variar.

A densidade em área basal por quilômetro de calçada (D_G) expressa duas dimensões espaciais e é a segunda variável com maior variabilidade entre unidades amostrais com valores de $CV_{\%}$ entre 102,97 % e 81,54 % para as amostras simples, entre 81,20 % e 68,48 % para as subamostras no Estrato 1, entre 76,78 % e 55,93 % para as subamostras no Estrato 2.

A seguir vem a densidade em número de árvores por quilômetro de calçada (D_F) com $CV_{\%}$ entre 54,32 % e 40,40 % para as amostras simples, entre 42,54 % e 34,08 % para as subamostras no Estrato 1, entre 49,01 % e 35,94 % para as subamostras no Estrato 2. Como o número de árvores é um valor inteiro, que não expressa as características de cada indivíduo, essa variável de interesse apresenta menor variabilidade entre unidades amostras que as anteriores.

A densidade em número de espécies por quilômetro de calçada (D_E) apresentou valores de $CV_{\%}$ entre 41,23 % e 31,80 % para as amostras simples, entre 37,14 % e 30,92 %

para as subamostras no Estrato 1, entre 39,83 % e 30,72 % para as subamostras no Estrato 2. Apesar de ser a penúltima variável com menores $CV_{\%}$, a diversidade de espécies da arborização de rua foi bem diferente entre unidades amostrais, ocorrendo aquelas com nenhuma ou com até 41,5 espécies/km de calçada (vide ANEXO D).

A altura total média (\overline{H}_t) foi a variável com menor variabilidade entre unidades amostrais com $CV_{\%}$ entre 33,80 % e 21,73 % para as amostras simples, entre 32,00 % e 24,38 % para as subamostras no Estrato 1 e entre 31,34 % e 17,86 % para as subamostras no Estrato 2. Ocorre que a altura total dos indivíduos plantados em calçada sofre muitas diferenciações em relação ao bioma original da espécie, principalmente as espécies arbóreas. Basicamente é eliminada a competição lateral, a árvore passa a investir menos no crescimento em altura e dá preferência à formação de copa para absorção da luz. Além disso, as podas de rebaixamento para evitar o contato de galhos com a fiação aérea diminuem e homogeneízam a altura total dos indivíduos.

Simplificadamente pode-se dizer que quanto maior a variabilidade entre unidades amostrais, maior precisará ser o Esforço amostral (n_e) para que a amostra possa representar a população com uma determinada precisão, e consequentemente a Intensidade da amostragem $(I_{\%})$ (Tabela 3.3). Assim as variáveis de interesse seguiram a mesma ordem decrescente apresentada anteriormente quanto ao Esforço amostral e à Intensidade de amostragem: $D_V - n_e$ de 677 a 66 unidades amostrais e $I_{\%}$ de 23,5 a 1,8 %; $D_G - n_e$ de 378 a 34 unidades amostrais e $I_{\%}$ de 14,3 a 1,0 %; $D_F - n_e$ de 144 a 9 unidades amostrais e $I_{\%}$ de 4,2 a 0,3 %; $D_E - n_e$ de 66 a 7 unidades amostrais e $I_{\%}$ de 2,7 a 0,2 %; $\overline{H}_t - n_e$ de 45 a 3 unidades amostrais e $I_{\%}$ de 1,3 a 0,1 %.

3.3.2.2 Ganho de eficiência com a estratificação

Na comparação entre pares de amostra sistemática simples e amostra sistemática estratificada com unidades amostrais de mesmo tamanho e mesma precisão, os erros padrões da média $(S_{\bar{x}})$ das amostras sistemáticas simples foram maiores que os apresentados pelas amostras sistemáticas estratificadas, assim como os coeficientes de variação $(CV_{\%})$ das amostras sistemáticas simples foram maiores que das subamostras dos estratos (exceto para \overline{H}_t no Estrato 1, unidades amostrais com 2, 3 e 4 quarteirões). Ou seja, a variabilidade dentro dos estratos e, portanto, nas amostras estratificadas, foi menor que na população inteira e nas

amostras simples (Tabela 3.2). Como consequência e conforme apresentado na Tabela 3.3, a amostragem sistemática estratificada exigiu menor Esforço amostral (n_e) e menor Intensidade de amostragem ($I_{\%}$) para fornecer estimativas com determinado erro admissível ($E_{\%}$) e probabilidade do intervalo de confiança conter a média paramétrica ($1-\alpha$), portanto foi mais eficiente que a amostragem sistemática simples de acordo com esses critérios.

Sabe-se que quanto mais relacionadas estiverem a variável de interesse e a variável de estratificação e maior for a heterogeneidade entre estratos, melhor será o desempenho da amostragem estratificada. Diante disso, a estratificação por porcentagem de cobertura de árvore de rua proporcionou reduções no Esforço amostral (n_e) diferenciadas de acordo com a variável de interesse. Na Tabela 3.3, ainda entre pares de amostras, observa-se que o ganho em eficiência pela estratificação foi maior para variável de interesse densidade em volume por quilômetro de calçada (D_V) , seguida das variáveis densidade em área basal por quilômetro de calçada (D_F) , altura total média (\overline{H}_t) e densidade em número de espécies por quilômetro de calçada (D_E) .

A densidade em volume por quilômetro de calçada (D_V) apresentou o maior ganho em eficiência com a estratificação, com reduções no n_e de 16,3 % a 28 % e na $I_\%$ de 17,2 % a 27 %. A área seccional e da altura total são variáveis correlacionadas com a área de copa, que multiplicadas para a obtenção do volume potencializam a heterogeneidade entre estratos. Na sequência, a densidade em área basal por quilômetro de calçada (D_G), com reduções no n_e de 19,4 % a 26,9 % e na $I_\%$ de 18,9 % a 27,8 %, se destaca pela área seccional do indivíduo possuir as mesmas dimensões da área de copa, portanto são variáveis bem correlacionadas. Para a densidade em número de indivíduos por quilômetro de calçada (D_F) também se obteve bom ganho em eficiência, com reduções no n_e de 13,7 % a 25 % e na $I_\%$ de 9,1 % a 25 %. O menor ganho em relação às primeiras variáveis se associa à possibilidade de um maior número de pequenos indivíduos apresentar cobertura arbórea semelhante a um menor número de indivíduos grandes, assim a correlação entre número de indivíduos e área de copa diminui.

Já para a variável altura total média (\overline{H}_t), o ganho em eficiência não foi tão interesse, com reduções no n_e de 0 % a 16,7 % e na $I_\%$ de 0 % a 25 %, e conforme já explicado, devido à homogeneidade da altura total nas árvores de rua. Mesmo assim, o Estrato 2, com baixa % de cobertura de árvores de rua, foi mais homogêneo que a amostra simples, apesar do Estrato 1 não ser (exceto nas amostras com unidades amostrais de 1 quarteirão) (Tabela 3.2). Isso se

deve à maior parte dos indivíduos ser mantida com altura total próxima a 5,0 m (altura da fiação telefônica, que é a mais baixa) e apenas uma parcela pequena da população crescer acima de 9 m (altura da fiação elétrica primária, que é a mais alta), no caso 17,9 % dos indivíduos levantados. O menor ganho em eficiência foi para a densidade em número de espécies por quilômetro de calçada (D_E), com reduções no n_e de 0 % a 10,6 % e na $I_{\%}$ de 0 % a 25 %, pois praticamente a mesma composição de espécies está presente nos dois estratos, como é demonstrado pela semelhança entre as médias dos pares de amostra e pela proximidade entre as médias dos estratos (Tabela 3.2).

Tabela 3.2 – Estimadores da amostragem sistemática simples (A.S.S.) para amostra e da amostragem sistemática estratificada (A.S.E.) por estrato e para amostra estratificada, de acordo com as variáveis de interesse: densidade em indivíduos por quilômetro de calçada (D_F); densidade em área basal por quilômetro de calçada (D_G); altura média total (\overline{H}_t); densidade em volume por quilômetro de calçada (D_V); densidade em número de espécies por quilômetro de calçada (D_R).

			A.S.S.		A.S.	.E.		A.S.E.		A.S.E.			
	110	Amostra		Amo	stra	I	Estrato 1		Estrato 2				
	ua	\bar{x}	$S_{ar{x}}$	$CV_{\%}$	\bar{x}	$S_{ar{x}}$	\bar{x}	$S_{ar{x}}$	$\mathit{CV}_{\%}$	\bar{x}	$S_{ar{x}}$	$CV_{\%}$	
D	1	39,52	2,24	54,32	39,73	1,96	56,44	4,65	42,54	32,64	1,98	49,01	
D_F	2	37,52	1,77	45,84	37,66	1,62	48,96	3,42	36,46	32,87	1,79	44,64	
f	3	37,35	1,62	42,61	37,48	1,47	48,19	3,15	34,57	32,94	1,61	40,66	
km	4	37,44	1,52	40,40	37,58	1,34	64,39	4,10	34,08	32,83	1,40	35,94	
D	1	1,99	0,21	102,97	2,00	0,19	3,59	0,56	81,20	1,34	0,13	76,78	
D_G	2	1,80	0,16	87,62	1,81	0,14	3,14	0,41	68,28	1,25	0,10	63,75	
m^2	3	1,80	0,15	82,51	1,82	0,13	3,02	0,40	69,51	1,31	0,09	55,26	
km	4	1,84	0,15	81,54	1,85	0,13	3,06	0,39	68,48	1,34	0,09	55,93	
	1	5,91	0,21	33,80	5,92	0,19	7,01	0,43	32,00	5,46	0,21	31,34	
\overline{H}_t	2	5,93	0,16	26,67	5,93	0,15	6,95	0,41	30,52	5,51	0,13	19,29	
m	3	6,01	0,14	22,73	6,02	0,13	6,78	0,35	26,92	5,70	0,12	17,30	
	4	6,04	0,132	21,73	6,05	0,125	6,76	0,31	24,38	5,75	0,12	17,86	
D	1	11,20	1,68	144,07	11,37	1,48	24,67	4,71	98,55	6,05	0,66	92,78	
D_V	2	9,52	1,25	127,90	9,66	1,07	20,37	3,42	87,57	5,12	0,48	76,48	
$\frac{m^3}{m^3}$	3	9,49	1,15	119,21	9,61	1,01	19,04	3,19	88,57	5,62	0,47	69,62	
km	4	9,71	1,12	115,39	9,83	0,99	18,88	3,07	87,09	5,99	0,55	77,44	
	1	19,01	0,82	41,23	19,06	0,78	23,12	1,66	37,14	17,34	0,85	39,83	
D_E	2	15,16	0,60	38,60	15,19	0,59	17,55	1,28	38,08	14,19	0,64	36,85	
<u>e</u>	3	12,97	0,45	32,71	12,98	0,42	14,34	0,87	32,06	12,41	0,48	32,16	
km	4	11,66	0,37	31,80	11,67	0,36	13,18	0,78	30,92	11,03	0,40	30,72	

Onde: ua é a unidade amostral correspondente a 1 quarteirão, 2 quarteirões, 3 quarteirões e 4 quarteirões; Estrato 1 é aquele com alta % de cobertura de árvores de rua; Estrato 2 é aquele com baixa % de cobertura de árvores de rua; \bar{x} é a média; $S_{\bar{x}}$ é erro padrão da média; CV é o coeficiente de variação; f é o número de indivíduos; e é o número de espécies.

Tabela 3.3 – Intervalo de confiança (IC) da amostragem sistemática simples (A.S.S.) e da amostragem sistemática estratificada (A.S.E.) seguidos de Esforço amostral (n_e) e Intensidade de amostragem ($I_{\%}$) para um dado erro de amostragem desejado ($E_{\%}$) e probabilidade do intervalo de confiança conter a média paramétrica ($1-\alpha$).

