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

Crescimento de brotações após poda de árvores em vias públicas na cidade de
Piracicaba, SP

Rafaela Novaes de Abreu

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

Piracicaba
2017

Rafaela Novaes de Abreu
Engenheira Florestal e Licenciada em Ciências Agrárias

Crescimento de brotações após poda de árvores em vias públicas na cidade de Piracicaba,
SP

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

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

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

Piracicaba
2017

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

Abreu, Rafaela Novaes de

Crescimento de brotações após poda de árvores em vias públicas na cidade de Piracicaba, SP / Rafaela Novaes de Abreu. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2017.

78 p.

Dissertação (Mestrado) - - USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Arborização viária 2. Canteiro 3. IAF 4. ImageJ I. Título

Aos meus pais,
Com amor, dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – USP, à qual sinto imenso amor, pela minha formação profissional e pessoal, por todo aprendizado, pelas oportunidades e por tantas experiências maravilhosas proporcionadas. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pela concessão da bolsa de estudos. Ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Florestais, em especial à Giovana Oliveira, demais funcionários e docentes. Ao laboratório Centro de Métodos Quantitativos pelo espaço e recursos disponibilizados.

Ao querido Dr. Jefferson Lordello Polizel, por toda a prontidão, bom-humor, dedicação, e que tanto me auxiliou, exercendo um papel essencial na realização desse trabalho. Ao excelente professor, Dr. Demóstenes Ferreira da Silva Filho, pela carinhosa e paciente orientação, pelos conhecimentos adquiridos, conselhos, energias positivas, confiança no meu trabalho e todo o apoio, que foram fundamentais. Ao Flavio Henrique Mendes e ao Dr. Rogério G. M. G. de Oliveira, pelas dicas e auxílios no trabalho.

À Companhia Paulista de Força e Luz (CPFL Energia) de Piracicaba, em especial ao Guilherme Donato Pagliarini e ao Sr. Evandro, pela disponibilização de dados sobre as podas executadas pela companhia, que possibilitaram a realizarem desse trabalho.

Aos amigos que fiz na pós-graduação, em especial à Bruna Lara de Arantes, pelos ótimos conselhos acadêmicos e pessoais, pela parceria, conversas profundas, risadas, oportunidades proporcionadas e por alguns dos melhores momentos já vividos, e ao Gustavo Torquatro Oliva, pela ótima companhia, confidências, risadas, todo carinho e momentos bons compartilhados. Quero levá-los para sempre em minha vida. Também agradeço ao Fábio Francisco de Lima pela companhia na biblioteca de todos os dias e pelas ótimas dicas. A todos meus colegas e amigos, em especial à Ana Luisa Cristofote e à Laís Olbrick Rodrigues Menossi, pela amizade pura e verdadeira, pela grande cumplicidade, afinidade, amor e apoio de anos.

À toda minha família, que sempre me acompanha com muito amor, em especial à minha amada e inesquecível bisavó, Glaucia Antunes Peres, pelo apoio até o final e por me inspirar a ser uma mulher forte, íntegra e bondosa. A minha amada mãe, Valquiria Novaes de Abreu, meu anjo da guarda, pelo companheirismo, amor incondicional, e seu esforço por sempre me querer feliz e saudável. Ao meu amado pai, Sergio Schiavon de Abreu, pela grande ajuda no trabalho de campo que foi essencial para a realização dessa pesquisa, pelos seus sacrifícios em me ver bem, protegida e feliz, e pelo seu amor incondicional. Devo todas as minhas vitórias aos meus pais, que são incrivelmente bondosos e dedicados. Às minhas amadas cachorras, Babi, Biba e Bijou, que sempre trouxeram muita alegria para minha vida.

SUMÁRIO

RESUMO	7
ABSTRACT	8
1. INTRODUÇÃO	9
1.1. OBJETIVOS.....	10
1.1.1. Objetivo geral	10
1.1.2. Objetivos específicos.....	10
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	11
2.1. BREVE HISTÓRICO DA ARBORIZAÇÃO URBANA NO BRASIL	11
2.2. BENEFÍCIOS DA ARBORIZAÇÃO VIÁRIA.....	12
2.3. CONDIÇÕES DA ARBORIZAÇÃO VIÁRIA.....	13
2.3.1. Conflitos no meio urbano	13
2.3.2. Poluição do ar e iluminação noturna.....	13
2.3.3. Solo urbano	14
2.3.4 Calçadas	15
2.3.5. Canteiros	16
2.3.6. Fiação elétrica aérea.....	18
2.4. PODA EM ÁRVORES EM CONFLITO COM REDES DE ENERGIA AÉREAS.....	20
2.5. ASPECTOS FISIOLÓGICOS DO CRESCIMENTO DE ÁRVORES.....	26
3. MATERIAL E MÉTODOS	33
3.1. ÁREA DE ESTUDO.....	33
3.2. CONFIABILIDADE DO MÉTODO DIGITAL	33
3.3. BASE DE DADOS.....	34
3.4. COLETA DE DADOS EM CAMPO	35
3.5. PROCESSAMENTO DE DADOS OBTIDOS EM CAMPO	35
3.5.1. Escolha e descrição das espécies arbóreas.....	36
3.5.1.1. <i>Tipuana tipu</i> (Benth.) Kuntze	36
3.5.1.2. <i>Tabebuia heptaphylla</i> (Vell.) Mart.....	37

3.5.1.3. <i>Terminalia catappa</i> L.....	38
3.5.2. Classes de DAP.....	39
3.5.3. Processamento de imagens na medição digital.....	39
3.5.4. Medição do IAF.....	41
3.5.5. Determinação do tipo do solo das regiões	41
3.6. ANÁLISE DOS DADOS.....	41
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
4.1. CONFIABILIDADE DO MÉTODO DIGITAL	43
4.2. CLASSIFICAÇÃO DOS DADOS COLETADOS EM CAMPO	45
4.3. ANÁLISE GERAL DE CRESCIMENTO DE BROTAÇÕES.....	49
4.3.1. DAP x Taxa de crescimento	49
4.3.2. Área de canteiro x Taxa de crescimento.....	51
4.3.3. IAF x Taxa de crescimento.....	52
4.3.4. Tipo de calçada x Taxa de crescimento	53
4.3.5. Tipo de solo x Taxa de crescimento.....	54
4.4. ANÁLISE DE CRESCIMENTO DE BROTAÇÕES POR ESPÉCIE	55
4.4.1. Tipuana.....	57
4.4.2. Ipê-roxo	58
4.4.3. Chapéu-de-sol	60
4.5. ANÁLISE DE CRESCIMENTO DE BROTAÇÕES POR ESPÉCIE E CLASSE DE DAP	61
4.5.1. Tipuana.....	61
4.5.1.1. Área de canteiro x Taxa de crescimento	61
4.5.1.2. IAF x Taxa de crescimento	63
4.5.2. Ipê-roxo	63
4.5.2.1. Área de canteiro x Taxa de crescimento	63
4.5.2.2. IAF x Taxa de crescimento	64
4.5.3. Chapéu-de-sol	65
4.5.3.1. Área de canteiro x Taxa de crescimento	65
4.5.3.2. IAF x Taxa de crescimento	66
5. CONCLUSÕES	69
REFERÊNCIAS	71

RESUMO

Crescimento de brotações após poda de árvores em vias públicas na cidade de Piracicaba, SP

A principal função da arborização viária, nos últimos 30 anos, passou de apenas estética para promotora de serviços ambientais, mas essas árvores estão submetidas a diversos fatores estressantes, como a poluição do ar, a baixa disponibilidade de água, solo compactado, podas severas, e área de crescimento limitada. As redes aéreas de distribuição de energia são um dos elementos que mais interferem no manejo das árvores viárias, pois o conflito, geralmente, já está estabelecido e as concessionárias de energia optam por podas drásticas, que podem comprometer a sanidade da árvore e estimular brotações epicórmicas que crescem rapidamente e vão de encontro com as fiações. Posto isso, o presente estudo teve como objetivo determinar a taxa de crescimento de brotações epicórmicas após poda executada pela Companhia Paulista de Força e Luz (CPFL) em indivíduos das espécies tipuana (*Tipuana tipu* (Benth.) Kuntze), ipê-roxo (*Tabebuia heptaphylla* (Vell.) Mart.), e chapéu-de-sol (*Terminalia catappa* L.), na cidade de Piracicaba/SP e relacionar esta taxa com as características da árvore e do meio. Para isso, foi realizado levantamento em campo de variáveis como a espécie, diâmetro à altura do peito (DAP), índice de área foliar (IAF), tipo de calçada, tipo de solo, fotos do canteiro e dos brotos ao lado de uma baliza para posterior medição digital, que teve sua confiabilidade testada e aprovada nesta pesquisa. A análise foi executada com todas as espécies juntas, para cada espécie, e por classe de DAP dentro de cada espécie. O índice de crescimento médio diário para a tipuana foi de 0,360 cm; para o ipê-roxo, 0,298 cm; e para chapéu-de-sol, 0,404 cm. Houve diferença significativa entre a taxa de crescimento da espécie chapéu-de-sol e ipê-roxo, indicando que a espécie e o grupo sucessional a qual pertencem influenciam no ritmo de crescimento. Não foi constatada influência do tipo de calçada e nem do tipo de solo. O IAF também não influenciou no crescimento, a não ser em ipês com DAP entre 50 e 60 cm. A dimensão do canteiro não influenciou o crescimento dos brotos de chapéu-de-sol, mas influenciou positivamente tanto as tipuanas com 60 a 70 cm de DAP, que foram as árvores com o maior ritmo de crescimento da espécie, como os ipês com DAP entre 30 e 40 cm que ainda estão vigorosos e suas raízes continuam explorando o solo. Os estudos com essa temática são poucos e fatores como clima, época de poda e histórico de manejo da área podem exercer influência na resposta da árvore à poda. Portanto, é sugerido maior tempo de estudo com os mesmos indivíduos e a inclusão de mais árvores.

Palavras-chave: Arborização viária; Canteiro; IAF; ImageJ

ABSTRACT

Shoots's growth after street trees pruning in Piracicaba, SP

The main function of the street trees, in the last 30 years, had been switched from aesthetic to the promotion of environmental services. However, this trees are submitted to a lot of stressful factors like limited growth aerea, air pollution, low water availability, compacted soil and drastic pruning. Aerial power networks distribution are the elements that most interfere with the management of street trees, because the conflict is usually already established and the energy concessionaires opt for drastic pruning, which can compromise tree sanity and stimulate epicormic shoots, that grows quickly toward the aerial networks. Therefore, the present study had the objective of determining the growth rate of epicormic shoots after it having been pruned by CPFL for the species *Tipuana tipu* (Benth.) Kuntze; *Tabebuia heptaphylla* (Vell.) Mart.; and *Terminalia catappa* L. in the city of Piracicaba, São Paulo, Brazil, and relate this rate to the tree and environment characteristics. For that, a field survey was made of variables such as the species, diameter at breast height (DBH), leaf area index (LAI), type of pavement, type of soil, and photos of the treebed and shoots next to a beacon for later digital measurement, which had its reliability tested and approved in this study. The analysis was performed with all species together, for each species separately, and by dbh class within each species. The average daily growth rate for *Tipuana tipu* was 0.360 cm; for *Tabebuia heptaphylla* was 0.298 cm; and for *Terminalia catappa* was 0.404 cm. There was a significant difference between the growth rate of *Terminalia catappa* and *Tabebuia heptaphylla*, indicating that the species and its successional group influence the growth rhythm. There was no influence of the type of sidewalk or of the type of soil in the growth rate. The LAI also did not influence any growth, just for *Tabebuia Heptaphylla* with DBH between 50 and 60 cm. The treebed area did not influenced the *Terminalia catappa* shoots growth, but it had influenced positively the *Tipuana tipu* with 60 to 70 cm of DBH, wich were the trees with the greater growth rate of the species, as much as the *Tabebuia heptaphylla* with DBH between 30 and 40 cm, which are at a fairly vigorous age and their roots continue to explore the soil. There are a few studies with this theme and factors such as climate, pruning season and area management history can influence tree response to pruning. Therefore, longer study time with the same individuals and more trees included is suggested.

Keywords: Street trees; Treebed; LAI; ImageJ

1. INTRODUÇÃO

Nos espaços urbanos, o sistema viário corresponde a mais de 20% das cidades e é constituído por avenidas e ruas (MILANO; DALCIN, 2000). No planejamento dessas áreas, a árvore costuma ser o último elemento lembrado, e o primeiro quando ocorrem conflitos com os equipamentos urbanos e optam por sua remoção (McPHERSON, 2003).

A função principal da arborização viária, nos últimos 30 anos, passou de apenas estética para promotora de serviços ambientais (SEAMANS, 2013), como a melhora da qualidade do ar, redução do escoamento superficial da água da chuva, armazenamento de carbono, sombra e redução do efeito de ilha de calor urbano (MULLANEY; LUCKE; TRUEMAN, 2015); de serviços sociais, promovendo maior contato entre moradores, reduzindo o estresse, e funcionando como barreira entre pedestres que caminham na calçada e automóveis (VAN DILLEN et al., 2012); e de serviços econômicos, como redução de gastos com energia, aumento de lucros em negócios e no preço de propriedades (MULLANEY; LUCKE; TRUEMAN, 2015), entre diversos outros.

Mesmo proporcionando diversos benefícios, a arborização viária está sendo prejudicada com o crescimento das cidades, a disponibilidade de energia elétrica, a maior infraestrutura urbana e o crescimento no número de veículos (DALCIN; MILANO, 2000). As árvores localizadas nas cidades são submetidas a fatores estressantes, entre eles: poluição do ar, baixa disponibilidade de água, solo compactado, podas severas, e área de crescimento limitada (SÆBØ; BENEDIKZ; RANDRUP, 2003). Além de sofrerem injúrias, mutilações e até eliminação, por conta da ampliação de ruas, manutenção de fiações e encanamentos, e construção de mobiliário (LIMA, 1993).

As redes aéreas de distribuição de energia elétrica são um dos elementos que mais interferem no manejo das árvores viárias, pois o conflito, geralmente, já está estabelecido e as concessionárias de energia optam por podas drásticas, que podem comprometer a sanidade da árvore e estimular brotações epicórmicas que crescem rapidamente e vão de encontro às fiações novamente (BROWNING; WIAANT, 1997).

A árvore também deve ser pensada como um equipamento urbano necessário, e, para isso, é preciso planejar a implantação de mudas nas calçadas, a manutenção e continuar a monitorar seu crescimento (VOLPE-FILIK, 2009).

Um ponto relevante deste estudo é proporcionar maior esclarecimento quanto a velocidade de crescimento das brotações das árvores do meio viário após serem realizadas podas com o objetivo de evitar o conflito com a rede elétrica, tema pouco estudado e, portanto, carente de dados. Será possível, também, determinar quais condições das árvores e do seu meio influenciam nesse crescimento. Com

maiores informações acerca do assunto, as concessionárias de energia elétrica poderão planejar ações mais embasadas para o manejo da arborização viária das cidades pelas quais são responsáveis.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo geral

O objetivo geral do presente estudo é analisar a taxa de crescimento de brotações epicórmicas de árvores sob fiação elétrica aérea, no meio viário, após podas de segurança realizadas pela Companhia Paulista de Força e Luz (CPFL) na cidade de Piracicaba/SP, relacionando com as condições das árvores e do seu meio, para determinar o que pode influenciar o crescimento das brotações.

1.1.2. Objetivos específicos

Como objetivos específicos citam-se:

- Testar a confiabilidade do método digital na medição de brotações de árvores;
- Medir o comprimento das brotações após poda através do *software* ImageJ;
- Avaliar outras variáveis como: tamanho do canteiro onde a árvore está inserida, o tipo de pavimento da calçada e rua, a região da cidade onde se encontra, a espécie da árvore e suas medidas;
- Relacionar taxa de crescimento com as condições da árvore e do meio avaliadas em campo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Breve histórico da arborização urbana no Brasil

A arborização urbana pode ser entendida como toda a cobertura vegetal presente nas cidades, composta por árvores que ocupam áreas verdes públicas, como jardins e praças; as que ocupam áreas privadas, como quintais e clubes; e as que estão presentes em vias, como calçadas, alamedas, canteiros centrais de avenidas (KIRCHNER; DETZEL; MITISHITA, 1990; LORUSSO, 1992; BÁEZ; SANTIAGO, 2006). Pedrosa (1983), com uma explicação mais geral, relata que a arborização urbana é simplesmente o plantio planejado de árvores nas ruas e avenidas. Por seu vínculo com a política e planejamento urbano, o manejo da arborização urbana é mais complexo do que o de outras florestas (KONIJNENDIJK, 1997).

Segundo Lima (1993), o ato de plantar árvores em vias e praças começou com Luiz XIV, na França do século XVII e, assim, toda a Europa foi influenciada. No Brasil colonial, possuindo cidades de pequena extensão e ainda influenciado pela cultura portuguesa, não era dada devida atenção para a arborização urbana (MACEDO, 1999). Portanto, não se viam árvores nas vias e nos largos, até que no final do século XVIII, houve um plantio de muitas mangueiras ao longo das ruas da cidade de Belém/PA realizado pelo arquiteto Antônio José Landi, com o objetivo de analisar a adaptação da espécie ao ambiente urbano. Além da circunstância citada, outra provável origem da arborização urbana no Brasil, pode ter ocorrido no início do século XIX, no Rio de Janeiro, mesma época em que o plantio de árvores começou a ser exigido ao redor do mundo (LIMA, 1993).

