

**UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS
UNIDADE ACADÊMICA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO
NÍVEL MESTRADO**

BRUNA RIGHI DOTTO

**ÍNDICE QUANTI-QUALITATIVO DE AVALIAÇÃO DA VEGETAÇÃO EM SETORES
URBANOS**

São Leopoldo

2018

Bruna Righi Dotto

**ÍNDICE QUANTI-QUALITATIVO DE AVALIAÇÃO DA VEGETAÇÃO EM SETORES
URBANOS**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo, pelo Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS

Orientador: Prof. Dr. André de Souza Silva

São Leopoldo

2018

D725i Dotto, Bruna Righi
Índice quanti-qualitativo de avaliação da vegetação em
setores urbanos / Bruna Righi Dotto -- 2018.
96 f. : Il. ; color. 30cm.

Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) --
Universidade do Vale do Rio dos Sinos. Programa de Pós-
Graduação em Arquitetura e Urbanismo, São Leopoldo, RS, 2018.

Orientador: Prof. Dr. André de Souza Silva.

1. Arquitetura paisagística. 2. Vegetação urbana. 3. Índice -
Qualidade ambiental. 4. Ambiente urbano. 5. Qualidade -
Ambiente urbano. I. Título. II. Silva, André de Souza.

CDU 712

BRUNA RIGHI DOTTO

**ÍNDICE QUANTI-QUALITATIVO DE AVALIAÇÃO DA VEGETAÇÃO EM SETORES
URBANOS**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo, pelo Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS

Aprovado em 06 de julho de 2018

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Alessandra Teribele – UNISINOS

Prof. Dr. Daniel Reis Medeiros – UNISINOS

Profa. Dra. Geisa Zanini Rorato – UFRGS

“E, enquanto a tua cidade for sabiamente administrada, como acabamos de estabelecer, será a maior de todas [...], embora existam muitas que parecem ultrapassá-la várias vezes em tamanho. Pensas o contrário?”

Platão, em A República

RESUMO

A vegetação é um equipamento de importância no meio urbano, pois é capaz de amenizar as consequências da urbanização e propiciar qualidade ambiental à população. No entanto, a escassez de informações quanto à qualidade de sua implantação impede o seu correto planejamento, o que restringe seu desempenho benéfico e pode gerar disfunções em relação à infraestrutura urbana adjacente. Assim, a obtenção do diagnóstico adequado da situação da vegetação no ambiente urbano é de importância aos planejadores porque contribui no delineamento de intervenções que podem adequá-la ao contexto urbano existente. Diversos índices e indicadores foram desenvolvidos no intuito de realizar o levantamento de informações relevantes ao planejamento urbano quanto à vegetação existente, sendo que a complexidade dos indicadores e limitações em sua aplicação dificultam que sejam utilizados de forma extensiva pelos planejadores e podem fornecer dados rasos e imprecisos. Neste contexto, o presente estudo visa propor o Índice Quantitativo de Avaliação da Vegetação em Setores Urbanos, um índice que permite a avaliação de diversos critérios de importância para que a vegetação implantada impacte benéficamente na qualidade ambiental de seu entorno, auxiliando na definição de planos de ação para a melhoria geral da vegetação da área em estudo, enquanto busca contrapor as adversidades apresentadas por outros índices similares. O Índice proposto foi aplicado em um estudo de caso realizado tendo como objeto a Vila do IAPI, em Porto Alegre, onde considerou-se que atingiu os seus objetivos propostos e traduziu corretamente o contexto da vegetação presente na área em estudo, auxiliando a delimitar possíveis planos de melhorias para o local.

Palavras-chave: vegetação urbana; índice; qualidade ambiental; ambiente urbano; qualidade ambiental urbana.

ABSTRACT

Vegetation is an equipment of importance in the urban environment, since it is capable of mitigating the consequences of urbanization and providing environmental quality to the population. However, the scarcity of information about the quality of its implementation prevents its correct planning, which restricts its beneficial performance and can generate dysfunctions concerning the adjacent urban infrastructure. Therefore, obtaining an adequate diagnosis of the vegetation situation in the urban environment is important to the planners because it contributes to the design of interventions that can adapt it to the existing urban context. Several indexes and indicators have been developed in order to survey relevant informations to urban planning regarding existing vegetation, but the complexity of the indicators and limitations in their application make it difficult for them to be used extensively by planners and can provide shallow and imprecise data. In this context, the present study aims to propose the Quantitative and Qualitative Index of Evaluation of Vegetation in Urban Sectors, an index that allows the evaluation of several criteria of importance for the implanted vegetation to beneficially impact on the environmental quality of its surroundings, assisting in the definition of action plans for the general improvement of the vegetation of the study area, while seeking to oppose the adversities presented by other similar indexes. The proposed index was applied in a case study carried out with the object of the IAPI Village, in Porto Alegre, where it was considered that it reached its proposed objectives and correctly translated the context of the vegetation present in the study area, assiting in the delimitation of possible improvement plans for the site.

Keywords: urban vegetation; index; environmental Quality; urban environment; environmental quality.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Classificação da cobertura arbórea urbana.	21
Figura 2 - Desenho da pesquisa	33
Figura 3 – Critérios adotados para a proposta do Índice.....	37
Figura 4 - Unidades básicas de aplicação do índice	39
Figura 5 – Esquematização da aplicação do primeiro critério	43
Figura 6 - Esquematização da aplicação do segundo critério	45
Figura 7 - Esquematização da aplicação do terceiro critério.....	47
Figura 8 - Esquematização da aplicação do quarto critério.....	48
Figura 9 - Esquematização da aplicação do quinto critério	49
Figura 10 - a) Localização do bairro Passo D’Areia em Porto Alegre; b) Delimitação da Vila do IAPI dentro do bairro Passo D’Areia.....	51
Figura 11 - Delimitação da Vila do IAPI dentro do bairro Passo D’Areia e identificação da quadra selecionada para estudo de caso.....	53
Figura 12 - Quadra selecionada para estudo de caso.....	53
Figura 13 - Arborização viária presente na área de estudo.....	54
Figura 14 - Trechos para dimensionamento da metragem de calçadas presentes na área de estudo	55
Figura 15 – Etapas de aplicação do primeiro critério	56
Figura 16 - Classificação das árvores viárias de acordo com o seu tamanho de copa	56
Figura 17 - Classificação das vias de acordo com sua largura	57
Figura 18 - Etapas de aplicação do segundo critério	58
Figura 19 - Classificação das árvores viárias de acordo com o seu tamanho de copa	58
Figura 20 - Classificação dos passeios de acordo com sua largura.....	58
Figura 21 - Etapas de aplicação do terceiro critério	59
Figura 22 – Etapas de aplicação do quarto critério	60
Figura 23 - Etapas de aplicação do quinto critério	61
Figura 24 – Delimitação da Vila do IAPI e localização da área do Estudo de Caso..	68
Figura 25 – Delimitação da área do estudo de caso	69
Figura 26 – Identificação da arborização viária presente na área	70
Figura 27 – Dimensões consideradas para cálculo da metragem de passeios.....	70

Figura 28 – Etapas de aplicação do primeiro critério	71
Figura 29 - Classificação das árvores viárias de acordo com o seu tamanho de copa	71
Figura 30 - Classificação das vias de acordo com sua largura	72
Figura 31 – Etapas de aplicação do segundo critério.....	73
Figura 32 - Classificação das árvores viárias de acordo com o seu tamanho de copa	74
Figura 33 - Classificação dos passeios de acordo com sua largura.....	74
Figura 34 – Etapas de aplicação do terceiro critério	75
Figura 35 – Etapas de aplicação do quarto critério	76
Figura 36 - Arborização existente na área de estudo.....	77
Figura 37 – Etapas de aplicação do quinto critério.....	78
Figura 38 – Árvores viárias, em verde, e trechos com arborização viária escassa, em vermelho, existentes na área em estudo.....	80
Figura 39 – Pontuação do critério de relação entre tamanho de copa e largura das vias.....	81
Figura 40 - Pontuação do critério de relação entre tamanho de copa e largura dos passeios	81

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Recomendações de plantio de arborização viária através da relação entre o tamanho do passeio e o porte da árvore de algumas municipalidades	24
Tabela 2 - Classes de permeabilidade de acordo com a porcentagem de área construída ou pavimentada.	25
Tabela 3 - Sugestão de índices urbanísticos para espaços livres	27
Tabela 4 - Ocupações segundo diferentes espaçamentos médios	28
Tabela 5 – Parâmetros da pesquisa.....	35
Tabela 6 - Escala dos números para classificação dos critérios	37
Tabela 7 - Classificação do tamanho de copa das árvores.....	43
Tabela 8 - Relação entre tamanho de copa de árvore e largura da via.....	44
Tabela 9 - Classificação do tamanho de copa das árvores.....	46
Tabela 10 - Relação entre tamanho de copa e largura do passeio	46
Tabela 11 – Pontuação recebida em cada critério no estudo piloto	62
Tabela 12 – Alterações nos parâmetros dos critérios	64
Tabela 13 – Classificação dos critérios pelo Processo de Análise Hierárquica	65
Tabela 14 – Prioridades dos critérios segundo o Processo de Análise Hierárquica..	66
Tabela 15 – Pontuação dos critérios do Índice	66
Tabela 16 – Pontuação recebida pelo Estudo Piloto após calibragem do Índice	67
Tabela 17 – Pontuação recebida pelo Estudo de Caso	78

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1 A importância da vegetação urbana	16
2.2 Classificação da vegetação urbana	17
2.3 Qualidade da vegetação urbana	18
2.4 A vegetação urbana em indicadores e índices	25
2.5 A utilização de geoprocessamento no levantamento da vegetação	30
3 METODOLOGIA	32
3.1 Delineamento da Pesquisa	32
3.2 Pesquisa Bibliográfica	33
3.3 Proposta do Índice	34
3.3.1 Categorias de Análise	38
3.3.2 Definição da Unidade Básica de Aplicação do Índice	39
3.3.3 Critérios Quanti-qualitativos	40
4 ESTUDO DE CASO	50
4.1 Definição do local de estudo e levantamento de dados	50
4.2 Estudo Piloto	52
4.2.1 Aplicação do Índice	54
4.2.2 Resultados do Estudo Piloto	61
4.3 Calibragem do índice	63
4.4 Aplicação do Índice	68
4.4.1 Índice de Plena Ocupação (IPO)	69
4.4.2 Relação entre o tamanho das copas e largura da via	71
4.4.3 Relação entre o tamanho das copas e largura do passeio.....	73
4.4.4 Taxa de área permeável coberta por vegetação (TAPCV).....	76
4.4.5 Formato geométrico das árvores e massas arbóreas urbanas	77
4.6 Análise dos resultados	78
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	84
REFERÊNCIAS	88
APÊNDICE A – ROTEIRO DE APLICAÇÃO DO ÍNDICE	94

1 INTRODUÇÃO

A obtenção de um adequado diagnóstico da presença da vegetação é relevante para o planejamento urbano, pois provê o subsídio necessário para a concepção de planos de ação que incluam a implantação e manutenção de espaços verdes e arborização de forma adequada. A necessidade de provisão de informações de qualidade estimulou o desenvolvimento de diversos índices e indicadores para utilização no planejamento urbano e ambiental das cidades, visando quantificar as áreas providas de vegetação e seus benefícios no ambiente urbano, traduzindo seu nível de adequação (LUCON et al., 2013; ALVAREZ, 2004; BRAGA, 2006). A aplicação de índices e indicadores torna este diagnóstico viável através da análise de setores da cidade de acordo com critérios relevantes para a correta implantação de vegetação no meio urbano, que visam potencializar seus benefícios e evitar adversidades entre a vegetação e a infraestrutura da cidade e seus habitantes. Ao mesmo tempo, a observação dos parâmetros envolvidos nos índices e indicadores auxilia na realização do diagnóstico da situação apresentada pelas áreas urbanas providas de vegetação, pois permite a visualização das características inerentes a estes locais e a identificação dos possíveis problemas apresentados pela vegetação ou por consequência de sua implantação. Desta forma, atuam como instrumentos que podem ser utilizados pelos planejadores urbanos no processo de levantamento de informações a respeito da vegetação presente na cidade, contribuindo para a definição das estratégias de intervenção necessárias para sua adequação.

Os índices e indicadores podem atuar de forma subjetiva ou objetiva em seus procedimentos de análise. As técnicas de análise que são aplicadas subjetivamente utilizam a percepção de determinado grupo de pessoas como fundamento para a elaboração de suas ponderações e conclusões, através da aplicação de pesquisas e entrevistas sobre a impressão de leigos, como habitantes e outros transeuntes, sobre área em estudo, ou da apreensão de avaliadores treinados que utilizam critérios específicos em seu parecer, sendo que os muitos estudos realizados com esta metodologia normalmente relacionam a percepção dos indivíduos a fatores diversos, principalmente parâmetros socioeconômicos (JIM e SHAN, 2013; KOOHSARI et al., 2015; QIU et al., 2013). Os métodos aplicados de forma objetiva são normalmente baseados na estimativa de distâncias e áreas de espaços verdes,

além de contagem e qualificação de espécies vegetais, que podem ser realizadas de forma mecânica ou com o auxílio de ferramentas de sensoriamento remoto (GUPTA et al., 2012). No entanto, os métodos subjetivos de análise têm seus resultados sempre sujeitos a diferentes avaliadores e demandam muito tempo e recursos, além de acarretar em dificuldades para o recrutamento e transporte dos participantes para os locais em estudo, enquanto existe um número menor de métodos objetivos para análise do verde urbano disponíveis, apesar de serem mais eficientes e precisos (LI et al., 2015). Além disso, Alvarez (2004) ressalta a necessidade de simplificar os índices quanto à quantificação e qualificação da vegetação, para permitir a sua utilização pelos planejadores de forma facilitada e particular para cada local. Muitos índices já desenvolvidos requerem treinamento e ferramentas específicas para sua aplicação, recursos que nem sempre estão disponíveis aos planejadores urbanos e inviabilizam o levantamento de informações relevantes da vegetação da cidade. Outras limitações apresentadas por muitas técnicas para a obtenção de dados da vegetação urbana é a contemplação de análises somente quantitativas, enquanto as análises qualitativas mais comuns envolvem apenas a realização de inventários da arborização da cidade. Assim, a vegetação urbana raramente é observada como um todo. Neste contexto, distinguir quais propriedades são relevantes para a realização do diagnóstico da vegetação urbana e de que forma relacioná-las, enquanto procura-se evitar a presença das limitações usualmente apresentadas pelos índices e indicadores pode ser um desafio.

A questão que se coloca é como analisar de forma quali-quantitativa o ambiente urbano em relação às suas áreas vegetadas?

Neste sentido, a hipótese apresentada por este estudo é que a análise de critérios de relevância para a qualidade da vegetação urbana em fotografias aéreas ou imagens obtidas por sensoriamento remoto atualizadas é capaz de prover diagnósticos úteis sobre a vegetação em termos de planejamento e projeto urbano. A análise de imagens de sensoriamento remoto é o método objetivo de medição do verde urbano mais comumente utilizado por suas diversas virtudes, como possibilitar a visão sinóptica do local de estudo e uma grande área de cobertura. Estas imagens podem prover informações básicas não apenas quanto à extensão da

vegetação da cidade, mas também quanto à sua variedade e às funções benéficas que a vegetação exerce no meio urbano, sendo que o aumento da disponibilidade de imagens de satélite estimulou o desenvolvimento de diversos métodos para analisar a vegetação urbana (NOWAK et al, 1996; ROUGIER et al, 2016). Diversos parâmetros relevantes para a análise da qualidade e quantidade da vegetação urbana existente em um setor podem ser observados a partir deste tipo de imagem, o que pode prover informações importantes como a conformidade da dimensão das copas e da posição em que as árvores estão estabelecidas em relação aos elementos de infraestrutura urbana e às edificações presentes no local, a quantidade de áreas permeáveis no setor urbano, e a existência de sombreamento mais ou menos satisfatório nas áreas circundantes. Através destas avaliações, que podem ser realizadas pelos planejadores urbanos, é possível obter a concepção da qualidade ambiental geral da região em estudo.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo propor um índice, através do estabelecimento de parâmetros de análise quantitativa e qualitativa da vegetação em setores urbanos, de modo que evite a presença de limitações usualmente apresentadas por índices e indicadores similares, e possa ser aplicado de forma particularizada pelos planejadores como um instrumento para a obtenção de diagnósticos relativos à vegetação de setores urbanos e elaboração de estratégias de planejamento urbano sustentável.

1.1.2 Objetivos específicos

- a) Revisar indicadores similares e a literatura sobre o tema, no intuito de verificar os parâmetros de análise utilizados e identificar os critérios a serem relacionados para utilização no desenvolvimento do índice;
- b) Demonstrar a aplicação do índice proposto como ferramenta para a obtenção de diagnósticos sobre a vegetação de setores urbanos e elaboração de estratégias para o planejamento urbano;

- c) Contribuir para a discussão da importância da utilização de índices que englobam aspectos qualitativos, além de quantitativos, no que diz respeito à vegetação urbana, quando empregados como indicadores de qualidade ambiental.

1.2 Justificativa

É importante planejar corretamente o meio urbano, uma vez que a concentração de atividades humanas em cidades cada vez maiores tem aumentado de forma acentuada diversos impactos no clima e na saúde da população causados pela urbanização não planejada, industrialização acelerada e explosão populacional nos centros urbanos, tornando o desenvolvimento de cidades saudáveis um desafio cada vez maior (WILMERS, 1990; ZORAN et al., 2013; SANTAMOURIS e GEORGAKIS, 2003). Os principais problemas ambientais detectados nas cidades são a poluição atmosférica e acústica, a degradação do solo e as alterações no microclima como as de ilhas de calor, fatores que causam diversas consequências nocivas à saúde de seus habitantes e contribuem para a deterioração de suas edificações (COMISSÃO DAS COMUNIDADES EUROPEIAS, 1991). Neste contexto de acúmulo de efeitos negativos, o papel da vegetação no meio urbano assume sua relevância como fator de influência na qualidade de vida, uma vez que auxilia no combate destes e outros produtos negativos da urbanização desordenada. No entanto, as áreas verdes com frequência não são compreendidas como equipamentos urbanos que devem ser devidamente trabalhados de forma conjunta aos outros elementos do planejamento urbano, o que dificulta o desempenho adequado de suas funções (LONDE e MENDES, 2014; SILVA FILHO et al., 2002).

Assim, a relevância deste estudo está na proposta de um instrumento objetivo de análise, o Índice Quanti-qualitativo de Avaliação da Vegetação em Setores Urbanos, que possibilita a realização do diagnóstico satisfatório da vegetação presente em cidades pelos planejadores urbanos. A obtenção do diagnóstico das áreas vegetadas urbanas oferece a possibilidade de implantação de vegetação e áreas verdes de qualidade dentro da cidade, o que promove diversos benefícios ambientais, sociais e econômicos por auxiliar no controle do microclima urbano, prover espaços de encontro adequado aos habitantes e diminuir os gastos com o condicionamento térmico das edificações e manutenções da infraestrutura urbana. O

diagnóstico oferecido pelo Índice proposto é baseado no levantamento de dados relevantes sobre a vegetação urbana do local de estudo tanto quantitativa quanto qualitativamente, uma vez que fundamentar-se apenas em quantidades de verde urbano como indicação de qualidade de vida é reducionismo, enquanto mesmo os índices qualitativos existentes não atuam de forma abrangente com o verde da cidade, sendo que a análise da vegetação deve ser mais detalhada e relativizada com o restante da paisagem urbana (ALVAREZ, 2004).

Relacionando diversos critérios qualitativos e quantitativos para parametrizar a vegetação urbana, o Índice proposto atua de forma extensiva sob os aspectos do verde urbano e minimiza as limitações que os diversos indicadores utilizados para análise da vegetação nas cidades possuem em seus resultados, oferecendo um diagnóstico mais completo sobre a vegetação urbana que auxilia no delineamento de estratégias para sua adequação. A utilização de imagens obtidas por sensoriamento remoto para a análise de setores urbanos facilita o processo de diagnóstico por possibilitar que seja executado a partir de qualquer lugar, enquanto minimiza o número de visitas para avaliações no local, diminuindo assim o tempo e os recursos necessários para a sua realização. Assim, beneficia economicamente a gestão pública também no processo de levantamento de informações a respeito da vegetação urbana, além de estimular a avaliação da qualidade da implantação da vegetação nas cidades e sua inclusão como equipamento de importância no planejamento urbano.

1.3 Estrutura do trabalho

Após a delimitação do tema propriamente dito em torno da proposta de um índice que combina aspectos quantitativos e qualitativos da vegetação para setores urbanos, da enunciação do problema, da formulação da questão central, do levantamento das hipóteses, da exposição dos objetivos e das justificativas no Capítulo 1, apresenta-se a estrutura da pesquisa¹. No Capítulo 2 é realizada a revisão bibliográfica referente aos índices de vegetação urbana já existentes e

¹ A formatação desta pesquisa seguiu as orientações contidas no 'Manual para a elaboração e apresentação de trabalhos científicos: Dissertações e Teses', de Macedo (2001). Este Manual está baseado nas normas da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) que normaliza os procedimentos de trabalhos científicos e segue os critérios adotados pela Biblioteca da Faculdade de Arquitetura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

literatura corrente sobre o tema, de forma a delinear os critérios considerados mais relevantes na avaliação qualitativa e quantitativa da vegetação urbana e sua implantação. O Capítulo 3 consiste na apresentação da metodologia da pesquisa, com a explicação dos procedimentos empregados nos capítulos anteriores e na proposição do índice, além da apresentação do estudo de caso e posterior aplicação do índice proposto no estudo de caso selecionado. O Capítulo 4 apresenta a análise dos resultados obtidos com a realização do estudo de caso e as considerações quanto à aplicabilidade e utilidade do Índice proposto. Por sua vez, o Capítulo 5 apresenta as conclusões e discussão referentes ao estudo realizado.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A importância da vegetação urbana

A vegetação pode ser considerada importante indicador da qualidade ambiental nas cidades pela sua capacidade de amenizar as consequências negativas da urbanização e potencial de propiciar qualidade ambiental à população, o que justifica sua manutenção no espaço urbano (BARGOS e MATIAS, 2012). Quando corretamente utilizada, desempenha funções ambientais importantes no meio urbano, pois filtra materiais tóxicos particulados, diminuindo a poluição e melhorando a qualidade do ar, além de servir de alimento e abrigo para diversas espécies de insetos e outros pequenos animais, promovendo a biodiversidade da fauna no ambiente urbano. Através da sua incorporação aos ciclos biogeoquímicos, evapotranspiração e capacidade de prover sombra ao solo ao seu redor, contribui para a manutenção do microclima, regulando a temperatura e umidade das áreas próximas (DIMOUDI e NIKOLOPOULOU, 2003; ROSENFELD *et al.*, 1995; BERNATZKY, 1982).

Outra abordagem do uso da vegetação na área urbana considera que esta colabora para a economia de energia nas edificações no seu entorno, uma vez que sua influência sobre o microclima local e as sombras que projetam nas construções tendem a reduzir a necessidade de condicionamento de ar, podendo também auxiliar na redução de gastos com a infraestrutura pública: a sua implantação evita a erosão do solo e é relacionada intrinsecamente às poucas áreas permeáveis no terreno urbano, que reduzem o escoamento superficial e o volume de água direcionado às redes de galerias pluviais e, assim, evitam alagamentos em regiões ribeirinhas e manutenções frequentes na infraestrutura urbana (MASCARÓ e MASCARÓ, 2010). Atua, também, no bem-estar físico e psicológico dos habitantes de forma mais direta, como através do equilíbrio estético, que ameniza a diferença entre a escala humana e outros componentes arquitetônicos como prédios, muros e grandes avenidas (SILVA FILHO *et al.*, 2002).

A composição e a forma da vegetação urbana não apresentam apenas benefícios ambientais e funcionais, pois também podem amortecer fatores urbanos prejudiciais, contribuindo no controle dos ventos e neutralização dos níveis de ruído,

trazendo benefícios para a saúde de seus usuários. A aplicação adequada deste equipamento também possui relevância social, por caracterizarem locais para a realização de atividades de recreação e lazer, onde se desdobram eventos sociais e comunitários, sendo locais de encontro entre os habitantes (NUCCI, 2008).

2.2 Classificação da vegetação urbana

A vegetação no meio urbano pode se apresentar implantada de diversas formas em contextos variados. No entanto, a falta de consenso existente na literatura quanto às suas terminologias e classificações dificultam a correta aplicação dos índices e indicadores desenvolvidos para monitorar a vegetação, o que acarreta na obtenção de resultados irrealistas e incoerentes (CAPORUSSO e MATIAS, 2008).

Os espaços livres são áreas ao ar livre que se destinam a todo tipo de utilização de lazer e entretenimento, podendo ser privados, potencialmente coletivos ou públicos, e desempenhar principalmente funções de estética, lazer e ecológico-ambiental. Conceitualmente, uma área verde é sempre um espaço livre, sendo considerada uma variedade que tem como elemento fundamental a vegetação. Assim, uma área verde deve ser composta predominantemente por solo permeável e vegetação, tanto arbórea quanto arbustiva, e devem servir à população, tendo como seus três principais objetivos o ecológico-ambiental, estético e de lazer. São áreas com vegetação fazendo parte de equipamentos urbanos, parques, jardins, cemitérios, alamedas, bosques e balneários, entre outros. A terminologia cobertura vegetal retrata todas as superfícies cobertas por vegetação, é a projeção do verde que pode ser percebida em imagens aéreas sem o auxílio de estereoscopia (CAVALHEIRO et al., 1999; CAPORUSSO e MATIAS, 2008; CAVALHEIRO e DEL PICCHIA, 1992).

