

# PLANEJAMENTO AMBIENTAL URBANO:

ALICERCES DE UMA CIDADE INTELIGENTE E SUSTENTÁVEL

ORGANIZAÇÃO:

EDILSON DE SOUZA BIAS  
VALDIR ADILSON STEINKE



caliandra

Universidade de Brasília  
ICH - Instituto de Ciências Humanas

# **PLANEJAMENTO AMBIENTAL URBANO:** ALICERGES DE UMA CIDADE INTELIGENTE E SUSTENTÁVEL

Organizadores:

Edilson de Souza Bias  
Valdir Adilson Steinke



**caliandra**

Brasília - DF  
2024



## **Conselho Editorial**

### **Membros internos:**

Prof. Dr. Bruno Leal (HIS/UnB) - Presidente

Prof. Dr. Herivelto Pereira de Souza (FIL/UnB)

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Maria Lucia Lopes da Silva (SER/UnB)

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Ruth Elias de Paula Laranja (GEA/UnB)

### **Membros externos:**

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Ângela Santana do Amaral (UFPE)

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Joana Maria Pedro (UFSC)

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Marine Pereira (UFABC)

Prof. Dr. Ricardo Nogueira (UFAM)

### **Membros internacionais:**

Prof. Dr. Fernando Quiles García (Universidad Pablo de Olavide - Espanha);

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Ilía Alvarado-Sizzo (Universidad Autonoma de México)

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Paula Vidal Molina (Universidad de Chile)

Prof. Dr. Peter Dews (University of Essex - Reino Unido)

© 2024.



Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International (CC BY-NC-ND 4.0)

A responsabilidade pelos direitos autorais de textos e imagens dessa obra é dos autores.

[1ª edição]

## Elaboração e informações

Universidade de Brasília

ICH - Instituto de Ciências Humanas

Campus Universitário Darcy Ribeiro, ICC Norte, Mesanino Bloco 01qr Campus Universitário Darcy Ribeiro - Asa Norte, Brasília DF CEP: 70297-400 Brasília - DF, Brasil

E-mail: [ihd@unb.br](mailto:ihd@unb.br)

Contato: (61) 3107-7364

Site: [ich.unb.br](http://ich.unb.br)

## Equipe técnica

Parecerista: Charlei Aparecido da Silva (UFGD)

Editoração: Valdir Adilson Steinke e Edilson de Souza Bias

Revisão: Amabile Zavattini

Capa: Thamirys Verneque Silva dos Reis

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
(Biblioteca Central da Universidade de Brasília - BCE/UNB)

P712            Planejamento ambiental urbano [recurso eletrônico]  
                  : alicerces de uma cidade inteligente e  
                  sustentável / organizadores: Edilson de Souza  
                  Bias, Valdir Adilson Steinke. – Brasília :  
                  Universidade de Brasília, Instituto de Ciências  
                  Humanas, 2024.  
                  262 p. : il.

Inclui bibliografia.  
Modo de acesso: World Wide Web:  
<[caliandra.ich.unb.br](http://caliandra.ich.unb.br)>.  
ISBN 978-85-93776-08-3.

1. Planejamento urbano. 2. Sustentabilidade. 3.  
Cidades inteligentes. I. Bias, Edilson de Souza  
(org.). II. Steinke, Valdir Adilson (org.).

CDU 711.4

Heloiza dos Santos - CRB 1/1913





# Dedicatória

A organização de uma obra exige tempo, esforço, paciência e muito trabalho, o qual deve ser orientado por uma finalidade, um objetivo, um fator motivador. No caso deste trabalho, o fator motivador foi proporcionar a pesquisadores, estudiosos e estudantes das questões urbanas uma articulação de textos úteis e atuais para apoiá-los e orientá-los em seus estudos.

Dedicamos esta obra às nossas instituições, que nos proporcionam o ensino e a pesquisa contínua, bem como a todos os nossos estudantes, tanto de graduação quanto de pós-graduação. As atividades de docência representam para todos nós um rico manancial de reflexões, que possibilitam aprofundamentos sobre todos os temas abordados nesta obra.

# Índice

<b>Prefácio</b> _____	<b>10</b>
<b>Capítulo 1:</b> Planejamento Urbano e a construção de Indicadores de Sustentabilidade – O que aprendemos ou o que temos que aprender._____	<b>16</b>
<b>Capítulo 2:</b> Cidades sustentáveis, ODS 11 - Educação ambiental: um desafio para o planejador urbano ou uma ferramenta indispensável?_____	<b>50</b>
<b>Capítulo 3:</b> Proposição de indicadores de qualidade ambiental urbana_____	<b>64</b>
<b>Capítulo 4:</b> O desenho da cidade e o conforto térmico ambiental: estratégias para obtenção de formas urbanas com maiores alternativas ecotérmicas._____	<b>82</b>
<b>Capítulo 5:</b> O planejamento com a infraestrutura da paisagem cerratense: a contribuição da arborização_____	<b>102</b>
<b>Capítulo 6:</b> Mobilidade como um Serviço: Indicações de Estratégias Interventivas no Hábito de Usar Automóvel Baseadas na Revisão da Literatura_____	<b>122</b>
<b>Capítulo 7:</b> Eventos pluviais extremos no Distrito Federal: desafios para adaptação às mudanças climáticas em busca de uma cidade sustentável_____	<b>140</b>
<b>Capítulo 8:</b> Drenagem urbana sustentável, geotecnologias e cidades inteligente_____	<b>170</b>
<b>Capítulo 9:</b> Sistemas de Informação Geográfica (SIG) como instrumento de análise da qualidade ambiental urbana: Uma abordagem metodológica_____	<b>198</b>
<b>Capítulo 10:</b> Aplicações e Ferramentas Geotecnológicas para a Gestão Ambiental Urbana_____	<b>222</b>
<b>Capítulo 11:</b> A integração de dados geográficos para o planejamento urbano sustentável – o que usar e como usar?_____	<b>238</b>

# CAPÍTULO 5

## O planejamento com a infraestrutura da paisagem cerratense: a contribuição da arborização



### Rubens do Amaral

Arquiteto e Urbanista pela Universidade de Brasília (1996), especialista em Análise Ambiental e Desenvolvimento Sustentável pelo Centro Universitário de Brasília (2012), Mestre em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável pela Universidade Federal de Minas Gerais (2014), Doutor em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade de Brasília (2023). Professor no curso de Especialização em Arquitetura da Paisagem, na PUC Minas. Trabalha com planejamento urbano no Governo do Distrito Federal desde 1994, atuou em diversos projetos de parcelamento urbano, bem como em procedimentos para regularização de parcelamentos irregulares.



### Camila Sant'anna Gomes

Doutora em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade de Brasília (2020). Doutorado sanduíche na University of Manchester, financiado pelo CNPq (2019). Mestrado em Théories et Démarches du Projet de Paysage pela École Nationale Supérieure d' Architecture de Versailles École Nationale Supérieure de Paysage Versailles, ENSPV, França (2009). Em Geografia Humana pela Université-Paris Diderot. Arquiteta e Urbanista pela Universidade de São Paulo (2007). Professora da Faculdade de Arquitetura da Universidade Federal da Bahia.



### Rômulo José da Costa Ribeiro

Geólogo (1999), Mestre e Doutor em Arquitetura e Urbanismo (2003 e 2008), pela Universidade de Brasília. É Professor Associado III - DE da Universidade de Brasília. Coordena o Núcleo Brasília do INCT do Observatório das Metrópoles/IPPUR/UFRJ, desde 2009. Coordena o Grupo de Pesquisa Núcleo Brasília, no qual são estudadas questões espaciais em apoio à compreensão e ao planejamento urbano e ambiental da Área Metropolitana de Brasília. Pesquisa principalmente nos temas: geoprocessamento, planejamento urbano, meio ambiente, mobilidade, planejamento espacial e sensoriamento remoto.



### Maria do Carmo Lima Bezerra

Arquiteta e Urbanista pela Universidade Federal do Ceará (1980) com mestrado em Planejamento Urbano e Regional pela Universidade de Brasília (1988) e doutorado em Estruturas Ambientais Urbanas pela Universidade de São Paulo (1996). Estágio Pós doutoral no AAP, Cornell University, USA (2009-2010) e no DUyOT da Universidade Politécnica de Madri (2019-2020). É professora Titular da Universidade de Brasília atuando no Programa de Mestrado e Doutorado em Arquitetura e Urbanismo desde 1996. Possui Bolsa de Produtividade em Pesquisa- PQ/CNPQ (2023-2026) e lidera o Grupo de Pesquisa em Gestão Ambiental Urbana (UnB/CNPq).



### Gustavo Macedo de Mello Baptista

Professor Associado III do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília. Possui graduação em Bacharelado em Geografia pela Universidade de Brasília (1994), graduação em Licenciatura em Estudos Sociais - Habilitação Geografia pela União Pioneira de Integração Social Faculdades Integradas (2009), especialização em Inteligência de Futuro: Prospectiva, Estratégia e Políticas Públicas pela Universidade de Brasília (2015), mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos pela Universidade de Brasília (1997) e doutorado em Geologia pela Universidade de Brasília (2001). Tem experiência na área de Geociências, com ênfase em Sensoriamento Remoto e em Avaliação Ambiental e Urbana. Pesquisador do Núcleo Brasília do INTC Observatório das Metrópoles.

