

UNIVERSIDADE DE SANTA CRUZ DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA AMBIENTAL –
MESTRADO e DOUTORADO
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM GESTÃO E TECNOLOGIA AMBIENTAL

PATRIK GUSTAVO WIESEL

AVALIAÇÃO DAS INFRAESTRUTURAS VERDES BUSCANDO A VALORAÇÃO
DOS SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS NA BACIA HIDROGRÁFICA URBANA DO
ARROIO PRETO, MUNICÍPIO DE SANTA CRUZ DO SUL, RS, BRASIL.

Santa Cruz do Sul

2020

Patrik Gustavo Wiesel

AVALIAÇÃO DAS INFRAESTRUTURAS VERDES BUSCANDO A VALORAÇÃO
DOS SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS NA BACIA HIDROGRÁFICA URBANA DO
ARROIO PRETO, MUNICÍPIO DE SANTA CRUZ DO SUL, RS, BRASIL.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental - Mestrado ou Doutorado, Universidade de Santa Cruz do Sul - UNISC, como requisito parcial para o título de Mestre em Tecnologia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Lobo Alcayaga.

Santa Cruz do Sul
2020

Dedico este trabalho à minha Mãe, Ana Maria Junkherr, por toda o apoio e incentivo.

AGRADECIMENTOS

A gratidão, é caminho sem volta, é estrada que aproxima, é sentimento que transforma e nos faz lembrar a cada dia que a caminhada não é, e nunca deve ser solitária.

Primeiramente, agradeço a minha família, em especial à minha Mãe, Ana Maria Junkherr e minhas irmãs, Patrícia e Priscila, por todo o apoio e incentivo neste período. Ao meu Orientador Prof. Dr. Eduardo Lobo por todos os ensinamentos e orientações, que foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho. Ao colega e amigo, Elias Dresch, pela troca de conhecimento e direcionamento do trabalho.

Não poderia deixar de agradecer também aos colegas, amigos e professores que tive a oportunidade de conhecer nesta caminhada. Deixo aqui, meus mais sinceros agradecimentos. Em especial, agradeço aos amigos: Daiane de Moura, Jessica Severo, Luís Marion, Gustavo S. Colares, Maiara de Souza, Marleti Silveira, Marcos Henrique Schroeder, Naira Dell'osbel, Nilmar de Azevedo e Valéria Boettcher. Por todas as conversas, trocas de conhecimento, experiências e sobretudo, amizade e apoio.

RESUMO

Os centros urbanos tornaram-se o ambiente mais familiar para a população humana, o que afetou a maneira como entendemos, nos conectamos e usamos os recursos naturais. As cidades, diferentemente dos ecossistemas naturais, têm uma forte relação entre áreas verdes e edificadas, onde a proporção e a qualidade de cada parte da matriz determinam as funções e a qualidade total do ambiente. O monitoramento contínuo de áreas verdes nas cidades pode fornecer informações precisas sobre a estrutura florestal urbana e os serviços ecossistêmicos, que estão mudando ao longo do tempo, e indica ações prioritárias de conservação, gerenciamento e implementação de novas áreas para promover a qualidade do ambiente urbano. Dessa forma, esta pesquisa teve como objetivo avaliar a magnitude e a qualidade das infraestruturas verdes urbanas na Bacia Hidrográfica do Arroio Preto, Município de Santa Cruz do Sul, RS, Brasil. Para a coleta de dados utilizou-se à análise combinada com pesquisa de campo e recursos computacionais. O inventário de arborização urbana demonstrou a predominância de espécies exóticas como *Lagerstroemia indica* L., além da forte presença de espécies exóticas invasoras como *Hovenia dulcis* Thunberg e *Ligustro lucidum* W.T.Ait., representando um grande risco para os remanescentes florestais naturais. Ainda, foi possível identificar vários conflitos de vegetação com outras estruturas urbanas, fatores importantes a serem considerados que podem afetar a sustentabilidade das áreas verdes, reduzindo as taxas de cobertura de copa e a futura prestação de serviços ecossistêmicos, cada vez mais necessária nos centros urbanos. O levantamento aéreo demonstrou a presença marcante de vegetação na Bacia do Arroio Preto, permitindo estimar os serviços ecossistêmicos prestados pela bacia. No entanto, no perímetro urbano os valores de cobertura das copas foram significativamente reduzidos. Desenvolvemos uma metodologia de baixo custo, com potencial significativo para descrever o estado atual da floresta urbana, bem como monitorar futuras mudanças na cobertura de dossel em bacias hidrográficas urbanas, e em pequenas e médias cidades em desenvolvimento.

Palavras-chave: ecossistema urbano, árvores urbanas, espécies exóticas, exóticas invasoras, espécies nativas, serviços ecossistêmicos, cobertura de dossel, Bacia do Arroio Preto, RS, Brasil.

Evaluation of green infrastructures seeking the valuation of ecosystem services in the Preto Stream Urban Hydrographic Basin, Santa Cruz do Sul County, RS, Brazil

ABSTRACT

Urban centers have become the most familiar environment for human population, which affected the way we understand, we connect, and we use natural resources. The cities, unlike natural ecosystems, have a strong relationship between built-up and green areas, where the proportion and quality of each part of the matrix will determine the functions and the total environment quality. Continuous monitoring of green areas in cities can provide accurate information on urban forest structure and ecosystem services, which are changing over time, and indicates priority conservation actions, management and implementation of new areas for promoting quality of the urban environment. In this way, this research aimed at evaluating the magnitude and quality of urban green infrastructures in the Preto Stream Urban Watershed, Santa Cruz do Sul County, RS, Brazil. For data collection, we used combined analysis with field survey and computational resources. The urban afforestation inventory demonstrated the predominance of exotic species such as *Lagerstroemia indica* L., in addition to the strong presence of invasive exotic species such as *Hovenia dulcis* Thunberg and *Ligustro lucidum* W.T.Ait., representing a great risk to natural forest remnants. Still, it was possible to identify several vegetation conflicts with other urban structures, important factors to be consider that may affect the green areas sustainability, reducing canopy coverage rates as well as the future provision of ecosystem services, increasingly needed in urban centers. The aerial survey demonstrated the remarkable presence of vegetation in the Preto Stream Basin, allowing an estimation of the ecosystem services provided by the basin. However, in the urban perimeter the canopy cover values were significantly reduced. We developed a low-cost methodology, with significant potential to describe the current state of urban forest, as well as to monitor future changes in canopy cover in urban watersheds, and small and medium-sized developing cities.

Keywords: urban ecosystem, urban trees, alien species, invasive alien species, native species, ecosystem services, canopy cover, Preto Stream Basin, RS, Brazil.

LISTA DE FIGURAS GERAIS

- Figura 1:** Gráfico de cluster obtido por meio de mapeamento bibliométrico usando o VOSviewer e o banco de dados *Web of Science* para estudos nos últimos 10 anos envolvendo palavras-chave relacionadas a “*Urban sustainability*” e “*indicators*”.....9
- Figura 2:** Gráfico de cluster obtido por meio de mapeamento bibliométrico usando o VOSviewer e o banco de dados *Web of Science* para estudos nos últimos 10 anos com destaque para o termo “*green space*”.....10
- Figura 3:** Representação gráfica da metodologia utilizada para a avaliação das infraestruturas verdes na área de estudo.....13
- Figura 4:** Área total da Bacia Hidrográfica do Arroio Preto com a demarcação do cinturão verde, e circunferência com raio de 1.000 m na área central.....14
- Figura 5:** Quadras e praças inventariadas no levantamento de campo na Bacia Hidrográfica Urbana do Arroio Preto, RS.15

LISTA DE FIGURAS ARTIGO 1

- Figure 1:** Most relevant countries on “Urban Afforestation”, based on the bibliometric research of the “Web of Science” between 2009 and 2019. 23
- Figure 2:** Main terms obtained based on the bibliometric research of the “Web of Science” between 2009 and 2019, map overview. 25
- Figure 3:** Highlight for terms obtained based on bibliometric analysis. A: “Species richness”. B: “Biodiversity”. 27

LISTA DE FIGURAS ARTIGO 2

- Figura 1:** Localização da Bacia Hidrográfica do Arroio Preto, Município de Santa Cruz do Sul no Estado do Rio Grande do Sul, Brasil. 51
- Figura 2:** Mapa do Estado do Rio Grande do Sul com a localização do Município de Santa Cruz do Sul, mostrando os limites entre os biomas Pampa e Mata Atlântica. 52
- Figura 3:** Área da Bacia Hidrográfica do Arroio Preto com os 45 conglomerados e 3 praças inventariadas no levantamento de campo. 54
- Figura 4:** Mapa de caracterização e uso do solo obtido através de classificação supervisionada com programa QGIS. 55

Figura 5. Área total da Bacia do Arroio Preto e área menor com circunferência com raio de 1.000 m a partir do centro administrativo municipal (prefeitura), onde foram aplicados 10.000 pontos aleatórios com o software “ <i>i-Tree Canopy</i> ” .	56
Figura 6: Porcentagem de cobertura (km ²) das diferentes classificações de mapas para a área total da Bacia do Arroio Preto. (A) variação nas áreas de cobertura de acordo com o número de pontos de amostragem; (B) área de cobertura final com 10.000 pontos de amostragem. Onde: TC (cobertura de árvore); SV (vegetação baixa); BS (solo descoberto); WA (água); BU (área construída); RO (ruas e rodovias) e OI (outras superfícies impermeáveis).	57
Figura 7: Porcentagem de área de cobertura (km ²) das diferentes classificações de mapas para a área central. (A) variação nas áreas de cobertura de acordo com o número de pontos de amostragem; (B) área de cobertura final com 10.000 pontos de amostragem. Onde: TC (cobertura de árvore); SV (vegetação baixa); BS (solo descoberto); WA (água); BU (área construída); RO (ruas e rodovias) e OI (outras superfícies impermeáveis).	59
Figura 8: Distribuição das espécies dentro das principais famílias botânicas identificadas. A: Quadras inventariadas. B: Áreas verdes (praças) inventariadas.	64
Figura 9: Análise de agrupamento por similaridade quantitativa (%), aplicando o método da Variância Mínima a partir dos valores obtidos para o Índice de Valor de Importância (IVI) das 92 espécies identificadas nas 45 quadras inventariadas.	64
Figura 10: Número de indivíduos distribuídos nas diferentes categorias atribuídas quanto à origem das espécies. A: Quarteirões. B: Praças.	65
Figura 11: A: Dados sobre os indivíduos avaliados nas 45 quadras. Altura total em metros (AT), Estado Fitossanitário Geral (EFG), Sistema Radicular (SR), Conflito com a Fiação Elétrica (CFE) e largura do passeio público (calçadas) em metros (LPP). B: Dados sobre os indivíduos avaliados nas 3 praças urbanas quanto a: Altura Total em metros (AT), Estado Fitossanitário Geral (EFG), Sistema Radicular (SR).	65
Figura 12: Conflitos da arborização urbana com o passeio público.	71
Figura 13: Conflitos da arborização urbana com a rede de distribuição de energia elétrica aérea. A: Indivíduo da espécie <i>Ligustrum lucidum</i> . B: Indivíduo da espécie <i>Tipuana tipu</i> .	72
Figura 14: Exemplares inventariados que sofreram poda drástica. A: Exemplar de <i>Inga marginata</i> Willd. B: Exemplar de <i>Lagerstroemia indica</i> L.	73
Figura 15: Árvores classificadas como ruins quanto ao seu estado fitossanitário.	74

LISTA DE TABELAS GERAIS

Tabela 1: Construção do indicador para Área Verde Total.	81
Tabela 2: Construção do Indicador relativo à Diversidade e Riqueza de espécies.	83
Tabela 3: Construção do indicador relativo ao Estado Fitossanitário.	85
Tabela 4: Construção do indicador relativo ao porte das árvores.	87

LISTA DE TABELAS ARTIGO 1

Table 1: Main research areas related to the term “urban tree”, volume of publications between the years 2009 and 2019, main research groups and number of publications in the period.	22
---	----

LISTA DE TABELAS ARTIGO 2

Tabela 1: Estimativa da quantificação e valoração dos serviços ecossistêmicos para a área total da Bacia do Arroio Preto, com dados obtidos através do software “ <i>i-Tree Canopy</i> ”. EP: Erro-padrão.	57
Tabela 2: Estimativa da quantificação e valoração dos serviços ecossistêmicos para a área central da bacia do Arroio Preto, obtida através do software “ <i>i-Tree Canopy</i> ”. EP: Erro-padrão.	58
Tabela 3: Dados fitossociológicos calculados para os conglomerados analisados: Número de indivíduos (Ni), Densidade absoluta (DeA), Densidade relativa (DeR), Frequência absoluta (FrA), Frequência relativa (FrR), Dominância absoluta (DoA), Dominância relativa (DoR), Índice de valor de importância (IVI) e Índice de valor de cobertura (IVC). Origem da espécie (OR), exótica (EX), exótica invasora (EI), nativa (NT) e nativa para o Brasil (NB).	59
Tabela 4: Apresentação das espécies identificadas no inventário das 3 áreas verdes (praças). Quanto a origem (NT)- Nativas, (NB)-Nativa do Brasil, (EX)- Exótica e (EI)- Exótica invasora.	61

LISTA DE ABREVIATURAS

SU.....	Sustentabilidade Urbana
SEs.....	Serviços Ecossistêmicos
VET....	Valor Ecossistêmico Total
BAP....	Bacia do Arroio Preto
TC.....	Tree Cover
SV.....	Short Vegetation
BS.....	Bare Soil
WA.....	Water
BU.....	Building
RO.....	Roads
OI.....	Other Impervious
DeA.....	Densidade absoluta
DeR.....	Densidade relativa
FrA.....	Frequência absoluta
FrR.....	Frequência relativa
DoA.....	Dominância absoluta
DoR.....	Dominância relativa
IVI.....	Índice de valor de importância
IVC.....	Índice de valor de cobertura.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	7
2 OBJETIVOS.....	12
4.1 Objetivo Geral.....	12
4.2 Objetivos específicos	12
4 METODOLOGIA.....	13
4.1 Levantamento Aéreo.....	13
4.2 Levantamento de campo.....	15
5. Indicador de Qualidade Ambiental Urbana (IQUAU)	18
ARTIGO 1	19
Urban afforestation and its ecosystem balance contribution: A bibliometric review.....	19
ARTIGO 2	31
Evaluation of urban green areas in Preto Stream Watershed, Santa Cruz do Sul County, RS, Brazil	31
6 Indicadores de Qualidade Ambiental para Meio Biótico- IQUAU	38
6.1 Área Verde Total	38
6.1.1 Aplicação da fórmula.....	39
6.2 Indicador para Diversidade e Riqueza de Espécies	39
6.2.1 Aplicação da Fórmula.....	41
6.3 Indicador de Estado Fitossanitário Geral	41
6.3.1 Aplicação da Fórmula.....	42
6.4 Indicador relativo ao porte dos indivíduos arbóreos	43
6.4.1 Aplicação da fórmula.....	44
CONSIDERAÇÕES FINAIS	46
REFERÊNCIAS	47
Anexos.....	51
Anexo A: Utilização do programa I-Tree Canopy	51

1 INTRODUÇÃO

O Brasil, nas últimas 4 décadas, tem apresentado uma forte expansão urbana, em especial, nas cidades de porte médio não metropolitanas (STAMM; STADUTO; DE LIMA et al., 2015); com seus habitantes representando elevados índices de participação na população total do país (STAMM; DOS SANTOS, 2017). Segundo a classificação do IBGE (2016), no Brasil são consideradas cidades médias, aquelas com população entre 100 e 750 mil habitantes. Estima-se que, atualmente, 285 municípios se enquadrem nessa categorização IBGE (2017).

O recente destaque das cidades médias no cenário nacional, gera a possibilidade de implementação de projetos de planejamento urbanos que minimizem ou evitem problemas decorrentes da urbanização, que causaram e ainda causam problemas de difícil solução nas grandes cidades (STAMM; DOS SANTOS, 2017). Segundo Scovronick et al. (2017), o crescimento acelerado dos centros urbanos, juntamente com o aumento demográfico e a concentração da população, promovem a redução progressiva da qualidade ambiental e impactam severamente os sistemas naturais.

Segundo Kremer (2019), o conceito de “sustentabilidade urbana” surgiu com o propósito de deslindar os problemas causados pela rápida expansão urbana a nível global, principalmente problemas sociais e ambientais. No entanto, com o passar do tempo, este conceito foi evoluindo e abrangendo inúmeras abordagens como: estruturas de crescimento urbano inteligente; abordagens de impacto zero; infraestrutura verde e soluções baseadas na natureza; todas alicerçadas no fornecimento dos fluxos de serviços ecossistêmicos, diversidade e imitação da natureza, incluindo questões como saúde humana e bem-estar.