Gonçalves e Paiva (2013) classificam a vegetação urbana de acordo com a origem e forma de sua implantação, além das funções que exerce no meio urbano. A arborização urbana é definida como o conceito menos abrangente, pois se refere a árvores plantadas, podendo restringir-se a árvores isoladas ou enfileiradas ao longo dos passeios. No entanto, o planejamento do plantio não implica nestes modelos de implantação, sendo que árvores plantadas pelo homem em agrupamentos também são consideradas arborização urbana. O termo “floresta urbana” abrange tanto árvores plantadas pelo homem quanto remanescentes da vegetação natural. O

agrupamento de árvores com o objetivo de que se comportem similarmente a uma floresta no sentido de aumentar sua influência no ambiente ao seu redor justifica a utilização do termo “floresta urbana” em detrimento de “arborização urbana”. No entanto, os termos não são mutuamente exclusivos. O conceito de “ecologia urbana”, por sua vez, assume sua importância por incluir também as relações entre a vegetação, os seres humanos e os animais, e preocupar-se com a sustentabilidade urbana sob a ótica de que o ambiente urbano seja adequado à sua utilização e contribua para a sustentabilidade do planeta. Deste ponto de vista ecológico, o cultivo de árvores no ambiente urbano tem finalidades importantes não apenas do ponto de vista funcional, através de seu controle no microclima e redução da poluição de seu entorno, mas também no auxílio à preservação de espécies ameaçadas de extinção e com a priorização de espécies nativas no intuito de manter o caráter paisagístico local. Assim, a ecologia urbana busca promover o equilíbrio entre o construído e o natural.

2.3 Qualidade da vegetação urbana

Bargos e Matias (2012) destacam que a elaboração de um planejamento urbano que vise o atendimento das necessidades e expectativas desta sociedade que vive em ambientes progressivamente mais artificiais, enquanto se observa o declínio da qualidade de vida nas cidades, tem se tornado uma atividade complexa. Como consequência, a mera existência de espaços verdes dentro das malhas urbanas é celebrada pelos seus habitantes sem que sua qualidade seja questionada, mesmo que constantemente mal distribuídos e inadequadamente planejados (COSTA, 2010).

Apesar de seus múltiplos benefícios para os aglomerados humanos, a escassez de informação quanto à qualidade e quantidade adequada de vegetação para implantação nas cidades dificulta a gestão e manutenção adequada deste equipamento, afetando principalmente o trabalho dos responsáveis pela administração dos espaços verdes urbanos. Desta forma, podem também causar inconvenientes, fundamentados principalmente na falta de conhecimento quanto a que espécies são mais apropriadas para as situações de clima e infraestrutura urbana, além da localização e quantidades adequadas para a sua implantação. Portanto, no planejamento urbano é necessário considerar não apenas fatores

quantitativos no estudo dos elementos vegetais presentes, mas igualmente princípios qualitativos e a forma de relacioná-los.

A implantação correta da vegetação é essencial para o desempenho eficiente das funções benéficas que oferece ao meio urbano, evitando possíveis efeitos prejudiciais à infraestrutura pública e manutenções frequentes e dispensáveis. Neste intuito, é necessário observar a situação presente quanto a aspectos relacionados ao espaço físico disponível e vegetação existente, analisando a largura da rua, largura de passeios pavimentados, afastamento das construções, existência e posicionamento de equipamentos urbanos como fiação elétrica, e classificação das espécies existentes em critérios de relevância, como porte e estado fitossanitário (GUANDALIN et al., 1993).

A arborização para sombreamento deve visar reduzir o impacto causado pela insolação vespertina, uma vez que a qualidade da incidência solar matinal é mais saudável. Assim, é recomendável que o plantio de árvores em vias públicas seja organizado de forma a permitir que o interior das quadras receba a luz do sol em seus horários mais favoráveis, enquanto proveem proteção nos horários menos propícios. Segundo Neto (1984), o planejamento adequado da arborização viária pode ter como regras gerais o posicionamento de árvores conforme seu porte e equipamentos urbanos e de acordo com a orientação solar, sendo aconselhável utilizar as de porte médio nas calçadas leste e sul, mantendo as calçadas oeste e norte reservadas para a introdução de espécies de porte pequeno, com até 4 metros de altura, e eventuais equipamentos públicos, como redes de luz e telefone.

Simpson e McPherson (1996) concluíram que, no que se refere à seleção de árvores para maximizar o efeito de controle sobre a temperatura em seu entorno através da sombra lançada, a forma do elemento vegetal pode ser mais importante do que seu coeficiente de sombra, uma vez que sua contribuição na alteração da temperatura do espaço adjacente acompanha aproximadamente a proporção de sua área de sombreamento. Isto demonstra que fatores que interferem na forma das sombras lançadas pelas árvores, como o tamanho das copas e a forma de implantação, são de grande relevância na capacidade das árvores de interferirem no microclima ao seu redor.

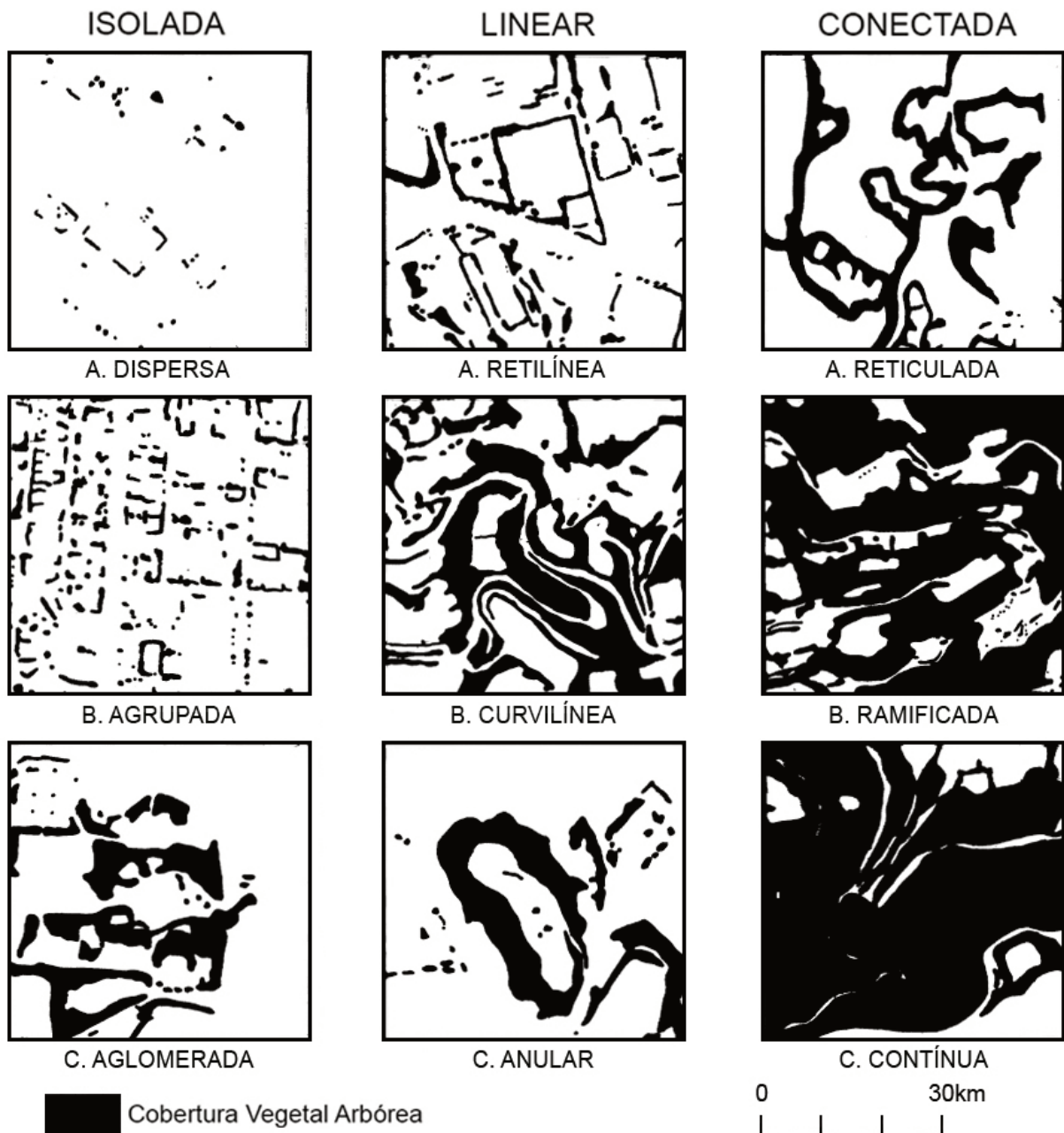
Tendo em vista a importância da escolha adequada do porte das árvores na vegetação urbana, Mascaró e Mascaró (2010) classificam as árvores em 3 categorias de acordo com sua estatura e tamanho de copa, sendo estas o porte

pequeno, onde as árvores têm entre 4 e 6m de altura e copas de até 4m, o porte médio, que inclui espécimes com alturas entre 6 e 10 metros e copas entre 4 e 6m, e o porte grande, que engloba todas as árvores com altura superior a 10m e copas com dimensões maiores que 6m.

A influência que a forma com que as árvores se apresentam implantadas exerce nos benefícios que são capazes de prover para o seu entorno é abordada no conceito de floresta urbana, que busca a implantação de árvores com a intenção de que se comportem similarmente a uma floresta, uma vez que as árvores plantadas em agrupamentos exercem melhor suas funções de regular o microclima e oferecer conforto ambiental do que as plantadas de forma isolada (GONÇALVES e PAIVA, 2013). Neste sentido, Jim (1989) utiliza um critério de classificação baseado nos atributos geométricos da cobertura arbórea, onde a forma da massa de árvores pode identificá-la como isolada, linear ou conectada. O aumento em cobertura, conectividade e contiguidade subdivide cada um desses grupos em três variantes, que são considerados tipos modais em um contínuo de mudanças espaciais, como demonstrado na Figura 01. Os tipos isolados são dominados por materiais impermeáveis implantáveis, como a cobertura de edifícios e ruas, que envolve quantidades reduzidas de árvores. A variante dispersa, que se refere a unidades pequenas e quase equidimensionais, principalmente árvores solitárias, está sempre espalhada pela matriz. A variante agrupada tem árvores em pequenos grupos, frequentemente bem agregados ao ambiente construído, enquanto árvores em grupos maiores, normalmente localizadas em pátios, constituem a variante aglomerada. Os tipos lineares são reconhecíveis pela justaposição das árvores em uma direção dominante, ocasionadas pelos habitats artificialmente alongados. Destes, a variante retilínea é estreita, normalmente reta, e alinhada às ruas e lados de lotes, seguindo o desenho das ruas. A variante curvilínea envolve cinturões largos em declives modificados ou naturais à beira de estradas, e a variante anular, por sua vez, é integrada por árvores que formam anéis em volta de pequenas elevações, cujos cumes foram nivelados para construção. A maior parte das árvores classificadas como retilíneas é cultivada, enquanto as curvilíneas e anulares são normalmente resquícios de regiões arborizadas preexistentes. As árvores do tipo conectada organizam-se em números maiores que as anteriores. A variante reticulada possui uma rede alongada que penetra por lacunas da topografia e edificações, e a ramificada possui mais de 50% de cobertura vegetal, criando formas

ininterruptas que envolvem lotes e edificações. A variante contínua, que possui mais de 75% de cobertura vegetal, é essencialmente uma floresta periurbana com pouca intrusão urbana, sendo uma cobertura contínua com estradas ou edificações pontuais (JIM, 1989).

Figura 1 - Classificação da cobertura arbórea urbana.



Fonte: adaptado de Jim (1989: pg. 218).

Na arborização viária, a largura da via é uma das características definidoras do planejamento, podendo ser classificadas em quatro classes distintas com base em suas dimensões, sendo estas ruas de até 6 metros, de 6 a 9 metros, de 9 a 12

metros e com mais de 12 metros de largura (GONÇALVES e PAIVA, 2004). A classificação criada por Guandalin et al. (1993) compreende a existência de três situações passíveis de destaque: ruas com largura inferior a 6m, onde não é recomendada arborização; ruas com largura entre 6 e 11 m, caso em que é recomendável arborização apenas no lado da rua sem presença de fiação com espécies de porte médio, ou arborizar ambos os lados da rua com espécies de porte pequeno; e ruas com largura superior a 11m, podendo ser realizada arborização em ambos os lados da rua, utilizando-se espécies de porte pequeno sob fiação aérea e espécies de porte médio do lado oposto.

A largura do calçamento é ainda mais determinante, uma vez que o plantio ocorre diretamente no espaço do passeio. A ABNT 5090/2004 estipula que os passeios públicos devem possuir uma faixa livre, área reservada para o trânsito de pedestres e completamente desobstruída de interferências de vegetação e outros equipamentos urbanos, com largura mínima recomendável de 1,50 metros, sendo o mínimo admissível 1,20 metros. A partir desta norma, cada municipalidade estabelece legislação própria mais detalhada a ser implantada no espaço viário de sua cidade, como expresso pela Tabela 01. De acordo com a legislação vigente no Município de São Paulo (SP), o plantio de árvores só poderá ser realizado em passeios com largura superior a 1,90 metros, uma vez que o Decreto 45.904/05 estabelece que a faixa de serviço deverá ter largura mínima de 70 centímetros e ser destinada à instalação de equipamento e mobiliário urbano, inclusive vegetação. Assim, o Manual Técnico de Arborização Urbana da Prefeitura de São Paulo estabelece relações entre a largura do passeio, canteiro e dimensão de tronco, classificando a largura do passeio em quatro categorias: passeios menores que 1,90 metros, onde não é recomendado o plantio de arborização; passeios com largura entre 1,90 e 2,09 metros, em que são permitidas árvores com DAP (diâmetro à altura do peito) de até 0,50 metros; passeios com medidas de 2,10 a 2,39 metros, com DAP máximo permitido de 0,70 metros para sua arborização; passeios de dimensões entre 2,40 e 2,79 metros, que permitem árvores com DAP de até 0,90 metros; e passeios de largura maior que 2,80 metros, onde podem ser plantadas espécies de até 1,20 metros de DAP (PMSP, 2015).

De acordo com a lei municipal 055 de 27 de janeiro de 2004, as calçadas da cidade de Natal (RN) devem possuir largura mínima de 2,50 metros, sendo 1,20 metros de faixa livre para passagem, 1,0 metro de área permeável e 0,30 metros de

afastamento da área de rolamento. Assim, em calçadas com 2,50 metros de largura devem ser plantadas árvores de pequeno porte, enquanto passeios com mais de 2,50 metros podem abrigar árvores de pequeno, médio e grande porte, desde que as edificações presentes apresentem recuo frontal. No entanto, a classificação sugerida pela prefeitura categoriza as árvores em três portes baseada apenas em sua altura, sendo o porte pequeno composto por espécies de até 5 metros, médio porte constituído por árvores com altura entre 5 e 10 metros, e porte grande caracterizando arborização com mais de 10 metros. A prefeitura de Campo Grande (MS) oferece maior detalhamento quanto às condições de plantio da arborização viária, considerando a existência de recuo predial de 3 metros ou mais e a presença de rede elétrica aérea nas recomendações. Nesta capital, o espaço livre mínimo para passagem de pedestres é de 1,50 metros, sendo proibida a arborização destes espaços na ausência de recuo das edificações. Nos passeios com largura entre 1,50 e 2,40 metros, a indicação é utilizar espécies de pequeno porte na ausência de recuo, enquanto na presença de recuo predial deve-se utilizar espécies de pequeno ou médio porte quando existir fiação aérea, e médio porte quando não existir. Em calçadas de 2,40 a 3,40 metros de largura, é recomendada a utilização de espécies de porte pequeno quando não existir recuo predial e houver presença de rede elétrica, sendo indicada a implantação de arborização de porte médio ou grande quando não houver recuo nem rede elétrica, e quando as edificações apresentarem recuo mínimo de 3 metros. Para passeios com mais de 3,40 metros de largura, devem ser utilizadas espécies de pequeno ou grande porte na ausência de recuo com presença de fiação, médio ou grande porte quando não houver recuo ou fiação e quando houver recuo e fiação, e grande porte quando existir recuo e não houver rede elétrica (PREFEITURA DE NATAL, 2009; PREFEITURA DE CAMPO GRANDE, 2012).

A vegetação também é intrinsecamente relacionada às áreas permeáveis no meio urbano. A presença de espaços verdes e jardins reduz a taxa e quantidade de escoamento superficial da água da chuva através da evapotranspiração, interceptação e a provisão de áreas de armazenamento de água que permitem sua infiltração no solo. No entanto, o aumento da população e a densificação dos centros urbanos estimulam a mudança da permeabilidade destes locais, diminuindo as áreas verdes e transformando jardins em entradas para garagem ou lajes impermeabilizadas (WARHURST *et al.*, 2014). Furtini *et al.* (2007),

ao analisarem a permeabilidade de uma área urbana do município de Lavras, em Minas Gerais, estipularam classes de permeabilidade a serem analisadas de acordo com a ocupação dos lotes em fotografias aéreas. As classes de permeabilidade definidas encontram-se reproduzidas na Tabela 02.

Tabela 1 - Recomendações de plantio de arborização viária através da relação entre o tamanho do passeio e o porte da árvore de algumas municipalidades

Cidade	Tamanho do passeio (metros)	Condições	Porte da árvore			
			Não arborizar	Pequeno	Médio	Grande
São Paulo (SP)	< 1,90		•			
	1,90 - 1,09			•		
	2,10 - 2,39			•	•	
	2,40 - 2,79			•	•	•
	> 2,80			•	•	•
Natal (RN)	< 2,50		•			
	2,50			•		
	> 2,50	Com recuo		•	•	•
Campo Grande (MS)	< 1,50		•			
	1,50 - 2,40	Sem recuo Com rede	•			
		Sem recuo Sem rede	•			
		Com recuo Com rede		•	•	
		Com recuo Sem rede			•	
	2,40 - 3,40	Sem recuo Com rede		•		
		Sem recuo Sem rede			•	•
		Com recuo Com rede			•	•
		Com recuo Sem rede			•	
		Sem recuo Com rede		•		•
Sem recuo Sem rede				•	•	
> 3,40	Com recuo			•	•	

Com rede	
Com recuo	•
Sem rede	

Fonte: elaborado pela autora.

Tabela 2 - Classes de permeabilidade de acordo com a porcentagem de área construída ou pavimentada.

Classe de Permeabilidade	Área Construída/Pavimentada (%)
Muito permeável	0%
Permeável	30%
Pouco permeável	50%
Impermeável	≥70%

Fonte: adaptado de Furtini *et al.* (2007)

2.4 A vegetação urbana em indicadores e índices

Índices e indicadores, embora muitas vezes utilizados como sinônimos pela falta de consenso quanto às suas definições, não possuem o mesmo significado. Um indicador é uma ferramenta desenvolvida para se obter informações sobre um objeto de estudo, sendo que pode ser um dado individual ou um agregado de informações. Um índice, por sua vez, é o valor final de um procedimento de cálculo, podendo também ser considerado como um indicador de alta categoria. É a junção de diversos indicadores ou variáveis, podendo também utilizar outros índices como componentes, enquanto um indicador é um parâmetro selecionado e considerado isoladamente ou em combinação com outros (CARVALHO e BARCELLOS, 2009; SICHE *et al.*, 2007).

Tanto índices, quanto indicadores, já foram propostos como padrões de referência de qualidade de vida para habitantes de um determinado local. A utilização de índices e indicadores de sustentabilidade focados na vegetação urbana é uma alternativa que pode auxiliar na obtenção de um diagnóstico satisfatório da vegetação, colaborando na elaboração do planejamento urbano adequado. No entanto, diversos índices já propostos possuem limitações em seus resultados ou pequena aplicabilidade prática, sendo necessário simplificar os índices para que seus resultados possam ser utilizados pelos planejadores de forma particularizada para cada local (ALVAREZ, 2004). Muitos índices e indicadores utilizados de forma

ampla por planejadores e pesquisadores para estudo da vegetação presente em áreas urbanas, quando aplicados de forma isolada, apresentam resultados que traduzem a realidade sob um ponto de vista limitado, o que acarreta na obtenção de um diagnóstico incompleto e que não oferece base satisfatória para o delineamento de estratégias de adequação. Em outros momentos, os índices e indicadores fornecem diagnóstico de temáticas específicas, e não têm como finalidade a realização de análise prática da situação geral da vegetação urbana, e sim de itens restritos relacionados à mesma.

Em termos de quantificação da área vegetal urbana, têm sido utilizados índices e indicadores dependentes e independentes de dados demográficos, como o Índice de Áreas Verdes (IAV), que expressa em m²/hab a quantidade de superfície de área verde por habitante do local, e o Percentual de Áreas Verdes (PAV), expresso em percentual do solo ocupado por vegetação. Sendo o IAV um índice dependente de fatores demográficos, e considerando a concepção de que somente as áreas verdes de uso coletivo visam ao atendimento pleno das demandas sociais de lazer e conforto, sua aplicação utilizando apenas estas áreas para a execução do cálculo faz com que sua abordagem seja a de um indicador de qualidade de vida, mais do que de qualidade ambiental (OLIVEIRA, 1996). A metodologia comumente utilizada considera a fórmula abaixo, onde IAV é o Índice de Áreas Verdes, o AV é a medida das Áreas Verdes em m², e o H é o número de habitantes. Para seu cálculo, devem ser consideradas apenas as áreas verdes de uso coletivo providas pela gestão pública.

$$IAV = \frac{\sum AV}{H}$$

Para a aplicação do Índice de Áreas Verdes, Jantzen (1973), apud Cavalheiro e del Picchia (1992), sugere índices urbanísticos para espaços livres que servem como apoio para o fundamento das quantidades de áreas verdes desejáveis, de acordo com a classificação de seus usos e tempo de existência, apresentadas na Tabela 03. No Brasil, é bastante difundido o índice considerado ideal de 12 m² de área verde por habitante atribuído à OMS ou ONU, fato contestado pelos autores Cavalheiro e del Picchia (1992), que afirmam que estas instituições não conhecem este índice e supõem que esta quantidade deve se referir somente a áreas públicas com possibilidades de lazer ao ar livre, e não a qualquer categoria de áreas verdes. A Organização Mundial da Saúde recomendou, em 1997, que as cidades provejam

pelo menos 9m² de área verde por habitante, enquanto a Sociedade Brasileira de Arborização, através de pesquisas de especialistas, lança como referência no âmbito nacional o padrão mínimo de 15m²/hab de áreas verdes recreativas em sua Carta a Londrina e Ibiporã (IDB, 1997; SENIS et al., 2015).

Tabela 3 - Sugestão de índices urbanísticos para espaços livres

Categorias		m ² /hab	Área mínima	Distância da residência
Vizinhança	Até 6 anos	0,75	150 m ²	Até 100m
	6-10 anos	0,75	450m ²	Até 500m
	10-17 anos	0,75	5000m ²	1000m
Parque de bairro		6,0	10 ha	1000 m ou 10 min
Parque distrital ou setorial		$\frac{6,0}{7,0}$	200 ha	Qualquer parte da cidade
Verde viário		s/ref	s/ref	Junto ao sistema viário

Fonte: adaptado de Jantzen (1973), apud Cavalheiro e del Picchia (1992).

O Percentual de Áreas Verdes (PAV), por sua vez, expressa a quantidade percentual da área em estudo ocupada por áreas verdes. Utiliza para seu cálculo apenas as áreas verdes de origem pública, possibilitando a visualização da contribuição de locais sob responsabilidade da gestão do município neste quesito. Resulta da aplicação da equação abaixo, sendo PAV que o é o Percentual de Áreas Verdes, o AV é a quantidade de Áreas Verdes expresso em m², e A é a Área total do setor em estudo, também em m².

$$PAV = \frac{\Sigma AV}{A}$$

Outro índice frequentemente utilizado é o Índice de Cobertura Vegetal em Área Urbana (ICVAU), que expressa a proporção de área coberta com vegetação, seja esta pública ou privada, em função da área total estudada. Por buscar quantificar a totalidade das áreas cobertas por vegetação presentes, o ICVAU funciona como um indicador de qualidade ambiental. É aplicado através da equação abaixo, onde ICVAU é o Índice de Cobertura Vegetal em Área Urbana, ACV é a quantidade de área coberta por vegetação, expresso em m², e A é a Área total do setor em estudo, em m².

$$ICVAU = \frac{\sum ACV}{A}$$

Guzzo (1999) utiliza o ICVAU juntamente ao Índice de Espaços Livres de Uso Público (IELUP), que representa a quantidade de área de espaços livres urbanos de uso público por habitante. No cálculo do IELUP, são contabilizadas as áreas de praças, parques, sistemas de lazer e cemitérios (ALVAREZ, 2004). Silva et al. (2007) apresentam o Índice de Plena Ocupação, um cálculo onde imagina-se um espaçamento médio para a arborização viária adequado às condições da rua ou cidade a ser aplicado. A estipulação do valor do espaçamento médio permite a determinação da quantidade de árvores necessária para a plena ocupação de um quilômetro de calçada, sendo que a Tabela 04 apresenta diferentes ocupações para diferentes espaçamentos médios. Este número serve de base para comparação com a situação real, onde a quantidade de árvores existente em uma rua ou área é dividido pela metragem linear das calçadas existentes no local, considerando a existência de duas calçadas em cada rua, e canteiros centrais como uma terceira calçada a ser adicionada no somatório da metragem. Assim, é possível visualizar o déficit ou superabundância de árvores em relação ao ideal proposto. O Índice de Plena Ocupação torna-se apenas uma medida de quantidade quando aplicado a áreas grandes, podendo também especificar mais precisamente onde estão as concentrações e ausências de arborização quando utilizado em áreas menores. A precisão dos resultados também pode ser ampliada ao considerar apenas as calçadas passíveis de serem arborizadas em seu cálculo.

Tabela 4 - Ocupações segundo diferentes espaçamentos médios

Espaçamento	Nº de árvores por Km
4	250
6	167
8	125
10	100
12	83
15	67

Fonte: adaptado de Silva et al. (2007).

