

Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia

FABIANY SAMPAIO BERTUCCI TAVARES

Reconhecimento dos Serviços Ecossistêmicos de Espaços Verdes Urbanos para
Adaptação a Eventos Climáticos Extremos

Campo Grande – MS

2019

Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia

FABIANY SAMPAIO BERTUCCI TAVARES

Reconhecimento dos Serviços Ecossistêmicos de Espaços Verdes Urbanos para
Adaptação a Eventos Climáticos Extremos

Orientador: Prof. Dr. Ivan Bergier
Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Eliane Guaraldo

Campo Grande – MS

2019

Resumo

Este trabalho tem por objetivo principal analisar e quantificar serviços ecossistêmicos de florestas urbanas com base na Teoria Metabólica Ecológica. Para isso, o trabalho foi dividido em duas etapas: primeiramente realizou-se um levantamento cienciométrico e análise bibliográfica dos principais artigos para avaliar o conhecimento científico atual, as principais limitações teóricas e as lacunas e oportunidades para avanços no conhecimento sobre o tema; a seguir avaliou-se os serviços ecossistêmicos de regulação hídrica (Evapotranspiração, ET) e de Estoque de Carbono Florestal (ECF) na área urbana de Campo Grande com base no mapeamento e na amostragem aleatória estratificada de dados de diâmetros à altura do peito (DAP) em cinco tipologias de Espaços Verdes Urbanos (EVU), cuja distribuição ou histograma segue uma Lei de Potência, em consonância aos conceitos ecoidrológicos e da Teoria Metabólica Ecológica (TME). Os resultados apontam que as pesquisas dos serviços ecossistêmicos em EVU se intensificaram a uma taxa exponencial de crescimento de 30% ao ano a partir de 2005 em função dos trabalhos derivados do *Millennium Ecosystem Assessment* desencadeado pelas Nações Unidas. A análise também evidencia que estes estudos sobre serviços ecossistêmicos foram realizados particularmente nos países mais desenvolvidos. Verificou-se, ainda, que os serviços ecossistêmicos *reguladores e culturais* no contexto urbano são aqueles de maior importância, e que são necessárias novas metodologias para avaliar e eventualmente precificar esses serviços. Constatou-se que a TME tem grande potencial de aplicação, mas também limitações, pois permite avaliar fluxos e estoques em um sistema apenas para intervalos (interquartis) que contém a mediana da distribuição. A análise dos EVU evidencia a importância do aumento desses espaços para maximizar a realização de serviços ecossistêmicos de sequestro de C atmosférico, bem como para a adaptação de áreas urbanas para o enfrentamento de enchentes extremas, ondas de calor e para a prevenção de Ilhas Urbanas de Calor (IUC).

Abstract

The main objective of this work is analyze and quantify ecosystem services from urban forests based on the Metabolic Theory of Ecology (MTE). It was divided into two stages: First, a scientificometric survey and bibliographic analysis of the principal articles were carried out to evaluate the current scientific knowledge, the principal theoretical limitations and the gaps and opportunities for advances in knowledge about the theme; The next step was to evaluate the ecosystem services of Evapotranspiration (ET) and Forest Carbon Stock (FCS) in the urban area of Campo Grande based on the mapping and stratified random sampling of diameters at breast-height (DBH) in five typologies of Urban Green Spaces (UGS), whose distribution follows a Power Law, in accordance with the ecohydrological concepts and the TME. The results show that the research on ecosystem services in UGS intensified at an exponential growth rate of 30% per year from 2005 onwards. The analysis also shows that these studies on ecosystem services were carried out particularly in more developed countries. It was also found that regulatory and cultural ecosystem services in the urban context are those of greatest importance, and that new methodologies are needed to assess and eventually price these services. It was found that MTE has great potential for application, but also limitations, as it allows the assessment of flows and stocks in a system only for intervals (interquartiles) that contain the median of the distribution. The analysis of UGS highlights the importance of increasing these spaces to maximize the performance of ecosystem services for atmospheric C sequestration, as well as for the adaptation of urban areas to cope with extreme floods, heat waves, and for the prevention of urban heat islands (UHI).

Sumário

| | |
|---|-----------|
| 1. Introdução | 7 |
| 2. Objetivos | 9 |
| 3. Análise cienciométrica de espaços verdes urbanos e seus serviços ecossistêmicos | 10 |
| 3.1. INTRODUÇÃO..... | 12 |
| 3.2. MATERIAIS E MÉTODOS..... | 13 |
| 3.3. RESULTADOS E DISCUSSÕES | 13 |
| 3.3.1. Lacunas científicas | 19 |
| 3.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 20 |
| 3.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 21 |
| 4. Reconhecimento dos Serviços Ecossistêmicos de Espaços Verdes Urbanos para a Adaptação a Eventos Climáticos Extremos | 24 |
| 4.1. INTRODUÇÃO | 26 |
| 4.2. MATERIAIS E MÉTODOS | 29 |
| 4.2.1. Área de estudo | 29 |
| 4.2.2. Mapeamento dos Espaços Verdes Urbanos (EVU) | 30 |
| 4.2.3. Levantamento de Campo..... | 31 |
| 4.2.4. Abordagem de análise dos dados de campo | 32 |
| 4.2.4.1. Avaliação estatística de DAP (d) | 32 |
| 4.2.4.2. Estimativa da biomassa total e do Estoque de C Florestal.... | 32 |
| 4.2.4.3. Estimativa da Evapotranspiração | 33 |
| 4.2.4.4. Estimativa de cobertura arbórea | 33 |
| 4.3. RESULTADOS E DISCUSSÕES | 33 |
| 4.3.1. Mapeamento dos Espaços Verdes Urbanos (EVU) | 33 |
| 4.3.2. Levantamento de Campo | 36 |
| 4.3.2.1. Parque Linear do Sóter | 36 |
| 4.3.2.2. Parque Linear do Imbirussu | 37 |
| 4.3.2.3. Parque Florestal Antônio Albuquerque | 38 |
| 4.3.2.4. Parque das Nações indígenas | 39 |
| 4.3.2.5. RPPN da UFMS | 40 |
| 4.3.3. Análises dos dados de campo | 41 |
| 4.3.4. Estimativa de Estoque de Carbono Florestal e Evapotranspiração.. | 45 |

| | |
|--------------------------------------|-----------|
| 4.4. CONCLUSÃO..... | 47 |
| 4.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 48 |
| 5. Conclusão | 52 |
| 6. Referências..... | 53 |

1. Introdução

Os recursos naturais abióticos, como água, e formações rochosas, e bióticos (organismos vivos) são elementos que deveriam ser melhor conectados no contexto das cidades e das atividades humanas. Porém, os valores tradicionais de projeto que tem norteado a paisagem das cidades têm pouco contribuído para a saúde integrada e contextualizada das pessoas em consonância com seu meio (HOUGH, 1995).

À medida que as cidades crescem em tamanho e densidade, as mudanças que produzem no ar, no solo, na água e na vida, em seu interior e a sua volta, agravam os problemas ambientais que afetam o bem-estar de cada morador (SPIRN, 1995).

No Brasil, a falta de acesso ao conhecimento sobre os recursos naturais urbanos, somada à elevada ineficiência da gestão pública, é uma das principais causas da exclusão da natureza no planejamento urbano coletivo. A natureza, entretanto, possui enorme valor na vida e na dinâmica das cidades. A negligência e desconhecimento de sua importância vêm causando danos à qualidade de vida coletiva das pessoas que vivem nos espaços urbanos.

A utilização de vegetação nas áreas urbanas comumente é percebida como método de embelezamento, utilizando o paisagismo como forma contemplativa. Contudo, os recursos naturais exercem outras funções ambientais que superam o embelezamento cênico. As populações de centros urbanos, portanto, devem reconhecer melhor essas funções.

Os Espaços Verdes Urbanos (EVU) influenciam na regulação da sensação climática e acústica das cidades, auxiliam na circulação do vento, sequestram o carbono, reduzem a poluição do ar, atenuam os efeitos dos períodos de estiagem, amortecem enxurradas e reduzem a erosão do solo. Agem também nos microclimas da cidade. Um parque arborizado absorve menos calor durante o dia em relação às áreas urbanizadas. Seu microclima se assemelha ao de uma floresta e suas ruas vizinhas se encontram mais frias do que as ruas de um centro

comercial, por exemplo. Além disso, o parque possui um ar mais puro do que a cidade em volta, ele não é um emissor de poluição e a grande arborização filtra o ar poluído da cidade (CORRÊA, 2015). A proximidade homem-natureza pode melhorar as habilidades sinestésicas corporais, aguçar os sentidos e proporcionar o bem-estar psicológico do homem por meio de suas relações e atividades desenvolvidas nesses ambientes, que podem ser desde o ócio até mesmo atividades físicas e sociais (SILVA, 2003).

Partindo desta premissa, este trabalho levanta o seguinte problema: é possível conhecer e quantificar os benefícios que as florestas urbanas oferecem ao meio ambiente (serviços ecossistêmicos), de forma que a sociedade possa melhor reconhecê-los e associá-los às suas funções ambientais em similar grau de importância sobre a função estética?

Com base neste questionamento, buscou-se com este trabalho contribuir para ampliar a visão da sociedade sobre os EVU por intermédio de pesquisas ligadas à quantificação de parte de seus serviços ecossistêmicos. Para tanto foi utilizada uma abordagem de coleta e análise de dados de campo fundamentada em preceitos da Ecohidrologia (D'ODORICO et al., 2000) e na Teoria Metabólica Ecológica (WEST; BROWN; ENQUIST, 1997).

A pesquisa se justifica primeiramente porque a vegetação urbana ainda é vista pela sociedade de forma simplista e como agente de função puramente estética. Por outro lado, verifica-se a constante supressão de áreas florestais dentro das áreas urbanas associadas aos processos de apropriação e expansão acelerada das grandes cidades (AMATO-LOURENÇO et al., 2016). Córregos são canalizados, transformados em canais de esgoto doméstico e matas são derrubadas, por mais que as políticas ambientais urbanas tenham ganhado destaque nos últimos anos.

Espera-se, assim, que o reconhecimento dos benefícios dos serviços ambientais que as florestas urbanas exercem, especialmente com vistas aos futuros desafios de mitigação de emissão de gases estufa e de adaptação às mudanças climáticas, forneça às sociedades urbanas maior conhecimento e informação científica para engajar-se coletivamente e, demandar do setor público a melhoria da gestão e do planejamento de EVU.

2. Objetivos

Objetivo Geral

Analisar e quantificar serviços ecossistêmicos de florestas em áreas urbanas de Campo Grande (MS) com base em preceitos da Ecohidrologia e na Teoria Metabólica Ecológica.

Objetivos Específicos

- Identificar as principais tipologias de EVU em Campo Grande (ex.: Praças, Parques, Bosques, Áreas de Preservação, Parques Lineares, etc.);
- Mapear os EVU, compreendendo sua distribuição na malha urbana;
- Obter medidas de campo do diâmetro a altura do peito (DAP) para algumas dessas tipologias selecionadas ao acaso;
- Aplicar a Teoria Metabólica Ecológica para quantificar os serviços ecossistêmicos fornecidos pelos EVU avaliados.

3. Análise cienciométrica de espaços verdes urbanos e seus serviços ecossistêmicos

Resumo

O acelerado crescimento populacional e urbano nas últimas décadas intensificou a necessidade de pesquisas sobre o ecossistema urbano e os serviços por ele oferecidos, visando o bem-estar da população urbana por meio da conservação da natureza. O reconhecimento dos serviços ecossistêmicos fornecidos pelos Espaços Verdes Urbanos (EVU) pode subsidiar a tomada de decisão para que as cidades promovam o desenvolvimento sustentável, conservando e/ou restaurando os serviços ecossistêmicos e a biodiversidade, para que a vida das pessoas nas cidades seja viável diante dos desafios impostos pelas mudanças climáticas.

Este artigo tem por objetivo principal avaliar como os serviços ecossistêmicos fornecidos pelos EVU estão sendo abordados no meio científico. Realizou-se um levantamento cienciométrico, e posteriormente uma análise bibliográfica dos principais artigos para avaliar o conhecimento científico atual, as principais limitações teóricas e as lacunas e oportunidades para avanços no conhecimento sobre o tema.

Os resultados apontam que as pesquisas dos serviços ecossistêmicos em EVU foram intensificadas a partir de 2005 e apresentaram uma taxa exponencial de crescimento de 30% ao ano, particularmente nos países mais desenvolvidos. A análise bibliográfica aponta que os serviços ecossistêmicos *reguladores e culturais* no contexto urbano são aqueles de maior importância, e que são necessárias novas metodologias para avaliar e eventualmente precificar esses serviços.

Palavras-chave: Adaptação; Eventos Extremos; Estoque de Carbono; Evapotranspiração, Infraestrutura Verde; Serviços Ecossistêmicos.

Scientific analysis of urban green spaces and its ecosystem services

Summary

The accelerated urban and population growth in the last decades has intensified the need of research about urban ecosystem and their services associated to urban population's well-being through nature conservation. The acknowledgement of ecosystem services provided by Urban Green Spaces (UGS) can support decision-making to promote urban sustainable development, therefore conserving and/or restoring ecosystem services and biodiversity aiming to adapt urban people to the forthcoming challenges of climate change.

This article aims to assess how ecosystem services provided by UGS have been evolved in the scientific community. A scientometric survey and a bibliographical analysis of the main articles helped to assess the current scientific knowledge, the main theoretical limitations and gaps, as well as the opportunities for advancing the knowledge on this subject.

Results indicate that researches on ecosystem services in UGS increased from 2005 to the presented at an annual exponential growth rate of 30%, especially in more developed countries. Bibliographical analysis points out that both regulatory and cultural ecosystem services in urban context are have been attributed higher importance, and that new methodologies are necessary to assess and possibly to value these services.

Keywords: Adaptation; Extreme Events; Carbon Stock; Evapotranspiration, Green Infrastructure; Ecosystem Services.