Na virada do século XX, o Brasil pôde contar com uma melhora no cenário urbano para acomodar as árvores. As ruas de cidades como São Paulo, Manaus, Rio de Janeiro e Belo Horizonte foram planejadas para serem mais largas e arborizadas (MACEDO, 1999).

Roberto Burle Marx, considerado pai do paisagismo tropical, na década de 40, deu início à criação de muitos jardins em espaços livres nas cidades pelo país, dando preferência à espécies nativas brasileiras (FLEMING, 1996). O paisagismo teve papel importante no planejamento da paisagem urbana, e a arborização passou a ser considerada fator de estruturação das cidades (FARAH, 1999).

Porém, após a década de 40, surgiram equipamentos tecnológicos que entraram em conflito por espaço com indivíduos arbóreos, e esses passaram a representar um obstáculo para o dia-a-dia, ocorrendo cimentação de áreas antes permeáveis e menor atenção foi dada à arborização de ruas e parques nos planejamentos urbanos (MILANO; DALCIN, 2000; MONICO, 2001). Na década de 1980, poucas pesquisas foram realizadas na área, mas em 1992, foi criada a Sociedade Brasileira de Arborização Urbana, que uniu os interesses em relação à arborização do país (MILANO; DALCIN, 2000).

Atualmente, com o crescimento das cidades e do número de habitantes, alguns elementos urbanos interferem no desenvolvimento e na implantação da arborização viária, como os depósitos de resíduos de construção no subsolo; a pavimentação do leito carroçável e das calçadas, o que impede a entrada de ar e de água da chuva no solo; a compactação do solo; e a poluição do ar que impede das folhas exercerem suas funções de respiração e fotossíntese plenamente. De modo geral, as árvores são consideradas incompatíveis com os equipamentos existentes nas cidades, como fiações elétricas aéreas, postes de iluminação, entre outros (PIVETTA; SILVA FILHO, 2002; ROSSETTI; PELLEGRINO; TAVARES, 2010).

2.2. Benefícios da arborização viária

Há algumas décadas atrás, era conferida à arborização apenas valor estético, mas hoje ela é valorizada, também, por muitos outros benefícios, como a melhora na qualidade do ar, economia de energia, interceptação da água da chuva, bem estar psicológico, estoque de carbono, sombra para pedestres e veículos, direcionamento do vento, redução da poluição sonora, redução do escoamento superficial da água da chuva, redução da temperatura, e habitat para algumas espécies da fauna (PIVETTA; SILVA FILHO, 2002; BURDEN, 2006; RHODES et al., 2011; SEAMANS, 2013).

As árvores de maior porte e copa são as que mais auxiliam na redução de temperatura local, já que é a sombra produzida, a responsável por 80% desse efeito (SHASHUA-BAR; PEARLMUTTER; ERELL, 2009). Com a presença da árvore e sua sombra, ocorre menor consumo de energia para climatização dos ambientes internos de edifícios próximos, sendo que uma única árvore pode diminuir o custo anual de aquecimento residencial em 1,3% e de resfriamento em 7% (McPHERSON; NOWAK; ROWNTREE, 1994). Em um estudo conduzido na cidade de São Paulo, foi concluído que a região com maior porcentagem de cobertura arbórea teve menor necessidade de refrigeração artificial do ar (VELASCO, 2007).

As sombras das árvores situadas nas vias também ajudam, por exemplo, na conservação do asfalto, impedindo que o mesmo alcance altas temperaturas e emita gases tóxicos no ambiente (DEVIA; TORRES, 2012)

Em relação aos benefícios sociais, a presença de árvores nas vias estimula maior socialização entre moradores e reduz o estresse mental (VAN DILLEN et al., 2012). Além disso, as árvores que se encontram em calçadas criam uma barreira de proteção entre a zona de passeio de pedestres e o tráfego de automóveis (TARRAN, 2009).

2.3. Condições da arborização viária

2.3.1. Conflitos no meio urbano

A árvore se situa em meio de construções civis, onde as calçadas, as edificações, a pavimentação viária e diversos equipamentos urbanos interferem no seu crescimento natural (MILANO; DALCIN, 2000).

Frequentemente, as árvores presentes em vias sofrem injúrias ou são suprimidas quando é realizado alargamento das vias, manutenção da fiação aérea, reparação em encanamentos, entre outros (LIMA, 1993). Elas estão expostas a um alto nível de estresse e, por isso, sua longevidade é menor do que a maioria das árvores (NILSSON; RANDRUP; WANDALL, 2000). Estes estresses podem surgir tanto de fatores biológicos quanto de sociológicos, sendo o último mais relevante para sua sobrevivência (AMES, 1980).

Na Califórnia, a principal razão para pedidos de remoção de árvores das vias são os danos à infraestrutura (COSTELLO et al., 2000). Estes danos se devem, muitas vezes, à falta de planejamento para o local e não à árvore em si. Também podem ser resultado da escolha errada de espécies, causando falhas irreparáveis que se agravam pela desconsideração das necessidades das árvores relacionadas às características do solo, necessidade de água, necessidade de luz e de espaço para seu desenvolvimento (PIVETTA; SILVA FILHO, 2002; COMPANHIA PAULISTA DE FORÇA E LUZ, 2008). Portanto, é de grande valia o conhecimento sobre as características particulares de cada espécie na arborização urbana para que as árvores possam ser plantadas nas vias sem acarretar problemas.

Segundo Sæbø, Benedikz e Randrup (2003), as árvores de vias precisam ter as seguintes características: adaptação ao clima local; resistência às doenças; ter adaptabilidade bastante maleável; alta qualidade de raiz; bom potencial de crescimento e de forma; resistência aos ventos; resistência à seca; ter galhos resistentes à queda; e tolerância à poluição do ar.

2.3.2. Poluição do ar e iluminação noturna

Segundo Saxe (1991), o ar na cidade, como sabemos, é poluído e as árvores acabam sendo afetadas por isso, já que os estômatos, contidos em suas folhas, absorvem os poluentes químicos e ocorre a deposição de sujeira na superfície das mesmas. Com isso, os processos fisiológicos são alterados; as trocas gasosas são reduzidas; as folhas podem ficar degradadas; e o funcionamento dos estômatos é modificado, reduzindo a sanidade da árvore, que fica mais propensa às doenças (SANTOS; TEIXEIRA, 2001). Porém, justamente estes fatores são os que contribuem para a redução da poluição da atmosfera, sendo uma das mais importantes funções das árvores urbanas.

Além da poluição do ar, outro fator que pode comprometer a sanidade da árvore no ambiente urbano, é a iluminação noturna das ruas e dos edifícios próximos, que podem afetar o seu metabolismo natural por alterar o período natural de luz, tendo sua fenologia modificada (SÆBØ; BENEDIKZ; RANDRUP, 2003).

2.3.3. Solo urbano

Os solos urbanos são, em geral, compactados, possuem alta salinidade e altas concentrações de metais pesados (BENGOUGH et al., 2011). Com isso, as raízes tendem a crescer nos locais mais aerados e com mais nutrientes, características conferidas ao solo da superfície (JOBBÁGY; JACKSON, 2001).

De acordo com Craul (1985), os solos urbanos costumam possuir as seguintes características: alta variação vertical e espacial; estrutura física modificada devido a compactação; uma crosta superficial que geralmente é hidrofóbica; reações modificadas; aeração e drenagem de água restritas; ciclos de nutrientes interrompidos e população de organismos modificada; presença de materiais antropogênicos e contaminantes; e regimes de temperatura do solo altamente alterados.

A presença de pavimento nas áreas próximas às árvores pode apresentar problemas espaciais, já que o solo coberto por concreto, asfalto, entre outros, fica impossibilitado de ser infiltrado por água e de ocorrer a difusão de gases em profundidade. Dessa maneira, o solo coberto fica úmido por um maior período de tempo, pois a água não é drenada e nem evaporada. E em regiões mais secas, o solo continuará sempre seco. Ambos os fatores limitam o desenvolvimento das raízes, sendo difícil encontrar raízes muito extensas abaixo do pavimento (CRAUL, 1992).

A perda de porosidade do solo se deve as construções, materiais inadequados que são colocados ao redor das mudas, pavimentação das ruas e calçadas, água parada e alta circulação de pessoas e automóveis. Estas condições do ambiente urbano acabam por reduzir a quantidade de oxigênio e nutrientes disponíveis para as árvores, fatores determinantes para o crescimento mais lento das árvores urbanas (SANTAMOUR JUNIOR, 1969). Nestes ambientes, pode ocorrer, por exemplo, a falta de nitrogênio no solo, fator que interfere no crescimento apical da árvore, seca as folhas mais antigas e provoca amarelamento nas mais recentes, reduzindo a taxa de crescimento total do indivíduo arbóreo (HIMELICK, 1976).

Em 1976, Patterson realizou uma pesquisa em Washington DC, que concluiu que a densidade do solo urbano é tão alta quanto a do concreto, utilizado para pavimentação do solo. Além disso, foi constatada uma elevada diferença entre as características dos solos da cidade, mesmo que próximos. Como os solos urbanos são compactados, é importante lembrar que existem tipos de covas específicas para solo compactado, o que irá favorecer o desenvolvimento sadio da árvore (SEITZ, 1992).

2.3.4. Calçadas

Calçada é definida pelo Código de Trânsito Brasileiro (BRASIL, 1997), como parte da via, porém separada e em diferente nível, não dirigida ao tráfego de veículos, mas designada à circulação de pedestres, e quando viável, à construção de mobiliário urbano, sinalização, vegetação, entre outros fins.

Os principais materiais utilizados para a construção de calçadas são: concreto; cimentado; pavimentos intertravados; placas pré-moldadas de concreto; ladrilho hidráulico; rochas naturais; e, revestimentos cerâmicos antiderrapantes (CONSELHO REGIONAL DE ENGENHARIA, ARQUITETURA E AGRONOMIA DO ESTADO DO MATO GROSSO DO SUL, 2010). No processo de construção é realizada a compactação do solo através de piloagem ou de um compactador de solo (INSTITUTO DE PESQUISA E PLANEJAMENTO URBANO DE LONDRINA, 2015).

A calçada feita de concreto é uma das mais populares, e para sua construção é preciso compactar o solo; aplicar uma camada de concreto de no mínimo 3 centímetros como contrapiso, compactar e nivelar; e, por fim, aplicar uma camada de 5 centímetros de concreto como piso (MEYER, 2007). Na construção do pavimento intertravado é utilizada brita graduada simples ou bica corrida; areia de assentamento e é feita a colocação dos blocos de concreto pré-fabricados. Já o pavimento com placas pré-moldadas de concreto é realizado com compactação da base por placas fixas de concreto ou placas removíveis (brita ou bica); areia de assentamento e as placas de concreto são colocadas logo acima. Para ser de ladrilho hidráulico, ocorre aplicação de argamassa e cimento pulverizado, e as placas de concreto são assentadas. E, finalmente, na calçada de rochas naturais, é aplicada uma camada de argamassa seca; as pedras são colocadas; mais argamassa seca é espalhada entre as rochas; e, então, a calçada é regada com água (SÃO PAULO, 2017).

De acordo com McPherson e Peper (1995), as condições do local onde a árvore foi plantada são mais determinantes para seu desenvolvimento radicular, do que a sua espécie ou genética. Como exemplo, árvores situadas em calçadas pavimentadas costumam ter raízes mais grossas devido ao solo compactado em que se encontram, acarretando ainda mais danos ao pavimento (KIRBY; BENGOUGH, 2002).

As mudanças de temperatura que ocorrem ao longo do dia na infraestrutura, fazem com que surjam espaços porosos logo abaixo da calçada pavimentada. Por isso, os materiais utilizados para pavimentação acabam promovendo a formação de oxigênio, nutrientes e umidade no solo em contato, recursos que as raízes procuram para crescer (CODER, 1998).

Um estudo, realizado com 320 árvores localizadas em meio rural e urbano na região Centro-Oeste dos Estados Unidos, constatou que a presença de pavimento próximo às árvores teve influência direta na redução da taxa de crescimento das árvores, medida pela largura dos anéis de crescimento

do tronco durante dez anos. Como esta pesquisa teve como objetivo analisar a relação estatística entre taxa de crescimento e as condições do local, não é possível inferir se esta redução foi resultado do grau de perturbação da calçada, da baixa infiltração da água ou da área limitada para crescimento do sistema radicular (IAKOVGLOU et al., 2001).

Outra pesquisa, comparando árvores de diferentes estágios sucessionais no meio rural e no meio urbano, concluiu que espécies de estágios sucessionais tardios tem taxa de crescimento mais lenta, provavelmente, por suas raízes já estarem abaixo do pavimento, uma superfície que reduz a infiltração de água (QUIGLEY, 2004).

Uma maneira de melhorar o crescimento das árvores em calçadas pavimentadas é utilizando pavimentos permeáveis, como os pavimentos de concreto poroso, que podem aumentar a disponibilidade de água e oxigênio no solo (VISWANATHAN et al., 2011). Em um estudo, comparando o vigor de árvores da espécie *Platanus orientalis* localizadas em vias pavimentadas com concreto poroso e com concreto maciço, os indivíduos situados no poroso ficaram 28% mais altos em dezoito meses e tiveram 400 gramas a mais de biomassa radicular do que os indivíduos localizados no concreto não-poroso (MORGENROTH, 2011).

O ideal para o crescimento e sanidade das árvores, seriam calçadas feitas de grama, já que essas tem 78% de chance de sobreviver, enquanto as plantadas em calçadas feitas de material de construção tem 67% de chance (LU et al., 2010).

2.3.5. Canteiros

De acordo com o Manual de Normas Técnicas de Arborização Urbana da Prefeitura Municipal de Piracicaba (PIRACICABA, 2007), ao redor das árvores deve existir uma área permeável no formato de canteiro, faixa ou piso drenante. Essa área livre de pavimento deve ser suficiente para seu crescimento, e costuma ser chamada de área de crescimento, canteiro ou gola. O ideal é que essa área esteja afastada do meio fio em 0,50 m e que seu comprimento seja de 1,0 m, com isso a calçada já está 1,50 m ocupada, precisando ter 3,0 m de largura total, o que é raro de acontecer (GONÇALVES; PAIVA, 2013).

Esse espaço livre é necessário para a entrada de água e ar no solo e não deve ser menor que 1 m² (COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS, 2011). Em calçadas mais estreitas, canteiros contínuos seriam uma boa solução para aumentar a área de crescimento (GONÇALVES; PAIVA, 2013). Os canteiros maiores criam um ambiente mais favorável no solo para o desenvolvimento das raízes, sem que elas precisem procurar condições melhores na superfície.

O afloramento de raiz na calçada é motivo de muitas reclamações. Existem pesquisas realizadas no Brasil que comprovam uma relação inversa entre o tamanho do canteiro e os danos às

calçadas (MILANO, 1996; VOLPE-FILIK, 2009). Portanto, deve-se investir em um canteiro maior, principalmente em largura e comprimento, com covas de 70 cm x 50 cm (CRESTANA et al., 2007). Já para Bortoleto e Silva Filho (2008), um canteiro ideal, necessita ter, no mínimo, 1 metro x 1 metro de área livre, e a cova deve ser bem revolvida e adubada. E segundo o Manual de Normas Técnicas de Arborização Urbana da Prefeitura Municipal de Piracicaba (PIRACICABA, 2007), quando as condições do passeio permitirem, essas áreas devem obedecer as seguintes dimensões: 2 m² para árvores de copa entre 8 e 12 metros de raio e 3 m² para indivíduos com 13 a 20 metros de raio. É importante que ele tenha mais espaço do que profundidade, uma vez que 90% das raízes se encontram no solo mais superficial, em torno de 50 a 70 centímetros de profundidade (CRESTANA et al., 2007).

Os canteiros são construídos antes do plantio com a retirada de solo do local onde a muda será plantada, já que este costuma possuir entulhos e diversos materiais antrópicos. O berço implantado deve ter, no mínimo, 70 centímetros de comprimento, 70 centímetros de profundidade e 50 centímetros de largura. E se o solo for pouco fértil, a cova deve apresentar 140 cm x 100 cm x 100 cm. A terra de preenchimento conterà solo de textura argilosa, arenosa e composto orgânico mineralizado (PIRACICABA, 2007).

Na pesquisa de Lima (1993), após analisar 6,8 km de canteiros centrais e 105,7 km de calçadas, na região central de Piracicaba/SP, concluiu que 89,3% das árvores não tinham área livre de solo suficiente para seu crescimento adequado. Em outro estudo conduzido em Piracicaba/SP, foi constatado que a média de área livre para as Sibipirunas foi de 0,9 m², o que é considerado pouco para uma árvore de grande porte (VOLPE-FILIK, 2009).

Canteiros insuficientes para o crescimento radicular das árvores da cidade, podem ocasionar na maior frequência de ataque de pragas e doenças nas árvores, já que suas necessidades não são totalmente supridas e acabam por ficar mais susceptíveis, o que aumenta as chances de queda (BRAZOLIN, 2009).

Estudos mostram que um canteiro de área pequena também limita o crescimento de árvores em meio urbano (DAHLHAUSEN et al., 2016). Já os autores Neal e Whitlow (1997), relatam que a influência do tamanho do canteiro em possibilitar um maior crescimento das árvores urbanas, parece ser mais significativa em indivíduos maiores e mais maduros.