		IC	$E_{\%}$	=10	$E_{\%}$	=15	$E_{\%}$	=20	. IC	$E_{\%}$	=10	<i>E</i> _% =15		E _% =20	
	ua	<i>a</i> ‰=5	n_e	$I_{\%}$	n_e	$I_{\%}$	n_e	$I_{\%}$	<i>α</i> _% =10	n_e	$I_{\%}$	n_e	$I_{\%}$	n_e	$I_{\%}$
	, 1	\bar{x} ±4,44	114	2,0	52	0,9	29	0,5	\bar{x} ±3,71	80	1,4	36	0,6	21	0,4
	$\frac{A}{s}$ 2	\bar{x} ±3,51	80	2,8	37	1,3	21	0,7	\bar{x} ±2,94	57	2,0	26	0,9	15	0,5
ъ	$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	\bar{x} ±3,21	68	3,6	32	1,7	18	0,9	\bar{x} ±2,68	49	2,6	22	1,1	13	0,7
D_F	s ₄	\bar{x} ±3,01	61	4,2	28	1,9	16	1,1	\bar{x} ±2,52	43	3,0	20	1,4	12	0,8
f	1	x=3,90	87	1,5	39	0,7	23	0,4	\bar{x} ±3,26	61	1,1	28	0,5	16	0,3
\overline{km}	$\frac{A}{c}$ 2	\bar{x} ±3,21	67	2,3	31	1,1	18	0,6	\bar{x} ±2,69	46	1,6	22	0,8	12	0,4
	$\begin{array}{ccc} S & 2 \\ E & 3 \end{array}$	\bar{x} ±2,92	57	3,0	26	1,4	15	0,8	\bar{x} ±2,44	40	2,1	19	1,0	11	0,6
	^E 4	\bar{x} ±2,68	49	3,4	22	1,5	13	0,9	\bar{x} ±2,24	35	2,4	16	1,1	9	0,6
	, 1	$\bar{x} \pm 0,42$	378	6,6	178	3,1	102	1,8	\bar{x} ±0,35	272	4,7	126	2,2	72	1,3
	$\begin{array}{ccc} A & 2 \\ S & 2 \end{array}$	\bar{x} ±0,32	262	9,1	126	4,4	73	2,5	\bar{x} ±0,27	191	6,7	90	3,1	52	1,8
D	$\begin{array}{ccc} \mathbf{S} & 3 \\ \mathbf{S} & 4 \end{array}$	\bar{x} ±0,30	222	11,6	110	5,7	64	3,3	$\bar{x} \pm 0,25$	164	8,6	79	4,1	46	2,4
D_G	4	\bar{x} ±0,30	206	14,3	104	7,2	62	4,3	\bar{x} ±0,25	154	10,7	75	5,2	44	3,1
m^2	1	\bar{x} ±0,38	301	5,2	140	2,4	81	1,4	\bar{x} ±0,32	216	3,8	99	1,7	57	1,0
\overline{km}	$\begin{array}{ccc} A & 2 \\ S & 2 \end{array}$	\bar{x} ±0,28	200	7,0	94	3,3	54	1,9	\bar{x} ±0,23	144	5,0	67	2,3	38	1,3
	E 3	\bar{x} ±0,26	177	9,2	85	4,4	50	2,6	\bar{x} ±0,22	129	6,7	61	3,2	35	1,8
	^L 4	\bar{x} ±0,26	166	11,6	82	5,7	48	3,3	\bar{x} ±0,22	121	8,4	59	4,1	34	2,4
	$A \frac{1}{2}$	\bar{x} ±0,41	45	0,8	20	0,3	12	0,2	\bar{x} ±0,35	32	0,6	14	0,2	8	0,1
	c 2	\bar{x} ±0,32	26	0,9	13	0,5	7	0,2	\bar{x} ±0,27	20	0,7	9	0,3	5	0,2
	$\begin{array}{ccc} \mathbf{S} & 3 \\ \mathbf{S} & 4 \end{array}$	\bar{x} ±0,28	21	1,1	9	0,5	6	0,3	\bar{x} ±0,23	15	0,8	7	0,4	4	0,2
\overline{H}_t	4	\bar{x} ±0,26	19	1,3	9	0,6	5	0,3	\bar{x} ±0,22	13	0,9	6	0,4	3	0,3
m	A_{2}^{1}	\bar{x} ±0,39	40	0,7	18	0,3	11	0,2	\bar{x} ±0,33	28	0,5	13	0,2	8	0,1
	\mathbf{c}^{-2}	\bar{x} ±0,30	24	0,8	11	0,4	7	0,2	$\bar{x} \pm 0,25$	17	0,6	8	0,3	5	0,2
	E 3	\bar{x} ±0,26	19	1,0	9	0,5	5	0,3	\bar{x} ±0,22	13	0,7	6	0,3	4	0,2
	4	$\bar{x} \pm 0,25$	17	1,2	8	0,6	5	0,3	\bar{x} ±0,21	12	0,8	6	0,4	3	0,2
	$A = \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \end{bmatrix}$	$\bar{x} \pm 3,34$	677	11,8	333	5,8	195	3,4	\bar{x} ±2,79	499	8,7	239	4,2	138	2,4
	\mathbf{c}^{-2}	\bar{x} ±2,49	481	16,7	250	8,7	149	5,2	\bar{x} ±2,08	364	12,7	182	6,3	107	3,7
מ	$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	\bar{x} ±2,28	388	20,3	208	10,9	127	6,6	\bar{x} ±1,91	299	15,6	153	8,0	91	4,8
D_V	4	\bar{x} ±2,23	338	23,5	188	13,1	116	8,1	\bar{x} ±1,87	264	18,4	139	9,7	84	5,8
$\frac{m^3}{1}$	$A \frac{1}{2}$	\bar{x} ±2,93	530	9,2	255	4,4	148	2,6	\bar{x} ±2,46	386	6,7	182	3,2	105	1,8
\overline{km}	s^{-2}	\bar{x} ±2,13	370	12,9	185	6,4	109	3,8	$\bar{x} \pm 1,78$	275	9,6	133	4,6	77	2,7
	E 3	\bar{x} ±2,00	316	16,5	162	8,5	97	5,1	\bar{x} ±1,67	238	12,4	118	6,2	70	3,7
	4	\bar{x} ±1,97	283	19,7	151	10,5	91	6,3	$\bar{x} \pm 1,65$	217	15,1	110	7,7	66	4,6
	, 1	\bar{x} ±1,62	66	1,1	30	0,5	17	0,3	$\bar{x} \pm 1,35$	47	0,8	21	0,4	12	0,2
	$\begin{array}{ccc} A & 2 \\ S & 2 \end{array}$	\bar{x} ±1,20	58	2,0	26	0,9	15	0,5	\bar{x} ±1,00	41	1,4	19	0,7	11	0,4
	$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	\bar{x} ±0,89	41	2,1	19	1,0	11	0,6	\bar{x} ±0,71	29	1,5	13	0,7	8	0,4
D_E	4	\bar{x} ±0,74	39	2,7	18	1,3	10	0,7	\bar{x} ±0,62	28	1,9	13	0,9	7	0,5
$\frac{e}{km}$	1	\bar{x} ±1,55	60	1,0	27	0,5	16	0,3	\bar{x} ±1,29	42	0,7	19	0,3	11	0,2
km	$\frac{A}{c}$ 2	$\bar{x} \pm 1,17$	55	1,9	25	0,9	14	0,5	\bar{x} ±0,98	39	1,4	18	0,6	10	0,3
	$\begin{array}{ccc} S & 2 \\ E & 3 \end{array}$	\bar{x} ±0,85	40	2,1	18	0,9	11	0,6	\bar{x} ±0,71	29	1,5	13	0,7	8	0,4
	E 4	$\bar{x} \pm 0.72$	37	2,6	17	1,2	10	0,7	$\bar{x} \pm 0.60$	26	1,8	12	0,8	7	0,5
															

Onde: ua é a unidade amostral correspondente a 1 quarteirão, 2 quarteirões, 3 quarteirões e 4 quarteirões; f é o número de indivíduos; e é o número de espécies.

3.3.2.3 Importância da precisão desejada

Um aspecto a se considerar é que as maiores reduções no Esforço amostral e na Intensidade de amostragem (Tabela 3.3) foram obtidas pela mudança no erro de amostragem desejado ($E_{\%}$ passa de 10 % para 15 % e posteriormente para 20 %) e na abrangência do intervalo de confiança (α passa de 5 % para 10 %). Isso indica a importância da precisão esperada para as estimativas, a qual deve ser determinada de acordo com os objetivos do inventário, a disponibilidade de recursos financeiros e de tempo e com as características da população e da variável de interesse. Outra observação é que o aumento do erro desejado implicou em retornos decrescentes na redução do Esforço amostral. Este fenômeno foi relatado por Shiver e Border (1996), que afirmam ocorrerem retornos decrescentes também no aumento do esforço amostral com a redução do erro desejado. Ou seja, há um ponto a partir do qual a mudança no esforço amostral implica em alterações insignificantes no erro de amostragem.

3.3.3 Forma e tamanho ótimos de unidades amostrais

Além dos aspectos apresentados no item 3.3.2, o Esforço amostral (n_e) e a Intensidade de amostragem $(I_{\%})$ são também influenciados pelas diferentes configurações da unidade amostral (Tabela 3.3), de maneira que a unidade amostral com forma e tamanho ótimos seria aquela que viabilizasse a obtenção de estimativas precisas a partir do menor custo possível.

No inventário florestal, qualquer forma de unidade amostral pode ser utilizada, desde que haja devido cuidado na determinação de quais indivíduos estão dentro e fora de sua área, pois a omissão ou inclusão incorreta de indivíduos próximos às bordas é uma das principais fontes de erro para as estimativas (SHIVER; BORDER, 1996). Em área urbana, verifica-se repetidamente o uso do quarteirão ou de outras unidades amostrais que tenham calçadas como bordas (item 3.1), o que ajuda a evitar aqueles erros. É perceptível que o uso de formas que não sigam esse padrão é dificultado pela impossibilidade de travessia por áreas centrais dos quarteirões, o que redunda em custo adicional para alocação da unidade amostral.

Obviamente quanto maior o tamanho da unidade amostral, mais caro e demorado será o seu levantamento. Contudo, não é tão claro se com o aumento do tamanho, haverá menor variação entre as unidades amostrais. Pode-se pensar em diversos fatores que interferem na distribuição das árvores de rua, de maneira que diversas situações se tornam possíveis, como por exemplo, haver um quarteirão sem nenhum indivíduo ao lado de outro totalmente

arborizado. Sendo assim espera-se que uma unidade amostral composta por mais de 1 quarteirão englobe com maior efetividade a heterogeneidade da população e que as unidades amostrais sejam mais parecidas entre si, tornando a variância das estimativas menor. Por isso são observados decréscimos nos valores de Esforço amostral com o aumento do tamanho da unidade amostral para todas as variáveis de interesse, independente do método de amostragem utilizado (Tabela 3.3). No entanto, o aumento da unidade amostral só será realmente vantajoso se o custo total do inventário for reduzido, seja em unidade de tempo ou dinheiro. Para uma decisão acertada é necessário conhecer a variância da amostra e o custo do seu levantamento para vários tamanhos de unidade amostral. O translado entre unidades amostrais, a localização de unidades amostrais, a mensuração dos indivíduos e das unidades amostrais, dentre outros custos são inclusos.

Na Tabela 3.4, para cada variável de interesse, é apresentada a razão entre o esforço amostral da amostragem sistemática simples de unidades amostrais compostas por 1 quarteirão ($n_{e_{ASS1}}$) e o esforço amostral de outra combinação de método e unidade amostral, para 10 % de erro desejado e 95 % de probabilidade. Caso fossem conhecidos os custos do levantamento, nota-se que se a razão entre custos fosse menor que a razão entre esforços amostrais, compensaria adotar a amostragem sistemática simples de unidades amostrais de 1 quarteirão; caso fosse maior, a outra combinação seria adequada. Vale lembrar que no uso da amostragem sistemática estratificada há custos adicionais tais como aquisição e processamento de imagens de sensoriamento remoto.

Tabela 3.4 – Razão entre Esforço amostral da amostragem sistemática simples de unidades amostrais de 1 quarteirão e outro processo, para 10% de erro desejado e 95% de probabilidade, sendo as variáveis de interesse: densidade em indivíduos por quilômetro de calçada (D_F); densidade em área basal por quilômetro de calçada (D_G); altura média total (\overline{H}_t); densidade em volume por quilômetro de calçada (D_G); densidade em número de espécies por quilômetro de calçada (D_G).

-	$n_{e_{ASS1}}$						
	$n_{e_{ASS2}}$	$n_{e_{ASS3}}$	$n_{e_{ASS4}}$	$n_{e_{ASE1}}$	$n_{e_{ASE2}}$	$n_{e_{ASE3}}$	$n_{e_{ASE4}}$
$D_F(f/km)$	1,43	1,68	1,87	1,31	1,70	2,00	2,33
$D_G (m^2/km)$	1,44	1,70	1,84	1,26	1,89	2,14	2,28
$\overline{H}_{t}(m)$	1,73	2,14	2,37	1,12	1,87	2,37	2,65
$D_V (m^3/km)$	1,41	1,74	2,00	1,28	1,83	2,14	2,39
D_E (e/km)	1,14	1,61	1,69	1,10	1,20	1,65	1,78

Onde: n_e é o Esforço amostral; ASS é a amostragem sistemática simples; ASE é a amostragem sistemática estratificada; 1, 2, 3 e 4 é o tamanho da unidade amostral em número de quarteirões; f é o número de indivíduos; e é o número de espécies.

3.3.4 Estratificação da população de árvores de rua

No tecido urbano, a população de árvores de rua se apresenta como corredores entremeados pela vegetação de quintais, praças, parques e outras áreas verdes. Sua estrutura e composição são influenciadas por diversos fatores que contribuem para a distribuição agrupada de variáveis de interesse, por isso é comum ocorrer um mosaico de regiões de ruas bem arborizadas com regiões de ruas pouco arborizadas. Estas características dificultam a determinação de estratos bem definidos e tornam a fotointerpretação de imagens uma ferramenta pouco confiável. Como a delimitação correta dos estratos é fundamental para a efetividade da amostragem estratificada, o geoprocessamento aparece como melhor opção para a quantificação precisa da cobertura de árvores de rua. Sendo assim, optou-se por dividir a área de estudo em quadrículas de 0,78 km², para as quais foi calculada a porcentagem de cobertura de árvores de rua com vistas à estratificação, utilizando a vizinhança da quadrícula como critério para preservar a continuidade do estrato (Figura 3.2).

Na estratificação por esse método, duas dificuldades ficaram bem claras e ambas se manifestaram no Estrato 1 (aquele com alta % de cobertura de árvores de rua), o que explica sua menor homogeneidade. A primeira delas foi que algumas unidades amostrais apresentaram quantidade de arborização muito superior à média do estrato (ANEXOS C e D). Nesta situação, foram observadas as unidades amostrais das quadrículas 8, 26 e 90, pois seus quarteirões abrigaram muitos indivíduos adultos bem desenvolvidos de espécies arbóreas de grande porte. Tendo como referência as unidades amostrais de 4 quarteirões, observou-se que havia 95 indivíduos na unidade amostral 8, dos quais 32 deles (35,7%) eram da espécie *Handroanthus heptaphyllus* com até 21,4 m de altura total. Enquanto na unidade amostral 90, dos 81 indivíduos presentes, 57 deles (70,4%) eram árvores adultas das espécies *Poincianella pluviosa*, *Spathodea campanulata*, *Tipuana tipu* com até 22 m de altura total. E na unidade amostral 26, as mesmas quatro espécies se destacam, chegando a 20,7 m de altura total, e corresponderam a 64 dos 136 indivíduos presentes (47,1%).