3.1. Introdução

O aumento da população urbana mundial e a crescente urbanização tem levado à expansão do espaço construído, tornando os espaços verdes escassos e segregados. Diante dessa realidade, o termo “ecossistema urbano” tem ganhado destaque em pesquisas acadêmicas, sendo considerado um conjunto diversificado de habitats, incluindo 1) *espaços verdes*, como parques, florestas urbanas, jardins, pátios e áreas de campus; e 2) *espaços azuis*, incluindo riachos, lagos, lagoas, valas artificiais e lagoas de retenção de águas pluviais (BOLUND e HUNHAMMAR, 1999; GÓMEZ-BAGGETHUN e BARTON, 2013; ELMQVIST *et al.*, 2015). Os espaços verdes são um dos mais importantes produtores de serviços ecossistêmicos no contexto urbano (WOLCH *et al.*, 2014), e estão intimamente ligados ao bem-estar humano, no que diz respeito à sua diversidade e qualidade (NIEMELA, 2014).

Nas políticas públicas, os ecossistemas urbanos podem ser retratados também como “infraestruturas verdes”, e de forma crescente têm feito parte de debates políticos. Porém, ao comparar com outras áreas, a atenção para os serviços ecossistêmicos na área urbana ainda tem sido muito modesta (GÓMEZ-BAGGETHUN e BARTON, 2013; DAVIES *et al.*, 2013). Isto porque a importância de alguns serviços ecossistêmicos e os seus impactos podem ser percebidos globalmente, como é o caso do sequestro e armazenamento de carbono. Já outros como a regulação do microclima, evapotranspiração, regulação do ruído e os serviços culturais, são melhor percebidos localmente (NIEMELA *et al.*, 2010).

O conceito utilizado hoje para o termo “serviços ecossistêmicos” é: os benefícios que as pessoas obtêm dos ecossistemas (MEA, 2005). Antes disso, os serviços ecossistêmicos eram definidos como “os benefícios que as populações humanas obtêm, direta ou indiretamente, das funções dos ecossistemas” (COSTANZA *et al.*, 1997). Os serviços ecossistêmicos são classificados em: *serviços de suporte*, como formação do solo, fotossíntese e ciclagem de nutrientes; *serviços de provisão*, que são os produtos obtidos, como o fornecimento de alimentos, água e madeira; *serviços reguladores* que são os benefícios que regulam as condições ambientais, condições climáticas, controle

de doenças, resíduos e qualidade da água; e *serviços culturais* que são benefícios recreativo, estético e espiritual.

Com o objetivo principal de avaliar como os serviços ecossistêmicos fornecidos pelos EVU estão sendo abordados no meio científico, o presente trabalho busca fazer o registro e análise quantitativa dos artigos científicos que abordam o tema, e o levantamento bibliográfico para uma base teórica que permita avaliar as principais limitações e lacunas para pesquisas futuras.

3.2. Materiais e métodos

Para a triagem e organização do levantamento bibliográfico, foi utilizado o Software *EndNote*, versão X5 (REUTERS, 2011), que faz a importação das informações bibliográficas dos resultados das pesquisas feitas nas bases de dados, que foram: *Web of Science* (REUTERS, 2018) , *Scopus* (ELSEVIER BV., 2018a), *ScienceDirect* (ELSEVIER BV., 2018b) e *SciELO* (FAPESP et al., 2018).

Os *strings* utilizados para buscas nas bases de dados foram: "ecosystem service\$" OR "environmental service\$" OR "ecohydrolog* service\$" AND forest OR "open space\$" OR "green space\$" AND urban*. As buscas dos termos foram para presença nos títulos, palavras-chaves ou resumos, utilizando os resultados de todo o período de tempo, desde a primeira publicação em cada base de dados, até a data da compilação que foi no dia dois de maio de dois mil e dezoito.

O refinamento do resultado geral de publicações disponíveis nas bases de dados pesquisadas foi realizado em etapas. As etapas foram: eliminação de duplicidades; escolha dos títulos alinhados; escolha dos resumos alinhados; e escolha dos textos alinhados.

3.3. Resultados e Discussões

A partir da importação dos dados no *EndNote* (REUTERS, 2011), a quantidade total de publicações foi de 2.480 (dois mil, quatrocentos e oitenta), passando para 1.615 (mil, seiscentos e quinze) após a eliminação das duplicidades. Na segunda etapa, a verificação das publicações cujos títulos se alinhavam ao tema da pesquisa reduziu esse número para 526 (quinhentos e vinte

e seis). Na terceira etapa foram alinhadas publicações cujos resumos se vinculavam ao tema de interesse, chegando a um resultado de 113 (cento e treze) publicações. Com a última etapa, a seleção dos textos alinhados, o número de publicações se reduziu para 38 (trinta e oito), sendo esses os artigos cujos conteúdos foram analisados a fundo, compreendendo métodos, abordagens e resultados.

Ao analisar todos os resultados obtidos (2.480 publicações), é possível observar que as publicações se iniciaram no ano de 1987 e seu ritmo de aumento (total acumulado por ano) foi a uma taxa exponencial de aproximadamente 30% ao ano ($R^2 = 0.9796$, ver Figura 1). A partir de 2005 percebe-se que a frequência de publicações aumentou, e permanece crescente a cada ano, demonstrando o interesse pelo tema nas pesquisas em todo o mundo (Figura 1).

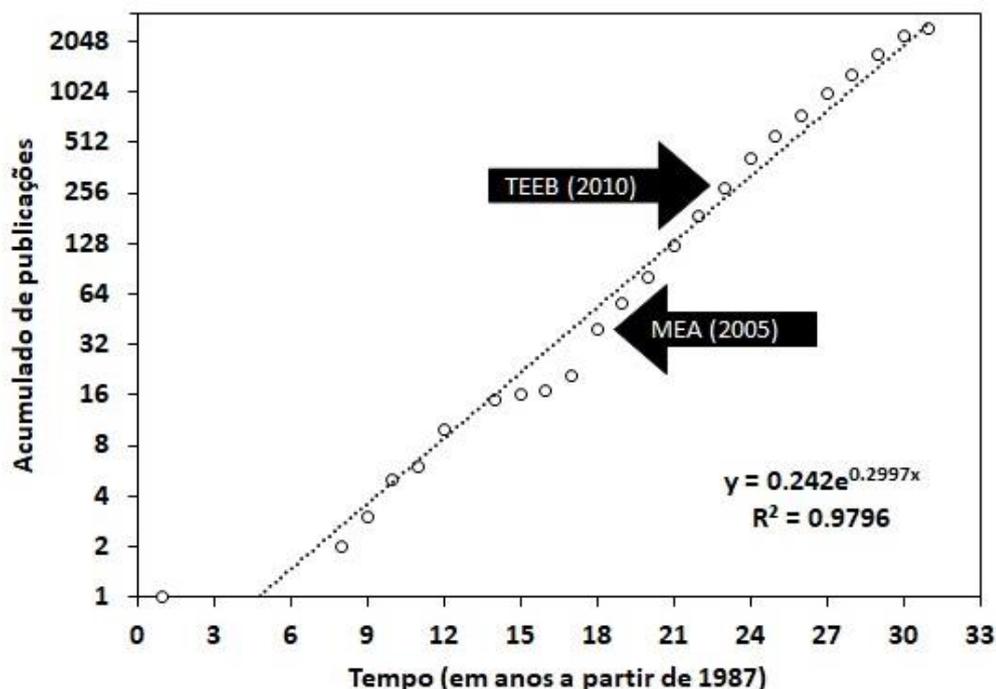


Figura 1. Evolução exponencial (escala logarítmica na base 2) do número total de publicações de acordo com os critérios escolhidos de busca.

O aumento do interesse pelos estudos de serviços ecossistêmicos em EVU foi certamente estimulado pela Millennium Ecosystem Assessment (MEA, 2005), uma avaliação científica das condições e tendências dos ecossistemas do mundo e dos serviços que eles fornecem. Outro possível fator pelo aumento do interesse do tema foram os estudos da The Economics of Ecosystems and Biodiversity (TEEB, 2010), sustentando que as cidades dependem dos ecossistemas nelas

presentes para sustentar as condições de vida, e que a perda do ecossistema urbano envolve impactos sociais, culturais, econômicos e ambientais (GÓMEZ-BAGGETHUN e BARTON, 2013; NIEMELA *et al.*, 2010).

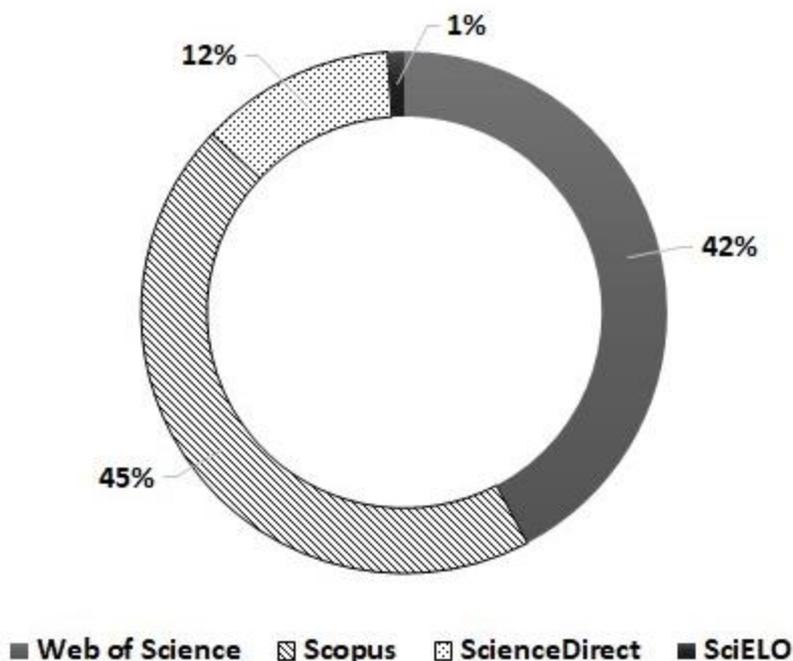


Figura 2. Distribuição relativa das publicações pesquisadas nas bases de dados bibliográficos entre 1987 e 2018.

Analisando as bases de dados, identificou-se que apenas 25 publicações (equivalente a 1% do resultado geral) são da base de dados brasileira *SciELO* (FAPESP *et al.*, 2018) (Figura 2). Este resultado não evidencia que poucas pesquisas brasileiras abordam os temas, mas sim que é pouco presente em revistas brasileiras. Quanto às publicações, foram analisadas as origens apenas dos 38 (trinta e oito) artigos selecionados, estes sim evidenciam a predominância de países como EUA e China sobre o Brasil e outros países em desenvolvimento (Figura 3).

O foco da pesquisa sobre o espaço verde urbano e os serviços ecossistêmicos tem sido mais contundente nos países desenvolvidos. Poucos trabalhos foram encontrados na África, América do Sul ou Rússia. Entende-se então, que os estudos dos EVU e os serviços ecossistêmicos prestados por eles ainda precisam ser mais estudados e difundidos nos países em desenvolvimento, visando ampliar a abordagem interdisciplinar dos conhecimentos de ciências naturais, engenharias, arquitetura e sociais (KABISCH *et al.*, 2015).

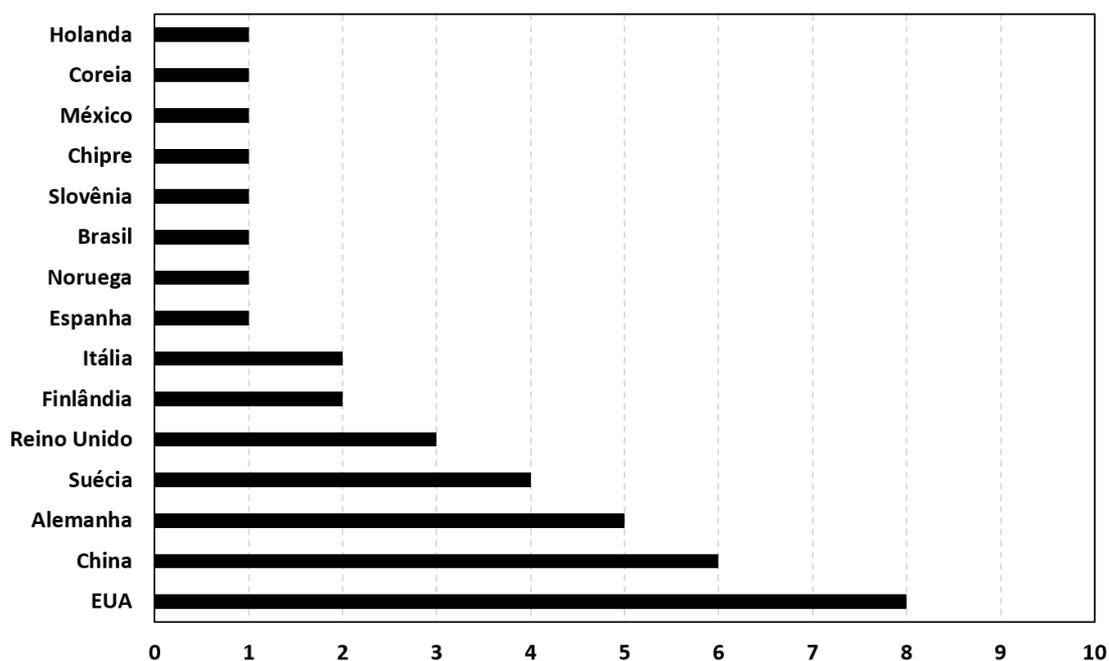


Figura 3. Frequência de publicações por países nos 38 (trinta e oito) artigos selecionados para análise.

A pesquisa dos *strings* apresentada em nuvem de *tags* (Figura 4) mostrou que o termo “ecosystem services” prevalece sobre qualquer outro, e revelou palavras-chaves não pesquisadas que foram grandemente utilizadas nas pesquisas, como: “land use”, “carbon”, “climate change”, “biodiversity”, “landscape”, “conservation”, dentre outras.