# O planejamento com a infraestrutura da paisagem cerratense: a contribuição da arborização

Rubens do Amaral  
Camila Sant'anna Gomes  
Rômulo José da Costa Ribeiro  
Maria do Carmo Lima Bezerra  
Gustavo Macedo de Melo Baptista

## A contribuição da infraestrutura da paisagem cerratense para o ordenamento integrado do território

A paisagem Cerratense é o produto das relações entre suas características geológicas – suporte – e os aspectos climáticos, biogeográficos – flora e fauna – e antrópicos – que caracterizam sua cobertura (DELPOUX, 1979). Dessa articulação surge um sistema biofísico relacionado às fitofisionomias do Bioma Cerrado, e aos respectivos benefícios socioculturais e ecológicos proporcionados às ocupações humanas. Nela, a rede hídrica, que atua como conectora natural, física e ecologicamente do território, promove o diálogo entre sistemas de várzeas e aquíferos (porosos e fissurados). O cerrado brasileiro, em função dessa articulação, é considerado a "caixa d'água do Brasil" ou o "berço das águas", abrangendo 8 bacias hidrográficas e 3 aquíferos (Guarani, Bambuí e Urucuia) (OLIVEIRA et al., 2016; ESTRABIS, et al., 2019). No contexto desse bioma, as paisagens arbóreas (treescapes) cerratenses envolvem tanto às formações florestais quanto às savânicas, nas quais a vegetação atua como esponja (ESTRABIS, et al., 2019), recarregando os aquíferos e os lençóis subterrâneos, configurando a rede hídrica (OLIVEIRA et al., 2016). As formações florestais, compostas por matas de galerias (não-inundável e inundável) e mata seca (verde, semidecídua e decídua), e as savânicas, pelo Cerrado, no sentido restrito, pelo Parque de Cerrado, pelo Palmeiral e a Vereda, juntamente com as áreas campestres, pelo Campo Sujo, pelo Campo Limpo e pelo Campo Rupestre, situam-se sobre aquíferos, contíguos ou não às ocupações humanas, como vemos na Figura 1.



Figura 1: Fitofisionomias do Bioma Cerrado. Fonte: <https://www.embrapa.br/cerrados/colecao-entomologica/bioma-cerrado>

A arborização cerratense – “esponja” – tem um papel fundamental na configuração das infraestruturas da paisagem e no provimento de serviços ecossistêmicos. No contexto florestal, relaciona-se com as funcionalidades específicas dessa fitofisionomia, associadas a serviços ecossistêmicos diversos, desde conectividade física e ecológica, necessária para a proteção da biodiversidade, quanto à proteção de inundações propiciadas pela vegetação ripária, desde que, claro, conservada ou restaurada. Por sua vez, no contexto savânico, tais áreas, apesar de apresentarem menor intensidade arbórea, além de abrigarem ampla diversidade biológica, são essenciais para a recarga de aquíferos e para a disponibilização de água doce para os sistemas urbanos. A Figura 2 apresenta as faixas de recarga de aquífero no território do Distrito Federal, cuja camada de vegetação original – cerrado savânico –, incidente sobre solos com alta porosidade, configura um sistema biofísico essencial para os serviços ecossistêmicos vinculados à água, no Distrito Federal (DF).

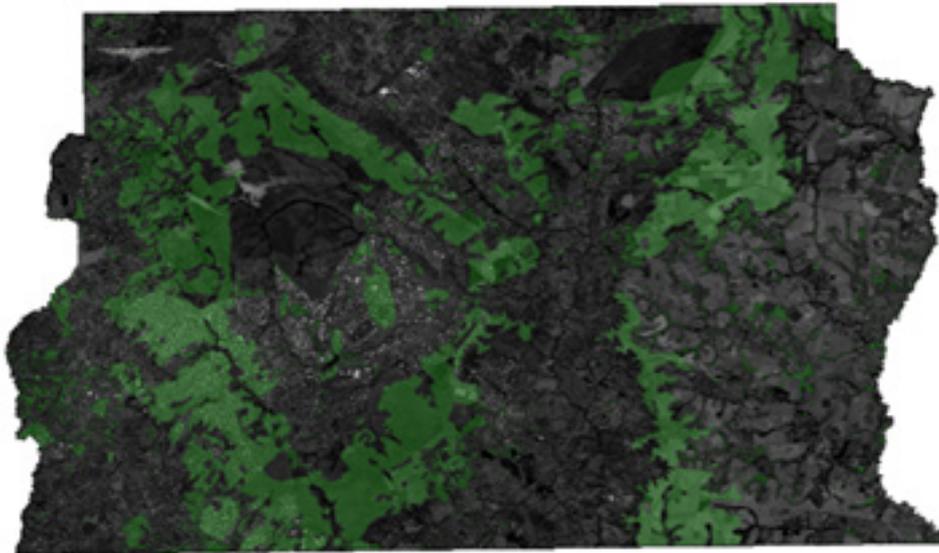


Figura 2: Faixas de recarga de aquífero no território do Distrito Federal.

Repensar o planejamento da paisagem cerratense passa pela compreensão da Paisagem como o elemento mediador entre a natureza e o ambiente construído, estruturando o desenvolvimento urbano em consonância com a valorização e a proteção do patrimônio ambiental urbano (MENEZES, 2006; CASTRIOTA, 2009), e o provimento de diversos serviços ecossistêmicos.

As estratégias multidisciplinares de planejamento e desenho ecológico-socioculturais da Paisagem proveem soluções híbridas (cinzas e verdes<sup>1</sup>) para as ocupações humanas (WALDHEIM, 2016; BELANGER; 2017; SANT'ANNA, 2020). Essas soluções consideram a infraestrutura híbrida da paisagem<sup>2</sup> do território urbano-rural, composta por sistemas biofísicos (relevo, clima, vegetação, fauna

1 A infraestrutura verde contempla os chamados sistemas verde e azul, numa rede que promove os processos naturais, integrando-se às infraestruturas construídas do território (SANT'ANNA, 2020).

2 Essa abordagem se insere no contexto do desenvolvimento de novos enfoques sobre a paisagem, engajada na contribuição dos ecossistemas, expressa no arranjo disciplinar da Infraestrutura da Paisagem (Landscape Infrastructure).

e flora) e tecnológicos construídos (redes de infraestrutura urbana) (WALDHEIM, 2016; BÉLANGER, 2017; PELLEGRINO, 2017).

Cabe, às políticas de governança territorial<sup>3</sup>, um novo olhar transversal sobre os sistemas biofísicos e construídos na paisagem, que não só preserve e restaure os estratos remanescentes de Cerrado nativo, como também promova intervenções na paisagem, compostas por infraestruturas híbridas resilientes<sup>4</sup>. Nessas infraestruturas verdes a arborização é o elemento que articula as redes verdes e azuis, observando as especificidades dos ecossistemas do Centro-Oeste, como também comunica às populações os benefícios e o grau de dependência das ocupações humanas, na sua proteção e promoção. Sendo assim, esse novo olhar permite uma abordagem sistêmica das funções infraestruturais dos ecossistemas, cuja arborização é a protagonista no desenho de políticas de governança (e.g. planos de arborização, planos de mudanças climáticas, planos diretores locais).

A arborização se torna um elemento comum ao longo do território, que influencia as escalas de planejamento, promovendo a interface entre sistemas biofísicos e construídos, conforme vemos na Quadro 1, contribuindo para o desenvolvimento de soluções adaptadas multiescalares, baseadas em ecossistemas que promovem efetivamente a resiliência territorial.

ESCALA	INFRAESTRUTURAS HÍBRIDAS DA PAISAGEM		P L A N O S / INSTRUMENTOS	ENVOLVIMENTO DOS AGENTES
	SISTEMA BIOFÍSICO – VERDE	SISTEMA CONSTRUÍDO – CINZA		
<b>REGIONAL</b>	Áreas de conservação ou provedoras de serviços ecossistêmicos (hotspots) com funções infraestruturais decorrentes das especificidades do Bioma (florestas, pantanais, áreas de recarga de mananciais, rios, aquíferos, matas ciliares, matas ripárias)	Ocupações urbanas ou rurais, equipamentos de suporte às cidades, regiões ou nações (eg. Aeroportos, aterros sanitários, rodovias)	Plano de adaptação a mudanças climáticas; ZEE; planos de desenvolvimento agrícola, instrumentos de fomento; planos de manejo de bacias hidrográficas	Protagonismo das populações e de especialistas na elaboração das políticas regionais (participação em conselhos, workshops, conferências e audiências)
<b>URBANA</b>	Florestas urbanas, compreendendo toda a vegetação arbórea e a ela associada, existente em assentamentos urbanos ou a eles circundantes, ao longo do sistema de espaços livres (eg. Parques, arborização urbana, manchas florestais remanescentes, áreas de reflorestamento)	Padrão de parcelamento do solo (eg. Sistema viário, quarteirões, praças)	Plano Diretor; plano de arborização; plano setorial; ICMS Ecológico; IPTU Ecológico	Protagonismo das populações e de especialistas na elaboração das políticas e instrumentos na escala urbana (participação em conselhos, workshops, conferências e audiências), observadas as estratégias de planejamento regional

3 Entende-se por políticas de governança territorial, os planos e instrumentos propostos com o intuito de ordenar o desenvolvimento sustentável do território.

4 O entendimento de resiliência no contexto deste capítulo ultrapassa o entendimento que se limita ao favorecimento de um bom desempenho ecológico dessas infraestruturas quando sofrem impactos adversos (SANT'ANNA, 2020).

<b>LOCAL</b>	Arborização em bairros, associadas ou não a soluções baseadas na natureza (eg. em praças, ao longo de vias, bulevares, áreas abandonadas ou no interior dos lotes)	Redes de infraestrutura configuradas pelo desenho urbano (eg. Drenagem, abastecimento de água, esgoto e energia elétrica)	ICMS Ecológico; IPTU Ecológico; projetos de urbanização e de paisagismo; agricultura urbana	Protagonismo das populações e de especialistas no planejamento e realização de ações em apoio às ações (hortas comunitárias urbanas, jardins compartilhados, workshops locais), observadas as estratégias de planejamento na escala urbana.
--------------	--	---	---	---

Quadro 1: Planejamento da infraestrutura da paisagem cerratese.