Brun (2012) constatou que as Sibipirunas, localizadas nas vias da cidade de Maringá/PR, com canteiros iguais ou maiores que 1 m², apresentaram maior acúmulo de biomassa nos galhos e de biomassa total, reforçando a ideia de que um canteiro maior oferece mais recursos para a árvore se desenvolver e crescer mais. Em contrapartida, a autora relata que o tamanho da área livre não influenciou na maior biomassa de folha, tal fato pode ser explicado pelas grandes proporções do DAP dos indivíduos que já estão maduros e, portanto, a produção de folhas já está consolidada.

2.3.6. Fiação elétrica aérea

De forma geral são três os tipos básicos de rede de energia elétrica aérea, entre eles: rede de distribuição aérea convencional, rede de distribuição aérea compacta e rede de distribuição aérea isolada (VELASCO, 2003).

A Figura 1 apresenta uma fiação convencional, que possui condutores desprotegidos, ou seja, não são isolados, e portanto, a rede fica mais vulnerável ao meio e qualquer contato com galhos pode ser desligada (CASTRO, 2000).

Figura 1 – Rede de distribuição aérea convencional

Fonte: a autora.

Na Figura 2 se encontra a rede compacta, que é caracterizada pela rede secundária ser isolada, a primária coberta por polietileno reticulado, mas não isolada, e suportada por cabo de aço que sustenta espaçadores de plástico a cada 8 metros, aproximadamente, compactando a disposição dos condutores (SARDETO, 1999).

Figura 2 - Rede de distribuição aérea compacta

Fonte: a autora.

Já a rede isolada (Figura 3) possui condutores isolados, blindados, que entrelaçam um cabo de sustentação (BERNIS, 2000).

Figura 3 – Rede de distribuição aérea isolada

Fonte: a autora.

As prefeituras e concessionárias de energia elétrica enfrentam o grande desafio de conciliar de maneira harmônica a relação entre a arborização presente nas vias e a rede de distribuição elétrica, uma vez que foram planejados de forma independente (VELASCO, 2003). Por isso, surgem conflitos tanto em relação ao efeito sobre a fiação, quando galhos têm contato direto com fios não isolados e

pode acontecer da energia falhar; quanto ao efeito sobre a arborização, quando são realizadas podas drásticas, e a arborização acaba sendo afetada em sua estética e sanidade (DE ANGELIS et al., 2011).

Velasco (2003) acredita que a maior ameaça à arborização viária é o conflito com a rede de distribuição de energia, já que para evitar contato são realizadas podas, muitas vezes, drásticas. Na maioria das vezes, o conflito já está instalado (LANGOWSKI; KLECHOWICZ, 2001), e após a árvore ser podada, a maior parte delas costuma brotar novamente em direção aos condutores elétricos, precisando sempre de manutenção (BROWNING; WIAANT, 1997).

Quando ocorre a disputa entre árvores e redes elétricas pelo mesmo espaço é importante que haja substituição ou adaptação das redes atuais, como redes protegidas, subterrâneas ou qualquer outra que evite a poda prejudicial (VELASCO, 2003). O sistema subterrâneo tem custo maior e é considerado mais complexo, porém reduz as interrupções de energia; contribui para a preservação da arborização urbana; a segurança em relação à população é mais alta; e os custos para manutenção tendem a cair, uma vez que as podas não precisam mais serem feitas (BOCCUZZI; BRUNHEROTO; MARTINS, 1997).

Em um estudo conduzido na cidade de Maringá foi constatado que tanto a intensidade quanto a frequência de poda em árvores abaixo de redes compactas obteve redução significativa em relação às árvores localizadas abaixo de redes convencionais. Além disso, com as redes compactas, a qualidade na transmissão de energia teve melhora, uma vez que houve redução no desligamento em função de contato com galhos ou em manutenções (DE ANGELIS et al., 2011).

2.4. Poda em árvores em conflito com redes de energia aéreas

As árvores urbanas sofrem podas frequentes, seja para reduzir conflitos com edifícios e com a infraestrutura urbana, seja para promover a redução da copa para evitar uma alta resistência ao vento, ou para a retirada de partes com defeitos e fracas que tendem a cair (SMILEY; KANE, 2006).

Em relação ao manejo de árvores urbanas, a poda é a atividade mais complexa e dispendiosa, demandando mais conhecimento e planejamento das ações, para que sejam realizadas as mínimas intervenções possíveis com menor gasto (SANTOS et al., 2015).

Para a poda ser realizada, é preciso considerar o modelo arquitetônico de crescimento da espécie, que será visto no próximo tópico (SEITZ, 1996), porém, os órgãos responsáveis nem sempre dão a devida importância, fazendo com que seu modelo de arquitetura seja alterado.

A perda de galhos é natural para a árvore e, portanto, ela possui um mecanismo de proteção para que não seja atacada por organismos que degradam biomassa vegetal, que é a compartimentalização da lesão. Com esse mecanismo, a árvore garante um isolamento da área exposta (SEITZ, 1996). Quando um galho fino cai naturalmente, ocorre a chamada desrama natural, na

qual os tocos restantes são, posteriormente, englobados pelo crescimento do tronco. Porém, quando são galhos mais grossos, as células do seu centro podem não estar prontas para a compartimentalização e pode ocorrer a entrada de fungos que degradam a madeira. Por isso, a poda em ramos vitais, superiores a 5 cm, precisa ser realizadas em duas etapas: primeiro é feito o corte à uma distância de 0,5 m a 1,0 m do tronco, para que os mecanismos de defesa sejam ativados; e depois de um ou dois períodos vegetativos, o ramo deve ser podado junto ao tronco, sempre preservando o colar e a crista de casca da base do ramo (URTADO; BORGIANNI, 2005).

Para realizar poda correta, é preciso entender sobre a morfologia dos galhos. Eles possuem três elementos que precisam ser identificados na hora da poda: a crista de casca, que é um acúmulo de casca na base superior do galho; o colar, identificado por se encontrar na base inferior do galho, que pode ser ou não ser observável, dependendo de sua atividade assimilatória; e a fossa basal, que é uma depressão no tronco logo abaixo da base do galho, e que, caso esteja presente, evidencia que o fluxo de seiva elaborada para o tronco foi encerrado e o galho irá cair (SEITZ, 1996). Portanto, a poda deve ser diferenciada em função da presença do colar ou da fossa basal, conforme a Figura 4.

Figura 4 - Morfologia do galho e o corte adequado para poda

Fonte: Seitz (1996).

Nas árvores da cidade são realizados diversos tipos de poda. A poda de formação é, geralmente, realizada ainda no viveiro, e o crescimento da copa é direcionado retirando ramos laterais até uma altura de 1,80 m. Nas podas de limpeza são retirados ramos secos, doentes ou mal formados. A poda de contenção visa adequar a copa ao ambiente físico após plantio inapropriado, necessitando manter ao menos 30% da copa e seu desenho natural. Já a poda emergencial tem o objetivo de remover partes da copa que estão oferecendo perigo à população, edifícios, redes elétricas e de telefonia aéreas. Esse tipo de poda causa efeito estético desagradável e é uma solução temporária ao conflito, que é realizada para manter a copa com distância, em torno, de 1,0 m da fiação aérea, deixando a copa com formatos V, L, U ou furo (PIVETTA; SILVA FILHO, 2002).

A poda da árvore em conflito com o condutor elétrico, estudada no presente trabalho, deve ser feita de modo que os galhos fiquem a 2 metros de distância, no caso de redes aéreas convencionais, e a 0,8 metros de distância se compacta (SARDETO, 1999). A diferença de área a ser podada pelo tipo de fiação aérea pode ser vista nas Figuras 5 e 6.

Figura 5 – Área de poda para rede aérea convencional
Fonte: Companhia Paranaense de Energia Elétrica (1995).

Figura 6 – Área de poda para rede aérea compacta
Fonte: Companhia Paranaense de Energia Elétrica (1995).

Em um estudo que avaliou a resposta fisiológica da árvore à poda de diferentes intensidades, foi constatado que a poda, em geral, tem o poder de mudar a reação da morfologia e fisiologia da árvore e que o segredo para manter sua estrutura firme, é não interferir no controle apical e sua dominância. A redução do eixo primário para um ramo lateral suficientemente grande para ser o novo líder do ramo, auxiliou na preservação do padrão de ramificação normal. Enquanto, o corte do eixo primário sem prover um líder de substituição, causou desequilíbrio na estrutura arbórea e no padrão de ramificação, o que elevou a competição entre as brotações do mesmo ramo e, conseqüentemente, o ritmo de crescimento (FINI et al., 2015).

Quando a poda é realizada, ocorre um desequilíbrio entre a copa e as raízes, e a árvore rapidamente tende a recompor a sua folhagem original através das gemas epicórmicas (EHSEN, 1987), como é observado na Figura 7, além de ocorrer aumento temporário na taxa de fotossíntese na tentativa de compensar o que foi perdido (MEDHURST et al., 2006). Os galhos originado por estas gemas não tem uma boa ligação com a base podendo gerar riscos com o passar do tempo (SEITZ, 1996). Os brotos epicórmicos surgem, principalmente, após podas severas, causando transtornos e necessitando de poda anual, como os da Figura 8. Para evitar o aparecimento destes brotos deve-se optar por podas menos severas enquanto a árvore ainda é jovem. A poda de galhos secos ou senis também não estimula o crescimento das brotações epicórmicas (SEITZ, 1996).

Figura 7 - Localização dos brotos epicórmicos nas árvores

Fonte: Seitz (1996).

Figura 8 - Tipuana com brotações epicórmicas após 322 dias de poda realizada pela CPFL na cidade de Piracicacaba/SP
Fonte: a autora.

Em árvores com podas drásticas é comum ocorrer problemas fitossanitários, como fungos causadores de podridão e cupins (RIBEIRO, 2009; MARTINS; ANDRADE; DE ANGELIS, 2010); além de perder sua arquitetura natural de copa, o que desequilibra o seu peso, aumentando as chances de acidentes, como a ruptura da madeira e sua queda (AGUIRRE JUNIOR, 2008).

A poda de formação é uma forma econômica de reduzir os defeitos nas estruturas das árvores urbanas enquanto ainda são pequenas e jovens, possuindo menor custo do que a poda de contenção ou emergencial em árvores maduras. Quando se faz este último tipo de poda, inicia-se um ciclo vicioso de remoção de árvores doentes, de podas drásticas, de replantio, enquanto não é reservado tempo para realizar a poda de formação nas árvores jovens. O ideal seria que fossem podadas de duas a três vezes enquanto jovens, o que promoveria a construção de uma estrutura forte, reduziria a necessidade de manejo no futuro e melhoraria sua sanidade (JOHNSTONE, 1988; KEMPTER, 2005; RYDER; MOORE, 2013).

A época ideal para se realizar a poda depende do padrão de repouso de cada espécie. As espécies com repouso real, como a Chapéu-de-sol, entram em repouso após a perda das folhas, portanto a melhor época para poda é entre o período vegetativo e o de florescimento (Figura 9) (URTADO; BORGIANNI, 2005).

Figura 9 – Melhor e pior época para podar árvores de espécies de repouso real

Fonte: Urtado e Borgianni (2005).

Já as espécies de repouso falso, como os ipês, que são caducifólias, não entram em repouso logo depois que as folhas caem. Portanto, o período ideal para poda é entre o final do florescimento e o início do período vegetativo (URTADO; BORGIANNI, 2005), como indica a Figura 10.

Figura 10 – Melhor e pior época para podar árvores de espécies de repouso falso

Fonte: Urtado e Borgianni (2005).

A Figura 11 é referente às espécies sem repouso aparente (perenifólias), como jatobás e diferentes espécies de figueira, em que a poda deve ser realizada entre o final do florescimento e início da frutificação (URTADO; BORGIANNI, 2005).

Figura 11 – Melhor e pior época para podar árvores de espécies de folhagem permanente

Fonte: Urtado e Borgianni (2005).

De acordo com Aguirre Junior (2008), as agressões sofridas pela arborização viária fazem com que seja raro existir algum indivíduo arbóreo saudável, já que sofrem com: podas radicais; canteiros pequenos; vandalismo; acidentes com veículos; entre outros. E as árvores de porte médio costumam ser as que mais sofrem com a poda, uma vez que a sua altura coincide com a da fiação elétrica, causando deformações e susceptíveis à pragas e doenças. Por isso, é favorável pensar no plantio de espécies de porte grande sob redes, já que sua copa ultrapassará a altura da fiação, reduzindo a necessidade de poda (MILANO; DALCIN, 2000).

2.5 Aspectos fisiológicos do crescimento de árvores

Ainda há pouca informação sobre o processo de crescimento de árvores urbanas no Brasil. E os estudos já realizados, só podem ser aplicados para poucas espécies e em determinados contextos regionais. Por isso, existe, claramente, a necessidade de mais pesquisas sobre o comportamento de outras espécies em condições ambientais específicas (SEMENZATO; CATTANEO; DAINESE, 2011). Além

disso, a maioria dos estudos no Brasil que analisam a resposta fisiológica e o crescimento de ramos após a poda são conduzidos em árvores frutíferas ou madeireiras, sendo assim, os resultados não podem ser empregados para as árvores urbanas, uma vez que a poda tem objetivos diferentes (FINI et al., 2015). Mais especificamente, o estudo sobre a emissão de novos ramos após poda na arborização viária, é, praticamente, nulo.

Prever o crescimento das árvores urbanas é complexo devido à longa escala de tempo, à dinâmica do ambiente urbano, aos diversos manejos e a grande variedade de espécies (REINEKING; HUTH; WISSEL, 2004). Segundo Swaine (1990), ocorrem muitas variações na taxa de crescimento entre espécies, dentro da mesma espécie, quando os indivíduos estão em ambientes diferentes e quando possuem portes diferentes, mas, quando são estudadas árvores individuais, durante um período de tempo, ocorrem poucas variações.

A importância em conhecer a taxa de crescimento da copa é a de inferir em decisões como a distância entre a árvore e edificações, de equipamentos aéreos, para sombra em estacionamentos (McPHERSON, 2001) e no planejamento de podas. E para determinar quanto uma árvore cresceu é preciso mensurar seu estado inicial, seu estado final e calcular o tempo passado entre esses dois estados (SCOLFORO, 1994).

Para analisar o crescimento de um indivíduo arbóreo, é preciso entender como ele funciona morfológica e fisiologicamente. Existem duas regiões de crescimento nas árvores: o meristema primário (apical) e o secundário (lateral). O crescimento que ocorre no meristema apical é chamado de crescimento primário, e causa o crescimento em altura da árvore através de divisões celulares. O crescimento nos meristemas laterais é conhecido como crescimento secundário e é responsável pelo aumento em diâmetro, produzindo o lenho, que se diferencia em albúrnio e cerne e originando os anéis de crescimento (KRAMER; KOZLOWSKI, 1960; ENCINAS; SILVA; PINTO, 2005) (Figura 12). Os ramos, objetos de estudo no presente trabalho, são definidos como um eixo embrionário com apêndices, produzidos pelo meristema apical (KRAMER; KOZLOWSKI, 1960).

Figura 12 - Seção longitudinal mediana diagonal de uma árvore com o padrão de crescimento do tronco e dos ramos principais

Fonte: Adaptado de Kozlowski (1971).

As árvores crescem quando ocorrem divisões, alongamento e engrossamento de suas células, portanto, o crescimento de uma árvore é entendido como o aumento sucessivo do valor de suas variáveis medidas, resultado das atividades dos meristemas primário e secundário (ENCINAS; SILVA; PINTO, 2005), presentes na Figura 13.

Figura 13 - As setas indicam a direção na qual as novas células vegetais são adicionadas pelos meristemas apicais e laterais

Fonte: Adaptado de Hopkins e Hüner (2004).

Toda a estrutura da árvore, seu porte, formato de copa, raízes e troncos, já estão definidos em sua semente antes mesmo da germinação, sendo assim, cada espécie possui um modelo arquitetônico de crescimento, como é percebido na Figura 14. O modo de crescimento do meristema apical é a variável determinante. O meristema pode durar indefinitivamente, crescendo bastante em altura e originando troncos verticais retos (monopodiais, ortotrópicos), ou ainda, ter uma duração definida, tendo um crescimento em altura não contínuo, cujo meristema vegetativo se transforma em meristema sexual desenvolvendo os meristemas secundários nas axilas das folhas, originando troncos retos, porém, simpodiais. Há, ainda, o crescimento plagiotrópico do meristema apical, que cresce horizontalmente, e que se tiver espaço para a copa crescer, não será formado um tronco muito longo (SEITZ, 1996).

Figura 14 - Modelos arquitetônicos de espécies arbóreas

Fonte: Seitz (1996).

Quando é realizado um estudo sobre o crescimento de plantas, deve-se considerar que, aproximadamente, 90% da matéria seca das plantas é resultado da fotossíntese, e, apenas, 10%, da absorção de nutrientes do solo. No entanto, a fotossíntese e os nutrientes tem uma relação de dependência forte no processo de crescimento (BENINCASA, 1988).

O índice de área foliar (IAF) está diretamente ligado a taxa de fotossíntese, que, como citado anteriormente, é responsável pela produção biológica de biomassa, e, portanto, pelo crescimento de uma árvore (MONTEIRO et al., 2005). Em relação ao eucalipto, foi constatado que a época de maior IAF, também foi a de maior produção de biomassa (RYAN; BINKLEY; FOWNES, 1997). Por isso, em estudos de crescimento, é importante averiguar o IAF dos indivíduos arbóreos.