A segunda dificuldade foi encontrada quando a unidade amostral não representou a quadrícula, ou seja, não apresentou porcentagem de cobertura de árvores de rua proporcional a da quadrícula, o que aconteceu nas quadrículas 89 e 29 (ANEXOS C e D). No caso da quadrícula 89, suas unidades amostrais caíram justamente sobre um condomínio fechado pouco arborizado, por isso possuíram até 20,6 indivíduos/km de calçada e 0,68 m² de área basal/km de calçada, enquanto a média do estrato foi 54,32 indivíduos/km de calçada e 3,59

m² de área basal/km de calçada. Já a quadrícula 29 teve parte de sua área disposta sobre o Centro pouco arborizado e outra parte sobre o bairro São Dimas, um dos mais arborizados da cidade. A área total da quadrícula apresentou alta porcentagem de cobertura de árvores de rua, todavia suas unidades amostrais recaíram sobre a região do Centro e obtiveram até 33,9 indivíduos/km de calçada e 1,63 m² de área basal/km de calçada.

3.3.5 Caracterização da população de árvores de rua e serviços ambientais

No que se refere ao fornecimento de serviços ambientais pelas árvores de rua, nota-se que quanto maiores as dimensões do indivíduo em volume de tronco e copa, maior será a sua contribuição, seja por meio da interceptação da água da chuva, da filtragem do ar, do sombreamento e amenização da temperatura, da recuperação ambiental e revitalização da paisagem, ou do armazenamento de carbono (considerando indivíduos com mesma densidade da madeira) (NOWAK et al., 2002; NOWAK; CRANE; DWYER, 2002). Frente a isto, cabe a generalização de que espécies arbóreas de grande porte manejadas para alcançarem grandes dimensões trazem mais benefícios para as áreas urbanas que indivíduos com outros hábitos (arbustos, árvores de pequeno porte e palmeiras).

Na população de árvores de rua da área densamente urbanizada de Piracicaba - SP (Brasil), correspondente a 221,07 km², estima-se que 60.146 indivíduos ocupam 2.975,07 m² de área basal e 15.708,5 m³ de volume. Estes valores foram obtidos a partir da amostra, que cobriu aproximadamente $\frac{1}{10}$ da população total. Na Figura 3.5 se observa que ao se considerar o hábito das espécies, a participação em porcentagem nos totais estimados para população difere. No caso das árvores de grande porte, a participação é de 48,51 % ou 28.875 em número de indivíduos, de 73,53 % ou 2.170,79 m² em área basal e de 84,06 % ou 13.099,11 m³ em volume – há o aumento acentuado de participação em área basal e volume em relação ao número de indivíduos. Os arbustos correspondem a 28 % ou 16.667 indivíduos, 12,40 % ou 365,98 m² de área basal e 5,4 % ou 840,95 m³ de volume. Enquanto as árvores de pequeno porte representam 18,57 % ou 11.052 indivíduos, 8,55 % ou 252,52 m² de área basal e 5,12 % ou 844,96 m³ de volume. As diferenças na participação nos totais estimados seguem a mesma tendência para arbustos e árvores de pequeno porte, porém a queda da participação em volume nos arbustos é maior. As palmeiras correspondem a 4,92 % ou 2.927 indivíduos, 5,52 % ou 162,96 m² de área basal e 5,12 % ou 798,45 m³ de volume, portanto apresentam pouca mudança de participação nos totais estimados.

As árvores de grande porte correspondem a pouco menos da metade do número de indivíduos, no entanto somam 84,1 % do volume da população, e os arbustos que representam quase $\frac{1}{3}$ dos indivíduos, somam apenas 5,4 % do volume. Esta observação favorece a hipótese de que o plantio de árvores de grande porte em substituição aos arbustos é de fato ambientalmente recompensante. As árvores de pequeno porte tiveram menor queda em participação em volume que os arbustos (19 % dos indivíduos e 5% do volume), porém tornam-se também desinteressantes em comparação às árvores de grande porte. Após as árvores de grande porte, as palmeiras apresentam a melhor relação entre número de indivíduos e volume (5% dos indivíduos e 5% do volume), no entanto o estipe tem uma densidade muito baixa e as folhas pouco afetam os fatores físicos do ambiente. Por outro lado seus frutos alimentam diversas espécies da fauna, assim seu plantio em parques e praças é mais apropriado. Tendo como premissa que a escolha das espécies que compõem a arborização de rua deve ser baseada nos serviços ambientais almejados e na eficiência das espécies em fornecê-los, as espécies de árvores de grande porte devem ser preferidas.

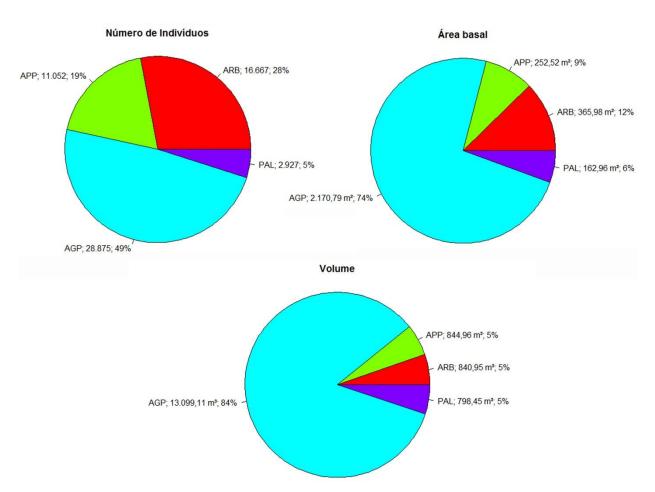


Figura 3.5 – Participação em porcentagem dos tipos de hábito nos totais estimados de número de indivíduos, área basal e volume na área densamente urbanizada de Piracicaba – SP (Brasil), onde: ARB – arbustos; PAL – palmeiras; AGP – árvores de grande porte; APP – árvores de pequeno porte

Nos histogramas de diâmetro correspondente à altura do peito (cm) (Figura 3.6), observa-se que para qualquer que seja o tipo de hábito, a maioria dos indivíduos é concentrada nas classes de até 30 cm (97,7 % dos arbustos; 94,8 % das árvores de pequeno porte; 67,0 % das árvores de grande porte; 83,9 % das palmeiras). Nestas condições, é possível que onde caiba um arbusto adulto possa ser plantada uma árvore de grande porte, mesmo que não alcance seu pleno desenvolvimento. Esta mudança no manejo se torna mais transitável com a adoção de tecnologias como fiação compacta e subterrânea, que ampliam o espaço para crescimento em altura. É claro que o espaço de canteiro também deve ser avaliado.

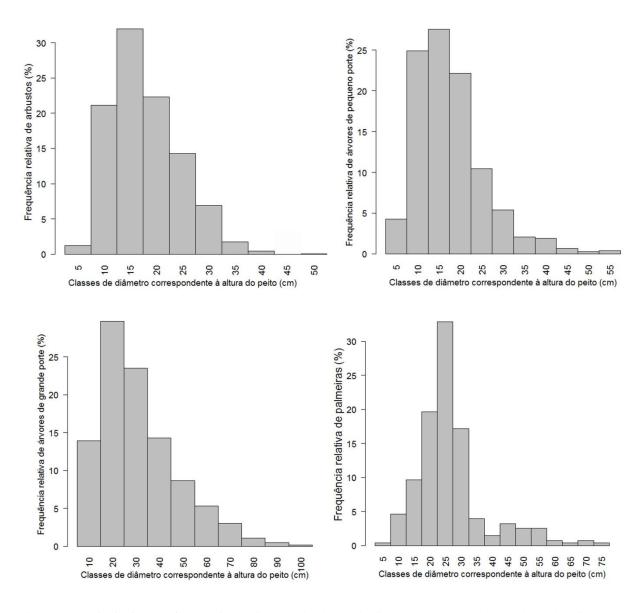


Figura 3.6 – Distribuição de frequência relativa (%) de classes de diâmetro correspondente à altura do peito (cm) de acordo com o tipo de hábito dos indivíduos

A diversidade de espécies é importante nas populações de árvores de rua, pois previne a disseminação de pragas e doenças e atrai diversas espécies da fauna por disponibilizar habitats variados. Na amostra composta por 5.744 indivíduos da área densamente urbanizada de Piracicaba – SP, foram identificadas 165 espécies, das quais 44 foram representadas por apenas um indivíduo, 15 espécies por 2 indivíduos, e 13 espécies por 3 indivíduos (ANEXO A). Dentre as 10 espécies mais frequentes (Figura 3.7), as quatro primeiras são *Murraya paniculata* (L.) Jack com 16,26 % dos indivíduos, *Licania tomentosa* (Benth.) Fritsch. com 10,36 % dos indivíduos, *Poinciannella pluviosa* (DC.) L.P. Queiroz com 6,44 % dos indivíduos, *Lagerstroemia indica* L. com 6,42 % dos indivíduos, e juntas compõem 39,5 % da amostra. Seguem-se a elas as espécies *Schinus molle* L., *Magnolia champaca* L., *Handroanthus chrysotrichus* (Mart. ex DC.) Mattos, Syagrus romanzoffiana (Cham.) Glassman., *Calistemon viminalis* G. Don ex Loud., *Terminalia catappa* L., que somadas às primeiras representam 56,8 % da amostra.

Portanto M. paniculata e L. indica são espécies arbustivas que em frequência relativa representam quase $\frac{1}{4}$ da população total, e M. paniculata sozinha representa quase $\frac{1}{6}$. Chama a atenção que na Instrução Normativa No. 53 promulgada pelo Governo Federal em 2008, M. paniculata teve sua produção, comércio e transporte proibidos em áreas de ocorrência do Huanglongbing ou Grenning. Esta doença é responsável pela dizimação de pomares inteiros de laranja na região Sul e Sudeste do país e também pode contaminar indivíduos de M. paniculata (BELASQUE JR. et al., 2009), o que torna o plantio de indivíduos dessa espécie inapropriado mesmo em área urbana. Ainda mais quando há laranjais na região, como é o caso de Piracicaba (CAMPOS, 2014).

L. tomentosa e P. pluviosa (segunda e terceira espécies mais frequentes, respectivamente) representam 16,78 % da população e são espécies de árvore de grande porte que mostraram bom desenvolvimento em área urbana. No entanto muitos indivíduos adultos de L. tomentosa apresentaram bifurcação abaixo de 1,30 m, e podas de condução na fase de mudas poderiam ter harmonizado o espaço da calçada para copa e passagem de pedestres. Em relação aos indivíduos da espécie P. pluviosa, sabe-se que muitos deles constituem a arborização mais antiga da cidade (LIMA, 1993) e graves afloramentos do sistema radicular foram comumente encontrados, devido ao tamanho pequeno do canteiro para as dimensões que os indivíduos alcançaram. Para ambas as espécies ficam evidentes a necessidade de planejamento da implantação ao manejo e de se harmonizar condições locais e arborização.

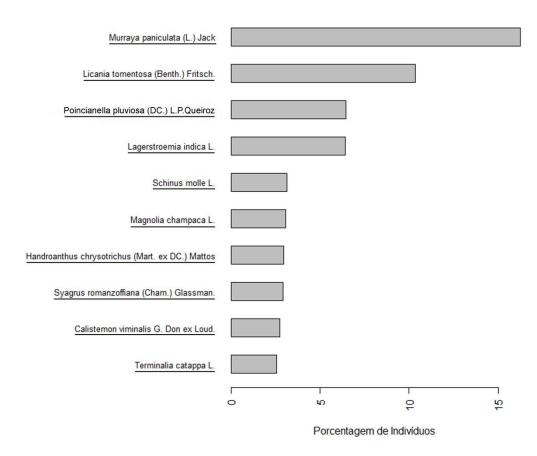


Figura 3.7 – Espécies de maior frequência relativas na população de árvores de rua na área densamente urbanizada do perímetro urbano de Piracicaba – SP (Brasil)

A respeito da origem das espécies (Figura 3.8), 102 ou 62 % são exóticas do Brasil e correspondem a 58 % da frequência relativa dos indivíduos, 20 ou 12 % são exóticas do Estado de São Paulo e correspondem a 25 % da frequência relativa dos indivíduos, 3 ou 2 % são exóticas da região de Piracicaba e correspondem a 1 % da frequência relativa dos indivíduos, 39 ou 16 % são nativas da região de Piracicaba e correspondem a 16 % dos indivíduos. Para as análises, foram consideradas espécies significativas na população aquelas com no mínimo 1% de frequência relativa de indivíduos (ANEXO A).

Há o predomínio de espécies exóticas do Brasil e dentre elas destacam-se em frequência relativa de indivíduos: as arbustivas *M. paniculata* (16,26 %), *L. indica* (6,42 %), *Nerium oleander* L. (2,26 %), *Hibuscus rosa-sinensis* L. (1,04 %); as árvores de pequeno porte *Calistemon viminalis* G. Don ex Loud (2,76 %), *Bauhinia sp.* (1,04 %), *Malpighia emarginata* DC. (1,31 %); as árvores de grande porte *M. champaca* (3,05 %), *T. catappa* (2,54 %), *Cinnamomum burmanni* (Nees & T. Ness) Blume (2,09 %), *Ficus benjamina* L. (1,88 %), *Ligustrum lucidum* W.T. Aiton (1,18 %), *Tipuana Tipu* (Benth.) Kuntze (1,13 %).

