

# 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.

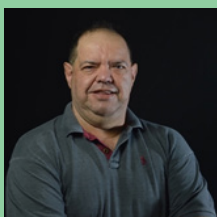
Dedicamos esta obra às nossas instituições, que nos proporcionam o ensino e a pesquisa contínua, bem como a todos os nossos estudantes, tanto de graduação quanto de pós-graduação. As atividades de docência representam para todos nós um rico manancial de reflexões, que possibilitam aprofundamentos sobre 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 10

# Aplicações e Ferramentas Geotecnológicas para a Gestão Ambiental Urbana



## **Nilson Clementino Ferreira**

Possui graduação em Engenharia Cartográfica pela UNESP (1990), mestrado em Engenharia de Transportes pela USP (1997) e doutorado em Ciências Ambientais pela UFG (2006). Atuou no Centro de Sensoriamento Remoto do Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Naturais entre 1995 e 2003. Foi docente da Universidade de Brasília, junto ao Centro Integrado de Ordenamento Territorial entre 1998 e 2001. Atualmente é professor da Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás. É professor permanente do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais- CIAMB/UFG e do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária PPGEAS/UFG. . Tem experiência na área de Geociências, com ênfase em Geoprocessamento, atuando principalmente nos seguintes temas: Geoprocessamento, Cartografia, Sensoriamento Remoto, SIG, Monitoramento Ambiental e Zoneamento Ecológico e Econômico.



# Aplicações e Ferramentas Geotecnológicas para a Gestão Ambiental Urbana

**Nilson Clementino Ferreira**

Em 2008, pela primeira vez na história, a maioria da população humana passou a residir em áreas urbanas. Desde então, a taxa de urbanização tem continuado a aumentar, e estima-se que, no ano de 2050, cerca de 68% da população mundial resida em áreas urbanas (ONU, 2018).

No Brasil, a população urbana superou a população rural em 1970. Desde então, a urbanização no Brasil tem aumentado continuamente, e, atualmente, cerca de 87% dos brasileiros residem em áreas urbanas (IBGE, 2021).

Os fatores que contribuíram para o aumento da urbanização no Brasil, e em vários outros países do mundo, são vários e complexos, tais como desenvolvimento econômico, desenvolvimento tecnológico e industrial, aumento na oferta de empregos e oportunidades de negócios, aumento na oferta de infraestrutura e serviços de transporte, segurança pública, saúde, educação, comunicação, energia, saneamento, entre outros. Todos esses fatores têm induzido a migração da população do campo para as cidades em busca de melhores oportunidades e melhoria da qualidade de vida.

No entanto, no Brasil, a rápida expansão das áreas urbanas, na maioria das vezes sem o devido planejamento, e a grande desigualdade socioeconômica de seus habitantes, resultou em vários problemas ambientais, tais como:

- desmatamentos e/ou degradação de áreas naturais, que causam perda da biodiversidade, aceleração de processos erosivos e assoreamento de corpos hídricos (Simkin et al. 2022);
- uso inadequado do solo, devido a implantação de edificações em áreas impróprias, tais como encostas declivosas e planícies alagáveis, que podem resultar no aumento de riscos de desastres naturais, por deslizamentos de terras e ocorrências de enchentes e/ou alagamentos (Ercoli, Matias, and Zago 2020; Zhang, Ma, and Wang 2008);
- perda da quantidade e qualidade dos recursos hídricos, por processos de assoreamento, pela contaminação e/ou poluição de rios, lagos, oceanos e águas subterrâneas devido à disposição inadequada de resíduos e rejeitos sólidos e líquidos, resultando em situações de insegurança hídrica (Kim et al. 2018);
- perda da qualidade atmosférica, causada pela concentração de gases tóxicos, como monóxido de carbono, dióxido de enxofre e partículas finas,

que podem causar problemas respiratórios e cardiovasculares (Fioreze and Santos 2013; Mage et al. 1996);

- gestão inadequada dos resíduos sólidos urbanos, resultando em lixo acumulado em áreas públicas, além de provocar a proliferação de vetores de doenças (Leao, Bishop, and Evans 2004);
- infraestrutura inadequada da rede de microdrenagem urbana, que resulta em alagamentos e na ocorrência de enxurradas de alta energia, que causam prejuízos materiais e pode, até mesmo, levar a perda de vidas humanas (Walsh, Fletcher, and Burns 2012); e
- perda do conforto ambiental devido a diminuição de áreas verdes, arborização precária, canalização e drenagem de corpos hídricos e áreas úmidas, além de adensamento de edificações que interferem nos fluxos de ar (Singh and Kalota 2019).

A gestão ambiental urbana é um conjunto de práticas e políticas voltadas para a preservação e melhoria da qualidade do meio ambiente em áreas urbanas. Ela necessita de ações coordenadas por governos, organizações não-governamentais e comunidades locais, a fim de minimizar os impactos ambientais negativos decorrentes da urbanização.