O crescimento de árvores envolve diferentes processos bioquímicos que ocorrem ao mesmo tempo, sendo que suas taxas variam com o tempo, definindo a periodicidade do crescimento. Elas crescem com mais rapidez quando mais jovens, e com o passar dos anos essa velocidade é reduzida (KRAMER; KOZLOWSKI, 1960). Na Figura 15, nota-se que o ritmo de crescimento é modificado com o aumento de sua idade, formando uma curva (ENCINAS; SILVA; PINTO, 2005).

Figura 15 - Típica curva de crescimento de uma árvore

Fonte: Encinas, Silva e Pinto (2005).

Além da influência do fator idade, no geral, as brotações se alongam mais no período da noite do que no do dia. Porém, quando ocorre temperatura baixa durante a noite, os brotos tendem a crescer mais durante o dia (KRAMER; KOZLOWSKI, 1960). Ainda quanto aos ramos, os dias longos podem influenciar em um crescimento mais rápido em algumas espécies, enquanto dias curtos o inibem (ROMBERGER, 1963). As taxas de crescimento dos ramos, também, podem variar de acordo com a espécie, a idade e o local onde se encontram na árvore (KRAMER; KOZLOWSKI, 1960).

O crescimento e desenvolvimento das plantas superiores são, também, regulados pelos hormônios vegetais, como a auxina, giberelina, citoquinina, ácido abscísico e o etileno. A auxina, giberelina e citoquinina possuem um efeito direto no crescimento, já o ácido abscísico tem efeito inverso (BRITO, 2016). E as auxinas podem promover ou inibir o crescimento dos órgãos dependendo de sua concentração local, como vemos na Figura 16.

Figura 16 - Concentração de auxina que inibe ou promove crescimento em raízes, brotações e caules

Fonte: Adaptado de Thimann (1969).

De acordo com Brito (2016), quando é realizada a poda da parte aérea da árvore, suas raízes são inibidas de crescer para que ocorra equilíbrio entre sistema radicular e copa. Assim, em resposta a poda, ocorre um fluxo hormonal na planta, orquestrado, principalmente, pelas auxinas e citoquininas. As auxinas vão em direção às raízes informar a ocorrência de redução da parte aérea, e as citoquininas são os sinais das raízes para a copa, de que ocorreu redução de raízes, o que vai regular a taxa de crescimento dessas duas extremidades. Portanto, logo após a poda da parte aérea, haverá um decréscimo no crescimento da copa, mas que voltará a aumentar com o passar do tempo, graças à ação desses dois hormônios. Como as auxinas são produzidas na parte aérea e as citoquininas nas raízes, com a redução da copa, a síntese de auxina vai ser menor em relação a síntese de citoquinina na planta. Com o excesso de citoquininas nas raízes, elas serão transportadas para a copa, atuando na quebra da dormência de gemas laterais. Com a brotação de novos ramos, a parte aérea volta a ficar maior, aparecem novos locais que sintetizam auxina, e o equilíbrio entre as produções de auxina e citoquinina é retomado, regulando a distribuição de nutrientes e assimilados, e a relação copa/raiz.

Existem também os fatores genética da espécie e seu grupo sucessional, que apresentam diferentes respostas ao processo de crescimento. As espécies consideradas pioneiras precisam de temperaturas elevadas e de grande incidência de luz para crescerem e se desenvolverem,

apresentando crescimento muito rápido e ciclo de vida curto, em torno de 10 anos. As espécies secundárias iniciais são intolerantes à sombra, possuem crescimento rápido e ciclo de vida curto (10 a 25 anos). Já as espécies secundárias tardias, possuem tolerância à sombra na fase juvenil, seu ritmo de crescimento é médio e vivem de 25 a 100 anos. Finalmente, as espécies climáticas, crescem, de preferência, na sombra, lentamente e tem um ciclo de vida muito longo, atingindo mais de 100 anos (FERRETTI et al., 1995).

Como foi visto, a velocidade de crescimento pode variar de acordo com diversos fatores fisiológicos, ecológicos e com o tempo. Mais especificamente, com as diferenças de: temperatura do ar; vento; precipitação; insolação; propriedades do solo; altitude e inclinação topográficas; presença de pragas e doenças; competição entre outras árvores e vegetais; e, ações antrópicas (ENCINAS; SILVA; PINTO, 2005), como irrigação, podas, manejo do solo, entre outras (SEMENZATO; CATTANEO; DAINESE, 2011). Os autores Poorter e Bongers (1993), ainda acrescentam fatores como: disponibilidade de água, de espaço físico, de nutrientes, taxa de fotossíntese, produção de biomassa e características próprias da espécie.

a capacidade de medir áreas, comprimentos e ângulos utilizando unidades de medidas reais, como centímetros, por meio de calibração da imagem (IMAGEJ, 2017).

Como as brotações epicórmicas, originadas de podas executadas por concessionárias de energia, costumam se encontrar em elevadas alturas na árvore, a medição com trena se torna inviável e, então, o software ImageJ aparece como uma opção a ser estudada, uma vez que há apenas a necessidade de fotografar as brotações ao lado de um objeto que represente um valor de referência, que no caso foi uma baliza.

Com o objetivo de mensurar a confiabilidade desse software na medição de brotações, foi realizado um experimento na área da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – USP, com árvores contendo brotações mais baixas e atingíveis para medição com trena e medição por fotografia com baliza utilizando o ImageJ. Para isso, foram selecionadas 30 árvores com brotações baixas, totalizando 56 brotos medidos. Os valores obtidos através dos dois métodos foram comparados realizando regressão dos dados obtidos. Com este resultado foi determinado um modelo de ajuste para as futuras medições no ImageJ.

3.3. Base de dados

Após requisição direta à diretoria de sustentabilidade da CPFL, foi disponibilizada uma tabela do Microsoft Excel com informações sobre as árvores podadas nos anos de 2015 e 2016, como mostra a Figura 18. Todas estas árvores foram georreferenciadas no software Google Earth de acordo com seu endereço para melhor localização e planejamento das atividades de campo.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
	DataInspecao	DataExecucao	Execucao	Quantidade	Observacao	Endereco			
1	12/01/2015	12/01/2015	LV CPFL	122	PODAR 122 ARVORES	AV DAS ONDAS			
2	16/02/2015	16/02/2015	LV CPFL	1	PODAR 01 ARVORE	RUA RIACHUELO, 1809			
3	17/06/2015	29/07/2015	LV CPFL	1	PODAR 01 ARVORE	RUA PRAGA, 173			
4	17/06/2015	29/07/2015	LV CPFL	1	PODAR 01 ARVORE	RUA LIBOA, 168			
5	17/06/2015	29/07/2015	LV CPFL	1	PODAR 01 ARVORE	RUA JOSE PETRINI, 117			
6	17/06/2015	29/07/2015	LV CPFL	2	PODAR 02 ARVORE	RUA JOSE PETRINI ESQUINA COM RIA CARLOS SACHS			
7	17/06/2015	29/07/2015	LV CPFL	3	PODAR 03 ARVORE	AV. ROMA ESQUINA COM AV JOÃO ALVES DE ARAUJO			
8	17/06/2015	29/07/2015	LV CPFL	1	PODAR 01 ARVORE	RUA LUIZ ANTONIO DE TOLEDO CUNHA, 60			
9	17/06/2015	30/08/2015	LV CPFL	1	PODAR 01 ARVORE	RUA GUAPIARA, 20			
10	17/06/2015	07/08/2015	LV CPFL	1	PODAR 01 ARVORE	RUA DINO BUENO, 899			
11	17/06/2015	07/08/2015	LV CPFL	1	PODAR 01 ARVORE	RUA BRIGADEIRO EDUARDO GOMES, 285			
12	17/06/2015	07/08/2015	LV CPFL	1	PODAR 01 ARVORE	RUA PADRE OTTO ANDREAS JOSEF WOLF, 649			
13	17/06/2015	07/08/2015	LV CPFL	1	PODAR 01 ARVORE	RUA CAFE FILHO, 675			
14	17/06/2015	26/06/2015	LV CPFL	1	PODAR 01 ARVORE	RUA NILO PEÇANHA X MACATUBA			
15	17/06/2015	01/09/2015	LV CPFL	1	PODAR 01 ARVORE	RUA ANA JOAQUINA AGUIAR, 1202			
16	17/06/2015	17/08/2015	LV CPFL	1	PODAR 01 ARVORE	RUA MURICI, 344			
17	17/06/2015	13/08/2015	LV CPFL	1	PODAR 01 ARVORE	RUA LUIZ DELFINI, 450			
18	17/06/2015	07/08/2015	LV CPFL	1	PODAR 01 ARVORE	RUA CUPUACU, 201			
19	17/06/2015	12/08/2015	LV CPFL	1	PODAR 01 ARVORES	RUA ANGATUBA, 60			
20	17/06/2015	13/08/2015	LV CPFL	18	PODAR 18 ARVORES	RUA IPEUNA X JABORANDI			
21	17/06/2015	14/08/2015	LV CPFL	8	PODAR 08 ARVORES	RUA IPEUNA, 851			
22	17/06/2015	12/08/2015	LV CPFL	3	PODAR 03 ARVORES	RUA IPEUNA X IPERO			
23	17/06/2015	12/08/2015	LV CPFL	1	PODAR 01 ARVORE	RUA DANIELA, 100/102			

Figura 18 - Tabela do Excel, disponibilizada pela CPFL, com a data de execução da poda, quantidade de árvores podadas e o endereço das mesmas em Piracicaba
Fonte: a autora.

A lista contém 386 endereços e 2.718 indivíduos podados, entre árvores, bambus e coqueiros. Porém, foi necessário executar uma filtragem desses dados, retirando os indivíduos não-arbóreos, e os que não tinham endereço completo ou identificável. Com isso, o número de indivíduos podados foi reduzido para 1.970 árvores, e desses, foram escolhidos apenas os indivíduos podados mais recentemente, a partir de setembro de 2015, restando 1.711.

3.4. Coleta de dados em campo

A fim de selecionar apenas as espécies mais frequentes, todas as 1.711 árvores da lista foram verificadas em campo no período de 28 de junho a 26 de outubro de 2016. No entanto, das 1.711 árvores, apenas 133 foram avaliadas, uma vez que a maioria não se encontrava no endereço indicado, eram arbustos ou estavam dentro de propriedades particulares. Para cada árvore encontrada foram avaliadas as seguintes variáveis:

- a) Circunferência à altura do peito (CAP) medida com fita métrica;
- b) Área do canteiro através de foto com baliza;
- c) Comprimento das brotações epicórmicas, também, através de foto com baliza;
- d) Tipo de pavimento da rua;
- e) Tipo de pavimento da calçada;
- f) Índice de área foliar (IAF) através de fotografia utilizando lente do tipo “*fish-eye*” acoplada na câmera de um aparelho celular;
- g) Espécie;
- h) Região.

3.5. Processamento de dados obtidos em campo

Todas as informações coletadas em campo foram organizadas em uma tabela do Microsoft Excel, juntamente com as datas da execução da poda e da medição dos brotos formados, para posterior contagem dos dias transcorridos e determinação da taxa diária de crescimento da brotação.

3.5.1. Escolha e descrição das espécies arbóreas

Foram selecionadas para estudo apenas as três espécies mais frequentes e com um número de indivíduos suficientes para ser realizada uma estatística confiável. Dessa maneira, as três espécies escolhidas foram: *Tipuana tipu* (Benth.) Kuntze; *Tabebuia heptaphylla* (Vell.) Mart.; e *Terminalia catappa* L.

3.5.1.1. *Tipuana tipu* (Benth.) Kuntze

Nome científico: *Tipuana tipu* (Benth.) Kuntze (Figura 19).

Sinonímia botânica: *Machaerium tipu* Benth; *Tipuana speciosa* Benth.

Nomes populares: tipuana, tipa, tipa-branca

Família: Fabaceae

Grupo sucessional: Secundária inicial (MOREIRA; SILVA, 2004).

Figura 19 – Aspecto geral da árvore e seus ramos com flores da espécie *Tipuana tipu* (Benth.) Kuntze.

Fonte: Lorenzi et al. (2003).

A tipuana, espécie exótica no Brasil, é considerada uma árvore de porte médio, com copa arredondada e extensa, que pode atingir de 12 a 15 metros de altura, de rápido crescimento e bastante tolerante à adversidades. Ela é nativa da região sul da Bolívia e norte da Argentina. É uma espécie caducifólia e suas folhas caem antes do florescimento na primavera. Possui folhas pinadas compostas,

inflorescências axilares em racemos, flores amarelas pequenas e frutos do tipo sâmara. Muito presente na arborização viária e em parques das regiões sul e sudeste brasileiras, por sua função ornamental e pela sombra que produz (LORENZI et al., 2003).

3.5.1.2. *Tabebuia heptaphylla* (Vell.) Mart.

Nome científico: *Tabebuia heptaphylla* (Vell.) Mart. (Figura 20).

Sinonímia botânica: *Handroanthus heptaphyllus* (Vell.) Mattos; *Bignonia heptaphylla* Vell.; *Tecoma heptaphylla* (Vell.) Mart.; *Tecoma curialis*.

Nomes populares: ipê-roxo; ipê-das-sete-folhas; pau-d'arco-roxo.

Família: Bignoniaceae

Grupo sucessional: Secundária tardia (MOREIRA; SILVA, 2004).

Figura 20 – Aspecto geral da árvore na época de floração e seus ramos com flores da espécie *Tabebuia heptaphylla* (Vell.) Mart.

Fonte: Lorenzi (1992).

O ipê-roxo, espécie nativa brasileira, pode atingir uma altura de 15 a 20 metros, possui tronco reto ou levemente tortuoso cujo diâmetro pode variar de 40 a 80 cm. Suas folhas são compostas com 5 a 7 folíolos. A espécie é decídua durante a floração, que é tubulosa e de cor rosa a roxa, ocorrendo entre julho e setembro. Já a frutificação pode acontecer de setembro a novembro (BRANDÃO; LACABUENDÍA; MACEDO, 2002). Sua distribuição geográfica vai do sul do estado da Bahia até o Rio Grande

do Sul, aparecendo também em países como Argentina, Bolívia e Paraguai. Seu crescimento é classificado como lento a moderado, com dominância apical pouco definida, contendo bifurcações em várias alturas do tronco. Necessita de poda de condução constantemente caso precise aumentar sua altura. Sua ramificação é cimoso e tortuosa, possuindo copa ampla, porém esparsa. Possui valor ornamental, medicinal e madeireiro (CARVALHO, 2003). É utilizada em todo país por ser bastante ornamental e também comum na recomposição florestal (BRANDÃO; LACA-BUENDÍA; MACEDO, 2002).

3.5.1.3. *Terminalia catappa* L.

Nome científico: *Terminalia catappa* L. (Figura 21).

Sinonímia botânica: *Catappa domestica* Rumph; *Terminalia badamia* sensu Tul.; *Terminalia subcordata* Willd.; *Terminalia subrigemmis* Tul.; *Terminalia moluccana* Lam.

Nomes populares: chapéu-de-sol; amendoeira; castanhola; castanheira; sete-copas.

Família: Combretaceae

Grupo sucessional: Classificação diverge entre os autores. De acordo com Moreira e Silva (2004) e com Sanches (2009) é uma espécie com comportamento de pioneira; já Silva et al. (2016), a consideram como espécie não classificada. Para todos os efeitos, é uma espécie de crescimento rápido e longa.

Figura 21 – Aspecto geral da árvore e seus ramos com flores da espécie *Terminalia catappa* L.

Fonte: Lorenzi et al. (2003).

Espécie caducifolia, nativa da Ásia e de Madagascar, que atinge de 12 a 15 metros de altura. Possui tronco retilíneo com ramos agrupados horizontalmente e folhas coriáceas grandes. A inflorescência axilar é em racemos, com flores brancas originadas na primavera e frutos elipsoides (LORENZI et al., 2003). Espécie rústica de crescimento rápido, apresentando crescimento monopodial e ramos plagiotrópicos. Possui função ornamental, medicinal, madeireira para reflorestamento, de recuperação de áreas degradadas, arborização urbana e rural (IVANI et al., 2008). É uma espécie indicada para plantio em praias e parques, já que possui copa bastante densa e ampla, proporcionando um bom sombreamento. A poda deve ser evitada, pois pode causar perda de seu formato de copa característico (LORENZI et al., 2003).

3.5.2. Classes de DAP

O valor de CAP, em centímetros, obtido do tronco da árvore foi transformado em DAP (diâmetro à altura do peito) através da equação 1:

$$DAP = \frac{CAP}{\pi} \quad (1)$$

Em que:

DAP = diâmetro à altura do peito (cm)

CAP = circunferência à altura do peito (cm)

Com os valores de DAP já determinados, as árvores de cada espécie foram separadas por classe de DAP para que os indivíduos de idades próximas ficassem agrupados e os grupos pudessem ser estudados separadamente. Portanto, os indivíduos arbóreos foram separados pelas seguintes classes de DAP: até 30 cm (Classe A); 30-40 cm (Classe B); 40-50 cm (Classe C); 50-60 cm (Classe D); 60-70 cm (Classe E) e acima de 70 cm (Classe F).

3.5.3. Processamento de imagens na medição digital

Para descobrir a área dos canteiros foram tiradas duas fotos deles, uma com a baliza de um lado para obter a medida X e outra com a baliza do outro lado para obter a medida Y, como observado na Figura 22. Essas fotos foram processadas no ImageJ para determinação do comprimento de cada lado do canteiro e multiplicação desses valores com o objetivo de obter a área.