Figura 4. Nuvem de *tags* dos 30 termos (*strings*) mais frequentes em palavras-chave de todos os 1.615 artigos encontrados (sem duplicidade).

Apesar do desenvolvimento de vários modelos para quantificar e valorizar os serviços ecossistêmicos urbanos na última década, (NOWAK, et al., 2008) (ANDERSSON-SKÖLD, 2018) os trabalhos analisados apontam que ainda são necessárias mais pesquisas que envolvam o desenvolvimento de métodos

apropriados para a quantificação dos serviços que os EVU oferecem (HAASE, et al., 2014; LUEDERITZ, et al., 2015).

As produções analisadas mostram que é necessário avaliar as características ambientais e socioeconômicas de cada local para encontrar quais serviços ecossistêmicos são mais relevantes em uma determinada cidade (GÓMEZ-BAGGETHUN e BARTON, 2013). Porém, em geral, os estudos apontam que, no contexto urbano, se sobressaem os serviços ecossistêmicos *reguladores e culturais*, visto a necessidade de purificação do ar, regulação do ruído, regulação (térmica) do microclima, drenagem de águas pluviais, tratamento de esgoto, recreação e as contribuições para a saúde mental e física da população (BOLUND e HUNHAMMAR, 1999; GÓMEZ-BAGGETHUN e BARTON, 2013; NIEMELA *et al.*, 2010).

Os *Serviços reguladores* são os benefícios que regulam as condições ambientais, condições climáticas, controle de doenças, resíduos e qualidade da água (MEA, 2005). A mitigação dos danos de desastres naturais, a preservação do habitat natural e da biodiversidade, a redução das águas pluviais, o resfriamento, dentre outros, são apenas alguns exemplos dos serviços ecossistêmicos reguladores relevantes na área urbana (ESCOBEDO *et al.*, 2011).

Quanto aos serviços reguladores, o estoque de carbono florestal (ECF) e o processo de evapotranspiração (ET) apresentam uma importância de destaque, visto que é a partir deles que outros serviços podem ser percebidos.

O ECF apresenta grande importância na mitigação das mudanças climáticas (DAVIES *et al.*, 2011; NOWAK *et al.*, 2013), porém as florestas urbanas são frequentemente desconsideradas dos orçamentos de carbono por não serem bem compreendidas ou quantificadas, ou simplesmente por serem subestimadas (NOWAK *et al.*, 2013; DORENDORF *et al.*, 2015).

As cidades consomem grande quantidade de energia, e a crescente urbanização e industrialização faz com que aumente a emissão e a concentração de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera (ESCOBEDO *et al.*, 2011; DORENDORF *et al.*, 2015). Visto isso, os espaços verdes urbanos são relevantes para a cidade, pois as árvores fixam o CO₂ da atmosfera durante a fotossíntese e o armazenam em sua biomassa e nos solos, atuando como sumidouros de carbono nas cidades (NOWAK *et al.*, 2013).

Reduzir emissão de CO₂ para a atmosfera tem sido um grande desafio para os planejadores e gestores ambientais urbanos (ESCOBEDO *et al.*, 2010). Apesar dos estudos sobre ECF por espaços verdes urbanos estarem aumentando, estes têm se concentrado nos países mais desenvolvidos de zonas temperadas ou de florestas subtropicais (ESCOBEDO *et al.*, 2010; DAVIES *et al.*, 2013).

A análise da literatura mostrou que a maioria das estimativas de carbono da vegetação urbana é feita a partir de equações alométricas (DAVIES *et al.*, 2011; DAVIES *et al.*, 2013; ESCOBEDO *et al.*, 2010; NOWAK *et al.*, 2013). No entanto, todas essas equações são usualmente parametrizadas para cada espécie, dificultando a estimativa em áreas florestais diversificadas, além do fato de que, quando se trata de espaços verdes urbanos, os estudos se dão em sua maioria no hemisfério Norte.

Outro serviço regulador de grande importância é a evapotranspiração, também denominada como “fluxo de água verde” (D’ODORICO *et al.*, 2010), e faz parte da dinâmica da interação do ciclo da água com a biota, uma área de estudo conhecida como ec hidrologia. Os fluxos interconectados e interdependentes de água verde (vegetação) e azul (rios) desempenham importantes funções ecológicas (Figura 5).

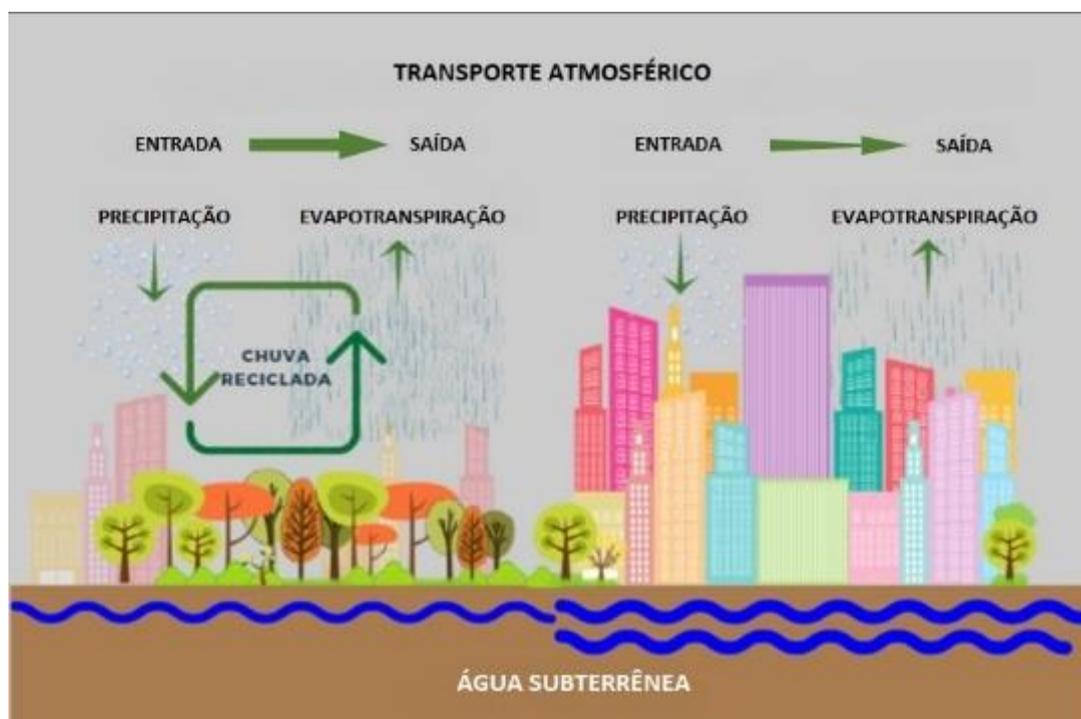


Figura 5 - Fluxos de água azul e verde do ciclo hidrológico. Adaptado de Aragão *et al.* (2012).

A vegetação é responsável pela recarga dos aquíferos e pela ET da água precipitada na forma de chuva. As mudanças no uso da terra, como o desmatamento e a urbanização, modificam a dinâmica dos processos ec hidrológicos, levando a uma diminuição da infiltração nos solos, da recarga dos aquíferos e da ET, resultando em um aumento do escoamento superficial das águas pluviais (D'ODORICO *et al.*, 2010).

Os EVU, através da ET, influenciam também nos microclimas da cidade, podendo diminuir a temperatura na vizinhança assim como aumentar a umidade do ar, além disso filtram o ar poluído da cidade (CORRÊA, 2015; DERKZEN, 2015). Essa mudança no microclima contribui para a diminuição das ilhas de calor que tem se formado nos centros urbanos. Embora a diminuição em termos absolutos pareça pequena, ela evita problemas de saúde pública relacionados ao calor excessivo e à exposição solar (COUTTS e RAHN, 2015).

3.3.1. **Lacunas científicas**

A pesquisa apontou lacunas sobre a produção científica relacionada aos serviços ecossistêmicos prestados por EVU. Em primeiro lugar, observou-se que a maior parte da produção ocorre em países desenvolvidos, com grande destaque para países da Europa, EUA e China, sendo zonas temperadas ou de florestas subtropicais. Poucas pesquisas foram encontradas em países da África ou América do Sul, e pesquisas brasileiras corresponderam a cerca de 1 % do resultado geral. Espera-se que as pesquisas futuras sobre os temas sejam realizadas também em países em desenvolvimento, pois a maior conscientização sobre os serviços ecossistêmicos poderá contribuir para uma estrutura e design mais eficiente das cidades, assim como em maiores variedades de tipologias florestais.

Outra observação é a insuficiência de metodologia para avaliar e quantificar os serviços ecossistêmicos dos EVU. No geral, quando se trata de ECF se utilizam equações alométricas da literatura para certas espécies, dificultando, assim, a análise de florestas diversas e em escalas variadas. A ET foi pouco abordada nos artigos analisados. Apesar da importância desse serviço para o bem-estar humano

e para o ecossistema, não foi identificada uma metodologia clara para quantificá-lo.

3.4. Considerações Finais

As pesquisas científicas relacionadas aos serviços ecossistêmicos fornecidos pelos EVU foram intensificadas a partir de 2005 e apresentam um crescimento de 37% por ano. Porém, o foco desses estudos está em países desenvolvidos. Os estudos analisados apontam que, no contexto urbano, os serviços ecossistêmicos *reguladores e culturais* são aqueles de maior importância, e que dentre os reguladores, o ECF e a ET são alguns dos principais serviços prestados por EVU.

Apesar da importância de tais serviços, poucas pesquisas mostram metodologias para avaliá-los e quantificá-los. Diante os desafios enfrentados no mundo contemporâneo, há necessidade de avançar pesquisas nessa linha de conhecimento que apoiem os gestores e tomadores de decisão nas áreas urbanas no caminho no desenvolvimento equilibrado das cidades, conforme previsto pelos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS): 1) Boa Saúde e Bem-Estar; 2) Redução das Desigualdades; 3) Cidades e Comunidades Sustentáveis; 4) Combate às Alterações Climáticas; e 5) Vida Sobre a Terra das Nações Unidas.

Agradecimentos

O financiamento para a conclusão desse estudo vinculado ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais (PGRN) da FAENG/UFMS foi cedido pela FUNDECT (Fundação de Apoio ao Desenvolvimento do Ensino, Ciência e Tecnologia do Estado de Mato Grosso do Sul) através da chamada FUNDECT/CAPES N° 02/2017.

3.5. Referências bibliográficas

- ARAGÃO, L. E O. C. The rainforest's water pump. *Nature*. vol. 489, p. 217–218, set. 2012.
- BOLUND, P.; HUNHAMMAR, S. Ecosystem services in urban areas. *Ecological Economics*. vol. 29, ed. 2, p. 293 – 301, maio 1999.
- CORRÊA, R. S. Reabilitação Ambiental: a Vegetação Além do Paisagismo. Universidade de Brasília, Brasília - DF, Brasil. *Paranoá Caderno de Arquitetura e Urbanismo*, nº14, 2015.
- COSTANZA, R.; D'ARGE, R.; GROOT, R. de; FARBE, S.; GRASS, M.; HANNO, B.; LIMBURG, K.; NAEEM, S.; O'NEILL, R. V.; PARUELO, J.; RASKI, R. G.; SUTTON, P.; BELT, M. van den. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*. vol. 387, p. 253 - 260, maio 1997.
- COUTTS, C.; HAHN, M. Green Infrastructure, Ecosystem Services, and Human Health. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. vol. 12, ed. 8, p. 9768-9798, 2015.
- DAVIES, Z. G.; DALLIMER, M.; EDMONDSON, J. L.; LEAKE, J. R.; GASTON, K. J. Identifying potential sources of variability between vegetation carbon storage estimates for urban areas. *Environmental Pollution*. vol. 183, p. 133-142, dez. 2013.
- DAVIES Z. G.; EDMONDSON J. L.; HEINEMEYER, A.; LEAKE, J. R.; GASTON, K. J. Mapping an urban ecosystem service: quantifying above-ground carbon storage at a city-wide scale. *Journal of Applied Ecology*. vol. 48, ed. 5, p. 1125-1134, Out. 2011.
- DERKZEN, M. L.; TEEFFELEN, A. J. A. VAN; VERBURG P. H. Quantifying urban ecosystem services based on high resolution data of urban green space: an assessment for Rotterdam, the Netherland. *Journal of Applied Ecology*. vol. 52, p. 1020–1032, 2015.
- D'ODORICO, P; LAIO, F.; PORPORATO, A.; RIDOLFI, L.; RINALDO, A.; RODRIGUEZ-ITURBE, I. Ecohydrology of Terrestrial Ecosystems. *BioScience*. vol. 60, no. 11, p. 898-907, dez. 2010.
- DORENDORF, J.; ESCHENBACH, A.; SCHIMIDT, K.; JENSEN, K. Both tree and soil carbon need to be quantified for carbon assessments of cities. *Urban Forestry & Urban Greening*. vol. 14, ed. 3, p. 447-455, 2015.

ELMQVIST, T.; SETALA, H.; HANDEL, S. N.; PLOEG, S.; ARONSON, J.; BLIGNAUT, J. N.; GÓMEZ-BAGGETHUN, E.; NOWAK, D. J.; KRONENBERG, J.; GROOT, R. Benefits of restoring ecosystem services in urban areas. *Current Opinion in Environmental Sustainability*. vol. 14, p. 101-108, jun. 2015.

ELSEVIER BV. Scopus. Databases. 2018a. Disponível em: <<https://www.scopus.com/search/form.uri?display=basic>>

_____. Science Direct. Databases. 2018b. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/>>

ESCOBEDO, F.; VARELA, S.; ZHAO, M.; WAGNER, J. E.; ZIPPERER, W. Analyzing the efficacy of subtropical urban forests in offsetting carbon emissions from cities. *Environmental Science & Policy*. vol. 13, ed. 5, p. 362-372, ago. 2010.

ESCOBEDO, F. J.; KROEGER, T.; WAGNER, J. E. Urban forests and pollution mitigation: Analyzing ecosystem services and disservices. *Environmental Pollution*. vol. 159, ed. 8–9, p. 2078-2087, ago./ set. 2011.