Estes índices e indicadores, entretanto, analisam a influência da vegetação no meio urbano exclusivamente sob o aspecto da quantidade, desconsiderando a qualidade desta área vegetal. Em contrapartida, foram desenvolvidos outros índices e indicadores que buscam examinar também a qualificação do verde urbano, como o Índice de Qualidade do Espaço Verde Urbano com Função Ecológica (IQEVUe) proposto por Alvarez (2004), que procura enunciar a qualificação da vegetação no ambiente através da análise dos parâmetros de sombreamento, hidrologia, fixação de carbono e atuação da temperatura. O resultado final é calculado através da soma de resultados parciais encontrados para cada uma das variáveis calculadas individualmente seguindo critérios distintos. No parâmetro de sombreamento, são considerados a dimensão do sombreamento, estabelecido pela altura e diâmetro médio das árvores da área, e o tipo de sombreamento, definido pelas espécies de árvores encontradas. A hidrologia da área dá-se pela multiplicação do percentual de cobertura arbórea pelo quociente entre o percentual de área permeável total e o percentual de área impermeável total. A fixação de carbono é representada pelo percentual de área com cobertura arbórea, enquanto a atuação da temperatura na área total é determinada de acordo com a temperatura média do ar da área total, temperatura de superfície total e porcentual de ambiente resfriado. Contudo, verifica-se que tais índices apresentam dificuldade em sua aplicação prática, devido ao tempo, materiais e conhecimento especializado necessário para a realização da coleta e manipulação de dados.

Índices e indicadores verdes são também utilizados como referência para políticas públicas, como o ICMS Ecológico do Paraná, que prevê direito ao crédito da receita estabelecida pelo ICMS aos municípios que atenderem a certos critérios ambientais. Baseados nesta Lei estadual, Pereira *et al.* (2012) desenvolveu o Indicador de Qualidade de Áreas Verdes Urbanas (IQAVU), fundamentado no Indicador de Áreas Verdes (IAV), Indicador de Porcentagem de Área Verde (IPAV) e Indicador de Arrecadação com ICMS Ecológico (IAIE). O IAV foi definido de acordo com referências de forma que uma área verde urbana de 12m²/hab seria correspondente a uma IAV de 100, com limite máximo de 300 e mínimo de 0, com variação linear. O IPAV é representado pelo quociente entre área verde urbana e área total urbana e, finalmente, o IAIE é determinado pela arrecadação municipal e a máxima com o ICMS ecológico, além do total da área verde urbana em km². Assim,

o IQAVU resulta em valores de 0 a 100, classificando-se entre as qualidades “péssima” a “ótima”.

A vegetação urbana também é um ponto aludido nas certificações de sustentabilidade do meio urbano. Na categoria de bairros proposta pelas certificações BREEAM e LEED, este ponto é citado em itens referentes a estratégias de proteção ecológica e preservação ambiental de uma área, e do resguardo dos habitats e biodiversidade da fauna e flora local. Outro critério em comum é na preocupação com a utilização excessiva de água potável em aspectos paisagísticos, através da redução do volume de água potável destinada à irrigação de áreas vegetadas e incentivo à utilização de água não potável para este fim, como a reutilização de águas cinzas. A manutenção da ambiência da região também é abordada através da incorporação de elementos vegetais aos ciclos biogeoquímicos e de evapotranspiração, além da correta arborização das vias e tratamento paisagístico. A certificação BREEAM demonstra, ainda, a preocupação com a utilização de espécimes nativos da região para a conservação da identidade paisagística local, enquanto a LEED aconselha a implantação de cobertura verde para o respaldo de segurança de terrenos íngremes e corpos d'água com o objetivo de auxiliar no combate à erosão do solo, além de recomendações para a criação de horticulturas comunitárias (DOTTO e SILVA, 2017).

2.5 A utilização de geoprocessamento no levantamento da vegetação

Ferramentas de sensoriamento remoto se tornaram alternativas populares de coleta de dados para a aplicação de análises objetivas, em detrimento das formas mecânicas que demandam visitas a campo para contagem manual, por conta de sua praticidade. A disponibilidade cada vez maior de imagens de satélite estimulou o desenvolvimento de numerosos métodos para analisar a vegetação urbana (ROUGIER, 2016). São utilizadas imagens e vídeos como base para compilação de diversos tipos de dados, que podem fundamentar análises variadas, sendo que as mais comuns em termos de vegetação são a utilização em estudos com estimativas de distâncias ou áreas de espaços verdes, e contagem e qualificação de espécies vegetais. Assim, os SIGs (sistemas de informação geográfica) foram desenvolvidos como poderosas ferramentas de software que integram e analisam dados espaciais, combinando diversos dados para entender a dinâmica e evolução das áreas em

estudo (RUTTER, 2007). Um exemplo popular é o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN), que por ser facilmente aplicado a diversos critérios é utilizado com frequência no acompanhamento das transformações da cobertura vegetal em vários contextos, inclusive no mapeamento de vegetação urbana (RHEW et al., 2011). Outra aplicação comum são os Individual Tree Crown (ITC), métodos baseados em algoritmos desenvolvidos para delinear a copa das árvores individualmente, utilizados para estimativas sobre cada indivíduo como a altura da árvore, sua largura de tronco e espécie. Estes métodos permitem a criação de listas extensas da localização de árvores específicas com base na análise de sua copa (LINDBERG e HOLMGREN, 2017).

Apesar de diversas tecnologias de sensoriamento serem utilizadas para medir atributos variados da vegetação urbana, a interpretação de fotografias aéreas apresenta uma boa combinação entre nível de detalhamento, eficiência e rentabilidade para a análise de arborização e outras coberturas urbanas. A análise de imagens aéreas pode prover diversas informações quanto à extensão e variação da cobertura vegetal por uma cidade, além de dados que servem de base para modelar as funções de florestas urbanas, como combate à poluição do ar e redução do dióxido de carbono. Assim, as imagens possibilitam uma visão mais extensiva das florestas urbanas do que inventários que têm como foco somente árvores mantidas pela gestão pública, o que auxilia no desenvolvimento de desenhos urbanos que podem potencializar os benefícios ambientais e sociais da vegetação urbana (NOWAK, 1996).

No entanto, o método de sensoriamento remoto apresenta também algumas limitações. Os dados capturados por sensores aéreos não traduzem o perfil da vegetação urbana, vista ao nível da rua. Assim, apesar de serem capazes de fornecer diversos dados relevantes para análise e quantificação da cobertura vegetal presente no meio urbano, são incapazes de acessar a visão mais comum às pessoas por capturarem a área através de um ponto de vista superior (LI, 2015).

3 METODOLOGIA

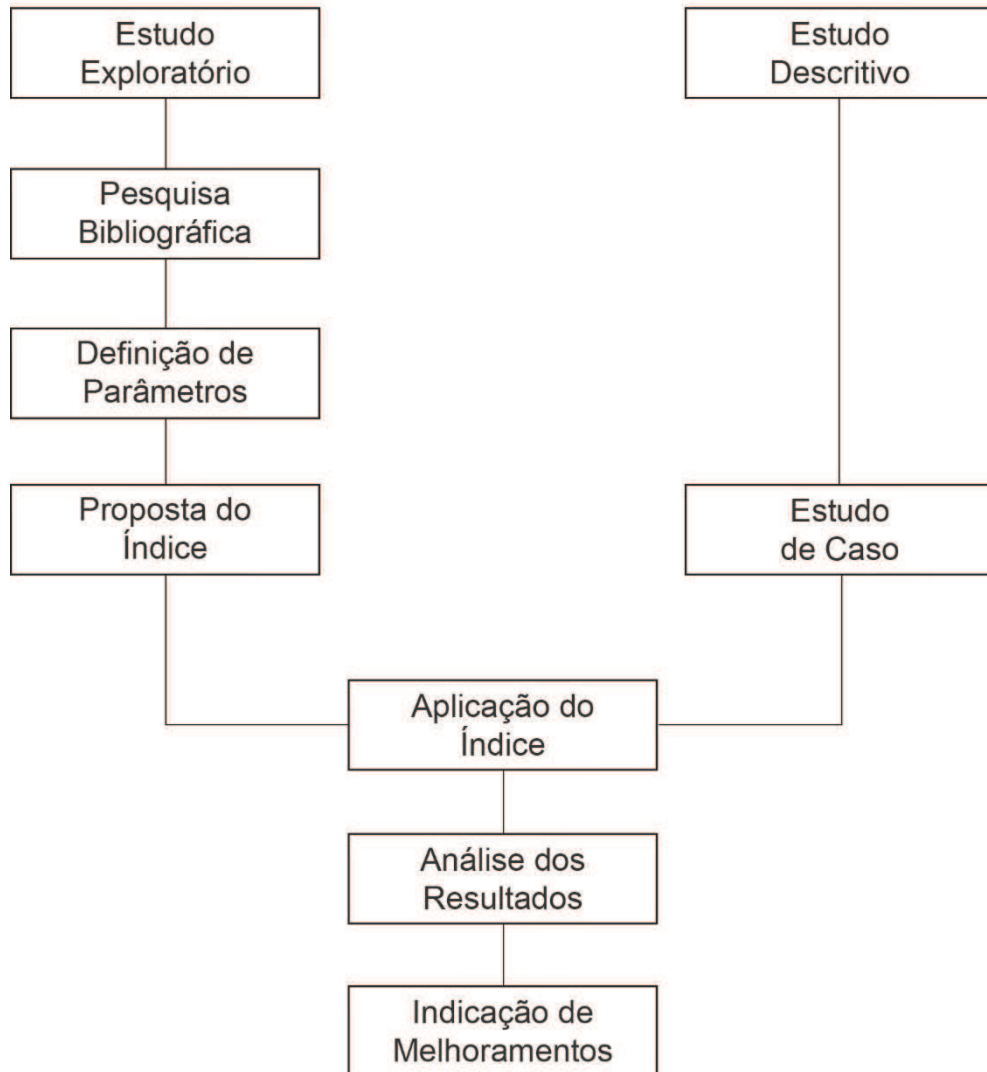
3.1 Delineamento da Pesquisa

A presente pesquisa visa determinar parâmetros de análise qualitativa e quantitativa, reunidos no formato de um índice para ser aplicado em setores urbanos, que fornece um diagnóstico da vegetação presente, utilizando como base para a análise imagens obtidas através de geoprocessamento. Em suas etapas, expõe-se a sequência de ações executadas para a obtenção do índice proposto e a consecutiva demonstração de sua aplicação. Assim, primeiramente foi realizada a revisão bibliográfica a respeito do tema da vegetação urbana, que forneceu o suporte teórico necessário para o desenvolvimento do índice a ser proposto. Fundamentados nos trabalhos destes autores, foram estabelecidos os parâmetros do índice e sua forma de aplicação. Sua utilização foi testada e ajustada, através da realização de um estudo piloto, e em seguida demonstrada em um estudo de caso, onde ocorreu a aplicação do índice proposto em um setor urbano selecionado para a análise e diagnóstico de sua vegetação. Finalmente, os resultados obtidos foram observados e discutidos, o que serviu de respaldo para a indicação de recomendações para a correção e melhoria das áreas de vegetação urbana apresentadas.

Para melhor entendimento do processo, os procedimentos metodológicos estão descritos em 6 etapas, sendo estas a Pesquisa Bibliográfica, Proposta do Índice, Estudo de Caso, Estudo Piloto, Aplicação do Índice e Discussão dos Resultados. A Figura 2 representa o desenho da pesquisa.

Figura 2 - Desenho da pesquisa

Proposição de um índice através do estabelecimento de parâmetros de análise quantitativa e qualitativa da cobertura vegetal em setores urbanos



Fonte: elaborado pela autora.

3.2 Pesquisa Bibliográfica

A primeira etapa do trabalho consiste em um estudo exploratório através de pesquisa bibliográfica, que tem a finalidade de desenvolver, esclarecer e modificar definições, enquanto se proporciona uma visão ampla sobre um fato, buscando fundamentar um tema a partir de referências teóricas e fontes documentais (LAKATOS e MARCONI, 2002; CERVO e BERVIAN, 2002; GIL, 1999). Desta forma, foram revisados índices desenvolvidos para quantificar e qualificar a vegetação

urbana existentes, a utilização de imagens para estudo da cobertura vegetal no meio urbano, e estudos realizados sobre a classificação e qualidade da vegetação urbana, que servem de suporte teórico e auxiliam na compreensão e aprofundamento destes temas. Esta revisão contempla consulta à literatura consagrada, produções acadêmicas e artigos científicos, publicados em livros, teses e dissertações, além de periódicos e eventos, tendo como intuito observar os critérios considerados relevantes na qualificação e quantificação da vegetação urbana pelos autores consultados.

3.3 Proposta do Índice

Na segunda etapa deste estudo, ocorre a discussão teórica sobre o índice e os elementos que o compõem, seguida pela proposição do Índice Quali-Quantitativo de Avaliação da Vegetação de Setores Urbanos (IQQVU), através da definição de parâmetros de análise qualitativa e quantitativa da vegetação urbana. A opção de adotar o método de análise quali-quantitativo é devido ao fato de que esta abordagem fornece maiores possibilidades de compreensão do fenômeno com um diagnóstico através de sua descrição e interpretação (NEVES, 1996). O desenvolvimento de um índice pressupõe não apenas a seleção e integração de diversos critérios em sua elaboração, como os critérios devem obedecer uma lógica e deve haver uma justificativa coerente tanto da escolha dos critérios quanto da ponderação atribuída a cada um (ANTUNES, 2012). Assim, o desenvolvimento do índice proposto é fundamentado nos autores citados durante a revisão bibliográfica, adaptando os diversos critérios selecionados para que a análise da área possa ser realizada com base em imagens obtidas através de geoprocessamento e mapas cartográficos do local. Um índice existente baseia a análise inicial, tendo sido adaptado para que sua aplicação ocorra em conjunto com outros critérios de avaliação da qualidade da vegetação urbana. Desta forma, seus resultados são complementados com a observação de outros parâmetros relevantes para a obtenção de um diagnóstico mais abrangente do setor em estudo, minimizando as limitações que a aplicação de índices e indicadores isolados apresentam através de sua correlação com outros dados importantes. Todos os índices e critérios utilizados têm sua aplicação padronizada, para que seus resultados sejam reais e coerentes, e permitam comparações entre as análises de áreas diferentes, evitando assim

dissidências em sua utilização. Os índices e parâmetros estabelecidos para o desenvolvimento do Índice de Avaliação Quanti-qualitativa da Vegetação e a forma de aplicação de cada um deles são expressos na Tabela 05.

Tabela 5 – Parâmetros da pesquisa

Parâmetro	Fonte	Método
Quantidade de arborização viária implantada em comparação ao ideal estimado	Silva <i>et al.</i> (2007)	Aplicação do Índice de Plena Ocupação (IPO), expresso em porcentagem
Relação entre o tamanho das copas e a largura das vias	Gonçalves e Paiva (2004); Guandalin <i>et al.</i> (1993); Mascaró e Mascaró (2010)	Classificação da largura das vias e das copas das árvores
Relação entre o tamanho das copas e a largura dos passeios	Mascaró e Mascaró (2010); PMSP (2015)	Classificação da largura dos passeios e das copas das árvores
Taxa de área permeável coberta com vegetação em relação à área total	Furtini <i>et al.</i> (2007); Warhurst <i>et al.</i> (2014)	Cálculo da porcentagem de área permeável coberta por vegetação
Formato geométrico das árvores e massas arbóreas urbanas	Gonçalves e Paiva (2013); Jim (1989)	Classificação da arborização urbana de acordo com sua organização e disposição

Fonte: elaborado pela autora.

Os parâmetros têm seus pesos definidos com base em modelos de decisão multicritério, que são indicados para problemas onde existem vários critérios de avaliação. Os critérios são características que podem ser avaliadas e quantificadas, e são relevantes para o objeto estudado e seu contexto, podendo ser do tipo fator ou exclusão. Os critérios do tipo fator são compostos por variáveis que podem aumentar ou diminuir a expressão de uma determinada característica para o objetivo em questão, enquanto os do tipo exclusão são variáveis que retiram as alternativas e limitam a análise (ZAMBON *et al.*, 2005; MOSSEAU, 1997). Assim, os cinco

critérios apresentados pelo índice proposto são do tipo fator, e suas variáveis devem ser ajustadas e avaliadas para servirem aos objetivos propostos (SAATY, 2008). Inicialmente, são apresentados todos os critérios do índice com pesos idênticos, o que facilita a visualização da ponderação investida nos parâmetros de cada critério em um estudo piloto. Com os resultados do estudo piloto, os parâmetros foram calibrados para adequarem-se à realidade, enquanto o peso de cada critério foi reavaliado para que a aplicação do índice atinja seu objetivo. Para tanto, foi utilizado o Processo de Análise Hierárquica (AHP) proposto por Saaty (2008), que provê bases matemáticas para auxiliar no processo de decisão.

Esta metodologia é amplamente utilizada em problemas de análise multicriterial, sendo um processo de decisão estruturado quantitativo que apresenta como qualidades a possibilidade de suportar e qualificar as decisões, além de permitir aos decisores justificarem as suas opções e simular vários resultados. Sua execução se baseia na decomposição do problema dos multicritérios em um sistema de hierarquias, aproveitando a capacidade humana de fazer julgamentos sobre problemas pequenos. Assim, os critérios são comparados entre si em pares, e classificados conforme sua importância relativa em uma escala de 1 a 9, onde 1 corresponde a igualmente preferido, e 9 a extremamente preferido. As prioridades são então obtidas somando os resultados de cada linha e dividindo pela soma total de todas as classificações (ANTUNES, 2012; SAATY, 2008).

A esquematização apresentada por Saaty (2008) consiste em:

- Determinar o problema e os atributos relevantes;
- Estruturar a hierarquia da decisão começando pelo topo, com o objetivo da decisão, passando pelo nível intermediário de critérios até o nível mais baixo;
- Construir um conjunto de matrizes para comparação par a par dos critérios, onde cada elemento é comparado com o elemento imediatamente seguinte;
- Usar as prioridades obtidas através das comparações para estabelecer a prioridade do peso de cada elemento.

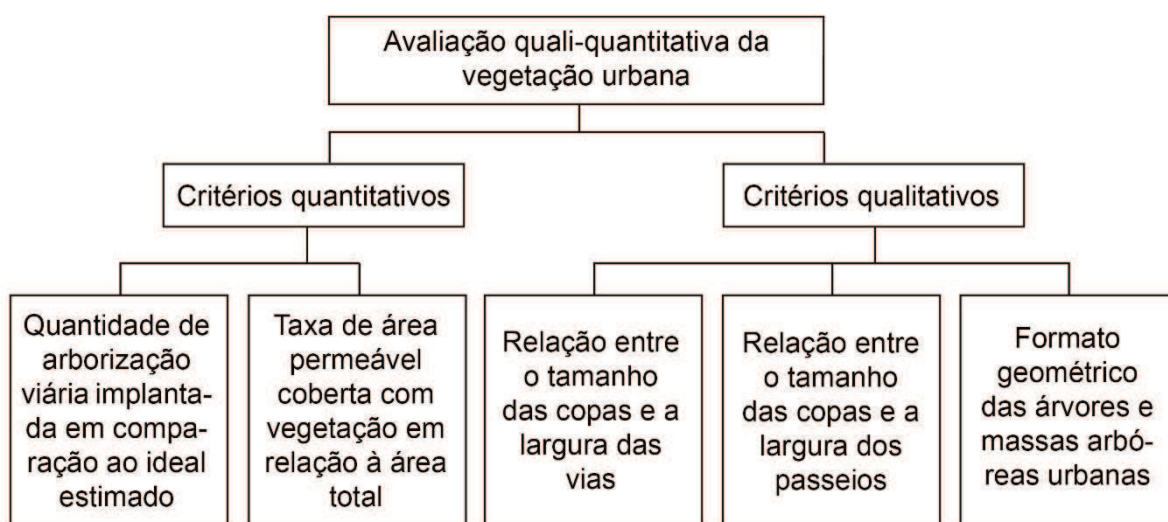
A escala fundamental dos números utilizados para a classificação dos critérios por ordem de intensidade de importância, determinada por Saaty (2008), está apresentada na Tabela 06. A classificação dos critérios de qualidade e quantidade adotados para a proposta do índice estão demonstrados na Figura 03.

Tabela 6 - Escala dos números para classificação dos critérios

Intensidade da importância	Definição	Explicação
1	Igual importância	Dois critérios que contribuem igualmente ao objetivo
2	Ligeiramente mais importante	Julgamento ligeiramente mais favorável a um critério sobre o outro
3	Importância moderada	
4	Moderada superior	Julgamento fortemente mais favorável a um critério sobre o outro
5	Importância forte	
6	Forte superior	Julgamento extremamente mais favorável a um critério sobre o outro
7	Muito forte	
8	Muito, muito forte	
9	Importância extrema	Uma suposição razoável

Fonte: adaptado de Saaty (2008).

Figura 3 – Critérios adotados para a proposta do Índice



Fonte: elaborado pela autora.

3.3.1 Categorias de Análise

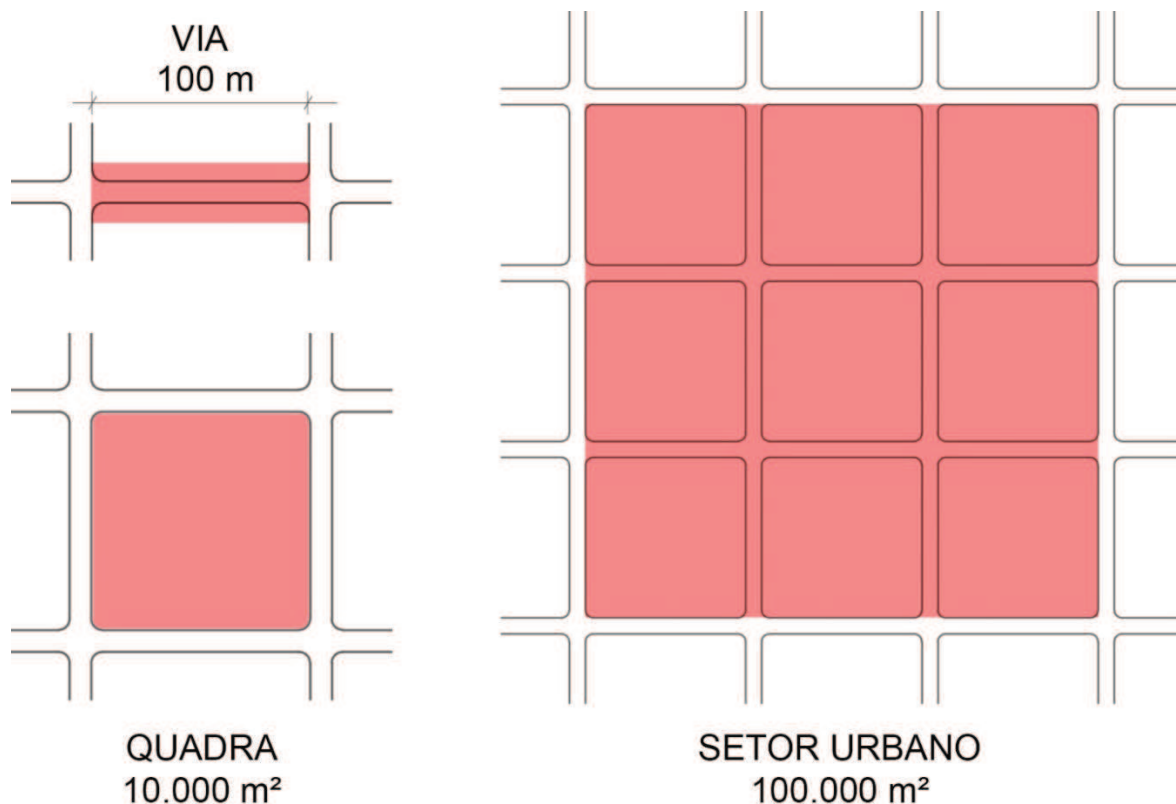
A metodologia para a proposta do Índice Quanti-Qualitativo de Avaliação da Vegetação em Setores Urbanos (IQQVU) considerou diversas premissas para a sua elaboração. O Índice apresentado intenta funcionar como uma ferramenta auxiliar para uso dos planejadores, possibilitando o diagnóstico qualitativo e quantitativo da vegetação urbana de uma área delimitada de forma prática através da análise de imagens aéreas do local. Deve funcionar como um utensílio de aplicação viável, que não exija a utilização de ferramentas ou treinamento específico e auxilie na determinação da situação presente da área analisada de forma rápida e satisfatória, com a utilização de critérios selecionados de número reduzido, facilmente identificados por meio da inspeção visual, e que permitam a obtenção de suas medições de forma prática. Estes parâmetros devem também possuir relevância na capacidade que a vegetação urbana tem de prover benefícios para o meio urbano, para que o Índice proposto represente as características gerais da área analisada em termos qualitativos e quantitativos, enquanto a inspeção dos critérios avaliados no decorrer da aplicação do índice deve auxiliar na identificação das falhas apresentadas pelo setor em estudo, delimitando os pontos principais de intervenção que devem ser visados pelo planejamento urbano para adequação.

Assim, o Índice Quanti-Qualitativo de Avaliação da Vegetação em Setores Urbanos (IQQVU) possui 5 parâmetros de análise. Cada parâmetro pode ser classificado em três faixas de pontuação para contribuição no somatório total do índice, de acordo com as faixas de adequação estabelecidas para seus resultados. Resultados bons contribuem com 1 ponto, enquanto resultados razoáveis computam 0,5 pontos, e resultados insatisfatórios somam 0 pontos a este critério. Desta forma, durante a fase de estudo piloto, o maior somatório possível resultante da aplicação do Índice é 5,0 pontos, enquanto o menor é 0. Após a verificação da aplicabilidade do Índice e coerência dos parâmetros estabelecidos, os critérios têm seus pesos avaliados pelo Processo de Análise Hierárquica de Saaty (2008), recebendo maior ou menor expressão no resultado final do Índice, de acordo com as prioridades estabelecidas.