Nessa dinâmica, as abordagens em escala regional se concentram na relação entre os Biomas, ou áreas de grande desempenho ecossistêmico (hotspots de multifuncionalidade), e as ocupações territoriais urbanas ou rurais, onde esses hotspots são áreas de referência, não só para o manejo da floresta urbana cerratese como um todo, e sua relação a com escala urbana, mas também para a adoção de soluções baseadas na natureza<sup>5</sup> (NbS) para as infraestruturas urbanas da rede de espaços livres, a partir das especificidades da arborização do Bioma Cerrado, na escala local.

Dentro desse contexto, para o bom desempenho dos serviços ecossistêmicos em todas as escalas, os sistemas biofísicos de porte regional, principalmente das regiões de hotspots, devem ser conservados e manejados, de modo a identificar os núcleos provedores de serviços ecossistêmicos (hubs), que promovem maior conexão entre as espécies e o meio, potencializando sua relação com corredores (links) e áreas verdes mais isoladas (sites) (BENEDICT, 2006; BONZI, 2017; SANT'ANNA, 2020). Ressalta-se, também, a importância de uma reflexão a respeito desse desempenho ecológico em consonância com as infraestruturas construídas de uma região. Desse modo, configuram-se áreas de maior e menor acesso aos serviços ecossistêmicos no território, em diferentes combinações, que quando integrados, ainda que indiretamente, a sistemas construídos (BELANGER, 2017), possibilitem o acesso das populações aos benefícios ecológicos (ADANI e SPAGNOL, 2006; CONSTANZA, 2008).

Planejar as ocupações humanas a partir das dinâmicas e transformações ecossistêmicas na Paisagem se torna cada vez mais necessário, para uma estruturação de estratégias de ocupações humanas em harmonia com a capacidade de suporte do território (STEAD, 2013; PERRING e ELLIS, 2013; ZAID e PELLING, 2015). Para tanto, é fundamental a incorporação de adaptações baseadas em Ecossistemas (Ecosystem-based adaptation – EbA).

<sup>5</sup> As soluções baseadas na natureza despontam como estratégia da agenda de pesquisa europeia, principalmente aquelas relacionadas ao programa Horizon 2020 e a política de inovação "Soluções Baseadas na Natureza e Renaturalização das cidades", desenvolvidas pela Comissão da União Europeia, com o intuito de promover soluções multiescalares construídas resilientes, baseadas nos processos naturais, a fim de contribuir para o desenho das infraestruturas híbridas da paisagem das cidades.

## **Adaptações baseadas em ecossistemas cerratenses**

O planejamento da infraestrutura híbrida da paisagem cerratense precisa re-aver o modelo de promoção e proteção das áreas de grande desempenho ecossistêmico no território, que acaba por deixá-las em posição marginal frente às propostas de desenvolvimento urbano adaptadas ao cenário de eventos climáticos erráticos.

Uma das principais premissas que definem adaptações baseadas em ecossistemas (EbA) é o uso da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos necessários para a preservação do bem-estar humano, frente aos efeitos das mudanças climáticas (ECOFYS, 2017); configuram medidas que utilizam sistemas biofísicos – ecossistemas – naturais ou manejados, para o alcance de metas de adaptação, aplicadas ao longo do território, nas diferentes paisagens. Por se basear em processos ecológicos e serviços ecossistêmicos, essencialmente imbricados, as relações entre eles podem ser sinérgicas (um serviço potencializa outro) ou antagônicas (a presença de um serviço impacta ou anula outro).

Nessa diversidade de relações, o foco é a utilização da potência dos sistemas biofísicos no provimento de alternativas, flexíveis, sustentáveis, com boas relações de custo-benefício, atendendo a diversos propósitos. Nessas abordagens, o ecossistema é menos um elemento da paisagem a ser isolado e protegido e mais o protagonista em estratégias de adaptação, integradas às políticas de governança (ECOFYS, 2017; ECOFYS, 2016).

A partir da proteção e restauração das estruturas e processos ecossistêmicos pré-existentes, e do desenvolvimento de arranjos ecossistêmicos, podem surgir híbridos ou novos (HOBBS et al. 2011), estabelecendo diferentes configurações multiescalares biofísicas para arborização urbana, na escala do Bioma ao estrato arbóreo local.

Tal estratégia permite o arranjo entre diversas abordagens similares, como a infraestrutura verde e soluções baseadas na natureza (ECOFYS, 2017), consolidando o papel da arborização nas adaptações aos efeitos das mudanças climáticas. As EbA mais comuns ainda são as baseadas na conservação e restauração de áreas naturais, com aumento da biodiversidade. Contudo, é possível considerar intervenções mais intensivas na paisagem, como a agricultura sensível ao clima e florestamento, contribuindo para a redução do impacto das ocupações urbanas, influenciando adaptações ecossistêmicas relevantes. Entre esses manejos mais intensivos, figuram abordagens em infraestrutura verde e azul em assentamentos urbanos, como alternativas à infraestrutura cinza, em arranjos híbridos e complementares (ECOFYS, 2017; FEBA, 2017).

Apesar de muitas das práticas em Adaptações Baseadas em Ecossistemas estarem concentradas em experiências fora do contexto brasileiro (ECOFYS, 2017), e observamos aqui uma demanda por iniciativas relacionadas ao Bioma

Cerrado, são fontes importantes para balizar estratégias cerratenses, muitas das quais estão sintetizadas no portal climate change technology centre & network . Com base na sistematização desenvolvida pela ECOFYS (2017), os desempenhos ecossistêmicos integrados em todas as escalas para o Centro-Oeste poderiam ser organizados conforme as seguintes estratégias de leitura da paisagem (McHARG, 1969): hidrografia (medidas de adaptação para o gerenciamento da água); vegetação (medidas de adaptação do cerrado – considerando todas as fitofisionomias); e uso do solo (medidas de adaptação agrícolas e urbanas), como apresentado no Quadro 2.

CAMADA	OBJETIVO	ELEMENTOS PROPOSTOS
<p>Hidrografia: medidas de adaptação para o gerenciamento da água.</p>	<p>Conceber adaptações baseadas em ecossistemas relacionadas ao manejo da água, configurando um amplo espectro de ações; podem ser categorizadas como medidas de infraestrutura azul (blue infrastructure).</p>	<p>Bacias e lagoas, canais, bacias de detenção, bacias de infiltração, superfícies permeáveis, lagoas de retenção, lagoas de captura de sedimentos e armazenamento temporário de água de enchentes; recuperação de rios (eliminação de diques, estabilização de bancos naturais, reconexão de rios e lagos, restauração, reabilitação ou renaturalização de corpos d'água); restauração e manejo de várzeas; restauração de pântanos e manejo de águas subterrâneas (medidas para recarga natural de aquíferos e para recarga artificial de aquíferos) (ECOFYS, 2017).</p>
<p>Vegetação: medidas de manejo do cerrado. Uma das camadas da paisagem mais imbricadas com a camada hidrografia é a camada vegetação, observada sua atuação no manejo do acesso à água, além de interfaces significativas para estabilização e fertilidade dos solos, também com reflexos naquela camada (ECOFYS, 2017).</p>	<p>Promover adaptações de manejo do cerrado baseadas em ecossistemas, agrupadas principalmente em duas categorias: uma relacionada à restauração ecológica de estratos do cerrado, outra ao manejo da vegetação (ECOFYS, 2017). No contexto cerratense, fitofisionomias savânicas e campestres são importantes para a garantia da recarga de aquíferos (OLIVEIRA et al., 2016; ESTRABIS, et al., 2019). Coberturas florestais conservam umidade nos solos e facilitam a infiltração de água, contribuindo para a redução de riscos de inundação, bem como aumentam a resiliência durante períodos de secas (KIMURA et al., 2017). Na camada vegetação, concentram-se todos os indivíduos arbóreos no território, permitindo a compreensão sistêmica de sua atuação no provimento de serviços ecossistêmicos e no papel da arborização nesse contexto. Configuram, por meio das fitofisionomias características, modelos de manejo a serem considerados na configuração de florestas urbanas, considerando a relação funcional dos arranjos paisagísticos na adaptação baseada em ecossistemas cerratenses. Possibilitam, assim, a relação entre as infraestruturas da paisagem, por meio da interface proporcionada pelos estratos arbóreos.</p>	<p>Na categoria da restauração ecológica, figuram planos, projetos e ações relacionados a reflorestamento, manejo florestal sensível à água, faixas de vegetação e de florestas ripárias (matas ciliares e de galeria), conversão de usos do solo para floresta, manutenção de vegetação nativa em áreas de nascentes, plantio de vegetação para infiltração da precipitação. Como manejos da vegetação, ressaltam os realizados para conexão e continuidade de coberturas nativas e soluções em bioengenharia, articulando vegetação e os cursos de água, e descontaminação de áreas por meio de biorremediação (ECOFYS, 2017; KIMURA et al., 2017).</p>
<p>Uso do solo: compreende as modificações antrópicas na paisagem, aqui consideradas entre os usos urbanos e rurais, com medidas de adaptação agrícola e urbana.</p>	<p>Ressalta-se que, em um contexto de cada vez menor distinção entre usos rurais e urbanos e de avanço das fronteiras agrícolas por vezes até o limite das áreas urbanas, repensar esse gradiente (BELANGER, 2017) no contexto da arborização pode trazer soluções importantes para a promoção do bem-estar humano (MEA, 2005).</p>	

	Medidas de adaptação agrícola: demandam um novo olhar sobre os serviços ecossistêmicos de provisão em áreas rurais, provendo respostas para a redução de riscos de inundação e do impacto das secas.	Agrupar medidas que não apenas fomentam a segurança alimentar, como também ressaltam as interligações entre ecossistemas rurais e urbanos, a serem consideradas no manejo da arborização.	Podem ser agrupadas principalmente em duas categorias: habitats agrícolas e manejo agrícola. Este, relacionado a rotação de culturas, agricultura com baixo preparo do solo ou de plantio direto e redução da densidade pecuária. Aquele, práticas como agroflorestais, diversificação do cultivo, aumento da retenção de água nas plantações, terraceamento, cercas vivas, faixas de vegetação natural nos limites entre as áreas agrícolas e cursos d'água, vias e rodovias e cidades (ECOFYS, 2017).
	Medidas de adaptação urbana: remetem a práticas nas diversas escalas da forma urbana – lote, tecido urbano e plano urbano – relacionadas à melhoria da resiliência urbana e ao acesso das populações a serviços ecossistêmicos	Configurar medidas nas quais a vegetação e, sobretudo, a arborização urbana, podem configurar ecossistemas protagonistas na melhoria do bem-estar humano nas cidades.	Abarcam planos, programas, projetos e ações em uma gama de possibilidades e arranjos envolvendo práticas como jardins de chuva, telhados verdes, jardins filtrantes, biovaletas, bacias de retenção, bacias de infiltração, áreas verdes urbanas, agricultura urbana, parques florestais urbanos, corredores verdes urbanos e florestas urbanas (ECOFYS, 2017).