FAPESP *et al.* - SciELO - Scientific Electronic Library Online. Databases. 2018. Disponível em: <<http://www.scielo.org/php/index.php>>

GÓMEZ-BAGGETHUN, E.; BARTON, D. Classifying and valuing ecosystem services for urban planning. *Ecological Economics*. vol. 86, p. 235-245, fev. 2013.

HAASE, D. *et al.* A quantitative review of urban ecosystem service assessments: Concepts, models, and implementation. *Ambio*. Vol. 43, p. 413-433, Maio 2014.

KABISCH, N.; QURESHI, S.; HAASE, D. Human–environment interactions in urban green spaces — A systematic review of contemporary issues and prospects for future research. *Environmental Impact Assessment Review*. vol.50, p. 25-34, jan. 2015.

LUEDERITZ, C. *et al.* A review of urban ecosystem services: Six key challenges for future research. *Ecosystem Services*. Vol. 14, pag. 98-112, ago. 2015.

MEA - MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. *Ecosystems and Human Well-being: Biodiversity Synthesis*. World Resources Institute, Island Press, Washington, DC. 2005.

NIEMELÄ, J.; SAARELA, S-R.; SÖDERMAN, T.; KOPPEROINEN, L.; YLI-PELKONEN, V.; VÄRE, S.; KOTZE, J. D. Using the ecosystem services approach for better planning and conservation of urban green spaces: a Finland case study. *Biodiversity and Conservation*. vol. 19, ed. 11, p. 3225–3243, out. 2010.

NIEMELÄ, J. Ecology of urban green spaces: The way forward in answering major research questions. *Landscape and Urban Planning*. vol. 125, p. 298–303, maio 2014.

NOWAK, D.J. et al. A ground-based method of assessing urban forest structure and ecosystem services (Conference Paper). *Arboriculture and Urban Forestry*. Vol. 34, ed. 6, p. 347-358, nov. 2008.

NOWAK, D. J.; GREENFIELD, E. J.; HOEHN, R. E.; LAPAINT, E. Carbon storage and sequestration by trees in urban and community areas of the United States. *Environmental Pollution*. Vol. 178, p. 229-236, jul. 2013.

REUTERS, T. EndNote X5. Thomson Reuters: Philadelphia, PA, USA, 2011. Mídia digital.

_____. Web of Science. Databases. 2018. Disponível em: <<https://apps.webofknowledge.com/>>

TEEB - THE ECONOMICS OF ECOSYSTEMS AND BIODIVERSITY. *The Economics of Ecosystems and Biodiversity in National and International Policy Making*. Editado por Patrick ten Brink. Earthscan, London and Washington, fev. 2011.

WOLCH, J. R.; BYRNE, J.; NEWELL, J. P. Urban green space, public health, and environmental justice: The challenge of making cities 'just green enough'. *Landscape and Urban Planning*. vol. 125, p. 234-244, maio 2014.

ANDERSSON-SKÖLD, Y. et al. A framework for assessing urban greenery's effects and valuing its ecosystem services. *Journal of Environmental management*. Vol. 205, p. 274-2851, jan. 2018.

4. Reconhecimento dos Serviços Ecosistêmicos de Espaços Verdes Urbanos para a Adaptação a Eventos Climáticos Extremos

Resumo

O crescimento populacional em áreas urbanas nas últimas décadas intensificou a necessidade de pesquisas sobre os ecossistemas urbanos e os serviços oferecidos, visando o bem-estar dos cidadãos. A pavimentação excessiva produz o fenômeno de Ilhas Urbanas de Calor (IUC) e de desregulação hídrica ou ecohidrológica. Nos trópicos, essas alterações, agravadas por mudanças climáticas devido ao crescente aumento de gases estufa na atmosfera, podem implicar no aumento de perdas humanas em áreas urbanas num futuro próximo. O reconhecimento dos serviços ecosistêmicos fornecidos pelos Espaços Verdes Urbanos (EVU) vem, portanto, auxiliar no subsídio à tomada de decisão para que as cidades promovam medidas de prevenção e de adaptação a eventos extremos de calor e de enchentes mediante a restauração e a conservação de serviços ecosistêmicos florestais e, por consequência, da biodiversidade na área urbana. Este estudo avaliou os serviços ecosistêmicos de regulação hídrica (EvapoTranspiração, ET) e de Estoque de Carbono Florestal (ECF) na área urbana de Campo Grande com base no mapeamento e na amostragem aleatória estratificada de diâmetros à altura do peito (DAP ou simplesmente d) por unidade de área em cinco tipologias de EVU. Integrando os dados de d , cuja distribuição segue uma Lei de Potência, aos conceitos ecohidrológicos e da Teoria Metabólica Ecológica (TME), calculou-se então as medianas e os ranges de interquartil para ET e ECF das tipologias de EVU identificadas. Os resultados evidenciam a importância do aumento desses espaços para maximizar a realização de serviços ecosistêmicos de sequestro de C atmosférico, bem como para a adaptação de áreas urbanas para o enfrentamento de enchentes extremas, ondas de calor e para a prevenção de IUC.

Palavras-chave: ecohidrologia; floresta urbana; ilhas urbanas de calor; parques; planejamento urbano; unidades de conservação.

Recognition of Urban Green Space Ecosystem Services for Adaptation to Extreme Climate Events

Abstract

The population growth in urban areas in the last decades has intensified the need for research on urban ecosystems and services offered, aiming at the wellbeing of citizens. Excessive paving produces the phenomenon of Urban Heat Islands (UHI) and water or ecohydrological deregulation. In the tropics, these changes, aggravated by climate change due to the increasing growth of greenhouse gases in the atmosphere, may lead to an increase in human losses in urban areas in a near future. The recognition of the ecosystem services provided by the Urban Green Spaces (UGS) therefore helps in the decision-making subsidy so that the cities promote measures of prevention and adaptation to extreme events of heat and floods through the restoration and conservation of forestry ecosystem services and, consequently, biodiversity in the urban area. This study evaluated the ecosystem services for water regulation (Evapotranspiration, ET) and Forest Carbon Storage (FCS) in the urban area of Campo Grande based on mapping and stratified random sampling of diameter at breast height (DBH or simply d) per area unit in five types of UGS. Integrating the d data, whose distribution follows a Power Law, to the ecohydrological concepts and the Metabolic Theory of Ecology (MTE), the medians and the interquartile ranges for ET and FCS of the types of EVU identified have been calculated. The results show the importance of increasing these spaces to maximize ecosystem services for atmospheric C sequestration, as well as for adapting urban areas to cope with extreme floods, heat waves and UHI prevention.

Keywords: ecohydrology; urban forest; urban heat islands; parks; urban planning; conservation units.

4.1. Introdução

Os Espaços Verdes Urbanos (EVU) como os parques, áreas de campus universitários, áreas militares, jardins, pátios e florestas urbanas, são importantes produtores de serviços ambientais nas cidades. Porém, o foco das pesquisas referentes aos EVU e os serviços que eles oferecem têm sido maiores nos países desenvolvidos de zonas boreais, temperadas e de florestas subtropicais do planeta (KABISCH *et al.*, 2015; ESCOBEDO *et al.*, 2010; DAVIES *et al.*, 2013).

Os estudos sobre EVU e os serviços ecossistêmicos prestados ainda precisam ser melhor difundidos, em particular nos países em desenvolvimento (TAVARES *et al.*, submetido). Para tanto torna-se necessária uma abordagem interdisciplinar que reúna conceitos e conhecimentos das ciências exatas, sociais e da natureza. Diante dos desafios sociodemográficos e ambientais enfrentados pelas cidades de todo o mundo, com o objetivo de tornar o ambiente urbano mais inclusivo, seguro, resiliente e sustentável (ONU, 2018), há a necessidade de novos métodos científicos quali-quantitativos que permitam subsidiar a tomada de decisão por meio de políticas públicas de desenvolvimento sustentável no ambiente urbano (NIEMELA, 2014).

Alguns dos serviços ecossistêmicos reguladores, como o Estoque de Carbono Florestal (ECF) e a EvapoTranspiração (ET), podem ser estimados por meio de equações alométricas e da Teoria Metabólica Ecológica (TME). WEST, ENQUIST e BROWN (2009a) revisitam suas teorias (WEST, BROWN e ENQUIST, 1997) reiterando que as características fisiológicas e morfológicas dos vegetais obedecem a relações de escala alométricas, as quais são tipicamente expressas por leis de potência $Y = Y_0 r^\phi$, onde Y é uma variável dependente, como taxa metabólica, área foliar ou biomassa, Y_0 é uma constante de normalização, ϕ é o expoente alométrico e r representa uma medida linear como o raio r ou diâmetro ($d = 2r$) do tronco ou caule.

A possibilidade de generalização da teoria pode ser atribuída a dois fenômenos físico-biológicos interconectados: metabolismo e alometria. Limitados pelas leis fundamentais da Termodinâmica, esses fenômenos determinam de que maneira os recursos são extraídos do meio ambiente, translocados e transformados dentro da planta e alocados para a sua sobrevivência, crescimento

e reprodução. Esses processos em árvores lenhosas individuais se propagam em escala (como processos fractais, invariantes em escala, do micro para o macro) e produzem, assim, propriedades universais emergentes em florestas, como estrutura e tamanho, as relações de espaçamento e as taxas de crescimento e mortalidade. A TME sugere, por exemplo, que as taxas de mortalidade podem estar ligadas a taxas metabólicas e de crescimento limitadas pelo tamanho dos indivíduos (WEST, ENQUIST e BROWN, 2009b). Obviamente, a observação na natureza muitas vezes não segue *ipsis litteris* os modelos teóricos (COOMES e ALLEN, 2009; COOMES et al., 2011). Para escalas macroscópicas iguais ou superiores à escala de indivíduos, eventuais “desvios” da TME podem estar relacionados a variações adaptativas, individuais e ou coletivas, às condições ambientais locais e ou regionais (ENQUIST et al., 2015; BERGIER et al., 2016).

A análise cienciométrica sobre EVU utilizando a TME revela uma enorme lacuna e oportunidade de pesquisa (TAVARES et al., submetido) para a proposição de novas metodologias de quantificação de serviços ecossistêmicos. Por exemplo, Bergier et al. (2016) apresentam uma pesquisa aplicada em florestas de cordilheira (típicas de cerrado) da Nhecolândia, no Pantanal, que fornece sustentação empírica e teórica para a aplicação da TME para estimar a biomassa integral B (desde a raiz às folhas) de indivíduos de vegetação lenhosa a partir do diâmetro do caule d por meio da equação teórica $d \sim B^x$ (WEST, BROWN e ENQUIST, 1997).

O uso da TME para estimar a biomassa total B de indivíduos em florestas no Cerrado, a partir do raio ou diâmetro do tronco é factível uma vez que a vegetação arbórea da região estudada do Pantanal é de cerrado, portanto, apresenta composição taxonômica similar. Além disso, como as equações empíricas geradas por BERGIER et al. (2016) são táxon-independentes, torna-se possível quantificar de uma forma genérica, e dentro de uma faixa limitada de incerteza, alguns dos serviços ecossistêmicos em espaços naturais, como fazendas do Pantanal, do Cerrado ou mesmo EVU, desde que a paisagem florestal seja *a priori* caracterizada como cerrado.

É possível que essa metodologia seja também aplicável aos demais biomas brasileiros, uma vez que todas as plantas lenhosas devem possuir estratégias similares para lidar com as restrições termodinâmicas e estruturais (NIKLAS,

1994). O foco do presente trabalho, contudo, é a validação metodológica da aplicação das equações alométricas TME de Bergier et al. (2016) para a quantificação de serviços ecossistêmicos de matas de cerrado, no caso dos EVU de Campo Grande em Mato Grosso do Sul.

Apesar de as equações demonstrarem que as plantas lenhosas nas matas de cordilheira da Nhecolândia não obedecem a razão teórica 1:1 entre as biomassas abaixo e acima do solo, devido às adaptações das raízes e galhos ao elevado lençol freático (SALIS et al., 2014; BERGIER et al., 2016), a massa total da planta, do indivíduo, segue a equação alométrica teórica $d \sim m^k$ (WEST, BROWN e ENQUIST, 1997). Isso sugere que a massa total do indivíduo segue uma lei de escala fractal, mas cada indivíduo tem plasticidade fenotípica para alocar mais biomassa acima ou abaixo do solo dependendo das condições limitantes do ambiente em que se desenvolve (BERGIER et al., 2016). Em contraposição ao cerrado da Nhecolândia no Pantanal, a mesma vegetação no bioma Cerrado aloca mais biomassa abaixo do solo (em busca de água subterrânea) através do sistema radicular, conferindo maior biomassa e estoque de carbono abaixo do que acima do solo (BUSTAMANTE et al., 2012).

Para se estimar o ECF por unidade de área é preciso integrar as massas das plantas individuais presentes em um espaço delimitado. A TME indica que a distribuição de frequência de d , ou simplesmente a probabilidade $P(d)$, segue uma lei de potência em função de d como $P(d) \sim d^{-2}$ (ENQUIST e BENTLEY, 2012). Para se verificar essa função de distribuição de probabilidade e estimar ECF são portanto necessárias técnicas de amostragem de diâmetros por unidade de área (HIGA et al., 2014). O mesmo é válido para se estimar, por exemplo, processos de regulação hídrica por ET baseados em relações de escala entre d e transporte de água através do xilema (ENQUIST et al., 1998; ENQUIST e BENTLEY, 2012) que matematicamente se traduz em $ET \sim d^b$.

Em síntese, o presente estudo traz uma abordagem inédita para estimar ECF e ET em EVU (ou em quaisquer outros espaços florestais com vegetação arbórea típica de cerrado) dentro de uma faixa de incerteza definida pelo interquartil (faixa de valores que compreende 50% dos dados da distribuição amostral) dada a não normalidade da distribuição dos valores de d (ENQUIST e BENTLEY, 2012). No presente estudo, a metodologia é usada para se prospectar

o impacto do aumento em área de EVU e de seus serviços ecossistêmicos (ECF e ET) sobre o sequestro de C e a regulação hídrica e térmica, isto é, sobre a segurança de cidadãos urbanos de regiões tropicais em relação a futuros cenários de eventos extremos de enchentes e de ondas (epiódicas) ou ilhas (persistentes) de calor.