Áreas urbanizadas são espaços geográficos complexos, com alta densidade de redes de infraestrutura, onde ocorrem os mais variados eventos sociais, econômicos e ambientais. Portanto, a gestão ambiental urbana pode considerar uma variada quantidade de estratégias, relacionadas aos sistemas de mobilidade, conservação e preservação de áreas verdes e da arborização urbana, relacionadas aos sistemas de tratamento e distribuição de águas, à rede de coleta e tratamento de esgoto, ao sistema de drenagem urbana, à rede de distribuição de energia elétrica, ao controle de poluição sonora, luminosa, dos solos, da atmosfera e dos recursos hídricos, ao gerenciamento de resíduos sólidos, além da promoção da educação ambiental e da participação da social na tomada de decisões ambientais, entre outras.

A gestão ambiental urbana pode ser considerada um conjunto de práticas e políticas integradas que visam a promoção da sustentabilidade e da qualidade de vida nas cidades, equilibrando o desenvolvimento econômico e social com a proteção do meio ambiente.

As etapas da gestão ambiental urbana podem variar conforme as características institucionais do município, ou então conforme a abordagem e conceitos teóricos considerados. Porém, geralmente a gestão ambiental inclui as seguintes etapas:

- Diagnóstico ambiental: levantamento de dados e informações acerca das condições ambientais da área urbana. Nessa etapa, são identificadas

as principais fontes de poluição, a situação das áreas verdes, a situação da hidrografia, da infraestrutura de saneamento básico, os diversos passivos ambientais, os recursos naturais existentes e os problemas relacionados à qualidade de vida da população.

- **Planejamento:** com base no diagnóstico ambiental, elabora-se um plano de ações a fim de mitigar os impactos ambientais negativos e promover o desenvolvimento urbano considerando todos os aspectos ambientais. Nessa fase, são definidos objetivos, metas e indicadores de desempenho, além de serem selecionadas as melhores estratégias para alcançá-los.
- **Implementação:** execução das medidas definidas no plano de ações. Nessa etapa, são mobilizados recursos financeiros, humanos e materiais para a implementação das ações previstas, bem como são estabelecidos mecanismos de monitoramento e avaliação da eficácia das medidas implementadas.
- **Regulação ambiental:** atividades diárias de monitoramento dos recursos naturais e da biodiversidade, fiscalização e licenciamento ambiental de empreendimentos.
- **Monitoramento e avaliação:** nessa fase, há o acompanhamento do progresso da implementação do plano de ações e a avaliação dos resultados alcançados. Realiza-se avaliações periódicas a fim de verificar se as metas e objetivos estabelecidos foram atingidos e se as ações implementadas estão tendo os impactos desejados na qualidade ambiental da área urbana.
- **Revisão e aprimoramento:** com base nos resultados do monitoramento e avaliação, o plano de ação pode ser revisado e aprimorado com o intuito de garantir que as medidas adotadas sejam mais eficazes e adequadas às necessidades da área urbana.

Essas etapas da gestão ambiental urbana são iterativas e interdependentes, ou seja, a revisão e aprimoramento do plano de ações pode identificar a necessidade de elaboração de novo diagnóstico ambiental, planejamento e implementação de medidas mais eficazes e sustentáveis. O processo de gestão ambiental pode considerar ainda a adoção de mecanismos econômicos, tais com pagamentos por serviços ambientais, incentivos fiscais para empreendimentos sustentáveis, entre outros.

Por possibilitarem a coleta, armazenamento, processamento e publicação de dados e informações geograficamente referenciadas, as geotecnologias se consolidaram, nas últimas décadas, como instrumentos fundamentais na gestão ambiental de áreas urbanas. Atualmente, há uma grande quantidade de geotecnologias de acesso livre e gratuito, tais com imagens satelitárias e aéreas,

programas computacionais para computadores pessoais, aplicativos para dispositivos móveis, plataformas computacionais de processamento de dados geográficos em nuvens, entre outros. Outras geotecnologias se tornam, com o passar do tempo, mais acessíveis, tais como receptores de sinais de satélites de posicionamento, veículos não tripulados para mapeamento aéreo, entre outros.

## **Geotecnologias para aquisição de dados geográficos em áreas urbanas**

A grande densidade de elementos naturais e antrópicos nas áreas urbanas e a dinâmica temporal de eventos, que podem resultar em alterações na paisagem local das cidades, resultam em grande demanda por dados geográficos atualizados, com alto detalhamento espacial e exatidão posicional. Para as várias instituições de todas as esferas administrativas, é importante que esses dados estejam disponíveis a custos financeiros viáveis, ou ainda sem custos para aquisição.

Atualmente, há uma expressiva quantidade de sensores acoplados a satélites orbitais, que disponibilizam gratuitamente imagens satelitárias com resolução espacial métrica, com frequência de revisita de até 5 dias. Essas imagens são imprescindíveis em todas as etapas da gestão ambiental, pois possibilitam a elaboração de análises rápidas e atualizadas da paisagem urbana. Além disso, as várias bandas espectrais dessas imagens possibilitam analisar as condições da vegetação.