Quadro 2: Estratégias de leitura da paisagem baseadas em ABE.

Essas leituras devem ser capazes de responder aos desafios urbano-rurais contemporâneos que se apresentam perante o planejamento territorial. Dentre tais demandas, ressaltamos a identificação de áreas contaminadas, preservação e proposição de grandes áreas de biodiversidade, o planejamento e projeto de possíveis regiões de desenvolvimento urbano sustentável futuro, assim como soluções para os aumentos no nível da água do mar e o acesso a áreas de água potável (STEINER, F. et al, 2019). Respostas para esses problemas, espelhadas em estratégias de governança territorial multiescalares que contemplem a integração entre as agendas ambientais e urbanas, podem agregar outras perspectivas para o planejamento do território.

No contexto do cerrado, seriam possíveis soluções assertivas perante tais problemas, a partir do direcionamento de soluções baseadas nos ecossistemas (EbA), que, agregadas ao planejamento da paisagem por camadas, incorporariam soluções integradas de arborização, concebidas a partir do contexto regional da infraestrutura da paisagem. Contudo, a busca por tais soluções demanda estudos e aprofundamentos sobre o protagonismo das fitofisionomias do cerrado no acesso a serviços ecossistêmicos, ainda longe de serem incorporados no planejamento e projeto territorial. Oliveira et. al., 2016, ressalta que, sem o planejamento do uso e das coberturas vegetais nas áreas de cerrado (incluindo as medidas de adaptação agrícola), podemos chegar a uma crise hídrica sem precedentes. A depleção de estratos de vegetação nativa, sobretudo as savânicas e campestres, impactam severamente a recarga e a profundidade dos aquíferos. A garantia da qualidade e disponibilidade de água potável para as futuras gerações demanda que políticas de governança territorial ocorram em um vigoroso processo integrado de

planejamento, implantação e monitoramento (OLIVEIRA et al., 2016).

Por outro lado, tal planejamento exige a compreensão dos processos ecológicos do cerrado, sua estrutura biofísica e biodiversidade, na sustentação dos serviços ecossistêmicos, envolvendo três condicionantes essenciais para o envolvimento da sociedade nessa perspectiva de planejamento. Primeiro, a harmonia das ações humanas com os processos ecológicos afetos ao Cerrado; segundo, a compreensão dessas ações sobre a materialidade desses processos ao longo do tempo (vegetação, corpos d'água, características do solo, fauna e flora); e, por fim, o significado e percepção, de uso estético, cultural e patrimonial, a partir dessa compreensão. Tais elementos são essenciais para que a sociedade protagonize soluções de arborização cerratenses, com a percepção e valorização dos serviços ecossistêmicos e do bem-estar humano, providos por tal paisagem, protegida ou manejada.

A partir dessas considerações, este estudo se debruça sobre a seleção de áreas para medidas de adaptação no contexto urbano, valendo-se do sensoriamento remoto para identificar áreas cujos fluxos de carbono e de água ofertam indícios de que seriam as mais propícias para tais intervenções.

## **Metodologia**

A avaliação da integridade da vegetação em relação aos processos ecológicos de suporte foi realizada no Distrito Federal-DF, uma unidade federativa do Brasil, que abriga sua capital, Brasília, na região Centro-Oeste, totalizando uma área de 5.779.997 km<sup>2</sup> (IBGE, 2019). Com pouco mais de 50 anos de ocupação, essa área do Planalto Central coberta por um tipo de savana denominado cerrado já possui sua Matriz Ecológica<sup>6</sup> estudada pelo Zoneamento Ecológico Econômico do Distrito Federal (ZEE-DF), Lei nº 6.269/2019, em que as áreas de riscos ecológicos decorrente de usos urbanos e agrícolas se encontram definidas como um dos mais graves riscos para áreas de recarga de aquíferos, principalmente por Brasília ser uma região que possui uma situação de estresse hídrico (DISTRITO FEDERAL, 2019). Essas considerações indicam a urgência da análise e proteção dos processos ecológicos, responsáveis pela manutenção da biodiversidade do bioma cerrado.

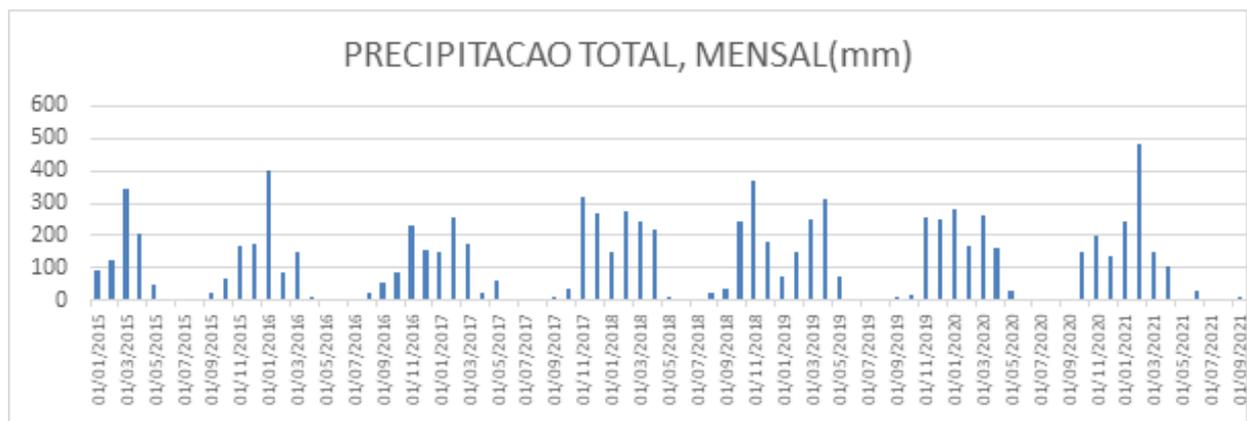
Como método de leitura da paisagem do Distrito Federal, utilizou-se o índice multiespectral CO<sub>2</sub>flux, vinculado à eficácia fotossintética da vegetação e ao fluxo de carbono, e o Topographic Wetness Index - TWI, relacionado à influência da topografia nos processos hidrológicos. A integração do CO<sub>2</sub>flux, bem como do TWI, vem sendo utilizada em diferentes estudos empíricos que visam a conservação, planejamento e projeto da paisagem, com vistas a integridade ecológica no Distrito Federal. Assim, configuram-se índices previamente validados em diversos contextos de paisagem (RAHMAN et al., 2001; XU et al, 2008; ZHU et.

<sup>6</sup> Análise do uso e cobertura do solo, componente do Zoneamento Ecológico Econômico do Distrito Federal, elaborada a partir do conceito de riscos ecológicos e capacidade de suporte ambiental (DISTRITO FEDERAL, 2017).

al, 2014; SILVA e BAPTISTA, 2015; SANTOS, 2017; RADULA et al, 2018; LI et al., 2020; CORREIA FILHO et al., 2021; KOPECKY et al., 2021) como forma de aferição de importantes características da paisagem, a serem identificadas para implantação do verde urbano e reconfiguração da floresta urbana cerratense: eficácia fotossintética da vegetação, fluxo de carbono, capacidade de produção de biomassa (BONAM, 2008; CONSTANZA, 2017; BAPTISTA et al., 2019), umidade, fertilidade, presença de matéria orgânica, textura e espessura do solos (XU et al, 2008; MINGZHU et al., 2016; RADULA et al, 2018).

## Identificação de sumidouros de carbono no Distrito Federal

Para o desenvolvimento deste estudo, foram utilizadas Imagens do Satélite Landsat 8, sensor OLI, referente aos períodos de seca, observadas as cartas pluviométricas para o Distrito Federal, buscando não só a menor ocorrência de nuvens, como também avaliar o desempenho da vegetação nos períodos de maior stress hídrico. Foram avaliadas cenas entre os períodos de 2015 e 2021, com preferência para aquelas dos meses de junho, por apresentarem menor índice de chuvas, de acordo com o Gráfico 1.



Quadro 2: Estratégias de leitura da paisagem baseadas em ABE.

A cena selecionada para estudo foi a cena do satélite Landsat 8, de 16 de julho de 2020, considerando, como critérios de seleção, a ausência de chuvas, o menor percentual de cobertura de nuvens e a contemporaneidade. Na Figura 3, apresenta-se a localização da cena, a qual contém o limite do Distrito Federal, em que foram investigadas as dinâmicas relacionadas à presença e absorção de CO<sub>2</sub> pela paisagem.