Em um sentido fundamental, os ecossistemas são os sistemas de suporte à vida do planeta, para a espécie humana e todas as outras formas de vida (ASSESSMENT, 2005). O ecossistema urbano, no entanto, é um conceito arbitrário, cujo tamanho e escopo dependem de como o pesquisador define os limites espacialmente explícitos em torno dos objetos de interesse; este ecossistema, então, caracteriza-se por suas dimensões espaciais, sua composição de espécies, as funções ou processos que realiza e os serviços que presta às pessoas (FREEMAN III; HERRIGES; KLING, 2014).

A sustentabilidade urbana, muitas vezes, se traduz na forma de serviços ecossistêmicos, ou seja, os benefícios que os seres humanos obtêm, direta ou indiretamente, do capital natural e das funções do ecossistema (ASSESSMENT, 2005). Desta maneira, o aprimoramento das relações entre ecologia e economia torna-se fundamental, uma vez que a avaliação econômica dos serviços ecossistêmicos e da biodiversidade pode tornar notória para a sociedade, e para os

gestores públicos, a importância do papel da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos salientando que seu deságio ou atenuação resultam em prejuízos, não apenas ao ecossistema mas para todos os municípios (BOTTERO; BRAVI; GIAIMO et al., 2020).

Realizando uma busca na base de dados da “*Web of Science*” com os termos “*urban sustainability*” e “*indicators*”, objetivou-se identificar o que de mais relevante a comunidade científica tem abordado nos últimos 10 anos na pesquisa sobre sustentabilidade urbana, e nortear a construção de indicadores que reflitam a realidade local em consonância com os demais países, de maneira que estes indicadores possam ser replicados em cidades médias nacionais, e até mesmo mundiais. Foram encontrados 283 artigos relacionados, os quais foram analisados com auxílio do *software VOSviewer*, seguindo a metodologia adaptada de (SOUZA; HOELTZ; BRITTES BENITEZ et al., 2019).

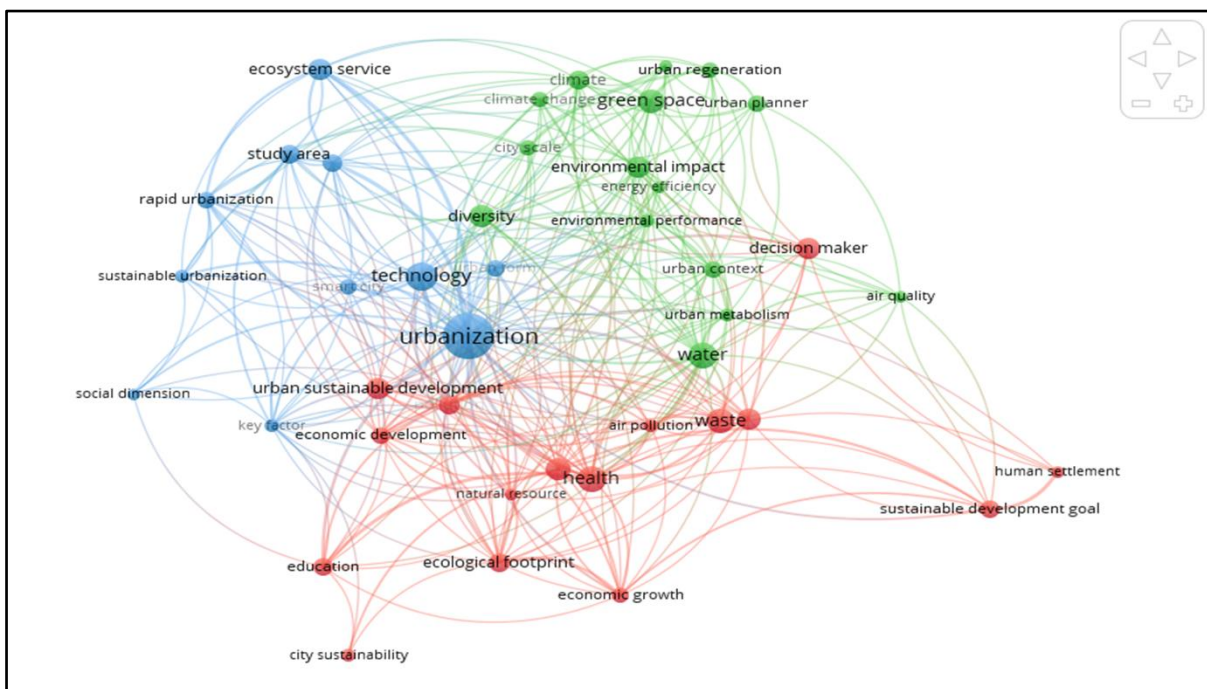
Conforme se observa na Figura 1, verificou-se a formação de 3 *clusters*; o primeiro em azul tendo como destaque a “*urbanization*”, que pode ser entendida como um processo característico que transforma o ambiente, e onde seus processos comportam fenômenos que resultam em configurações espaciais distintas (IBGE, 2015). Em nível global o processo de urbanização é acelerado e, observando-se as tendências de crescimento e o papel central delas na economia global, os esforços para construção de cidades mais sustentáveis deve concentrar-se na mitigação e adaptação às mudanças climáticas, e no uso racional de recursos e dos ecossistemas. Além disso, a forma como os centros urbanos são planejados e desenvolvidos influencia diretamente na sustentabilidade (ONU-HABITAT, 2017). Este primeiro grupo ainda estabelece correlações com o desenvolvimento tecnológico, e com um importante fator que é o estudo da área “*study area*” e o fornecimento de serviços ecossistêmicos “*ecosystem services*”, que são fundamentais para o processo de urbanização sustentável “*sustainable urbanization*”.

O segundo grupo observado, em vermelho, traz em destaque o termo saúde “*health*”, que pode ser entendido ou interpretado como a saúde ou sanidade do ecossistema urbano, podendo ser estabelecida uma forte relação entre a qualidade do ambiente urbano e a saúde e bem-estar dos seus habitantes.

Segundo Van den Berg et al., (2016), existe uma forte associação entre espaços e áreas verdes, saúde mental e vitalidade dos habitantes. Para Capolongo et al., (2018), a saúde e a sustentabilidade urbanas devem ser pensadas desde os estágios iniciais do planejamento, uma vez que servirão como prevenção e colaboração primária na promoção da saúde. Além disso, esse grupo ainda destaca o desenvolvimento urbano sustentável “*urban sustainable development*”; os resíduos “*waste*” gerados nas cidades, que são um grande desafio na busca

pela sustentabilidade; tudo isso aliado ao desenvolvimento econômico “*economic development*” e “*economic growth*”.

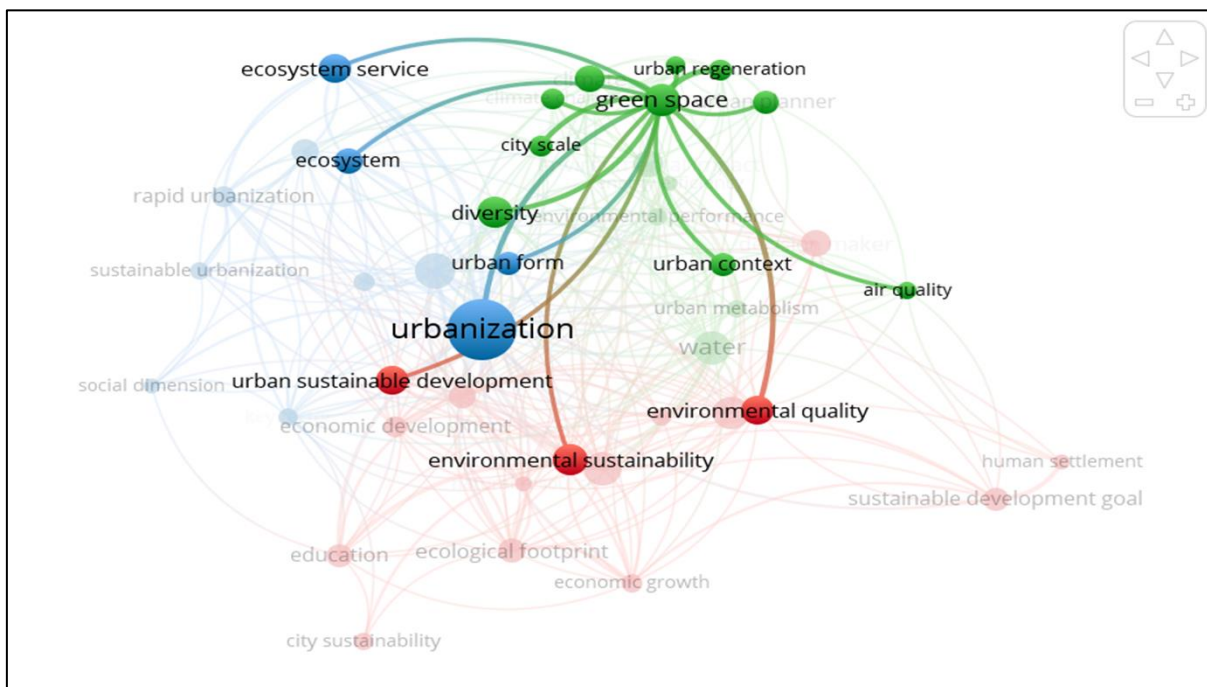
Figura 1: Agrupamento (*cluster*) obtido por meio de mapeamento bibliométrico usando o software VOSviewer e o banco de dados “*Web of Science*”, para estudos nos últimos 10 anos envolvendo palavras-chave relacionadas a “*Urban sustainability*” e “*indicators*”.



O terceiro grupo, verde, destaca as áreas verdes “*green space*” e a diversidade urbana “*diversity*”, que são reconhecidamente os promotores do equilíbrio ecossistêmico e os principais fornecedores dos fluxos de serviços ecossistêmicos nas cidades. Este grupo inclui, ainda, os impactos ambientais “*environmental impact*” e a performance ambiental “*environmental performance*”. Destacando o termo “*green space*”, tornam-se mais evidente as diferentes abordagens estudadas e suas correlações Figura 2.

As áreas verdes citadinas fornecem uma mistura diferente de serviços, como conservação da biodiversidade, provisão de espaços recreativos e de socialização, e até mesmo locais onde os moradores urbanos podem cultivar alimentos (MONDINI; OPPIO; STANGHELLINI et al., 2016). O papel da biodiversidade “*diversity*” muitas vezes está vinculada a um estoque de recursos florestais (espécies, paisagens etc.), dos quais a humanidade se beneficia, no entanto, a sua quantificação exata pode ser complicada e monetariamente inviável, uma vez que o nível de biodiversidade está diretamente ligado a área do habitat (ABILDTRUP; WUNDER; THORSEN, 2014).

Figura 2: Agrupamento (*cluster*) obtido por meio de mapeamento bibliométrico usando o software VOSviewer e o banco de dados “*Web of Science*”, para estudos nos últimos 10 anos com destaque para o termo “*green space*”.



A execução de projetos florestais em áreas urbanizadas, baseados na integração dos recursos naturais com elementos construídos, podem melhorar a qualidade do ambiente e garantir uma distribuição mais homogênea dos serviços ecossistêmicos, promovendo melhorias psicossociais, ambientais e financeiras (GUARINI; MORANO; SICA, 2020). O bom funcionamento do ecossistema urbano promove fluxos de serviços que influenciam diretamente no bem-estar dos habitantes, onde diversos indicadores podem ser usados para retratar e medir a amplitude do seu impacto e do seu valor (BOTTERO; BRAVI; GIAIMO et al., 2020).

Os indicadores para avaliação das estruturas florestais citadinas devem ser desenvolvidos de modo a mensurar os efeitos que as iniciativas de preservação e implantação geram no território e, assim, selecionar os indicadores mais apropriados, garantindo que estes, quando agrupados, resultem em um índice de avaliação ou valor ecossistêmico total (VET), representativo e fiel a real condição ecossistêmica (GUARINI; MORANO; SICA, 2020). O VET pode ser dividido em diferentes componentes relacionados, usos atuais ou potenciais (diretos e indiretos) e, por outro lado, à existência ou não de recursos ambientais que envolvam os benefícios e os custos relacionados (BOTTERO; BRAVI; GIAIMO et al., 2020). Assim, torna-se cada vez mais evidente a necessidade e importância do monitoramento dos

componentes naturais e o planejamento ambiental, para a garantia da estabilidade ecossistêmica e manutenção dos fluxos de serviços por este prestado (TAGHIMOLLAEI; KARAMSHAHI, 2019).

O Município de Santa Cruz do Sul, onde está inserida a Bacia Hidrográfica do Arroio Preto, destaca-se no cenário dos centros urbanos de médio porte por sua forte economia e por suas ruas largas e arborizadas. Segundo IBGE (2017), cerca de 86,3% das vias públicas de SCS são arborizadas. Ainda, trabalho desenvolvido por Dresch (2017) avaliando de maneira quantitativa a arborização viária encontrou $101,6 \pm 40,2$ árvores por km^{-1} , o que considerou um valor satisfatório. Apesar da presença marcante da vegetação e da importância destas áreas verdes para a qualidade de vida dos munícipes, estudos que contemplem essa temática e abordem diferentes atributos desta vegetação são escassos e limitados.

Neste contexto, e tendo como base o terceiro grupo formado na análise bibliométrica (verde), o qual destaca principalmente as áreas verdes urbanas e a diversidade de espécies. E aliado a falta de conhecimentos inerentes a arborização urbana na Bacia do Arroio Preto no Município de Santa Cruz do Sul, torna-se fundamental realizar estudos quanto aos aspectos como a magnitude, diversidade de espécies e potenciais conflitos nos passeios públicos e áreas verdes urbanas da bacia hidrográfica do Arroio Preto

2 OBJETIVOS

4.1 Objetivo Geral

Desenvolver indicadores bióticos urbanos aplicados à Bacia Hidrográfica Urbana do Arroio Preto, Município de Santa Cruz do Sul, RS, Brasil, buscando a valoração dos serviços ecossistêmicos na qualidade ambiental de bacias hidrográficas urbanas.

4.2 Objetivos específicos

Pesquisar ações atuais para a manutenção e conservação da infraestrutura verde das cidades (arborização viária, praças e florestas urbanas), tendo como referência a Bacia Hidrográfica do Arroio Preto, Município de Santa Cruz do Sul, RS.

Definir parâmetros para o monitoramento e avaliação da infraestrutura verde das cidades, buscando a valoração dos serviços ecossistêmicos na qualidade ambiental de bacias hidrográficas urbanas.

Propor indicadores que expressem a realidade da infraestrutura verde de centros urbanos de médio porte, que sejam aplicáveis como novos parâmetros comparativos para a gestão ambiental de recursos naturais.

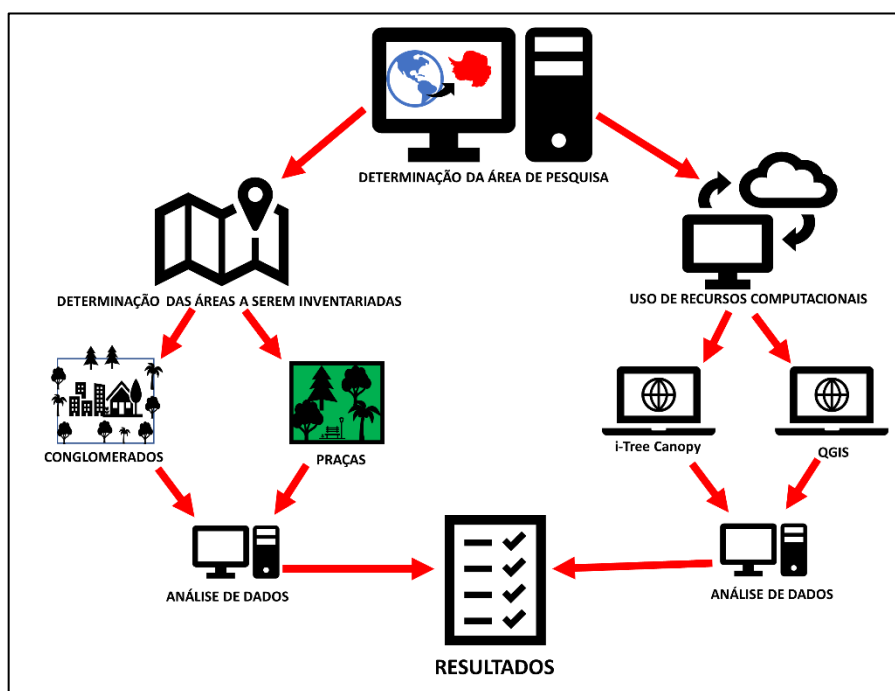
Fornecer subsídios para o aprimoramento do Indicador de Qualidade Ambiental Urbana (IQUA) proposta por (Dresch, 2017).

4 METODOLOGIA

O desenvolvimento do presente trabalho foi pautado na elaboração e desenvolvimento de dois artigos científicos. Inicialmente optou-se pela elaboração de um artigo de revisão bibliográfica que contemplasse o atual estado da arte quanto as árvores urbanas e suas contribuições para o equilíbrio ecossistêmico das cidades.