4.2. Materiais e Métodos

4.2.1. Área de Estudo

A obtenção de dados de campo foi realizada durante o outono e o inverno de 2018 em Campo Grande, Mato Grosso do Sul, município que possui 35.903,53 ha de área urbana e uma população urbana (98,66%) de 776.242 mil habitantes (IBGE, 2010), o que reflete em uma densidade de 97,22 hab/km² em 2010. Quanto ao clima, Campo Grande situa-se na faixa de transição entre o subtipo (Cfa) mesotérmico úmido sem estiagem ou pequena estiagem e o sub-tipo (Aw) tropical úmido, com estação chuvosa no verão e seca no inverno.

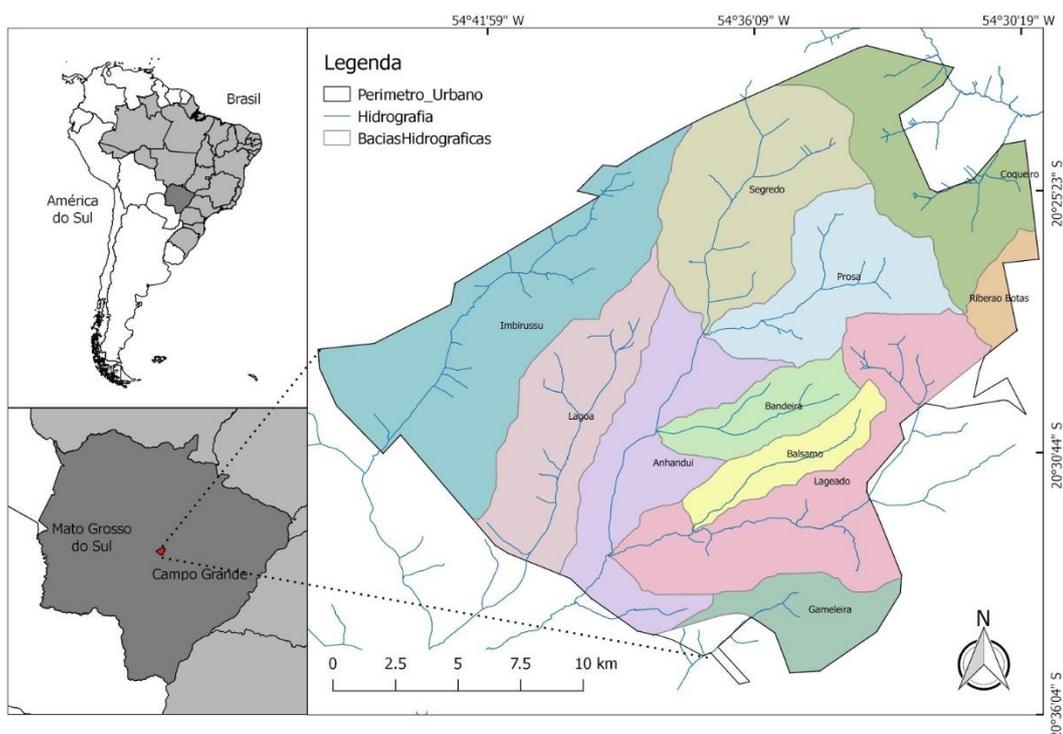


Figura 1 - Localização de Campo Grande/MS e sua divisão por microbacias hidrográficas no perímetro urbano. Crédito: Autora.

A área urbana é situada sobre a Bacia Hidrográfica do Rio Paraná, e compreende 11 micros bacias (Figura 1). Todo o município localiza-se na zona neotropical pertencente aos domínios da região fitogeográfica do Cerrado, suas principais fisionomias são: Campo Limpo, Campo Sujo, Cerrado, Cerradão, Floresta Aluvial (mata ciliar) e áreas de Tensão Ecológica, representadas pelo contato Cerrado/Floresta Estacional Semidecidual (PLANURB, 2017).

4.2.2. Mapeamento dos Espaços Verdes Urbanos (EVU)

A pesquisa é fundamentada no cadastro de Unidades Estaduais e Federais de Conservação da Natureza situadas no perímetro urbano, disponibilizado pelo Perfil Socioeconômico de Campo Grande (PLANURB, 2017), e abordou apenas EVU públicos com vegetação relevante destinados à conservação da natureza - assim como outras funções próprias de cada EVU. De acordo com o cadastro citado, os EVU são divididos em: Unidades de Conservação; Parques e outras Unidades de Conservação; e Parques Lineares.

O mapeamento dos EVU é de suma importância para a sua identificação e caracterização, possibilitando também a compreensão de como se dá a sua distribuição na malha urbana. Foi utilizado o software QGIS (QGIS, 2018) com imagem de satélite Bing obtida do *Open Layers plugin* (KALBERER P, WALKER, 2019) para mapear os EVU discriminados em três tipologias:

Unidades de Conservação (UC): espaços territoriais destinados à conservação do patrimônio natural existente, prevendo o direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, garantido aos cidadãos pela Constituição Federal de 1988. Segundo o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC), as UC são "espaços territoriais e seus recursos ambientais, incluindo as águas jurisdicionais, com características naturais relevantes, legalmente instituídos pelo Poder Público, com objetivos de conservação e limites definidos, sob regime especial de administração, ao qual se aplicam garantias adequadas de proteção" art. 1º, I (BRASIL, 2011).

Parques e Áreas Protegidas (P): espaços livres públicos localizados em lugares estratégicos da cidade onde podem cumprir seu papel ecológico de proteção dos recursos e processos naturais, e que, dentre outras funções próprias

de cada um, oferecem à comunidade contemplação da natureza aliada a recreação, lazer e cultura.

Parques Lineares (PL): espaços livres públicos que têm por objetivo proteger os cursos d'água da cidade, mantendo as margens de córregos e nascentes com matas ciliares, reduzindo o efeito negativo de enchentes e servindo como corredores ecológicos. A implantação dos parques lineares em Campo Grande se deu a partir do ano 2000, os quais têm se apresentado como um importante elemento estruturador da paisagem da cidade; além de suas funções ambientais, proporcionam áreas de lazer e contemplação para a população.

4.2.3. Levantamento de Campo

Com base na metodologia de amostragem florestal (HIGA et al., 2014) adaptada para *stratified random sampling* (SAMPATH, 2001), o mapa de tipologias de EVU foi empregado na seleção de 5 EVU para a obtenção de dados de diâmetros à altura do peito (DAP ou simplesmente d) por unidade de área, sendo 2 Parques Lineares, 2 Parques e Área Protegidas e 1 Unidade de Conservação. A coleta de dados foi realizada para indivíduos com a altura do peito $d > 130$ cm.

Para as medidas de DAPs, estipulou-se um conglomerado em linha reta para cada EVU amostrado, sendo que cada conglomerado contém dez parcelas circulares de cinco metros de diâmetro, distantes dez metros a partir de seus centros (Figura 2).

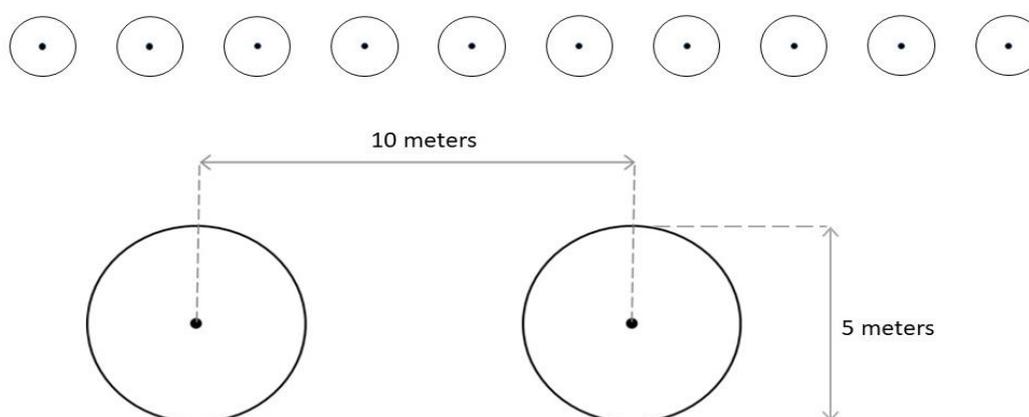


Figura 2 - Amostra das medidas e distâncias entre parcelas nos conglomerados de amostragem. Crédito: Autora.

Cada parcela compõe uma unidade amostral, onde foram medidos os valores de d para cada árvore e arvoreta presente dentro de seu perímetro. A medição se deu com fita métrica a uma altura do peito considerada de 1,30m (HIGA et al., 2014). Cada árvore/parcela foi georreferenciada e registrada por fotografia (*geotagging* via smartphone).

4.2.4. Abordagem de análise dos dados de campo

4.2.4.1. Avaliação estatística de DAP (d)

Com o aplicativo Past (HAMMER et al., 2001) foram aplicados testes estatísticos de Shapiro-Wilk, Anderson-Darling e Jarque-Bera para aferir se a distribuição $P(d)$ segue ou não uma distribuição para cada tipologia de EVU. Uma vez que $P(d)$ *a priori* não segue uma distribuição normal (ENQUIST e BENTLEY, 2012), aplicou-se o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis (KW) para comparar as medianas (dentro de interquartis) de d das tipologias de EVU. No teste KW, análogo à Anova (*Analysis of Variance*) usada em amostras normalmente distribuídas, se o resultado do teste for significativo (nível de significância de 5%, portanto para $p < 0,05$), então, ao menos uma tipologia de EVU se difere das demais. O teste não paramétrico *post-hoc* de Dunn é análogo ao teste de Tukey (na estatística paramétrica), e permite verificar diferenças significativas ou não par-a-par.

4.2.4.2. Estimativa da biomassa total e do Estoque de Carbono Florestal

A biomassa total (B em kg) de cada indivíduo lenhoso foi calculada a partir de d_s (diâmetro ao nível do solo), sendo $d_s = 2 * ((\sqrt{(3.1515 * \pi * r^2)})^{0.894} / \pi)$ derivado da relação log-log entre d ($=2r$) e d_s ($=2r_s$) (Bergier, comunicação pessoal), e das quatro equações alométricas de Bergier *et al.*, (2016) (ver fig. 2 na pág. 139), cuja integração no intervalo $0,3 > d > 100$ cm com $\Delta d = 3$ cm permite obter a equação $B = 0,2d^{2.35}$. Note que o expoente de escala empírico obtido se aproxima do valor

teórico 8/3 (~2,67) (WEST, ENQUIST e BROWN, 2009a; ENQUIST e BENTLEY, 2012). O ECF de cada indivíduo lenhoso foi então obtido pela multiplicação do valor de B por 0,5 (NOWAK, 1994; NOWAK e CRANE, 2002).

4.2.4.3. Estimativa da Evapotranspiração

A evapotranspiração de cada indivíduo lenhoso ($ET_{i,j}$, em mm/d) foi estimada a partir da relação geral empírica de escala entre d (cm) e o transporte de água pelo xilema (L/d) dado por $ET_i = 0,257d^{1,778}$ para várias espécies (ENQUIST et al., 1998). A integração dos valores de ET_i em uma dada parcela amostral (A_j em metros quadrados) permitiu estimar $ET_{i,j}$ por unidade de área (L/m²/d ou simplesmente mm/d) por meio da equação $ET_{i,j} = \sum ET_i / A_j$, sendo $i = 1, 2, \dots, n$ e $j = 1, 2, \dots, k$.

4.2.4.4. Estimativa de cobertura arbórea

A cobertura arbórea de cada EVU foi obtida através de fotointerpretação de imagens de satélite do *Bing Maps* obtida do *Open Layers plugin* (KALBERER P, WALKER, 2019) utilizando o software *QGIS* (QGIS, 2018).

4.3. Resultados e Discussões

4.3.1. Mapeamento dos Espaços Verdes Urbanos (EVU)

O mapeamento de EVU apresentado na Figura 3 permitiu observar a distribuição das tipologias na área urbana de Campo Grande. Todas elas estão vinculadas ao sistema de canais hidrológicos da cidade, sendo a tipologia de Parques Lineares (PL) distribuída ao longo das margens desses córregos, e as tipologias de Parque e Áreas protegidas (P) e de Unidades de Conservação (UC) estão distribuídas em nascentes ou próximos a confluências de córregos.

Apesar da grande quantidade de Parques Lineares ao longo da cidade, que possibilitam a conectividade entre os fragmentos naturais urbanos, servindo como corredores ecológicos, observa-se que os córregos da região central da cidade

encontram-se desprotegidos de vegetação, sem a presença de Parques Lineares, sendo mais suscetível às enchentes e ilhas de calor.

Os Parques e Áreas Protegidas são pouco distribuídos pela área urbana. Algumas microbacias hidrográficas como a Bacia do Imbirussu e a Bacia do Lagoa não possuem nenhum EVU dessa tipologia, o que também prejudica a drenagem, intensifica efeitos de ilhas urbanas de calor (IUC), além de perdas culturais para as regiões com a falta de espaço de lazer em contato com a natureza.