3.3.2 Definição da Unidade Básica de Aplicação do Índice

Os procedimentos de análise do índice devem ser aplicados sob medidas fixas para a validação e comparação de suas avaliações. A utilização uma medida básica para realização de análises possibilita a padronização dos resultados, uma vez que um mesmo valor pode ser proporcionalmente inferior ou superior quando distribuído ao longo de uma medida maior ou menor (SILVA, 2010). Este mesmo princípio se aplica a medidas espaciais de área. Assim, a definição da unidade básica para aplicação do índice é dividida em classes de via, quadra e setor urbano, conforme ilustrado pela Figura 04. Para vias, foi arbitrada a medida de 100 metros lineares, enquanto as quadras foram áreas de 10.000 metros quadrados, por serem medidas comumente utilizadas na delimitação de quadras no meio urbano, além de configurarem valores de fácil interpretação para os cálculos de padronização. O setor urbano foi a composição de 9 quadras de 10.000 m² e suas vias adjacentes dispostas em três linhas e colunas, o que resulta na medida aproximada de 100.000 m² que foi empregada para a realização da análise.

Figura 4 - Unidades básicas de aplicação do índice



Fonte: elaborado pelo autor.

3.3.3 Critérios Quanti-qualitativos

Os critérios do Índice se baseiam na adaptação e correlação de um índice já existente com a avaliação de outros dados relevantes para o eficiente exercício das funções benéficas no ambiente urbano e mínima interferência na infraestrutura urbana por parte da vegetação, sendo obtida a tradução do contexto geral da situação da área em estudo ao final deste processo. Assim, busca minimizar as limitações que a aplicação de índices e indicadores de forma isolada podem apresentar em suas interpretações, promovendo a análise dos resultados obtidos por todos seus critérios de forma integrada. O índice selecionado para fundamentar a análise é o Índice de Plena Ocupação (IPO), uma ferramenta que visa à mensuração da arborização viária da área, procurando satisfazer proporções mínimas de vegetação nas vias para que a qualidade ambiental e a qualidade de vida dos habitantes do local sejam asseguradas. O Índice de Plena Ocupação (IPO) auxilia na quantificação da arborização viária através da análise da situação real em comparação com o cenário ideal, imaginado a partir da estipulação de um espaçamento médio adequado ao contexto da rua ou área analisada. Fundamenta-se nas recomendações de Silva et al. (2007), sendo que pode também auxiliar na análise da distribuição espacial da arborização viária quando aplicado a áreas menores, por especificar os locais com acúmulo ou ausência de arborização. Por permitir a criação de estimativas individualizadas para cada local, fundamentadas no espaço disponível e porte de árvores adequado para o local, confere resultados específicos para o caso em análise. Para sua aplicação no Índice proposto, foi adaptado para a ser aplicado à unidade básica arbitrada para vias, de 100 metros lineares.

Os demais critérios quanti-qualitativos do Índice Quanti-Qualitativo de Avaliação da Vegetação em Setores Urbanos (IQQVU) buscam complementar a análise inicial provida pela aplicação do IPO. Se baseiam na análise da adequação da implantação da arborização em relação ao seu entorno e contexto geral da área, visando à potencialização de seus benefícios. O tamanho da copa é um elemento de grande relevância na capacidade das árvores implantadas no meio urbano de impactar na área e nas edificações circundantes, além de poderem interferir na infraestrutura pública do local (SIMPSON e MCPHERSON, 1996; NETO, 1984). Assim, os dois primeiros parâmetros qualitativos do índice proposto observam a

conformidade da arborização viária com seus arredores, comparando o tamanho da copa das árvores existentes com a largura das vias e passeios. O tamanho das copas foi classificado entre os portes pequeno, médio e grande, de acordo com os padrões estabelecidos por Mascaró e Mascaró (2010), enquanto as vias foram enquadradas nas classes de largura propostas por Guandalin et al. (2004). A classificação dos passeios ocorreu em concordância com a ABNT 5090/2004, e teve seus parâmetros estabelecidos através da adaptação de critérios utilizados pela Prefeitura Municipal de São Paulo (2015) para as larguras dos passeios e da Prefeitura Municipal de Campo Grande (2012) para a seleção dos portes de árvore empregados em cada caso. A permeabilidade do solo, relacionada à vegetação urbana e auxiliada por suas propriedades no controle do escoamento da água, é o tema do quarto critério. Sua análise ocorreu através da identificação da quantidade de área permeável coberta por vegetação existente no setor em estudo, e posterior classificação em uma adaptação das taxas de permeabilidade propostas por Furtini et al. (2007), de forma a compreender de forma mais completa a realidade dos centros urbanos modernos.

Outro fator que afeta a influência da arborização na ambiência urbana é a forma que está implantada, sendo que árvores agrupadas possuem maior efeito benéfico do que as plantadas de forma isolada ou em fileiras (GONÇALVES e PAIVA, 2013). Jim (1989) desenvolveu uma forma de classificação das diversas disposições que a cobertura arbórea pode apresentar no meio urbano, através da análise de imagens aéreas da área, que embasou o terceiro critério qualitativo do índice proposto. Foi analisada também a proporção de área coberta por vegetação, considerando em seu cálculo tanto as áreas de origem pública quanto privada, em relação à área total em estudo. Foram inclusas em seu somatório áreas cobertas por vegetação com permeabilidade reduzida, como áreas de telhado verde e com revestimentos semipermeáveis que permitam o crescimento de vegetação em conjunto, a exemplo o piso intertravado vazado e similares. Por buscar quantificar a totalidade das áreas cobertas por vegetação presentes no setor de estudo e a taxa de permeabilidade da área, funciona como um indicador de qualidade ambiental. Assim, o índice proposto tem como parâmetros de análise quanti-qualitativa para a complementação da análise do IPO a relação entre o tamanho das copas das árvores com a largura das vias e dos passeios, a forma com que as árvores se encontram dispostas e a taxa de área permeável coberta por vegetação.

Os critérios selecionados para a elaboração do Índice foram designados por serem considerados os mais adequados ao objetivo de obter um diagnóstico geral da qualidade da vegetação urbana presente em áreas específicas da cidade, analisando a presença da vegetação como um todo, além de possuírem como requisitos a viabilidade de sua observação em imagens aéreas ou de satélite sem a necessidade de utilizar equipamentos ou treinamento específico. Desta forma, outros critérios elencados como relevantes durante a revisão de literatura apresentada neste trabalho, tais como a presença de fiação aérea para arborização viária, a orientação solar das árvores implantadas em relação às edificações existentes, ou a existência de recuo significativo entre os edifícios e o ponto de implantação das árvores em seu entorno, não foram utilizados por serem menos adequados aos objetivos propostos para o Índice desenvolvido. No entanto, também são características relevantes à qualidade da vegetação implantada em áreas urbanas, e devem ser observadas sempre que possível para garantir a qualidade ambiental das cidades e a melhor utilização possível dos benefícios que a vegetação pode prover para as edificações e ambientes urbanos.

- a) Índice de Plena Ocupação (IPO): apresenta o déficit de árvores viárias em relação à quantidade ideal projetada para a área. O espaçamento médio adequado às condições da rua ou cidade é estipulado, e utilizado para determinar a quantidade de árvores que poderiam ser acomodadas em uma unidade básica de via, ou 100 metros de calçada, com este espaçamento. A equação abaixo demonstra este cálculo, sendo que IPO é o Índice de Plena Ocupação, e EM é o espaçamento médio designado.

$$IPO = \frac{100 \text{ m}}{EM}$$

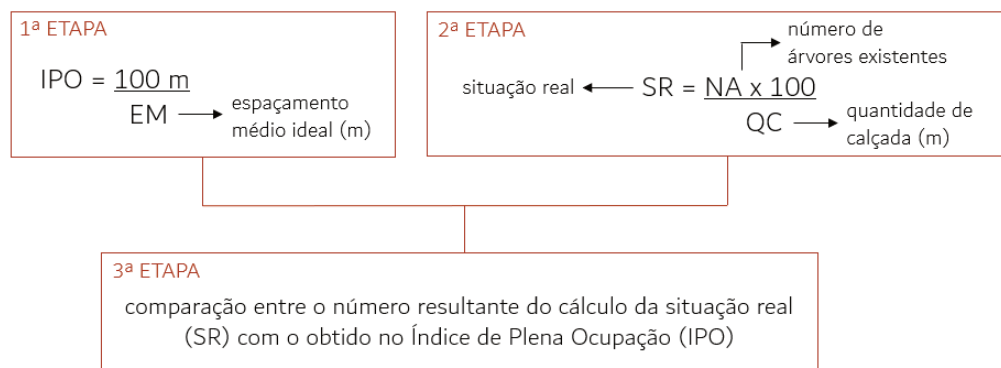
Em seguida, é calculada a situação real da área, averiguando-se a quantidade de calçadas existente na área, considerando canteiros centrais como áreas que podem ser adicionadas à contabilização da metragem se também forem passíveis de receber arborização, e relacionando este resultado ao número de árvores existentes levantadas na análise da área em estudo. O cálculo é demonstrado abaixo, sendo SR a situação real da área, NA é o número de árvores presentes, e QC é a quantidade de calçadas apurada apresentada em

metros, enquanto o resultado significa o número de árvores existente em cem metros de calçada.

$$SR = \frac{NA \times 100}{QC}$$

A comparação entre o número resultante do cálculo da situação real (SR) com o obtido no Índice de Plena Ocupação (IPO) permite a visualização do déficit no número de árvores existente em relação com a quantidade ideal. Para a avaliação deste critério no índice proposto, resultados de SR que se afastem até 15% do IPO computam 1 ponto, enquanto diferenças entre 15 e 30% adicionam 0,5 pontos e, acima de 30%, 0 pontos. A Figura 05 esquematiza as etapas para este critério.

Figura 5 – Esquematização da aplicação do primeiro critério



Fonte: elaborado pela autora.

- b) Relação entre o tamanho das copas e largura da via: realiza a análise da adequação do tamanho das copas das árvores existentes em relação à largura da via. Neste critério, o porte das árvores é classificado com base no tamanho de suas copas de acordo com as classes listadas abaixo na Tabela 07.

Tabela 7 - Classificação do tamanho de copa das árvores

	Pequeno	Médio	Grande
Diâmetro da copa (m)	< 4,0	4,0 – 6,0	> 6,0

Fonte: elaborado pela autora.

Com base nesta classificação, são relacionados os tamanhos de copa desejáveis de acordo com a largura das vias em estudo, conforme a

Tabela 08. Este critério considera como resultados bons, que computam 1,0 ponto no somatório do Índice, a não arborização de ruas com menos de 6 metros de largura, a utilização de espécies de porte pequeno ou médio para vias com entre 6 e 11 metros de largura, e de porte médio ou grande nos casos com mais de 11 metros, sendo estes os casos que recebem 1,0 ponto no somatório do Índice. São razoáveis as situações onde forem empregadas árvores de porte pequeno para vias com menos de 6 metros e mais de 11 metros de largura, e porte grande para ruas entre 6 e 11 metros, recebendo assim 0,5 pontos. A condição insatisfatória é resultado da não arborização de ruas com mais de 6 metros de largura, e a presença de árvores de porte médio ou grande em ruas com dimensões menores que 6 metros, que adicionam, 0 pontos.

Tabela 8 - Relação entre tamanho de copa de árvore e largura da via

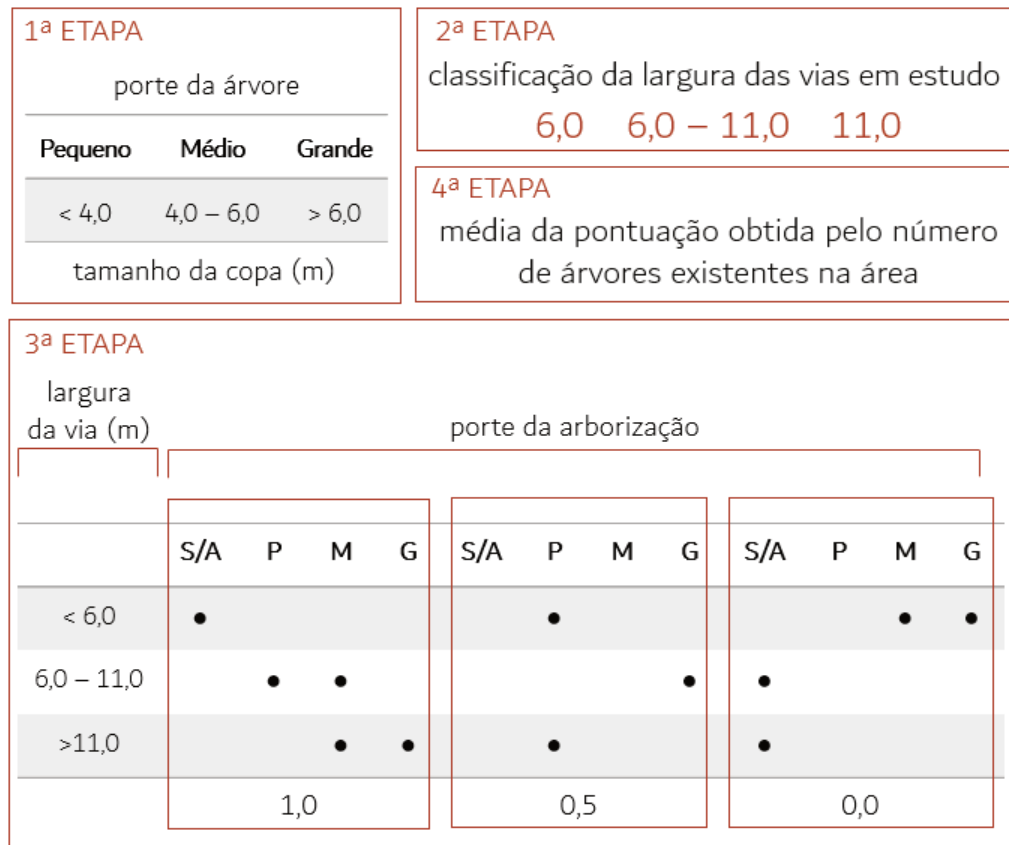
Pontuação		Largura da via (m)		
		< 6,0	6,0 – 11,0	> 11,0
1,0	Sem arborização	•		
	Pequeno		•	
	Médio		•	•
	Grande			•
0,5	Sem arborização			
	Pequeno	•		•
	Médio			
	Grande		•	
0,0	Sem arborização		•	•
	Pequeno			
	Médio	•		
	Grande	•		

Fonte: elaborado pela autora.

Para análise de áreas mistas, as árvores devem ser analisadas de acordo com a Tabela 07 individualmente, de forma a obter a pontuação correta de cada uma. Em seguida, suas pontuações devem ser

somadas e então divididas pelo número de árvores existente para a obtenção da média da área. As vias com menos de 6 metros de largura também contabilizam 1,0 ponto ao somatório, aumentando a média final da área. Para resultados entre 0 e 0,33 pontos são conferidos 0 pontos ao somatório final do Índice, enquanto resultados entre 0,33 e 0,66 contabilizam 0,5 pontos e resultados entre 0,66 e 1 ponto computam 1 ponto ao somatório final. A Figura 06 esquematiza as etapas para este critério.

Figura 6 - Esquematização da aplicação do segundo critério



Fonte: elaborado pela autora.

- c) Relação entre o tamanho das copas e a largura do passeio: neste critério, o tamanho das copas das árvores presentes é comparado à largura dos passeios. Novamente, as copas são classificadas de acordo com as larguras de suas copas listadas abaixo, na Tabela 09.

Tabela 9 - Classificação do tamanho de copa das árvores

Diâmetro da copa (m)	Pequeno	Médio	Grande
	< 4,0	4,0 – 6,0	> 6,0

Fonte: elaborado pela autora.

Os tamanhos de copa são relacionados às classes de larguras de passeio listadas abaixo, computando pontos de acordo com sua adequação, conforme a Tabela 10.

Tabela 10 - Relação entre tamanho de copa e largura do passeio

Pontuação		Largura do passeio (m)			
		< 1,2	1,2 - 2,4	2,4 – 3,4	> 3,4
1,0	Sem arborização	•			
	Pequeno		•	•	
	Médio		•	•	•
	Grande			•	•
0,5	Sem arborização				
	Pequeno	•			•
	Médio				
0,0	Grande		•		
	Sem arborização		•	•	•
	Pequeno				
	Médio	•			
	Grande	•			

Fonte: elaborado pela autora.

Este critério considera como resultados bons, que conferem 1,0 ponto, os casos em que passeios com menos de 1,2 metros de largura não apresentarem arborização, entre 1,2 e 2,4 metros possuírem copas de tamanho pequeno ou médio, passeios com 2,4 a 3,4 metros contarem com árvores de copas pequenas, médias ou grandes, e calçadas acima de 3,4 metros de largura disporem de copas médias ou grandes. As situações que contabilizam 0,5 pontos são as em que calçadas com menos de 1,2 metros de largura e com mais de 3,4 metros

apresentarem árvores com copas pequenas, e passeios com entre 1,2 e 2,4 metros de largura possuírem copas grandes. Calçadas com menos de 1,2 metros de largura que tiverem árvores com copas médias ou grandes implantadas, assim como passeios com mais de 1,2 metros que não apresentarem arborização, recebem 0 pontos. Para análise de áreas mistas, a mesma metodologia utilizada no critério anterior deve ser aplicada. As árvores devem ser analisadas de acordo com a Tabela 09 individualmente, tendo suas pontuações somadas e então divididas pelo número de árvores existente para a obtenção da média da área. Para resultados entre 0 e 0,33 pontos são conferidos 0 pontos ao somatório final do Índice, enquanto resultados entre 0,33 e 0,66 contabilizam 0,5 pontos e resultados entre 0,66 e 1 ponto computam 1 ponto ao somatório final. A Figura 07 esquematiza as etapas para este critério.

Figura 7 - Esquematização da aplicação do terceiro critério

<p>1ª ETAPA</p> <p>porte da árvore</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Pequeno</th> <th>Médio</th> <th>Grande</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>< 4,0</td> <td>4,0 – 6,0</td> <td>> 6,0</td> </tr> </tbody> </table> <p>tamanho da copa (m)</p>		Pequeno	Médio	Grande	< 4,0	4,0 – 6,0	> 6,0	<p>2ª ETAPA</p> <p>classificação da largura dos passeios</p> <p>< 1,2 1,2 – 2,4 2,4 – 3,4 > 3,4</p>																																																																																																			
Pequeno	Médio	Grande																																																																																																									
< 4,0	4,0 – 6,0	> 6,0																																																																																																									
		<p>4ª ETAPA</p> <p>média da pontuação obtida pelo número de árvores existentes na área</p>																																																																																																									
<p>3ª ETAPA</p> <p>largura do passeio (m)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2"></th> <th colspan="12">porte da arborização</th> </tr> <tr> <th colspan="4">S/A</th> <th colspan="4">P</th> <th colspan="4">M</th> <th colspan="4">G</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>< 1,2</td> <td>•</td><td></td><td></td><td></td> <td></td><td>•</td><td></td><td></td> <td></td><td></td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td> </tr> <tr> <td>1,2 – 2,4</td> <td></td><td></td><td>•</td><td>•</td> <td></td><td></td><td></td><td>•</td> <td>•</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>2,4 – 3,4</td> <td></td><td></td><td>•</td><td>•</td><td>•</td> <td></td><td></td><td></td><td></td> <td>•</td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>> 3,4</td> <td></td><td></td><td></td><td>•</td><td>•</td> <td>•</td><td></td><td></td><td></td> <td>•</td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td><td></td><td></td><td>1,0</td> <td></td><td></td><td></td><td>0,5</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>0,0</td> </tr> </tbody> </table>					porte da arborização												S/A				P				M				G				< 1,2	•					•						•		•	1,2 – 2,4			•	•				•	•						2,4 – 3,4			•	•	•					•					> 3,4				•	•	•				•									1,0				0,5						0,0
	porte da arborização																																																																																																										
	S/A				P				M				G																																																																																														
< 1,2	•					•						•		•																																																																																													
1,2 – 2,4			•	•				•	•																																																																																																		
2,4 – 3,4			•	•	•					•																																																																																																	
> 3,4				•	•	•				•																																																																																																	
				1,0				0,5						0,0																																																																																													

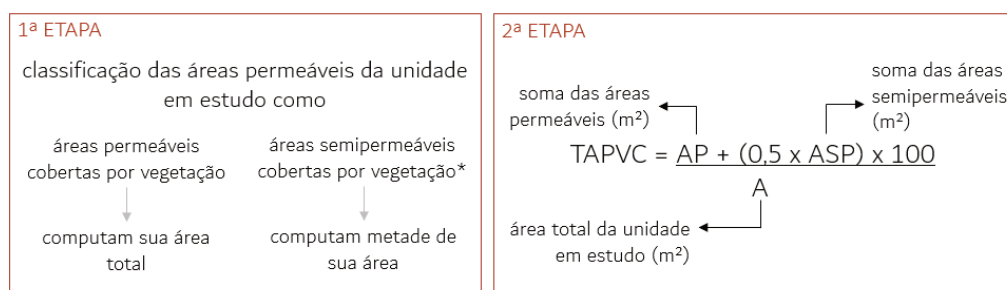
Fonte: elaborado pela autora

- d) Taxa de área permeável coberta por vegetação: apresenta a porcentagem de áreas cobertas por vegetação considerando a sua permeabilidade. Assim, áreas semipermeáveis como telhados verdes, canteiros que não têm ligação com o solo e pisos vazados foram computados pela metade de sua área. A aplicação deste critério segue a equação abaixo, sendo que TAPCV é a taxa de área permeável coberta por vegetação, AP é a soma de todas as áreas permeáveis que possuem vegetação, ASP é a soma das áreas semipermeáveis cobertas por vegetação, e A é a área total da unidade em estudo.

$$TAPCV = \frac{[AP + (0,5 \times ASP)] \times 100}{A}$$

Para a avaliação deste critério, áreas que apresentam taxa maior que 40% recebem 1,0 ponto, enquanto resultados entre 20% e 40% computam 0,5 pontos e resultados abaixo de 20% adicionam 0 pontos ao resultado final do Índice. A Figura 08 esquematiza as etapas para este critério.

Figura 8 - Esquematização da aplicação do quarto critério



*telhados verdes, canteiros sem ligação com o solo, pisos vazados, e similares.

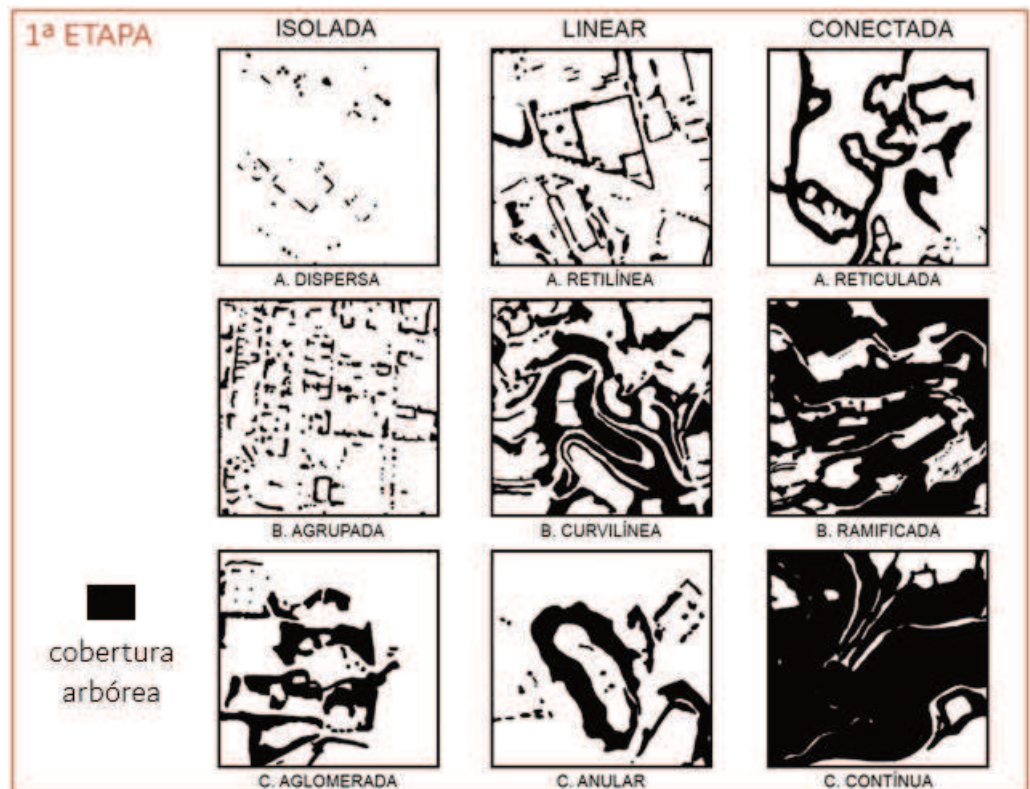
Fonte: elaborado pela autora

- e) Formato geométrico das árvores e massas arbóreas urbanas: este critério analisa a forma e quantidade de implantação da arborização na área, classificando-as de acordo com a metodologia proposta por Jim (1989). Neste processo, as manchas verdes formadas pelas árvores nas imagens aéreas são comparadas com as imagens apresentadas na Figura 01.

Para avaliação deste critério, áreas que apresentam arborização implantada nas formas contínua, ramificada, curvilínea ou aglomerada

contabilizam 1,0 ponto, assim como situações em que as formas linear, agrupada, reticulada e anular estiverem combinadas com as citadas anteriormente. Os casos que apresentam apenas as formas linear, agrupada, reticulada ou anular recebem 0,5 pontos, enquanto áreas que apresentam arborização implantada apenas de forma dispersa recebem 0 pontos. A Figura 09 esquematiza as etapas para este critério.

Figura 9 - Esquemática da aplicação do quinto critério



Fonte: elaborado pela autora.