Para a avaliação da infraestrutura verde presente na Bacia Hidrográfica Urbana do Arroio Preto, no Município de Santa Cruz do Sul, utilizou-se uma abordagem combinada com o auxílio de recursos computacionais e levantamentos de campo (Fig. 3).

Figura 3: Representação gráfica da metodologia utilizada para a avaliação das infraestruturas verdes na área de estudo.



4.1 Levantamento Aéreo

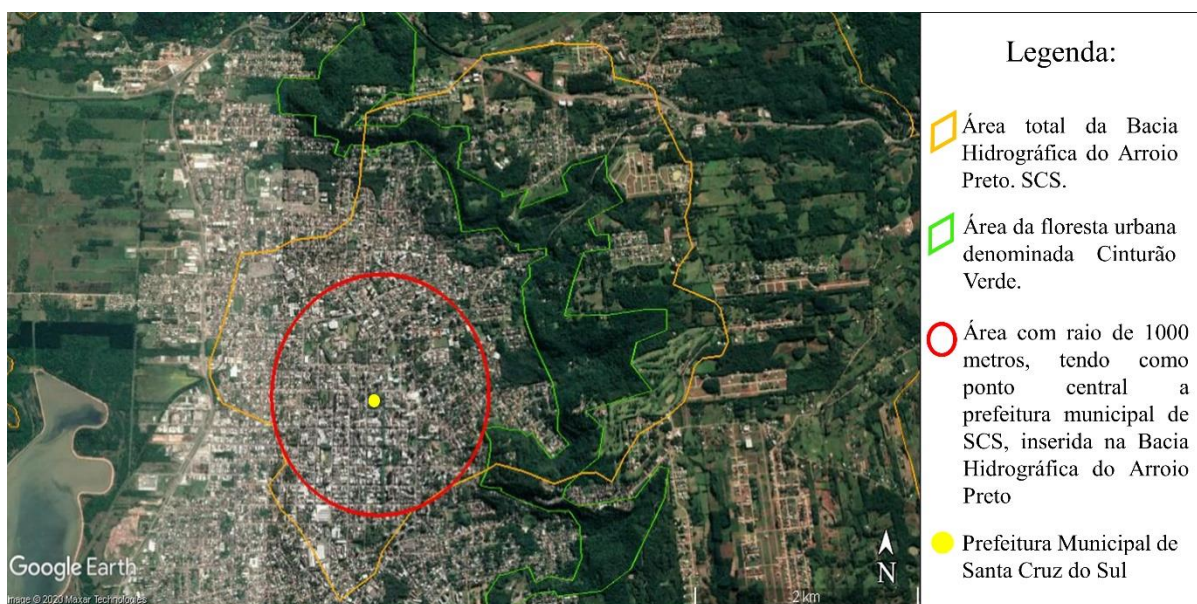
Inicialmente realizou-se a caracterização dos diferentes usos do solo para a área da bacia hidrográfica do Arroio Preto através de uma classificação supervisionada utilizando imagens do Satélite Sentinel-2, com pixel de 10 m com o plugin SCP (Semi-Automatic Classification Plugin), e uso do programa QGIS 3.4. A área foi classificada em 7 categorias distintas, sendo elas: árvores (TC, do inglês Tree cover); vegetação curta (SV, do inglês Short Vegetation), gramados e vegetação arbustiva; solo descoberto (BS, do inglês Bare Soil) para áreas sem

vegetação ou pavimentação; água (WA, do inglês Water) para água, rios, córregos, piscinas e lagos; edifícios (BU, do inglês Building) para estruturas construídas, casas e telhados); ruas (RO, do inglês Roads) para e estradas pavimentadas e outros impermeáveis (OI, do inglês Other Impervious) para calçadas, estacionamentos, quadras esportivas, entre outros.

Para a determinação das proporções de uso de cada categoria, utilizou-se o programa *I-Tree* na função *Canopy*, onde classificou-se a área novamente com mesmos usos do solo anteriormente descritos: TC, SV, BS, WA, BU, RO e OI. Os limites da área foram definidos com o uso do software QGIS (sistema de informação geográfica) e a partir de bases cartográficas de bancos de dados públicos, os mapas foram gerados no formato *ESRI Lat-Long*, e posteriormente carregados no programa “*i-Tree Canopy*”, onde foram aplicados 10.000 pontos de amostragem aleatórios para a caracterização da área e estimativa dos serviços ecossistêmicos provenientes desta.

Posteriormente gerou-se um novo mapa dentro da área de estudo com uma circunferência com raio de 1.000 m tendo como ponto central a sede administrativa municipal (Prefeitura), no intuito de caracterizar o uso e cobertura de solo, com as mesmas categorias anteriormente descritas, para a área com maior circulação de pessoas diariamente. Essa área foi determinada neste formato para facilitar futuras comparações com outros municípios, além disso, restringindo a área de estudo dentro da bacia hidrográfica, objetivou-se analisar a qualidade ambiental sem a presença da floresta urbana denominada cinturão verde (Figura 4).

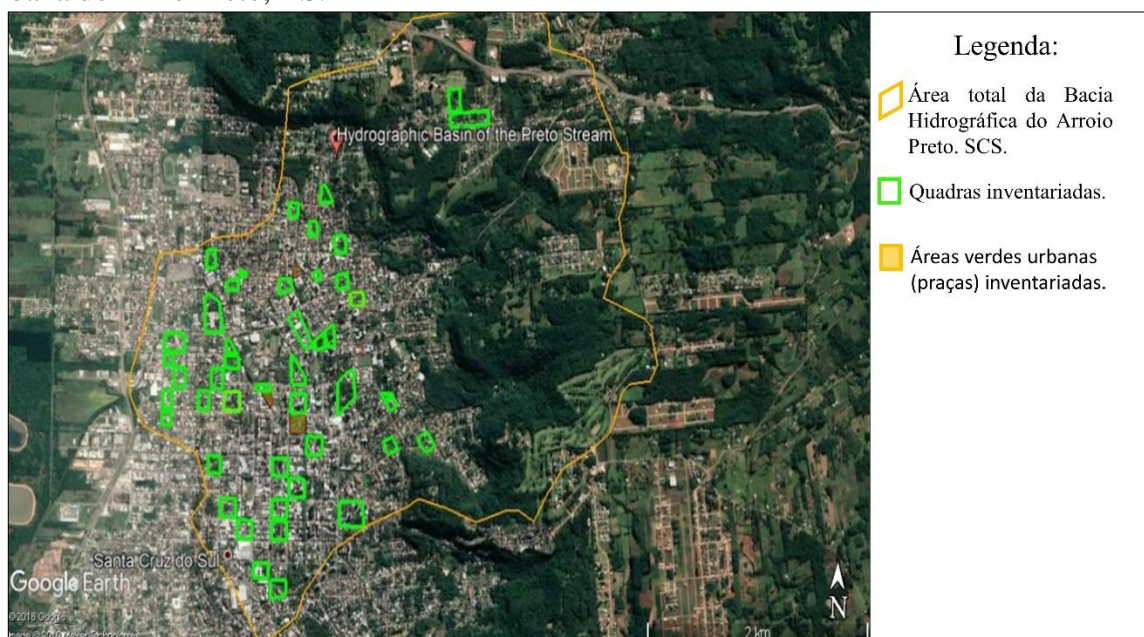
Figura 4: Área total da Bacia Hidrográfica do Arroio Preto com a demarcação do cinturão verde, e circunferência com raio de 1.000 m na área central.



4.2 Levantamento de campo

O levantamento de campo da arborização viária urbana foi realizado entre os meses de março e dezembro de 2019. Para a determinação dos conglomerados a serem inventariados foi atribuído um número para cada quarteirão, totalizando 302. Foi determinada uma amostragem de 15% do total, seguindo as recomendações de Nowak et al. (2008), que geralmente utilizam amostragens entre 10 e 20% para áreas urbanas, resultando em 45 quarteirões que foram determinados de maneira aleatória (Figura 5). Além disso, realizou-se o censo total em três praças determinadas aleatoriamente dentro da área.

Figura 5: Quadras e praças inventariadas no levantamento de campo na Bacia Hidrográfica Urbana do Arroio Preto, RS.



Todos os indivíduos encontrados foram identificados até o nível de espécie utilizando-se para a identificação as seguintes referências: Sobral (2013); Backes; Irgang (2002; 2004), para árvores nativas; Backes; Irgang (2004), para árvores exóticas. As nomenclaturas foram confirmadas através do portal REFLORA (2020). Foram levantados, também, os dados dendométricos destes exemplares, como altura total, diâmetro a altura do peito (DAP), altura da primeira bifurcação e estado fitossanitário geral. Além da identificação de conflitos com a fiação elétrica aérea e conflitos com o passeio público. A partir dos dados coletados foram calculados os seguintes parâmetros fitossociológicos utilizando as formulas descritas em Mueller-Dombois e Ellenberg (1974) e recentemente utilizadas por Melo et al. (2016):

densidade absoluta (DeA), densidade relativa (DeR), frequência absoluta (FrA), frequência relativa (FrR), dominância absoluta (DoA), dominância relativa (DoR), índice de valor de importância (IVI) e índice de valor de cobertura. Também foi calculado o índice de diversidade de Shannon (H'), seguindo as recomendações de Ludwig; Reynolds (1988), com o uso do *software PAST* (HAMMER et al., 2001).

Densidade absoluta (DeA): representa o número médio de árvores de uma determinada espécie por unidade de área. A unidade amostral comumente usada para formações florestais é um hectare (10.000 m²). No entanto, como o estudo foi realizado em área urbana, onde os indivíduos amostrados estão dispostos em linha nas calçadas, utilizou-se a distância média percorridas nos 45 quarteirões, calculando posteriormente o valor médio (\pm desvio-padrão). O valor da média foi considerado como unidade amostral.

$$DeA = ni \times U/A$$

Onde: ni= Número de indivíduos da espécie i; A = perímetro total amostrada, em km; U = Unidade amostral em km.

Densidade Relativa (DeR): é definida como a porcentagem do número de indivíduos de uma determinada espécie em relação ao total de indivíduos amostrados.

$$DeR = ni \times 100/N$$

Onde: ni= Número de indivíduos de uma dada espécie; N = número total de indivíduos.

Frequência Absoluta (FrA): é determinada pela porcentagem (%) de unidades de amostragem com ocorrência de uma espécie, em relação ao número total de unidades de amostragem.

$$FrA = Pi \times 100/P$$

Onde: Pi = número de pontos de amostragem em que a espécie ocorreu; P = Número total de pontos de amostragem.

Frequência relativa (FrR): é obtida da relação entre a frequência absoluta de cada espécie e a soma das frequências absolutas de todas as espécies amostradas.

$$FrR = FrA \times 100/\Sigma FrA$$

A Dominância refere-se à taxa de ocupação do ambiente pelos indivíduos de uma dada espécie por unidade de área, geralmente por hectare. Neste caso novamente utilizou-se a distância linear por se tratar de indivíduos presentes no passeio público.

Dominância Absoluta (DoA) é definida como a área basal total de uma determinada espécie (gi) por unidade de área, geralmente o hectare.

$$DoA = gi/km$$

$$gi = \pi \times DAP^2/4$$

Dominância Relativa (DoR): representa a porcentagem da área basal de uma determinada espécie (gi) em relação a área basal de todas as espécies amostradas (ΣG).

$$DoR = (gi \div G) \times 100$$

Índice de Valor de Importância (IVI): É o índice que caracteriza a importância de cada espécie na comunidade, reunindo os critérios de análise dos três parâmetros.

$$IVI = (DeR + FeR + DoR) \div 3$$

Índice de Valor de Cobertura (IVC): é a soma dos valores relativos e dominância de cada espécie.

$$IVC = (DoR + DeR) \div 2$$

As espécies identificadas foram classificadas em 4 grupos: “Espécie Nativa”; todas aquelas que são descritas originalmente para as formações dos biomas Mata Atlântica e Pampa, com ocorrência natural para a área de estudo. “Espécie Nativa do Brasil”; aquelas descritas para o Brasil, no entanto sem ocorrência natural para o Estado do Rio Grande do Sul. Segundo Isernhagen et al. (2019), dada a riqueza de formações fitogeográficas encontradas no Brasil, é preciso especificar de qual bioma e região a espécie é nativa, uma vez que generalizar o uso do termo “nativa” pode-se incorrer no risco de atribuir as mesmas características ecológicas a espécies de diferentes biomas. “Exótica”; foi atribuído a todas as espécies que têm sua origem fora do território brasileiro, e “Exótica Invasora”; aquelas com origem fora do Brasil e descritas na literatura com alto poder de dispersão e competição, com potencial de causar danos aos ambientes naturais onde estão inseridas. Para Nowak et al. (2013), as espécies invasoras são reconhecidas por apresentarem uma grande capacidade competitiva, reprodutiva e de adaptação, além da ausência de inimigos naturais, o que as torna uma ameaça para a paisagem nativa.

5. Indicador de Qualidade Ambiental Urbana (IQUAU)

O IQUAU, é uma ferramenta metodológica desenvolvida por Dresch (2017), que vem sendo constantemente aprimorada, visando sua consolidação como uma nova abordagem para a gestão ambiental de áreas urbanas. Esta ferramenta, reúne indicadores dos meios físico (MF), biótico (MB) e antrópico (MA), e tem a capacidade de identificar problemas potenciais, bem como, indicar ações prioritárias de manejo e preservação. Essa iniciativa, busca fomentar o desenvolvimento de cidades mais integradas e conectadas com seus recursos naturais, de modo que a sociedade reconheça essa integração e consiga se beneficiar dos serviços ecossistêmicos fornecidos, participando cada vez mais de ações que busquem o desenvolvimento urbano sustentável.

Quanto ao MB, objeto maior de interesse para esse estudo, Dresch (2017) utilizou inicialmente para a construção dos indicadores da ferramenta (IQUAU) critérios como: Biodiversidade; Mata Ciliar em APP; Áreas Verdes e Arborização Urbana. A cada um destes parâmetros, atribuiu um valor entre 0 e 1, que resultaram no valor final para MB. Para o critério “áreas verdes”, foi utilizada a área total em m² destas estruturas, dividido pelo número de habitantes estimado para a área. Seguindo recomendações da Organização Mundial da Saúde (OMS), que considera de 9 a 11 m² hab⁻¹ como um padrão de desempenho urbano satisfatório, para que estes elementos possam trazer qualidade de vida à população. No entanto, não foram levados em conta, a qualidade e biodiversidade destas áreas. Segundo De la Barrera et al. (2016), para uma avaliação mais realista dos serviços ambientais prestados pelas áreas verdes urbanas, seria importante avaliar a biodiversidade da área e a acessibilidade da população de maneira a enriquecer os resultados.

Quanto ao critério “arborização urbana”, o indicador utilizado, foi proposto por Iwama (2014), que definiu a concentração satisfatória para arborização dos passeios públicos como 100 árvores por quilômetro de calçada. A partir deste indicador torna-se possível avaliar de maneira quantitativa a arborização urbana local. Novamente, não foram considerados atributos como a diversidade de espécies, sua qualidade e seus conflitos com outras estruturas urbanas.

Assim, o presente estudo buscou contribuir com o aprimoramento da ferramenta IQUAU, propondo indicadores que retratem com segurança as condições da arborização e as áreas verdes urbanas, considerando o papel da biodiversidade como parte estrutural para a gestão destas áreas.

ARTIGO 1

Urban afforestation and its ecosystem balance contribution: A bibliometric review

Patrik Gustavo Wiesel¹, Elias Dresch², Eduardo Rodrigo Ramos de Santana³, Eduardo A. Lobo⁴

¹ Master Course student at the Environmental Technology Program, University of Santa Cruz do Sul (PPGTA/UNISC), Santa Cruz do Sul, RS, Brazil (patrikwiesel.bio@gmail.com).

² Doctoral Course student at PPGTA/UNISC. (elias.dresch@gmail.com).

³ Researcher at the Environmental Protection Foundation (FEPAM), Santa Cruz do Sul, RS, Brazil (errasantana@gmail.com).

⁴ Professor and researcher at PPGTA/UNISC. (lobo@unisc.br).

Abstract

Urbanization is characterized mainly by changes in land use and conversion of natural areas into constructed environments, as well as by a series of impacts such as biodiversity loss and decreasing water, air and soil quality, which interfere with the proper functioning of ecological networks. Still, most of the world's population lives in urban centers, concentrating economic wealth generation and technological innovations, which emphasizes their importance in the global context. Ecological research has shown a growing interest in elucidating the different relationships that occur in cities seeking to improve the inhabitants' life and promote ecosystem balance through the inclusion of green components and increased biodiversity. Ecosystem equilibrium is directly dependent on ecosystem services flows from the cities' green infrastructures, which can contribute significantly to carbon sequestration, particulate retention, heat island mitigation and surface runoff, directly favor population health and well-being. However, the urban ecosystem is complex, and its quality and balance are directly dependent on the interactions between people, nature and built-up areas. This highlights the importance of ecological research for a real understanding of these issues, as well as providing accurate data for supporting the population and public managers.