A missão de produção de imagens Sentinel 2, formada pelos satélites Sentinel 2A e Sentinel 2B, possibilita a revisita de 2 a 3 dias em locais de latitude média. O sensor MSI (Multispectral Instrument) está instalado a bordo dos dois satélites e possibilita a produção de imagens com 13 bandas espectrais, com resolução espacial variando entre 10 metros, 20 metros e 60 metros.

As imagens produzidas pela missão Sentinel 2 são disponibilizadas gratuitamente na Internet, em várias plataformas, sendo uma das mais acessíveis o EOBrowser (<https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser>). Essa plataforma disponibiliza várias composições coloridas das imagens, além de índices espectrais de vegetação e de umidade, bem como mapeamento temático de uso e cobertura dos solos (figura 1). Para fazer download das imagens, basta se cadastrar na plataforma.

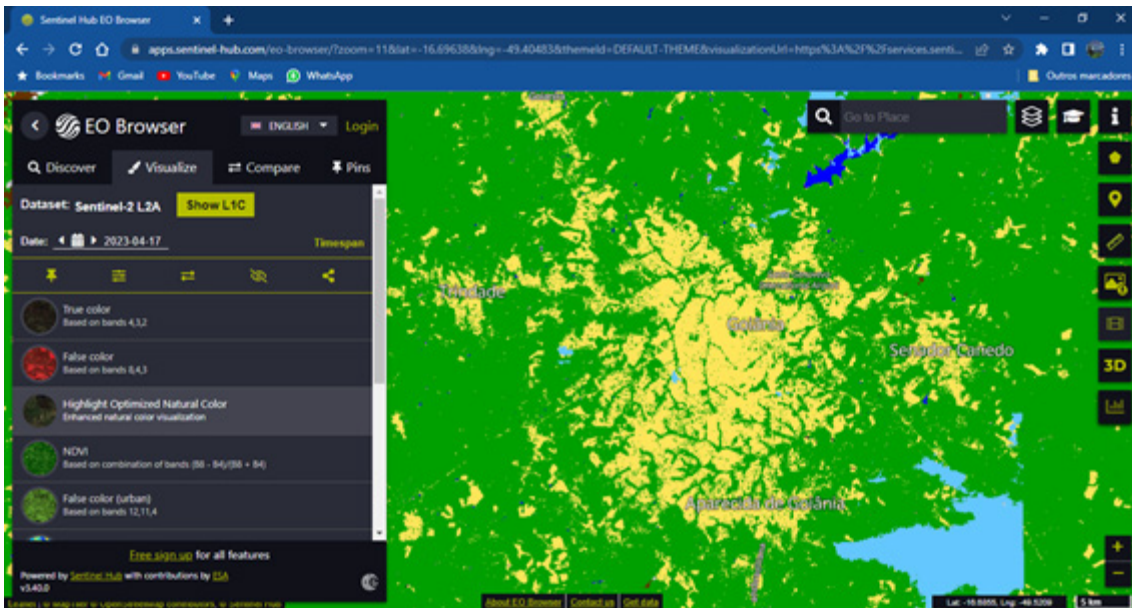


Figura 1 - Plataforma EOBrowser com mapa temático de uso e cobertura do solo no dia 17 de abril de 2023, da Região Metropolitana de Goiânia.

Por meio da composição colorida de bandas do infravermelho de ondas curtas (SWIR), as imagens da missão Sentinel 2 possibilitam a visualização de incêndios florestais, como o ocorrido no Parque Estadual Altamiro de Moura Pacheco, localizado nas proximidades das áreas urbanas de Goiânia e Terezópolis do Goiás, em setembro de 2020 (figura 2).

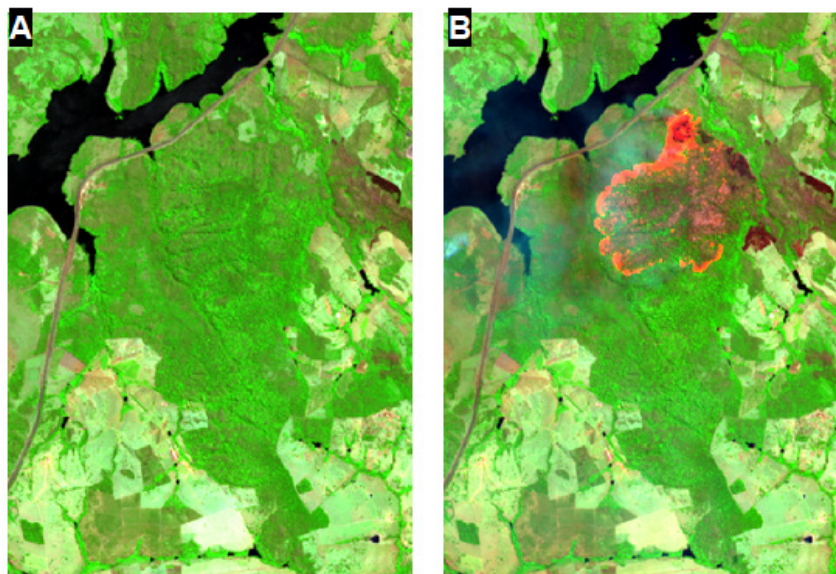


Figura 2- Ocorrência de incêndio florestal no Parque Altamiro de Moura Pacheco: (A) situação em 09 de setembro de 2020, antes do incêndio; (B) situação em 14 de setembro de 2020, com o incêndio ocorrendo.