Figura 22 – Procedimento utilizado para medição do canteiro e a medida da baliza utilizada para calibração da foto no ImageJ
Fonte: a autora.

Em relação a medição das brotações, foram tiradas fotos das mesmas com a baliza logo ao lado, para descobrir o comprimento X dos ramos através do ImageJ, como mostra a Figura 23.

Figura 23 - Procedimento utilizado para medição das brotações e a medida da baliza utilizada para calibração da foto no ImageJ
Fonte: a autora.

Para cada árvore foram mensurados até 5 brotos, quando presentes. O valor do comprimento de cada ramo foi ajustado de acordo com o modelo de confiança construído para medições no ImageJ, já citado. Com os valores ajustados, foi calculada a média dos comprimentos dos ramos de cada árvore, que, por sua vez, foi dividida pelo número de dias transcorridos entre a poda e a fotografia, para determinação da taxa de crescimento diária.

3.5.4. Medição do IAF

Seguindo o método proposto por Cella et al. (2015), a obtenção do índice de área foliar foi realizada utilizando uma lente “*fish-eye*”, que possui ampliação de até 180°, acoplada à câmera de um aparelho celular Samsung Galaxy Y para obter imagens fotográficas das copas das árvores. Estas imagens foram processadas no programa Gap Light Analyzer 2.0, que as converte em níveis de cinza para então quantificar a luz que as folhas barraram de acordo com os pixels. Os mesmos autores realizaram um experimento com sibipirunas, *Poincianella pluviosa* (DC.) L.P. Queiroz, comparando dois métodos para estimar o IAF: através do aparelho LAI-2000 Plant Canopy Analyser e o mencionado acima. O estudo teve como resultado um menor desvio padrão para a lente fisheye, comprovando ser um método confiável para estimação do índice, apesar de ser necessária a elaboração de curvas de calibração para outras espécies de árvore.

3.5.5. Determinação do tipo do solo das regiões

Com o intuito de relacionar o ritmo de crescimento com a característica do solo, as árvores das espécies selecionadas foram georreferenciadas no Google Earth para, posteriormente, sobrepô-las no mapa contendo os tipos de solo da região urbana de Piracicaba/SP, de autoria do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC).

3.6. Análise dos dados

Com o banco de dados completo, foram realizadas análises dos dados com o objetivo de investigar a existência de relação entre a velocidade de crescimento dos brotos e de fatores como espécie, DAP, área de canteiro, índice de área foliar, tipo de solo e de calçada onde a árvore está inserida. Primeiramente, essa análise foi executada com todas as árvores em estudo, depois foram analisadas separadamente por espécie e, então, por classe de DAP dentro de cada espécie.

Para analisar a relação entre o crescimento e o tamanho do canteiro, DAP e IAF foi realizada a regressão dos dados no Microsoft Excel. Já a influência dos tipos de solo e de calçada no crescimento

das brotações foi comparada através do Teste-t (duas amostras presumindo variâncias diferentes), também no Microsoft Excel.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Confiabilidade do método digital

Com a análise de regressão das medidas obtidas por meio de trena e do ImageJ foi elaborado o gráfico de dispersão contido na Figura 24. Com esta análise de relação entre as variáveis foi determinado um modelo de ajuste (Equação 2) para as medidas obtidas através do ImageJ.

$$\text{Medida trena} = 0,9358 \times (\text{Medida ImageJ}) + 0,0841 \quad (2)$$

Figura 24 - Gráfico de dispersão com a relação entre as variáveis comprimento obtido por trena e por ImageJ
Fonte: a autora.

Também foram obtidos diversos valores estatísticos de regressão relacionando as duas variáveis (Tabela 1). O R^2 Ajustado, significativo a 5%, chegou a 0,8504, o que indica um alto grau positivo de correlação e confere maior confiabilidade à qualidade do ajuste de modelo.

Tabela 1 – Resumo dos valores obtidos em estatística de regressão entre medições obtidas por meio da trena e do ImageJ

<i>Estatística de regressão</i>	
R múltiplo	0,923678263
R-Quadrado	0,853181533
R-Quadrado ajustado	0,850462673
Erro padrão	0,13053858
Observações	56

De acordo com a Tabela 2, a análise de regressão foi para o nível de confiança de 95%. Portanto o valor de p do teste F deve ficar abaixo de 0,05 e está em 0,00, evidenciando a existência de uma forte relação entre as variáveis e conferindo mais consistência ao modelo.

Tabela 2 – Análise ANOVA gerada no Microsoft Excel com o valor F, os coeficientes da equação de ajuste e o valor de p

	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significação</i>			
Regressão	1	5,34727222	5,34727222	313,8011439	3,71506E-24			
Resíduo	54	0,92017733	0,017040321					
Total	55	6,26744955						
	<i>Coeficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>	<i>95% inferiores</i>	<i>95% superiores</i>	<i>Inferior 95.0%</i>	<i>Superior 95.0%</i>
Interseção	0,0841	0,0418	2,0111	0,0493	0,0003	0,1680	0,0003	0,1680
<i>ImageJ</i>	0,9358	0,0528	17,7144	0,0000	0,8299	1,0417	0,8299	1,0417

Na Figura 25 se encontra a distribuição dos resíduos obtidos e nota-se uma variância homogênea das medidas obtidas no ImageJ em relação a trena.

Figura 25 – Gráfico com plotagem de resíduos das medidas obtidas pelo ImageJ
Fonte: a autora.

4.2. Classificação dos dados coletados em campo

Foram avaliados 133 indivíduos arbóreos podados em campo, totalizando 11 famílias e 22 espécies diferentes, distribuídos por 13 bairros da área urbana de Piracicaba/SP, como pode ser visualizado na Figura 26.

Figura 26 – Mapa da região urbana de Piracicaba/SP dividida em bairros e a localização das árvores avaliadas em campo
Fonte: da autora.

De acordo com a Figura 27, a família de maior ocorrência foi a Fabaceae, com frequência relativa de 48,87% das árvores, seguida da Bignoniaceae com 16,54%, e da Combretaceae, 14,28%.

Figura 27 – Distribuição das famílias botânicas encontradas em campo e sua frequência relativa
Fonte: a autora.

No total, foram encontradas 22 espécies arbóreas durante a coleta de dados em campo. Como observado na Figura 28, as espécies mais frequentes e, portanto, as selecionadas para estudo, foram: a *Tipuana tipu* (Benth.) Kuntze, apresentando 47 indivíduos; a *Tabebuia heptaphylla* (Vell.) Mart., com 21 árvores; e, a *Terminalia catappa* L., contendo 19 indivíduos arbóreos. Com a seleção das três espécies, foram analisadas 87 árvores no total, representadas na Figura 29.

Figura 28 – Espécies encontradas em campo com a respectiva frequência relativa; destaques para a *Tipuana tipu* (Benth.) Kuntze, a *Tabebuia heptaphylla* (Vell.) Mart., e a *Terminalia catappa* L., definidas como objeto de estudo

Fonte: a autora.

Figura 29 – Distribuição das três espécies selecionadas para estudo na cidade de Piracicaba/SP

Fonte: a autora.

Na pesquisa de Lima (1993), após análise de 6,8 km de canteiros centrais e de 105,7 km de calçadas na região central de Piracicaba/SP, foram contabilizados 4.904 indivíduos arbóreos pertencentes a 117 espécies, sendo a Sibipiruna, *Poincianella pluviosa* (DC.) L.P. Queiroz, a espécie mais frequente, que correspondeu a 56,1% do total de indivíduos. Já em um inventário realizado por Volpe-Filik (2009), a espécie mais frequente, na mesma cidade, foi a Falsa-murta, com 13,2%, seguida da Sibipiruna, com 12,5%. Nesse estudo, no entanto, a Sibipiruna aparece como a quarta espécie mais podada entre 2015 e 2016, segundo lista disponibilizada pela CPFL.

Plotando as árvores em estudo no mapa de solos do Instituto Agrônomo de Campinas (Figura 30) foi verificado que 49 indivíduos arbóreos se encontram em neossolo, 34 em solo urbanizado, e apenas 2 em argissolo e 1 em latossolo.

Figura 30 – Espacialização das árvores estudadas nos diferentes tipos de solo proveniente do IAC.

Fonte: a autora.

4.3. Análise geral de crescimento de brotações

Esta análise foi realizada com todos os indivíduos arbóreos estudados, não ocorrendo separação por espécie ou classe de DAP.

4.3.1. DAP x Taxa de crescimento

Com a análise de regressão entre o DAP e o crescimento das brotações foi elaborado o gráfico de dispersão contido na Figura 31. Também foram obtidos diversos valores estatísticos de regressão relacionando as duas variáveis (Tabela 3). Segundo o R^2 Ajustado da Tabela 3, as variáveis não apresentaram correlação já que o valor obtido foi de - 0,00606. Porém, como o valor de p ficou muito acima de 0,05 (Tabela 4), a falta de correlação não pode ser confirmada estatisticamente.

Figura 31 - Gráfico de dispersão com a relação entre as variáveis DAP e crescimento diário das brotações
Fonte: a autora.

Tabela 3 – Resumo dos valores obtidos em estatística de regressão entre o DAP e os crescimentos diários das brotações

Estatística de regressão	
R múltiplo	0,075115
R-Quadrado	0,005642
R-Quadrado ajustado	-0,00606
Erro padrão	0,133619
Observações	87

Tabela 4 – Análise ANOVA realizada no Microsoft Excel com o valor F e valor de p para a variável DAP

	gl	SQ	MQ	F	F de significação			
Regressão	1	0,008611	0,008611	0,48231	0,489271593			
Resíduo	85	1,517595	0,017854					
Total	86	1,526206						
	Coeficientes	Erro padrão	Stat t	valor-P	95% inferiores	95% superiores	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Interseção	0,3248	0,0464	7,0059	0,0000	0,2326	0,4170	0,2326	0,4170
DAP	0,0007	0,0010	0,6945	0,4893	-0,0013	0,0026	-0,0013	0,0026

4.3.2. Área de canteiro x Taxa de crescimento

De acordo com a Figura 32 e a Tabela 5, contendo a análise de regressão entre as variáveis área de canteiro e a velocidade de crescimento das brotações, foi obtido um R^2 ajustado de - 0,01176, o que poderia indicar que não existe correlação entre elas, ou seja, o tamanho do canteiro não influenciou na velocidade de crescimento das brotações. Porém, na análise ANOVA, para nível de confiança de 95% (Tabela 6), o valor p que deveria estar abaixo de 0,05, está, na verdade, em 0,9842, não podendo ser um resultado estatisticamente significativo.

Figura 32 - Gráfico de dispersão com a relação entre as variáveis área de canteiro e crescimento diário das brotações
Fonte: a autora.

Tabela 5 – Resumo dos valores obtidos em estatística de regressão entre as áreas de canteiro e o crescimento diário das brotações

Estatística de regressão	
R múltiplo	0,002152
R-Quadrado	4,63E-06
R-Quadrado ajustado	-0,01176
Erro padrão	0,133997
Observações	87

Tabela 6 – Análise ANOVA gerada no Microsoft Excel com o valor F e valor de p para a variável canteiro

Tabela 6 - Análise ANOVA gerada no Microsoft Excel com o valor F e valor de p para a variável canteiro								
	gl	SQ	MQ	F	F de significação			
Regressão	1	7,07E-06	7,07E-06	0,000394	0,98421778			
Resíduo	85	1,526199	0,017955					
Total	86	1,526206						
		Erro			95%	95%	Inferior	Superior
	Coeficientes	padrão	Stat t	valor-P	inferiores	superiores	95.0%	95.0%
Interseção	0,3557	0,0192	18,5630	0,0000	0,3176	0,3938	0,3176	0,3938
Canteiro	0,0000	0,0024	-0,0198	0,9842	-0,0048	0,0047	-0,0048	0,0047

4.3.3. IAF x Taxa de crescimento

Para estudar a correlação entre o índice de área foliar e o crescimento das brotações foi elaborado o gráfico de dispersão contido na Figura 33, e os diversos valores estatísticos de regressão relacionando as duas variáveis, na Tabela 7. O R^2 Ajustado, significativo a 5%, chegou a 0,04, o que indica fraca correlação. Com a análise de regressão com nível de confiança de 95% (Tabela 8). O valor de p, que deve ficar abaixo de 0,05, está em 0,03, confirmando que é estatisticamente significativo e os valores não estão distribuídos aleatoriamente.

Em um estudo realizado na Flórida, Estados Unidos, foi comprovada a influência do índice de copa no ritmo de crescimento em DAP de algumas espécies de coníferas (LAWRENCE et al., 2012). Porém, no presente estudo, em que a taxa de crescimento foi determinada pelo comprimento de brotações epicórmicas de espécies folhosas, não foi constatada relação.

Figura 33 - Gráfico de dispersão com a relação entre as variáveis IAF e crescimento diário das brotações
Fonte: a autora.

Tabela 7 – Resumo dos valores obtidos em estatística de regressão entre o IAF e o crescimento diário das brotações

Estatística de regressão	
R múltiplo	0,230817
R-Quadrado	0,053276
R-Quadrado ajustado	0,042138
Erro padrão	0,130379
Observações	87

Tabela 8 – Análise ANOVA gerada no Microsoft Excel com o valor F e valor de p para a variável IAF

	gl	SQ	MQ	F	F de significação			
Regressão	1	0,081311	0,081311	4,783323	0,031483362			
Resíduo	85	1,444896	0,016999					
Total	86	1,526206						
	Erro				95%	95%	Inferior	Superior
	Coeficientes	padrão	Stat t	valor-P	inferiores	superiores	95.0%	95.0%
Interseção	0,3026	0,0279	10,8346	0,0000	0,2470	0,3581	0,2470	0,3581
IAF	0,0664	0,0303	2,1871	0,0315	0,0060	0,1267	0,0060	0,1267

4.3.4. Tipo de calçada x Taxa de crescimento

Para que fosse confirmada a hipótese de que existe diferença significativa no crescimento de brotações entre árvores localizadas em calçadas de terra e de concreto, o valor de P bi-caudal deveria estar abaixo de 0,05. Porém, conforme Tabela 9, o valor obtido foi de 0,46, indicando que o tipo de calçada não interferiu significativamente no crescimento das brotações. Este resultado pode indicar que, talvez, outras variáveis tenham maior influência no ritmo de crescimento de brotos do que a presença de concreto na calçada.

Em um estudo conduzido nos Estados Unidos foi constatada influência negativa da presença de pavimento no crescimento de árvores através de análise do comprimento de anéis de crescimento retirados dos troncos (IAKOVOGLOU et al., 2001). Porém, neste estudo, a diferença no ritmo de crescimento dos brotos não foi suficientemente alta para confirmar a influência.

Tabela 9 – Teste t: duas amostras presumindo variâncias diferentes, comparando o crescimento diário de árvores situadas em calçadas de terra e de concreto

Calçada	Terra	Concreto
Média	0,366150172	0,344988
Variância	0,018538252	0,01716
Observações	43	44
Hipótese da diferença de média	0	
gl	85	
Stat t	0,738497087	
P(T<=t) uni-caudal	0,231123338	
t crítico uni-caudal	1,6629785	
P(T<=t) bi-caudal	0,462246676	
t crítico bi-caudal	1,988267907	

4.3.5. Tipo de solo x Taxa de crescimento

Um número insuficiente de árvores estudadas localizavam-se em regiões de latossolo e argissolo, por isso, somente as árvores situadas em solo urbanizado e em neossolo foram comparadas neste estudo.

Observando os resultado do Teste T na Tabela 10, o valor de P bi-caudal foi maior que 0,05, provando que não houve diferença na velocidade de crescimento das brotações entre as árvores de solo urbanizado e de neossolo.

Provavelmente, o tipo de solo não é tão determinante no crescimento de brotações após poda, assim como não foi na produção de biomassa em um estudo realizado nos Estados Unidos, com árvores situadas em solo urbanizado e rural (GREGG; JONES; DAWSON, 2003).

Tabela 10 – Teste t: duas amostras presumindo variâncias diferentes, comparando o crescimento diário de árvores situadas em solos urbanizados e em neossolos

Solo	Urbanizado	Neossolo
Média	0,346495225	0,363228
Variância	0,016469784	0,018578
Observações	34	49
Hipótese da diferença de média	0	
gl	74	
Stat t	0,569409642	
P(T<=t) uni-caudal	0,285401311	
t crítico uni-caudal	1,665706893	
P(T<=t) bi-caudal	0,570802622	
t crítico bi-caudal	1,992543495	

4.4. Análise de crescimento de brotações por espécie

A velocidade de crescimento das brotações acompanhou o que se esperava de acordo com o grupo sucessiona do qual as espécies fazem parte. Como é visto na Tabela 11, a pioneira/não classificada, chapéu-de-sol, obteve a maior velocidade média, com 0,404 cm/dia; seguida da secundária inicial, tipuana, com 0,360 cm/dia; e, a espécie mais lenta foi o ipê-roxo, com 0,298 cm/dia, uma vez que pertence ao grupo de secundárias tardias. A média do crescimento médio diário das brotações das três espécies estudadas foi de 0,354 cm.