Key words: Urban afforestation, Ecosystem balance, Sustainable development, Biodiversity conservation.

REFERENCES

- Abhijith, K. V., Kumar, P., Gallagher, J., McNabola, A., Baldauf, R., Pilla, F., Broderick, B., Di Sabatino, S., Pulvirenti, B. (2017). Air pollution abatement performances of green infrastructure in open road and built-up street canyon environments—A review. *Atmospheric Environment*, 162, 71-86.
- Ahn, C., & Schmidt, S. (2019). Designing Wetlands as an Essential Infrastructural Element for Urban Development in the era of Climate Change. *Sustainability*, 11(7), 1920.
- Alberti, M. (2005). The effects of urban patterns on ecosystem function. *International regional science review*, 28, n. 2, p. 168-192.
- Alves, P. L., Formiga, K. T. M. (2019). Efeitos da arborização urbana na redução do escoamento pluvial superficial e no atraso do pico de vazão. *Ciência Florestal*, 29, n. 1, p. 193-207.
- Amorim, M. C. D. C. T. (2011). Climatology and urban space management. *Mercator*, 9, n. 1, p. 71-a.
- Andersson-Sköld, Y., Thorsson, S., Rayner, D., Lindberg, F., Janhäll, S., Jonsson, A., Moback, U., Bergman, R., Granberggh, M. (2015). An integrated method for assessing climate-related risks and adaptation alternatives in urban areas. *Climate Risk Management*, 7, p. 31-50.
- Armenteras, D., González, T. M., Vergara, L. K., Luque, F. J., Rodríguez, N., & Bonilla, M. A. (2016). Revisión del concepto de ecosistema como “unidad de la naturaleza” 80 años después de su formulación. *Revista Ecosistemas*, 25(1), 83-89.
- Armson, D., Stringer, P., Ennos, A. R. (2013). The effect of street trees and amenity grass on urban surface water runoff in Manchester, UK. *Urban Forestry & Urban Greening*, 12, n. 3, p. 282-286.
- Ayala-Azcárraga, C., Diaz, D., Zambrano, L. (2019). Characteristics of urban parks and their relation to user well-being. *Landscape and Urban Planning*, 189, p. 27-35.
- Ball, R., Tunger, D. (2006). Bibliometric analysis-A new business area for information professionals in libraries? *Scientometrics*, 66, n. 3, p. 561-577.
- Baptista, M. D., Livesley, S. J., Parmehr, E. G., Neave, M., & Amati, M. (2018). Variation in leaf area density drives the rainfall storage capacity of individual urban tree species. *Hydrological processes*, 32(25), 3729-3740.
- Bargos, D. C., Matias, L. F. (2011). Áreas verdes urbanas: um estudo de revisão e proposta conceitual. *Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana*, 6, n. 3, p. 172-188.

- Berland, A., Shiflett, S. A., Shuster, W. D., Garmestani, A. S., Goddard, H. C., Herrmann, D. L., Hopton, M. E. (2017). The role of trees in urban stormwater management. *Landscape and urban planning*, 162, 167-177.
- Bolund, P., Hunhammar, S. (1999). Ecosystem services in urban areas. *Ecological Economics*, 29, n. 2, p. 293-301.
- Bonenberg, W., Zhou, M.; Liu, S. (2018). Urban Green Spaces: An Element of a City's Balance Between the Built and Natural Environments. *Springer*. 3-13.
- Bontos, M. D., Vasiliu, D. (2016). Short-term Health Impact Assessment of Air Pollution in Targoviste City (Dambovita County). *Revista de Chimie*, 67, n. 9, p. 1854-1859.
- Bottalico, F., Chirici, G., Giannetti, F., De Marco, A., Nocentini, S., Paoletti, E., Salbitano, F., Sanesi, G., Serenelli, C., Travaglini, D. (2016). Air pollution removal by green infrastructures and urban forests in the city of Florence. *Agriculture and agricultural science procedia*, 8, 243-251.
- Bowler, D. E., Buyung-Ali, L., Knight, T. M., Pullin, A. S. (2010). Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence. *Landscape and urban planning*, 97, n. 3, p. 147-155.
- Burns, M. J., Fletcher, T. D., Walsh, C. J., Ladson, A. R., Hatt, B. E. (2012). Hydrologic shortcomings of conventional urban stormwater management and opportunities for reform. *Landscape and urban planning*, 105(3), 230-240.
- Carrus, G., Scopelliti, M., Laforteza, R., Colangelo, G., Ferrini, F., Salbitano, F., Agrimi, M., Portoghesi, L., Semenzato, P., Sanesi, G. (2015). Go greener, feel better? The positive effects of biodiversity on the well-being of individuals visiting urban and peri-urban green areas. *Landscape and Urban Planning*, 134, 221-228.
- Chawla, L. (2016) Growing up in an urbanizing world. *Routledge*.
- Chen, Y., Wang, X., Jiang, B., Wen, Z., Yang, N., & Li, L. (2017). Tree survival and growth are impacted by increased surface temperature on paved land. *Landscape and Urban Planning*, 162, 68-79.
- Childers, D., Cadenasso, M., Grove, J., Marshall, V., McGrath, B., & Pickett, S. (2015). An ecology for cities: A transformational nexus of design and ecology to advance climate change resilience and urban sustainability. *Sustainability*, 7(4), 3774-3791.
- Connop, S., Vandergert, P., Eisenberg, B., Collier, M. J., Nash, C., Clough, J., & Newport, D. (2016). Renaturing cities using a regionally-focused biodiversity-led multifunctional benefits approach to urban green infrastructure. *Environmental Science & Policy*, 62, 99-111.
- Conroy, M. J., Allen, C. R., Peterson, J. T., Pritchard, L., Moore, C. T. (2003). Landscape change in the southern Piedmont: challenges, solutions, and uncertainty across scales. *USGS Staff-Published Research*, 6.

- Corrigan, M. P. (2011). Growing what you eat: Developing community gardens in Baltimore, Maryland. *Applied Geography*, 31, n. 4, p. 1232-1241.
- Coutts, C., Horner, M., Chapin, T. (2010). Using geographical information system to model the effects of green space accessibility on mortality in Florida. *Geocarto International*, 25, n. 6, p. 471-484.
- Cox, D. T., Shanahan, D. F., Hudson, H. L., Fuller, R. A., & Gaston, K. J. (2018). The impact of urbanisation on nature dose and the implications for human health. *Landscape and urban planning*, 179, 72-80.
- Daily, G. C. (1997). *Nature's services*. Island Press, Washington, DC.
- Davies, M. (2015). The Consciousness of Trees. *Law & Literature*, 27, n. 2, p. 217-235.
- Deitch, M. J., Feirer, S. T. (2019). Cumulative impacts of residential rainwater harvesting on stormwater discharge through a peri-urban drainage network. *Journal of Environmental Management*, 243, p. 127-136.
- Deng, S., Ma, J., Zhang, L., Jia, Z., & Ma, L. (2019). Microclimate simulation and model optimization of the effect of roadway green space on atmospheric particulate matter. *Environmental pollution*, 246, 932-944.
- Dobbs, C., Escobedo, F. J., Zipperer, W. C. (2011). A framework for developing urban forest ecosystem services and goods indicators. *Landscape and urban planning*, 99, n. 3-4, p. 196-206.
- Donovan, G. H., Butry, D. T., Michael, Y. L., Prestemon, J. P., Liebhold, A. M., Gatzliolis, D., & Mao, M. Y. (2013). The relationship between trees and human health: evidence from the spread of the emerald ash borer. *American journal of preventive medicine*, 44(2), 139-145.
- Edenhofer, O. (2015). *Climate change 2014: mitigation of climate change*. Cambridge University Press.
- Elliott, R. M., Adkins, E. R., Culligan, P. J., Palmer, M. I. (2018). Stormwater infiltration capacity of street tree pits: Quantifying the influence of different design and management strategies in New York City. *Ecological Engineering*, 111, p. 157-166.
- Elmqvist, T., Setälä, H., Handel, S. N., Van Der Ploeg, S., Aronson, J., Blignaut, J. N., Gomez-Baggethun, E., Nowak, D. J., Kronenberg, J., De Groot, R. (2015). Benefits of restoring ecosystem services in urban areas. *Current opinion in environmental sustainability*, 14, 101-108.
- Fisher, B., Turner, R. K., Morling, P. (2009). Defining and classifying ecosystem services for decision making. *Ecological economics*, 68, n. 3, p. 643-653.
- Gallagher, J., Baldauf, R., Fuller, C. H., Kumar, P., Gill, L. W., McNabola, A. (2015). Passive methods for improving air quality in the built environment: A review of porous and solid barriers. *Atmospheric Environment*, 120, 61-70.

- Goudarzi, G., Daryanoosh, S. M., Godini, H., Hopke, P. K., Sicard, P., De Marco, A., Rad, H. D., Harbizadeh, A., Jahedi, F., Mohammadi, M. J., Savari, J., Sadeghi, S., Kaabi, K., Khaniabadi, O. (2017). Health risk assessment of exposure to the Middle-Eastern Dust storms in the Iranian megacity of Kermanshah. *Public health*, 148, 109-116.
- Grove, J. M., Locke, D. H., O'neil-Dunne, J. P. M. (2014). An ecology of prestige in New York City: examining the relationships among population density, socio-economic status, group identity, and residential canopy cover. *Environmental management*, 54, n. 3, p. 402-419.
- Gwedla, N., Shackleton, C. M. (2019). Perceptions and preferences for urban trees across multiple socio-economic contexts in the Eastern Cape, South Africa. *Landscape and Urban Planning*, 189, p. 225-234.
- Gómez-Baggethun, E., Barton, D. N. (2013). Classifying and valuing ecosystem services for urban planning. *Ecological Economics*, 86, p. 235-245.
- Heisler, G. M., Brazel, A. J. (2010). The urban physical environment: Temperature and urban heat islands. *Urban ecosystem ecology*, n. urbanecosysteme, p. 29-56.
- Horák, J., Rom, J., Rada, P., Šafářová, L., Koudelková, J., Zasadil, P., Halda, J. P., Holuša, J. (2018). Renaissance of a rural artifact in a city with a million people: biodiversity responses to an agro-forestry restoration in a large urban traditional fruit orchard. *Urban ecosystems*, 21(2), 263-270.
- Ignatieva, M. (2010). Design and future of urban biodiversity. *Urban biodiversity and design*, 1.
- Intergovernmental panel on climate change (IPCC). (2019). https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/09/AC6_brochure_en.pdf ._. Accessed in 08 the may 2019.
- Isernhagen, I., Le Bourlegat, J. M. G., Carboni, M. (2019). Trazendo a riqueza arbórea regional para dentro das cidades: possibilidades, limitações e benefícios. *Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana*, 4, n. 2, p. 117-138.
- Jacobson, M. Z., Ten Hoeve, J. E. (2012). Effects of urban surfaces and white roofs on global and regional climate. *Journal of climate*, 25, n. 3, p. 1028-1044.
- Janeček, V., Rada, P., Rom, J., Horák, J. (2019). Rural agroforestry artifacts in a city: determinants of spatiotemporally continuous fruit orchards in an urban area. *Urban Forestry & Urban Greening*, 41, p. 33-38.
- Janhäll, S. (2015). Review on urban vegetation and particle air pollution – Deposition and dispersion. *Atmospheric Environment*, 105, p. 130-137.
- Jayasooriya, V. M., Ng, A. W. M., Muthukumaran, S., Perera, B. J. C. (2017). Green infrastructure practices for improvement of urban air quality. *Urban Forestry & Urban Greening*, 21, p. 34-47.

- Jeanjean, A. P., Hinchliffe, G., McMullan, W. A., Monks, P. S., Leigh, R. J. (2015). A CFD study on the effectiveness of trees to disperse road traffic emissions at a city scale. *Atmospheric Environment*, 120, 1-14.
- Jeanjean, A. P. R., Monks, P. S., Leigh, R. J. (2016). Modelling the effectiveness of urban trees and grass on PM 2.5 reduction via dispersion and deposition at a city scale. *Atmospheric Environment*, 147, p. 1-10.
- Zadeh, A. K., Veroustraete, F., Buytaert, J. A. N., Dirckx, J., & Samson, R. (2013). Assessing urban habitat quality using spectral characteristics of Tilia leaves. *Environmental pollution*, 178, 7-14.
- Kleerekoper, L., Van Esch, M., Salcedo, T. B. (2012). How to make a city climate-proof, addressing the urban heat island effect. *Resources, Conservation and Recycling*, 64, p. 30-38.
- Knorr, D., Khoo, C. S. H., Augustin, M. A. (2018). Food for an Urban Planet: Challenges and Research Opportunities. *Frontiers in nutrition*, 4, p. 73.
- Kong, F., Yan, W., Zheng, G., Yin, H., Cavan, G., Zhan, W., Zhang, N., Cheng, L. (2016). Retrieval of three-dimensional tree canopy and shade using terrestrial laser scanning (TLS) data to analyze the cooling effect of vegetation. *Agricultural and forest meteorology*, 217, 22-34.
- Konijnendijk, C. C., Ricard, R. M., Kenney, A., Randrup, T. B. (2006). Defining urban forestry—A comparative perspective of North America and Europe. *Urban forestry & urban greening*, 4, n. 3-4, p. 93-103.
- Kuo, M., Browning, M. H., Sachdeva, S., Westphal, L., Lee, K. (2018). Might school performance grow on trees? Examining the link between “greenness” and academic achievement in urban, high-poverty schools. *Frontiers in psychology*, 9, 1669.
- La Notte, A., D’Amato, D., Mäkinen, H., Paracchini, M. L., Liqueste, C., Egoh, B., Geneletti, D., Crossman, N. D. (2017). Ecosystem services classification: A systems ecology perspective of the cascade framework. *Ecological Indicators*, 74, 392-402.
- Lafontaine-Messier, M., Gélinas, N., Olivier, A. (2016). Profitability of food trees planted in urban public green areas. *Urban Forestry & Urban Greening*, 16, p. 197-207.
- Le Roux, D. S., Ikin, K., Lindenmayer, D. B., Manning, A. D., & Gibbons, P. (2018). The value of scattered trees for wildlife: Contrasting effects of landscape context and tree size. *Diversity and Distributions*, 24(1), 69-81.
- Li, W.; Zhao, Y. (2015). Bibliometric analysis of global environmental assessment research in a 20-year period. *Environmental Impact Assessment Review*, 50, p. 158-166.
- Lieberherr, E.; Green, O. O. (2018). Green Infrastructure through Citizen Stormwater Management: Policy Instruments, Participation and Engagement. *Sustainability*, 10, n. 6.
- Liekens, I., De Nocker, L., Broekx, S., Aertsens, J., Markandya, A. (2013). Ecosystem services and their monetary value. *In Ecosystem Services* (pp. 13-28). Elsevier.

- Liu, X., Zhan, F. B., Hong, S., Niu, B., & Liu, Y. (2013). Replies to comments on “a bibliometric study of earthquake research: 1900–2010”. *Scientometrics*, 96(3), 933-936.
- Locosselli, G. M., de Camargo, E. P., Moreira, T. C. L., Todesco, E., de Fátima Andrade, M., André, C. D. S., André, P. F., Singer, J. M., Ferreira, L. S., Saldiva, P. H. N., Buckeridge, M. S. (2019). The role of air pollution and climate on the growth of urban trees. *Science of the Total Environment*, 666, 652-661.
- MARTINI, A. (2013). Microclima e conforto térmico proporcionado pelas árvores de rua na cidade de Curitiba-PR.
- Martini, A., Biondi, D., Batista, A. C. (2013). Variação diária e estacional do microclima urbano em ruas arborizadas de Curitiba-PR. *Floresta e Ambiente*, 20, n. 4, p. 460-469.
- Martini, A., Biondi, D., BATISTA, A. C. (2018). A influência das diferentes tipologias de floresta urbana no microclima do entorno imediato. *Ciência Florestal*, 28, n. 3.
- Martinuzzi, S., Ramos- González, O. M., Muñoz- Erickson, T. A., Locke, D. H., Lugo, A. E., Radeloff, V. C. (2018). Vegetation cover in relation to socioeconomic factors in a tropical city assessed from sub- meter resolution imagery. *Ecological applications*, 28(3), 681-693.
- Mcdonald, R. I. (2008). Global urbanization: can ecologists identify a sustainable way forward? *Frontiers in Ecology and the Environment*, 6, n. 2, p. 99-104.
- McFarland, A. R., Larsen, L., Yeshitela, K., Engida, A. N., & Love, N. G. (2019). Guide for using green infrastructure in urban environments for stormwater management. *Environmental Science: Water Research & Technology*, 5(4), 643-659.
- Meineke, E., Youngsteadt, E., Dunn, R. R., Frank, S. D. (2016). Urban warming reduces aboveground carbon storage. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 283, n. 1840.
- Millennium Ecosystem Assessment. (MA). (2005). Synthesis, Island Press, Washington DC.
- Miller, S. M., Montalto, F. A. (2019). Stakeholder perceptions of the ecosystem services provided by Green Infrastructure in New York City. *Ecosystem Services*, 37.
- Moffat, A. J. (2016). Communicating the benefits of urban trees: A critical review. *Arboricultural Journal*, 38, n. 2, p. 64-82.
- Moll, G.; Petit, J. (1994). The Urban Ecosystem: Putting Nature Back in the Picture. *Urban forests*, 14, n. 5, p. 8-15.
- Moore, G. M. (2009). Urban trees: worth more than they cost. In Proc. *10 th National Street Tree Symp.*, Univ. Adelaide/Waite Arboretum, Adelaide (pp. 7-14).
- Morero, A. M., Santos, R. F., Fidalgo, E. C. C. (2007). Planejamento ambiental de áreas verdes: Estudo de caso em Campinas/SP. Embrapa Solos. Artigo em periódico indexado (ALICE).