4 ESTUDO DE CASO

4.1 Definição do local de estudo e levantamento de dados

A demonstração metodológica da aplicação do índice proposto é apresentada através de estudo de caso em um setor urbano. A seleção do objeto do estudo de caso foi realizada através de amostragem não probabilística por julgamento, onde o pesquisador define as características de interesse que o objeto deve apresentar para que a análise seja executada da forma mais completa possível. A amostra não probabilística por julgamento ou intencional é utilizada quando uma amostra de áreas é escolhida de forma proposital pelo pesquisador porque tem certas características que, acredita-se, são mais apropriadas para a observação do fenômeno (GOODE e HATT, 1979; MALHOTRA, 2012).

Assim, foi definido que o local designado deve possuir como características a presença de vegetação em diferentes condições e localização próxima ao centro da cidade, de forma que esteja bem vinculado à malha urbana. Estes critérios basearam a escolha de um conjunto de quadras localizado na Vila IAPI, pertencente ao município de Porto Alegre, como o setor urbano que fundamenta a análise.

A Vila do IAPI é um conjunto residencial construído entre as décadas de 1940 e 1950, destinado à demanda por habitação social por parte da população operária consorciada ao Instituto de Aposentadoria e Pensões dos Industriários, de onde recebe seu nome. Ocupa um espaço de aproximadamente 67 hectares no bairro Passo D'Areia, comportando um total de 2533 residências ao final de sua construção, de forma a atender uma população de 15 mil moradores, tendo sua localização demonstrada na Figura 10. A proposta de sua implantação era a de configurar um bairro operário moderno e bem equipado, que oferecesse habitação com conforto e dignidade para classes menos favorecidas de trabalhadores. O seu projeto, contrariando a tendência modernista que vinha sendo adotada nos projetos de habitação social da época, foi inspirado nos modelos de bairros-jardim ingleses originalmente desenvolvidos por Ebenezer Howard, com foco em residências individuais ou agrupadas em pequenos conjuntos e em áreas abertas vegetadas para utilização dos habitantes. Como resultado, a Vila possui perfeita integração com o tecido viário da cidade e foi aceita sem restrições pela comunidade local,

conservando parte importante de suas características originais e tornando-se Patrimônio Cultural de Porto Alegre em 1994. O sucesso de sua implantação e o exemplo de construção de uma identidade cultural que estabeleceu a tornaram um modelo arquitetônico e urbanístico para inúmeros projetos similares e importante objeto de estudo (SILVA, MELLO e LEAL, 2009; DEGANI, 2003; DEROIS, ROCHA e ECKERT, 2005).

Após a definição do local a ser utilizado como estudo de caso, foi realizado o reconhecimento do contexto geral da área de estudo. O levantamento de dados se deu através da consulta ao material disponível nos órgãos competentes, como o mapa da delimitação do perímetro urbano e da malha viária do município de Porto Alegre, fornecido pela Prefeitura, além da utilização de geoprocessamento através de levantamentos de imagens de satélite, registradas pelos satélites Landsat e Copernicus e disponibilizadas pelo Google Earth no ano de 2017. As imagens de satélite foram analisadas de forma conjunta com os mapas providos pela Prefeitura para ajustes de escala e melhor visualização da malha viária presente no local.

Figura 10 - a) Localização do bairro Passo D'Areia em Porto Alegre; b) Delimitação da Vila do IAPI dentro do bairro Passo D'Areia



Fonte: a) adaptado pela autora de Prefeitura de Porto Alegre, 2018; b) adaptado pela autora de Google Maps (2018).

4.2 Estudo Piloto

A condução de um estudo piloto antes da execução do estudo de caso é aconselhável para garantir a qualidade de sua aplicação, uma vez que o sucesso na condução do estudo piloto indica uma probabilidade bastante elevada de que estudo de caso real terá sua execução bem-sucedida. O estudo piloto é considerado um teste em pequena escala dos procedimentos, materiais e métodos propostos para a realização de uma pesquisa. Atua como um instrumento que se propõe a testar, revisar e validar o método, buscando distinguir possíveis problemas e resolvê-los antes da aplicação do estudo principal. Auxilia na identificação de possíveis erros no planejamento da pesquisa, no detalhamento dos processos previstos, e na certificação de que as questões em observação na pesquisa fazem sentido quando aplicadas a um caso real, além de ter como objetivos identificar e corrigir possíveis dificuldades de aplicação e lacunas na metodologia, além de garantir a uniformidade dos procedimentos do estudo (MACKEY e GASS, 2005; BRESSAN, 2000; GODOY, 2005). Neste trabalho, foi realizado um estudo piloto em uma quadra localizada na Vila do IAPI, em Porto alegre, a mesma área utilizada como base para a realização do estudo de caso, de forma a prover subsídio para possíveis ajustes e melhorias nos critérios e processos de aplicação do Índice proposto. A localização da quadra escolhida para a realização do estudo de caso está demonstrada na Figura 11, sendo que possui aproximadamente 6.900m² de área e localiza-se próxima ao Parque Alim Pedro.

Figura 11 - Delimitação da Vila do IAPI dentro do bairro Passo D'Areia e identificação da quadra selecionada para estudo de caso.



Fonte: adaptado pela autora de Google Maps (2018).

A quadra selecionada é delimitada pelas ruas Nova Prata a norte, Dom Pedrito a oeste e Novo Hamburgo a sul e leste, como indicado pela Figura 12.

Figura 12 - Quadra selecionada para estudo de caso.



Fonte: adaptado pela autora de Google Earth (2018).

4.2.1 Aplicação do Índice

- a) Índice de Plena Ocupação (IPO): para a análise do IPO da área, primeiramente é designado um espaçamento médio ideal de 8m entre as árvores, considerando para tanto as características locais como as dimensões das vias e passeios do local e a existência de vegetação em áreas privadas que também estendem seus benefícios à área pública. Assim, o cálculo do IPO ideal para a área em estudo está expresso na fórmula abaixo, considerando para o cálculo a unidade básica para vias de 100 metros lineares. O resultado indica que, com esta distância média, deveriam existir 12,5 árvores plantadas a cada 100 metros de passeio.

$$\text{IPO} = \frac{100 \text{ m}}{8} = 12,5$$

Em seguida, são identificadas as árvores que se encontram implantadas nos passeios da área, dispostas conforme a Figura 13. Durante o levantamento são constatadas 17 unidades de arborização viária, distribuídas entre as ruas Dom Pedrito e Novo Hamburgo, sendo que a rua Nova Prata não apresenta arborização viária.

Figura 13 - Arborização viária presente na área de estudo



Fonte: adaptado pela autora de Google Earth (2018).

As dimensões medidas para o cálculo da metragem existente de calçadas estão expressas na Figura 14, sendo que a área foi dividida em cinco trechos para a realização do somatório ao final. O trecho A compreende a face da quadra a norte da Rua Nova Prata, enquanto o trecho B é a face da quadra a oeste da Rua Dom Pedrito. Os trechos C e D são separados da quadra de estudo pela Rua Novo Hamburgo, sendo que o trecho C localiza-se a sul e o trecho D a leste. O último trecho considerado é o perímetro da quadra selecionada. Assim, o trecho A possui 121m, o trecho B apresenta 62m, o trecho C compreende 65m e o trecho D abrange 99m, enquanto a quadra de estudo apresenta perímetro de 338 m. Assim, a área considerada compreende uma quantidade existente de calçadas de 685m.

Figura 14 - Trechos para dimensionamento da metragem de calçadas presentes na área de estudo



Fonte: adaptado pela autora de Google Earth (2018).

Desta forma, o cálculo da situação real (SR) está representado na equação abaixo, considerando os 338 metros de passeio contabilizados e as 17 árvores presentes na arborização viária da área:

$$SR = \frac{17 \times 100}{685} = 2,48$$

A comparação entre o resultado da situação ideal, de 12,5 árvores a cada 100 metros de passeio, e o resultado da situação real, de 2,48

árvores a cada 100 metros de passeio, fornece a porcentagem de 20% de ocupação em relação ao ideal, que seria 100%. Assim, apresenta um déficit de 80% de vegetação viária, contabilizando 0 pontos neste critério. A Figura 15 demonstra as etapas para aplicação deste critério.

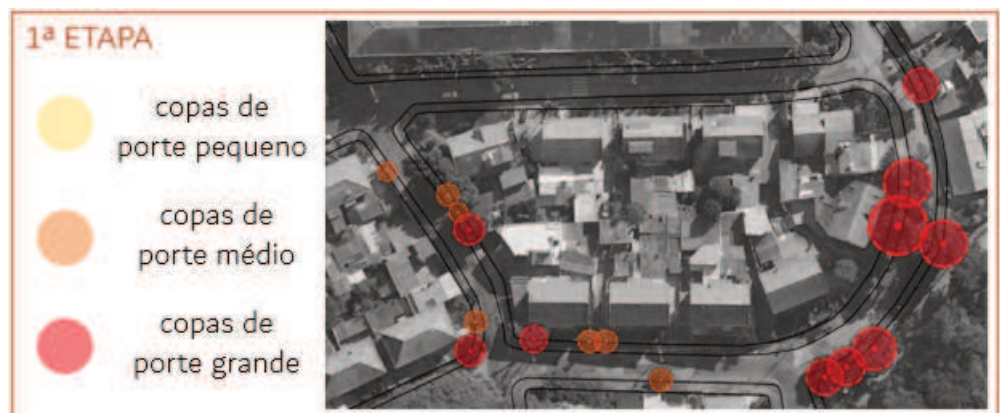
Figura 15 – Etapas de aplicação do primeiro critério

1ª ETAPA	2ª ETAPA	3ª ETAPA
$IPO = \frac{100 \text{ m}}{8} \rightarrow 12,5$	$SR = \frac{17 \times 100}{338} \rightarrow 5,03$	$IPO = 12,5$ $SR = 5,03$
		DÉFICIT 60%

Fonte: elaborado pela autora.

- b) Relação entre o tamanho das copas e largura da via: a análise deste critério ocorreu primeiramente com a classificação das árvores viárias presentes na área de estudo, baseada no tamanho de sua copa. Assim, elas foram categorizadas em copas de tamanho grande, para copas com mais de 6 metros de diâmetro, médio, para copas com entre 4 e 6 metros de diâmetro, ou pequeno, para copas com diâmetro menor que 4 metros. Das 17 árvores detectadas, 6 possuem tamanho de copa médio e 11 possuem tamanho de copa grande, sendo identificadas com cores diferentes para cada categoria conforme a Figura 16.

Figura 16 - Classificação das árvores viárias de acordo com o seu tamanho de copa



Fonte: adaptado pela autora de Google Earth (2018).

Em seguida, as vias adjacentes à quadra em estudo são classificadas de acordo com sua largura, sendo as categorias vias com largura

inferior a 6 metros, vias com largura entre 6 e 11 metros, e vias com largura superior a 11 metros. As vias estão identificadas por cores, com base na metragem de sua largura, de acordo com a Figura 17.

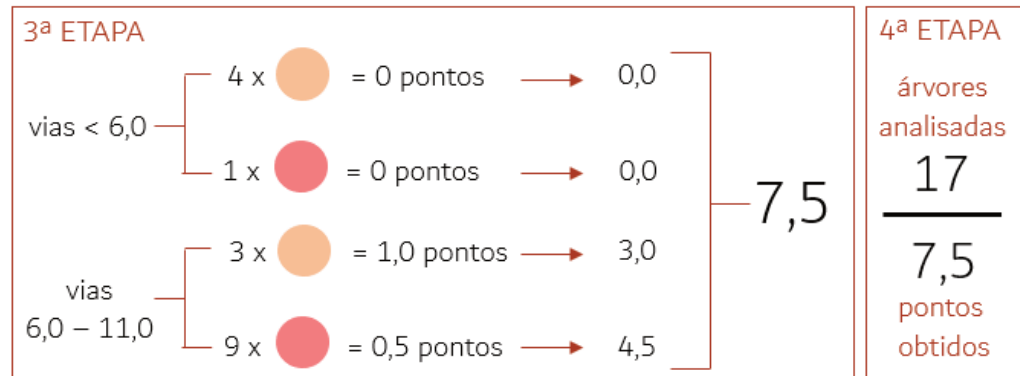
Figura 17 - Classificação das vias de acordo com sua largura



Fonte: adaptado pela autora de Google Earth (2018).

A análise dos dados levantados permite a observação de que na via de largura inferior a 6 metros existem 4 árvores de tamanho de copa médio e 1 árvore de tamanho de copa grande, sendo que todas conferem 0 pontos ao somatório. Nas vias de largura entre 6 e 11 metros, por sua vez, encontram-se 3 árvores de tamanho médio, que computam 1,0 ponto cada uma, e 9 árvores de tamanho de copa grande, que contabilizam 0,5 pontos cada uma. Desta forma, as 17 árvores analisadas possuem um somatório de 7,5 pontos, resultando em uma média de 0,44 pontos e recebendo, assim, 0,5 pontos que foram adicionados ao cálculo do resultado final do índice. A Figura 18 demonstra as etapas para aplicação deste critério.

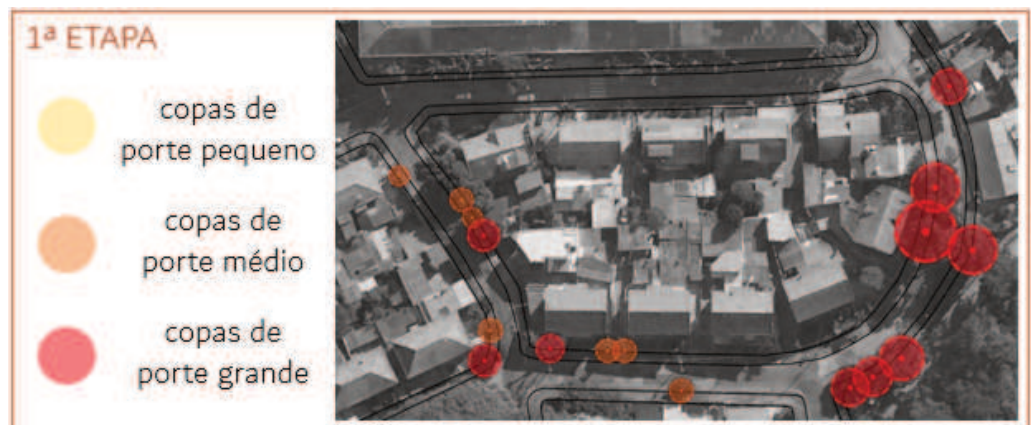
Figura 18 - Etapas de aplicação do segundo critério



Fonte: elaborado pela autora.

- c) Relação entre o tamanho das copas e largura do passeio: inicialmente, as árvores foram classificadas de acordo com o tamanho de suas copas, da mesma forma que no critério anterior. O resultado desta categorização está demonstrado na Figura 19.

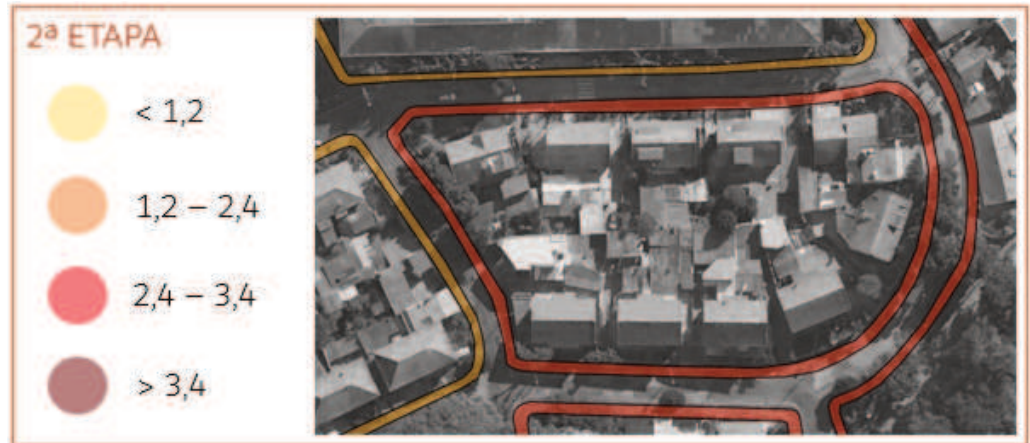
Figura 19 - Classificação das árvores viárias de acordo com o seu tamanho de copa



Fonte: adaptado pela autora de Google Earth (2018).

Após a classificação da arborização viária, os passeios presentes na área de estudo são categorizados de acordo com sua largura. Assim, são divididos em classes de passeio com largura de até 1,2 metros, entre 1,2 e 2,4 metros, de 2,4 a 3,4 metros, e passeios com largura superior a 3,4 metros, conforme a Figura 20.

Figura 20 - Classificação dos passeios de acordo com sua largura



Fonte: adaptado pela autora de Google Earth (2018).

A análise dos dados, juntamente com a Tabela 09, provê a pontuação das árvores neste critério. Nos passeios com largura inferior a 1,2 metros encontram-se 2 árvores com tamanho de copa médio e 1 árvore com tamanho de copa grande, computando 0 pontos, enquanto nos passeios com largura entre 1,2 e 2,4 metros existem 5 árvores de copa de tamanho médio, somando 1,0 ponto cada uma, e 9 árvores com tamanho de copa grande, representando 0,5 pontos cada uma. Assim, as 17 árvores viárias analisadas possuem um somatório de 9,5 pontos, o que resulta em uma média de 0,56 pontos. Com o resultado alcançado, este critério contabiliza 0,5 pontos na média final do Índice. A Figura 21 demonstra as etapas para aplicação deste critério.

Figura 21 - Etapas de aplicação do terceiro critério



Fonte: elaborado pela autora.

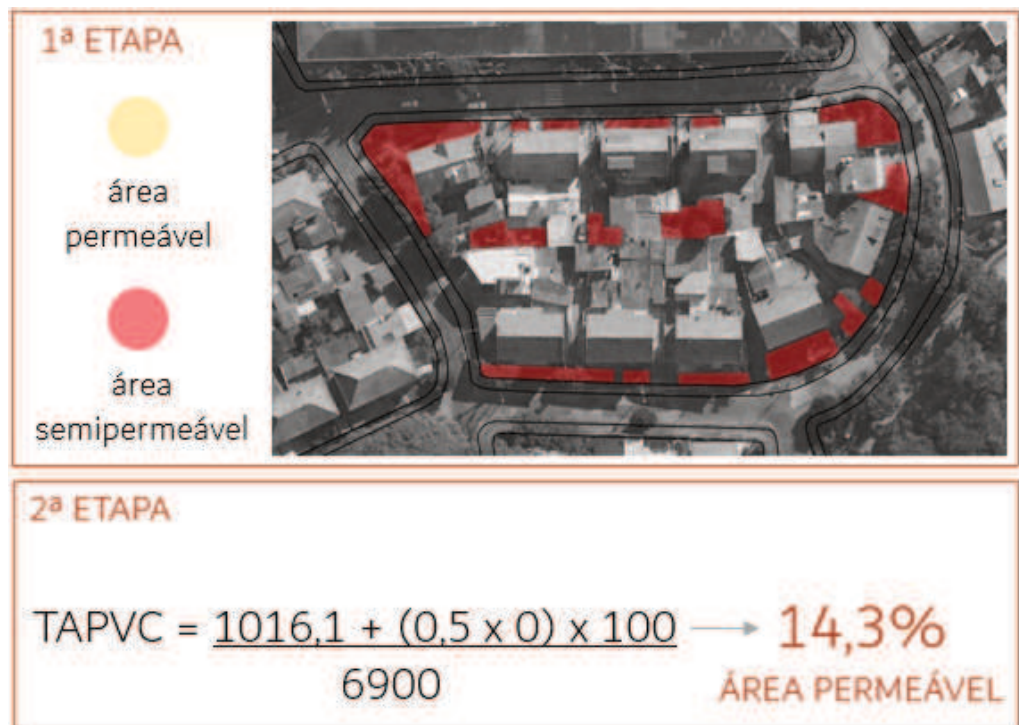
- d) Taxa de área permeável coberta por vegetação (TAPCV): para a análise deste critério, foram identificadas todas as áreas permeáveis e

semipermeáveis cobertas por vegetação, conforme indicado pela Figura 22. Nesta quadra, foram identificadas apenas áreas permeáveis cobertas por vegetação, e nenhuma área semipermeável coberta por vegetação. O somatório das áreas permeáveis resultou em 1016,1m², sendo que a área total da quadra em estudo é de 6900m². Desta forma, o percentual de área coberta por vegetação da área em estudo é 14,73%, um resultado considerado baixo e que contabiliza, portanto, 0 pontos ao somatório.

$$TAPCV = \frac{1016,1 + (0,5 \times 0) \times 100}{6900} = 14,73\%$$

A Figura 22 demonstra as etapas para a aplicação deste critério.

Figura 22 – Etapas de aplicação do quarto critério



Fonte: adaptado pela autora de Google Earth (2018).

- e) Formato geométrico das árvores e massas arbóreas urbanas: a análise deste critério inicia com a identificação de todas as copas de árvores presentes na área em estudo, conforme Figura 23. Em seguida, é realizada sua comparação com as categorias de formatos geométricos de agrupamento de arborização propostas por Jim (1989). Nesta quadra, a arborização se encontra organizada preponderantemente de

forma linear, com presença de árvores implantadas de forma aglomerada na praça adjacente, o que confere a este critério 1,0 pontos ao somatório do Índice.

Figura 23 - Etapas de aplicação do quinto critério



Fonte: adaptado pela autora de Google Earth (2018).

4.2.2 Resultados do Estudo Piloto

A pontuação final atingida pela quadra em estudo é de 2,0 pontos, como apresentado pela Tabela 11, sendo que os critérios em que a área pontuou foram os de relação entre o tamanho das copas das árvores viárias e a largura da via e a largura do passeio, tendo recebido 0,5 pontos para cada um, além do formato geométrico das árvores e massas arbóreas urbanas, recebendo 1,0 ponto neste critério. Nos critérios do Índice de Plena Ocupação e da taxa de área permeável coberta por vegetação, a pontuação computada foi 0 pontos.

Tabela 11 – Pontuação recebida em cada critério no estudo piloto

Parâmetro	Resultado bom	Pontuação recebida
Quantidade de arborização viária implantada em comparação ao ideal estimado	1,0	0,0
Relação entre o tamanho das copas e a largura das vias	1,0	0,5
Relação entre o tamanho das copas e a largura dos passeios	1,0	0,5
Taxa de área permeável coberta com vegetação em relação à área total	1,0	0,0
Formato geométrico das árvores e massas arbóreas urbanas	1,0	1,0
Soma total dos critérios	5,0	2,0

Fonte: elaborado pela autora.

A análise dos critérios indica que a área, apesar de apresentar arborização considerável, possui poucas árvores viárias, uma vez que a maior parte das árvores presentes na quadra em estudo estão implantadas em áreas privadas. No entanto, mesmo abrigando a maioria da arborização do local, as áreas privadas apresentam também pequeno percentual de área permeável. A escassez de arborização viária e a baixa taxa de área permeável foram as principais causas da baixa pontuação recebida pela quadra em estudo no Índice, sendo que a inadequação do porte das árvores às vias e passeios em que estão implantadas também reduziu significativamente a quantidade de pontos recebidos. Assim, pode-se considerar que esta área necessita de maior presença de arborização viária e a sua adequação ao contexto em que está inserida, além da implantação de estratégias que aumentem a permeabilidade do solo do local.

A realização do estudo piloto demonstrou a aplicabilidade do Índice desenvolvido. Foi verificado que os critérios propostos são observáveis em imagens aéreas com qualidade de resolução alta, sendo que imagens de amplo acesso como as imagens de satélite fornecidas por satélites Landsat ou Copernicus podem servir

de base para o diagnóstico proposto. Outra constatação apurada é que, quando disponível, ferramentas de navegação virtual a nível do solo, tais como a operacionalidade oferecida pelo Google Street View, podem auxiliar na interpretação das imagens aéreas em áreas onde a visualização não é clara. No entanto, é possível observar também que o índice pode receber melhorias na calibragem dos parâmetros iniciais propostos para seus critérios, que apresentam-se desequilibrados. A área escolhida para o estudo é conhecida por ser considerada um setor urbano que apresenta boas condições quanto à quantidade de áreas vegetadas e presença de arborização para uma área que se encontra tão vinculada à malha urbana. A baixa pontuação recebida como resultado da aplicação do índice, de apenas 40% do valor máximo possível, indica que os critérios possuem parâmetros para pontuação muito severos, e devem ser reajustados. Além disto, é necessário reavaliar o peso de cada critério, tornando a expressão dos critérios de maior relevância na qualidade ambiental geral da área mais significativa no resultado do índice do que os critérios que analisam propriedades mais específicas das características da área.

4.3 Calibragem do índice

A calibragem do índice foi realizada inicialmente analisando e alterando, se necessário, os parâmetros para pontuação de cada critério, e em seguida foram avaliados novos pesos para cada um dos critérios, buscando elencar a relevância de cada um de forma mais eficiente. Os parâmetros foram alterados de forma que melhor se adaptassem à realidade das áreas urbanas, como apresentado na Tabela 12, que exhibe os critérios que sofreram alterações e as mudanças propostas.

Tabela 12 – Alterações nos parâmetros dos critérios

Critério	Parâmetro inicial	Parâmetro alterado
Quantidade de arborização viária implantada em comparação ao ideal estimado	1,0: diferenças de até 14,9% do IPO 0,5 diferenças entre 15 e 29,9% do IPO 0,0: diferenças acima de 30% do IPO	1,0: diferenças de até 24,9% do IPO 0,5 diferenças entre 25 e 49,9% do IPO 0,0: diferenças acima de 50% do IPO
Relação entre o tamanho das copas e a largura das vias	1,0: entre 0,66 e 1 0,5: entre 0,33 e 0,65 0,0: entre 0 e 0,32	Sem alterações
Relação entre o tamanho das copas e a largura dos passeios	1,0: entre 0,66 e 1 0,5: entre 0,33 e 0,65 0,0: entre 0 e 0,32	Sem alterações
Taxa de área permeável coberta com vegetação em relação à área total	1,0: taxa > 40% 0,5: entre 20% e 39,9% 0,0: taxa < 19,9%	1,0: taxa > 20% 0,5: entre 10% e 19,9% 0,0: taxa < 9,9%
Formato geométrico das árvores e massas arbóreas urbanas	1,0: áreas com arborização contínua, ramificada, curvilínea ou aglomerada, além de linear, agrupada, reticulada e anular combinadas com as citadas anteriormente 0,5: linear, agrupada, reticulada ou anular 0,0: dispersa	Sem alterações

Fonte: elaborado pela autora.