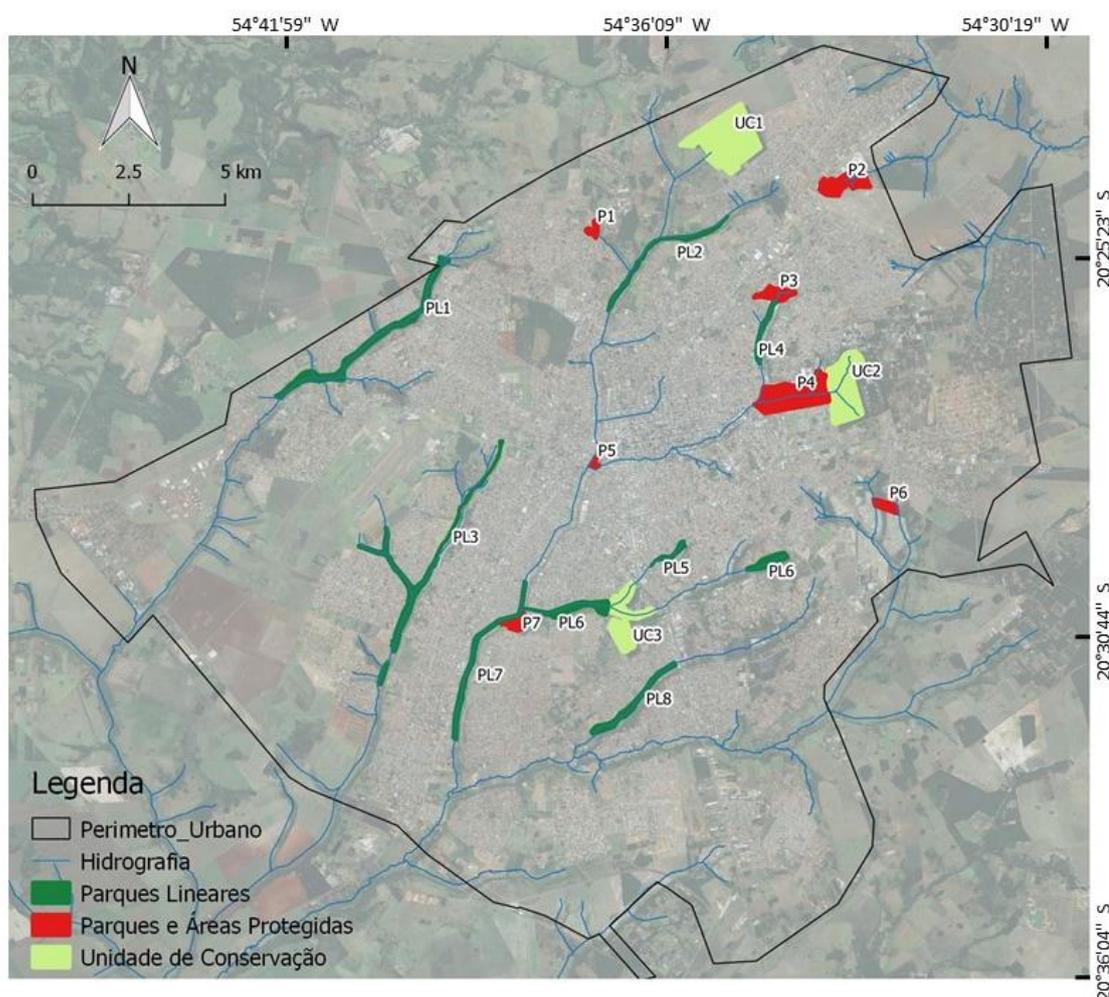


Figura 3 - Espaços Verdes Urbanos voltados para a proteção da natureza em Campo Grande/MS Crédito: Autora/ Fonte: PLANURB, 2017 **Parques Lineares:** PL1 - Parque Linear do Imbirussu; PL2 - Parque Linear Jânio Quadros; PL3 - Parque Linear do Lagoa; PL4 - Parque Linear do Sóter; PL5 - Parque Linear Juscelino Kubitschek; PL6 - Parque Linear do Bandeira; PL7 - Parque Linear do Anhanduí; PL8 - Parque Linear do Bálamo. **Parques e Área Protegidas:** P1 - Parque Municipal Água Limpa; P2 - Parque Municipal Cônsul Assaf Trad; P3 - Parque Ecológico Sóter; P4 - Parques das Nações Indígenas; P5 - Parque Florestal Antônio Albuquerque; P6 - Estação Ecológica Damha; P7 - Parque Ecológico Anhanduí. **Unidades de Conservação:** UC1 - Parque Estadual Matas do Segredo; UC2 - Parques Estadual do Prosa; UC3 - RPPN da UFMS.

O mapeamento é de suma importância pois, a partir dele, pode-se perceber espacialmente a deficiência de EVU em certas regiões da cidade, restringindo a população ao acesso à natureza, uma forma de injustiça ambiental. Portanto, essas regiões representam oportunidades de ampliação do sistema de EVU em Campo Grande, não apenas pela importância para o ecossistema urbano, mas também pela necessidade de mais EVU para a população. A Tabela 1 apresenta a relação de todos os EVU voltados para a conservação da natureza em Campo Grande (PLANURB, 2017).

Tabela 1 - Descrição das áreas absolutas dos EVU atualmente presentes em Campo Grande, MS.

Fonte: Autora

| Unidades de Conservação | | | |
|-----------------------------------|---|--------------|------------------------|
| id | Nome | Área (ha) | Cobertura Arbórea (ha) |
| UC1 | Parque Estadual Matas do Segredo | 178,0 | 171,6 |
| UC2 | Parque Estadual do Prosa | 135,0 | 131,5 |
| UC3 | RPPN da UFMS | 50,1 | 50,1 |
| Total | | 363,1 | 353,2 |
| Parques e Áreas protegidas | | | |
| id | Nome | Área (ha) | Cobertura Arbórea (ha) |
| P1 | Parque Municipal Água Limpa | 7,7 | 1,9 |
| P2 | Parque Municipal Consul Assaf Trad | 27,0 | 10,4 |
| P3 | Parque Ecológico do Soter | 22,0 | 4,5 |
| P4 | Parque das Nações Indígenas | 119,0 | 19,5 |
| P5 | Parque Florestal Antonio de Albuquerque | 4,5 | 2,0 |
| P6 | Estação Ecológica do DAMHA | 13,1 | 13,0 |
| P7 | Parque Ecológico do Anhanduí | 18,3 | 13,9 |
| Total | | 211,6 | 65,2 |
| Parques Lineares | | | |
| id | Nome | Área (ha) | Cobertura Arbórea (ha) |
| PL1 | Parque Linear do Imbirussu | 98,0 | 71,7 |
| PL2 | Parque Linear Jânio Quadros | 23,9 | 12,5 |
| PL3 | Parque Linear do Lagoa | 97,0 | 10,8 |
| PL4 | Parque Linear do Sóter | 12,1 | 7,0 |
| PL5 | Parque Linear Juscelino Kubitschek | 7,1 | 4,9 |
| PL6 | Parque Linear do Bandeira | 37,0 | 20,2 |
| PL7 | Parque Linear do Anhanduí | 37,8 | 28,7 |
| PL8 | Parque Linear do Bálamo | 10,6 | 26,1 |
| Total | | 323,5 | 181,9 |

4.3.2. Levantamento de Campo

Pela metodologia *stratified random sampling* foram selecionados cinco EVU para levantamento de campo.

4.3.2.1. Parque Linear do Sóter (PL4 na Figura 3)



Figura 4 - 1) Localização do Parque Linear do Sóter e a linha de amostragem ($20^{\circ}26'34''$ S/ $54^{\circ}34'54''$ W); 2) Vista externa da área de amostragem; 3) Vegetação tipo das parcelas amostradas (vista interna do parque).
Crédito: Autora.

Este parque foi criado em 2003 com as finalidades de acomodar o leito do curso d'água do córrego Sóter; permitir o escoamento e a infiltração das águas pluviais; e conservar a vegetação ciliar mantendo a biodiversidade local. Além de acompanhar o curso d'água, este parque serve como um corredor ecológico entre dois outros EVU, o Parque Ecológico do Sóter e o Parque das Nações Indígenas. Sua área é completamente desobstruída, permitindo o livre acesso ao córrego, e a única estrutura existente é uma pista de caminhada ao longo de todo o parque.

4.3.2.2. Parque Linear do Imbirussu (PL1 na Figura 3)



Figura 5 - 1) Localização do Parque Linear do Imbirussu e a linha de amostragem (20°26'22" S/ 54°40'34" W); 2) Vista externa da área de amostragem; 3) Vegetação tipo das parcelas amostradas (vista interna do parque). Crédito: Autora.

Criado em 2011, é o EVU de implantação mais recente dentre os analisados. O Parque destina-se à recuperação do ecossistema e manutenção do equilíbrio ecológico da microbacia do córrego Imbirussu, além de suprir a carência de espaços naturais e lazer dessa região da cidade. O Parque conta com um Horto Florestal e um Centro de Educação Ambiental (CEA), onde se encontra um dos viveiros de produção de mudas para a arborização urbana.

4.3.2.3. Parque Florestal Antônio Albuquerque (P5 na Figura 3)



Figura 6 - 1) Localização do Parque Florestal Antônio Albuquerque e a linha de amostragem (20°28'06" S/ 54°37'21" W); 2) Vista externa da área de amostragem; 3) Vegetação tipo das parcelas amostradas (vista interna do parque). Crédito: Autora.

Este parque, também conhecido como Horto Florestal, teve seu início em 1912 quando a área foi reservada para a Intendência, com características próprias de vegetação e onde dois braços de córregos juntam-se para formar o rio Anhanduizinho. Em 1923 foi nomeado como um Parque, onde eram produzidas espécies que serviam para arborização da cidade de Campo Grande e vizinhança. A área conta com dependências que promovem o lazer, esporte e cultura, além de se encontrar na Zona especial de Interesse Cultural (ZEIC) de Campo Grande (PLANURB, 2017).

4.3.2.4. Parque das Nações indígenas (P4 na Figura 3)



Figura 7 - 1) Localização do Parque das Nações Indígenas e a linha de amostragem (20°27'12" S/ 54°34'12" W); 2) Vista externa da área de amostragem; 3) Vegetação tipo das parcelas amostradas (vista interna do parque). Crédito: Autora.

Este parque foi criado em 1993, a partir de desapropriação pelo Governo do Estado de várias chácaras e terrenos às margens dos córregos situados na área. É o maior parque urbano de lazer de Campo Grande, promove atividade recreativas, esportivas, educativas e culturais, contando também com museus e áreas para eventos.

Parte da vegetação original de mata ciliar ao longo do córrego se encontra conservada e a maior parte da vegetação do parque consiste em gramados e árvores ornamentais e frutíferas, oriundas do projeto paisagístico.

4.3.2.5. RPPN da UFMS (UC3 na Figura 3)



Figura 8 - 1) Localização da RPPN - UFMS e a linha de amostragem ($20^{\circ}30'36''$ S/ $54^{\circ}36'55''$ W); 2) Vista externa da área de amostragem; 3) Vegetação tipo das parcelas amostradas (vista interna do parque).
Crédito: Autora.

Esta Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) se encontra sob domínio da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul - UFMS, em Campo Grande, e foi reconhecida como UC em 2003, com o objetivo de preservar as condições naturais primitivas, semi-primitivas, recuperadas ou em condições de desenvolvimento, formada por Cerrado em diferentes estágios e mata ciliar.

As maiores medianas de d se deram nos Parques e Áreas Protegidas como era esperado, enquanto a maior contagem se deu na Unidade de Conservação RPPN da UFMS.

Tabela 2. Valores de medianas e quartis Q2 (25%) e Q3 (75%) para os valores de d medidos nos EVU.

| | Prq. Linear do Sóter | Prq. Linear do Imbirussu | Prq. Fl. Antônio Albuquerque | Prq. das Nações Indígenas | RPPN - UFMS |
|-----------------|----------------------|--------------------------|------------------------------|---------------------------|-------------|
| <i>n</i> | 44 | 61 | 48 | 73 | 102 |
| Mediana | 5,09 | 4,77 | 11,8 | 9,87 | 5,41 |
| Q2 | 1,926 | 2,39 | 3,26 | 4,305 | 3,10 |
| Q3 | 23,47 | 12,7 | 40,11 | 20,5 | 10,82 |

As maiores medianas de d foram encontradas nos parques (Tabela 2) visto que esses EVU são em sua maioria os mais antigos, possuindo árvores adultas. O Parque Florestal Antônio Albuquerque, com maior mediana e interquartil (intervalo entre Q2 e Q3) de d é o EVU mais antigo, criado em 1912 (PLANURB, 2017).

4.3.3. Análises dos dados de campo

Conforme esperado pela TME (ENQUIST e BENTLEY, 2012), a Tabela 3 demonstra que as distribuições $P(d)$ das EVU analisadas não seguem um modelo gaussiano para um nível de significância de 5%. A partir desse resultado, as análises foram embasadas em testes não-paramétricos (medianas e intervalos de interquartil).

A Figura 9 apresenta as distribuições de $P(d)$ em função de d para cada EVU analisado, evidenciando que de fato não seguem um modelo gaussiano, mas podem sim ser ajustadas por leis de potência, cujos parâmetros são apresentados na Tabela 4. A distribuição pode ser generalizada pela TME como $P(d) = \beta d^\alpha$ para $\alpha = -2$ (ENQUIST e BENTLEY, 2012). Os dados empíricos obtidos nos EVU avaliados apresentaram α variando de -1,228 a -2,434, portanto ao redor do valor

esperado pela TME, e R^2 variando de 0,869 a 0,986 (Tabela 4). O modelo geral obtido, com base no ajuste de lei de potência para todos os EVU analisados é $P(d) = 1363,9d^{-1,616}$ (Figura 4, Tabela 4).