- Morgenroth, J., Östberg, J., van den Bosch, C. K., Nielsen, A. B., Hauer, R., Sjöman, H., Chen, W., Jansson, M. (2016). Urban tree diversity—Taking stock and looking ahead. *Urban Forestry & Urban Greening*, 15, 1-5.
- Mullaney, J., Lucke, T., Trueman, S. J. (2015). A review of benefits and challenges in growing street trees in paved urban environments. *Landscape and Urban Planning*, 134, p. 157-166.
- Nagendra, H., Gopal, D. (2010). Street trees in Bangalore: Density, diversity, composition and distribution. *Urban Forestry & Urban Greening*, 9, n. 2, p. 129-137.
- Nations, U. (2014). World urbanization prospects: The 2014 revision, highlights. department of economic and social affairs. *Population Division, United Nations*, v. 32.
- Naumann, S., Davis, M., Kaphengst, T., Pieterse, M., Rayment, M. (2011). Design, implementation and cost elements of Green Infrastructure projects. Final report, *European Commission, Brussels*, 138.
- Niemelä, J., Saarela, S. R., Söderman, T., Kopperoinen, L., Yli-Pelkonen, V., Väre, S., Kotze, D. J. (2010). Using the ecosystem services approach for better planning and conservation of urban green spaces: a Finland case study. *Biodiversity and Conservation*, 19(11), 3225-3243.
- Nock, C. A., Paquette, A., Follett, M., Nowak, D. J., & Messier, C. (2013). Effects of urbanization on tree species functional diversity in eastern North America. *Ecosystems*, 16(8), 1487-1497.
- Nowak, D. J., Crane, D. E., Stevens, J. C. (2006). Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States. *Urban forestry & urban greening*, 4, n. 3-4, p. 115-123.
- Nowak, D. J., Walton, J. T., Stevens, J. C., Crane, D. E., Hoehn, R. E. (2008). Effect of plot and sample size on timing and precision of urban forest assessments. *Arboriculture & Urban Forestry*. 34 (6): 386-390., 34(6).
- Nowak, D., Heisler, G. (2010). Air quality effects of urban trees and parks. Research Series Monograph. Ashburn, VA: National Recreation and Parks Association Research Series Monograph. 44 p., p. 1-44, 2010.
- Nowak, D. J., Hirabayashi, S., Bodine, A., Hoehn, R. (2013). Modeled PM_{2.5} removal by trees in ten U.S. cities and associated health effects. *Environmental Pollution*, 178, p. 395-402.
- Nowak, D. J., Hirabayashi, S., Bodine, A., Greenfield, E. (2014). Tree and forest effects on air quality and human health in the United States. *Environmental Pollution*, 193, p. 119-129.
- Nowak, D. J., Hoehn, R. E., Bodine, A. R., Greenfield, E. J., & O’Neil-Dunne, J. (2016). Urban forest structure, ecosystem services and change in Syracuse, NY. *Urban Ecosystems*, 19(4), 1455-1477.
- Odum, E. P., Barret, G. W. (2007). Fundamentos de ecologia. tradução da 5 edição americana. São Paulo, São Paulo: Thompson.

- Pandit, R., Polyakov, M., Sadler, R. (2012). The importance of tree cover and neighbourhood parks in determining urban property values (No. 423-2016-27042).
- Pauleit, S., Andersson, E., Anton, B., Buijs, A. Haase, D., Hansen, R., Kowarik, I., Olafsson, A. S., Van der Jagt, S. (2019). Urban green infrastructure – connecting people and nature for sustainable cities. *Urban Forestry & Urban Greening*, 40, p. 1-3.
- Payton, S., Lindsey, G., Wilson, J., Ottensmann, J. R., Man, J. (2008). Valuing the benefits of the urban forest: a spatial hedonic approach. *Journal of Environmental Planning and Management*, 51(6), 717-736.
- Pena, J. C., Martello, F., Ribeiro, M. C., Armitage, R. A., Young, R. J., & Rodrigues, M. (2017). Street trees reduce the negative effects of urbanization on birds. *PLoS one*, 12(3), e0174484.
- Prestamburgo, S., Sgroi, F., Zanin, C. (2019). Anthropic space and design for all. New knowledge paths for urban planning strategies. *Science of the Total Environment*, 663, p. 944-949.
- Roetman, P. E., Daniels, C. B. (2008). Including Biodiversity as a Component of Sustainability as Australian Cities Grow: Why and How. In *Proceedings of the Ninth National Street Tree Symposium*, University of Adelaide/Waite Arboretum, Adelaide.
- Roy, S., Byrne, J., Pickering, C. (2012). A systematic quantitative review of urban tree benefits, costs, and assessment methods across cities in different climatic zones. *Urban Forestry & Urban Greening*, 11, n. 4, p. 351-363.
- Rötzer, T., Rahman, M. A., Moser-Reischl, A., Pauleit, S., Pretzsch, H. (2019). Process based simulation of tree growth and ecosystem services of urban trees under present and future climate conditions. *Science of The Total Environment*, 676, 651-664.
- Sabbion, P. (2018). Green Streets to Improve Water Management. In: PÉREZ, G. e PERINI, K. (Ed.). *Nature Based Strategies for Urban and Building Sustainability*: Butterworth-Heinemann, Chapter 3.12. p. 215-225.
- Sandifer, P. A., Sutton-Grier, A. E., Ward, B. P. (2015). Exploring connections among nature, biodiversity, ecosystem services, and human health and well-being: Opportunities to enhance health and biodiversity conservation. *Ecosystem Services*, 12, p. 1-15.
- Serret, H., Raymond, R., Foltête, J. C., Clergeau, P., Simon, L., Machon, N. (2014). Potential contributions of green spaces at business sites to the ecological network in an urban agglomeration: The case of the Ile-de-France region, France. *Landscape and Urban Planning*, 131, 27-35.
- Seto, K. C., Dhakal, S., Bigio, A., Blanco, H., Delgado, G. C., Dewar, D., Huang, L., Inaba, A., Kansal, A., Lwasa, S., McMahon, J., Müller, D. B., Murakami, J., Nagendra, H., Ramaswami, A. (2014). Human settlements, infrastructure and spatial planning. In: *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change*. IPCC Working Group III Contribution to AR5. Cambridge University Press.

- Shanahan, D. F., Strohbach, M. W., Warren, P. S., Fuller, R. A. (2014). The challenges of urban living. *Avian Urban Ecology Behavioural and Physiological Adaptations*, 3, p. 20.
- Shwartz, A., Muratet, A., Simon, L., Julliard, R. (2013). Local and management variables outweigh landscape effects in enhancing the diversity of different taxa in a big metropolis. *Biological Conservation*, 157, p. 285-292.
- Sicard, P., Agathokleous, E., Araminiene, V., Carrari, E., Hoshika, Y., De Marco, A., Paoletti, E. (2018). Should we see urban trees as effective solutions to reduce increasing ozone levels in cities?. *Environmental pollution*.
- Smithers, R. J., Doick, K. J., Burton, A., Sibille, R., Steinbach, D., Harris, R., Groves, L., Blicharska, M. (2018). Comparing the relative abilities of tree species to cool the urban environment. *Urban ecosystems*, 21(5), 851-862.
- Soares, P. B., Carneiro, T. C. J., Calmon, J. L., Oliveira, L. O. D. C. (2016). Análise bibliométrica da produção científica brasileira sobre Tecnologia de Construção e Edificações na base de dados Web of Science. *Ambiente Construído*, 16, n. 1, p. 175-185.
- Southon, G. E., Jorgensen, A., Dunnett, N., Hoyle, H., Evans, K. L. (2018). Perceived species-richness in urban green spaces: Cues, accuracy and well-being impacts. *Landscape and Urban Planning*, 172, 1-10.
- Souza, M. P., Hoeltz, M., Brittes Benitez, L., Machado, Ê. L., Schneider, R. C. S. (2019). Microalgae and Clean Technologies: A Review. *CLEAN – Soil, Air, Water*, 47, n. 11, p. 18-38.
- Specht, K., Siebert, R., Hartmann, I., Freisinger, U. B., Sawicka, M., Werner, A., Thomaier, S., Henckel, D., Walk, H., Dierich, A. (2014). Urban agriculture of the future: an overview of sustainability aspects of food production in and on buildings. *Agriculture and human values*, 31(1), 33-51.
- Stagoll, K., Lindenmayer, D. B., Knight, E., Fischer, J., & Manning, A. D. (2012). Large trees are keystone structures in urban parks. *Conservation Letters*, 5(2), 115-122.
- Sumarga, E., Hein, L., Edens, B., Suwarno, A. (2015). Mapping monetary values of ecosystem services in support of developing ecosystem accounts. *Ecosystem Services*, 12, p. 71-83.
- Susca, T., Gaffin, S. R., Dell’Osso, G. R. (2011). Positive effects of vegetation: Urban heat island and green roofs. *Environmental pollution*, 159, n. 8-9, p. 2119-2126.
- Tallis, H., Bratman, G. N., Samhoury, J. F., Fargione, J. (2018). Are California Elementary School Test Scores More Strongly Associated With Urban Trees Than Poverty? *Frontiers in psychology*, 9, p. 2074-2074.
- Tarran, J. (2009). People and trees: providing benefits, overcoming impediments. In D. Lawry., J. Gardner., & M. Bridget (Eds), *Proceedings of the 10th National Street Tree Symposium* (pp. 63-82).
- Taylor, L., Hochuli, D. F. (2015). Creating better cities: how biodiversity and ecosystem functioning enhance urban residents’ wellbeing. *Urban ecosystems*, 18, n. 3, p. 747-762.

Taylor, L.; Hochuli, D. F. (2017). Defining greenspace: Multiple uses across multiple disciplines. *Landscape and Urban Planning*, 158, p. 25-38.

Thomaier, S., Specht, K., Henckel, D., Dierich, A., Siebert, R., Freisinger, U. B., Sawicka, M. (2015). Farming in and on urban buildings: Present practice and specific novelties of Zero-Acreage Farming (ZFarming). *Renewable Agriculture and Food Systems*, 30(1), 43-54.

Tirpak, R. A., Hathaway, J. M., Franklin, J. A. (2018). Evaluating the influence of design strategies and meteorological factors on tree transpiration in bioretention suspended pavement practices. *Ecohydrology*, 11, n. 8.

Tirpak, R. A., Hathaway, J. M., Franklin, J. A., Kuehler, E. (2019). Suspended pavement systems as opportunities for subsurface bioretention. *Ecological Engineering*, 134, p. 39-46.

Leung, W. T. V., Tam, T. Y. T., Pan, W. C., Wu, C. D., Lung, S. C. C., Spengler, J. D. (2019). How is environmental greenness related to students' academic performance in English and Mathematics?. *Landscape and urban planning*, 181, 118-124.

Tzoulas, K., Korpela, K., Venn, S., Yli-Pelkonen, V., Kaźmierczak, A., Niemela, J., & James, P. (2007). Promoting ecosystem and human health in urban areas using Green Infrastructure: A literature review. *Landscape and urban planning*, 81(3), 167-178.

Ugolini, D., Bonassi, S., Cristaudo, A., Leoncini, G., Ratto, G. B., & Neri, M. (2015). Temporal trend, geographic distribution, and publication quality in asbestos research. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(9), 6957-6967.

United States Department of Agriculture (USDA): <https://www.fs.fed.us/about-agency>. Accessed in: 30 may of 2019.

Van den Berg, M., van Poppel, M., van Kamp, I., Andrusaityte, S., Balseviciene, B., Cirach, M., Danileviciute, A., Ellis, N., Hurst, G., Masterson, D., Smith, G., Triguero-Mase, M., Uzdancaviciute, I., Mechelen, W. V., Gidlow, C., Gražulevičiene, R., Nieuwenhuijsen, M. J., Kruize, H., Maas, J. (2016). Visiting green space is associated with mental health and vitality: A cross-sectional study in four european cities. *Health & place*, 38, 8-15.

Vesely, É.-T. (2007). Green for green: The perceived value of a quantitative change in the urban tree estate of New Zealand. *Ecological Economics*, 63, n. 2, p. 605-615.

Vitousek, P. M., Mooney, H. A., Lubchenco, J., Melillo, J. M. (1997). Human domination of Earth's ecosystems. *Science*, 277, n. 5325, p. 494-499.

Walsh, C. J., Fletcher, T. D., Vietz, G. J. (2016). Variability in stream ecosystem response to urbanization: Unraveling the influences of physiography and urban land and water management. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 40, n. 5, p. 714-731.

Williams, N. S., Schwartz, M. W., Vesk, P. A., McCarthy, M. A., Hahs, A. K., Clemants, S. E., Corlett, R. T., Duncan, R. P., Norton, B. A., Thompson, K., McDonnell, M. J. (2009). A conceptual framework for predicting the effects of urban environments on floras. *Journal of ecology*, 97(1), 4-9.

- Wolf, K. L., Robbins, A. S. T. (2015). Metro Nature, Environmental Health, and Economic Value. *Environmental Health Perspectives*, 123, n. 5, p. 390-398.
- Wood, L., Hooper, P., Foster, S., Bull, F. (2017). Public green spaces and positive mental health – investigating the relationship between access, quantity and types of parks and mental wellbeing. *Health & Place*, 48, p. 63-71.
- Xiao, Q., Mcpherson, E. G. (2016). Surface water storage capacity of twenty tree species in Davis, California. *Journal of environmental quality*, 45, n. 1, p. 188-198.
- Yang, J., Yan, P., He, R., Song, X. (2017). Exploring land-use legacy effects on taxonomic and functional diversity of woody plants in a rapidly urbanizing landscape. *Landscape and Urban Planning*, 162, p. 92-103.
- Zhang, H., Lai, P. Y., Jim, C. Y. (2017). Species diversity and spatial pattern of old and precious trees in Macau. *Landscape and Urban Planning*, 162, p. 56-67.
- Zhang, L., Zhang, Z., Chen, L., McNulty, S. (2019). An investigation on the leaf accumulation-removal efficiency of atmospheric particulate matter for five urban plant species under different rainfall regimes. *Atmospheric Environment*, 208, p. 123-132.
- Zhou, X., Wang, Y. C. (2011). Spatial-temporal dynamics of urban green space in response to rapid urbanization and greening policies. *Landscape and Urban Planning*, 100, n. 3, p. 268-277.

ARTIGO 2

Evaluation of urban green areas in Preto Stream Watershed, Santa Cruz do Sul County, RS, Brazil

Patrik Gustavo Wiesel¹, Elias Dresch¹, Eduardo Rodrigo Ramos de Santana², Marcos Henrique Schroeder³, Sergio Antonio Castro⁴, Eduardo A. Lobo⁵

¹ Doctoral course student at the Environmental Technology Program, University of Santa Cruz do Sul (PPGTA/UNISC), Santa Cruz do Sul City, RS, Brazil (patrikwiesel.bio@gmail.com), (elias.dresch@gmail.com).

² Researcher at the Environmental Protection Foundation (FEPAM), Santa Cruz do Sul City, RS, Brazil (errsantana@gmail.com).

³ Undergraduate student in the Biological Science course at UNISC (marcoshschroeder@mx2.unisc.br).

⁴ Professor and researcher at the Faculty of Chemistry and Biology, University of Santiago de Chile (USACH). Santiago City, Chile (sergio.castro@usach.cl).

⁵ Professor and researcher at PPGTA/UNISC (lobo@unisc.br).