Por meio de operações aritméticas entre as bandas espectrais 8A e 11, é possível calcular o índice da diferença normalizada de umidade da vegetação (equação 1):

$$NDMI = \frac{B8A - B11}{B8A + B11} \quad (1)$$

Na figura 3, pode-se observar a variação de umidade da vegetação antes e durante a ocorrência do incêndio no Parque Estadual Altamiro de Moura Pacheco, em setembro de 2020.

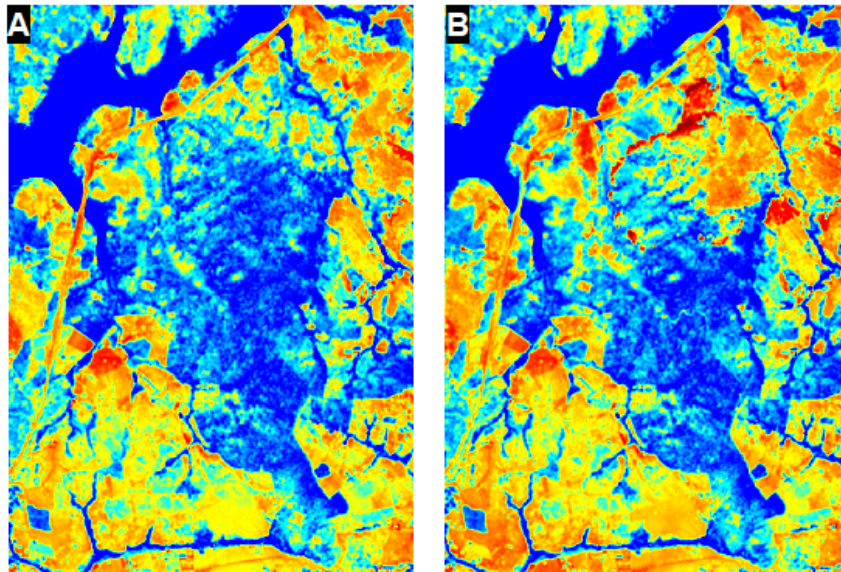


Figura 3 - Imagens de índice de diferença normalizada da umidade da vegetação, sendo que quanto mais intensa for a tonalidade de azul, maior é a umidade da vegetação: (A) situação da umidade da vegetação em 09 de setembro de 2020; (B) situação da umidade da vegetação durante a ocorrência de incêndio em 14 de setembro de 2020.

Da mesma forma, é possível aplicar outros índices espectrais a fim de avaliar a condição da vegetação.

Além de incêndios, as imagens produzidas pela missão Sentinel 2 podem ser utilizadas no monitoramento da expansão de áreas urbanas, a fim de se detectar rapidamente a ocorrência de ocupações irregulares, que podem resultar na formação de áreas de risco nas cidades.

Em situações que necessitam de maior detalhamento espacial, uma possibilidade é utilizar imagens produzidas pelo sensor WPM (Câmera Multiespectral e Pancromática de Ampla Varredura), que está instalado a bordo do satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres (CBERS 4A), lançado em dezembro de 2019, atualmente em órbita e em plena operação.

As imagens CBERS 4A/WPM podem ser obtidas gratuitamente na internet, por meio do catálogo de imagens (<http://www2.dgi.inpe.br/catalogo/explore>), gerenciado pela Divisão de Geração de Imagens (DGI), do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

As imagens produzidas pelo sensor WPM possuem 4 bandas espectrais, uma na região do azul, do espectro eletromagnético, outra na região do verde, outra na região do vermelho, e finalmente uma banda na região do infravermelho próximo. As quatro bandas espectrais possuem resolução espectral de 8 metros.

O sensor WPM possui ainda uma banda pancromática, que envolve toda a região do visível e do infravermelho próximo do espectro eletromagnético, cuja resolução espacial é de 2 metros. Com essas características, o uso mais comum das imagens CBERS 4A/WPM é o de fusão entre a banda pancromática e as bandas multiespectrais, gerando assim uma imagem de quatro bandas espectrais com resolução espacial de 2 metros (figura 4).



Figura 4 - Imagem CBERS 4A/WPM, obtida em 2021, com resolução espacial de 2 metros, da região leste da área urbana de Goiânia.