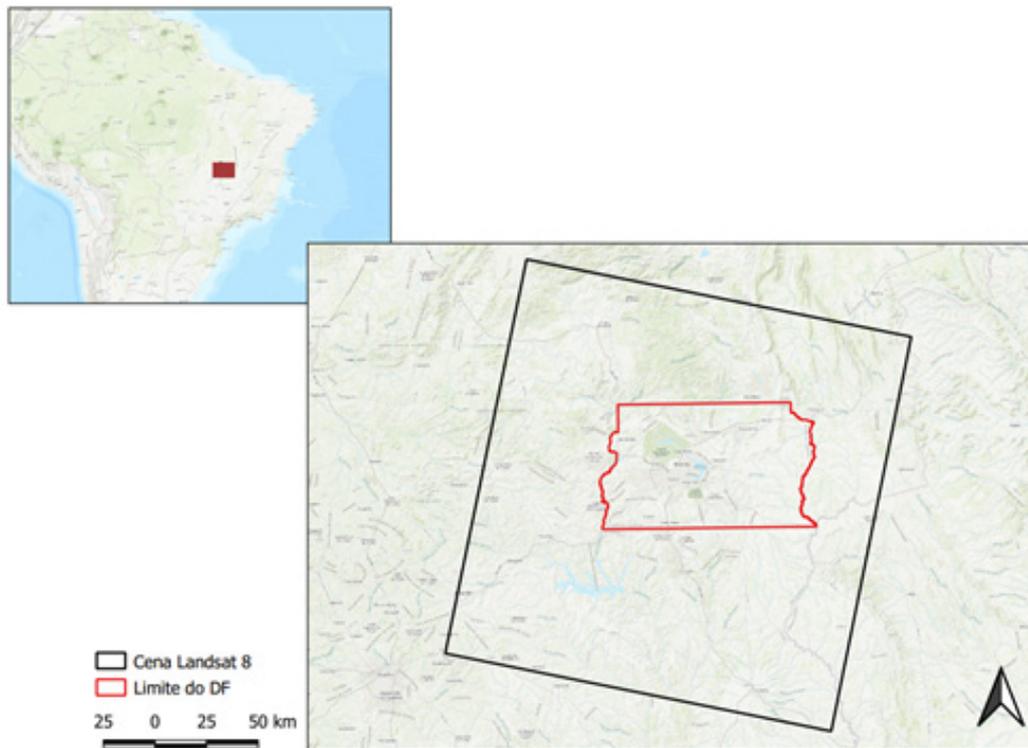


Figura 3: Localização da Cena Landsat 8, com a indicação do limite do Distrito Federal (área de estudo).

A área do Distrito Federal intercepta 7.167.615 pixels<sup>7</sup> (com resolução espacial de 30 m) da cena Landsat 8, cobrindo uma área de 571.675, 68 ha. A cena abrange três Macrozonas do Plano Diretor de Ordenamento Territorial do Distrito Federal – PDOT,2009: Proteção Integral, Urbana, Rural. No caso da Zona de Proteção Integral, envolve as três principais Unidades de Conservação do DF, que também se constituem nos núcleos da Reserva da Biosfera do Cerrado – RBC<sup>8</sup>: Parque Nacional de Brasília (PARNA Brasília), com cerca de 42,4 mil ha; a Área de Preservação Ambiental (APA) Gama/Cabeça de Veado, com aproximadamente 25 mil há; e a Estação Ecológica de Águas Emendadas, com cerca de 10 mil há (DISTRITO FEDERAL, 2009; 2019). As RBC contemplam estratégias regionais e internacionais para a preservação do Bioma Cerrado<sup>9</sup> e no estudo aqui procedido, devido a sua integridade ecológica, foram escolhidas como áreas de referência, para balizar a análise de potenciais sumidouros de carbono.

Assim, a cena estudada, o Distrito Federal como um todo, abrange diversas formas de uso e ocupação do solo, para as quais espera-se identificar e associar diferentes padrões de sequestro de CO<sub>2</sub>, o que dará insumos mensuráveis para

7 No sensoriamento remoto multiespectral, para cada pixel, existe um espectro medido de energia eletromagnética que atinge o sensor. Como cada pixel possui um valor de reflectância ou brilho para cada uma das 9 bandas espectrais (sensor OLI, Landsat 8), é possível obter um espectro contínuo, que pode ser usado para derivar uma infinidade de informações sobre o território, com base na assinatura espectral dos alvos e nas relações entre matéria e energia (Baptista, 2004; 2019).

8 As Reservas da Biosfera integram o Programa “O Homem e a Biosfera” da UNESCO, direcionado à conservação da diversidade biológica e cultural do Planeta (MAB,2020).

9 Segundo maior bioma do Brasil, é composto pelas formações campestres (predomínio de espécies herbáceas, algumas arbustivas, sem ocorrência de árvores), savânicas (arbustos e árvores sem dossel contínuo espalhados sobre gramíneas) e florestais, com predomínio de espécies arbóreas e formação de dossel contínuo. Configura um biosistema subcontinental, com expressões na América Central, África e Austrália (Sano et al., 2007)

intervenções de proteção ambiental em seus diferentes níveis.

A Figura 4 apresenta a área do estudo em relação ao macrozonamento distrital, à poligonal das áreas de proteção integral supracitadas e à Faixa Tampão da Reserva da Biosfera do Cerrado.

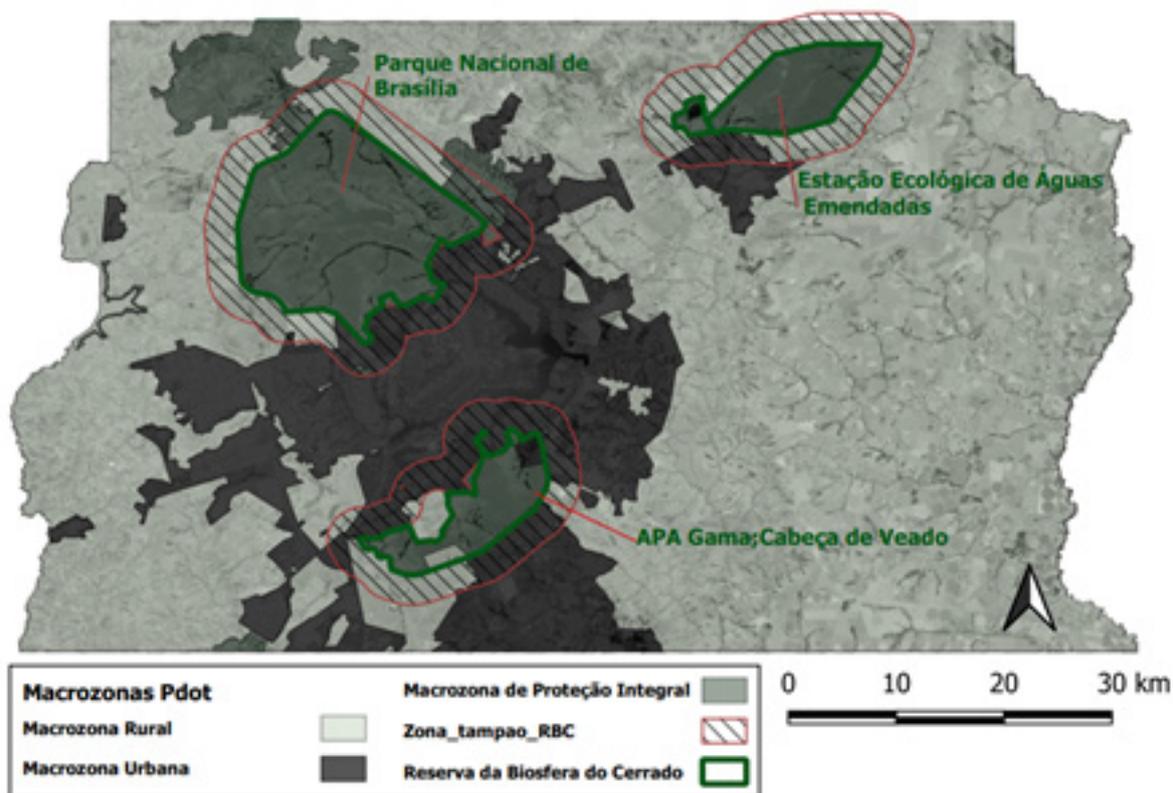


Figura 4: Área de estudo em relação ao Macrozonamento Distrital e à Reserva da Biosfera do Cerrado.

## Determinando o CO<sub>2</sub>flux com índices espectrais

Para estudar o sequestro de carbono pela vegetação ao longo da área de estudo, utilizou-se o índice CO<sub>2</sub>flux. Para sua determinação, foi necessária a integração do NDVI (Índice de Vegetação de Diferenças Normalizadas) e o PRI (Índice de Reflexão Fotoquímica), reescalado para valores positivos. Enquanto o NDVI expressa a quantidade de radiação fotossinteticamente ativa absorvida pela vegetação, o PRI expressa a eficiência desse processo de absorção pela planta (RAHMAN et al., 2001). Ambos são sensíveis às variações de biomassa, clorofila, água na folha e umidade no solo, de forma que, conjugados, podem expressar cerca de 96% do processo fotossintético e suas variações (MINGZHU et al., 2016; MENESES et al., 2019).