Tabela 11 – Crescimento médio diário das brotações por espécie e suas respectivas características

Nome comum	Nome Científico	Família	Grupo sucessiona	Nº árvores	Crescimento médio (cm/dia)
Tipuana	<i>Tipuana tipu</i>	Fabaceae	Secundária inicial	48	0,360
Ipê-roxo	<i>Tabebuia heptaphylla</i>	Bignoniaceae	Secundária tardia	20	0,298
Chapéu-de-sol	<i>Terminalia catappa</i>	Combretaceae	Pioneira/Não classificada	19	0,404
Média				87	0,354

Para investigar se houve diferença significativa entre as taxas de crescimento médio em função da espécie, foi realizado o Test-t contido na Tabela 12, comparando chapéu-de-sol x tipuana; Tabela 13, chapéu-de-sol x ipê-roxo; e, Tabela 14, tipuana x ipê-roxo. Houve diferença significativa entre as espécies chapéu-de-sol e ipê-roxo, já que o valor de p bi-caudal ficou abaixo de 0,05. Essa diferença se deve provavelmente à distância entre seus grupos sucessionais, já que uma está entre pioneira e secundária inicial e a outra é secundária tardia. Comparando o crescimento da espécie chapéu-de-sol com a tipuana, não foi constatada diferença significativa, uma vez que o grupo sucessiona a qual pertencem é bastante próximo, se não o mesmo, já que não se sabe ao certo a qual grupo a chapéu-de-sol pertence, de pioneira ou de secundária inicial. Também não foi constatada diferença significativa entre a taxa de crescimento da tipuana e do ipê-roxo, porém, o crescimento da tipuana apresentou maior diferença em relação ao ipê-roxo do que ao chapéu-de-sol.

Não existe nenhuma pesquisa a respeito do crescimento dessas espécies, por isso, não foi possível comparar as taxas de crescimento das brotações obtidas.

Tabela 12 – Teste t: duas amostras presumindo variâncias diferentes, comparando o crescimento médio diário das espécies chapéu-de-sol e tipuana.

	Chapéu-de-sol	Tipuana
Média	0,40432	0,360067
Variância	0,016392	0,016962
Observações	19	48
Hipótese da diferença de média	0	
gl	34	
Stat t	1,268982	
P(T<=t) uni-caudal	0,106533	
t crítico uni-caudal	1,690924	
P(T<=t) bi-caudal	0,213066	
t crítico bi-caudal	2,032245	

Tabela 13 – Teste t: duas amostras presumindo variâncias diferentes, comparando o crescimento médio diário das espécies chapéu-de-sol e ipê-roxo.

	Chapéu-de-sol	Ipê-roxo
Média	0,40432	0,297932
Variância	0,016392	0,016913
Observações	19	20
Hipótese da diferença de média	0	
gl	37	
Stat t	2,573953	
P(T<=t) uni-caudal	0,007097	
t crítico uni-caudal	1,687094	
P(T<=t) bi-caudal	0,014194	
t crítico bi-caudal	2,026192	

Tabela 14 – Teste t: duas amostras presumindo variâncias diferentes, comparando o crescimento diário médio das espécies tipuana e ipê-roxo.

	Tipuana	Ipê-roxo
Média	0,360067	0,297932
Variância	0,016962	0,016913
Observações	48	20
Hipótese da diferença de média	0	
gl	36	
Stat t	1,79441	
P(T<=t) uni-caudal	0,040575	
t crítico uni-caudal	1,688298	
P(T<=t) bi-caudal	0,081149	
t crítico bi-caudal	2,028094	

4.4.1. Tipuana

Para analisar a relação do DAP, da área de canteiro e do IAF das tipuanas com o ritmo de crescimento das brotações após poda, foi realizada uma análise de regressão dos dados (Tabela 15).

Para uma análise de regressão com nível de confiança de 95%, o valor-P necessita ser menor que 0,05 para que o modelo seja estatisticamente significativo, mas tanto na análise do DAP quanto da área de canteiro esse valor ultrapassou os 0,05, indicando que os valores não seguem padrões matemáticos e estão distribuídos aleatoriamente.

Já na correlação realizada entre o IAF e a taxa de crescimento das brotações de tipuanas, o valor de p ficou dentro dos parâmetros exigidos para que se possa inferir que é estatisticamente significativo e que os valores seguem padrões matemáticos. O R^2 Ajustado, significativo a 5%, chegou a 0,1230, considerado baixo e indicando ausência de correlação entre o quanto uma tipuana possui de índice de área foliar e o crescimento diário de suas brotações.

Como as tipuanas estudadas já são mais antigas e estão bem estabelecidas naquele ambiente, talvez o índice de área foliar não seja tão determinante na velocidade da brotação quanto outros aspectos.

Tabela 15 – Resumo dos resultados da análise de regressão entre os dados da taxa de crescimento de brotações das tipuanas e seus respectivos DAPs, áreas de canteiro e IAFs.

Taxa de crescimento (cm/dia)	R^2	R^2 ajustado	valor-P	Nº observações
x				
DAP	0,0064	-0,0151	0,5879	48
Área de canteiro	0,0030	-0,0186	0,7110	48
IAF	0,1417	0,1230	0,0084	48

Através de um Teste T (Tabela 16), foi possível inferir que não houve diferença significativa nas velocidades de crescimento das brotações das tipuanas localizadas em calçadas de terra ou de concreto, evidenciado pelo valor de P bi-caudal maior que 0,05. Como foi citado anteriormente, essas tipuanas já estão bem estabelecidas no ambiente, e, provavelmente, a presença de concreto próximo a elas não interfere na sua resposta à poda.

Tabela 16 – Teste t: duas amostras presumindo variâncias diferentes, comparando o crescimento diário de tipuanas situadas em calçadas de terra e de concreto

Calçada	Terra	Concreto
Média	0,355181	0,365841
Variância	0,013975	0,021262
Observações	26	22
Hipótese da diferença de média	0	
gl	40	
Stat t	-0,27488	
P(T<=t) uni-caudal	0,392412	
t crítico uni-caudal	1,683851	
P(T<=t) bi-caudal	0,784824	
t crítico bi-caudal	2,021075	

Realizando um Teste T (Tabela 17), entre os ritmos de crescimento das tipuanas localizadas em solo urbanizado e em neossolo, foi constatado que a qualidade do solo não influenciou no crescimento dessa espécie, já que o P bi-caudal obtido está maior que 0,05. Talvez, outras variáveis como histórico do manejo, cuja informação é restrita, tenha maior influência do que a qualidade do solo.

Tabela 17 – Teste t: duas amostras presumindo variâncias diferentes, comparando o crescimento diário de tipuanas situadas em solos urbanizados e em neossolos

Solo	Urbanizado	Neossolo
Média	0,36961154	0,336355096
Variância	0,015091055	0,018119352
Observações	27	20
Hipótese da diferença de média	0	
gl	39	
Stat t	0,86890534	
P(T<=t) uni-caudal	0,195107473	
t crítico uni-caudal	1,684875122	
P(T<=t) bi-caudal	0,390214945	
t crítico bi-caudal	2,02269092	

4.4.2. Ipê-roxo

A análise de regressão realizada entre as medidas obtidas de DAP, área de canteiro e IAF, e do ritmo de crescimento médio diário das brotações de indivíduos da espécie ipê-roxo, resultou nos valores estatísticos contidos na Tabela 18.

Nada pode ser inferido em relação ao R^2 ajustado correspondente ao DAP e ao tamanho de canteiro, uma vez que o valor de p obtido está acima de 0,05. Portanto, o modelo não é estatisticamente significativo, já que os valores estão distribuídos aleatoriamente.

Na correlação entre a taxa de crescimento e o IAF, o valor-P obtido foi de 0,0185, evidenciando que os valores seguem padrões matemáticos, o que confere maior consistência ao modelo. De acordo com o valor de R^2 ajustado, apenas 23,1% do crescimento dos brotos de ipê-roxo são explicados pelo IAF, não havendo correlação entre essas variáveis.

Como o IAF está diretamente relacionado com a taxa de fotossíntese e a produção de biomassa (MONTEIRO et al., 2005), foi esperado que quanto maior o IAF, maior seria a velocidade de crescimento dos brotos, mas o IAF da espécie ipê-roxo não mostrou efeito significativo neste estudo.

Tabela 18 – Resumo dos resultados da análise de regressão entre os dados da taxa de crescimento de brotações de ipê-roxo e seus respectivos DAPs, áreas de canteiro e IAFs.

Taxa de crescimento (cm/dia)	R^2	R^2 ajustado	valor-P	Nº observações
x				
DAP	0,1013	0,0514	0,1712	20
Área de canteiro	0,0000	-0,0554	0,9694	20
IAF	0,2715	0,2310	0,0185	20

Através de um Teste T (Tabela 19), foi possível inferir, pelo valor de P bi-caudal maior que 0,05, que não houve diferença significativa nas velocidades de crescimento das brotações dos ipês localizados em calçadas de terra e de concreto. Poorter e Bongers (1993) afirmam que a disponibilidade de água no solo é um dos fatores que influenciam no crescimento da árvore, e, tecnicamente, uma calçada de terra possibilitaria uma maior infiltração, porém, a maioria das calçadas de concreto apresentavam trincas, o que também possibilita a entrada de água no solo e apresenta maior obstáculo para sua evaporação.

Tabela 19 – Teste t: duas amostras presumindo variâncias diferentes, comparando o crescimento diário de ipê-roxos situados em calçadas de terra e de concreto

Calçada	Terra	Concreto
Média	0,32562	0,2564
Variância	0,020083	0,011062
Observações	12	8
Hipótese da diferença de média	0	
gl	18	
Stat t	1,252073	
P(T<=t) uni-caudal	0,113285	
t crítico uni-caudal	1,734064	
P(T<=t) bi-caudal	0,226569	
t crítico bi-caudal	2,100922	

Não foi possível comparar o ritmo de crescimento dos brotos de ipê-roxo em solos diferentes, já que apenas 3 indivíduos arbóreos dessa espécie estão situados em solo urbanizado, somente 1 em argissolo e 16 em neossolo.

4.4.3. Chapéu-de-sol

Os valores contidos na Tabela 20 resultaram da análise de regressão realizada para a velocidade de crescimento das brotações de chapéu-de-sol com as variáveis DAP, área de canteiro e IAF. A análise em relação ao DAP não obteve um valor-p que indicasse significância estatística, portanto, a relação entre essas variáveis não pôde ser determinada. Diferente da área de canteiro e do IAF, que apresentaram valor-p abaixo de 0,05, o que valida o R^2 resultante.

Na correlação com o canteiro foi obtido um R^2 ajustado baixo, o que evidencia a falta de relação entre a área de canteiro e o crescimento de brotações da espécie chapéu-de-sol. Possivelmente, por essa espécie ter um crescimento rápido como característica intrínseca, o tamanho do canteiro não exerça tanto efeito.

Em relação ao IAF, foi obtido um R^2 ajustado de 0,2228, ou seja, 22,2% dos valores de crescimento diário das árvores da espécie chapéu-de-sol podem ser explicados pelo índice de área foliar existente, o que, também, é considerado baixo. O valor-p de 0,02 confirma esse resultado. Um estudo, realizado no Canadá com 59 árvores em conflito com a rede de distribuição de energia elétrica, comparou o tamanho de copa com o crescimento de brotações epicórmicas após poda, mas também não foi constatada correlação (FOLLETT et al., 2016).

Tabela 20 – Resumo dos resultados da análise de regressão entre os dados da taxa de crescimento de brotações de chapéu-de-sol e seus respectivos DAPs, áreas de canteiro e IAFs.

Taxa de crescimento (cm/dia)	R^2	R^2 ajustado	valor-P	Nº observações
x				
DAP	0,0018	-0,0569	0,8630	19
Área de canteiro	0,2120	0,1656	0,0473	19
IAF	0,2660	0,2228	0,0238	19

Não foi possível analisar a influência do tipo de calçada no crescimento da espécie chapéu-de-sol, pois as amostras de árvores em calçadas de terra foram insuficientes.

A influência do tipo de solo no crescimento das brotações após poda também não foi estudada, uma vez que não foram encontradas árvores suficientes em outros tipos de solo além do neossolo.

4.5. Análise de crescimento de brotações por espécie e classe de DAP

Separando as árvores por classes de DAP dentro de cada espécie, de acordo com a Figura 34, houve elevação da velocidade de crescimento diário das brotações de tipuanas conforme ocorreu o aumento do DAP dos indivíduos arbóreos, chegando ao ápice de desenvolvimento quando o DAP ficou entre 60 e 70 centímetros. Contudo, em árvores com DAP maior que 70 centímetros, portanto, com idade mais avançada, houve decréscimo na velocidade.

Em relação ao ipê-roxo, as árvores com DAP de 40 a 50 centímetros desenvolveram as brotações mais rapidamente, ocorrendo um decréscimo na velocidade dos indivíduos com DAP a partir de 50 cm. As brotações dos indivíduos mais novos (DAP < 30 cm) cresceram em ritmo mais lento.

Ainda na Figura 34, ao contrário das outras espécies, a chapéu-de-sol obteve o ápice do ritmo de crescimento das brotações nas árvores mais jovens, com até 30 centímetros de DAP. A partir dos 30 centímetros de DAP ocorreu queda abrupta na velocidade de desenvolvimento dos brotos.

Figura 34 – Média da velocidade de crescimento das brotações por classe de DAP

Fonte: a autora.

4.5.1. Tipuana

4.5.1.1. Área de canteiro x Taxa de crescimento

Para investigar se há correlação entre o ritmo de crescimento de brotações de tipuanas com determinados DAPs e a área de canteiro disponível, foi realizada uma análise de regressão para cada classe, resultando nos valores contidos na Tabela 21.

Tabela 21 – Resumo dos resultados da análise de regressão entre os dados da taxa de crescimento de brotações de tipuanas com diferentes DAPs e de suas áreas de canteiro.

Taxa de crescimento (cm/dia) x Área de canteiro (m ²)				
Classe de DAP	R ²	R ² ajustado	valor-P	Nº observações
A (até 30 cm)	-	-	-	-
B (30-40 cm)	0,0256	-0,0961	0,6584	10
C (40-50 cm)	0,2289	0,1774	0,0520	17
D (50-60 cm)	0,0079	-0,1022	0,7945	11
E (60-70 cm)	0,8772	0,8158	0,0634	4
F (acima de 70 cm)	0,0971	-0,1285	0,5476	6

Não foram encontradas tipuanas podadas com DAP correspondente à classe A, ou seja, abaixo de 30 cm. Para a classe B de DAP, o R² ajustado obtido foi de – 0,0961, mas o resultado não obteve significância estatística, já que o valor de p ficou acima de 0,05.

O valor de p para estatística da classe C ficou em 0,05, evidenciando que os valores seguem padrões matemáticos e sendo possível constatar que somente 17,7% do crescimento pode ser explicado pela área de canteiro nesta classe, não apresentando correlação suficiente. Também não foi observado efeito significativo do tamanho do canteiro no crescimento de brotações na espécie, também secundária, *Acer platanoides*, localizada em meio urbano no Canadá e podada com o objetivo de não tocar a fiação (FOLLETT et al., 2016). Provavelmente, outras variáveis possam exercer maior influência no ritmo de crescimento, como época da poda, histórico de manejo e até mesmo a característica da espécie.

O valor de p para a classe D foi de 0,7945, constatando que o resultado não é estatisticamente significativo. Correlacionando as variáveis crescimento e área de canteiro das tipuanas com DAP de 60 a 70 cm, foi obtido um R² ajustado de 81,5%, ou seja, há relação entre o crescimento das tipuanas da classe E com o tamanho de canteiro disponível. Esta, também, é a classe de DAP da tipuana que apresentou o crescimento de brotações mais acelerado, significando que a área de canteiro tem mais influência sobre o crescimento justamente na fase de maior desenvolvimento dessa espécie.

Já para a classe F, o valor de R² ajustado está baixo, mas nada pode ser inferido, já que o valor de p está acima de 0,05, indicando que o modelo não é estatisticamente significativo.

4.5.1.2. IAF x Taxa de crescimento

Na tabela 22 estão contidos os resultados da análise de regressão entre as variáveis ritmo de crescimento e IAF das tipuanas com diversos DAPs.

Tabela 22 – Resumo dos resultados da análise de regressão entre os dados da taxa de crescimento de brotações de tipuanas com diferentes DAPs e de seus IAFs.

Taxa de crescimento (cm/dia) x IAF				
Classe de DAP	R ²	R ² ajustado	valor-P	Nº observações
A (até 30 cm)	-	-	-	-
B (30-40 cm)	0,1316	0,0231	0,3027	10
C (40-50 cm)	0,1832	0,1287	0,0865	17
D (50-60 cm)	0,3775	0,3083	0,0443	11
E (60-70 cm)	0,0356	-0,4464	0,8111	4
F (acima de 70 cm)	0,0551	-0,1811	0,6543	6

Não foram encontrados indivíduos com DAP abaixo de 30 cm da espécie tipuana. Os valores de p, obtidos com a análise das classes B, C, E e F, não atingiram valores que indicassem significância estatística, portanto, nada pode ser inferido em relação a essas árvores.

Já em relação a classe D, ou seja, tipuanas com 50 a 60 cm de DAP, foi comprovado que não existe correlação entre o IAF e a velocidade de crescimento de suas brotações, já que o R² ajustado apresentou valor baixo e o valor-p se enquadrou nos parâmetros que possibilitam confirmar significância estatística. O efeito do índice de área foliar pode não ter sido identificado, uma vez que a época da poda nessa classe de DAP foi pouco antes do início do florescimento, ou seja, a pior época para poda em espécie com repouso falso, o que pode ter afetado o ritmo de crescimento normal das brotações.