O critério de quantidade de arborização viária implantada em relação ao ideal estimado recebeu alterações para tornar seus parâmetros menos severos, alterando as diferenças percentuais no resultado das áreas de 14,9% para 24,9% para receber 1,0 ponto, de 15 a 29,9% para 25 a 49,9% para receber 0,5 pontos, e de acima de

30% para 50% para receber 0 pontos. Os critérios de relação entre o tamanho das copas e a largura das vias e relação entre o tamanho das copas e a largura dos passeios não sofreram alterações, pois demonstraram resultados razoáveis em relação à área apresentada no estudo piloto. O critério de taxa de área permeável coberta com vegetação em relação à área total também sofreu alterações, passando de taxas acima de 40% para 20% para contabilizar 1,0 ponto, de taxas entre 20 e 39,9% para entre 10 e 19,9% 0,5 pontos, e taxas abaixo de 19,9% para 9,9% para 0,0 pontos. O critério referente ao formato geométrico das árvores e massas arbóreas urbanas também permaneceu o mesmo, valorizando áreas que apresentam aglomerações de árvores como praças e jardins como uma complementação à contribuição da arborização viária para a qualidade ambiental do local.

O peso de cada critério foi definido através da metodologia do Processo de Análise Hierárquica (AHP) proposto por Saaty (2008). A classificação dos critérios de acordo com as classes estabelecidas pela metodologia utilizada é apresentada pela Tabela 13. As siglas utilizadas são as seguintes: QAV é a quantidade de arborização viária implantada em comparação ao ideal estimado, RTCLV é a relação entre o tamanho das copas e a largura das vias, RTCLP é a relação entre o tamanho das copas e a largura dos passeios, TAP é a taxa de área permeável coberta com vegetação em relação à área total, e FG é o formato geométrico das árvores e massas arbóreas urbanas.

Tabela 13 – Classificação dos critérios pelo Processo de Análise Hierárquica

	QAV	RTCLV	RTCLP	TAP	FG
QAV	1	2,5	2,5	1	1
RTCLV	1/2,5	1	1	1/2,5	1/2,5
RTCLP	1/2,5	1	1	1/2,5	1/2,5
TAP	1	2,5	2,5	1	1
FG	1	2,5	2,5	1	1

Fonte: elaborado pela autora.

As prioridades obtidas com o Processo de Análise Hierárquica são apresentadas na Tabela 14.

Tabela 14 – Prioridades dos critérios segundo o Processo de Análise Hierárquica

QAV	RTCLV	RTCLP	TAP	FG
0,26	0,11	0,11	0,26	0,26

Fonte: elaborado pela autora.

Desta forma, as prioridades foram utilizadas como multiplicadores para o cálculo da pontuação recebida pelos critérios do Índice, através da avaliação individual de cada um como resultado bom, regular ou insatisfatório. A pontuação máxima de cada um dos critérios é apresentada pela Tabela 15 abaixo, sendo que o somatório total do Índice é agora de 10 pontos.

Tabela 15 – Pontuação dos critérios do Índice

QAV	RTCLV	RTCLP	TAP	FG
2,6	1,1	1,1	2,6	2,6

Fonte: elaborado pela autora.

Assim, a equação final, que representa o somatório das pontuações dos critérios do Índice, está representada abaixo, sendo que IQQVU refere-se a Índice Quanti-Qualitativo de Avaliação da Vegetação de Setores Urbanos, QAV é a quantidade de arborização viária implantada em comparação ao ideal estimado, RTCLV é a relação entre o tamanho das copas e a largura das vias, RTCLP é a relação entre o tamanho das copas e a largura dos passeios, TAP é a taxa de área permeável coberta com vegetação em relação à área total, e FG é o formato geométrico das árvores e massas arbóreas urbanas:

$$IQQVU = (2,6 * QAV) + (1,1 * RTCLV) + (1,1 * RTCLP) + (2,6 * TAP) + (2,6 * FG)$$

Desta forma, a avaliação recebida pela área analisada durante o Estudo Piloto sofre algumas alterações. No critério relativo à quantidade de arborização viária implantada em comparação ao ideal estimado, apesar de ter os parâmetros alterados de forma a ser menos rigoroso, a área ainda não atinge a taxa máxima de 50% de déficit em relação ao ideal estimado no cálculo do Índice de Plena Ocupação, uma vez que possui uma diferença de 80% de déficit em relação ao IPO, novamente não pontuando neste critério. Os critérios de relação entre o tamanho de copa e a largura das vias e passeios permanecem iguais, recebendo 0,5 pontos para

cada um deles. Para o critério de taxa de área permeável coberta com vegetação em relação à área total, a área passa a receber 0,5 pontos com os novos parâmetros adotados, em comparação aos 0,0 pontos auferidos inicialmente. Para o critério referente ao formato geométrico das árvores e massas arbóreas urbanas, que também não sofreu mudança em seus parâmetros, a área continua recebendo 1,0 ponto. A relação entre a pontuação recebida em cada um dos critérios e a quantidade máxima possível de pontos está expressa na Tabela 16.

Tabela 16 – Pontuação recebida pelo Estudo Piloto após calibragem do Índice

Parâmetro	Resultados obtidos	Pontuação recebida	Pontuação máxima
Quantidade de arborização viária implantada em comparação ao ideal estimado	0,0	0,0	2,6
Relação entre o tamanho das copas e a largura das vias	0,5	0,55	1,1
Relação entre o tamanho das copas e a largura dos passeios	0,5	0,55	1,1
Taxa de área permeável coberta com vegetação em relação à área total	0,5	1,3	2,6
Formato geométrico das árvores e massas arbóreas urbanas	1,0	2,6	2,6
Soma total dos critérios	2,0	5,0	10

Fonte: elaborado pela autora.

Após os ajustes realizados nos pesos dos critérios do Índice, a área avaliada no Estudo Piloto passou a atingir 50% da pontuação máxima total, aumentando 10% em relação aos 40% que alcançava anteriormente. A pontuação atingida pela área aumentou por conta da valorização dos critérios relativos à taxa de área permeável coberta com vegetação em relação à área total e de formato geométrico das árvores e massas arbóreas urbanas, que compensaram a diminuição na expressão dos critérios da relação entre o tamanho das copas e a largura das vias e passeios.

O setor selecionado é delimitado pela Rua Ubatuba a norte, pela Rua Veranópolis a leste, e pela Avenida dos Industriários a oeste, sendo que a sul é demarcado pela Avenida Plínio Brasil Milano, que também divisa o fim da Vila do IAPI, como indicado pela Figura 25.

Figura 25 – Delimitação da área do estudo de caso



Fonte: adaptado pela autora de Google Earth (2018).

4.4.1 Índice de Plena Ocupação (IPO)

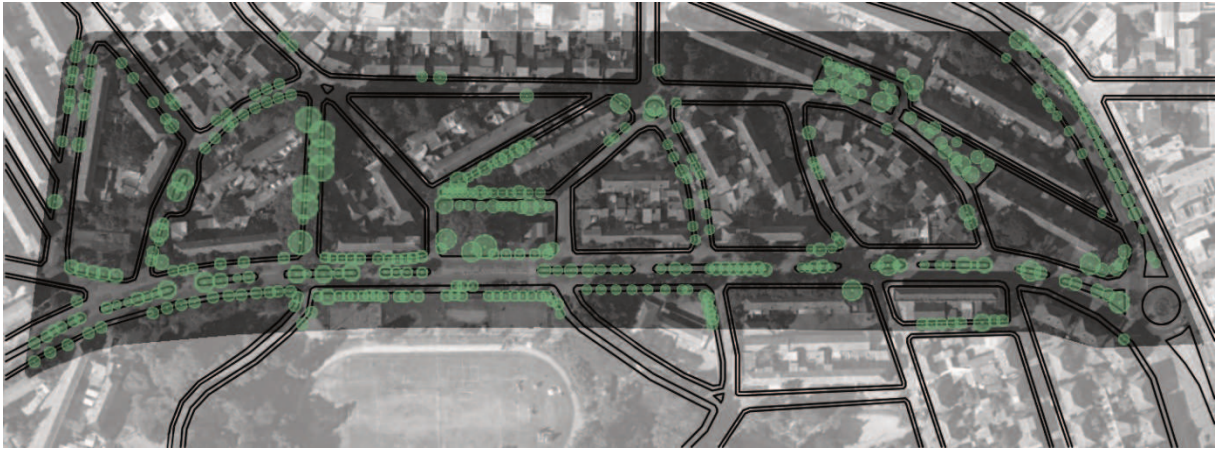
Para a análise do IPO da área, foi designado um espaçamento médio ideal de 10m entre as árvores, considerando para tanto as características locais da área como as dimensões das vias e passeios, a existência significativa de arborização de tamanho grande e a quantidade abundante de vegetação implantada em áreas privadas que também estendem seus benefícios à área pública. Assim, o cálculo do IPO ideal para a área em estudo está expresso na fórmula abaixo, considerando para o cálculo a unidade básica para vias de 100 metros lineares. O resultado indica que, com esta distância média, deveriam existir 10 árvores plantadas a cada 100 metros de passeio.

$$IPO = \frac{100 \text{ m}}{10} = 10$$

A identificação das árvores que se encontram implantadas nos passeios da área é apresentada pela Figura 26. Durante o levantamento são constatadas 385 unidades de arborização viária, distribuídas nos passeios de todas as vias da área. No entanto, algumas vias apresentam trechos com pouca ou nenhuma arborização

viária, dependendo das árvores implantadas em locais privados para o sombreamento de seus passeios.

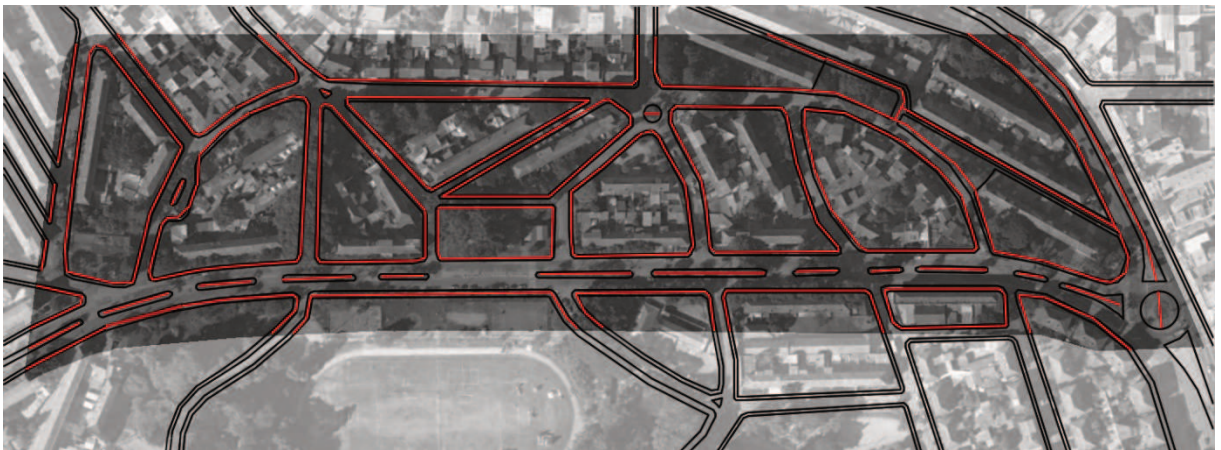
Figura 26 – Identificação da arborização viária presente na área



Fonte: adaptado pela autora de Google Earth (2018).

As áreas consideradas para o cálculo da metragem de calçadas existente são apresentadas na Figura 27. Foram considerados todos os passeios, em ambos os lados das vias, e a metragem linear dos canteiros centrais. Foram identificados 5.353 metros de passeios e canteiros centrais.

Figura 27 – Dimensões consideradas para cálculo da metragem de passeios



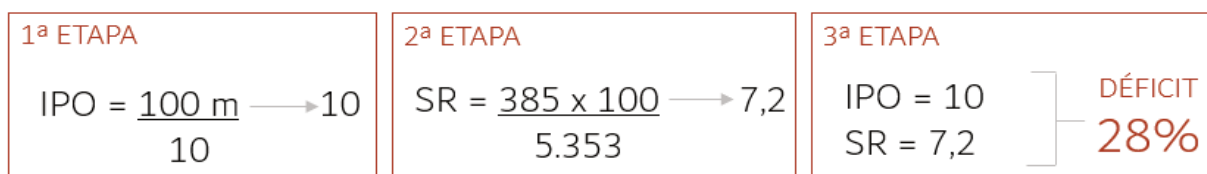
Fonte: adaptado pela autora de Google Earth (2018).

Desta forma, o cálculo da situação real (SR) está representado na equação abaixo, considerando os 5.353 metros de passeio contabilizados e as 389 árvores presentes na arborização viária da área:

$$SR = \frac{385 \times 100}{5.353} = 7,2$$

A comparação entre o resultado da situação ideal, de 10 árvores a cada 100 metros de passeio, e o resultado da situação real, de 7,2 árvores a cada 100 metros de passeio, fornece a porcentagem de 72% de ocupação em relação ao ideal, que seria 100%. Assim, apresenta um déficit de 28% de vegetação viária, contabilizando 0,5 pontos neste critério. A Figura 28 demonstra as etapas de aplicação deste critério.

Figura 28 – Etapas de aplicação do primeiro critério

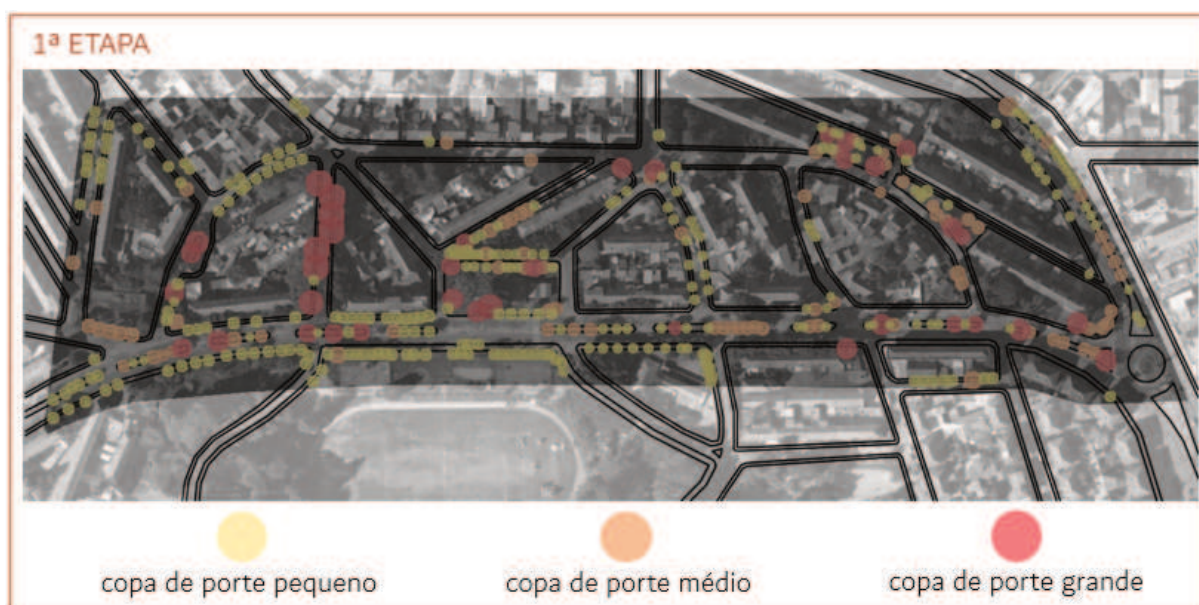


Fonte: elaborado pela autora.

4.4.2 Relação entre o tamanho das copas e largura da via

A classificação das árvores viárias presentes na área de estudo, baseada no tamanho de sua copa, está representada na Figura 29, com apresentação em diferentes cores para cada classe de tamanho.

Figura 29 - Classificação das árvores viárias de acordo com o seu tamanho de copa



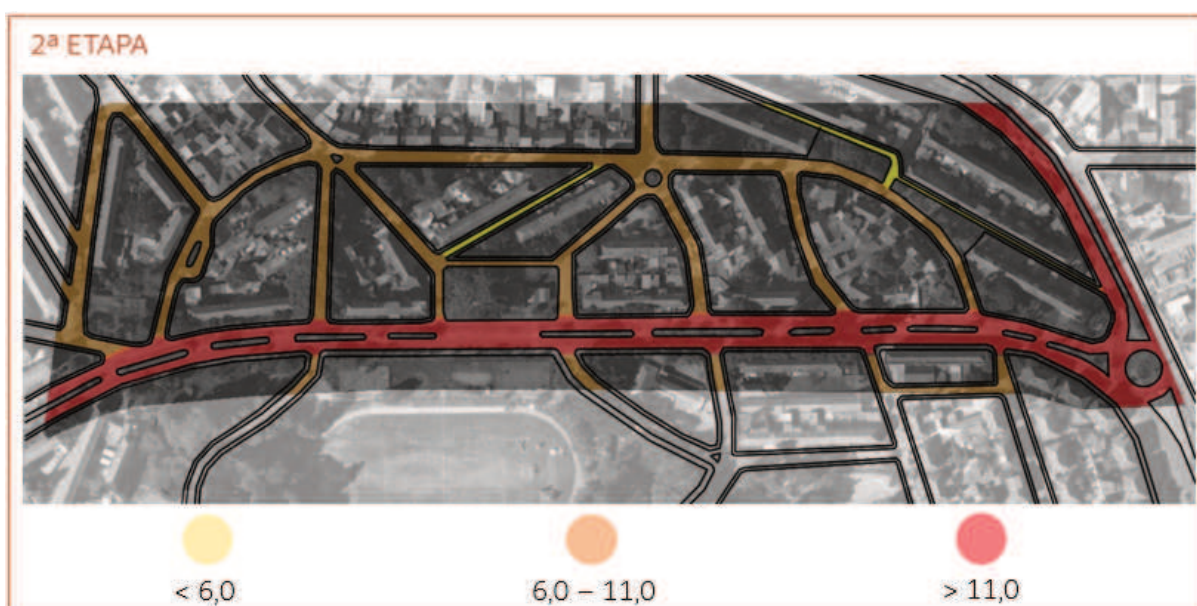
Fonte: adaptado pela autora de Google Earth (2018).

Das 385 árvores detectadas, 39 foram categorizadas em copas de tamanho grande, para copas com mais de 6 metros de diâmetro, enquanto 82 foram

identificadas como de tamanho médio, para copas com entre 4 e 6 metros de diâmetro, e 264 de tamanho pequeno, para copas com diâmetro menor que 4 metros.

Em seguida, as vias adjacentes à quadra em estudo são classificadas de acordo com sua largura, sendo as categorias vias com largura inferior a 6 metros, vias com largura entre 6 e 11 metros, e vias com largura superior a 11 metros. As vias estão classificadas com diferentes cores de acordo com sua largura na Figura 30.

Figura 30 - Classificação das vias de acordo com sua largura

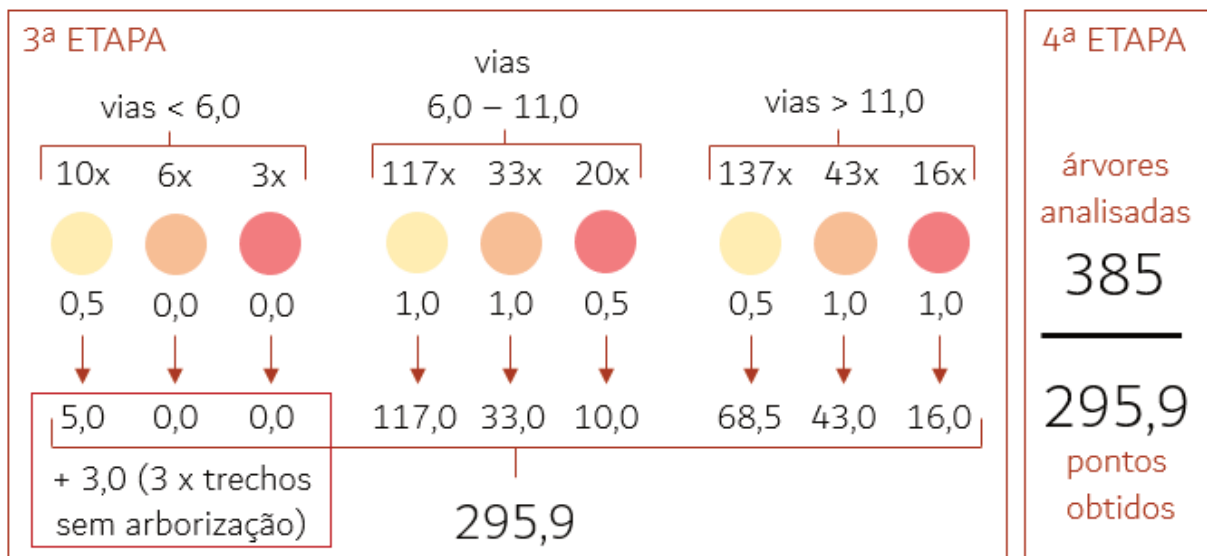


Fonte: adaptado pela autora de Google Earth (2018).

A análise dos dados levantados permite a observação de que na via de largura inferior a 6 metros existem 10 árvores de tamanho de copa pequeno, contabilizando 0,5 pontos cada uma, e 6 árvores de tamanho de copa médio e 3 árvores de tamanho de copa grande, que conferem 0 pontos ao somatório. Foram também identificados 3 trechos sem arborização, contabilizando 1,0 ponto cada um. Nas vias de largura entre 6 e 11 metros, por sua vez, encontram-se 117 árvores de tamanho de copa pequeno, que adicionam 1,0 ponto cada uma e 33 árvores de tamanho médio, que computam 1,0 ponto cada uma, e 20 árvores de tamanho de copa grande, que contabilizam 0,5 pontos cada uma. Finalmente, nas vias de largura superior a 11 metros, foram contabilizadas 137 árvores de tamanho de copa pequeno, que adicionam 0,5 pontos cada, e 43 árvores de tamanho de copa médio e

16 de tamanho de copa grande, que somam 1,0 ponto por unidade. Desta forma, as vias analisadas contabilizam 8 pontos nas vias de largura inferior a 6 metros, 160 pontos nas vias de largura entre 6 e 11 metros, e 127,5 pontos nas vias de largura superior a 11 metros, possuindo um somatório final de 295,5 pontos. A média resultante da área é de 0,77 pontos, o que confere 1,0 ponto para ser adicionado ao cálculo do resultado final do índice. A Figura 31 demonstra as etapas para aplicação deste critério.

Figura 31 – Etapas de aplicação do segundo critério

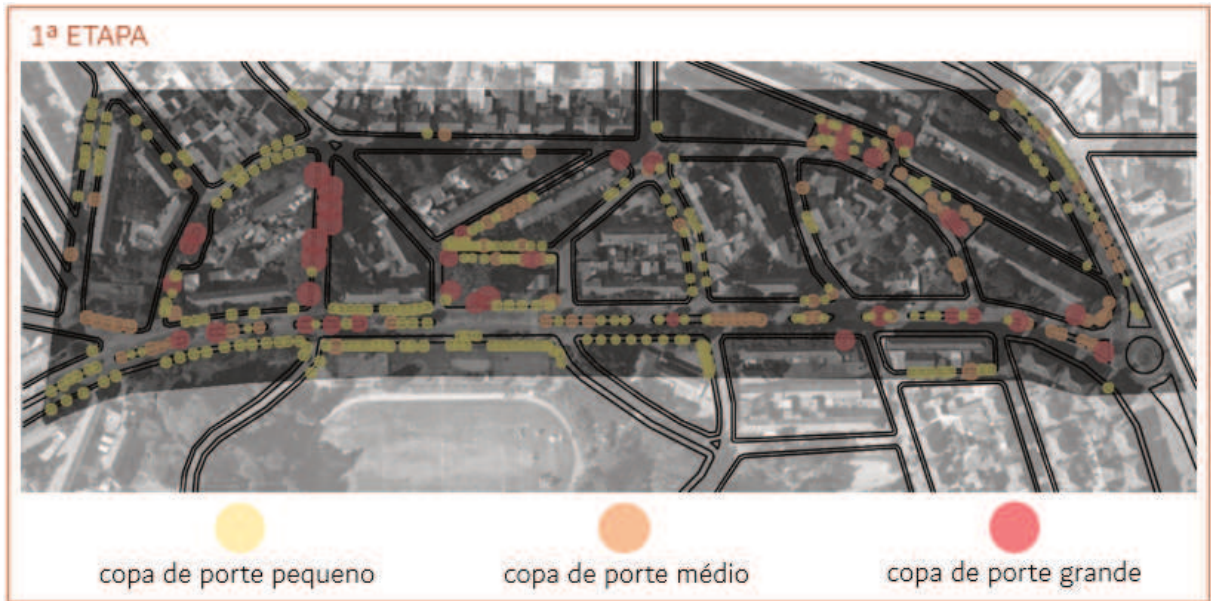


Fonte: elaborado pela autora.

4.4.3 Relação entre o tamanho das copas e largura do passeio

A classificação das árvores de acordo com o tamanho de suas copas está demonstrada na Figura 32, com apresentação em diferentes cores para cada classe de tamanho.