O CBERS 4A possui um tempo de revisita de 31 dias, que é muito maior que o tempo de revisita da missão Sentinel 2. Assim, é interessante a utilização conjunta das imagens Sentinel 2 e CBERS 4A, fazendo-se o monitoramento com o Sentinel 2, para identificar alterações na paisagem urbana e nos locais de interesse; espera-se a disponibilidade das imagens CBERS 4A/WPM para análises com maiores detalhamentos espaciais.

Empresas privadas que atuam no mercado de tecnologias oferecem, atualmente, imagens de alta resolução espacial de até 30 centímetros. Há ainda a possibilidade de se adquirir serviço de imageamento com revisita diária e resolução espacial de 3 metros, produzidas por constelações de nano-satélites.

Torna-se, também, cada vez mais comum a utilização de veículos aéreos não-tripulados, também denominados drones, na aquisição de mapeamentos detalhados de áreas urbanizadas, para as mais diversas finalidades, entre elas a gestão ambiental.

Atualmente, há no mercado uma significativa diversidade de veículos aéreos não-tripulados para mapeamento, sendo que a configuração de equipamento ideal para essa finalidade depende do tamanho das áreas a serem mapeadas.

das, nível de exatidão e detalhamentos espacial e espectral dos mapeamentos, entre outros fatores.

Há muitas vantagens na utilização de veículos aéreos não tripulados para mapeamento, sendo a primeira o alto detalhamento espacial, que pode chegar a alguns centímetros. Além disso, esses equipamentos e os programas computacionais de processamento dos dados aerofotogramétricos possibilitam o mapeamento altimétrico. Há veículos aéreos não tripulados com sensores a laser, que possibilitam o mapeamento altimétrico em alto detalhamento e exatidão. Outra vantagem dos veículos aéreos não tripulados é a flexibilidade na realização de mapeamentos, que pode ocorrer a qualquer momento, exigindo apenas o planejamento e condução do equipamento até o local a ser mapeado. Como esses equipamentos são construídos para voar a baixas altitudes, mesmo com a presença de nuvens eles podem ocorrer. Porém, alguns cuidados devem ser tomados no caso de mapeamentos em zonas aeroportuárias e faz-se necessária, também, a obtenção de homologações e licenças a partir de instituições responsáveis por telecomunicações, tráfego aéreo e defesa.

O mapeamento com drones pode ser aplicado às mais diversas atividades da gestão ambiental, entre elas o planejamento, monitoramento da cobertura vegetal e uso do solo, mapeamento de ocupações irregulares, mapeamento de parques e outras unidades de conservações municipais, mapeamento de vazios urbanos, monitoramento da disposição de resíduos sólidos de maneira irregular, mapeamento de áreas de risco, mapeamento e acompanhamento de processos erosivos (figura 5), mapeamento da macrodrenagem urbana, fiscalização ambiental, acompanhamento de licenciamento ambiental, entre outras.



Figura 5 - Visualização tridimensional, a partir de mapeamento com drone, de processo erosivo intenso ocorrido no município de Cristalina-GO

Atualmente, uma tecnologia de mapeamento ao alcance de todas as pessoas são os smartphones. Dotados de receptores de sinais de satélites de posicionamento e de aplicativos que permitem o acesso a mapas digitais, essa geotecnologia permite que qualquer pessoa consiga rapidamente obter a sua



localização geográfica em qualquer local do globo terrestre. A grande acessibilidade dos smartphones, aliada a possibilidade de localização geográfica e o acesso a mapas digitais, possibilitou a implantação de uma cadeia de negócios, em escala global, de entrega de bens e serviços.

Com todas essas características, é muito importante que os municípios venham a adotar os smartphones na gestão ambiental urbana, possibilitando maior agilidade aos agentes ambientais na fiscalização, no licenciamento ambiental, no monitoramento e nas demais atividades. Os smartphones permitem, ainda, a inclusão de cidadãos na gestão ambiental urbana, pois é possível que enviem dados a respeito de problemas ambientais nas áreas urbanas, tais como ocorrência de alagamentos, inundações, erosões, disposição irregular de resíduos, desmatamentos, ocorrência de fogo, rompimentos da rede de distribuição de água ou da coleta de esgotos, obstrução na rede de drenagem urbana, deslizamentos e movimentações de massas, maus tratos a animais domesticados e silvestres, entre outras. Aplicativos simples e acessíveis podem permitir que cidadãos enviem mensagem contendo coordenadas geográficas, imagens (vídeos e fotos), textos e mensagens de voz, detalhando as questões ambientais.

A adoção de cidadãos na gestão ambiental, por meio dos smartphones, torna viável a inclusão da sociedade no geoprocessamento, como agente ativo no processo de gestão ambiental, tornando assim os municípios mais democráticos e eficientes.