4.5.2. Ipê-roxo

4.5.2.1. Área de canteiro x Taxa de crescimento

Relacionando as taxas de crescimento de brotos de ipê-roxo com as áreas de canteiro, em cada classe de DAP, foram obtidos os dados da Tabela 23.

Tabela 23 – Resumo dos resultados da análise de regressão entre os dados da taxa de crescimento de brotações de ipê-roxo com diferentes DAPs e de suas áreas de canteiro.

Taxa de crescimento (cm/dia) x Área de canteiro (m ²)				
Classe de DAP	R ²	R ² ajustado	valor-P	Nº observações
A (até 30 cm)	0,0137	-0,4793	0,8827	4
B (30-40 cm)	0,9485	0,9228	0,0260	4
C (40-50 cm)	0,1118	-0,1102	0,5171	6
D (50-60 cm)	0,1376	-0,0779	0,4690	6
E (60-70 cm)	-	-	-	-
F (acima de 70 cm)	-	-	-	-

Com um valor de p maior que 0,05, os resultados estatísticos das classes A, C e D não podem ser considerados estatisticamente significativos.

Correlacionando o crescimento das brotações de ipês com 30 a 40 cm de DAP, com o tamanho dos canteiros onde estão inseridos, o R² ajustado foi de 0,92, o que significa que 92% do crescimento é explicado pela variação da área de canteiro, ou seja, existe correlação na classe B de DAP. O valor-p de 0,02 confere significância estatística ao modelo. Essas árvores foram podadas na melhor época definida para as espécies com repouso falso, o que pode ter possibilitado a identificação do efeito do canteiro na resposta à poda dessa espécie. Portanto, a maior infiltração de água, nutrientes e oxigênio no solo e a menor restrição de espaço para as raízes, auxiliaram no crescimento dos brotos.

Não foram encontrados indivíduos dessa espécie com DAP entre 60 e 70 cm ou com mais de 70 cm neste estudo.

4.5.2.2. IAF x Taxa de crescimento

Para determinar se existe correlação entre o ritmo de crescimento de brotações de ipê-roxo e o IAF, em árvores possuindo diversos DAPs, foi realizada análise de regressão das suas variáveis para cada classe (Tabela 24).

Tabela 24 – Resumo dos resultados da análise de regressão entre os dados da taxa de crescimento de brotações de ipê-roxo com diferentes DAPs e de seus IAFs.

Taxa de crescimento (cm/dia) x IAF				
Classe de DAP	R ²	R ² ajustado	valor-P	Nº observações
A (até 30 cm)	0,1717	-0,2424	0,5856	4
B (30-40 cm)	0,0121	-0,4817	0,8896	4
C (40-50 cm)	0,4503	0,3129	0,1445	6
D (50-60 cm)	0,7840	0,7301	0,0189	6
E (60-70 cm)	-	-	-	-
F (acima de 70 cm)	-	-	-	-

O valor de p obtido da regressão das árvores pertencentes às classes A, B e C, estão acima de 0,05, portanto, temos que os valores do modelo estão distribuídos aleatoriamente, não conferindo consistência ao modelo. Diferentemente da classe D, que teve como resultado um valor-p de 0,01, e um valor de R² ajustado de 0,73, o que é considerado alto e indica a existência de correlação entre as variáveis para os indivíduos com DAP entre 50 e 60 cm da espécie ipê-roxo. De acordo com Benincasa (1988), 90% da matéria seca de plantas é resultado da fotossíntese. Por isso, o maior índice de área foliar no ipê-roxo, pode ter auxiliado a produção de biomassa das brotações.

Não foram encontrados indivíduos da espécie ipê-roxo com DAP entre 60 e 70 cm ou com mais de 70 cm em campo.

4.5.3. Chapéu-de-sol

4.5.3.1. Área de canteiro x Taxa de crescimento

Através da análise de regressão dos dados da taxa de crescimento diário de brotações de chapéu-de-sol e da área de canteiro disponível, foram obtidos os valores da Tabela 25, a seguir, para cada classe de DAP.

Tabela 25 – Resumo dos resultados da análise de regressão entre os dados da taxa de crescimento de brotações de chapéu-de-sol com diferentes DAPs e de suas áreas de canteiro.

Taxa de crescimento (cm/dia) x Área de canteiro (m ²)				
Classe de DAP	R ²	R ² ajustado	valor-P	Nº observações
A (até 30 cm)	0,7225	0,5837	0,1500	4
B (30-40 cm)	0,2678	0,1865	0,1030	11
C (40-50 cm)	-	-	-	3
D (50-60 cm)	-	-	-	1
E (60-70 cm)	-	-	-	-
F (acima de 70 cm)	-	-	-	-

Com a análise possuindo 95% de nível de confiança, foi obtido um valor-p de 0,1500 para a classe A e 0,1030 para a classe B, o que indica que o modelo não segue padrões matemáticos. Portanto, não é possível analisar os R² ajustados obtidos, já que não são estatisticamente significativos.

Foram encontradas apenas três árvores da espécie chapéu-de-sol com DAP de 40 a 50 cm e somente uma com 50 a 60 cm, o que é insuficiente para realizar uma boa análise dentro da classe.

Não foram encontrados indivíduos arbóreos com DAP entre 50 a 60 cm ou acima de 70 cm para esta espécie.

4.5.3.2. IAF x Taxa de crescimento

Correlacionando as variáveis velocidade de crescimento das brotações de chapéu-de-sol separados por DAP e seus respectivos IAFs, foram obtidos os dados da Tabela 26.

Tabela 26 – Resumo dos resultados da análise de regressão entre os dados da taxa de crescimento de brotações de chapéu-de-sol com diferentes DAPs e de seus IAFs.

Taxa de crescimento (cm/dia) x IAF				
Classe de DAP	R ²	R ² ajustado	valor-P	Nº observações
A (até 30 cm)	0,7218	0,5827	0,1504	4
B (30-40 cm)	0,0995	-0,0005	0,3447	11
C (40-50 cm)	-	-	-	3
D (50-60 cm)	-	-	-	1
E (60-70 cm)	-	-	-	-
F (acima de 70 cm)	-	-	-	-

Os valores de p obtidos, tanto para a classe A como para a B, ficaram acima de 0,05, o que impede o resultado da correlação de ser estatisticamente significativo.

Como foram encontradas apenas três árvores da espécie chapéu-de-sol da classe C e uma da D, optou-se por não realizar a análise de regressão.

Não foram encontradas árvores com DAP variando de 60 a 70 cm e nem acima de 70 cm da espécie chapéu-de-sol.

5. CONCLUSÕES

A confiabilidade do programa ImageJ na medição de brotações de árvores foi confirmada.

Houve diferença significativa entre a taxa de crescimento da espécie chapéu-de-sol e ipê-roxo, indicando que a espécie e o grupo sucessional a qual pertencem influenciam no ritmo de crescimento de brotações epicórmicas após poda.

O teste realizado para investigar se o DAP é responsável pela variação na taxa de crescimento das árvores em geral e de cada uma das três espécies não obteve um resultado estatisticamente significativo, portanto, nada pode ser concluído sobre esta hipótese.

Não foi detectada influência do tipo de solo, urbanizado ou neossolo, no ritmo de crescimento de brotações das árvores em geral e de cada espécie. A presença de calçada de concreto próxima às árvores dessas espécies também não foi responsável pelas alterações na velocidade de crescimento. Isto pode ter ocorrido devido ao fato das calçadas apresentarem trincas, o que possibilita infiltração de água no solo.

O índice de área foliar não influencia no crescimento dos brotos, tanto na análise das três espécies juntas como separadas. Em tipuanas com DAP entre 50 e 60 cm também não há influência. No entanto, os ipês com as mesmas dimensões de DAP, tem seu crescimento afetado positivamente pelo IAF.

Não há correlação entre a área de canteiro e o índice de crescimento das brotações da espécie chapéu-de-sol. Provavelmente porque possui um crescimento rápido e, assim, o tamanho de canteiro acaba não sendo um fator suficientemente limitante. Também foi verificada falta de influência do canteiro no crescimento das tipuanas com 40 a 50 cm de DAP. Em contrapartida, o crescimento dos brotos das tipuanas com DAP entre 60 e 70 cm é afetado positivamente pela área de canteiro, demonstrando a importância do tamanho de canteiro para as tipuanas que mais desenvolveram suas brotações, já que a velocidade de crescimento nesta classe foi a maior. O tamanho do canteiro também se correlaciona positivamente com o crescimento de ipês com DAP entre 30 e 40 cm, que estão em uma idade vigorosa e suas raízes continuam explorando o solo.

Existem poucos estudos com essa temática, o que dificulta a comparação dos dados obtidos. Além disso, fatores como clima, época de poda e histórico de manejo da área podem ter influenciado a taxa de crescimento dessas árvores e devem ser investigados nas próximas pesquisas. As medidas de comprimento das brotações foram obtidas através do ImageJ e não manualmente, o que pode ter afetado os dados, já que foi realizada uma estimativa. Por isso, é sugerido que esse estudo continue por mais tempo e que seja incluído maior número de indivíduos arbóreos.

REFERÊNCIAS

- AGUIRRE JUNIOR, J. H. **Arborização viária como patrimônio municipal de Campinas/SP: histórico, situação atual e potencialidades no Bairro Cambuí**. 2008. 121 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.
- AMES, R. G. The sociology of urban tree planting. **Journal of Arboriculture**, Champaign, v. 6, n. 5, p. 120-123, 1980.
- BÁEZ CASCO, M. T.; SANTIAGO, A. G. Critérios de arborização urbana. Estudo de caso: cidade de Foz do Iguaçu – PR. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARBORIZAÇÃO URBANA, 10., 2006, Maringá. **Anais...** Maringá: Sociedade Brasileira de Arborização Urbana, 2006. p. 173-188.
- BENGOUGH, A. G.; MCKENZIE, B. M.; HALLETT, P. D.; VALENTINE, T. A. Root elongation, water stress, and mechanical impedance: a review of limiting stresses and beneficial root tip traits. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 62, n. 1, p. 59-68, 2011.
- BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas: noções básicas**. Jaboticabal: FCAV-UNESP, 1988. 41 p.
- BERNIS, R. A. O. Novas tecnologias para as redes de distribuição da CEMIG. **Ação Ambiental**, Viçosa, n. 9, p. 20-23, 2000.
- BOCCUZZI, C. V.; BRUNHEROTO, P. A.; MARTINS, M. J. Implantação de redes subterrâneas em condomínios residenciais. **Elettricidade Moderna**, São Paulo, v. 25, n. 275, p. 90-100, 1997.
- BORTOLETO, S.; SILVA FILHO, D. F. Situação da arborização viária da estância de Águas de São Pedro - SP. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, Maringá, v. 1, n. 3, p. 391-403, 2008.
- BRANDÃO, M.; LACA-BUENDÍA, J. P.; MACEDO, J. F. **Árvores Nativas e Exóticas do Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte: EPAMIG, 2002. 528 p.
- BRASIL. Lei nº 9.503, de 23 de setembro de 1997. Institui o Código de Trânsito Brasileiro. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 24 set. 1997.
- BRAZOLIN, S. **Biodeterioração, anatomia do lenho e análise de risco de queda de árvores de tipuana, *Tipuana tipu* (Benth.) O. Kuntze, nos passeios públicos da cidade de São Paulo, SP**. 2009. 265 p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.
- BRITO, L. M. **Fisiologia vegetal**. 2016. Disponível em: <<http://www.ci.esapl.pt/miguelbrito/fisiologia/Default.htm>>. Acesso em: 14 out. 2016.
- BROWNING, D. M.; WIAINT, H. V. The economic impacts of deferring electric utility tree maintenance. **Journal of Arboriculture**, Champaign, v. 23, n. 3, p. 106-112, 1997.

BRUN, F. G. K. **Avaliação do potencial de estoque de carbono por Sibipiruna (*Poincianella pluviosa* var. *peltophoroides* (Benth.) L.P. Queiróz) na arborização viária de Maringá - PR.** 2012. 163 p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.

BURDEN, D. **Urban street trees: 22 benefits of urban street trees.** 2006. Disponível em: <http://www.walkable.org/download/22_benefits.pdf>. Acesso em: 27 fev. 2017.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras.** v. 1. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2003. 1039 p.

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

CELLA, A. C.; MENDES, F. H.; POLIZEL, J. L.; SILVA FILHO, D. F. Método alternativo para obtenção do índice de área foliar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARBORIZAÇÃO URBANA, 19., 2015, São Paulo. **Anais...** São Paulo: CBAU, 2015. 4 p.

CENTRO DE PESQUISAS METEOROLÓGICAS E CLIMÁTICAS APLICADAS À AGRICULTURA. **Clima dos municípios paulistas.** Disponível em: <http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_436.html>. Acesso em: 04 ago. 2014.

CODER, K. D. **Thee root growth control series:** tree roots and infrastructure damage. Athens: University of Georgia Cooperative Extension Service Publication, 1998. 4 p.

COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS. **Manual de arborização.** Belo Horizonte: Fundação Biodiversitas, 2011. 112 p.

COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA ELÉTRICA. **Implantação de redes compactas no sistema de distribuição urbana de eletricidade.** Paraná, 1995. 6 p.

COMPANHIA PAULISTA DE FORÇA E LUZ. **Arborização urbana viária: aspectos de planejamento, implantação e manejo.** Campinas: CPFL Energia, 2008. 60 p.

CONSELHO REGIONAL DE ENGENHARIA, ARQUITETURA E AGRONOMIA DO ESTADO DO MATO GROSSO DO SUL. **Guia prático para a construção de calçadas.** 2 ed. Campo Grande: CREA-MS, 2010. 26 p. Disponível em: <http://www.sindusconms.com.br/guia_calcada/guia_calçadas.pdf>. Acesso em: 23 mar. 2017.

COSTELLO, L. R.; McPHERSON, E. G.; BURGER, D. W.; DODGE, L. L. **Strategies to reduce infrastructure damage by tree roots:** proceedings of a symposium for researchers and practitioners. Cohasset: Western Chapter International Society of Arboriculture, 2000. 104 p.

CRAUL, P. J. A description of urban soils and their desired characteristics. **Journal of Arboriculture**, Campaign, v. 11, n. 11, p. 330-339, 1985.

CRAUL, P. J. **Urban soil in landscape design.** New York: Wiley, 1992. 396 p.

CRESTANA, M. S. M.; SILVA FILHO, D. F.; BERTONI, J. E. A.; GUARDIA, J. F. C.; ARAÚJO, R. T. **Árvores & cia.** Campinas: CATI, 2007. 131 p.

DAHLHAUSEN, J.; BIBER, P.; RÖTZER, T.; UHL, E.; PRETZSCH, H. Tree species and their space requirements in six urban environments worldwide. **Forests**, Basel, v. 7, n. 6, p. 1-19, 2016.

DE ANGELIS, B. L. D.; MAREK, C. F.; NETO, G. D. A.; ECKER, A. E. A.; BARROS, R. A.; GUIZELINI, A. Rede de distribuição de energia elétrica e arborização viária: o caso da Cidade de Maringá, Estado do Paraná. **Acta Scientiarum Technology**, Maringá, v. 33, n. 4, p. 365-370, 2011.

DEVIA, C.; TORRES, A. Thermic Attenuation on Concrete Sidewalk under Urban Trees. Case Study: Santa Marta – Colombia. **South-east European Forestry**, Jastrebarsko, v. 3, n. 2, p. 79-85, 2012.

EHSEN, H. Pruning of street trees: cause, objective and execution. **Arboricultural Journal**, Dorchester on Thames, v. 11, n. 3, p. 245-263, 1987.

ENCINAS, J. I.; SILVA, G. F.; PINTO, J. R. R. Idade e crescimento das árvores. **Comunicações Técnicas Florestais**, Brasília, v. 7, n. 1, p. 1-42, 2005.

FARAH, I. M. C. **Arborização urbana e sua inserção no desenho urbano**. Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana, Rio de Janeiro, v. 7, n. 3, 6 p., 1999.

FERRETTI, A. R.; KAGEYAMA, P. Y.; ARBOCS, G. F.; SANTOS, J. D.; BARROS, M. I. A. OLIVEIRA, C. Classificação das espécies arbóreas em grupos ecológicos para revegetação com nativas no Estado de São Paulo. **Florestar Estatístico**, São Paulo, v.3. n.7, p. 73-77, 1995.

FINI, A.; FRANGI, P.; FAORO M.; PIATTI, R.; AMOROSO, G.; FERRINI, F. Effects of different pruning methods on an urban tree species: A four-year-experiment scaling down from the whole tree to the chloroplasts. **Urban Forestry & Urban Greening**, Washington, v. 14, n. 3, p. 664-674, 2015.

FLEMING, L. **Roberto Burle Marx, um retrato**. Rio de Janeiro: Index, 1996. 160p.

FOLLETT, M.; NOCK, C. A.; BUTEAU, C.; MESSIER, C. Testing a new approach to quantify growth responses to pruning among three temperate tree species. **Arboriculture & Urban Forestry**, Champaign, v. 42, n. 3, p. 133–145, 2016.

GONÇALVES, W.; PAIVA, H. N. **Implantação da arborização urbana**: especificações técnicas. Viçosa: Editora UFV, 2013. 53 p.

GREGG, J. W.; JONES, C. G.; DAWSON, T. E. Urbanization effects on tree growth in the vicinity of New York City. **Nature**, London, v. 424, p. 183-187, 2003.