Tabela 3. Testes de normalidade da distribuição $P(d)$ das tipologias de EVU amostradas.

| | Prq. Linear do Sóter | Prq. Linear do Imbirussu | Prq. Fl. Antônio Albuquerque | Prq. das Nações Indígenas | RPPN - UFMS |
|--------------------|----------------------|--------------------------|------------------------------|---------------------------|------------------|
| n | 44 | 61 | 48 | 73 | 102 |
| Shapiro-Wilk W | 0,7756 | 0,6815 | 0,7933 | 0,876 | 0,7363 |
| p(normal) | <u>8,94E-07</u> | <u>3,20E-10</u> | <u>9,18E-07</u> | <u>3,33E-06</u> | <u>3,03E-12</u> |
| Anderson-Darling A | 3,297 | 6,946 | 3,557 | 2,937 | 5,933 |
| p(normal) | <u>2,14E-08</u> | <u>3,29E-17</u> | <u>5,04E-09</u> | <u>1,87E-07</u> | <u>1,07E-14</u> |
| p(Monte Carlo) | 0,0001 | 0,0001 | 0,0001 | 0,0001 | 0,0001 |
| Jarque-Bera JB | 37,63 | 128,7 | 19,02 | 14,29 | 951,5 |
| p(normal) | <u>6,76E-09</u> | <u>1,16E-28</u> | <u>7,43E-05</u> | <u>0,0007868</u> | <u>2,38E-207</u> |
| p(Monte Carlo) | 0,0011 | 0,0001 | 0,004 | 0,0072 | 0,0001 |

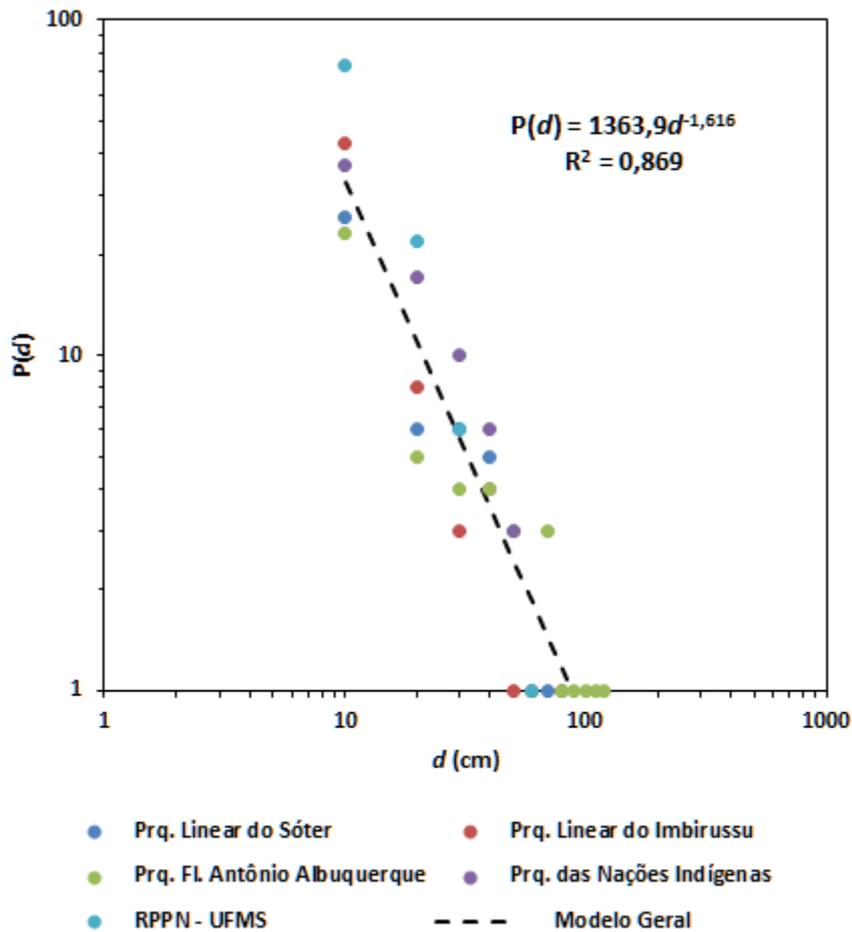


Figura 9- Frequência $P(d)$ em função de d (DAP) dos EVU analisados e ajuste da tendência (Modelo Geral) independente do EVU.

Quanto maior o valor de d , isto é, quanto maior for o indivíduo, muito menor será a sua frequência em determinada área florestal. Na Figura 9 pode-se perceber que a RPPN - UFMS apresenta uma frequência maior de indivíduos com menores valores de d em relação aos demais EVU, assim como o Parque Florestal Antônio de Albuquerque apresenta uma menor frequência relativa de indivíduos menores. De certa forma isso é retratado nos expoentes estimados (Tabela 4), dado que EVU com menores valores de α (mais negativos) tendem a apresentar maior frequência de indivíduos menores ao passo que EVU com maiores valores de α (menos negativos) indicam maior frequência relativa de indivíduos maiores.

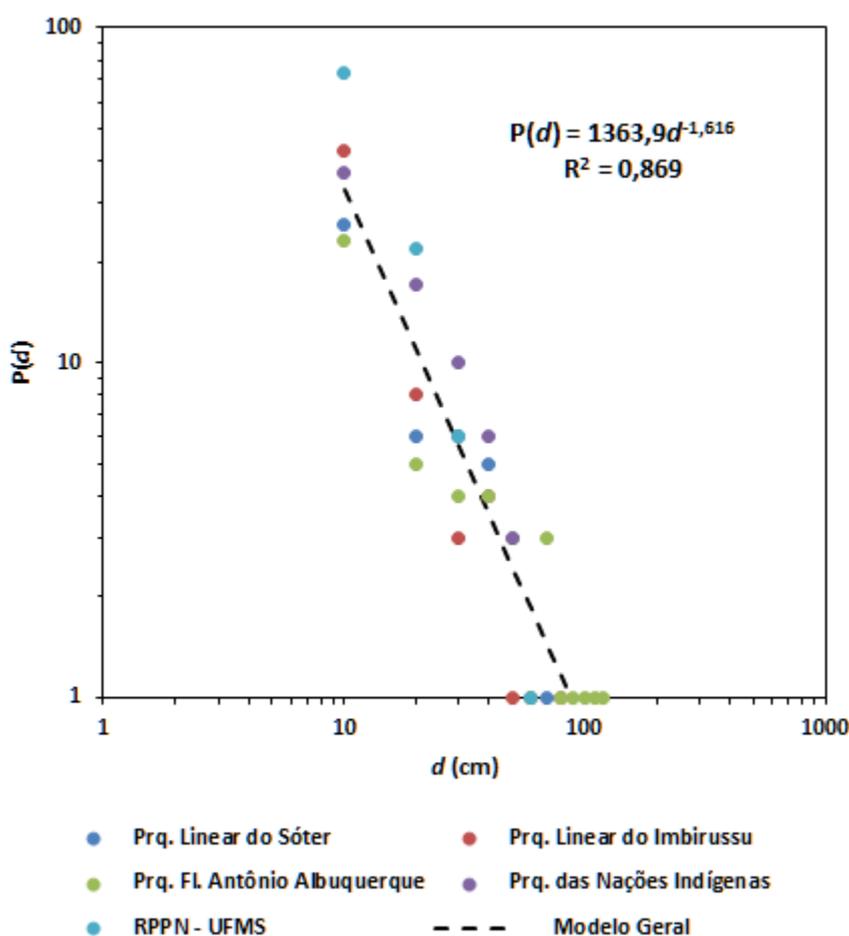


Figura 9- Frequência $P(d)$ em função de d (DAP) dos EVU analisados e ajuste da tendência (Modelo Geral) independente do EVU.

O resultado do teste KW (chi-quadrado: 18,12, $p = 0,00115$) sugere que ao menos uma tipologia de EVU se difere das demais em termos de d (Tabela 2). O teste *post-hoc* de Dunn (Tabela 4) mostra que entre os EVU de mesma tipologia,

as medianas de d não se distinguem (e.g. Prq. Linear do Sóter em relação ao Prq. Linear do Imbirussu e Prq. Fl. Antonio Albuquerque em relação ao Prq. das Nações Indígenas). As tipologias Parques e Áreas Protegidas se distinguem das outras duas tipologias, sendo os Parques Lineares e a Unidade de Conservação RPPN - UFMS similares em termos de d .

Tabela 4 - Parâmetros de regressão estatística da função $P(d) = \beta d^\alpha$ para as tipologia de EVU amostradas.

| | β | α | R ² |
|---------------------------------------|----------|----------|----------------|
| Prq. Linear do Sóter | 799,63 | -1,501 | 0,904 |
| Prq. Linear do Imbirussu | 2.654,2 | -1,895 | 0,928 |
| Prq. Florestal Antônio de Albuquerque | 293,23 | -1,228 | 0,876 |
| Prq. das Nações Indígenas | 1.292,7 | -1,484 | 0,961 |
| RPPN - UFMS | 23.823,0 | -2,434 | 0,986 |
| Modelo Geral | 1363,9 | -1,616 | 0,869 |

A TME prevê que o expoente da lei de potência da distribuição de d pode ser um indicador de perturbações ambientais, como fogo, desmatamento ou o estágio sucessional por alterar os valores de α (ver e.g. a Figura 14.12 em ENQUIST e BENTLEY, 2012). Como apresentado na Figura 4 e na Tabela 4, quanto menor (mais negativo) o valor de α , maior é a frequência de indivíduos menores e menor a ocorrência de indivíduos maiores.

Tabela 5 - Teste *post-hoc* de Dunn dos valores de d para as cinco EVU amostradas. Em negrito e sublinhado diferenças significativas ao nível de 5%.

| | Prq. Linear do Sóter | Prq. Linear do Imbirussu | Prq. Fl. Antônio Albuquerque | Prq. das Nações Indígenas | RPPN - UFMS |
|------------------------------|----------------------|--------------------------|------------------------------|---------------------------|------------------------|
| Prq. Linear do Sóter | - | 0,8632 | <u>0,01077</u> | <u>0,03837</u> | 0,8226 |
| Prq. Linear do Imbirussu | - | - | <u>0,003332</u> | <u>0,01332</u> | 0,9688 |
| Prq. Fl. Antônio Albuquerque | - | - | - | 0,4609 | <u>0,001069</u> |
| Prq. das Nações Indígenas | - | - | - | - | <u>0,004485</u> |
| RPPN - UFMS | - | - | - | - | - |

Por outro prisma, a semelhança das distribuições na forma da função de distribuição de probabilidade $P(d) = \beta d^d$ entre as tipologias sugere a possibilidade de estimar valores de serviços ecossistêmicos a partir de d para EVU em geral e para outras manchas de fitofisionomias de cerrado em espaços rurais dos bioma Pantanal, Cerrado e da Amazônia . Ao analisar os resultados dos Parques e Áreas Protegidas, nota-se que, apesar da diferença de 70 anos entre a criação dos dois parques, as medianas de d não se distinguem, sinalizando que características como o nível de proteção pode ser responsável por semelhanças ou diferenças entre a distribuição de d em EVU. Em contraposição, a RPPN se mostrou semelhante aos Parques Lineares, apesar de distinta em sua estrutura e nível de proteção. Nesse caso, é razoável sugerir que tal semelhança resulte do fato de ambas serem matas jovens e em estágios iniciais de sucessão ecológica (ENQUIST et al., 1998; ENQUIST e BENTLEY, 2012).

4.3.4. Estimativa de Estoque de Carbono Florestal e Evapotranspiração

A partir dos valores de d obtidos em campo e o cálculo de B em um espaço delimitado, obteve-se $ECF = 0,5 * B$ (em toneladas). Analogamente, estimou-se a ET Total para cada EVU baseado em relações de escala entre d e transporte de água através do xilema. Todos esses valores foram calculados com base nos valores de cobertura arbórea de cada EVU (Tabela 6).

Tabela 6: Medianas (interquartis Q2 e Q3) de ECF e ET calculados para cada EVU analisado.

| Tipologias de EVU | Cobertura Arbórea (ha) | ECF (toneladas) | ET Total (m ³ /d) |
|------------------------------|------------------------|----------------------------------|-------------------------------|
| Prq. Linear do Sóter | 7,01 | 1.082,7 (556 ; 2.304,3) | 500,7 (280,2 ; 897,7) |
| Prq. Linear do Imbirussu | 71,69 | 15.004,1 (1.043,9 ; 41.383,1) | 7.527,1 (999,7 ; 13.033,2) |
| Prq. Fl. Antônio Albuquerque | 1,96 | 2.653,1 (563,9 ; 7.630,0) | 628,0 (213,0 ; 1437,8) |
| Prq. das Nações Indígenas | 19,52 | 3698,0 (2.143,5 ; 9.148,0) | 2642,0 (1.209,1 ; 3442,7) |
| RPPN - UFMS | 34,34 | 1527,1 (3.435,7 ; 9.489,6) | 3480,1 (2.654,4 ; 5.518,1) |

Os valores de d permitiram extrapolar os cálculos de ECF e ET para cada tipologia de EVU atualmente presente em Campo Grande (Figura 3, Tabela 7). Os cálculos foram realizados através da estimativa da mediana e do interquartil pela agregação de valores medidos por tipologia: i) dois parques lineares, ii) dois parques florestais e iii) uma unidade de conservação. Esta última foi agregada à tipologia de Parque Linear pois são estatisticamente indistinguíveis (Tabela 5). Salienta-se, porém, que no longo prazo e na ausência de intervenções ou mudanças drásticas, todas as tipologias deverão atingir a fase clímax da sucessão ecológica, o que poderá conferir menor variabilidade na função de distribuição de probabilidade de d entre as tipologias identificadas.

Atualmente, as áreas de EVU em Campo Grande totalizam 898 hectares (2,5% da área urbana em 2010), as quais, conforme cálculos a partir dos dados das Tabelas 1 e 7, estocam entre 33.368,5 e 456.801,7 toneladas de C na forma de biomassa florestal, e são responsáveis pela umidificação atmosférica diária da ordem de 31.458,0 a 105.277,3 m³ de água. Esse serviço florestal de umidificação atmosférica pela remoção (do excesso quando solo está encharcado ou saturado) de água intersticial do solo auxilia na redução da temperatura local, portanto ajuda a combater a formação de IUC, bem como a mitigar os impactos de enchentes.