Há vários aplicativos gratuitos para mapeamento utilizando smartphones, um dos quais é o QField. Esse aplicativo é plenamente compatível com o programa computacional para sistema de informações geográficas denominado QGIS. O QField possibilita a visualização de diversas camadas de dados geográficos em estrutura vetorial e em estrutura matricial; é possível visualizar atributos descritivos de todos os dados, há funcionalidades para selecionar as camadas que serão exibidas, é possível aproximar, afastar e realizar deslocamentos do mapa, conforme a necessidade de visualização. O QField permite obter coordenadas de qualquer ponto do mapa, permite realizar medições de ângulos, distâncias e áreas, possibilita realizar a edição de dados vetoriais (pontuais, lineares e poligonais), e permite a entrada e edição de atributos (figura 6). Em campo, o QField pode operar plenamente sem a Internet.

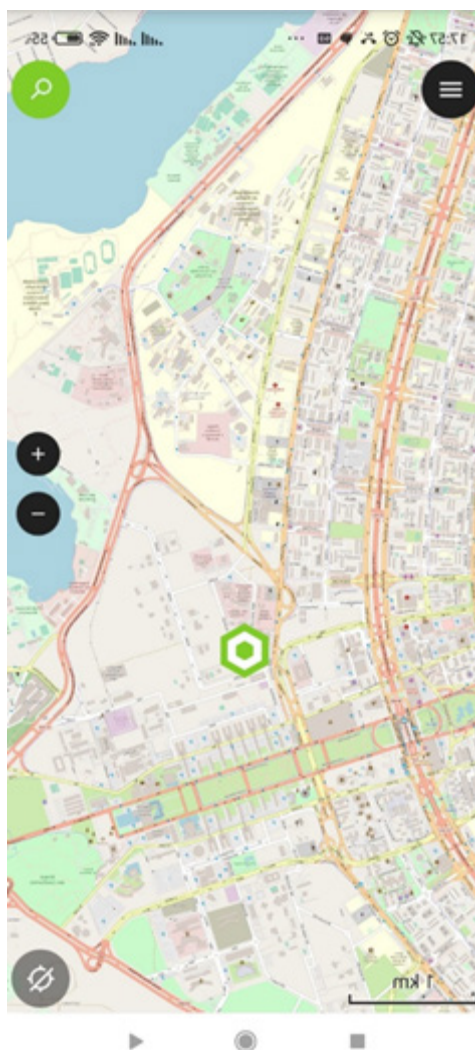


Figura 6 – Aplicativo Qfield para mapeamento, utilizando dispositivos móveis.

## Geotecnologias para armazenamento e compartilhamento de dados geográficos

A gestão ambiental em áreas urbanas necessita não somente de um banco de dados geográficos organizado, sobre as variáveis ambientais, mas também com acesso a todos os dados de responsabilidade das várias outras instituições que atuam no município. Da mesma forma, essas instituições necessitam acessar os dados ambientais geograficamente referenciados.

A expansão de área urbana municipal necessita de dados a respeito de tipos de solos, de tipos de vegetação, clima, relevo, geologia, fauna, hidrografia, entre outros. A instalação de infraestrutura de energia, transporte e saneamento necessita de dados a respeito de e da ocorrência de processos erosivos, ocorrência de incêndios florestais, tipos de solos, arborização, profundidade de águas subterrâneas, etc.

Da mesma forma, a gestão ambiental necessita de dados a respeito da localização dos mais variados tipos de infraestruturas, do uso e ocupação do solo urbano, entre outros.

Dessa forma, todas as instituições que atuam no município devem ter seus próprios bancos de dados geográficos, sendo essas instituições responsáveis pelo levantamento, validação, organização e armazenamento de seus dados geográficos.

Atualmente, há vários programas computacionais livres que atuam como gerenciadores de bancos de dados geográficos, por exemplo: o PostgreSQL, com o complemento PostGIS, o SQLite, MySQL, entre outros.

A utilização de programas computacionais gerenciadores de bancos de dados geográficos trás inúmeras vantagens para as instituições, pois garantem maior segurança dos dados e, além disso, permitem a categorização de usuários por tipo de acesso, possibilitando a organização dos dados por grandes temas ou instâncias, e maior velocidade no acesso aos dados. Alguns desses programas computacionais permitem, ainda, a realização de processamento dos dados, com maior performance, possibilitando um processamento de alto desempenho no caso de dados geográficos complexos, com alto detalhamento espacial.

De posse do banco de dados geográficos organizado, por meio da interoperabilidade, vários programas computacionais de sistema de informações geográficas realizam um pleno acesso aos dados, podendo gerar visualizações, edições, consultas, processamentos e publicações desses dados e informações produzidas.