O NDVI usa as bandas vermelha e infravermelha no processo de diferença com soma normalizada, que visa a exibir uma relação percentual entre uma

10 De acordo com Hobbs (2007), áreas de referência são aquelas que apresentam desempenho ambiental apto para medição do sucesso de ações de recuperação ecológica. Podem, assim, espelhar o funcionamento de um ecossistema antes de ser modificado ou degradado, visando a instalação de seus processos essenciais, balizando o grau de comprometimento de serviços ecossistêmicos em áreas analisadas, bem como o traçado de metas objetivas de recuperação ecológica.

banda e outra. Essa operação aritmética permite uma distinção clara das áreas de vegetação devido à taxa de absorção na faixa do vermelho e ao pico de refletividade na faixa do infravermelho próximo. O índice NDVI (Equação 1) consiste na diferença de refletância entre a absorção do vermelho (660 nm) e o aumento do albedo que ocorre nos espectros da vegetação após o início do infravermelho (800 nm), em que R é o valor da refletância em cada comprimento de onda, ajustado para dados Hyperion (RAHMAN et al., 2001; SILVA e BAPTISTA, 2015)

$$NDVI = \frac{R_{800} - R_{660}}{R_{800} + R_{660}} \quad (1)$$

O Índice de Reflexão Fotoquímica – PRI (Equação 3) é uma razão da diferença entre a feição de absorção azul (531 nm) e o pico de refletância do verde (570 nm), e pode ser correlacionado com a eficiência da luz na fotossíntese (GAMON et al., 1997).

$$PRI = \frac{R_{531} - R_{570}}{R_{531} + R_{570}} \quad (2)$$

No entanto, o PRI exige que seus valores sejam reescalados, evitando dados negativos, sendo denominado sPRI (Equação 4). O reescalamento para valores positivos é necessário para normalizar os dados “verdes” da vegetação. O sPRI foi obtido por meio do PRI, adicionando uma unidade e dividindo o resultado por duas.

$$sPRI = \frac{(PRI + 1)}{2} \quad (3)$$

Por fim, o índice CO2flux foi determinado pela multiplicação dos planos de informação NDVI e sPRI (Equação 5) usando o software SNAP, versão 8.0.0, e seu módulo Band Math.

$$CO2flux = NDVI \times sPRI \quad (4)$$

É importante ressaltar que o CO2flux foi previamente validado por torres micrometeorológicas do projeto LBA (Large Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazonia), nos contextos de floresta primária, floresta secundária, pastagem e cerrado de transição (SILVA e BAPTISTA, 2015), assim como no contexto de caatinga, no semiárido pernambucano (SANTOS, 2017).

### **Determinando o Topographic Wetness Index**

A modelagem do Topographic Wetness Index (TWI) foi realizada a partir do modelo de elevação digital do Distrito Federal. Esse índice permite quantificar a

tendência de distribuição de água e umidade do solo conforme a influência da topografia. O TWI (Equação 5) consiste no logaritmo natural da razão entre  $a$ , equivalente à área de captação da bacia hidrográfica à montante, calculada, conforme a direção de drenagem nos pixels da cena, usando (neste estudo) um algoritmo de direção de fluxo múltiplo; e  $\beta$ , correspondente às declividades encontradas na área de estudo (RADULA et al, 2018), conforme segue:

$$TWI = \ln \frac{a}{\tan \beta} \quad (5)$$

Ambos os índices são representados ao longo do estudo juntamente com o Modelo Digital de Elevação do Distrito Federal, visando à observação das variações a serem encontradas conforme as especificidades do relevo do território.

## Resultados

A aplicação do índice espectral CO2flux permitiu levantar as variações de intensidade fotossintética da vegetação na paisagem e, conseqüentemente, dos fluxos de carbono a eles afetos. Nesse processo, foram encontradas cinco classes de paisagem, que expressaram desde as maiores concentrações de vegetação arbórea (formações florestais e savânicas) até áreas com concentrações insipientes ou com ausência de vegetação. Os valores de CO2flux variaram entre -0,35 e 0,61, com média e mediana próximos (0,18 e 0,19) e desvio padrão de 0,09.

A partir da índices encontrados, adotou-se para feito de representação da realidade do Distrito Federal as seguintes classes de paisagem, conforme a presença, ausência e concentração de vegetação: (i) Ausência de fluxo de carbono; (ii) Muito baixo fluxo de carbono; (iii) Baixo fluxo de carbono; (iv) Médio fluxo de carbono; (v) Alto fluxo de carbono, descritos na Tabela 1 abaixo.

CLASSE DE PAISAGEM	CO2FLUX	ÁREA (HÁ)	%	CARACTERIZAÇÃO
Ausência de fluxo de carbono	-0,2206	54.823	9,58	Áreas urbanizadas ou com solo exposto, sem vegetação, ou com concentrações de vegetação imperceptíveis para o sensor.
Muito baixo fluxo de carbono	0,1374	129.560	22,66	Áreas urbanizadas ou com solo exposto e esparsas ocorrências de vegetação herbácea.
Baixo fluxo de carbono	0,1885	126.801	22,18	Áreas urbanizadas e/ou com predomínio de vegetação herbácea.
Médio fluxo de carbono	0,2395	130.023	22,74	Áreas com predomínio de vegetação arbustiva e presença de vegetação arbórea.
Alto fluxo de carbono	0,4507	130.467	22,82	Áreas com predomínio de vegetação arbórea.

Tabela 1: Classes de paisagem conforme as intensidades de CO2flux e ocorrência no Distrito Federal.

De acordo com a tabela acima, entre as classes de paisagem adotadas, as áreas com ausência de fluxo de carbono apresentaram a menor ocupação territorial

(9,58%), ao passo que as demais se distribuíram de forma equitativa, com valores em torno de 22 e 23%. Contudo, se considerarmos a ocorrência significativa de vegetação arbórea, associada à integridade dos Processos ecológicos de Suporte, as áreas de médio e alto fluxo de carbono representaram 45,56% do território, ao passo que as áreas com baixo a ausente fluxo de carbono ainda constituíram expressiva maioria. A Figura 5 apresenta a aplicação do CO2flux no território do Distrito Federal, com as variações médias de fluxo de carbono estratificadas conforme as classes acima definidas.

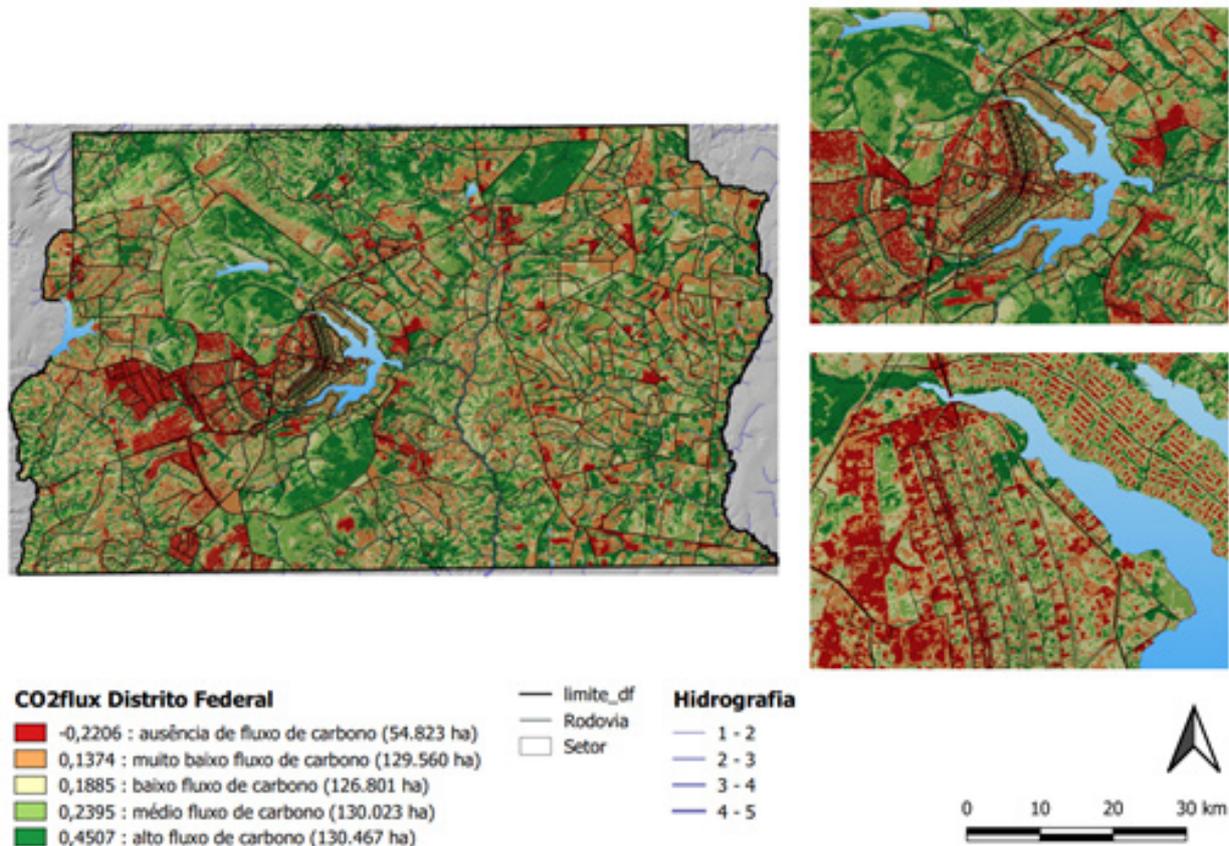


Figura 5: Aplicação do CO2flux, com a média das variações de fluxo de carbono, estratificado conforme as classes de paisagem definidas no estudo.

Em sequência, aplicou-se, sobre a cena de estudo, o Topographic Wetness Index – TWI, visando às possibilidades de recuperação ecológica associadas aos processos hidrológicos evidenciados por esse índice. Foi possível identificar desde áreas topograficamente mais secas a áreas topograficamente úmidas e muito úmidas, cuja variação pode ser observada na Figura 6.