Tabela 7 - Medianas (interquartis 25% e 75%) de ECF e ET calculados para cada tipologia de EVU extrapolados para todo o município de Campo Grande.

| EVU | Área Total (ha) | Cobertura Arbórea (ha) | ECF (toneladas) | ET (m ³ /d) |
|----------------------------|-----------------|------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| Parques Lineares | 323,5 | 181,9 | 17.507,9 (8.049,1 ; 119.508,3) | 13.225,6 (8.472,6 ; 25.803,8) |
| Parques e Áreas Protegidas | 211,6 | 65,2 | 18.908,0 (9.690,4 ; 105.241,0) | 10.417,3 (6.534,0 ; 29.369,6) |
| Unidades de Conservação | 363,1 | 353,2 | 33.995,5 (15.629,1 ; 232.052,4) | 25.680,5 (16.451,4 ; 50.103,9) |

Se a área de EVU fosse, por exemplo, quadruplicada nos próximos anos, isso representaria apenas 10% da área urbana em relação a 2010 e traria reflexos positivos em relação a sumidouros vivos de C (ECF variando entre 133 mil e 1,82 milhões de toneladas de carbono) e em relação a ET que aumentaria para valores entre 12.600 e 42.100 m³/d. Por outro lado, estudos futuros devem ser conduzidos

para a identificação de espaços urbanos adequados para a implantação de novos EVU, e que incorporem também serviços socioculturais.

Tendo em vista que as mudanças climáticas (HANSEN et al., 2012) devem acentuar a ocorrência de eventos extremos de chuva e de calor na região (BERGIER et al., 2018), a abordagem aqui proposta, fundamentada em Ecohidrologia e Teoria Metabólica Ecológica, representa uma das soluções factíveis de implementação para a adaptação e a mitigação das emissões de gases estufa e dos impactos dessas mudanças sobre a população urbana que viverá em Campo Grande nas próximas décadas.

4.4. Conclusões

O estudo apresenta o mapeamento dos EVU e dos de seus respectivos serviços ecossistêmicos em Campo Grande, revelando a deficiência destes ambientes em certos setores da cidade. As análises estatísticas evidenciam que os valores obtidos com o levantamento de campo não seguem um modelo gaussiano, mas podem ser modelados por distribuições de leis de potência por meio da Teoria Metabólica Ecológica (TME). O estudo também revela que os serviços ecossistêmicos de regulação, traduzidos em conceitos ecohidrológicos como ECF e ET na área urbana, podem ser estimados integrando-se dados de DAP (*d*).

Constatou-se que a TME tem grande potencial de aplicação mas também limitações, pois permite avaliar fluxos e estoques em um sistema apenas para intervalos (interquartis) que contém a mediana da distribuição. Isso se deve ao fato de que a distribuição de lei de potência não admite o emprego da média e do desvio padrão mas apenas a mediana e o interquartil. Entretanto, essas incertezas estatísticas resultam da dinâmica intrínseca de sistemas complexos que se desenrolam na natureza e não da observação ou medição realizada. A plasticidade fenotípica, isto é, a manifestação macroscópica ligeiramente divergente da TME pode ser entendida como função do meio ambiente ou do estágio de sucessão ecológica. Todavia, o uso do interquartil para avaliar processos naturais com distribuição de lei de potência garante uma margem

confiável de incerteza, a qual pode ser escalonada independentemente da espécie lenhosa e de seu estágio sucessional, da sazonalidade e do ambiente.

Os resultados aqui apresentados sugerem que o escalonamento de EVU de 2,5 para 10% da área urbana em Campo Grande pode ter reflexos importante para a adaptação das futuras gerações urbanas e para a mitigação das mudanças climáticas. Para tanto, a geolocalização de novos EVU deve ser fruto de pesquisas no futuro próximo.

Agradecimentos

O financiamento para a conclusão desse estudo vinculado ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais (PGRN) da FAENG/UFMS foi cedido pela FUNDECT (Fundação de Apoio ao Desenvolvimento do Ensino, Ciência e Tecnologia do Estado de Mato Grosso do Sul) através da chamada FUNDECT/CAPES N° 02/2017. Os autores agradecem ao colaborador Fradman Sampaio Bertucci, pelo empenho e auxílio na coleta de dados de campo.

4.5. Referências

BERGIER, I. et al. Amazon rainforest modulation of water security in the Pantanal wetland. **Science of The Total Environment**. Vol. 619–620, p. 1116-11251, abr. 2018.

BERGIER, I.; SALIS, S. M.; MATTOS, P. P. *Metabolic scaling applied to native woody savanna species in the Pantanal of Nhecolândia*. In: BERGIER, I.; ASSINE, M. L. (Ed.). **Dynamics of the Pantanal Wetland in South America**. (The Handbook of environmental chemistry, v. 37) Switzerland: Springer International Publishing. p. 133-144. 2016.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. SNUC – Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza: Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000; Decreto nº 4.340, de 22 de agosto de 2002; Decreto nº 5.746, de 5 de abril de 2006. **Plano Estratégico Nacional de Áreas Protegidas**: Decreto nº 5.758, de 13 de abril de 2006. Brasília: MMA, 2011.

BUSTAMANTE, M. M. C.; Nardoto, G. B.; Pinto, A.S.; Resende, J.C.F.; Takahashi, F.S.C.; Vieira, L.C.G. Potential impacts of climate change on biogeochemical functioning of Cerrado ecosystems. **Brazilian Journal of Biology**, São Carlos, v. 72, n. 3, p. 655-671, 2012.

COOMES, D. A.; ALLEN, R. B. Testing the Metabolic Scaling Theory of tree growth. **Journal of Ecology**. vol. 97, p. 1369–1373, Out. 2009.

COOMES, D.A.; LINES, E.R.; ALLEN, R.B. Moving on from metabolic scaling theory: hierarchical models of tree growth and asymmetric competition for light. **Journal of Ecology**. vol. 99, p. 748–756, 2011.

DAVIES, Z. G.; DALLIMER, M.; EDMONDSON, J. L.; LEAKE, J. R.; GASTON, K. J. Identifying potential sources of variability between vegetation carbon storage estimates for urban áreas. *Environmental Pollution*. vol. 183, p. 133-142, dez. 2013.

ESCOBEDO, F.; VARELA, S.; ZHAO, M.; WAGNER, J. E.; ZIPPERER, W. Analyzing the efficacy of subtropical urban forests in offsetting carbon emissions from cities. **Environmental Science & Policy**. vol. 13, ed. 5, p. 362-372. ago. de 2010.

ENQUIST, B. J.; BENTLEY, L. P. Land Plants: New Theoretical Directions and Empirical Prospects. **Metabolic Ecology: A Scaling Approach**. 2012.

ENQUIST, B. J.; BROWN, J. H.; WEST, G. B. Allometric scaling of plant energetics and population density. **Nature**. vol 395, p. 163-165, set. 1998.

ENQUIST, B. J. et al. Scaling from Traits to Ecosystems: Developing a General Trait Driver Theory via Integrating Trait-Based and Metabolic Scaling Theories. **Advances in Ecological Research**. vol. 52, p. 249-318, 2015.

HAMMER, Ø.; HARPER, D.A.T.; RYAN, P. D. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica* 4(1): 9pp. 2001.

HANSEN, J.; SATO, M.; RUEDY, R. Perception of climate change. **PNAS** | Publicado online. p. E2415–E2423, ago. 2012. Disponível em: <<https://www.pnas.org/content/109/37/E2415>>.

HIGA, R.C.V.; CARDOSO, D.J.; ANDRADE, G. de C.; ZANATTA, J.A.; ROSSI, L.M.B.; PULROLNIK, K.; NICODEMO, M.L.F.; GARRASTAZU, M.C.;

VASCONCELOS, S.S.; SALIS, S.M. **Protocolo de medição e soma de biomassa e carbono florestal**. EMBRAPA Florestas, nov. 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Censo Brasileiro de 2010. Rio de Janeiro: IBGE, 2012.

KABISCH, N.; QURESHI, S.; HAASE, D. Human–environment interactions in urban green spaces — A systematic review of contemporary issues and prospects for future research. **Environmental Impact Assessment Review**. vol.50, p. 25-34, jan. 2015.

KALBERER P, WALKER M. Open Layers plugin for QGIS. Disponível em: <https://github.com/sourcepole/qgis-openlayers-plugin>. Acesso: 09 de maio de 2019.

NIKLAS, K. Plant Allometry: The Scaling of Form and Process. Niklas, Karl. Bibliovault OAI Repository, the University of Chicago Press, 1994.

NIEMELÄ, J. Ecology of urban green spaces: The way forward in answering major research questions. **Landscape and Urban Planning**. vol. 125, p. 298–303. maio 2014.

NOWAK, D.J. Atmospheric carbon dioxide reduction by Chicago's urban forest. In: McPherson, E.G., Nowak, D.J., Rowntree, R.A. (Eds.), **Chicago's Urban Forest Ecosystem: Results of the Chicago Urban Forest Climate Project**. General Technical Report. Northeastern Forest Experiment Station-186, pp. 83–94. 1994.

NOWAK, D.J.; CRANE; D.E. Carbon storage and sequestration by urban trees in the USA. **Environmental Pollution**, vol. 116, p. 381-389. 2002.

ONU - Nações Unidas no Brasil. Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 11. DOCUMENTOS TEMÁTICOS. p. 47. Brasília, julho de 2018.

PLANURB - Agência Municipal de Meio Ambiente e Planejamento Urbano. **Perfil Socioeconômico de Campo Grande**/Instituto Municipal de Planejamento Urbano - PLANURB. 24. ed. rev. Campo Grande, 2017.

QGIS Development Team, 2018. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. Disponível em: <<http://qgis.osgeo.org>>

SALIS, S. M.; LEHN, C. R.; MATTOS, P. P.; BERGIER, I.; CRISPIM, S. M. A. Root behavior of savanna species in Brazil's Pantanal wetland. **Global Ecology and Conservation**. Vol. 2, p. 378-384, dez 2014.

SAMPATH, S. **Sampling Theory and Methods**. Alpha Science International.

Harrow, UK. Ed. 2. Jan. 2005.

TAVARES, F. S. B.; BERGIER, I.; GUARALDO, E. Análise Cienciométrica de Espaços Verdes Urbanos e Seus Serviços Ecológicos. Submetido para publicação na revista **Interações** em 31 de maio de 2019.

WEST, G. B.; BROWN, J. H.; ENQUIST, B. J. A General Model for the Origin of Allometric Scaling Laws in Biology. **SCIENCE**. vol. 276, p. 122-126, abr. 1997.

WEST G.B.; ENQUIST B.J.; BROWN J.H. A general quantitative theory of forest structure and dynamics. **Proc Natl Acad Sci (PNAS)**. p. 7040 –7045, vol. 106, no. 17, abr. 2009a.

_____. Extensions and evaluations of a general quantitative theory of forest structure and dynamics. **Proc Natl Acad Sci (PNAS) USA**. p. 7046 –7051, vol. 106, no. 17, abr. 2009b.

5. Conclusão

A pesquisa mostrou que a obtenção de dados de diâmetro ao nível do peito (DAP ou d) por unidade de área aliada à Teoria Metabólica Ecológica permite a análise e a quantificação de alguns dos serviços ecossistêmicos de regulação oferecidos pelos EVU, como ECF e ET. A metodologia possui limitações por se tratar de dados com distribuição de lei de potência, não admitindo o emprego da média e do desvio padrão (momentos estatísticos gaussianos), sendo possível avaliar e comparar apenas os intervalos de interquartis e as medianas das distribuições por métodos não paramétricos. Todavia, essa limitação deriva a priori de processos biofísicos naturais que resultam em distribuições de lei de potência. Portanto, é recomendável utilizar a mediana (o valor que separa a metade maior e a metade menor de uma distribuição de dados) e seu interquartil amplo (50% dos dados) para garantir uma margem confiável de incerteza. A vantagem da metodologia é que ela pode ser escalonada independentemente da espécie lenhosa (desde que caracterizada como cerrado), da sazonalidade e do ambiente, mas dependente de seu estágio sucessional ou de impactos naturais ou antropogênicos, isto é, depende da distribuição $P(d) \sim d^{-\alpha}$. Portanto, consiste de uma metodologia adequada para estimativas de intervalos mais prováveis de distribuições não gaussianas de d para a quantificação e análise de serviços ecossistêmicos florestais, sejam em espaços naturais na área rural ou em EVU.

O mapeamento realizado sobre os EVU em Campo Grande revela a deficiência destes ambientes em certos setores da cidade, os quais atualmente são responsáveis pelo estoque de C entre 33.368,5 e 456.801,7 ton e pela evapotranspiração entre 31.458,0 a 105.277,3

m³/dia . O escalonamento desses EVU de 2,5 para 10% do tecido urbano em Campo Grande pode trazer reflexos muito positivos não apenas em termos de serviços ecossistêmicos culturais, mas também para a adaptação das futuras gerações urbanas e para a mitigação das mudanças climáticas. Para tanto, a geolocalização de novos EVU deve ser fruto de pesquisas no futuro próximo.

6. Referências

- AMATO-LOURENÇO, L. F. et al. Metrôpoles, cobertura vegetal, áreas verdes e saúde. **Estud. av.**, São Paulo, v. 30, n. 86, p. 113-130, abr. 2016 . Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142016000100113&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 12 ago. 2017.
- CORRÊA, R. S. *Reabilitação Ambiental: a Vegetação Além do Paisagismo*. Universidade de Brasília, Brasília - DF, Brasil. **Paranoá Caderno de Arquitetura e Urbanismo**, nº14, 2015.
- D'ODORICO, P; LAIO, F.; PORPORATO, A.; RIDOLFI, L.; RINALDO, A.; RODRIGUEZ-ITURBE, I. Ecohydrology of Terrestrial Ecosystems. *BioScience*. vol. 60, no. 11, p. 898-907, dez. 2010.
- HOUGH, M. *Naturaleza y Ciudad: planificación urbana y procesos ecológicos*. Barcelona, 1995.
- SILVA, L. J. M. da. *Parques Urbanos: a natureza na cidade - Uma análise da percepção dos atores urbanos*. Brasília/DF, 2003.
- SPIRN, A. W. *O Jardim De Granito*; Tradução de Paulo Renato Mesquita Pellegrino, São Paulo. Editora da USP, 1995.
- WEST, G. B.; BROWN, J. H.; ENQUIST, B. J. A General Model for the Origin of Allometric Scaling Laws in Biology. **SCIENCE**. vol. 276, p. 122-126, abr. 1997.