Os bancos de dados geográficos possibilitam, também, a integração a programas que atuam como servidores de dados e informações geográficas via Internet. Esses servidores de dados geográficos são integrados aos programas gerenciadores de bancos de dados geográficos, e cada camada de dados pode ser configurada no servidor, para ser acessada via Internet; permite-se configurar a simbologia para exibição de cada camada, assim como como os atributos descritivos de cada camada podem ser acessados. Após todas as configurações, as camadas de dados geográficos, armazenadas em estruturas matriciais ou vetoriais, podem ser acessadas por meio de protocolos padronizados, como os protocolos WMS, WFS e WCS. Esses protocolos foram estabelecidos pela OpenGIS Consortium, que é uma organização internacional dedicada ao desenvolvimento de padrões abertos para tecnologias geoespaciais. O objetivo da OpenGIS Consortium é promover a interoperabilidade entre diferentes sistemas e aplicativos que usam dados geoespaciais.

Utiliza-se o protocolo WMS (Web Map Service) para acessar mapas estáticos a partir de um servidor de dados geográficos. O servidor recebe uma solicitação de um cliente (um navegador da web, um programa computacional de sistema de informações geográficas, um aplicativo para aparelho móvel), que especifica a área geográfica de interesse e outros parâmetros. O servidor então processa a solicitação e retorna um mapa em estrutura matricial (geralmente em formato JPEG, PNG ou GIF), que pode ser exibido no cliente.

O protocolo WFS (Web Feature Service) é usado para solicitar dados geoespaciais vetoriais a partir de um servidor de dados geográficos. Em vez de retornar um mapa estático, o servidor retorna dados geoespaciais em estrutura vetorial (como pontos, linhas e polígonos), que podem ser utilizados para criar mapas personalizados ou para análises geoespaciais. Os dados podem ser retornados em vários formatos, como GML, GeoJSON ou Shapefile.

O protocolo WCS (Web Coverage Service) é usado para solicitar informações geoespaciais que representam valores contínuos ou discretos, armazenados em estrutura matricial, como imagens de satélite, mapas de elevação e dados climáticos, mapas de uso e cobertura dos solos. O servidor retorna dados em estrutura matricial, que podem ser utilizados para a construção de novos mapas ou para análises geoespaciais. Os dados podem ser retornados em vários formatos, tais como GeoTIFF, NetCDF ou HDF.

Os servidores de mapas e os protocolos WMS, WFS e WCS permitem que os dados geoespaciais sejam compartilhados entre as várias instituições que atuam em um município, considerando os mais diversos temas. Assim, dados ambientais geograficamente referenciados podem ser integrados a dados de saneamento, de distribuição de energia elétrica, de saúde, educação, segurança, do uso e ocupação do solo, de tributação, entre outros.

Atualmente, há vários programas computacionais que atuam como servidores de dados geográficos, alguns proprietários, desenvolvidos por empresas privadas e que demandam custos para aquisição de licenças para uso, e outros livres, que podem ser utilizados sem a necessidade de pagamento por licenças de uso. Entre esses programas computacionais livres para servidor de dados e informações geográficas, destacam-se o GeoServer e o MapServer.

## **Geotecnologias para visualização, consulta, processamento e publicação de dados e informações geográficas**

Os dados geográficos têm o objetivo de representar os elementos do mundo real. Essa representação ocorre por meio de estruturas vetoriais e/ou matriciais, associados a dados alfanuméricos que descrevem as feições geométricas. Por meio da exibição, consulta e processamento de dados geográficos, são produzidas as informações geográficas, que fornecem contexto e significado aos dados, possibilitando o entendimento, análise, delineamento de estratégias, e tomada de decisões na gestão ambiental.

A produção de informações geográficas ocorre por meio de programas computacionais de sistema de informações geográficas, que oferecem ferramentas computacionais que possibilitam a visualização, consulta e processamento de dados geográficos, bem como a publicação de informações geográficas.

Para a gestão ambiental em áreas urbanas, faz-se importante a análise de dados altimétricos. O estatuto das cidades estabelece que não é possível fazer parcelamento do solo para fins urbanos em áreas alagadiças ou sujeitas a inundações, em locais com declividades superiores a 30%, e em locais onde as condições geológicas não favorecem a urbanização.

Os programas computacionais de informações geográficas permitem produzir informações geográficas a respeito das declividades do relevo, possibilitando, assim, a identificação dos locais com declividades superiores a 30%.

Os locais com possibilidade de ocorrência de alagamentos e/ou inundações podem ser identificados por meio do mapeamento do índice de umidade topográfica. Esse índice toma como base o mapeamento altimétrico e estima o balanço entre acúmulo de água e condições de drenagem em escala local, a partir da equação 1 (PEI, et al., 2010, HANCOCK et al., 2010):

$$IUT = \ln \left( \frac{Acc}{\theta} \right) \quad (1)$$

Onde IUT é o mapa do índice de umidade topográfica (adimensional), Acc é o mapa de acumulação de fluxo hídrico (adimensional) e  $\theta$  é o ângulo de declividade dos relevos.