HIMELICK, E. B. Disease stresses of urban trees. In: BETTER TREES FOR METROPOLITAN LANDSCAPES SYMPOSIUM, 1., 1976, Washington D. C. **Proceedings...** Upper Darby: USDA Forest Service General Technical Report, 1976. p. 113-125.

HOPKINS, W. G.; HÜNER, N. P. A. **Introduction to plant physiology**. 3rd ed. Hoboken: J. Wiley, 2004. 560 p.

IAKOVOGLOU, V.; THOMPSON, J.; BURRAS, L.; KIPPER, R. Factors related to tree growth across urban-rural gradients in the Midwest, USA. **Urban Ecosystems**, Amsterdam, v. 5, n. 1, p. 71-85, 2001.

IMAGEJ. **ImageJ Features**. 2017. Disponível em: <<https://imagej.nih.gov/ij/features.html>>. Acesso em: 20 fev. 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo 2010**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/>>. Acesso em: 03 ago. 2014.

INSTITUTO DE PESQUISA E PLANEJAMENTO URBANO DE LONDRINA. **Projeto calçadas para todos**. Londrina, 2015. Disponível em: <<http://ippul.londrina.pr.gov.br/index.php/projeto-calcada-para-todos/dicas-para-construcao-de-calcadas.html>>. Acesso em: 21 out. 2015.

IVANI, S. A.; SILVA, B. M. S.; OLIVEIRA, C.; MÔRO, F. V. Morfologia de frutos, sementes e plântulas de castanheira (*Terminalia catappa* L. – Combretaceae). **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 30, n. 2, p. 517-522, 2008.

JOBÁGY, E. G.; JACKSON, R. B. The distribution of soil nutrients with depth: global patterns and the imprint of plants. **Biogeochemistry**, Dordrecht, v. 53, n. 1, p. 51-77, 2001.

JOHNSTONE, R. A. Economics of utility lateral trimming. **Journal of Arboriculture**, Champaign, v. 14, n. 3, p. 74-77, 1988.

KEMPTER, G. Utility pruning. **Arborist News**, Champaign, v. 14, n. 1, p. 12-17, 2005.

KIRBY, J. M.; BENGOUGH, A. G. Influence of soil strength on root growth: experiments and analysis using a critical-state model. **European Journal of Soil Science**, Devon, v. 53, n. 1, p. 119-128, 2002.

KIRCHNER, F. F.; DETZEL V. A.; MITISHITA, E. A. Mapeamento da vegetação urbana. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE ARBORIZAÇÃO URBANA, 3., 1990 Curitiba. **Anais...** Curitiba: FUPEF, 1990. p. 72-85.

KONIJNENDIJK, C. C. A short history of urban forestry in Europe. **Journal of Arboriculture**, Champaign, v.23, n.1, p. 31-39, 1997.

KOZLOWSKI, T. T. **Growth and development of trees**: seed germination, ontogeny, and shoot growth. New York: Academic Press, 1971. 443 p. (Physiological ecology: a series of monographs, texts, and treatises, v. 1).

KRAMER, P. J.; KOZLOWSKI, T. T. **Physiology of trees**. New York: McGraw-Hill, 1960. 642 p.

LANGOWSKI, E.; KLECHOWICZ, N. A. **Manual prático de poda e arborização urbana**. 3.ed. Cianorte: APROMAC, 2001. 42p.

LAWRENCE, A. B.; ESCOBEDO, F. J.; STAUDHAMMER, C. L.; ZIPPERER, W. Analyzing growth and mortality in a subtropical urban forest ecosystem. **Landscape and Urban Planning**, Amsterdam, v. 104, p. 85–94, 2012.

LIMA, A. M. L. **Piracicaba, SP**: análise da arborização viária na área central e em seu entorno. Piracicaba, 1993. 238 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1993.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras**: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. 6 ed. Nova Odessa: Editora Plantarum, 1992. 376 p.

LORENZI, H.; SOUZA H. M.; TORRES, M. A. V.; BACHER, L. B. **Árvores exóticas no Brasil**: madeireiras, ornamentais e aromáticas. Nova Odessa: Editora Plantarum, 2003. 382 p.

LORUSSO, D. C. Gestão de áreas verdes urbanas. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE ARBORIZAÇÃO, 4., 1992, Vitória. **Anais...** Vitória: Prefeitura Municipal de Vitória, 1992. p. 105-118.

LU, J. W. T.; SVENDSEN, E. S.; CAMPBELL, L. K.; GREENFIELD, J.; BRADEN, J.; KING, K. L.; FALXA-RAYMOND, N. Biological, social, and urban design factors affecting young street tree mortality in New York City. **Cities and the Environment**, Los Angeles, v. 3, n. 1, p. 1-15, 2010.

MACEDO, S. S. **Quadro do paisagismo no Brasil**. São Paulo: EDUSP, 1999. 144 p. (Coleção Quapá, 1).

MARTINS, L. F. V.; ANDRADE, H. H. B.; DE ANGELIS, B. L. D. Relação entre podas e aspectos fitossanitários em árvores urbanas na cidade de Luiziana, Paraná. **Revsbau**, Piracicaba, v. 5, n. 4, p. 141-155, 2010.

McPHERSON, E. G. Sacramento's parking lot shading ordinance: environmental and economic costs of compliance. **Landscape and Urban Planning**, Amsterdam, v. 57, n. 1, p. 105-123, 2001.

McPHERSON, E. G.; NOWAK, D. J.; ROWNTREE, R. A. **Chicago's urban forest ecosystem**: results of the Chicago urban forest climate project. Radnor: US Department of Agriculture, 1994. 201 p.

McPHERSON, E. G.; PEPPER, P. J. Infrastructure repair costs associated with street trees in 15 cities. In: WATSON, G. W.; NEELY, D. (Ed.). **Trees and building sites**: proceedings of an international workshop on trees and buildings. Savoy: International Society of Arboriculture, 1995. p. 49-63.

McPHERSON, G. A benefit-cost analysis of ten street tree species in Modesto, California, U.S. **Journal of Arboriculture**, Champaign, v. 29, n. 1, p. 1-7, 2003.

MEDHURST, J. L.; PINKARD, E. A.; BEADLE, C. L.; WORLEDGE, D. Photosynthetic capacity in *Acacia melanoxylon* following form pruning in a two-species plantation. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 233, n. 2-3, p. 250-259, 2006.

MEYER, R. F. T. **Mãos à obra**. São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland, 2007. 32 p.

MILANO, M. S. Arborização urbana no Brasil: mitos e realidade. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARBORIZAÇÃO URBANA, 3., 1996, Salvador. **Anais...** Salvador: CBAU, 1996. p. 1-6.

MILANO, M. S.; DALCIN, E. **Arborização de vias públicas**. Rio de Janeiro: Light, 2000. 206 p.

MONICO, I. M. **Árvores e arborização urbana na cidade de Piracicaba/SP**: um olhar sobre a questão à luz da educação ambiental. 2001. 165 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

MONTEIRO, J. E. B. A.; SENTELHAS, P.; CHIAVEGATO, E. J.; GUISELINI, C.; SANTIAGO, A. V.; PRELA, A. Estimação da área foliar do algodoeiro por meio das dimensões e massa de folhas. **Bragantia**, Campinas, v. 64, n. 1, p. 15-24, 2005.

MOREIRA, P. R.; SILVA, O. A. Produção de serapilheira em área reflorestada. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 1, p. 49-59, 2004.

MORGENROTH, J. Root growth response of *Platanus orientalis* to porous pavements. **Arboriculture & Urban Forestry**, Champaign, v. 37, n. 2, p. 45-50, 2011.

MULLANEY, J.; LUCKE, T.; TRUEMAN, S. J. A review of benefits and challenges in growing street trees in paved urban environments. **Landscape and Urban Planning**, Amsterdam, v. 134, p. 157-166, 2015.

NEAL, B. A.; WHITLOW, T. H. Using tree growth rates to evaluate urban tree planting specifications. **Journal of Environmental Horticulture**, Columbus, v. 15, n. 2, p. 115-118, 1997.

NILSSON, K., RANDRUP, T. B., WANDALL, B. M. Trees in the urban environment. In: EVANS, J. (Ed.). **The Forest Handbook**. v. 1. Oxford: Blackwell Science, 2000. p. 347-361.

PATTERSON, J. C. Soil compactation and its effects upon urban vegetation. In: SANTAMOUR JUNIOR, F. S.; GERHOLD, H. D.; LITTLE, S. (Ed.). **Better trees for metropolitan landscapes**. Upper Darby: Forest Service, U.S. Dept. of Agriculture, Northeastern Forest Experiment Station, 1976. p. 91-102.

PEDROSA, J. B. **Arborização de cidades e rodovias**. Belo Horizonte: Instituto Estadual de Florestas, 1983. 64 p.

PIRACICABA. Prefeitura Municipal de Piracicaba. **Manual de normas técnicas de arborização urbana**. Piracicaba: Secretaria de Defesa do Meio Ambiente, 2007. 46 p.

PIVETTA, K. F. L.; SILVA FILHO, D. F. **Arborização urbana**. Jaboticabal: UNESP, FCAV, FUNEP, 2002. 74 p. (Série Arborização Urbana).

POORTER, L.; BONGERS, F. **Ecology of tropical forests**. Wageningen: Wageningen Agricultural University, 1993. 223 p.

QUIGLEY, M. F. Street trees and rural conspecifics: Will long-lived trees reach full size in urban conditions? **Urban Ecosystems**, Amsterdam, v. 7, n. 1, p. 29-39, 2004.

REINEKING, B.; HUTH, A.; WISSEL, C. Generic process-based plant models for the analysis of landscape change. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON ENVIRONMENTAL MODELLING AND SOFTWARE, 2., 2004, Osnabrück. **Proceedings...** Manno: International Environmental Modelling and Software Society, 2004. p. 887-894.

RHODES, J. R.; NG, C. F.; DE VILLIERS, D. L.; PREECE, H. J.; MCALPINE, C. A.; POSSINGHAM, H. P. Using integrated population modelling to quantify the implications of multiple threatening processes for a rapidly declining population. **Biological Conservation**, Essex, v. 144, n. 3, p. 1081-1088, 2011.

RIBEIRO, F. A. B. S. Arborização Urbana em Uberlândia: percepção da população. **Revista da Católica**, Uberlândia, v. 1, n. 1, p. 224-237, 2009.

ROMBERGER, J. A. **Meristems, growth and development in woody plants**: an analytical review of anatomical, physiological, and morphogenic aspects. Washington D.C.: U.S. Department of Agriculture, 1963. 214 p.

ROSSETTI, A. I. N.; PELLEGRINO, P. R. M.; TAVARES, A. R. As árvores e suas interfaces no ambiente urbano. **Revsbau**, Piracicaba, v.5, n.1, p.1-24, 2010.

RYAN, M. G.; BINKLEY, D.; FOWNES, J. H. Age-related decline in forest productivity: pattern and process. **Advances in Ecological Research**, Cambridge, v. 27, n. 1, p. 213-262, 1997.

RYDER, C. M.; MOORE, G. M. The arboricultural and economic benefits of formative pruning street trees. **Arboriculture & Urban Forestry**, Champaign, v. 39, n. 1, p. 17-24, 2013.

SÆBØ, A.; BENEDIKZ, T.; RANDRUP, T. B. Selection of trees for urban forestry in the Nordic countries. **Urban Forestry & Urban Greening**, Washington, v. 2, n. 2, p. 101-114, 2003.

SANCHES, J. H. **Potencial invasor do chapéu-de-sol (*Terminalia catappa* L.) em área de restinga**. 2009. 83 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

SANTAMOUR JUNIOR, F. S. Breeding trees for tolerance to stress factors of urban environment. In: SECOND WORLD CONSULTATION ON FOREST TREE BREEDING, 1969, Washington D.C. **Proceedings...** Rome: FAO, 1969.

SANTOS, C. Z. A.; FERREIRA, R. A.; SANTOS, L. R.; SANTOS, L. I.; GOMES, S. H.; GRAÇA, D. A. S. Análise qualitativa da arborização urbana de 25 vias públicas da cidade de Aracajú-SE. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 25, n. 3, p. 751-763, 2015.

SANTOS, N. R. Z.; TEIXEIRA, I. F. **Arborização de vias públicas: ambiente x vegetação**. Santa Cruz do Sul: Instituto Souza Cruz, 2001. 135 p.

SÃO PAULO. Prefeitura de São Paulo. **Sistemas integrados de calçadas**. 2017. Disponível em: <http://solucoesparacidades.com.br/wpcontent/uploads/2012/08/Cartilha_Sistemas_Integrados_Calcadas.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2017.

SARDETO, E. **Avaliação técnica, econômica e de impacto ambiental da implantação das redes compactas protegidas em Maringá**. 1999. 71 f. Monografia (Especialização) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1999.

SAXE, H. Photosynthesis and stomatal responses to polluted air, and the use of physiological and biochemical responses for early detection and diagnostic tools. In: CALLOW, J. A. (Ed.). **Advances in botanical research**. v. 18. London: Academic Press, 1991. p. 2-128.

SCOLFORO, J. R. S. **Modelos para expressar o crescimento e a produção florestal**: parte 1. Lavras: ESAL FAPE, 1994. 182 p.

SEAMANS, G. S. Main streaming the environmental benefits of street trees. **Urban Forestry & Urban Greening**, Washington, v. 12, p. 2-11, 2013.

SEITZ, R. A. A poda de árvores urbanas. In: CURSO DE TREINAMENTO SOBRE PODA EM ESPÉCIES ARBÓREAS FLORESTAIS E DE ARBORIZAÇÃO URBANA, 1., 1996, Piracicaba. **Anais...** Curitiba: FUPEF, 1996. 27 p. Disponível em: <http://www.ipef.br/publicacoes/curso_arborizacao_urbana/cap07.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2017.

SEITZ, R. A. Ferramentas e equipamentos utilizados na arborização urbana. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE ARBORIZAÇÃO URBANA, 4., 1992, Vitória. **Anais...** Vitória: Prefeitura Municipal de Vitória, 1992. p. 53-72.

SEMENZATO, P.; CATTANEO, D.; DAINESE, M. Growth prediction for five tree species in an Italian urban forest. **Urban Forestry & Urban Greening**, Washington, v. 10, n. 3, p. 169-176, 2011.

SHASHUA-BAR, L.; PEARLMUTTER, D.; ERELL, E. The cooling efficiency of urban landscape strategies in a hot dry climate. **Landscape and Urban Planning**, Amsterdam, v. 92, n. 3-4, p. 179-186, 2009.

SILVA, K. A.; MARTINS, S. V.; MIRANDA NETO, A.; DEMOLINARI, R. A.; LOPES, A. T. Restauração florestal de uma mina de bauxita: avaliação do desenvolvimento das espécies arbóreas plantadas. **Floresta Ambient.**, Seropédica, v. 23, n. 3, p. 309-319, 2016.

SMILEY, T.D., KANE, B. The effects of pruning type on wind loading of *Acer rubrum*. **Arboriculture & Urban Forestry**, Champaign, v. 32, n. 1, p. 33-40, 2006.

SWAINE, M. D. Population dynamics of tree species in tropical forests. In: NIELSEN, L. B. H.; NIELSEN, I. C.; BALSLEV, H. (Ed.). **Botanical dynamics, speciation and diversity**. San Diego: Academic Press, 1990. p. 3-101.

TARRAN, J. People and trees, providing benefits, overcoming impediments. In: NATIONAL STREET TREE SYMPOSIUM, 10., 2009, Adelaide. **Proceedings...** Adelaide: Adelaide University, 2009. p. 63-82.

THIMANN, K. V. The auxins. In: WILKINS, M. B. (Ed.). **The physiology of plant growth and development**. 1 ed. New York: McGraw-Hill, 1969. p. 3-45.

URTADO, M. C.; BORGIANNI, R. B. **Manual técnico de poda de árvores**. São Paulo: Secretaria do verde e do meio ambiente, 2005. 31p.

VAN DILLEN, S. M. E.; DE VRIES, S.; GROENEWEGEN, P. P.; SPREEUWENBERG, P. Greenspace in urban neighbourhoods and residents' health: adding quality to quantity. **Journal of Epidemiology and Community Health**, London, v. 66, n. 6, e. 8, p. 1-5, 2012.

VELASCO, G. D. N. **Arborização viária X sistema de distribuição de energia elétrica**: avaliação dos custos, estudo das podas e levantamento de problemas fitotécnicos. 2003. 94 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

VELASCO, G. D. N. **Potencial da arborização viária na redução do consumo de energia elétrica**: definição de três áreas na cidade de São Paulo - SP, aplicação de questionários, levantamento de fatores ambientais e estimativa de Graus-Hora de calor. 2007. 123 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

VISWANATHAN, B.; VOLDER, A.; WATSON, W. T.; AITKENHEAD-PETERSON, J. A. Impervious and pervious pavements increase soil CO₂ concentrations and reduce root production of American sweetgum (*Liquidambar styraciflua*). **Urban Forestry & Urban Greening**, Washington, v. 10, n. 2, p. 133-139, 2011.

VOLPE-FILIK, A. **Trincas nas calçadas e espécies muito utilizadas na arborização**: comparação entre Sibipiruna (*Caesalpinia pluviosa* Dc.) e Falsa-murta (*Murraya paniculata* (L.) Jacq), no município de Piracicaba/SP. 2009. 96 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.