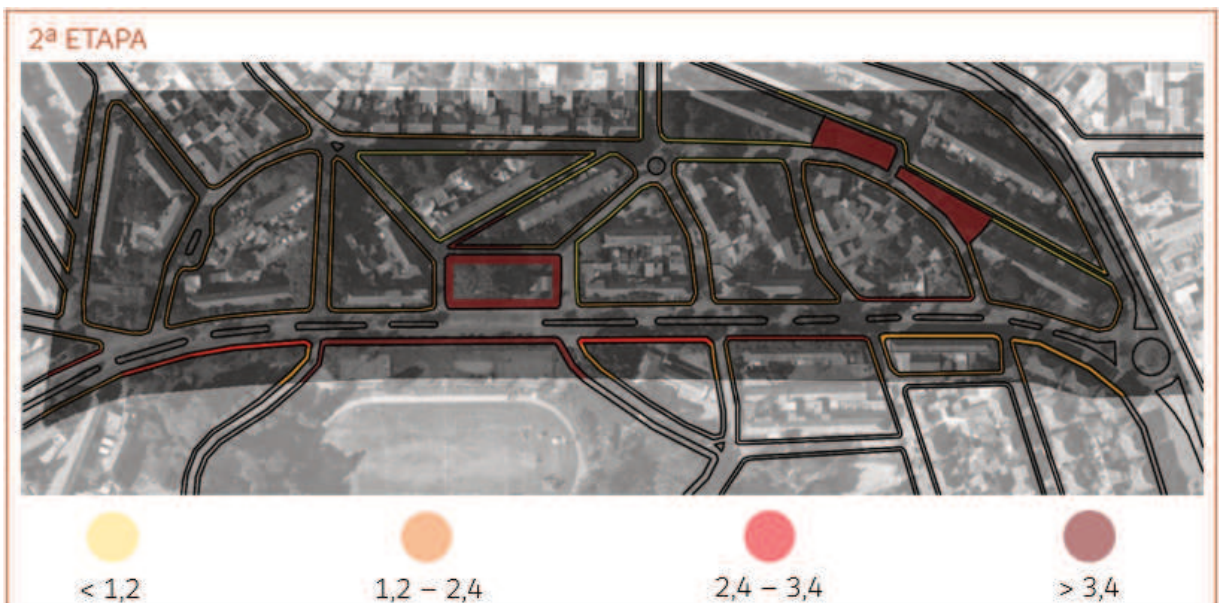
Figura 32 - Classificação das árvores viárias de acordo com o seu tamanho de copa



Fonte: adaptado pela autora de Google Earth (2018).

A categorização dos passeios presentes na área de estudo de acordo com sua largura foi realizada dividindo-os em classes de passeio com largura de até 1,2 metros, entre 1,2 e 2,4 metros, de 2,4 a 3,4 metros, e passeios com largura superior a 3,4 metros. A classificação dos passeios da área de estudo está demonstrada na Figura 33, onde cada classe de largura recebeu uma cor para graficação.

Figura 33 - Classificação dos passeios de acordo com sua largura














Fonte: adaptado pela autora de Google Earth (2018).

A análise dos dados, juntamente com a Tabela 08, provê a pontuação dos passeios neste critério. A área apresenta 12 trechos de passeios com largura inferior a 1,2 metros sem arborização, contabilizando 1,0 ponto cada, além de 4 árvores pequenas, somando 0,5 pontos cada uma, e 5 médias e 1 grande, que adicionam 0 pontos cada neste tipo de passeio. Nos passeios de largura entre 1,2 e 2,4 metros, encontram-se 125 árvores com tamanho de copa pequeno e 15 árvores com tamanho de copa médio, que computam 1,0 ponto cada, e 10 árvores de tamanho de copa grande, adicionando 0,5 pontos cada. Os passeios com largura entre 2,4 e 3,4 metros apresentam 21 árvores de copa de tamanho pequeno, e 1 árvore de copa de tamanho grande, somando 1,0 ponto para cada uma. Nos passeios com largura superior a 3,4 metros existem 74 árvores de copa de tamanho pequeno, que contabilizam 0,5 pontos cada uma, além de 19 árvores de copa de tamanho médio e 11 de tamanho grande, somando 1,0 ponto cada uma. Assim, os passeios com menos de 1,2 metros de largura contabilizam 14 pontos, enquanto os passeios com largura entre 1,2 e 2,4 somam 147,5 pontos, os passeios com largura entre 2,4 e 3,4 adicionam 22 pontos, e os passeios com largura superior a 3,4 metros pontuam 67 pontos.

Com isto, os passeios analisados obtêm um somatório total de 250,5 pontos, o que resulta em uma média de 0,88 pontos, uma vez que para este cálculo foram desconsideradas as 99 árvores localizadas nos canteiros centrais. Este resultado garante que este critério contabilize 1,0 ponto na média final do Índice. A Figura 34 demonstra as etapas de aplicação deste critério.

Figura 34 – Etapas de aplicação do terceiro critério

3ª ETAPA										4ª ETAPA		
passeio < 1,2			passeio 1,2 – 2,4			passeio 2,4 – 3,4		passeio > 3,4			árvores analisadas	286
4x	5x	1x	125x	15x	10x	21x	1x	74x	19x	11x		
												
0,5	0,0	0,0	1,0	1,0	0,5	1,0	1,0	0,5	1,0	1,0		
↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓		
2,0	0,0	0,0	125,0	15,0	5,0	21,0	1,0	37,0	19,0	11,0		
+ 12,0 (12 trechos sem arborização)												
										250,5		

Fonte: elaborado pela autora.

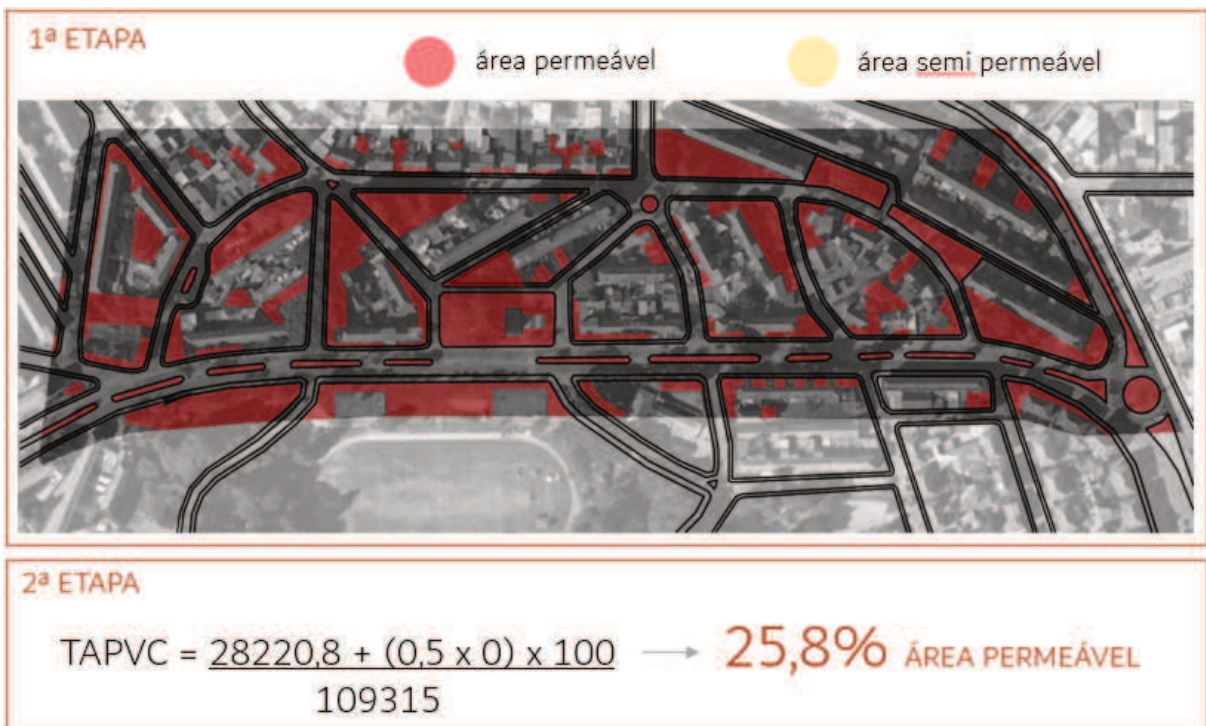
4.4.4 Taxa de área permeável coberta por vegetação (TAPCV)

Para a análise deste critério, foram identificadas todas as áreas permeáveis cobertas por vegetação, conforme indicado pela Figura 35. Na área em estudo, foram identificadas apenas áreas permeáveis cobertas por vegetação, e nenhuma área semipermeável coberta por vegetação. O somatório das áreas permeáveis resultou em 28.220,8 m², sendo que a área total da quadra em estudo é de 109.315,0 m². Desta forma, o percentual de área coberta por vegetação é de 25,8%, um resultado considerado bom e que contabiliza, portanto, 1,0 ponto ao somatório.

$$\text{TAPCV} = \frac{28220,8 + (0,5 \times 0) \times 100}{109315} = 25,8\%$$

A Figura 35 demonstra as etapas de aplicação deste critério.

Figura 35 – Etapas de aplicação do quarto critério



Fonte: adaptado pela autora de Google Earth (2018).

4.4.5 Formato geométrico das árvores e massas arbóreas urbanas

A análise deste critério inicia com a identificação de todas as copas de árvores presentes na área em estudo, conforme Figura 36. Em seguida, é realizada sua comparação com as categorias de formatos geométricos de agrupamento de arborização propostas por Jim (1989). A área possui arborização implantada tanto de forma linear, acompanhando o desenho das vias, quanto de forma aglomerada em diversos pontos. Assim, contabiliza 1,0 ponto ao somatório final do índice.

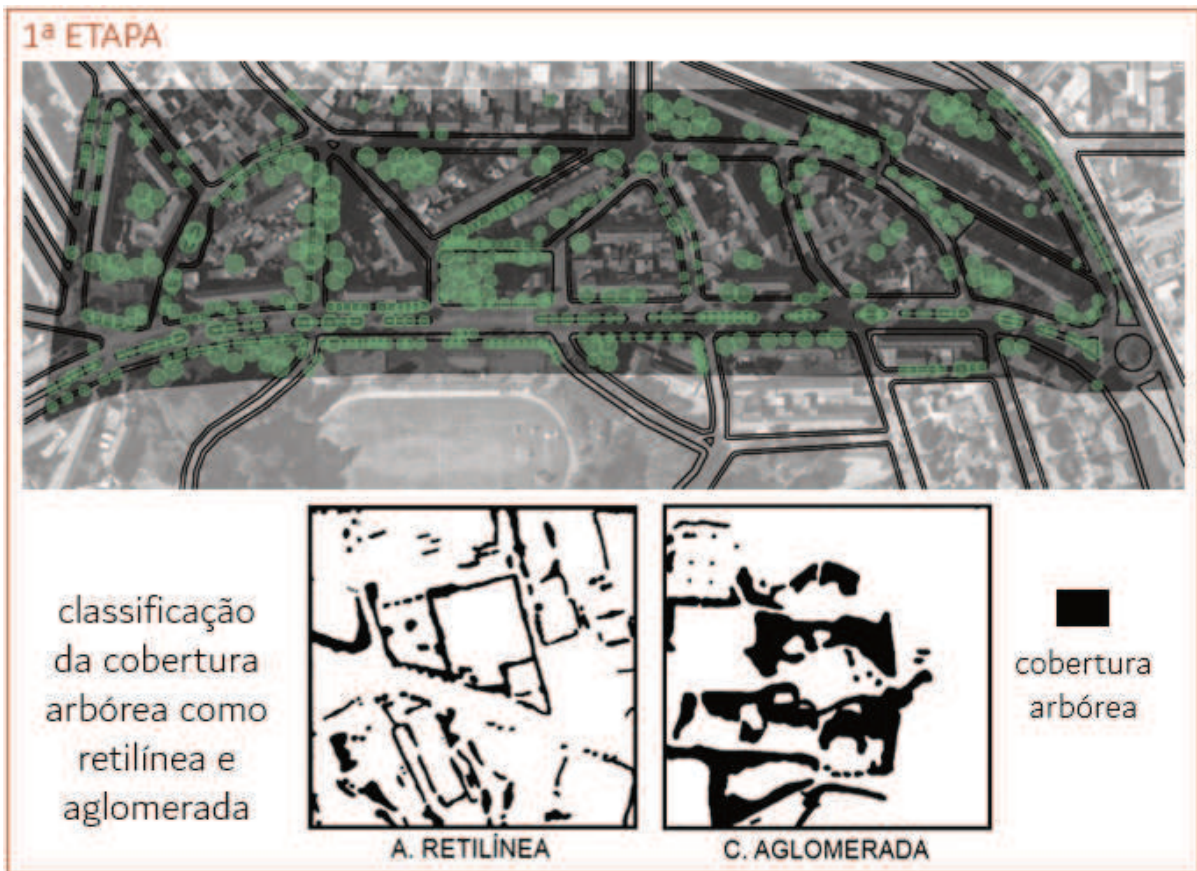
Figura 36 - Arborização existente na área de estudo



Fonte: adaptado pela autora de Google Earth (2018).

A Figura 37 demonstra as etapas de aplicação deste critério.

Figura 37 – Etapas de aplicação do quinto critério



Fonte: adaptado pela autora de Google Earth (2018).

4.6 Análise dos resultados

O diagnóstico da área em estudo revela que, de forma geral, a vegetação implantada atende bem aos critérios de qualidade e quantidade estabelecidos pelo Índice, recebendo como resultado a pontuação de 8,7 pontos, como apresentado pela Tabela 17. A área pontuou em todos os critérios analisados, recebendo 0,5 pontos pela quantidade de arborização viária implantada em comparação ao ideal estimado, e 1,0 ponto para os critérios de relação entre o tamanho das copas e largura das vias e passeios, taxa de área permeável coberta com vegetação, e formato geométrico das árvores e massas arbóreas.

Tabela 17 – Pontuação recebida pelo Estudo de Caso

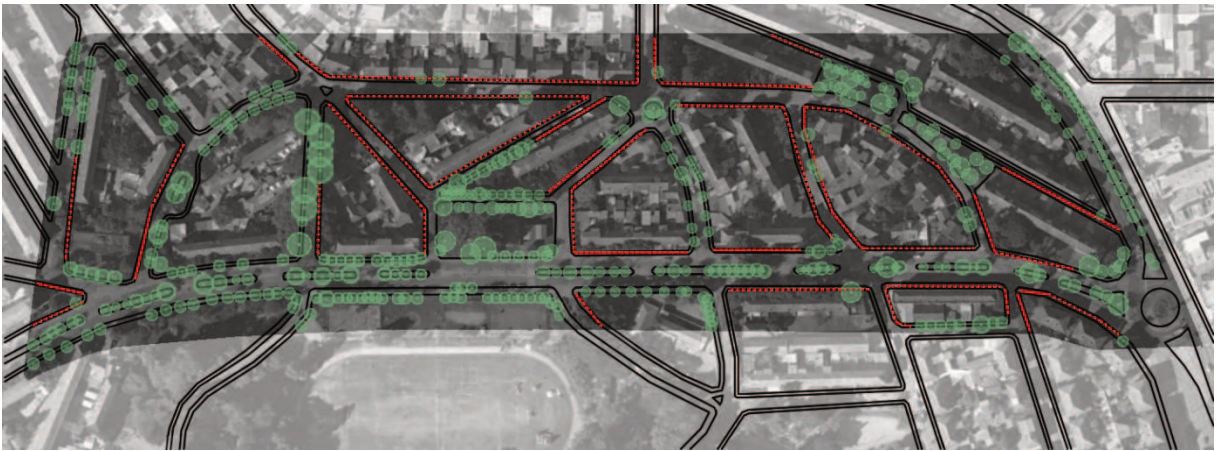
Parâmetro	Resultados	Pontuação	Pontuação
-----------	------------	-----------	-----------

	obtidos	recebida	máxima
Quantidade de arborização viária implantada em comparação ao ideal estimado	0,5	1,3	2,6
Relação entre o tamanho das copas e a largura das vias	1,0	1,1	1,1
Relação entre o tamanho das copas e a largura dos passeios	1,0	1,1	1,1
Taxa de área permeável coberta com vegetação em relação à área total	1,0	2,6	2,6
Formato geométrico das árvores e massas arbóreas urbanas	1,0	2,6	2,6
Soma total dos critérios	4,5	8,7	10

Fonte: elaborado pela autora.

A observação do resultado do critério de quantidade de arborização viária implantada em comparação ao ideal estimado indica que existe presença suficiente de arborização nos passeios das vias para manter a qualidade ambiental das ruas, apesar de várias vias apresentarem trechos com pouca ou nenhuma presença de arborização viária, como apresentado em vermelho na Figura 38. A presença de canteiros centrais arborizados auxilia a compensar a falta de arborização viária em outros trechos. A área em estudo apresenta arborização em abundância, e com frequência a vegetação implantada em áreas privadas estende seus benefícios como a capacidade de gerar sombra e regular a temperatura em seu entorno aos passeios e vias do local. No entanto, é recomendável a implantação de arborização viária no passeio, de forma a concentrar sua eficácia na área de passagem de pedestres e veículos, e garantir a qualidade ambiental das ruas com a gestão do poder público, não dependendo de decisões privadas quanto à manutenção da vegetação existente para tanto.

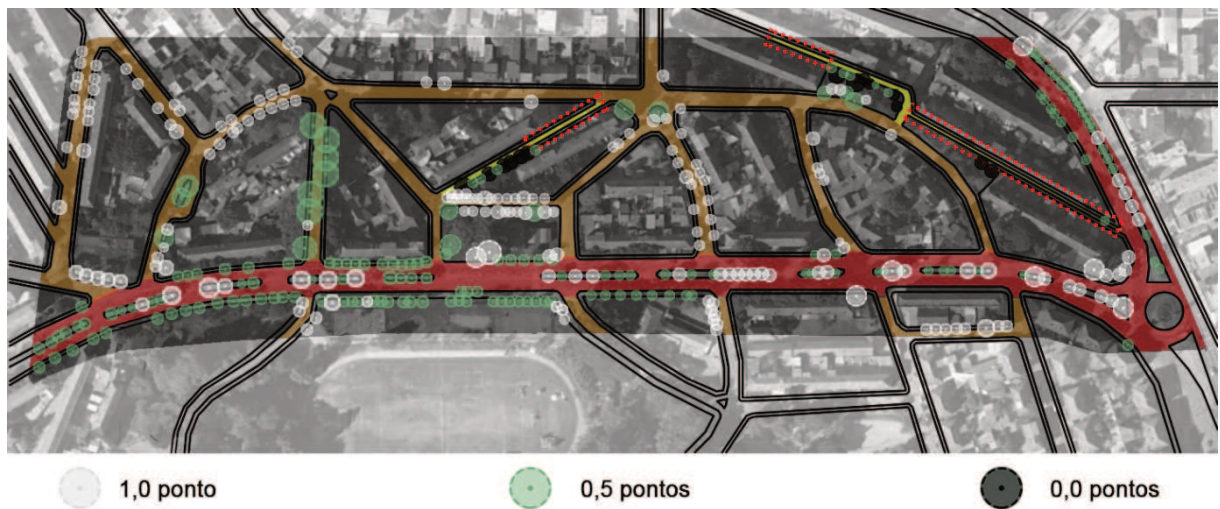
Figura 38 – Árvores viárias, em verde, e trechos com arborização viária escassa, em vermelho, existentes na área em estudo



Fonte: adaptado de Google Earth (2018)

No critério de relação entre tamanho de copa e largura das vias, das 385 árvores analisadas, 9 receberam 0,0 pontos, enquanto 167 receberam 0,5 pontos e 209 receberam 1,0 ponto. Também foram identificados 3 trechos de vias de tamanho inferior a 6 metros que pontuaram 1,0 ponto cada por não apresentarem arborização, conforme apresentado pelas linhas pontilhadas na Figura 39, juntamente com a discriminação das pontuações recebidas pelas árvores. Assim, 54,2% das árvores existentes foram identificadas como de porte adequado ao tamanho da via em que estão implantadas, sendo que 43,4% foram classificadas como de porte não ideal à largura da via em que estão dispostas, porém ainda assim possuem tamanho satisfatório, não ocasionando grandes inconvenientes. Apenas 2,4% das árvores analisadas foram classificadas como completamente impróprias.

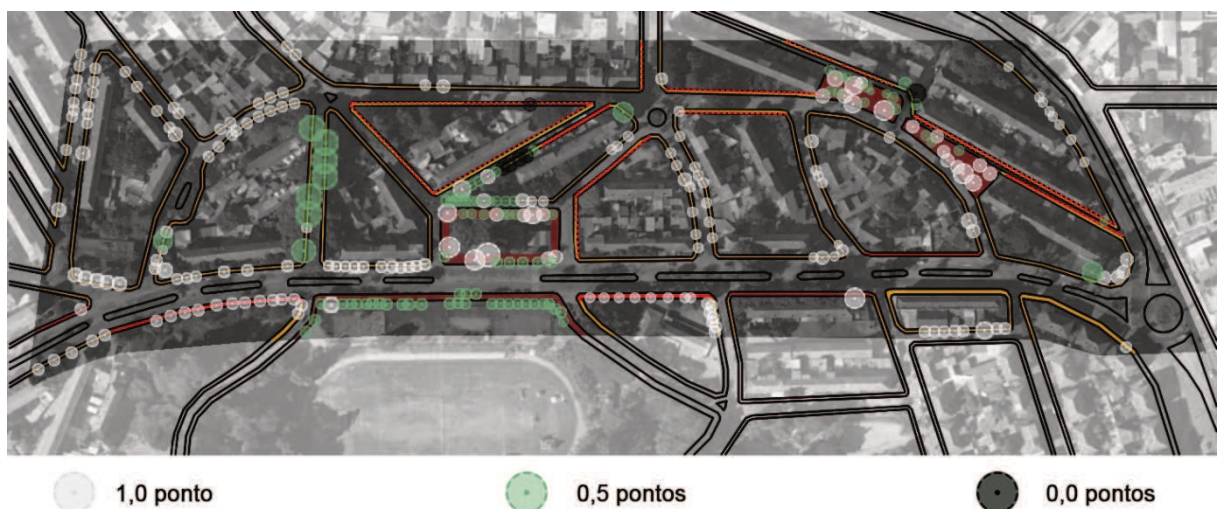
Figura 39 – Pontuação do critério de relação entre tamanho de copa e largura das vias



Fonte: adaptado de Google Earth (2018)

No critério de relação entre tamanho de copa e largura dos passeios, por sua vez, 6 árvores receberam 0,0 pontos, 106 receberam 0,5 pontos, e 273 receberam 1,0 ponto, enquanto 12 trechos de passeio com largura menor do que 1,2m receberam 1,0 ponto cada por não possuírem arborização. A figura 40 apresenta as pontuações recebidas pelas árvores, assim como os trechos de passeio pontuados por não possuírem arborização, em linhas pontilhadas vermelhas.

Figura 40 - Pontuação do critério de relação entre tamanho de copa e largura dos passeios



Fonte: adaptado de Google Earth (2018)

Desta forma, 78,7% das árvores analisadas foram consideradas adequadas ao passeio em que estão implantadas, 27,5% foram classificadas como de implantação satisfatória, e 1,6% foram consideradas impróprias.

A análise dos critérios de relação entre tamanho de copa e largura das vias e passeios demonstra que a maioria das árvores existentes podem ser consideradas adequadas ou satisfatórias ao contexto em que estão inseridas, sendo que apenas uma pequena minoria é considerada imprópria para sua implantação. É possível concluir, também, que a área possui poucas vias e passeios onde a distribuição de árvores não é aconselhada, o que se traduz na realidade com pouca ou nenhuma implantação de árvores nestes locais, aumentando assim a média da pontuação nestes critérios.

A taxa de área permeável coberta por vegetação, de 25,8%, é obtida devido às grandes extensões de áreas reservadas à arborização e praças existentes no local, que compensam as baixas taxas de áreas permeáveis que os terrenos privados das residências locais apresentam de forma geral. A observação do critério relativo ao formato geométrico das árvores e massas arbóreas demonstra que a área possui arborização abundante e bem distribuída, com vários pontos de aglomerações arbóreas que permitem às árvores maximizar seus efeitos benéficos e funcionar como pequenas florestas urbanas.

Neste contexto, pode-se concluir que a área em estudo possui vegetação em quantidade e qualidade de implantação satisfatória, gerando qualidade ambiental para o local. As melhorias que podem ser utilizadas como delimitadores para planos de ação na área são a implantação de arborização viária nos trechos em que ela é aconselhável, sendo que em vários intervalos das vias há carência de árvores para sombra dos passeios e ruas, e reavaliação das taxas de áreas permeáveis dos lotes privados locais, que apresentam grande cobertura impermeável.

Desta forma, é possível concluir que o Índice proposto atingiu seu objetivo almejado, elencando critérios relevantes para a implantação adequada da vegetação urbana, tendo como objetivo a qualidade ambiental de setores da cidade, e que podem ser observados sem ferramentas ou treinamento específico. Através de seu desenvolvimento, elencou parâmetros adequados para avaliação de cada critério, e estabeleceu prioridades entre os critérios apresentados através da determinação de pesos diferentes para cada um deles, de acordo com sua relevância em relação aos outros. Como resultado da aplicação do Índice para análise da área do estudo de

caso, foi possível comprovar a viabilidade da aplicação de seus critérios e realização de seus cálculos. A pontuação final obtida, assim como os resultados de cada critério do Índice individualmente, demonstrou que o processo de calibragem dos pesos e parâmetros dos critérios do Índice foi bem-sucedido, uma vez que traduziu o contexto geral da vegetação existente da área de forma satisfatória no processo de obtenção do diagnóstico. A análise dos critérios avaliados durante a aplicação do Índice também mostrou ser útil como uma ferramenta auxiliar na definição de diretrizes de intervenção para a melhoria da vegetação implantada em setores urbanos, de forma a colaborar no processo de decisão realizado pelos planejadores urbanos quando da execução de intervenções necessárias no local.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo se baseia no número cada vez maior de pesquisas que evidenciam a crescente queda na qualidade ambiental das cidades, fruto de diversas falhas de planejamento, e na relevância que a vegetação assume como elemento capaz de mitigar efeitos negativos da urbanização e prover diversos benefícios ambientais para os cidadãos e o meio urbano. Assim, visa colaborar na busca por alternativas mais saudáveis e sustentáveis de planejamento de aglomerados urbanos, combatendo a escassez e inadequação da vegetação urbana, características de significância quanto à degradação ambiental e gestão urbana ineficiente, fundamentando-se na utilização de técnicas de diagnóstico e análise dos elementos vegetais da cidade para levantamento de dados que respaldam as intervenções e melhorias efetuadas pelo poder público. Como resultado, apresenta uma metodologia de avaliação da qualidade e quantidade da vegetação implantada em setores urbanos, na forma do Índice Quanti-Qualitativo de Avaliação da Vegetação em Setores Urbanos (IQQVU). O seu roteiro de aplicação, com os passos para sua utilização, encontra-se no Apêndice A.