ABSTRACT

The accelerated growth of urban centers and the increasing demographic promote the progressive reduction of environmental quality, affecting severely natural systems. Alternatively, the execution of forestry projects in urbanized areas, integrating natural resources with the built elements, can improve the environmental quality, guarantying a more homogeneous distribution of ecosystem services. Thus, this research aimed at evaluating the urban forest composition in the Preto Stream Watershed (PSW), Santa Cruz do Sul County, RS, Brazil. Data collected in field surveys between March and December 2019 were analyzed, as well as from satellite images through the I-tree and QGIS programs, aiming to determine the urban forest magnitude, species richness and diversity for estimating the potential ecosystem services supply and identifying conflicts. Considering the total green area, the PSW showed a forest canopy of 42.6%, equaling developed cities of North America. An estimated annual carbon sequestration of 6,957 t C was observed in this green area, capable of stocking in a period of 40 years about 174,740 t CO₂. The 40.5% reduction in canopy coverage from the total area of the PSW to the central area, and the consequent reduction in the carbon sequestration by approximately 42%, highlights the importance of preserving the forest remnants of the green belt that characterize this region. In general, the urban forest presented a high diversity of species, $H^2 = 2.89$; however, the expressive occurrence of exotic species attests the need for a management plan, to contemplate the gradual replacement of exotic species and the eradication of invasive alien species.

Referências

- Alberti, M. (2008). *Advances in urban ecology: integrating humans and ecological processes in urban ecosystems* (No. 574.5268 A4). New York: *Springer*.
- Andersson-Sköld, Y., Thorsson, S., Rayner, D., Lindberg, F., Janhäll, S., Jonsson, A., Moback, U., Bergman, R., Granberg, M. (2015). An integrated method for assessing climate-related risks and adaptation alternatives in urban areas. *Climate Risk Management*, 7, 31-50.
- Ayup, M. M., Montti, L., Aragón, R., Grau, H. R. (2014). Invasion of *Ligustrum lucidum* (Oleaceae) in the southern Yungas: Changes in habitat properties and decline in bird diversity. *Acta Oecologica*, 54, p. 72-81.
- Backes, P; Irgang, B (2002) *Árvores do Sul. Guia de Identificação e Interesse Ecológico*. Instituto Souza Cruz. 326p.
- Backes, P; Irgang, B (2004) *Árvores cultivadas no sul do Brasil. Guia de identificação e interesse paisagístico das principais espécies exóticas*. Instituto Souza Cruz. 204p.
- Backes, P; Irgang, BE (2004) *Mata Atlântica: as árvores e a Paisagem*. Clube da Árvore, Instituto Souza Cruz. 393 p.
- Bonenberg, W., Zhou, M., Liu, S. (2018). Urban Green Spaces: An Element of a City's Balance Between the Built and Natural Environments. *Springer*. 3-13.
- Borowski, J., Fortuna-Antoszkiewicz, B., Łukaszewicz, J., Rosłon-Szeryńska, E. (2018). Conditions for the effective development and protection of the resources of urban green infrastructure. *EDP Sciences*. 00010.
- Buckeridge, M. (2015). *Árvores urbanas em São Paulo: planejamento, economia e água*. *Estudos avançados*, 29, n. 84, p. 85-101.
- Chen, Y., Wang, X., Jiang, B., Wen, Z., Yang, N., Li, L. (2017). Tree survival and growth are impacted by increased surface temperature on paved land. *Landscape and Urban Planning*, 162, 68-79.
- DNR. (2019). Iowa Department of Natural Resources. Community Tree Inventories. Disponível em: <<https://www.iowadnr.gov/Conservation/Forestry/Urban-Forestry>> Acesso em: 09 jul. 2019.
- Dresch, E. (2017) *Inovação metodológica na avaliação da qualidade ambiental urbana aplicada na bacia hidrográfica do Arroio Preto, Santa Cruz do Sul, RS, Brasil*.
- Faria, J. L. G., Monteiro, E. A., Fisch, S. T. V. (2007). Arborização de vias públicas do município de Jacareí-SP. *Revista da sociedade brasileira de arborização urbana*, 2, n. 4, p. 20-33.
- Fetter, D., Dörr, D. S., Moraes, J. A. R., Putzke, J., Lobo, E. A. (2020). Methodology proposed for photogrammetric monitoring of the exotic species *Hovenia dulcis* Thunb. in the Green Belt

area surrounding the city of Santa Cruz do Sul, RS, Brazil. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192(1), 26.

Fuller, R. A., Irvine, K. N., Devine-Wright, P., Warren, P. H., Gaston, K. J. (2007). Psychological benefits of greenspace increase with biodiversity. *Biology letters*, 3(4), 390-394.

Grunewald, K.; Olaf, B. (2017). Special Issue: “Maintaining Ecosystem Services to Support Urban Needs”. *Sustainability*, 9, n. 9, 2017.

Gómez-Baggethun, E., Barton, D. N. (2013). Classifying and valuing ecosystem services for urban planning. *Ecological Economics*, 86, p. 235-245.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. IBGE. (2017). v4.3.26 <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/santa-cruz-do-sul/panorama>><https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/santa-cruz-do-sul/panoramas>. Acessado em 20 de maio de 2019.

Hammer, Ø., Harper, D.A.T. & Ryan, P.D. (2001). PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis.

Isernhagen, I., Le Bourlegat, J. M. G., Carboni, M. (2019). Trazendo a riqueza arbórea regional para dentro das cidades: possibilidades, limitações e benefícios. *Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana*, 4, n. 2, p. 117-138.

Jacobs, B., Mikhailovich, N., Delaney, C. (2014). Benchmarking Australia's Urban Tree Canopy: An i-Tree assessment, *Final Report*.

Kaspar, J.; Kendal, D.; Sore, R.; Livesley, S. J. (2017). Random point sampling to detect gain and loss in tree canopy cover in response to urban densification. *Urban Forestry & Urban Greening*, 24, p. 26-34.

Kim, G., Miller, P. A., Nowak, D. J. (2018). Urban vacant land typology: A tool for managing urban vacant land. *Sustainable Cities and Society*, 36, p. 144-156.

Kuang, W. (2019). Mapping global impervious surface area and green space within urban environments. *Science China Earth Sciences*, 62(10), 1591-1606.

Le Roux, D. S., Ikin, K., Lindenmayer, D. B., Manning, A. D., Gibbons, P. (2018). The value of scattered trees for wildlife: Contrasting effects of landscape context and tree size. *Diversity and Distributions*, 24(1), 69-81.

Lehmann, I., Mathey, J., Rößler, S., Bräuer, A., & Goldberg, V. (2014). Urban vegetation structure types as a methodological approach for identifying ecosystem services—Application to the analysis of micro-climatic effects. *Ecological Indicators*, 42, 58-72.

Liu, C., Li, X. (2012). Carbon storage and sequestration by urban forests in Shenyang, China. *Urban Forestry & Urban Greening*, 11(2), 121-128.

Long, L. C., D'amico, V., Frank, S. D. (2019). Urban forest fragments buffer trees from warming and pests. *Science of The Total Environment*, 658, p. 1523-1530.

- Ludwig, J. A., QUARTET, L., Reynolds, J. F. (1988). *Statistical ecology: a primer in methods and computing* (Vol. 1). John Wiley & Sons.
- Martine, G. (2012). The new global frontier: urbanization, poverty and environment in the 21st century. *Earthscan*. 1849773157.
- Martins, L. F. V., de Andrade, H. H. B., De Angelis, B. L. D. (2010). Relação entre podas e aspectos fitossanitários em árvores urbanas na cidade de Luiziana, Paraná. *Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana*, 5(4), 141-155.
- Matteucci, S. D., Colma, A. (1982). Metodología para el estudio de la vegetación (Vol. 22). Washington, DC: Secretaria General de la Organización de los Estados Americanos.
- Meineke, E., Youngsteadt, E., Dunn, R. R., Frank, S. D. (2016). Urban warming reduces aboveground carbon storage. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 283, n. 1840, p. 20161574.
- Melo, N.A., Delevati, D.M., Putzke, J., Lobo, E.A. (2016). Phytosociological Survey in Water Preservation Areas, Southern, Brazil. *The Botanical Review*. Vol. 82, pp. 359-370.
- Menezes, D. J. (2014). Zoneamento das áreas de risco de inundação na área urbana de Santa Cruz do Sul-RS.
- Milan, E., Moro, R. S. (2016). O conceito biogeográfico de ecótono. *Terr@ Plural*, 10(1), 75-88.
- Misterio do Meio Ambiente – MMA (2006). Espécies exóticas invasoras: situação brasileira. Secretaria de Biodiversidade e Florestas. – Brasília: MMA, 24 p
- Moore, G. M. (2009). Urban trees: worth more than they cost. In Proc. *10 th National Street Tree Symp., Univ. Adelaide/Waite Arboretum, Adelaide* (pp. 7-14).
- Moro, M. F., Castro, A. S. F. (2015). A check list of plant species in the urban forestry of Fortaleza, Brazil: where are the native species in the country of megadiversity?. *Urban ecosystems*, 18(1), 47-71.
- Moro, M. F., Westerkamp, C., de Araújo, F. S. (2014). How much importance is given to native plants in cities' treescape? A case study in Fortaleza, Brazil. *Urban Forestry & Urban Greening*, 13(2), 365-374.
- Muddiman, S. (2019). Ecosystem Services: Economics and Policy. *Springer*, 3030138194.
- Mueller-Dombois, D., ElleMBERG, H. (1974). Aims and methods of vegetation ecology. New York: *John Wiley*. 547p.
- Mullaney, J., Lucke, T., Trueman, S. J. (2015). A review of benefits and challenges in growing street trees in paved urban environments. *Landscape and Urban Planning*, 134, p. 157-166.
- Nagendra, H., Gopal, D. (2010). Street trees in Bangalore: Density, diversity, composition and distribution. *Urban forestry & urban greening*, 9(2), 129-137.

- Nock, C. A., Paquette, A., Follett, M., Nowak, D. J., & Messier, C. (2013). Effects of urbanization on tree species functional diversity in eastern North America. *Ecosystems*, 16(8), 1487-1497.
- Nowak, D. J., Bodine, A. R., Robert III, E., Crane, D. E., Ellis, A., Endreny, T. A., Yang, Y., Jacobs, T., Shelton, K. (2013). Assessing urban forest effects and values: the greater Kansas City region. Resour. Bull. NRS-75. Newtown Square, PA: US Department of Agriculture, Forest Service, Northern Research Station. 72 p., 75, 1-72.
- Nowak, D. J.; Greenfield, E. J. (2012). Tree and impervious cover change in U.S. cities. *Urban Forestry & Urban Greening*, 11, n. 1, p. 21-30.
- Nowak, D. J.; Greenfield, E. J. (2018). Declining urban and community tree cover in the United States. *Urban Forestry & Urban Greening*, 32, p. 32-55.
- Nowak, D. J., Hirabayashi, S., Bodine, A., Greenfield, E. (2014). Tree and forest effects on air quality and human health in the United States. *Environmental Pollution*, 193, p. 119-129.
- Nowak, D. J., Hoehn, R. E., Bodine, A. R., Greenfield, E. J., & O'Neil-Dunne, J. (2016). Urban forest structure, ecosystem services and change in Syracuse, NY. *Urban Ecosystems*, 19(4), 1455-1477.
- Nowak, D. J., Walton, J. T., Stevens, J. C., Crane, D. E., Hoehn, R. E. (2008). Effect of plot and sample size on timing and precision of urban forest assessments. *Arboriculture & Urban Forestry*. 34 (6): 386-390., 34(6).
- Olivatto, T. F., Barbin, N. B. C. B. (2017). Using i-Tree Software to Estimate and Value Ecosystem Services. *Brazilian Technology Symposium*.
- Opoku, A. (2019). Biodiversity and the built environment: Implications for the Sustainable Development Goals (SDGs). *Resources, Conservation and Recycling*, 141, p. 1-7.
- Parmehr, E. G., Amati, M., Taylor, E. J., Livesley, S. J. (2016). Estimation of urban tree canopy cover using random point sampling and remote sensing methods. *Urban Forestry & Urban Greening*, 20, p. 160-171.
- Parsa, V. A., Salehi, E., Yavari, A. R., Van Bodegom, P. M. (2019). Evaluating the potential contribution of urban ecosystem service to climate change mitigation. *Urban Ecosystems*, 22, n. 5, p. 989-1006.
- Pauleit, S.; Breuste, J. H. (2011). Land use and surface cover as urban ecological indicators.
- Pedlar, J. H., McKenney, D. W., Allen, D., Lawrence, K., Lawrence, G., & Campbell, K. (2013). A street tree survey for Canadian communities: Protocol and early results. *The Forestry Chronicle*, 89(6), 753-758.
- Pena, J. C., Martello, F., Ribeiro, M. C., Armitage, R. A., Young, R. J., & Rodrigues, M. (2017). Street trees reduce the negative effects of urbanization on birds. *PloS one*, 12(3), e0174484.

Pott, R. (2011). Phytosociology: A modern geobotanical method. *Plant Biosystems-An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology*, 145, n. sup1, p. 9-18, 2011.

Pregitzer, C. C., Ashton, M. S., Charlop-Powers, S., D'Amato, A. W., Frey, B. R., Gunther, B., Hallett, R. A., Pregitzer, K. S., Woodall, C. W., Bradford, M. A. (2019). Defining and assessing urban forests to inform management and policy. *Environmental Research Letters*, 14(8), 085002.

Projeto MapBiomas – Coleção (2020) da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil, acessado em: 10 de janeiro de 2020 através do link: <http://mapbiomas.org>.

Ratih, Y., Febrianto, J. Z. (2016). Biodiversity as part of urban green network system planning case study: Pontianak City. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, v. 227, p. 583-586.

REFLORA. (2020). Flora do Brasil 2020. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: < <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/> >. Acesso em: 11 Dez. 2019

Reid, C. E., Clougherty, J. E., Shmool, J. L., Kubzansky, L. D. (2017). Is all urban green space the same? A comparison of the health benefits of trees and grass in New York City. *International journal of environmental research and public health*, 14(11), 1411.

Rio Grande do Sul. (2002). Governo do Estado. Secretaria do Meio Ambiente. Relatório Final do Inventário Florestal Contínuo do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, v.1, 706p.

Rogers, K., Sacre, K., Goodenough, J., Doick, K. (2015). Valuing London's urban forest: results of the London i-Tree eco project.

Rossatto, D. R., Tsuboy, M. S. F., Frei, F. (2008). Arborização urbana na cidade de Assis-SP: uma abordagem quantitativa. *Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana*, 3(3), 1-16.

Sandifer, P. A., Sutton-Grier, A. E., Ward, B. P. (2015). Exploring connections among nature, biodiversity, ecosystem services, and human health and well-being: Opportunities to enhance health and biodiversity conservation. *Ecosystem Services*, 12, p. 1-15.

Shanahan, D. F., Strohbach, M. W., Warren, P. S., Fuller, R. A. (2014). The challenges of urban living. *Avian Urban Ecology Behavioural and Physiological Adaptations*, 3, p. 20.

Silva, O. H. D., Locastro, J. K., Sanches, S. D. P., Angelis Neto, G. D., Angelis, B. L. D. D., Caxambú, M. G. (2019). Avaliação da arborização viária da cidade de São Tomé, Paraná. *Ciência Florestal*, 29(1), 371-384.

Siriwardena, S. D., Boyle, K. J., Holmes, T. P., Wiseman, P. E. (2016 a). The implicit value of tree cover in the U.S.: A meta-analysis of hedonic property value studies. *Ecological Economics*, 128, p. 68-76.

Siriwardena, S. D., Boyle, K. J., Holmes, T. P., Wiseman, P. E. (2016 b). The implicit value of tree cover in the US: A meta-analysis of hedonic property value studies. *Ecological Economics*, 128, p. 68-76.

- Sjöman, H., Busse Nielsen, A. (2010). Selecting trees for urban paved sites in Scandinavia – A review of information on stress tolerance and its relation to the requirements of tree planners. *Urban Forestry & Urban Greening*, 9, n. 4, p. 281-293.
- Sjöman, H., Morgenroth, J., Sjöman, J. D., Sæbø, A., Kowarik, I. (2016). Diversification of the urban forest—Can we afford to exclude exotic tree species?. *Urban forestry & urban greening*, 18, 237-241.
- Soares, A. L., Rego, F. C., McPherson, E. G., Simpson, J. R., Peper, P. J., & Xiao, Q. (2011). Benefits and costs of street trees in Lisbon, Portugal. *Urban Forestry & Urban Greening*, 10(2), 69-78.
- Sobral, M. (2009). Flora arbórea e arborescente do Rio Grande do Sul, Brasil. RiMa.
- Stad, S. (2018). Stockholm City Plan.
- Conde, R. V. (2014) Rosalino. Ecología y medio ambiente. Grupo Editorial Patria.
- WEBER, J.-L. (2007). Implementation of land and ecosystem accounts at the European Environment Agency. *Ecological Economics*, 61, n. 4, p. 695-707.
- Yang, J., Yan, P., He, R., Song, X. (2017). Exploring land-use legacy effects on taxonomic and functional diversity of woody plants in a rapidly urbanizing landscape. *Landscape and Urban Planning*, 162, p. 92-103.