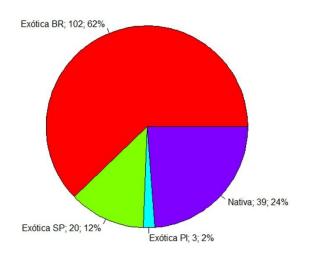
Essas exóticas foram trazidas para as áreas urbanas brasileiras por serem capazes de se adaptar às condições ambientais muitas vezes inóspitas das cidades. No caso específico dos arbustos, soma-se o fato de serem o tipo de hábito ainda indicado pelas companhias elétricas como forma de conservar a fiação aérea convencional ao invés de procederem a substituição por fiação compacta ou subterrânea (COMPANHIA PAULISTA DE FORÇA E LUZ - CPFL, 2008; COMPANHIA DE ENERGIA ELÉTRICA DO ESTADO DO TOCANTINS, 2013). Salienta-se que deve-se ter cuidado na introdução de exóticas, principalmente quando não há informações sobre seu comportamento ao novo ambiente. No levantamento, foram encontradas árvores da espécie *Leucaena leucocephala* (Lam.) R. de Wit. (0,09 % de frequência relativa), que é extremamente agressiva na ocupação de áreas degradadas no Brasil com suas sementes numerosas e de fácil propagação, portanto não deveriam ser cultivada nem mesmo em área urbana.

As exóticas do Estado de São Paulo apresentaram maior frequência relativa de indivíduos (25 %) do que frequência de espécies (12 %), principalmente devido às espécies de árvores de grande porte *L. tomentosa* (10,36 %) e *P. pluviosa* (6,44 %). Outras espécies frequentes foram as de árvore de pequeno porte *Schinus molle* L. (3,13 %), *Tibouchina granulosa* (Desr.) Cogn. (2,42 %), *Psidium guajava* L. (1,04 %). Quanto às exóticas da região de Piracicaba – SP, não houve nenhuma espécie que se destaca em frequência relativa de indivíduos. Pela mesma forma que as exóticas do Brasil, essas espécies se mostram bem adaptadas às condições urbanas e em especial as de pequeno porte são indicadas por companhias de energia.

Quanto às nativas da região de Piracicaba, se destacam pela frequência relativa de indivíduos as espécies de árvores de grande porte: *H. chrysotrichus* (2,94 %), *Nectandra megapotamica* (Spreng.) Mez. (2,16 %), *Handroanthus heptaphyllus* (Vell.) Mattos (2,04 %), *Tabebuia roseoalba* (Ridl.) Sandwith (1,71 %). A palmeira *Syagrus romanziffiana* (Cham.) Glassman. (2,92 %) e a espécie de árvore de pequeno porte *Eugenia uniflora* L. (2,19 %) também tiveram acentuada frequência relativa de indivíduos. Os indivíduos dessas espécies nativas, além de serem bem adaptados à cidade, podem contribuir para os biomas da região por meio da dispersão de sementes e como alimento comum da fauna local. É claro que como as áreas urbanas são diferentes das naturais, o uso de espécies exóticas resistentes pode ser uma conduta eficaz de revitalização de cidades. No entanto, o plantio de espécies nativas é vantajoso por propiciar outros serviços ambientais.

Frequência Absoluta e Relativa de Espécies

Frequência Relativa de Indivíduos



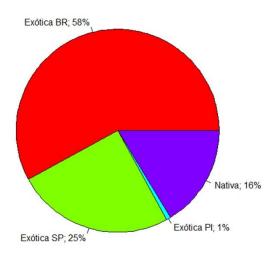


Figura 3.8 – Frequência das espécies e dos indivíduos quanto à origem na área densamente urbanizada do perímetro urbano de Piracicaba – SP (Brasil), onde: Exótica BR – espécie exótica do Brasil; Exótica SP – espécie exótica do Estado de São Paulo; Exótica PI – espécie exótica da Região de Piracicaba; Nativa – espécie nativa da Região de Piracicaba

3.4 Conclusão

No inventário da população de árvores de rua da área densamente urbanizada de Piracicaba – SP (Brasil), o esforço amostral da amostragem sistemática simples e da amostragem sistemática estratificada foi avaliado quanto aos seguintes critérios: variabilidade da variável de interesse; estratificação da área; forma e tamanho de unidades amostrais; e precisão desejada das estimativas.

As variáveis de interesse apresentaram a seguinte sequência do maior para o menor esforço amostral necessário para representá-las: densidade em volume por quilômetro de calçada (D_V) , densidade em área basal por quilômetro de calçada (D_G) , densidade em número de indivíduos por quilômetro de calçada (D_F) , altura total média (\overline{H}_t) , e densidade em número de espécies por quilômetro de calçada (D_E) . O esforço amostral (n_e) depende da variabilidade entre unidades amostrais e os fatores que principalmente contribuíram para ela foram: a variação do volume dos indivíduos nas três dimensões espaciais, assim n_e chegou até 677 unidades amostrais (u.a.) para D_V , quando a precisão foi de 10 % de erro e 95 % de probabilidade; a variação da área seccional em duas dimensões $(n_e = 378$ u.a. para D_G , com 10% de erro e 95 % de probabilidade); a distribuição agrupada dos indivíduos nas calçadas $(n_e = 114$ u.a. para D_F , com 10 % de erro e 95 % de probabilidade). A variável altura total apresentou baixa variação apesar de expressar uma dimensão espacial do indivíduo $(n_e = 45$

u.a. para \overline{H}_t , com 10 % de erro e 95 % de probabilidade), pois a ausência de competição lateral e principalmente as podas de rebaixamento contribuíram para a homogeneização dessa característica na população. O número de espécies nas unidades amostrais variou de 0 a 41,5 espécies/km de calçada, assim n_e foi igual a 66 u.a. para D_E , com 10 % de erro e 95 % de probabilidade.

Avaliando-se os pares de amostra sistemática simples e amostra sistemática estratificada com u.a. de mesmo tamanho e com mesma precisão, a estratificação da área por porcentagem de cobertura de árvores de rua se mostrou um procedimento eficaz para redução do esforço amostral. Volume, área seccional e número de indivíduos apresentam correlação com área de copa, sendo assim as maiores reduções obtidas com a estratificação foram: n_e passando de 677 para 530 u.a., na variável D_V ; n_e de 378 para 301 u.a., na variável D_G ; n_e de 114 para 87 u.a., na variável D_F (para pares de amostras com u.a. de 1 quarteirão, 10 % de erro e 95 % de probabilidade). Para variável \overline{H}_t obteve-se pequena redução (n_e de 44 para 40 u.a., para o par de amostras com mesma configuração), devido à homogeneização dessa característica na população, o que faz o esforço amostral ser baixo, e ao estrato de alta % de cobertura apresentar maior variabilidade que a amostra simples. O número de espécies não se mostrou influenciado pela variável de estratificação, o que resultou em valores de D_E semelhantes nos dois estratos e em redução no n_e de 66 para 60 u.a., para o par de amostras com mesma configuração.

Quanto ao aumento do tamanho da unidade amostral de 1 quarteirão a 4 quarteirões, as maiores reduções no esforço amostral foram: n_e passando de 677 u.a. com 1 quarteirão para 481 u.a. com 2 quarteirão, na variável D_V ; n_e de 378 u.a. com 1 quarteirão para 262 u.a. com 2 quarteirões, na variável D_G ; n_e de 114 u.a. com 1 quarteirão para 80 u.a. com 2 quarteirões, na variável D_F ; n_e de 45 u.a. com 1 quarteirão para 26 u.a. com 2 quarteirões, na variável \overline{H}_t ; n_e de 58 u.a. com 2 quarteirão para 41 u.a. com 3 quarteirão, na variável D_E ; todas amostras sistemáticas simples com 10 % de erro e 95 % de probabilidade. Vale lembrar que o aumento da unidade amostral envolve aumento no custo de seu levantamento.

A precisão desejada se revelou o critério de maior impacto sobre a redução do esforço amostral. Nas amostras sistemáticas simples de unidade amostrais com 1 quarteirão, considerando a mudança de precisão de 10 % de erro e 95 % de probabilidade para de 20 % de erro e 90 % de probabilidade: n_e passou de 677 u.a. para 138 u.a., na variável D_V ; n_e de

378 u.a. para 72 u.a., na variável D_G ; n_e de 114 u.a. para 21 u.a., na variável D_F ; n_e de 45 u.a. para 8 u.a., na variável \overline{H}_t ; n_e de 66 u.a. para 12 u.a., na variável D_E . Portanto a determinação da precisão deve ser feita com muito cuidado, levando-se em consideração o objetivo do inventário, a disponibilidade de recursos financeiros e de tempo, e as características da área.

No inventário de populações de árvores de rua, os critérios apresentados devem ser manejados de forma a se obter a precisão necessária às estimativas por meio do menor custo possível, em unidade de tempo e dinheiro. Outros estudos podem se seguir a este, como o uso da técnica de pós-estratificação, que seria especialmente útil em áreas com poucas fontes de informação prévia (fotografias com boa resolução, dados de inventários anteriores, e outras). Além disso, poderia se considerar a obtenção de estimativas separadas para grupos de indivíduos com características diferentes (por exemplo, estimativas de volume de madeira leve e de madeira pesada), pois certamente o esforço amostral será reduzido.

Estimou-se que a população de árvores de rua da área de estudo (221,07 km²) seja composta por 60.146 indivíduos, que ocupam 2.975,07 m² de área basal e 15.708,5 m³ de volume. Dentre as características da população, destaca-se o retorno em volume acentuadamente maior que as árvores de grande porte, visto que perfazem 49,5 % do total do número de indivíduos e 84,1 % do volume. O volume pode expressar a participação no fornecimento de serviços ambientais, o que torna árvores de grande porte mais eficiente.

Agradecimentos

Ao Eng. Florestal Marcelo A. de Pinho Ferreiro pela colaboração na taxinomia de plantas, ao Msc. Tito Nunes de Castro no desenvolvimento da programação em R. Ao Msc. Matheus Henrique Nunes pela coleta de volume e aos colegas que o acompanharam em campo.

Referências

ALVAREZ, I.A; VELASCO, G.D.N.; BARBIN, H.S; LIMA, A.M.L.P.; COUTO, H.T.Z. Comparison of two sampling methods for estimating urban tree density. **Journal of Arboriculture**, Champaign, v. 31, n. 5, p. 209-214, Sept. 2005.

AVERY, T.E.; BURKHART, H.E. **Forest measurements.** New York: McGraw-Hill Book, 1983. 331 p.

- BECKETT, K.P.; FREER-SMITH, P.; TAYLOR, G. Effective tree species for local airquality management. **Journal of Arboriculture**, Champaign, v. 26, n. 1, p. 12-19, Jan. 2000.
- BELASQUE JR., J.; BERGAMIN FILHO, A.; BASSANEZI, R.B.; BARBOSA, J.C.; FERNANDES, N.G.; YAMAMOTO, P.T.; LOPES, S.A.; MACHADO, M.A.; LEITE JR., R.P.; AYRES, A.J.; MASSARI, C.A. Base científica para a erradicação de plantas sintomáticas e assintomáticas de Huanglongbing (HLB, Greening) visando o controle efetivo da doença. **Tropical Plant Pathology**, Brasília, v. 34, n. 3, p. 137-145, maio/jun. 2009.
- BRIX, H.; MITCHELL, A.K. Thinning and nitrogen fertilization effects on sapwood development and relationships of foliage quantity to sapwood area and basal area in Douglas-fir. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v. 1, n. 3, p. 384-389, Aug. 1983.
- CAMPOS, C. 2014 será o ano do cultivo da laranja. **Jornal de Piracicaba**, Piracicaba, 25 jan. 2014. Disponível em: http://m.jornaldepiracicaba.com.br/mobile/noticia.php?id=6242. Acesso em: 12 mar. 2014.
- COMPANHIA DE ENERGIA ELÉTRICA DO ESTADO DO TOCANTINS. **Arborização**; Palmas. Disponível em: http://www.celtins.com.br/dicas/arborizacao/>. Acesso em: 12 mar. 2014.
- CENTRO DE PESQUISAS METEOROLÓGICAS E CLIMÁTICAS APLICADAS À AGRICULTURA. **Clima dos municípios paulistas:** Rio Claro. Disponível em: http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_494.html>. Acesso em: 28 set. 2013.
- CHOW, W.T.L.; ROTH, M. Temporal dynamics of the urban heat island of Singapore. **International Journal of Climatology**, Oxford, v. 26, n. 15, p. 2243-2260, July 2006.
- 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.
- COMPANHIA PAULISTA DE FORÇA E LUZ. Árvores de porte baixo mais comuns. In:
 ______. Arborização urbana viária: aspectos de planejamento, implantação e manejo.
 Campinas, 2008. p. 34-36. Disponível em: <
 http://www.cpfl.com.br/Portals/0/pdf/Guia_Meio_Ambiente.pdf>. Acesso em: 12 mar. 2014.
- FENANDEZ-JURICIC, E. Avifauna use wooded streets in an urban landscape. **Conservation Biology**, Chichester, v. 14, n. 2, p. 513-521, Apr. 2000.
- GREY, G.W.; DENEKE, F.J. Management of the urban forest. In: _____. **Urban forestry.** New York: Krieger Publ., 1992. chap. 6, p. 138-174.
- HEYNEN, N.; PERKINS, H.A.; ROY, P. The impact of political economy on race and ethnicity in producing environmental inequality in Milwaukee. **Urban Affairs Review**, Chicago, v. 42, n. 1, p. 3-25, Mar. 2006.
- HUSCH, B.; BEERS, T.W.; KERSHAW JR., J.A. **Forest mensuration.** 4th ed. New Jersey: John Wiley, 2002. 433 p.