O Índice apresentado se propõe, também, a fazer um contraponto às disfunções apresentadas por outras técnicas de avaliação da vegetação urbana disponíveis para utilização pelos planejadores urbanos. Muitas ferramentas utilizadas amplamente para a avaliação da vegetação urbana e seus elementos, como os inventários das árvores urbanas, análise de fotografias aéreas através de SIGS, e diversos índices criados com este propósito, requerem recursos que podem dificultar sua aplicação. A necessidade de equipamentos ou treinamentos específicos e a complexidade de aplicação, assim como técnicas que demandam tempo ou deslocamentos, são empecilhos comuns às gestões públicas quando se trata de levantamento de dados a respeito da vegetação das cidades. Desta forma, os diagnósticos sobre a vegetação urbana obtidos pelas prefeituras podem ser inconclusivos e incompletos, um resultado tanto da falta de informações a respeito destes elementos quanto da sua fundamentação em dados rasos e imprecisos. Outro problema apresentado por diversas técnicas de avaliação da vegetação urbana empregadas atualmente é a limitação de suas análises, sendo que os levantamentos mais comuns realizados pela gestão pública em geral contemplam

em suas análises somente características quantitativas da vegetação das cidades, estendendo-se no máximo a avaliações qualitativas de elementos individuais, e raramente observando as potencialidades e deficiências da vegetação urbana como um todo. Com o objetivo de evitar este tipo de adversidade, o Índice proposto visa a utilização de materiais de fácil obtenção, como imagens aéreas e mapas viários da área a ser estudada. Seus critérios foram selecionados considerando como requisito serem características que não necessitam ferramentas específicas para análise, e que são capazes de traduzir o contexto geral da qualidade ambiental da área que a vegetação presente está sendo capaz de prover, avaliando critérios tanto quantitativos quanto qualitativos da vegetação. Sua avaliação contempla as características da área de forma ampla, e busca analisar características que têm a possibilidade de potencializar a influência benéfica que a vegetação pode prover ao ambiente urbano. Desta forma, o Índice pode auxiliar na elaboração de diretrizes para melhorias e intervenções necessárias na área de estudo, e servindo como uma ferramenta auxiliar útil no planejamento da vegetação urbana.

A compreensão da importância que a vegetação possui no contexto urbano é essencial para a elaboração de cidades melhores, e uma meta a ser alcançada com urgência. É necessário enfatizar sua atuação na manutenção tanto dos aspectos físicos do microclima urbano e ecossistemas quanto no psicológico da população, gerando a consciência coletiva de preservação e ampliação da influência benéfica que as áreas e elementos vegetais possuem no ambiente urbano. Desta forma, é possível evitar erros comuns de planejamento que ocorrem durante os processos ordinários de urbanização, e que restringem os locais reservados à implantação de vegetação em áreas residuais, sem tratamento adequado, e promovem a escassez de arborização e demais elementos vegetais junto à malha urbana. A gestão pública e os habitantes das cidades devem se unir em um esforço mútuo de integração entre o ambiente construído e a natureza, visando a saúde de seus cidadãos e edificações, objetivos que só podem ser alcançados com o acesso à educação ambiental e à informação da relevância da vegetação no meio urbano, e o estímulo ao estudo para sua adequada implantação e potencialização de seus benefícios. Assim, pode-se não apenas corrigir falhas geradas pela má condução política da vegetação urbana, mas também certificar-se que a população trabalhará de forma conjunta à gestão pública no sentido de recuperar os elementos naturais dentro das cidades, respeitando os limites mínimos de áreas vegetadas impostos pelas

prefeituras, evitando o corte desregulado de árvores, colaborando na recuperação de praças e demais áreas verdes, e promovendo o estabelecimento de outras estratégias sustentáveis como a instauração de hortas urbanas e jardins de polinizadores.

A revisão bibliográfica demonstrou que existem diversos métodos já desenvolvidos através de pesquisas e estudos que apresentam as melhores formas de avaliar e implantar a vegetação urbana sob vários aspectos, e de acordo com as características de cada local. É necessário, portanto, não apenas realizar estudos mais extensivos que auxiliem na elaboração de técnicas e metodologias para adequação da vegetação no meio urbano, mas também auxiliar que estas informações cheguem ao conhecimento dos órgãos responsáveis pela sua gestão, e que possam ser utilizadas de forma prática. Este estudo reúne não apenas as características analisadas na metodologia proposta pelo Índice apresentado, mas diversos outros atributos de relevância para que a vegetação seja capaz de prover sua influência benéfica nas cidades de forma eficiente, e que podem ser utilizados para fundamentar intervenções corretivas.

A utilização do método do Processo de Análise Hierárquica proposto por Saaty (2008) para realizar a ponderação dos pesos dos critérios do Índice apresentado neste trabalho auxiliou-o a alcançar seu objetivo. Para a elaboração deste estudo, foram consideradas como mais importantes as características mais relevantes na potencialização dos benefícios que a vegetação possui como um todo para a qualidade ambiental de uma área. A aplicação do Índice como apresentado permite que não apenas se obtenha um diagnóstico da área em estudo, mas a padronização de sua utilização proporciona também a comparação de seus resultados com outros locais em que ele tenha sido aplicado, auxiliando na observação das possíveis soluções e estratégias utilizadas intervenções e melhorias propostas. No entanto, o Processo de Análise Hierárquica possibilita o estudo de diferentes prioridades nos critérios, alterando o peso de cada um deles no resultado final do Índice. Desta forma, podem ser estudadas outras formas de aplicação para os mesmos critérios apresentados no Índice proposto, alterando os focos de prioridade de acordo com a necessidade do local a ser utilizado.

Outra consideração é a utilização cada vez mais comum de tecnologias para a avaliação de áreas e realização de diagnósticos. O Índice apresenta sua aplicação de forma mecânica, com o objetivo de se manter acessível e diminuir as limitações

de sua utilização. No entanto, softwares de análise de imagens aéreas têm se tornado cada vez mais acessíveis, e apresentam como qualidades a praticidade e rapidez em apresentar seus resultados.

Assim, este estudo apresenta como sugestões de trabalhos futuros:

- O estudo da operacionalidade do índice através de um SIG, com criação de software que permita a aplicação do índice proposto em imagens de alta resolução de forma automatizada;
- A análise da possibilidade de mudança no foco dos critérios de maior relevância do índice, permitindo outras formas de análise particularizadas para objetivos e locais específicos, através da definição de novos pesos para os critérios;
- A proposta de considerar formas de incluir outros critérios de análise quantitativa ou qualitativa que não foram englobados neste estudo, como a presença de fiação aérea na área, a pertinência da implantação da arborização em relação à insolação das edificações, a relevância da existência de diferentes recuos entre a arborização e as edificações, entre outros.

REFERÊNCIAS

- ABNT. **NBR 9050 – Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2004.
- ALVAREZ, I. A. **Qualidade do espaço verde urbano: uma proposta de índice de avaliação**. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2004.
- ANTUNES, O. E. D. **Análise multicritério em SIG para determinação de um índice especializado de pressão antrópica litoral – casos de Espinho, Caparica e Faro**. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Ciências Sociais e Humanas/Universidade Nova de Lisboa. Lisboa, 2012.
- BARGOS, D. C.; MATIAS, L. F. Mapeamento e análise de áreas urbanas em Paulínia (SP): estudo com a aplicação de geotecnologias. **Sociedade & Natureza**, v. 24, p. 143–156, 2012.
- BERNATZKY, A. The contribution of trees and green space to a town climate. **Energy and Buildings**, v. 5, n. 1, p. 1-10, 1982.
- BRAGA, T. M. Sustentabilidade e condições de vida em áreas urbanas: medidas e determinantes em duas regiões metropolitanas brasileiras. **Revista eure**, v. XXXII, n. 96, 2006.
- BRESSAN, F. O método do estudo de caso. **Administração Online: prática, pesquisa, ensino**, v. 1, n. 1, 2000.
- CAPORUSSO, D.; MATIAS, L. F. Áreas verdes urbanas: avaliação e proposta conceitual. **1º Simpósio de Pós-Graduação em Geografia do Estado de São Paulo**, 2008.
- CARVALHO, P. G. M.; BARCELLOS, F. C.; Políticas públicas e sustentabilidade ambiental – construindo indicadores de sustentabilidade. **Indicadores Econômicos FEE**, v. 37, n. 1, 2009.
- CAVALHEIRO, F.; DEL PICCHIA, P. Áreas Verdes: Conceitos, Objetivos E Diretrizes Para O Planejamento. **Anais do 1o Congresso Brasileiro Sobre Arborização Urbana e 4º Encontro Nacional Sobre Arborização Urbana**, p. 29–38, 1992.
- CAVALHEIRO, F.; NUCCI, J. C.; GUZZO, P.; ROCHA, Y. T. Proposição de

terminologia para o verde urbano. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, n. 3, 1999.

CERVO, A. L.; BERVIAN, P. A. **Metodologia Científica**. São Paulo: Prentice Hall, 2002.

COMISSÃO DAS COMUNIDADES EUROPEIAS. **Livro Verde sobre o Ambiente Urbano**. Luxemburgo: Serviço das Publicações Oficiais das Comunidades Europeias, 1991.

COSTA, C. S. Áreas Verdes: um elemento chave para a sustentabilidade urbana - a abordagem do Projeto GreenKeys. **Vitruvius**, p. 1–11, 2010.

DEGANI, J. L. **Tradição e modernidade no ciclo dos IAPs – o conjunto residencial do Passo D’Areia e os projetos modernistas no contexto da habitação popular dos anos 40 e 50 no Brasil**. Dissertação (Mestrado) - PROPARG/UNIRITER. Porto Alegre, 2003.

DEROIS, R.; ROCHA, A. L. C.; ECKERT, C. Primeiros passos na “Vila do IAPI” – Introdução a um estudo etnográfico das práticas cotidianas de um bairro de Porto Alegre. **Revista Iluminuras**, v. 6, n. 14, 2005.

DIMOUDI, A.; NIKOLOPOULOU, M. Vegetation in the urban environment: Microclimatic analysis and benefits. **Energy and Buildings**, v. 35, n. 1, p. 69–76, 2003.

DOTTO, B. R.; SILVA, A. S. A vegetação como parâmetro de sustentabilidade ambiental em cidades. **Revista arq.urb**, n. 19, 2017.

FURTINI, M. B.; FERREIRA, E.; SAMPAIO, F. M. T. Análise temporal da permeabilidade da superfície urbana da sub-bacia do córrego centenário em Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 4, 2007.

GIL, A. C. Métodos e técnicas de pesquisa social. 5ª edição. São Paulo: Atlas, 2007.

GODOY, A. S. refletindo sobre critérios de qualidade da pesquisa qualitativa. **Revista Eletrônica de Gestão Organizacional**, v. 3, n. 2, 2005.

GONÇALVES, W.; PAIVA, H. N. Árvores para o Ambiente Urbano. Viçosa, Minas Gerais: **Aprenda Fácil Editora**, 2004.

GONÇALVES, W.; PAIVA, H. N. Implantação da Arborização Urbana. Viçosa, Minas Gerais: **Editora da Universidade Federal de Viçosa**, 2013.

GOODE, W. J.; HATT, P. K. **Métodos em pesquisa social**. 7.ed. São Paulo: Nacional, 1979.

GUANDALIN, D.P.; HOPPE, J. M.; SCHERER, S. R.; POLTRONIERI, V. C.

Metodologia para elaboração de um plano de arborização urbana. Santa Maria: UFSM, CEPEF: FATEC, 1993.

GUPTA, K.; KUMAR, P.; PATHAN, S. K.; SHARMA, K. P. Landscape and Urban Planning Urban Neighborhood Green Index – A measure of green spaces in urban areas. **Landscape and Urban Planning**, v. 105, n. 3, p. 325–335, 2012.

IDB – Inter-American Development Bank. **Good practices for urban greening.** Washington: Environmental Division of Social Programs and Sustainable Development Department, 1997.

JIM, C. Y. Tree-canopy characteristics and urban development in Hong Kong. **Geographical Review**, v. 79, n. 2, 1989.

JIM, C. Y.; SHAN, X. Socioeconomic effect on perception of urban green spaces in Guangzhou, China. **Cities**, n. 31, 2013.

KOOHSARI, M. J.; MAVOA, S.; VILLANUEVA, K.; SUGIYAMA, T.; BADLAND, H.; KACZINSKY, A. T.; OWEN, N.; GILES-CORTI, B. Public open space, physical activity, urban design and public health: concepts, methods and research agenda. **Health & Place**, n. 33, 2015.

LI, X.; ZHANG, C.; LI, W.; RICARD, R.; MENG, Q.; ZHANG, W. Assessing street-level urban greenery using Google Street View and a modified green index. **Urban Forestry & Urban Greening**, n. 14, 2015.

LINDBERG, E.; HOLMGREN, J. Individual tree crown methods for 3d data from remote sensing. **Current Forrest Reports**, v.3, i.1, p. 19-31, 2017.

LONDE, P. R.; MENDES, P. C. A Influência das Áreas Verdes na Qualidade de Vida Urbana. **Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde**, v. 10, n. 18, p. 264–272, 2014.

LUCON, T.N.; PRADO FILHO, J. F.; SOBREIRA, F. G. Índice e percentual de áreas verdes para o perímetro urbano de Ouro Preto – MG. **REVSBAU**, v.8, n.3, p. 63-78, 2013.

MACKEY, A. GASS, S. M. **Second Language Research – methodology and design.** Mahwah, New Jersey, Laurence Erlbaum Associates, Publishers, 2005.

MALHOTRA, N.K. **Pesquisa de marketing: uma orientação aplicada.** 6. ed. São Paulo, SP: Bookman, 2012.

LAKATOS, E; MARCONI, M. **Técnicas de Pesquisa: Planejamento e execução de pesquisas, amostragens e técnicas de pesquisa, elaboração, análise e interpretação de dados.** 6ª edição. São Paulo: Atlas, 2006.

- MASCARÓ, L. E. DE; MASCARÓ, J. L. **Vegetação urbana**. 3. ed. Porto Alegre: MasQuatro, 2010.
- MOUSSEAU, V. Compensatoriness of preferences in matching and choice. **Foundation of Computing and Decision Sciences**, v. 22, n. 1, 1997.
- NETO, J. P. S. **Arborização de vias públicas**. Salvador, BA: COELBA, 1984.
- NEVES, J.L. Pesquisa Qualitativa – características, usos e possibilidade. **Cadernos de pesquisas em administração**, v.1, n.3, 1996.
- NOWAK, D. J.; ROWNTREE, R. A.; MCPHERSON, E. G.; SISINNI, S. M.; KERKMANN, E. R.; STEVENS, J. C. Measuring and analyzing urban tree cover. **Landscape and Urban Planning**, v.36, p. 49-50, 1996.
- NUCCI, J. C. **Qualidade Ambiental E Adensamento Urbano**. 1. ed. Curitiba: UFPR, 2008.
- OLIVEIRA, C.H. **Planejamento ambiental na cidade de São Carlos (SP) com ênfase nas áreas públicas e áreas verdes: diagnósticos e propostas**. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais) – Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 1996.
- PEREIRA, M. T. et al. Desenvolvimento de indicador de qualidade de áreas verdes urbanas (IQAVU) e aplicação em cidades paranaenses. **Agronegócios e Meio Ambiente**, v. 5, p. 132–159, 2012.
- PREFEITURA DE CAMPO GRANDE. **Guia de Arborização Urbana de Campo Grande, MS**. Campo Grande, 2012.
- PREFEITURA DE NATAL. **Manual de Arborização Urbana de Natal**. Natal: Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Urbanismo, 2009.
- PREFEITURA DE SÃO PAULO. **Manual Técnico de Arborização Urbana**. São Paulo: Secretaria Municipal do Verde e do Meio Ambiente, 2015.
- QIU, L.; LINDBERG, S.; NIELSEN, A. B. Is biodiversity attractive? – On-site perception of recreational and biodiversity values in urban green space. **Landscape and Urban Planning**, n. 119, 2013.
- RHEW, I. C.; STOEP, A. V.; KEARNEY, A.; SMITH, N. L.; DUNBAR, M. D. Validation of the normalized difference vegetation index as a measure of neighborhood greenness. **Annals of Epidemiology**, v. 21, n. 12, p. 946–952, 2011.
- ROSENFELD, A. H.; AKBARI, H.; BRETZ, S.; FISHMAN, B. L.; KURN, D. M.; SAILOR, D.; TAHA, H. Mitigation of urban heat islands: materials, utility programs, updates. **Energy and Buildings**, v. 22, n. 3, p. 255–265, 1995.

ROUGIER, S.; PUISSANT, A.; STUMPF, A.; LACHICHE, N. Comparison of sampling strategies for object-based classification of urban vegetation from Very High Resolution satellite images. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, n. 51, p. 60-73, 2016.

RUTTER, S. M. The integration of GPS, vegetation mapping and GIS in ecological and behavioural studies. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, suplemento especial, p. 63-70, 2007.

SAATY, T. L. Decision making with the analytic hierarchy process. **International Journal of Services Sciences**, v. 1, n. 1, 2008.

SANTAMOURIS, M.; GEORGAKIS, C. Energy and indoor climate in urban environments: recent trends. **Building Services Engineering Research and Technology**, v. 24, n. 2, p. 69–81, 2003.

SENIS, L.V.; MIRANDA, A. B.; SANTOS, D. G. B.; BRAZ, A. M.; PEREIRA, J. G. Mapeamento e análise das áreas verdes urbanas como indicador da qualidade ambiental de Dourados, Mato Grosso do Sul. **VI Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental - Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais**, 2015.

SICHE, R.; AGOSTINHO, F.; ORTEGA, E.; ROMEIRO, A. Índices versus indicadores: precisões conceituais na discussão da sustentabilidade de países. **Ambiente e Sociedade**, v. X, n. 2, p. 137-148, 2007.

SILVA, A. S. **Modelagem, mensuração e simulação do movimento de pedestres e veículos**. Tese (Doutorado em Planejamento Urbano e Regional) – UFRGS. Porto Alegre, 2010.

SILVA FILHO, D. F.; PIZETTA, P. U. C.; ALMEIDA, J. B. S. A.; PIVETTA, K. F. L.; FERRAUDO, A. S. Banco De Dados Relacional Para Cadastro, Avaliação E Manejo Da Arborização Em Vias Públicas. **Revista Árvore**, v. 26, n. 5, p. 629–642, 2002.

SILVA, A. G.; PAIVA, H. N.; GOLÇALVES, W. **Avaliando a arborização urbana**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2007.

SILVA, C. T. A.; MELLO, C. D. N. T. C.; LEAL, L. R. C. A Vila do IAPI no contexto de urbanização e industrialização. **Revista Historiador**, n. 2, 2009.

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

TRIVIÑOS, A. N. S. **Introdução à pesquisa em ciências sociais: A pesquisa qualitativa em educação**. São Paulo: Atlas, 1987.

WARHURST, J. R.; PARKS, K. E.; MCCULLOCH, L.; HUDSON, M. D. Front garden

to car parks: changes in garden permeability and effects on flood regulation. **Science of the Total Environment**, n. 485-486, 2014.

WILMERS, F. Effects of vegetation on urban climate and buildings. **Energy and Buildings**, v. 15, n. 3–4, p. 507–514, 1990.

ZAMBON, K. L.; CARNEIRO, A. A. F. M.; SILVA, A. N. R.; NEGRI, J. C. Análise de decisão multicritério na localização de usinas termoelétricas utilizando SIG. **Pesquisa Operacional**, v. 25, n.2, 2005.

ZORAN, M.; ZORAN, L. F.; DIDA, A.; DIDA, M. R.; ZORAN, A. T.; IONESCU, O. M. Satellite remote sensing image based analysis of effects due to urbanization on climate and health. **Proceedings of the SPIE - The International Society for Optical Engineering**, v. 8893, Earth Resources and Environmental Remote Sensing/GIS Applications IV, 88931E, 2013.

APÊNDICE A – ROTEIRO DE APLICAÇÃO DO ÍNDICE

1

QUANTIDADE DE ARBORIZAÇÃO VIÁRIA IMPLANTADA EM COMPARAÇÃO AO IDEAL ESTIMADO

mensuração da arborização viária, comparando a situação real com um cenário ideal estipulado

1ª ETAPA

Definição do espaçamento médio entre árvores ideal

O espaçamento deve ser definido de acordo com as características da área. Espaçamentos comuns para vias estreitas e com árvores de porte pequeno podem ser de 5m, alcançando até mais de 10m em vias largas e com árvores de grande porte.

$$\text{IPO} = \frac{100 \text{ m}}{\text{espaçamento médio ideal (m)}} = \text{[caixa vazia]}$$

2ª ETAPA

Levantamento do número de árvores existentes e da extensão das vias analisadas

$$\text{SR} = \frac{\text{número de árvores existentes}}{\text{extensão das vias (m)}} \times 100 = \text{[caixa vazia]}$$

3ª ETAPA

Comparação dos valores de IPO e SR

1,0	0,5	0,0
diferenças de até 24,9% do IPO	diferenças entre 25 e 49,9% do IPO	diferenças maiores que 50% do IPO

2

RELAÇÃO ENTRE O TAMANHO DAS COPAS E A LARGURA DAS VIAS

análise da adequação do tamanho as copas das árvores ao espaço disponível na via

1ª ETAPA

Classificação da largura das copas das árvores de acordo com o tamanho de seu diâmetro

porte pequeno < 4,0 m	porte médio 4,0 - 6,0 m	porte grande > 6,0 m
--------------------------	----------------------------	-------------------------

2ª ETAPA

Classificação das vias de acordo com sua largura de meio fio a meio fio

< 6,0 m	6,0 - 11,0 m	> 11,0 m
---------	--------------	----------

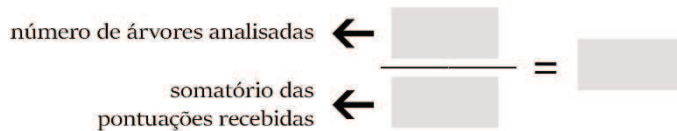
3ª ETAPA

Pontuar cada árvore individualmente, relacionando seu porte e a largura da via em que está inserida

largura do passeio (m)	porte da arborização															
	S/A				P				M				G			
< 1,2	•					•					•					•
1,2 - 2,4			•				•					•	•			
2,4 - 3,4			•				•				•		•			
> 3,4				•		•					•		•			
	1,0				0,5				0,0							

4ª ETAPA

Obtenção da média de pontuação para cada árvore existente



1,0
resultados entre
0,66 e 1,0

0,5
resultados entre
0,33 e 0,64

0,0
resultados entre
0,0 e 0,32

4

TAXA DE ÁREA PERMEÁVEL COBERTA POR VEGETAÇÃO

análise da quantidade de áreas cobertas por vegetação considerando sua permeabilidade

1ª ETAPA

Levantamento e classificação das áreas permeáveis existentes

áreas permeáveis cobertas
por vegetação

áreas semipermeáveis cobertas
por vegetação



telhados verdes, canteiros sem vínculo com o solo,
alguns tipos de pavimentação intertravada, etc

2ª ETAPA

Cálculo da porcentagem de área permeável coberta por vegetação em relação à área total

$$\frac{\begin{matrix} \text{área permeável coberta} \\ \text{por vegetação} \end{matrix} + \begin{matrix} \text{área semipermeável} \\ \text{coberta por vegetação} \end{matrix} \times 0,5}{\text{área total em estudo}} \times 100 = \text{[]}$$

↓

1,0	0,5	0,0
taxa > 20%	taxa entre 10 e 19,9%	taxa < 9,9%



















5

FORMATO GEOMÉTRICO DAS ÁRVORES E MASSAS ARBÓREAS URBANAS

análise das formas de implantação das árvores da área

1ª ETAPA

Classificação das formas de implantação presentes na área

				
dispersa	retilínea	agrupada	aglomerada	reticulada
				
arborização escassa e implantação isolada	presença de arborização predominantemente viária, acompanhando o desenho linear das ruas	muitas florestas urbanas (praças e áreas verdes)	contiguidade em grandes áreas	
				
curvilínea	ramificada	anular	contínua	
				
áreas predominantemente naturais, com grandes áreas arborizadas que acompanham os desenhos orgânicos de corpos de água e montanhas, como parques urbanos ou áreas de preservação				
1,0	0,5	0,0		
áreas com arborização contínua, ramificada, curvilínea ou aglomerada, além de linear, agrupada, reticulada e anular combinadas com as citadas anteriormente	linear, agrupada, reticulada ou anular	dispersa		

CÁLCULO FINAL DO ÍNDICE

Este índice tem como nota máxima 10,0 pontos. A análise de cada critério individualmente pode auxiliar na elaboração de intervenções que melhorem a qualidade ambiental da área em estudo.

$$\begin{array}{ccccccc} \text{resultado do} & & \text{resultado do} & & \text{resultado do} & & \\ \text{primeiro critério} & & \text{terceiro critério} & & \text{quinto} & & \\ & \uparrow & & \uparrow & \text{critério} & \uparrow & \\ (2,6 \times \square) & + & (1,1 \times \square) & + & (1,1 \times \square) & + & (2,6 \times \square) & + & (2,6 \times \square) & = & \square \\ & & \downarrow & & \downarrow & & & & & & \\ & & \text{resultado do} & & \text{resultado do} & & & & & & \\ & & \text{segundo critério} & & \text{quarto critério} & & & & & & \end{array}$$