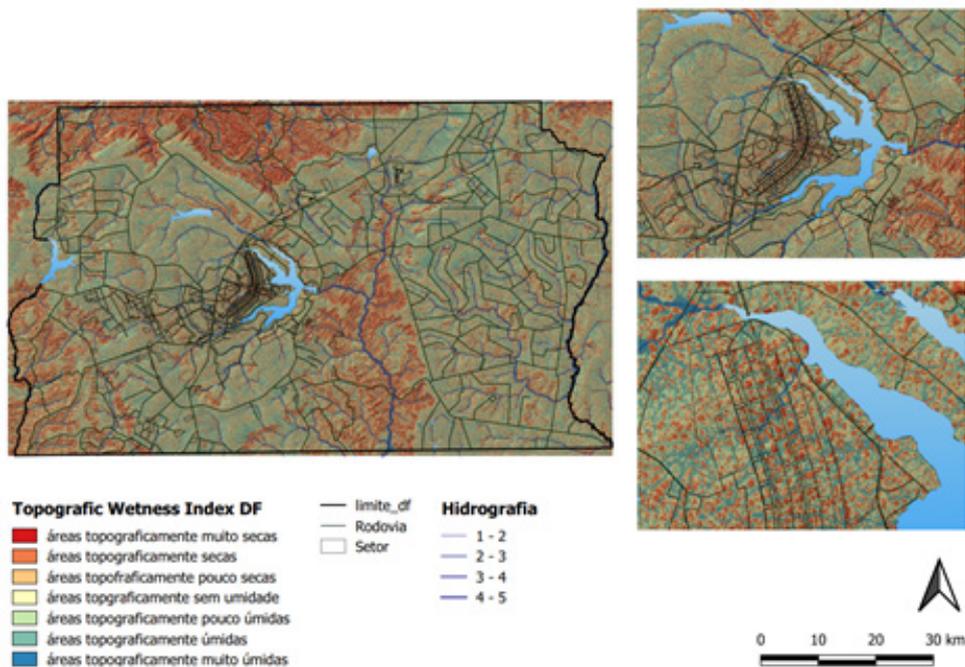


Figura 6: Aplicação do TWI, estratificado desde áreas topograficamente muito secas a áreas topograficamente muito úmidas.

Considerando que as áreas topograficamente úmidas e muito úmidas são essenciais para a integridade dos processos ecológicos de suporte, devido à influência do stress hídrico sobre os índices de CO<sub>2</sub>flux, buscou-se extraí-las do índice supracitado, conforme ilustrado na figura 5.

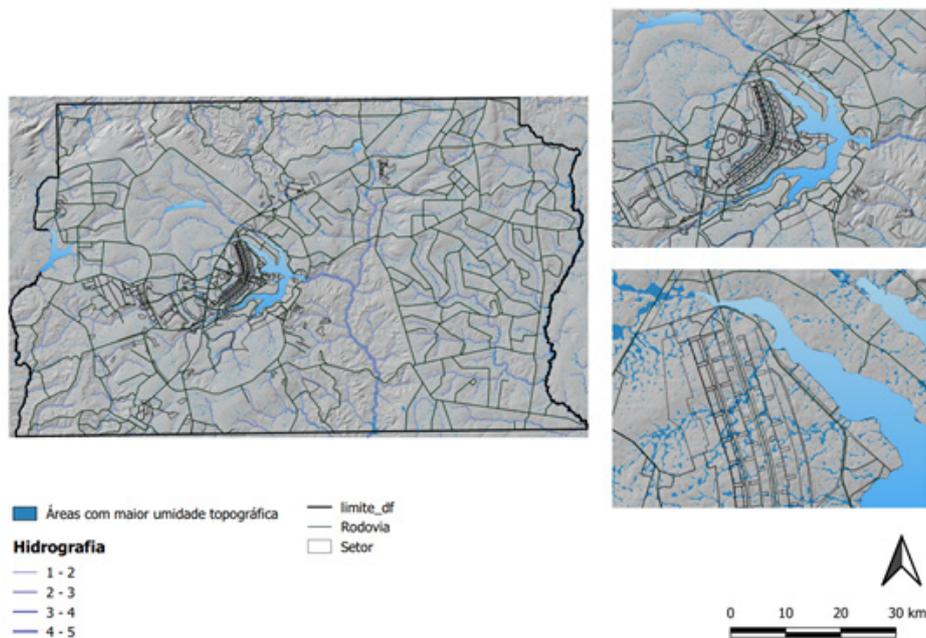


Figura 7: Áreas com TWI alto e muito alto.

Contudo, uma vez identificadas as áreas mais propícias para intervenções em arborização urbana, cabe aprofundar sobre o seu devido manejo, para que a vegetação a ser implantada, expandida ou aperfeiçoada à luz dos fluxos biológicos de carbono e de água, possa prover os serviços ecossistêmicos exigidos para o

meio urbano. Para tanto, levantou-se manejos para adaptação de áreas urbanas a partir das condições necessárias para a instalação desses fluxos, criticando práticas consolidadas no modelo tradicional de constituição de praças ajardinadas no Brasil.

## **A floresta urbana cerratense: demandas por adaptações nas escalas urbanas**

### Praças ajardinadas e o microclima urbano

Apesar do paisagismo brasileiro, insuflado pelos princípios do pensamento moderno, no início da Era Vargas, ter começado a se desprender da influência dos modelos europeus em busca de uma expressão solidificada em raízes brasileiras (MACIEL, 1998; SEGAWA, 2010; SÁ CARNEIRO, 2010), uma parte significativa dos sistemas de espaços livres urbanos ainda se configuraram em torno do modelo de praças ajardinadas (MACIEL, 1998; ROBBA; MACEDO, 2002; SEGAWA, 2010), muitas vezes em concepções paisagísticas de cunho especialmente estético, nas quais a vegetação não somente figura como pano de fundo para os elementos da forma urbana<sup>11</sup> (HOPKINS, 2013; PEREIRA COSTA e NETTO, 2015), como também está longe de contribuir como marco de uma identidade cerratense na escala urbana. Nessa abordagem, com raízes no urbanismo progressista (CHOAY, 1965; SANT'ANNA, 2020), a natureza perde potência em relação aos serviços ecossistêmicos prestados, sem funções ecológicas intencionais.

A observância dos processos ecológicos relacionados aos ciclos de carbono e paralelo de nutrientes é essencial para que a arborização urbana se torne ferramenta de resiliência das cidades e de regulação do meio ambiente urbano (BONAM, 2008; MEA, 2005), inclusive nos aspectos microclimáticos (ZÜRCHER e ANDREUCCI, 2017; AMARAL et al., 2017). Contudo, a prática, amplamente difundida, de implantação da arborização em trechos gramados, conjugados com atividades de rastelo, não apenas impede a formação de camada de serrapilheira abaixo das árvores, como dificulta, ou até mesmo inibe, a prestação de serviços ambientais decorrentes da instalação desses ciclos.

Essas características não apenas impossibilitam mudanças estruturais do solo, como prejudicam sua biodiversidade e capacidade de retenção de umidade, comprometendo, localmente, serviços ecossistêmicos urbanos, em especial os relacionados à drenagem do solo, evapotranspiração e regulação do clima local. A drenagem é prejudicada, pois a porosidade criada pela grama é superficial, propiciando a compactação do solo abaixo de suas raízes. Por sua vez, o solo compactado configura ambiente inóspito para a formação de biomassa viva, principalmente a originária de fungos e bactérias, bem como para a degradação da lignina e

<sup>11</sup> De acordo com M. R. G. CONZEN (1966), a forma urbana tem diferentes graus de resolução: o edifício e seu lote; a rua e o quarteirão – conformadores do tecido urbano –; e a cidade e a região.

formação de húmus – normalmente associados à formação de serrapilheira sobre o solo (GOWER, 2003; LAL et al., 2004; ADANI e SPAGNOL, 2006; BONAM, 2008). Sem esses processos, há impedimento na agregação dos solos e decorrente formação de macroporos, responsáveis pela drenagem natural. A Figura 8 apresenta uma série representativa do modelo de arborização em praças gramadas, onde os gramados e áreas impermeáveis propiciam a compactação do solo abaixo das árvores.