- JIM, C.Y. A planning strategy to augment the diversity and biomass of roadside trees in urban Hong Kong. **Landscape and Urban Planning**, Philadelphia, v. 44, n. 1, p. 13-32, Mar. 1999.
- LASER TECHNOLOGY. **Criterion RD 1000 overview.** Disponível em: http://www.lasertech.com/Criterion-RD-1000.aspx>. Acesso em: 12 mar. 2014.
- LIBONI, A.P.; RODRIGUES, D.R.; PERINA, B.B; ROSA, V.P.P.; BOVOLENTA, Y.R.; BIANCHINI, E.; PIMENTA, J.A. Relações alométricas da comunidade arbórea de diferentes áreas de uma floresta ombrófila mista do sul do Brasil. **Semina: Ciências Biológicas e da Saúde**, Londrina, v. 31, n. 2, p. 125-136, jul./dez. 2010.
- LIMA, A.M.L.P. **Piracicaba/SP:** análise da arborização viária na área central e em seu entorno. 1993. 238 p. Tese (Doutorado em Agronomia) Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1993.
- MacFARLANE, D.W. Potential availability of urban wood biomass in Michigan: Implications for energy production, carbon sequestration and sustainable forest management in the U.S.A. **Biomass and Bioenergy**, Aberdeen, v. 33, n. 4, p. 628-834, Apr. 2009.
- MACO, S.E; McPHERSON, E.G. A practical approach to assessing structure, function and value of street tree populations in small communities. **Journal of Arboriculture**, Champign, v. 29, n. 2, p. 84-97, Mar. 2003.
- MENEGHETTI, G.I.P.; COUTO, H.T.Z.; LIMA, A.M.L.P. Estudo de dois métodos de amostragem da arborização de ruas dos bairros da orla marítima do município de Santos, SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARBORIZAÇÃO URBANA, 8., 2004, São Paulo. **Resumos...** São Paulo: SBAU, 2004. p. 1.
- MICHI, S.M.P.; COUTO, H.T.Z. Estudo de dois métodos de amostragem de árvores de rua na cidade de Piracicaba SP. In: CURSO EM TREINAMENTO SOBRE PODA EM ESPÉCIES ARBÓREAS E DE ARBORIZAÇÃO URBANA, 1., 1996, Piracicaba. Piracicaba: IPEF, 1996. p. 1-23.
- MILLER, R.W. **Urban forestry:** planning and managing urban greenspaces. 2nd ed. New Jersey: Prentice-Hall, 1996. 502 p.
- NAGENDRA, H.; GOPAL, D. Street trees in Bangalore: density, diversity, composition and distribution. **Urban Forestry & Urban Greening**, Philadelphia, v. 9, n. 2, p. 129-137, May 2010.
- NOWAK, D.J.; CARNE, D.E.; DWYER, J.F. Compensatory value of urban trees in the United States. **Journal of Arboriculture**, Champaign, v. 28, n. 4, p. 194-199, July 2002.
- NOWAK, D.J.; STEVENS, J.C.; SISINNI, S.M.; LULEY, C.J. Effects of urban tree management and species selection on atmospheric carbon dioxide. **Journal of Arboriculture**, Champaign, v. 28, n. 3, p. 113-122, May 2002.
- O'BRIEN, S.T.; HUBBELL, S.P.; SPIRO, P.; CONDIT, R.; FOSTER, R.B. Diameter, height, crown, and age relationship in eight Neotropical tree species. **Ecology**, Washington, v. 76, n. 6, p. 1926-1939, Sept. 1995.

OLIVEIRA, J.B.; CAMARGO, M.N.; ROSSI, M.; CALDERANO FILHO, B. **Mapa pedológico do Estado de são Paulo.** Rio de Janeiro: Embrapa Solos; Campinas: Instituto Agronômico, 1999. 64 p.

OLIVEIRA, Y.M.M. Características entre parâmetros dendrométricos em *Araucaria angustifolia* (Bert O. Ktze) utilizando fotografias aéreas. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 5, p. 69-105, Dez. 1982.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R:** A language and environment for statistical computing. Disponível em: http://www.R-project.org>. Acesso em: 25 nov. 2013.

RACHID, C.; COUTO, H.T.Z. Estudo da eficiência de dois métodos de amostragem de árvores de rua na cidade de São Carlos – SP. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 56, p. 59-68, dez. 1999.

RODRIGUES, R.R. **A vegetação de Piracicaba e municípios do entorno.** Piracicaba: IPEF, 1999. 20 p. (Circular Técnica, 189).

SCHEAFFER, R.L.; MENDENHALL, W.; OTT, L. **Elementary survey sampling.** Boston: PWS-KENT, 1990. 432 p.

SHIVER, B.D.; BORDER, B.E. **Sampling techniques for Forest Resource Inventory.** New York: John Wiley, 1996. 356 p.

THAIUTSA, B.; PUANGCHIT, L., KJELGREN, R.; ARUNPRAPARUT, W. Urban green space, street tree and heritage large tree assessment in Bangkok, Thailand. **Urban Forestry & Urban Greening**, Philadelphia, v. 7, n. 3, p. 219-229, Aug. 2008.

TONINI, H.; ARCO-VERDE, M.F. Morfologia da copa para avaliar o espaço vital de quatro espécies nativas da Amazônia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 7, p. 633-638, July 2005.

VASILESCU, M.M. Standard error of tree heightusing Vertex III. **Bulletin of the Transilvania University of Braşov**, Braşov, v.6, n. 2, p. 75-80, June 2013.

VIANA, S.M. Percepção e quantificação das árvores na área urbana do município de São Carlos. 2013. 211 p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

WARE, G.H. Ecological bases for selecting urban trees. **Journal of Arboriculture**, Champaign, v. 20, n. 2, p. 98-103, Aug. 1994.

ANEXOS

ANEXO A - Frequência, família, hábito e origem das espécies da amostra levantada na área densamente urbanizada do perímetro urbano de Piracicaba - SP (Brasil) (continua)

	Espécie	FA	FR (%)	FA _{ac} .	FR _{ac.} (%)	Família	Hábito	Origem	Nome popular
1	Murraya paniculata (L.) Jack	934	16,26	934	16,26	Rutaceae	arb	Exótica BR	falsa murta
2	Licania tomentosa (Benth.) Fritsch.	595	10,36	1529	26,62	Chrysobalanaceae	agp	Exótica SP	oiti
3	Poincianella pluviosa (DC.) L.P.Queiroz	370	6,44	1899	33,06	Fabaceae	agp	Exótica SP	sibipiruna
4	Lagerstroemia indica L.	369	6,42	2268	39,48	Lythraceae	arb	Exótica BR	resedá
5	Schinus molle L.	180	3,13	2448	42,62	Anacardiaceae	app	Exótica SP	aroeira salsa
6	Magnolia champaca L.	175	3,05	2623	45,67	Magnoliaceae	agp	Exótica BR	magnólia amarela
7	Handroanthus chrysotrichus (Mart. ex DC.) Mattos	169	2,94	2792	48,61	Bignoniaceae	agp	Nativa	ipê amarelo
8	Syagrus romanzoffiana (Cham.) Glassman.	168	2,92	2960	51,53	Arecaceae	pal	Nativa	jerivá
9	Calistemon viminalis G. Don ex Loud.	157	2,73	3117	54,27	Myrtaceae	app	Exótica BR	escova de garrafa
10	Terminalia catappa L.	146	2,54	3263	56,81	Combretaceae	agp	Exótica BR	chapéu de sol
11	Tibouchina granulosa (Desr.) Cogn.	139	2,42	3402	59,23	Melastomataceae	app	Exótica SP	quaresmeira
12	Nectandra megapotamica (Spreng.) Mez.	130	2,26	3532	61,49	Lauraceae	agp	Nativa	canelinha
13	Eugenia uniflora L.	126	2,19	3658	63,68	Myrtaceae	app	Nativa	pitangueira
14	Cinnamomum burmanni (Nees & T. Nees) Blume	120	2,09	3778	65,77	Lauraceae	agp	Exótica BR	canela bosta
15	Handroanthus heptaphyllus (Vell.) Mattos	117	2,04	3895	67,81	Bignoniaceae	agp	Nativa	ipê roxo
16	Ficus benjamina L.	108	1,88	4003	69,69	Moraceae	agp	Exótica BR	ficus benjamina
17	Tabebuia roseoalba (Ridl.) Sandwith	98	1,71	4101	71,40	Bignoniaceae	agp	Nativa	ipê branco
18	Nerium oleander L.	94	1,64	4195	73,03	Apocynaceae	arb	Exótica BR	espirradeira
19	Malpighia emarginata DC.	75	1,31	4270	74,34	Malpighiaceae	app	Exótica BR	
20	Ligustrum lucidum W.T.Aiton	68	1,18	4338	75,52	Oleaceae	agp	Exótica BR	alfeneiro
21	Tipuana tipu (Benth.) Kuntze.	65	1,13	4403	76,65	Fabaceae	agp	Exótica BR	tipuana
22	Bauhinia sp.	60	1,04	4463	77,70	Fabaceae	app	Exótica BR	pata de vaca
23	Hibiscus rosa-sinensis L.	60	1,04	4523	78,74	Malvaceae	arb	Exótica BR	hibisco
24	Psidium guajava L.	60	1,04	4583	79,79	Myrtaceae	app	Exótica SP	goiabeira
25	Roystonea oleracea (Jacq.) O.F. Cook.	57	0,99	4640	80,78	Arecaceae	pal	Exótica BR	palmeira imperial

ANEXO A - Frequência, família, hábito e origem das espécies da amostra levantada na área densamente urbanizada do perímetro urbano de Piracicaba - SP (Brasil) (continuação)

	Espécie	FA	FR (%)	FA _{ac} .	FR _{ac.} (%)	Família	Hábito	Origem	Nome popular
26	Mangifera indica L.	50	0,87	4690	81,65	Anacardiaceae	agp	Exótica BR	mangueira
27	Spathodea campanulata P. Beauv.	49	0,85	4739	82,50	Bignoniaceae	agp	Exótica BR	espatódea
28	Tabebuia rosea (Bertol.) DC.	49	0,85	4788	83,36	Bignoniaceae	agp	Exótica BR	ipê de El Salvador
29	Pachira glabra Pasq.	48	0,84	4836	84,19	Malvaceae	agp	Exótica BR	castanha do MA
30	Melaleuca alternifolia Cheel	44	0,77	4880	84,96	Myrtaceae	agp	Exótica BR	melaleuca
31	Thevetia peruviana (Pers.) Schum.	39	0,68	4919	85,64	Apocynaceae	arb	Exótica BR	chapéu de Napoleão
32	Grevillea banksii R. Br.	38	0,66	4957	86,30	Proteaceae	app	Exótica BR	grevília de jardim
33	Handroanthus impetiginosus (Mart. ex DC.) Mattos	33	0,57	4990	86,87	Bignoniaceae	agp	Exótica PI	ipê roxo
34	Syzygium smithii (Poir.) Nied.	25	0,44	5015	87,31	Myrtaceae	app	Exótica BR	jambolãozinho
35	Dypsis lutescens (H. Wendl.) Beentje & J. Dransf	24	0,42	5039	87,73	Arecaceae	pal	Exótica BR	areca bambu
36	Punica granatum L.	24	0,42	5063	88,14	Punicaceae	app	Exótica BR	romanzeira
37	Morus nigra L.	23	0,40	5086	88,54	Moraceae	app	Exótica BR	amoreira negra
38	Cupressus sp. (1)	22	0,38	5108	88,93	Cupressaceae	?	Exótica BR	cipreste
39	Delonix regia (Bojer ex Hook.) Raf.	22	0,38	5130	89,31	Fabaceae	agp	Exótica BR	flamboyant
40	Duranta erecta L.	22	0,38	5152	89,69	Verbenaceae	arb	Exótica SP	pingo de ouro
41	Caesalpinia echinata Lam.	21	0,37	5173	90,06	Fabaceae	agp	Exótica SP	pau brasil
42	Caesalpinia pulcherrima (L.) Sw.	21	0,37	5194	90,42	Fabaceae	app	Exótica BR	flamboyantzinho
43	Codiaeum variegatum Blume	21	0,37	5215	90,79	Euphorbiaceae	arb	Exótica BR	Cróton
44	Citrus reticulata L.	18	0,31	5233	91,10	Rutaceae	app	Exótica BR	mexeriqueira
45	Ceiba speciosa (A. St. Hill) Ravenna	17	0,30	5250	91,40	Malvaceae	agp	Nativa	paineira
46	Persea americana Mill.	15	0,26	5265	91,66	Lauraceae	agp	Exótica BR	abacateiro
47	Plinia cauliflora (Mart.) Kausel	14	0,24	5279	91,90	Myrtaceae	agp	Nativa	jaboticabeira
48	Yucca elephantipes Regel	14	0,24	5293	92,15	Agavaceae	arb	Exótica BR	iuca
49	Eriobothrya japonica (Thunb.) Lindl.	13	0,23	5306	92,37	Rosaceae	agp	Exótica BR	ameixeira amarela
50	Livistona sp.	13	0,23	5319	92,60	Arecaceae	pal	Exótica BR	palmeira leque

ANEXO A - Frequência, família, hábito e origem das espécies da amostra levantada na área densamente urbanizada do perímetro urbano de Piracicaba - SP (Brasil) (continuação)