6 Indicadores de Qualidade Ambiental para Meio Biótico- IQAU

Considerando os resultados obtidos, e em consonância com o objetivo de aprimoramento constante da ferramenta para avaliação ambiental de cidades de médio porte IQAU (DRESCH, 2017), buscamos propor indicadores que auxiliem no entendimento das questões ambientais relacionadas a áreas verdes, de maneira a melhorar sua gestão e beneficiar as populações destes dependentes.

6.1 Área Verde Total

A análise do percentual de cobertura arbórea baseada em imagens aéreas ou de satélite, é um dos métodos mais simples para avaliar quantitativamente a floresta urbana e os benefícios que estas proporcionam (NOWAK; GREENFIELD, 2018). Além disso, o monitoramento contínuo das áreas verdes urbanas pode fornecer informações precisas sobre como a estrutura da floresta urbana está mudando ao longo do tempo (NOWAK; HOEHN; BODINE *et al.*, 2016).

Para composição deste indicador utilizou-se como referência o trabalho de Kuang (2019), que mapeando as áreas verdes urbanas a nível mundial, encontrou o melhor resultado para cidades do Continente Europeu que apresentaram um valor médio de 50% de áreas verdes. Desta maneira considerou-se como valor adequado para construção do indicador o valor de 50%. A construção do indicador apresenta-se na Tabela 1.

Tabela 1: Construção do indicador para Área Verde Total.

Área	Meio Biótico
Grupo	Conteúdo
Indicador Meio Biótico (MB1)	Área Verde Total (AVT)
Método de Coleta de Dados	Caracterização da área de estudo através do software <i>i-Tree Canopy</i> com a aplicação mínima de 2000 pontos aleatórios, utilizando a cobertura de área verde (TC) em (%).
Variáveis	Áreas verdes urbanas (Praças, Remanescentes Florestais, Arborização viária).
Fórmula e Resultados	$MBI = \frac{AVT (\%)}{50}$
Valoração	O resultado será um valor, ≥ 0 e $\leq 1,0$. Entende-se como valor máximo de referência o valor de 1,0.

Os procedimentos para obtenção dos dados passam inicialmente pela determinação da área de pesquisa através do *software QGIS* com base em cartas cartográficas oficiais, ou pela delimitação da área de pesquisa diretamente no *software i-Tree* na função *Canopy*.

1º) Delimitação da área de pesquisa e aplicação mínima de 2000 mil pontos de amostragem aleatória, ou até que se obtenha um erro padrão menor que 1,0 para cobertura de árvore (TC).

2º) Análise dos dados e aplicação da fórmula.

6.1.1 Aplicação da fórmula

A Bacia do Arroio Preto (BAP), apresentou para a área total um valor de 42,6% de cobertura verde, aplicando na fórmula, tem-se:

$$MB1_{AT} = \frac{42,6}{50} = 0,85$$

Esse valor indica que para MB1 a BAP apresenta uma boa proporção de área verde apresentando resultado similares às cidades Norte Americanas, segundo Kuang (2019). No entanto, aplicando-se os resultados para a área menor dentro da BAP tem-se:

$$MB1_{AM} = \frac{25,2}{50} = 0,50$$

Segundo Kuang (2019), esse resultado condiz com resultados descritos para cidades da América do Sul que apresentam em média 30% de área verdes, onde recomenda-se um maior investimento na manutenção e ampliação destes espaços. Segundo STAD (2018), o incremento de áreas verdes nas cidades é fundamental, uma vez que estas áreas garantem a qualidade ambiental e conseqüentemente a qualidade de vida dos habitantes, e principalmente devem proporcionar um ambiente de qualidade para as futuras gerações.

6.2 Indicador para Diversidade e Riqueza de Espécies

Nos centros urbanos todas as espécies arbóreas apresentam e desempenham um papel ecológico, no entanto, devido a elevada dinâmica e fluxo de espécies, diversos grupos de interesse ecológico podem ser identificados. Segundo Isernhagen et al. (2019), mesmo as espécies nativas do Brasil apresentam características e valores de importância ecológicas diferentes dada a grande riqueza de formações fitogeográficas encontradas no país. Desta maneira, torna-se necessário especificar de qual bioma e região a espécie é nativa, evitando-se, assim, incorrer no erro de atribuir às mesmas características ecológicas a espécies de diferentes biomas.

Em todo o mundo, as espécies exóticas representam uma parte substancial dos indivíduos arbóreos presentes nas cidades (COWETT; BASSUK, 2014; MORO; WESTERKAMP; SOARES, 2014). Apesar de as árvores nativas apresentarem maior valor ecossistêmico, as espécies exóticas desempenham uma importante função no ambiente. Segundo Sjöman (2016), a exclusão total das espécies de árvores exóticas em áreas urbanas não é recomendada uma vez que pode acarretar a diminuição da resiliência deste ecossistema. Ainda, segundo o autor, o ambiente urbano deve ser composto por espécies nativas e exóticas (não invasoras), onde elas assumam um papel complementar no ambiente.

Desta maneira, deve-se atribuir uma importância ecológica a estes representantes. Espécies exóticas estáveis apresentam maior valor ecológico do que espécies exóticas invasoras, uma vez que as espécies invasoras são reconhecidas por seu alto potencial de dispersão e competição, podendo acarretar danos aos remanescentes florestais (NOWAK; BODINE; ROBERT, 2013). A construção do indicador é descrita na Tabela 2.

Tabela 2: Construção do Indicador relativo à Diversidade e Riqueza de espécies.

Área	Meio Biótico
Grupo	Conteúdo
Indicador Meio Biótico (MB2)	Indicador para Diversidade e Riqueza de Espécies
Método de Coleta de Dados	Levantamento de campo por amostragem aleatória, com representatividade entre 10 e 20% do total de conglomerados da área de estudo.
Variáveis	Identificação dos indivíduos arbóreos e classificação das espécies quanto a sua origem: Nativas (NT); Nativas do Brasil (NB); Exótica (EX) e Exótica Invasora (EI).
Fórmula e Resultados	$MB2 = \frac{(\%NT \times 1,0) + (\%NB \times 0,75) + (\%EX \times 0,50) + (\%EI \times 0,10)}{100}$
Valoração	O resultado será um valor ≥ 0 e $\leq 1,0$. Classificações de referência: Peso:
	Nativa 1,0
	Nativa do Brasil 0,75
	Exótica 0,50
	Exótica Invasora 0,10

Os procedimentos para obtenção dos dados iniciam com a determinação da área de pesquisa e posterior determinação do número de conglomerados (quarteirões). A partir dos resultados, recomenda-se a amostragem aleatória de no mínimo 10% dos quarteirões.

1º) Coleta de dados sobre os indivíduos arbóreos presentes nos passeios públicos.

2º) Tabulação e tratamento dos dados.

3º) Aplicação da fórmula.

6.2.1 Aplicação da Fórmula

A BAP apresentou para o inventário de 15% dos conglomerados um total de 2264 indivíduos que foram proporcionalmente classificados quanto a sua origem em: Nativas 15,4%, Nativas do Brasil 6,3%, Exóticas 58,3 e Exóticas invasoras 20%. Aplicando-se a fórmula tem-se:

$$MB2_{CON} = \frac{(15,4 \times 1,0) + (6,3 \times 0,75) + (58,3 \times 0,50) + (20 \times 0,1)}{100} = 0,51$$

Neste critério, o indicador MB2_{CON} aponta para a BAP um resultado médio, que poderia ser melhorado com a adoção de espécies Nativas e Nativas do Brasil. Segundo STAD (2014), espécies nativas e exóticas tem um valor de importância ecológica diferente em ambientes urbanos. Pena et al. (2017) afirmam que o aumento da diversidade e riqueza de espécies nativas são práticas que podem aumentar a biodiversidade e a funcionalidade dos ecossistemas urbanos.

Quanto as áreas verdes (praças), o inventário apresentou um total de 365 indivíduos distribuídos respectivamente em: Nativas 24,7%, Nativas do Brasil 12%, Exóticas 54,8% e Exóticas Invasoras 8,5%. Aplicando na fórmula tem-se:

$$MB2_{AV} = \frac{(24,7 \times 1,0) + (12 \times 0,75) + (54,8 \times 0,50) + (8,5 \times 0,1)}{100} = 0,62$$

Para as áreas verdes da BAP, o MB2_{AV} apresentou um valor consideravelmente maior que os conglomerados, isso devido a menor proporção, principalmente de espécies exóticas invasoras e uma proporção maior de espécies Nativas e Nativas do Brasil.

6.3 Indicador de Estado Fitossanitário Geral

A construção deste indicador considerou o estado fitossanitário geral dos indivíduos inventariados, que foram classificados em 3 categorias de acordo com Faria; Monteiro; Fisch, (2007); Backes; Girardi; Neuhaus, et al. (2011), a seguir: BOM (Árvore vigorosa e sadia, sem necessidade de intervenções); REGULAR (médias condições de vigor e saúde com necessidade de reparos e podas) e RUIM (avançado e irreversível declínio de suas funções fisiológicas). Segundo Nowak et al. (2015), a vegetação malconservada diminui a atratividade reduz a sensação de bem-estar, e pode neutralizar os impactos positivos desejados, por exemplo,

redução do estresse térmico e melhoria da qualidade do ar. A construção do indicador está apresentada na Tabela 3.

Tabela 3: Construção do indicador relativo ao Estado Fitossanitário.

Área	Meio Biótico	
Grupo	Conteúdo	
Indicador Meio Biótico (MB4)	Indicador de Estado Fitossanitário Geral.	
Método de Coleta de Dados	Levantamento de campo por amostragem aleatória ou censo total.	
Variáveis	Classificação dos exemplares inventariados em 3 categorias: Boa (BO), Regular (RE) e Ruim (RU).	
Fórmula e Resultados	$MB4 = \frac{(\%BO \times 1,0) + (\%RE \times 0,75) + (\%RU \times 0,25)}{100}$	
Valoração	Classificação de referência:	Peso:
	BOA (BO)	1,0
	REGULAR (RE)	0,75
	RUIM (RU)	0,25
	O resultado será um valor ≥ 0 e $\leq 1,0$.	

A obtenção dos dados dar-se-á por meio de levantamentos de campo através de amostragem aleatória ou censo total.

- 1º) Levantamento de campo, com avaliação dos indivíduos arbóreos.
- 2º) Tabulação dos dados e aplicação da fórmula.

6.3.1 Aplicação da Fórmula

Dos 2264 indivíduos de porte arbóreo avaliados nos conglomerados dentro da área da BAP, 55,8% foram classificados como BOM, 34% como REGULAR e 10,2% como RUIM aplicando estes valores na fórmula chega-se a:

$$MB3_{CON} = \frac{(55,8 \times 1,0) + (34 \times 0,75) + (10,2 \times 0,25)}{100} = 0,84$$

Desta maneira, o indicador MB3_{CON} aponta para uma boa qualidade dos indivíduos presentes nos passeios públicos. No entanto, esse valor pode ser consideravelmente diminuído se os exemplares em estado regular não receberem a devida atenção e manutenção. Além disso, a substituição dos indivíduos ruins por novos exemplares pode representar uma melhoria para este indicador.

Para as áreas verdes, dos 365 indivíduos avaliados 86,3% foram enquadrados na categoria BOM, 13,3% como REGULAR e apenas 0,4% foram enquadradas como RUIM, aplicando esses valores na fórmula tem-se:

$$MB3_{AV} = \frac{(86,3 \times 1,0) + (13,15 \times 0,75) + (0,4 \times 0,25)}{100} = 0,97$$

Para este critério, as áreas verdes da BAP apresentaram uma alta qualidade. Segundo Nowak & Heisler (2010), os parques urbanos geralmente oferecem uma área mais propícia para o desenvolvimento de áreas verdes, que permite densidades relativamente altas de árvores além do desenvolvimento de arbustos e gramíneas.

6.4 Indicador relativo ao porte dos indivíduos arbóreos

A escolha adequada da vegetação que vai compor a floresta urbana deve considerar o tipo de espécie, localização, forma e suas potenciais contribuições relacionadas ao aumento da vegetação urbana (NOWAK; HIRABAYASHI; BODINE et al. 2014). Segundo Andersson-Sköld et al. (2015), na arborização dos centros urbanos dever-se-ia priorizar a utilização de espécies de árvores de grande porte, pois estas proporcionam maior sombreamento do que espécies arbustivas. Ainda, segundo Borowski et al. (2018), espécies grandes e antigas têm maior importância ecológica, podendo uma única árvore de grande porte oferecer benefícios equivalentes a algumas dezenas de plantas novas ou de pequeno porte. Além disso, árvores veteranas têm muito mais valor ecológico do que as árvores jovens no armazenamento de carbono, redução da poluição do ar, interceptação de águas pluviais e conservação de energia (SIRIWARDENA et al. 2016a,b).

Neste sentido, para a construção do indicador atribuem-se diferentes pesos a diferentes portes de árvores presentes nos passeios públicos e áreas verdes. A construção do indicador apresenta-se na Tabela 4.

Tabela 4: Construção do indicador relativo ao porte das árvores.

Área	Meio Biótico
Grupo	Conteúdo
Indicador Meio Biótico (MB3)	Indicador relativo ao porte dos exemplares arbóreos.

Método de Coleta de Dados	Levantamento de campo por amostragem aleatória.	
Variáveis	Classificação dos exemplares em quatro categorias quanto ao porte. $P4 \geq 1,3 \text{ e } \leq 5 \text{ m}$ $P3 \geq 5,1 \text{ e } \leq 10 \text{ m}$ $P2 \geq 10,1 \text{ e } \leq 15 \text{ m}$ $P1 \leq 15,1 \text{ m}$	
Fórmula e Resultados	$MB3 = \frac{(\%P1 \times 1,0) + (\%P2 \times 0,95) + (\%P3 \times 0,75) + (\%P4 \times 0,3)}{100}$	
Valoração	Classificações de referência	Peso:
	P1	1,0
	P2	0,95
	P3	0,75
	P4	0,30
	O resultado será um valor $\geq 0 \text{ e } \leq 1,0$.	

A obtenção dos dados dar-se-á por levantamento de campo através de amostragem aleatória ou censo total.

1º) Levantamento de campo e classificação dos indivíduos nas categorias previamente determinadas.

2º) Tabulação dos dados e aplicação da fórmula.

6.4.1 Aplicação da fórmula

A aplicação da fórmula para os indivíduos presentes nos passeios públicos dos conglomerados utilizou os valores encontrados no levantamento de campo que foram: P1 0,8%; P2 6,4%; P3 42,2% e P4 50,6%.

$$MB4_{CON} = \frac{(0,8 \times 1,0) + (6,4 \times 0,95) + (42,2 \times 0,75) + (50,6 \times 0,3)}{100} = 0,54$$

O valor para MB4_{CON} é considerado médio, e se deve fortemente a ao grande número de exemplares de pequeno porte (P4), que segundo Borowski et al. (2018) podem fornecer apenas um decimo dos benefícios de indivíduos de grande porte.

Para as áreas verdes obteve-se valores de: P1 2,7%; P2 11,8%; P3 66% e P4 19,5. Aplicando-se a fórmula tem-se.

$$MB4_{AV} = \frac{(2,7 \times 1,0) + (11,8 \times 0,95) + (66 \times 0,75) + (19,5 \times 0,3)}{100} = 0,69$$

O MB4_{AV} revelou um valor consideravelmente maior que o MB4_{CON}, devido a uma menor ocorrência de indivíduos de pequeno porte (P4) nas áreas verdes. A opção por espécies de maior porte para composição das áreas verdes e conglomerados é fundamental para melhoria deste indicador. No entanto, nem sempre é possível essa opção devido aos conflitos com outras estruturas urbanas como a fiação elétrica aérea.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho possibilitou um melhor entendimento das questões ambientais e das diferentes relações ecológicas pertinentes aos centros urbanos, principalmente as estabelecidas entre as infraestruturas verdes e as estruturas edificadas. Destacamos aqui, a importância da manutenção das áreas verdes e do desenvolvimento de um ecossistema urbano biodiverso para o fomento da qualidade ambiental e conseqüentemente, na qualidade de vida para os habitantes.

Além disso, a pesquisa desenvolvida proporciona um melhor entendimento sobre a contribuição das diferentes espécies presentes nas áreas verdes urbanas, e os respectivos serviços ecossistêmicos prestados. Os dados aqui apresentados, devem contribuir para um melhor entendimento das condições ambientais da Bacia Hidrográfica do Arroio Preto e servir de referência comparativa para futuras pesquisas que abordem essa temática.

Contudo, o envio dos dados obtidos no inventário de campo, e aqui apresentados, para o os gestores do programa *I-Tree*, poderão contribuir para um melhor entendimento e estimativas mais precisas dos serviços ecossistêmicos prestados pelas espécies presentes na arborização urbana da região. Desta maneira, viabilizando a elaboração de um estudo mais aprofundado através dos recursos *I-Tree Eco* e *I-Tree Hidro*, que consideram além dos dados coletados em campo os dados relativos à poluição local e dados meteorológicos.