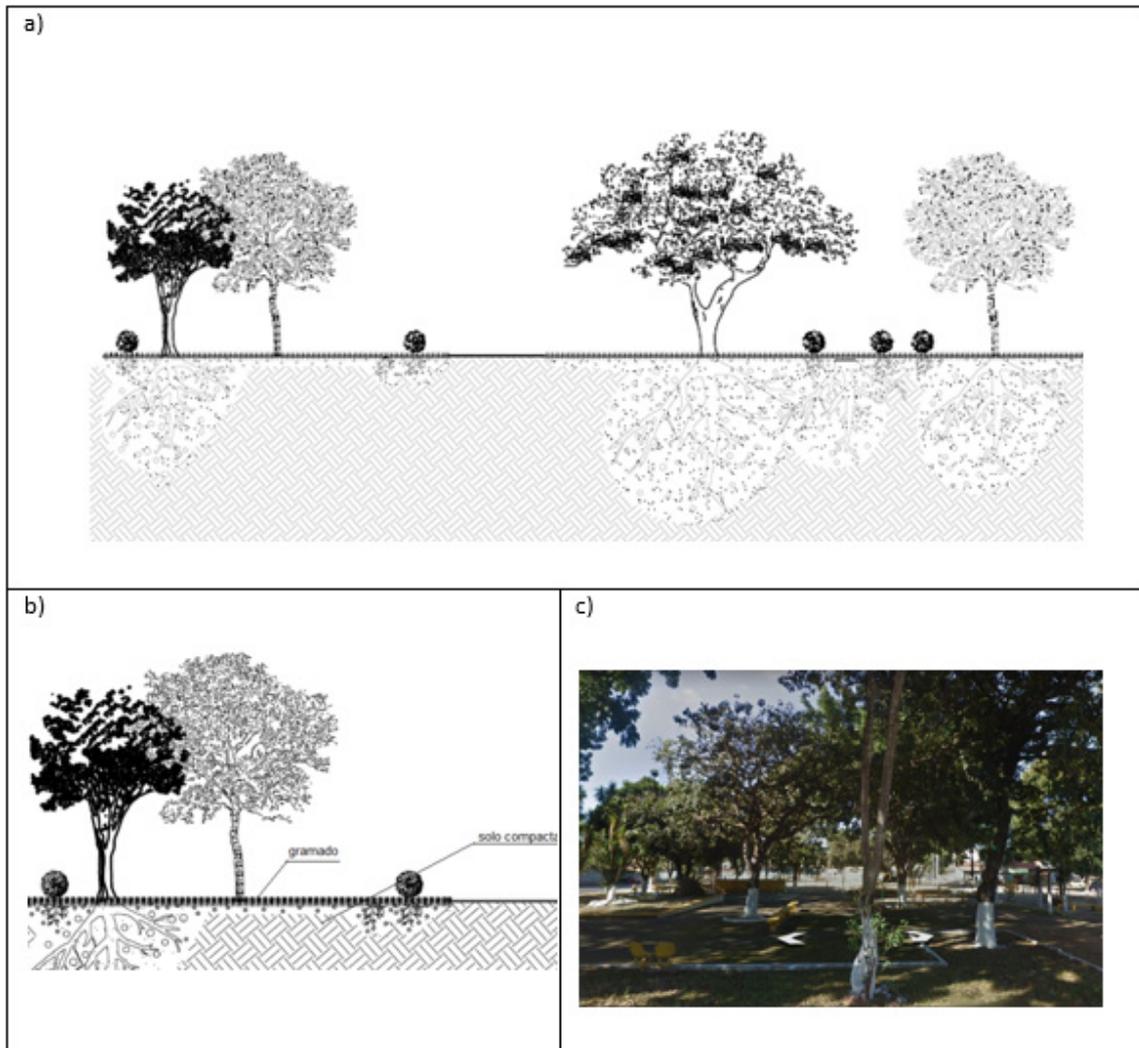


Figura 8: a) série representativa do modelo de arborização em praças gramadas; b) detalhamento do processo de compactação do solo; c) foto ilustrativa em uma praça na cidade do Guará, Distrito Federal.

O impacto sobre a capacidade de evapotranspiração das árvores pode ser relacionado também à compactação do solo abaixo das gramas. A ausência dos mesmos fatores responsáveis pela produção de macroporos impede a formação de microporos. Tais elementos, imbricados com a presença de serrapilheira, são responsáveis não apenas pela manutenção da umidade dos solos, mas pela reserva de água para vegetação durante períodos de estiagem. Em decorrência, a temperatura do solo aumenta, o que impacta a evapotranspiração em duas dimensões. Por um lado, há diminuição da biodiversidade responsável pela fertilidade do solo e disponibilização de nutrientes para o desenvolvimento da arborização,

prejudicando a capacidade fotossintética (LAL et al., 2004; BONAM, 2008). Por outro lado, o solo perde a capacidade de retenção de umidade, que seria utilizada pela vegetação na fotossíntese. Esses dois fatores, associados e sistêmicos, podem limitar gravemente a capacidade de evapotranspiração e reduzir o serviço de regulação microclimática da arborização ao mero sombreamento (HIEMSTRA, et al., 2017).

Em conclusão, em função desses impactos, depreende-se a necessidade de cautela no uso da arborização em tipologias próximas às das praças ajardinadas, com extensas áreas gramadas. Recomenda-se, assim, em áreas com essas características, a supressão gradual de camadas de grama, permitindo a formação de serrapilheira junto às árvores existentes, com o aproveitamento das folhas e detritos lenhosos, possibilitando o aumento da capacidade de regulação climática do conjunto arbóreo. Contudo, a manutenção de um contingente de áreas gramadas também deve ser considerada, pois poderiam compor, preferencialmente, os locais de estar da população, propiciando atividades de lazer, cultura, educação e repouso, também considerados importantes serviços ecossistêmicos urbanos.

## Referências

- ADANI, F.; SPAGNOL, M.; Biochemical origin and refractory properties of humic acid extracted from maize plants: the contribution of lignin. *Biogeochemistry*, 82, pp. 55-85, 2006.
- ANDREUCCI, M. *Progettare l'involucro urbano. Casi studio di progettazione tecnologica ambientale*. Milano: Wolters Kluwer, 2019.
- BEILIN, R. Z.; WILKINSON C. Introduction: governing for urban resilience. *Urbanstudies*, v. 52, p. 1205-1217, 2015. Disponível em: . Acesso em: 10 jan. 2016.
- BÉLANGER, P. *Landscape as infrastructure*. New York: Routledge, 2017.
- BENEDICT, M. *Green infrastructure: linking landscapes and communities*. Washington D.C.: Island Press, 2006.
- BONZI, R.S. "Paisagem como infraestrutura", in P. Pellegrino, N. B. Moura (Orgs.), *Estratégias para uma infraestrutura verde*, Barueri: Manole, pp. 1-24, 2017.
- ECOFYS. *Assessing adaptation knowledge in Europe: ecosystem-based adaptation*. assessing adaptation knowledge in Europe: ecosystem-based adaptation. Publicação internacional: European Commission, 2017.
- FRIENDS OF ECOSYSTEM-BASED ADAPTATION-FEBA. *Making Ecosystem-based Adaptation Effective: A Framework for Defining Qualification Criteria and Quality Standards* (FEBA technical paper developed for UNFCCC-SBSTA 46). GIZ, Bonn, Germany, IIED, London, UK, and IUCN, Gland, Switzerland. 14 pp., 2017.
- HOBBS, R.J. Setting effective and realistic restoration goals: key directions for research. *Restoration Ecology*, Hoboken, v. 15, p. 354-357, 2007. Disponível em:

<<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1526-100X.2007.00225.x/abstract>>. Acesso em: 4 nov. 2013.

HOBBS, R. J., HALLETT, L. M., EHRLICH, P. R., e MOONEY, H. A. Intervention ecology: applying ecological science in the twenty-first century. *BioScience*, 61(6), 442-450, 2011.

KIMURA, A., BAPTISTA, M. e SCOTTI, M. Soil humic acid and aggregation as restoration indicators of a seasonally flooded riparian forest under buffer zone system. *Ecological Engineering*. 98. 146-156, 2017.

OLIVEIRA, P.T.S.; LEITE, M.B.; MATTOS, T.; NEARING, M.A.; SCOTT, R.L.; DE OLIVEIRA XAVIER, R.; DA SILVA MATOS, D.M.; WENDLAND, E. Groundwater recharge decrease with increased vegetation density in the Brazilian cerrado. *Ecohydrology*, v. 10, p. 1-8, 2016. Disponível em; < <https://doi.org/10.1002/eco.1759>>. Acesso: 15.12.2020

PELLEGRINO, P. Paisagem como infraestrutura ecológica: a floresta urbana, in P. Pellegrino, N. B. Moura (Eds.), *Estratégias para uma infraestrutura verde*, Barueri: Manole, pp. 63-78, 2017

PERRING, M. P.; ELLIS, E. C. The extent of novel ecosystems: long in time and broad in space. *Novel ecosystems: Intervening in the new ecological world order*. Chichester, UK: Wiley-Blackwell, p. 66-80, 2013.

MCHARG, I. L. *Design with nature*. New York: American Museum of Natural History, 1969.

MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT BOARD – MA, *Ecosystems and Human Well-being: A Framework for Assessment*, London: Island Press, 2005.

ROUSE, D.; BUNSTER-OSSA, I. *Green Infrastructure: A Landscape Approach*. Chicago: APA Planners Press, 2013.

SANT'ANNA, C.G. (2020), *A Infraestrutura Verde e sua Contribuição Para o Desenho da Paisagem da Cidade*. Tese de Doutorado em Arquitetura e Urbanismo, Brasília – UNB.

STEINER, F.; WELLER, R.; M'CLOSEY, K.; FLEMING, B. *Design with nature now*. Connecticut: Lincoln Institute of Land Policy, 2019.

STEAD, D. Dimensions of territorial governance. *Planning Theory & Practice*, v. 14, p. 142-147, 2013. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/livros/livros>. Acesso em: 22 jan. 2017.

WALDHEIM, C., *Landscape as urbanism: a general theory*. New Jersey: Princeton University Press, 2016.

ZAID, R. Z.; PELLING, M. Institutionally configured risk: assessing urban resilience and disaster risk reduction to heat wave risk in London. *Urbanstudies*, v. 52, p. 1218-1233, 2015. Disponível em: < <https://goo.gl/zwT9Fl>>. Acesso em: 10 jan. 2016.

A sustentabilidade urbana e as cidades inteligentes são essenciais no mundo atual. Com a rápida urbanização, é vital repensar o planejamento urbano, equilibrando crescimento econômico, preservação ambiental e bem-estar social. A sustentabilidade propõe harmonizar recursos naturais, qualidade de vida e resiliência dos ecossistemas. Cidades inteligentes utilizam tecnologias como IoT, big data e inteligência artificial para otimizar serviços urbanos, melhorar infraestruturas e promover participação cidadã. Estas cidades impulsionam a sustentabilidade ambiental, inclusão social e governança participativa. Planejadores e decisores devem adotar princípios de sustentabilidade e inovação. Estratégias que priorizam esses elementos são cruciais para cidades resilientes, preparadas para os desafios do século XXI. O livro "Planejamento Ambiental Urbano: Alicerces de uma Cidade Inteligente e Sustentável" reúne especialistas que exploram esses temas em onze capítulos, refletindo suas vivências e pesquisas em centros urbanos. Esta obra inspira e orienta a construção de cidades mais inteligentes e sustentáveis.