	Espécie	FA	FR (%)	FA _{ac} .	FR _{ac.} (%)	Família	Hábito	Origem	Nome popular
51	Cocos nucifera L.	12	0,21	5331	92,81	Arecaceae	pal	Exótica BR	coqueiro
52	Pachira aquatica Aubl.	12	0,21	5343	93,02	Malvaceae	agp	Exótica SP	monguba
53	Citrus x sinensis (L.) Osbeck.	11	0,19	5354	93,21	Rutaceae	app	Exótica BR	laranja
54	Lafoensia glyptocarpa Koehne	11	0,19	5365	93,40	Lythraceae	agp	Exótica SP	mirindiba
55	Libidibia ferrea var. leiostachya (Benth.) L.P.Queiroz	11	0,19	5376	93,59	Fabaceae	agp	Exótica SP	pau ferro
56	Melaleuca leucadendron Linn.	11	0,19	5387	93,78	Myrtaceae	agp	Exótica BR	melaleuca
57	Muntingia calabura L.	11	0,19	5398	93,98	Tiliaceae	agp	Exótica BR	calabura
58	Triplaris americana L.	11	0,19	5409	94,17	Polygonaceae	agp	Exótica PI	pau formiga
59	Citrus x limon (L.) Burm.	10	0,17	5419	94,34	Rutaceae	app	Exótica BR	limoeiro
60	Hibiscus tiliaceus L.	10	0,17	5429	94,52	Malvaceae	agp	Exótica BR	algodão da praia
61	Koelreuteria bipinnata Franch.	10	0,17	5439	94,69	Sapindaceae	agp	Exótica BR	árvore da China
62	Carica papaya L.	9	0,16	5448	94,85	Caricaceae	app	Exótica BR	mamoeiro
63	Cassia fistula L.	9	0,16	5457	95,00	Fabaceae	agp	Exótica BR	chuva de ouro
64	Cordia superba Cham.	9	0,16	5466	95,16	Boraginaceae	app	Nativa	baba de boi
65	Lafoensia pacari A.StHil.	9	0,16	5475	95,32	Lythraceae	agp	Nativa	dedaleira
66	Plumeria rubra L.	9	0,16	5484	95,47	Apocynaceae	app	Exótica BR	jasmim manga
67	Syzygium cumini (L.) Skeels	9	0,16	5493	95,63	Myrtaceae	agp	Exótica BR	jambolão
68	Psidium cattleianum Sabine	8	0,14	5501	95,77	Myrtaceae	app	Nativa	araçazeiro
69	Schefflera actinophylla (Endl.) Harms	8	0,14	5509	95,91	Araliaceae	app	Exótica BR	cheflera
70	Schinus terebinthifolius Raddi	8	0,14	5517	96,05	Anacardiaceae	app	Nativa	aroeira pimenteira
71	Annona muricata L.	7	0,12	5524	96,17	Annonaceae	app	Exótica BR	graviola
72	Brunfelsia uniflora (Pohl.) D. Don.	7	0,12	5531	96,29	Solanaceae	app	Nativa	manacá de cheiro
73	Cassia sp.	6	0,10	5537	96,40	Fabaceae	agp	Exótica BR	cassia
74	Cupressus sp. (2)	6	0,10	5543	96,50	Cupressaceae	?	Exótica BR	cipreste
75	Dictyoloma vandellianum A. Juss.	6	0,10	5549	96,61	Rutaceae	agp	Nativa	tingui preto

ANEXO A — Frequência, família, hábito e origem das espécies da amostra levantada na área densamente urbanizada do perímetro urbano de Piracicaba — SP (Brasil) (continuação)

	Espécie	FA	FR (%)	FA _{ac} .	FR _{ac.} (%)	Família	Hábito	Origem	Nome popular
76	Lagerstroemia speciosa Pers.	6	0,10	5555	96,71	Lythraceae	agp	Exótica BR	resedá gigante
77	Tecoma stans (L.) Juss ex. Kenth	6	0,10	5561	96,81	Bignoniaceae	arb	Exótica BR	ipêzinho de jardim
78	Bougainvillea glabra Choisy	5	0,09	5566	96,90	Nyctaginaceae	arb	Nativa	primavera
79	Hovenia dulcis Thunb.	5	0,09	5571	96,99	Rhamnaceae	agp	Exótica BR	uva japonesa
80	Leucaena leucocephala (Lam.) R. de Wit.	5	0,09	5576	97,08	Fabaceae	agp	Exótica BR	leucena
81	Ligustrum sinense Lour.	5	0,09	5581	97,16	Oleaceae	arb	Exótica BR	ligustro chinês
82	Acacia podalyriifolia A.Cunn. ex Don	4	0,07	5585	97,23	Fabaceae	app		acacia mimosa
83	Annona squamosa L.	4	0,07	5589	97,30	Annonaceae	app	Exótica BR	fruta do conde
84	Callicarpa reevesii Wall. ex Walpers.	4	0,07	5593	97,37	Verbenaceae	app	Exótica BR	calicarpa americana
85	Dypsis decaryi (Jum.) Beentje & J. Dransf	4	0,07	5597	97,44	Arecaceae	pal	Exótica BR	palmeira triângulo
86	Eucalyptus sp.	4	0,07	5601	97,51	Myrtaceae	agp	Exótica BR	eucalipto
87	Ficus microcarpa Linn.	4	0,07	5605	97,58	Moraceae	agp	Exótica BR	laurel da Índia
88	Holocalyx balansae Mich.	4	0,07	5609	97,65	Fabaceae	agp	Nativa	alecrim de Campinas
89	Labramia bojeri A. DC.	4	0,07	5613	97,72	Sapotaceae	agp	Exótica BR	abricó da praia
90	Melia azedarach L.	4	0,07	5617	97,79	Meliaceae	agp	Exótica BR	santa Bárbara
91	Poecilanthe parviflora Benth.	4	0,07	5621	97,86	Fabaceae	agp	Nativa	lapacho
92	Schefflera arboricola Hay.	4	0,07	5625	97,93	Araliaceae	arb	Exótica BR	chefera
93	Spondias purpurea L.	4	0,07	5629	98,00	Anacardiaceae	agp	Exótica BR	seriguela
94	Brugmansia suaveolens (Willd.) Bercht. & J. Presl.	3	0,05	5632	98,05	Solanaceae	arb	Exótica BR	trombeteira
95	Cestrum nocturnum L.	3	0,05	5635	98,10	Solanaceae	arb	Exótica BR	dama da noite
96	Citharexylum myrianthum Cham.	3	0,05	5638	98,15	Verbenaceae	agp	Nativa	pau viola
97	Citrus bigaradia Loisel	3	0,05	5641	98,21	Rutaceae	app	Exótica BR	limoeiro cravo
98	Eugenia brasiliensis Lam.	3	0,05	5644	98,26	Myrtaceae	app	Nativa	grumixama
99	Eugenia sprengelii DC.	3	0,05	5647	98,31	Myrtaceae	arb	Exótica SP	eugenia
100	Euphorbia leucocephala Lotsy	3	0,05	5650	98,36	Euphorbiaceae	arb	Exótica BR	cabeleira de velho

ANEXO A — Frequência, família, hábito e origem das espécies da amostra levantada na área densamente urbanizada do perímetro urbano de Piracicaba — SP (Brasil) (continuação)

	Espécie	FA	FR (%)	FA _{ac} .	FR _{ac.} (%)	Família	Hábito	Origem	Nome popular
101	Grevillea robusta A. Cunn. ex R. Br.	3	0,05	5653	98,42	Proteaceae	agp	Exótica BR	grevilha
102	Hymenaea courbaril L.	3	0,05	5656	98,47	Fabaceae	agp	Nativa	jatobá
103	Inga sp.	3	0,05	5659	98,52	Fabaceae	agp	Nativa	ingá
104	Litchi chinensis Sonn.	3	0,05	5662	98,57	Sapindaceae	agp	Exótica BR	lichia
105	Pinus sp.	3	0,05	5665	98,62	Pinaceae	agp	Exótica BR	pinus
106	Pterocarpus rohrii Vahl.	3	0,05	5668	98,68	Fabaceae	agp	Nativa	aldrago
107	Bixa orellana L.	2	0,03	5670	98,71	Bixaceae	app	Exótica SP	urucunzeiro
108	Chamaecyparis sp.	2	0,03	5672	98,75	Cupressaceae	agp	Exótica BR	cipreste
109	Crescentia cujete L.	2	0,03	5674	98,78	Bignoniaceae	agp	Exótica SP	cuiete
110	Diospyros kaki L. F.	2	0,03	5676	98,82	Ebenaceae	agp	Exótica BR	caquizeiro
111	Erythrina indica Lam.	2	0,03	5678	98,85	Fabaceae	agp	Exótica BR	brasileirinho
112	Ficus eximia Schott	2	0,03	5680	98,89	Moraceae	agp	Nativa	falsa seringueira
113	Gardenia augusta Merr.	2	0,03	5682	98,92	Rubiaceae	arb	Exótica BR	gardenia
114	Harpullia sp.	2	0,03	5684	98,96	Sapindaceae	agp	Exótica BR	arpulia
115	Lecythis pisonis Camb.	2	0,03	5686	98,99	Lecythidaceae	agp	Exótica BR	sapucaia
116	Odontonema Tubaeforme (Bertol.) Kuntze.	2	0,03	5688	99,03	Acanthaceae	arb	Exótica SP	odontonema
117	Plectranthus barbatus Andrews.	2	0,03	5690	99,06	Monimiaceae	arb	Exótica BR	boldo
118	Solanum sp.	2	0,03	5692	99,09	Solanaceae	?	Nativa	jurubeba
119	Swietenia macrophylla King	2	0,03	5694	99,13	Meliaceae	agp	Exótica SP	mogno
120	Syzygium jambos (L.) Alston	2	0,03	5696	99,16	Myrtaceae	agp	Exótica BR	jambo rosa
121	Vernonanthura condensata (Baker) H. Rob.	2	0,03	5698	99,20	Asteraceae	arb	Exótica BR	aluman
122	Acacia mangium Willd	1	0,02	5699	99,22	Fabaceae	agp	Exótica BR	acácia australiana
123	Acnistus arborescens (L.) Schltdl.	1	0,02	5700	99,23	Solanacea	app	Nativa	fruto do sabia
124	Adenanthera pavonina L.	1	0,02	5701	99,25	Fabaceae	agp	Exótica BR	olho de dragão
125	Albizia niopoides Benth.	1	0,02	5702	99,27	Fabaceae	agp	Nativa	farinha seca

ANEXO A - Frequência, família, hábito e origem das espécies da amostra levantada na área densamente urbanizada do perímetro urbano de Piracicaba - SP (Brasil) (continuação)

	Espécie	FA	FR (%)	FA _{ac} .	FR _{ac.} (%)	Família	Hábito	Origem	Nome popular
126	Anacardium occidentale L.	1	0,02	5703	99,29	Anacardiaceae	agp	Exótica PI	cajueiro
127	Annona Cherimola Mill. x A. squamosa L.	1	0,02	5704	99,30	Annonaceae	app	Exótica BR	atemoia
128	Artocarpus heterophyllus Lam.	1	0,02	5705	99,32	Moraceae	agp	Exótica BR	jaqueira
129	Aspidosperma polyneuron Müll. Arg.	1	0,02	5706	99,34	Apocynaceae	agp	Nativa	peroba rosa
130	Bunchosia armeniaca (Cav.) Rich	1	0,02	5707	99,36	Malpighiaceae	arb	Exótica BR	caferana
131	Calliandra brevipes Benth.	1	0,02	5708	99,37	Verbenaceae	arb	Exótica SP	caliandra
132	Cariniana estrellensis (Raddi) Kuntze	1	0,02	5709	99,39	Lecythidaceae	agp	Nativa	jequitibá branco
133	Caryota urens L.	1	0,02	5710	99,41	Arecaceae	pal	Exótica BR	palmeira rabo de peixe
134	Cassia javanica L.	1	0,02	5711	99,43	Fabaceae	agp	Exótica BR	cassia rosa
135	Casuarina equisetifolia L.	1	0,02	5712	99,44	Casuarinaceae	agp	Exótica BR	casuarina
136	Cecropia sp.	1	0,02	5713	99,46	Urticaceae	agp	Nativa	embauba
137	Cordia ecalyculata Vell.	1	0,02	5714	99,48	Boraginaceae	agp	Nativa	porangaba
138	Dillenia indica L.	1	0,02	5715	99,50	Dilleniaceae	agp	Exótica BR	árvore do dinheiro
139	Dracaena angustifolia Roxb.	1	0,02	5716	99,51	Ruscaceae	arb	Exótica BR	dracena
140	Dracaena fragrans (L.) Kew. Gawl.	1	0,02	5717	99,53	Ruscaceae	arb	Exótica BR	coqueiro de Vênus
141	Elaeocarpus serratus L.	1	0,02	5718	99,55	Elaeocarpaceae	agp	Exótica BR	azeitoneira do Ceilão
142	Ficus sp. (1)	1	0,02	5719	99,56	Moraceae	?	?	ficus
143	Inga laurina (Sw.) Willd.	1	0,02	5720	99,58	Fabaceae	agp	Nativa	inga
144	Jacaranda mimosifolia D. Don.	1	0,02	5721	99,60	Bignoniaceae	agp	Exótica BR	jacarandá mimoso
145	Liquidambar styraciflua L.	1	0,02	5722	99,62	Altingiaceae	agp	Exótica BR	liquidambar
146	Lithrea molleoides (Vell.) Engl.	1	0,02	5723	99,63	Anacardiaceae	agp	Nativa	aroeira brava
147	Macadamia integrifolia Maiden & Betche	1	0,02	5724	99,65	Proteaceae	agp	Exótica BR	macadamia
148	Machaerium hirtum Vell.	1	0,02	5725	99,67	Fabaceae	agp	Nativa	jacarandá bico de pato
149	Manilkara zapota (L.) P. Royen	1	0,02	5726	99,69	Sapotaceae	app	Exótica BR	sapotizeiro
150	Morus alba L.	1	0,02	5727		Moraceae	app	Exótica BR	amoreira

ANEXO A - Frequência, família, hábito e origem das espécies da amostra levantada na área densamente urbanizada do perímetro urbano de Piracicaba - SP (Brasil) (conclusão)

	Espécie	FA	FR (%)	FA _{ac} .	FR _{ac.} (%)	Família	Hábito	Origem	Nome popular
151	Roystonea regia (Kunth) O.F. Cook.	1	0,02	5728	99,72	Arecaceae	pal	Exótica BR	palmeira imperial
152	Salix babylonica L.	1	0,02	5729	99,74	Salicaceae	agp	Exótica BR	chorão
153	Sambucus australis Cham e Schlt.	1	0,02	5730	99,76	Adoxaceae	arb	Exótica SP	sabugueiro
154	Sapindus saponaria L.	1	0,02	5731	99,77	Sapindaceae	app	Exótica SP	saboneteira
155	Solanum mauritianum Scop.	1	0,02	5732	99,79	Solanaceae	app	Nativa	fumo bravo
156	Solanum variabile Mart.	1	0,02	5733	99,81	Solanaceae	arb	Nativa	jurubeba
157	Spondias mombin L.	1	0,02	5734	99,83	Anacardiaceae	agp	Exótica SP	cajá mirim
158	Tabernaemontana catharinensis A.DC.	1	0,02	5735	99,84	Apocynaceae	agp	Nativa	leiteiro
159	Talisia esculenta (A. StHil.) Radlk.	1	0,02	5736	99,86	Sapindaceae	agp	Exótica SP	pitomba
160	Tamarindus indica L.	1	0,02	5737	99,88	Fabaceae	agp	Exótica BR	tamarindeiro
161	Tectona grandis L.f.	1	0,02	5738	99,90	Verbenaceae	agp	Exótica BR	teca
162	<i>Thuja</i> sp.	1	0,02	5739	99,91	Cupressaceae	?	Exótica BR	tuia
163	Trema micrantha (L.) Blum.	1	0,02	5740	99,93	Cannabaceae	app	Nativa	pau pólvora
164	Zanthoxylum rhoifolium Lam.	1	0,02	5741	99,95	Rutaceae	agp	Nativa	mamica de porca
165	Zanthoxylum riedelianum Engl.	1	0,02	5742	99,97	Rutaceae	agp	Nativa	mamica de porca
166	ni	2	0,03	5744	100,00	?	?	?	?