Espera-se ainda, que os indicadores relativos as áreas verdes aqui propostos possam contribuir com o objetivo de melhoria contínua da ferramenta IQAU, fomentando a gestão da qualidade ambiental de municípios de médio porte brasileiros, além de contribuir para um desenvolvimento urbano mais sustentável e consciente.

REFERÊNCIAS

- Abildtrup, J., Wunder, S., Thorsen, B. J. (2014). Quantification of management measures and ecosystem service provision.
- Assessment, M. E. (2005). Ecosystems and human well-being. Island press Washington, DC.
- Backes, P., Irgang, B. (2002). Árvores do Sul. Guia de Identificação e Interesse Ecológico. *Instituto Souza Cruz*. 326p.
- Backes, P., Irgang, B. (2004a). Árvores cultivadas no sul do Brasil. Guia de identificação e interesse paisagístico das principais espécies exóticas. *Instituto Souza Cruz*. 204p.
- Backes, P., Irgang, B. E. (2004b). Mata Atlântica: as árvores e a Paisagem. *Clube da Árvore, Souza Cruz*. 393 p.
- Backes, F. A. A. L., Girardi, L. B., Neuhaus, M., Bellé, R. A., Schwab, N. T., Peiter, M. X. (2011). Caracterização das espécies utilizadas na arborização urbana em Silveira Martins, RS. *Ornamental Horticulture*, 17(2), 167-174.
- Bottero, M., Bravi, M., Giaimo, C., Barbieri, C. A. (2020). Ecosystem Services: From Bio-physical to Economic Values. In: Values and Functions for Future Cities: *Springer*, p. 37-50.
- Capolongo, S., Rebecchi, A., Dettori, M., Appolloni, L., Azara, A., Buffoli, M., Capasso, L., Casuccio, A., Conti, G. O., D'amico, A., Ferrante, M., Moscato, U., Oberti, I., Paglione, L., Restivo, V., D'alessandro, D. (2018). Healthy Design and Urban Planning Strategies, Actions, and Policy to Achieve Salutogenic Cities. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15, n. 12.
- Cowett, F. D., & Bassuk, N. L. (2014). Statewide assessment of street trees in New York State, USA. *Urban Forestry & Urban Greening*, 13(2), 213-220.
- De la Barrera, F., Reyes-Paecke, S., & Banzhaf, E. (2016). Indicators for green spaces in contrasting urban settings. *Ecological indicators*, 62, 212-219.
- Dresch, E. (2017). Inovação metodológica na avaliação da qualidade ambiental urbana aplicada na bacia hidrográfica do Arroio Preto, Santa Cruz do Sul, RS, Brasil. 2017. 118 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental - Mestrado e Doutorado)– Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul.
- Dupras, J., Marull, J., Parcerisas, L., Coll, F., Gonzalez, A., Girard, M., Tello, M. (2016). The impacts of urban sprawl on ecological connectivity in the Montreal Metropolitan Region. *Environmental Science & Policy*, 58, p. 61-73.
- Freeman III, A. M.; Herriges, J. A.; Kling, C. L. (2014). The measurement of environmental and resource values: theory and methods. *Routledge*.

Moro, M. F., Westerkamp, C., de Araújo, F. S. (2014). How much importance is given to native plants in cities' treescape? A case study in Fortaleza, Brazil. *Urban Forestry & Urban Greening*, 13(2), 365-374.

Nowak, D., Heisler, G. (2010). Air quality effects of urban trees and parks. Research Series Monograph. Ashburn, VA: National Recreation and Parks Association Research Series Monograph. 44 p., 1-44.

Guarini, M. R.; Morano, P.; Sica, F. (2020). Eco-system Services and Integrated Urban Planning. A Multi-criteria Assessment Framework for Ecosystem Urban Forestry Projects. In: *Values and Functions for Future Cities*: Springer. p. 201-216.

Hammer, Ø., Harper, D.A.T. & Ryan, P.D. (2001). PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística [IBGE]. (2015). Arranjos populacionais e concentrações urbanas do Brasil. 2ª. edição. Rio de Janeiro. Disponível em: <www.ibge.gov.br/apps/arranjos_populacionais/2015> Acesso em 26 de setembro de 2019.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). (2016). Arranjos populacionais e concentrações urbanas do Brasil. 2ª edi. 2016. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/apps/arranjos_populacionais/2015/pdf/publicacao.pdf. Acesso em: 20 de julho de 2019

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). (2017). Estimativas da população residente nos municípios Brasileiros. Disponível em: <https://downloads.ibge.gov.br/downloads_top.php.1. Estimativas_de_Populacao/Estimativas_2017/estimativa_dou_2017.xls>. Acesso em: 7 julho 2019.

Isernhagen, I., Le Bourlegat, J. M. G., Carboni, M. (2019). Trazendo a riqueza arbórea regional para dentro das cidades: possibilidades, limitações e benefícios. *Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana*, 4, n. 2, p. 117-138.

Iwama, A. Y. (2015). Indicador de arborização urbana como apoio ao planejamento de cidades brasileiras. *Revista Da Sociedade Brasileira De Arborização Urbana*, v. 9, n. 3, p. 156-172.

Kremer, P., Haase, A., Haase, D. (2019). The future of urban sustainability: Smart, efficient, green or just? Introduction to the special issue. *Sustainable Cities and Society*, 51, p. 101761.

Kuang, W. (2019). Mapping global impervious surface area and green space within urban environments. *Science China Earth Sciences*, 62(10), 1591-1606.

Ludwig, J. A., Reynolds, J. F. (1988). Statistical Ecology. A Primer on Methods and Computing. New York: *John Wiley & Sons, Inc.*

Melo, N.A., Delevati, D.M., Putzke, J., Lobo, E.A. (2016). Phytosociological Survey in Water Preservation Areas, Southern, Brazil. *The Botanical Review*. Vol. 82, pp. 359-370.

Mondini, G., Oppio, A., Stanghellini, S., Bottero, M., Abstante, F. (2019). Values and Functions for Future Cities. *Springer*.

Mueller-Dombois, D., Ellemberg, H. (1974). Aims and methods of vegetation ecology. New York: *John Wiley*. 547p.

Nowak, D. J., Walton, J. T., Stevens, J. C., Crane, D. E., Hoehn, R. E. (2008). Effect of plot and sample size on timing and precision of urban forest assessments. *Arboriculture and urban forestry*, 34, n. 6, p. 386-390.

Nowak, D. J., Bodine, A. R., Robert III, E., Crane, D. E., Ellis, A., Endreny, T. A., Yang, Y., Jacobs, T., Shelton, K. (2013). Assessing urban forest effects and values: the greater Kansas City region. *Resour. Bull. NRS-75*. Newtown Square, PA: US Department of Agriculture, Forest Service, Northern Research Station. 72 p., 75, p. 1-72.

Organização das Nações Unidas (ONU-Habitat). (2017). Nova Agenda Urbana, Conferência das Nações Unidas sobre Habitação e Desenvolvimento Urbano Sustentável (Habitat III). Disponível em: <www.habitat3.org> Acesso em 26 de setembro de 2019.

Rossetti, A. I. N., Pellegrino, P. R. M., Tavares, A. R. (2019). As árvores e suas interfaces no ambiente urbano. *Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana*, 5, n. 1, p. 1-24.

Scovronick, N., Budolfson, M. B., Dennig, F., Fleurbaey, M., Siebert, A., Socolow, R. H., Spears, D., Wagner, F. (2017). Impact of population growth and population ethics on climate change mitigation policy. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114, n. 46, p. 12338.

Sjöman, H., Morgenroth, J., Sjöman, J. D., Sæbø, A., Kowarik, I. (2016). Diversification of the urban forest—Can we afford to exclude exotic tree species?. *Urban Forestry & Urban Greening*, 18, 237-241.

Sobral, M., Jarenkow, J. A., Brack, P., Irgang, B., Larocca, J., Rodrigues, R. S. (2013). Flora arbórea e arborescente do Rio Grande do Sul, Brasil. São Carlos: *RIMA/Novo Ambiente*. 350 p.

Souza, M. P., Hoeltz, M., Brittes Benitez, L., Machado, Ê. L., Schneider, R. C. S. (2019). Microalgae and Clean Technologies: A Review. *CLEAN – Soil, Air, Water*, 47, n. 11, p. 1800380.

Stad, S. (2018). Stockholm City Plan.

Stad, S. (2014). Stockholm City Plan.

Stamm, C.; Santos, M. S. (2017). Distribuição da população brasileira sob o enfoque das cidades de porte médio. *Revista Teoria e Evidência Econômica*, 23, n. 49.

Stamm, C.; Staduto, J. A. R.; Lima, J. F.; Wadi, Y. M. (2015). A população urbana e a difusão das cidades de porte médio no Brasil. *Interações (Campo Grande)*, 14, n. 2.

Taghimollaei, Y., Karamshahi, A. (2019). Vegetation mapping through using satellite images of WorldView 2- A case study of Haft Barm, Shiraz . *Journal of Wildlife and Biodiversity*, 3, n. 1, p. 9-21.

Van Den Berg, M., Van Poppel, M., Van Kamp, I., Andrusaityte, S., Balseviciene, B., Cirach, M., Danileviciute, A., Ellis, N., Hurst, G., Masterson, D., Smith, G., Triguero-mas, M., Uzdanaviciute, I., Wit, P., Mechelen, W. V., Gidlow, C., Grazulevicine, R., Nieuwenhuijsen, M. J., Maas, J. (2016). Visiting green space is associated with mental health and vitality: A cross-sectional study in four european cities. *Health & Place*, 38, p. 8-15.

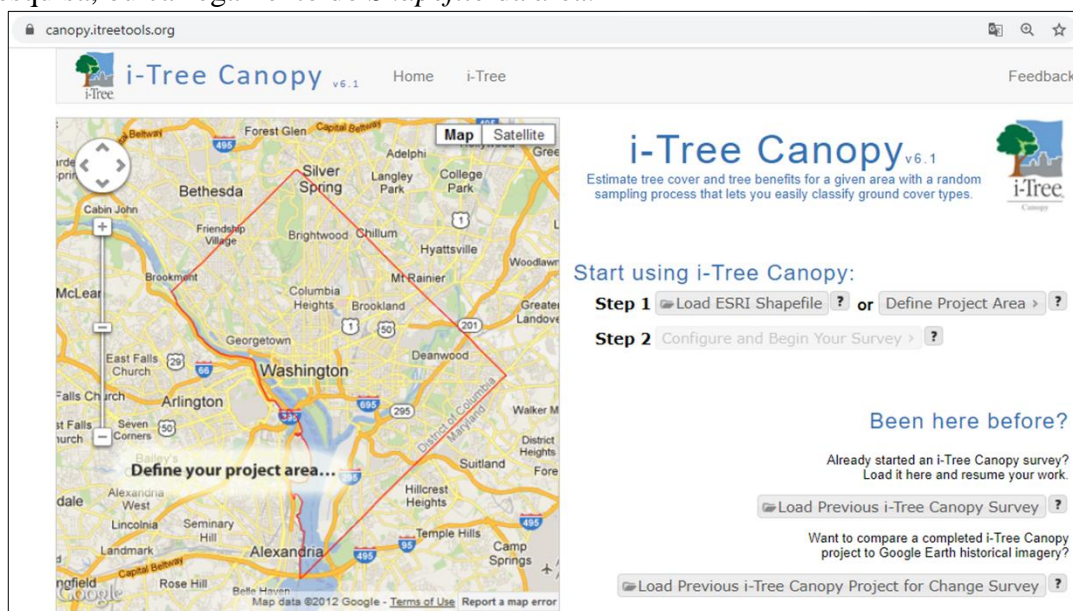
Ward, J. H. (1963). Hierarchical Grouping to Optimize an Objective Function. *Journal of the American Statistical Association*. 58 (301): pp. 236-244.

Anexos

Anexo A: Utilização do programa I-Tree Canopy

A utilização do programa “I-tree” na função “Canopy” é relativamente fácil e permite a categorização da área de interesse, de acordo com critérios definidos pelo pesquisador, que deve inicialmente, delimitar a área de estudo desejada diretamente no programa, que utiliza imagens do Google Earth, Figura 1. Ou pode ainda, gerar um arquivo de mapa no formato ESRI Shapefile com coordenadas lat / long, através de um software de multiplataforma com sistema de informação geográfica (SIG) como o QGIS de livre acesso ou o ArcGIS com licença paga.

Figura 1: Visão geral da página inicial do *software I-Tree Canopy*, para determinação da área de pesquisa, ou carregamento do *Shapefile* da área.



Posteriormente o pesquisador deve criar as categorias de mapa, ao qual pretende classificar a área de estudo. O *software* inicialmente, fornece duas classificações de cobertura padrão: Árvore e Não Árvore Figura. Que podem ser facilmente editadas e adicionadas novas categorias de classificação Figura 2. Na sequência, deve-se escolher para qual das classificações de mapa os serviços ecossistêmicos serão calculados. Normalmente, estes são calculados apenas para a classificação “Árvore”. A partir daí, o pesquisador deve gerar pontos de amostragem e classificá-los de acordo com as categorias previamente definidas. Esses pontos são determinados aleatoriamente pelo *software*. Quanto maior o número de pontos amostrais menor o erro padrão e maior a precisão. Findando a amostragem, o programa gera um relatório

com as porcentagens dos diferentes usos do solo e uma estimativa dos serviços ecossistêmicos provenientes, Figura 4.

Figura 2: Classificações do uso do solo pelo *software I-Tree Canopy*. A: Classificação padrão. B: Classificação editada de acordo com o objetivo da pesquisa.

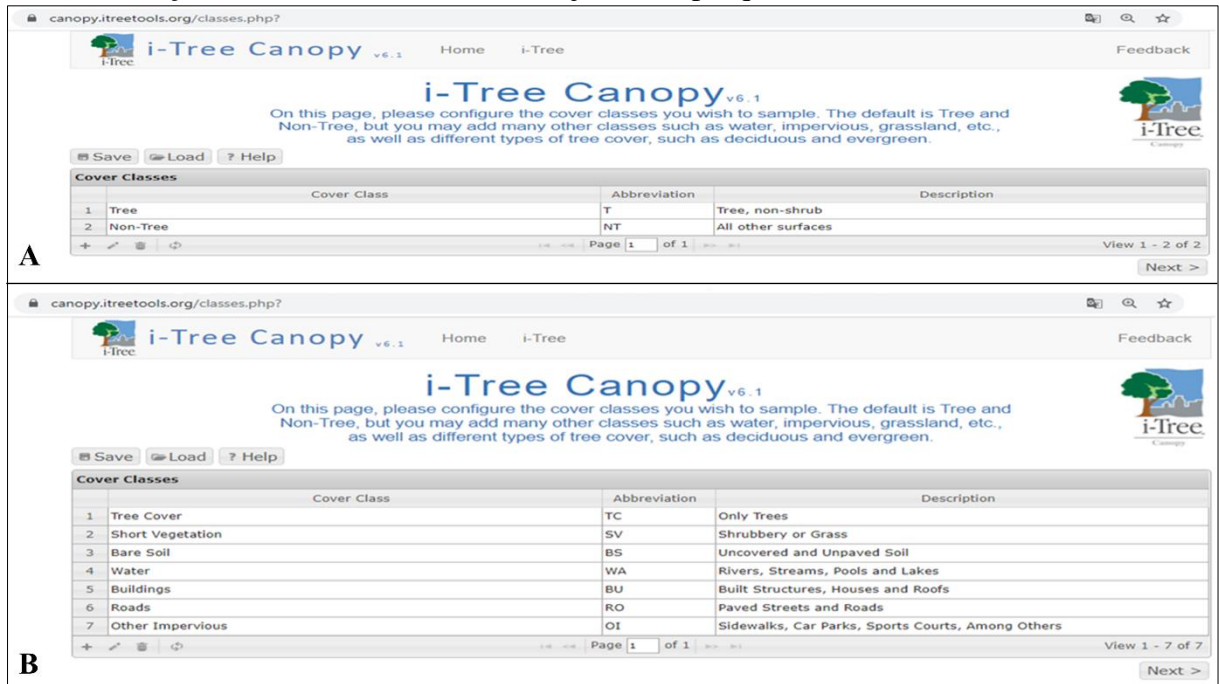


Figura 3: Classificações de usos do solo utilizadas para caracterização da área através do *software I-Tree Canopy*. A: Cobertura de Árvore (*Tree Cover*). B: Prédios (*Buildings*). C: Ruas (*Roads*). D: Vegetação curta (*Short Vegetation*). E: Solo descoberto (*Bare Soil*). F: Água (*Water*). G: Outros impermeáveis (*Other impervious*).



Figura 4: Relatório gerado pelo software *I-Tree Canopy* para 2000 pontos de amostragem aleatória.