Onde: FA é frequência absoluta; FR é frequência relativa; FA_{ac.} é frequência acumulada absoluta; FR_{ac.} é frequência acumulada relativa; arb é arbusto; app é árvore de pequeno porte; agp é árvore de grande porte; pal é palmeira; ? é indeterminado; Exótica BR é espécie exótica do Brasil; Exótica SP é espécie exótica do Estado de São Paulo; Exótica PI é espécie exótica da Região de Piracicaba; Nativa é espécie nativa da Região de Piracicaba

ANEXO B — Frequência das famílias da amostra levantada na área densamente urbanizada do perímetro urbano de Piracicaba — SP (Brasil)

Família	(70)		FA _{ac} .	FR _{ac.} (%)	Família	FA	FR (%)	FA _{ac} .	FR _{ac.} (%)
Rutaceae	981	17,08	981	17,08	Araliaceae	12	0,21	5649	98,35
Fabaceae	625	10,88	1606	27,96	Polygonaceae	11	0,19	5660	98,54
Chrysobalanaceae	595	10,36	2201	38,32	Tiliaceae	11	0,19	5671	98,73
Bignoniaceae	524	9,12	2725	47,44	Boraginaceae	10	0,17	5681	98,90
Myrtaceae	466	8,11	3191	55,55	Caricaceae	9	0,16	5690	99,06
Lythraceae	395	6,88	3586	62,43	Meliaceae	6	0,10	5696	99,16
Arecaceae	280	4,87	3866	67,31	Nyctaginaceae	5	0,09	5701	99,25
Lauraceae	265	4,61	4131	71,92	Rhamnaceae	5	0,09	5706	99,34
Anacardiaceae	245	4,27	4376	76,18	Rubiaceae	5	0,09	5711	99,43
Magnoliaceae	175	3,05	4551	79,23	Sapotaceae	5	0,09	5716	99,51
Malvaceae	147	2,56	4698	81,79	Lecythidaceae	3	0,05	5719	99,56
Combretaceae	146	2,54	4844	84,33	Pinaceae	3	0,05	5722	99,62
Apocynaceae	144	2,51	4988	86,84	Acanthaceae	2	0,03	5724	99,65
Moraceae	140	2,44	5128	89,28	Asteraceae	2	0,03	5726	99,69
Melastomataceae	139	2,42	5267	91,70	Bixaceae	2	0,03	5728	99,72
Malpighiaceae	76	1,32	5343	93,02	Ebenaceae	2	0,03	5730	99,76
Oleaceae	68	1,18	5411	94,20	Monimiaceae	2	0,03	5732	99,79
Proteaceae	42	0,73	5453	94,93	Ruscaceae	2	0,03	5734	99,83
Cupressaceae	31	0,54	5484	95,47	Adoxaceae	1	0,02	5735	99,84
Verbenaceae	31	0,54	5515	96,01	Altingiaceae	1	0,02	5736	99,86
Euphorbiaceae	24	0,42	5539	96,43	Cannabaceae	1	0,02	5737	99,88
Punicaceae	24	0,42	5563	96,85	Casuarinaceae	1	0,02	5738	99,90
Solanaceae	18	0,31	5581	97,16	Dilleniaceae	1	0,02	5739	99,91
Sapindaceae	17	0,30	5598	97,46	Elaeocarpaceae	1	0,02	5740	99,93
Agavaceae	14	0,24	5612	97,70	Salicaceae	1	0,02	5741	99,95
Rosaceae	13	0,23	5625	97,93	Urticaceae	1	0,02	5742	99,97
Annonaceae	12	0,21	5637	98,14	ni	2	0,03	5744	100,00

Onde: FA é frequência absoluta; FR é frequência relativa; FA $_{ac.}$ é frequência acumulada absoluta; FR $_{ac.}$ é frequência acumulada relativa

ANEXO C – Valores observados das variáveis de interesse densidade em número de indivíduos por quilômetro de calçada (D_F) , densidade em área basal por quilômetro de calçada (D_G) e altura total média (\overline{H}_t) , nas unidades amostrais por estrato (continua)

		D_F (u	/km)			$D_G (m^2)$	² /km)			\overline{H}_t (m)	
ua -	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
					ES	STRAT	01					
3	42,1	31,7	34,9	46,8	2,67	1,57	1,66	1,99	4,95	4,54	4,84	5,34
8	66,1	61,2	55,7	81,1	7,32	7,26	5,89	5,95	9,02	10,34	9,58	9,16
12	78,8	64,8	59,5	70,0	3,82	3,05	2,41	1,93	6,16	6,14	5,57	5,48
15	47,4	42,9	46,5	63,5	0,92	1,44	1,55	1,90	4,15	4,57	4,74	4,97
16	43,8	41,4	41,4	48,8	2,51	1,89	2,20	1,77	5,09	5,22	5,90	5,67
17	54,6	55,1	48,3	73,6	2,43	3,27	2,90	3,13	5,24	6,54	6,17	5,83
18	55,5	61,7	57,8	79,5	1,02	2,44	2,38	2,50	3,93	4,90	5,18	5,32
20	53,9	67,7	83,2	104,7	3,44	4,10	4,53	3,89	6,98	8,14	7,24	6,92
21	51,0	51,2	56,2	69,4	0,86	2,42	2,75	2,42	5,21	6,12	5,83	5,64
22	69,5	60,0	59,1	79,3	2,67	2,11	2,75	3,01	5,77	5,25	5,86	5,98
23	37,0	47,2	53,7	67,6	2,45	3,13	2,78	2,62	7,44	7,10	6,38	6,24
26	87,9	80,8	81,1	115,8	8,47	7,80	6,87	7,79	7,94	7,94	7,99	8,55
27	59,3	61,9	57,6	72,8	5,66	5,81	4,98	4,31	9,29	8,83	8,32	8,16
29	33,9	29,8	23,3	28,4	1,63	0,99	0,70	0,56	6,88	5,86	5,66	5,45
30	15,3	29,8	28,0	36,8	0,70	1,36	1,24	1,56	5,92	5,50	5,51	5,72
31	52,3	43,8	50,1	75,9	3,78	2,25	1,97	2,35	6,19	5,68	5,23	5,54
35	89,6	67,2	49,6	61,2	0,13	1,79	1,42	1,62	7,70	7,84	7,70	7,49
38	38,4	28,0	33,2	51,0	1,79	1,51	1,49	1,82	5,69	5,68	5,78	6,38
42	68,9	43,7	45,1	58,3	2,93	1,92	2,42	2,42	5,74	6,03	6,35	6,28
72	41,1	34,1	32,3	60,3	2,09	1,92	1,70	2,02	6,65	6,39	6,05	5,78
74	117,0	89,1	71,6	91,9	7,93	5,65	5,07	5,19	9,19	9,53	9,73	9,47
83	57,0	41,0	34,4	49,7	5,46	3,10	2,66	2,91	8,81	7,60	7,71	7,61
84	103,3	60,9	60,2	61,7	9,04	5,18	5,17	4,30	10,16	9,78	9,23	9,22
88	42,5	24,4	25,4	34,4	2,44	1,31	1,01	1,36	7,87	7,49	6,16	6,91
89	17,3	19,1	18,2	20,6	0,46	0,49	0,68	0,65	5,83	4,36	5,29	5,29
90	43,8	34,6	46,8	71,1	10,67	7,85	9,37	9,48	14,46	13,39	12,29	11,39

ANEXO C – Valores observados das variáveis de interesse densidade em número de indivíduos por quilômetro de calçada (D_F) , densidade em área basal por quilômetro de calçada (D_G) e altura total média (\overline{H}_t) , nas unidades amostrais por estrato (continuação)

		D_F (u	/km)			$D_G (m^2)$	² /km)		\overline{H}_t (m)				
ua –	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
					ES	STRAT	O 2						
1	70,9	54,3	52,1	51,1	1,70	2,30	1,99	2,28	4,46	5,49	5, 23	5,41	
2	38,9	41,9	36,7	32,5	0,59	1,00	0,91	0,73	4,08	4,30	4,38	4,26	
4	18,7	22,5	25,1	25,8	0,88	1,01	0,91	0,91	5,14	5,13	4,88	4,88	
5	40,3	27,3	31,9	29,9	1,85	1,41	1,70	1,62	5,48	5,92	5,91	5,81	
6	20,2	21,0	30,1	38,4	0,39	0,44	1,75	1,85	4,40	4,41	5,99	5,71	
7	30,4	57,6	54,1	47,9	1,02	1,84	2,14	1,67	4,45	4,71	5,05	4,88	
9	24,3	38,8	37,4	32,1	0,61	1,31	1,50	1,29	4,55	5,22	5,81	5,96	
10	46,6	46,7	49,4	46,4	2,70	2,38	2,79	2,62	7,63	7,03	7,84	7,51	
11	37,6	37,7	47,5	47,0	1,12	0,81	1,23	1,20	4,99	4,36	4,48	4,60	
13	66,8	56,0	44,9	45,0	1,28	1,01	0,88	0,91	4,35	4,36	4,54	4,54	
14	70,9	77,2	70,8	69,8	4,56	3,32	2,83	3,39	5,69	5,02	5,00	5,43	
19	42,2	44,6	40,6	44,7	1,14	1,67	1,29	1,51	4,91	5,39	5,10	5,19	
24	19,9	23,4	12,8	17,2	1,20	1,12	0,59	0,96	6,24	5,43	5,43	6,76	
25	68,5	60,1	56,2	51,5	1,24	1,15	1,04	0,91	5,15	5,10	5,18	5,04	
28	23,4	11,8	20,0	25,8	2,78	1,40	1,35	1,23	9,01	9,01	7,30	6,04	
32	35,1	33,6	31,6	31,7	0,95	0,84	0,83	0,87	4,70	4,47	4,68	4,63	
33	42,4	44,8	61,8	64,5	1,08	0,94	1,68	1,60	5,03	4,96	5,12	5,16	
34	35,8	39,4	39,3	39,4	1,22	2,08	1,95	1,69	4,10	5,51	5,58	5,49	
36	22,5	29,9	29,4	24,5	1,30	1,75	1,98	1,58	6,85	7,00	7,11	6,80	
37	17,4	16,1	12,7	25,1	0,14	0,43	0,30	0,60	3,68	6,40	6,05	5,16	
39	42,3	47,8	51,0	44,8	2,05	1,75	1,49	1,34	5,64	5,20	4,92	4,94	
40	29,9	37,2	36,0	26,6	1,18	1,08	0,88	0,65	7,20	5,06	4,66	4,66	
41	62,8	55,3	41,5	36,6	4,06	3,46	2,76	3,04	5,08	6,12	6,23	7,23	
43	42,2	37,2	34,5	37,0	0,85	0,87	0,69	0,73	4,84	4,57	4,32	4,44	
44	42,5	32,2	34,7	35,8	1,14	1,04	1,45	1,32	4,33	4,97	5,96	5,68	
45	12,8	17,1	22,8	27,5	0,41	0,51	1,91	1,81	4,91	5,83	8,52	8,14	

ANEXO C – Valores observados das variáveis de interesse densidade em número de indivíduos por quilômetro de calçada (D_F) , densidade em área basal por quilômetro de calçada (D_G) e altura total média (\overline{H}_t) , nas unidades amostrais por estrato (continuação)

	D_F (u/km)					$D_G (m^2)$	² /km)		\overline{H}_t (m)			
ua –	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
					ES	STRAT	O 2					
46	48,6	46,9	42,7	36,3	3,54	2,97	3,16	2,72	7,03	7,13	7,76	8,08
47	45,1	63,0	68,4	60,6	3,24	3,09	3,10	2,76	7,03	5,6	5,73	5,628
48	16,9	21,6	29,9	21,6	1,07	1,31	1,37	0,98	6,84	6,18	5,92	5,90
49	61,3	52,8	39,8	33,4	4,26	3,23	2,46	1,93	7,41	6,72	6,82	6,56
50	14,3	16,5	20,6	19,4	0,17	0,25	0,37	0,35	4,50	4,76	5,15	5,21
51	19,0	14,5	18,6	28,1	0,88	0,65	0,61	0,81	5,43	6,08	5,24	5,76
52	0,0	15,5	14,4	16,5	0,00	0,11	0,23	0,25	0,00	3,91	5,27	4,96
53	24,4	4,0	19,1	21,6	1,53	0,81	0,93	1,00	7,19	6,82	7,76	6,99
54	26,5	25,6	28,2	30,1	2,24	1,67	1,44	1,68	9,86	8,08	6,82	6,69
55	23,0	26,9	36,2	32,7	0,68	0,77	0,94	0,99	5,12	4,64	5,40	5,72
56	22,0	17,5	24,0	32,1	0,29	0,18	0,43	0,63	4,41	4,36	4,62	5,48
57	38,0	29,5	27,2	35,5	2,45	1,80	2,32	2,39	7,21	7,00	7,76	7,49
58	15,2	21,1	21,3	33,2	0,27	0,55	0,53	0,99	4,07	5,60	5,36	5,64
59	23,2	15,9	21,9	20,2	0,39	0,27	0,64	0,57	5,04	4,60	5,05	5,17
60	18,6	23,2	23,4	28,7	0,85	0,79	0,74	0,92	9,17	6,00	5,78	5,44
61	0,0	2,4	6,7	5,4	0,00	0,08	0,48	0,39	0,00	3,67	6,36	6,36
62	5,7	22,0	25,3	27,6	0,25	0,37	0,53	0,99	6,30	5,30	5,44	5,44
63	47,5	36,9	33,4	37,2	1,38	0,95	1,19	2,20	6,15	5,70	6,03	6,96
64	36,5	37,1	45,8	44,3	0,67	0,80	1,08	1,03	4,14	4,03	4,57	4,44
65	24,4	29,5	28,7	25,5	0,69	0,99	1,09	1,11	4,96	5,32	5,18	5,42
66	36,1	33,4	33,8	28,9	1,75	1,48	1,78	1,55	5,62	5,57	6,29	6,52
67	28,6	26,5	21,9	23,6	1,37	1,20	1,01	1,45	6,06	5,90	6,21	7,04
68	14,5	26,7	28,6	26,2	1,12	1,78	1,75	1,42	9,24	8,05	6,84	6,39
69	34,2	27,4	24,1	24,9	2,56	1,68	1,55	1,63	3,84	4,48	4,90	5,81
70	33,0	22,3	24,8	24,8	1,03	0,70	0,93	1,27	4,56	4,55	5,05	5,50
71	40,9	43,3	42,1	36,7	2,74	2,47	2,29	2,14	5,62	6,04	6,06	6,18

ANEXO C – Valores observados das variáveis de interesse densidade em número de indivíduos por quilômetro de calçada (D_F) , densidade em área basal por quilômetro de calçada (D_G) e altura total média (\overline{H}_t) , nas unidades amostrais por estrato (conclusão)

	D_F (u/km)			$D_G (m^2/km)$				\overline{H}_t (m)				
ua –	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
					ES	STRAT	O 2					_
73	37,4	41,9	42,4	39,2	0,61	0,98	1,17	1,05	3,81	4,36	4,92	4,91
75	38,1	36,8	32,6	31,7	1,65	1,58	1,53	1,22	5,28	5,82	6,11	5,70
76	35,5	28,4	27,8	24,3	1,34	1,17	1,20	1,07	6,50	5,93	6,10	6,08
77	18,4	11,8	10,9	9,9	0,80	0,55	0,36	0,30	6,43	6,66	5,82	5,62
78	18,8	24,2	22,0	26,8	0,64	0,87	1,66	3,75	5,74	5,68	7,09	9,45
79	42,4	28,5	25,4	25,8	0,18	0,19	0,19	0,24	3,45	3,67	3,73	3,98
80	21,5	29,0	33,5	33,2	0,53	1,18	1,15	1,06	4,96	5,82	5,34	5,19
81	44,6	47,8	41,3	37,2	1,32	1,28	1,10	0,96	6,24	5,66	5,86	5,59
82	47,5	45,8	40,5	38,4	2,11	1,79	1,51	1,44	5,76	5,86	5,54	5,56
85	28,0	40,0	35,8	37,6	0,71	0,82	0,66	0,68	5,70	4,92	4,58	4,72
86	26,4	26,5	21,1	21,2	1,18	0,93	0,79	0,71	5,38	5,19	5,33	4,85
87	28,4	18,5	19,4	22,1	1,55	0,93	0,74	0,77	6,40	5,89	5,50	5,09

Onde: ua é unidade amostral correspondente a 1 quarteirão, 2 quarteirões, 3 quarteirões e 4 quarteirões

ANEXO D – Valores observados das variáveis de interesse densidade em volume por quilômetro de calçada (D_V) e densidade de espécies por quilômetro de calçada (D_E) , nas unidades amostrais por estrato (continua)

		D_V (m	³ /km)			D_E (e/km)			
ua -	1	2	3	4	1	2	3	4	
			EST	RATO 1					
3	10,94	6,03	7,13	9,32	13,3	9,1	9,5	10,6	
8	59,49	58,70	47,19	45,39	25,9	16,6	17,2	16,4	
12	20,61	16,48	11,51	8,93	41,5	28,2	21,6	16,0	
15	2,50	4,61	4,831	7,79	17,8	13,3	10,4	10,8	
16	11,21	8,66	11,14	8,81	16,7	12,1	11,5	9,8	
17	9,24	18,16	14,79	15,39	20,8	15,0	13,5	12,7	
18	2,18	9,86	9,69	10,33	9,8	9,7	9,3	9,3	
20	20,05	26,04	30,76	25,12	40,5	30,1	21,5	20,4	
21	2,65	13,62	14,78	12,57	25,5	28,5	22,8	18,4	
22	12,06	9,14	14,41	15,92	32,9	22,5	19,5	16,9	
23	17,00	19,30	15,97	14,85	15,8	14,4	14,7	15,0	
26	49,87	50,66	44,92	52,94	26,9	21,2	19,4	16,0	
27	37,97	36,59	33,67	28,77	23,3	23,8	14,6	10,8	
29	7,31	4,07	2,826	2,22	23,5	18,1	12,1	10,4	
30	3,33	5,32	4,88	7,03	15,3	16,4	12,5	11,5	
31	21,58	12,18	9,56	11,18	24,9	23,8	18,4	17,5	
35	43,74	30,83	21,27	19,16	24,4	19,5	14,2	12,8	
38	9,24	8,48	7,58	9,57	33,3	19,9	14,3	11,7	
42	16,40	9,91	11,60	11,61	11,1	6,2	5,1	4,3	
72	8,83	8,52	7,08	8,60	19,5	14,6	11,9	15,1	
74	72,76	47,84	41,53	40,08	32,9	26,1	20,4	19,9	
83	36,43	19,34	16,58	18,59	24,4	17,8	13,4	17,6	
84	64,28	34,27	35,37	29,15	32,1	18,4	14,3	11,6	
88	12,02	6,31	4,41	6,65	20,0	11,6	10,7	10,2	
89	1,69	1,64	2,28	2,12	11,5	5,7	7,3	6,1	
90	88,00	63,04	69,18	68,71	17,5	13,8	13,0	10,7	
	4.72	10.04		CRATO 2		10.2	147	16.0	
1 2	4,72	10,04	7,81	9,87	19,6	19,3	14,7	16,0	
4	1,47 3,58	2,78 4,20	2,58 3,57	2,01 3,66	23,8 10,7	19,9 8,2	14,8 9,3	11,9 8,4	
5	7,20	5,49	5,57 6,97	6,72					
6	1,09	1,17	6,92	7,46				8,0	
7	3,04	5,30	7,23	5,54	18,2			18,7	
9	1,88	4,51	5,84	4,98	12,1		13,7	10,7	
10	11,50	9,90	14,52	13,46	17,5			10,7	
11	3,63	2,29	3,55	3,41	26,0				
13	3,58	2,71	2,35	2,48	30,4			11,1	
14	21,21	13,15	11,28	16,53	21,8			14,9	
19	4,24	6,63	4,86	5,70	26,4			13,3	
24	6,83	5,44	2,87	5,40	12,6		7,7	6,8	
25	3,64	3,41	3,08	2,66	22,2		12,0	10,5	
	-,	-,	-,50	_,,,,	·-, -	-,-	-,-	-,-	

ANEXO D – Valores observados das variáveis de interesse densidade em volume por quilômetro de calçada (D_V) e densidade de espécies por quilômetro de calçada (D_E) , nas unidades amostrais por estrato (continuação)

		D_V (m	³ /km)		D_E (e/km)				
ua -	1	2	3	4	1	2	3	4	
			EST	RATO 2	2				
28	17,17	8,62	8,06	6,60	18,2	9,2	10,4	11,0	
32	2,93	2,46	2,50	2,94	18,8	13,8	14,4	12,9	
33	3,71	2,93	5,15	4,95	23,1	13,4	13,7	11,9	
34	3,02	8,54	8,02	6,81	19,1	17,5	16,2	15,5	
36	8,95	9,02	11,64	9,13	15,0	12,5	10,0	7,5	
37	0,28	2,35	1,62	3,10	7,5	6,2	5,1	5,8	
39	10,26	8,10	6,38	5,71	18,8	16,9	16,7	14,3	
40	4,68	3,29	2,45	1,81	12,0	9,3	13,3	9,8	
41	19,29	16,37	12,90	16,95	20,9	23,4	16,4	11,3	
43	2,99	2,63	1,95	2,05	29,5	18,6	14,5	13,6	
44	4,73	4,51	6,78	5,86	26,5	18,8	17,8	15,2	
45	1,71	2,46	12,04	10,99	10,2	7,9	6,4	7,4	
46	20,39	15,23	17,80	15,89	24,3	14,5	10,1	8,4	
47	16,77	15,88	15,40	13,16	27,1	21,0	16,8	13,6	
48	8,03	8,46	7,52	5,31	16,9	18,0	14,4	10,8	
49	20,46	13,77	10,38	8,02	30,6	26,4	19,9	15,2	
50	0,38	0,63	1,05	1,01	11,9	9,6	7,8	7,3	
51	3,12	2,49	2,15	3,17	14,2	11,2	9,3	10,6	
52	0,00	0,24	0,95	0,91	0,0	2,7	3,5	2,6	
53	7,73	3,89	4,35	4,61	16,3	11,4	10,0	10,2	
54	11,79	9,37	7,37	8,84	13,3	10,5	13,6	12,7	
55	2,40	2,34	3,14	3,81	20,4	14,7	19,0	15,3	
56	0,71	0,44	1,21	2,15	19,2	12,1	14,2	13,4	
57	11,82	8,75	13,90	12,89	12,7	11,5	12,6	11,4	
58	0,64	2,32	2,08	3,79	10,1	13,7	11,4	10,7	
59	1,08	0,67	1,81	1,70	16,6	11,1	10,4	8,5	
60	4,05	2,82	2,65	2,96	12,4	10,3	9,8	11,5	
61	0,00	0,15	5,41	4,38	0,0	1,6	4,1	3,3	
62	0,81	0,89	1,67	3,55	5,7	13,8	14,5	11,7	
63	5,70 1,64	3,70	4,80 3,12	10,90	20,0	17,1	15,3	18,6	
64 65	2,47	1,99 3,47		2,83 4,77	25,1	20,6 9,8	19,1 9,3	15,8	
65	2,47 7,65	6,21	4,45 7,83	6,87	13,1 18,0	18,2	9,3 17,4	7,5 13,7	
66 67	5,93	4,89	4,40	6,94	13,5	8,0	6,6	5,4	
68	5,58	8,25	6,80	5,35	11,6	14,8	11,4	10,3	
69	5,58 6,54	4,71	6,09	7,03	7,3	8,3	8,0	7,3	
70	4,03	2,47	3,64	6,85	17,4	10,1	8,8	8,8	
70 71	10,73	2,47 9,94	9,12	9,14	29,2	23,3	6,6 16,4	13,4	
71 73	1,46	2,59	3,64	3,28	8,8	12,9	10,4	9,5	
75 75	6,91	6,17	7,07	5,27	20,8	13,2	10,8	9,5	
13	0,71	0,17	7,07	5,41	20,0	13,4	10,5	2,5	

ANEXO D – Valores observados das variáveis de interesse densidade em volume por quilômetro de calçada (D_V) e densidade de espécies por quilômetro de calçada (D_E) , nas unidades amostrais por estrato (conclusão)

ua –		$D_V (\text{m}^3)$	/km)		D_E (e/km)				
	1	2	3	4	1	2	3	4	
			EST	RATO 2	2				
76	6,64	5,06	5,12	4,49	20,9	11,5	8,6	8,1	
77	3,98	2,67	1,59	1,28	15,8	10,3	7,8	6,8	
78	2,39	3,80	8,91	26,31	16,1	14,2	11,0	9,6	
79	0,34	0,39	0,40	0,57	3,7	4,9	5,5	5,5	
80	1,67	4,53	4,03	3,52	16,1	15,2	14,0	13,7	
81	5,22	4,67	3,96	3,27	20,7	18,2	13,2	11,0	
82	7,51	6,79	5,45	5,12	21,6	22,9	17,0	14,6	
85	2,77	2,66	2,03	2,05	15,6	17,9	13,9	13,3	
86	4,22	3,07	2,76	2,28	21,1	15,1	10,9	10,0	
87	6,05	3,28	2,51	2,42	22,1	11,6	13,9	13,0	

Onde: ua é unidade amostral correspondente a 1 quarteirão, 2 quarteirões, 3 quarteirões e 4 quarteirões