Além disso, é importante identificar os comprimentos de rampa dos relevos. Quanto maiores os comprimentos de rampas, maiores são as possibilidades de escoamentos hídricos superficiais, que resultam em processos erosivos. Os comprimentos de rampa (LS) podem ser mapeados a partir da aplicação do modelo matemático proposto por Moore e Burch (1986), utilizado por Shiferaw (2011) e Silva (2014), conforme a equação 2:

$$LS = \left( \frac{\text{Fluxo acumulado} \times \text{tam. célula}}{22,13} \right)^{0,4} \times \left( \frac{\text{sen(declividade)}}{0,0896} \right)^{1,3} \quad (2)$$

Os locais com altos valores de comprimentos de rampa são mais susceptíveis a processos erosivos, necessitando de preservação da cobertura de vegetação nativa e até intervenções para conservação de solos e recuperação de áreas ambientalmente degradadas.

A ocupação irregular de locais com alto potencial de acumulação hídrica e/ou altos comprimentos de rampa e declividades elevadas, pode acelerar processos erosivos e aumentar a ocorrência de alagamentos, inundações e movimentações de solos, o que pode resultar em áreas de riscos ambientais.

Os programas computacionais de sistemas de informações geográficas possuem ainda ferramentas para a produção de mapas temáticos, além de consultas

geográficas por meio de expressões lógicas e relações topológicas. Além disso, os programas computacionais dispõem de ferramentas computacionais para a publicação de mapas, que podem ser impressos ou digitais, acessados via Internet.

Os programas computacionais de sistemas de informações geográficas também dispõem de ferramentas e funcionalidades para análises de distância, intersecções e uniões espaciais, estatísticas espaciais e geoestatística, entre outras.

Atualmente, há vários programas computacionais para sistema de informações geográficas disponíveis para acesso livre ou proprietários. Entre os programas computacionais livres o QGIS ([qgis.org](http://qgis.org)) tem sido amplamente utilizado, em todo o mundo, para as mais diversas aplicações, inclusive para a gestão ambiental em áreas urbanas.

## **Considerações Finais**

Atualmente, há uma grande quantidade de geotecnologias de baixo custo e acesso livre, que podem ser utilizadas pelos municípios para a gestão ambiental em áreas urbanas.

Tornou-se bastante viável que todas as instituições públicas e privadas, que atuam direta e indiretamente na gestão ambiental urbana, produzam e compartilhem seus bancos de dados geográficos, que sejam capazes de fazer a aquisição e atualização desses bancos de dados, e que consigam produzir e publicar informações geográficas que tornam a gestão ambiental rápida e assertiva, utilizando geotecnologias mundialmente consagradas, livres, ou de baixo custo.

No entanto, o elemento mais importante para a gestão ambiental de áreas urbanas é o componente humano. Para a utilização plena das geotecnologias, para todas as atividades e não somente para a gestão ambiental urbana, há necessidade de profissionais capacitados, que em contínuo processo de atualização tecnológica, saibam realizar a modelagem, aquisição, organização, compartilhamento, visualização, consulta, processamento e publicação de dados e informações geograficamente referenciadas.

## **REFERÊNCIAS**

ERCOLI, R. F., VANDEIR R. S. M., & VALÉRIA C. P. Z. Urban Expansion and Erosion Processes in an Area of Environmental Protection in Nova Lima, Minas Gerais State, Brazil. *Frontiers in Environmental Science* 8: 52. <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fenvs.2020.00052/full> (March 6, 2023).

FIOREZE, M. & SANTOS, E. P. Avaliação da Qualidade do Ar na Área Urbana de Frederico Westphalen, RS, através da Determinação de Sr, Zr, Br, Cu E Zn em Amostras de Liquens." *Tecno-Lógica* 17(2): 129–35.

HANCOCK, G.R.; MURPHY, D. & EVANS, K.G. Hillslope and catchment scale soil organic carbon concentration: An assessment of the role of geomorphology and

soil erosion in an undisturbed environment. *Canadá. Geoderma*, (155):36-45, 2010.

KIM, H. et al. Assessing Urban Water Management Sustainability of a Megacity: Case Study of Seoul, South Korea. *Water* 10(6): 682. <http://www.mdpi.com/2073-4441/10/6/682> (March 6, 2023).

LEAO, S., BISHOP I., & EVANS D. Spatial-Temporal Model for Demand and Allocation of Waste Landfills in Growing Urban Regions. *Computers, Environment and Urban Systems* 28(4): 353–85.

MAGE, D. et al. Urban Air Pollution in Megacities of the World. In *Atmospheric Environment*, Elsevier Ltd, 681–86.

PEI, T.; QIN, C.; ZHU, A.; YANG, L.; LUO, M.; LI, B. & ZHOU, C. Mapping soil organic matter using the topographic wetness index: A comparative study based on different ow-direction algorithms and kriging methods. *Ecological Indicators*, 10:610-619, 2010.

SELBY, M. J. *Hillslope: materials & processes*. Oxford University Press, New York, USA, edition 02, 480 pp., 1993.

SHIFERAW, A. Estimating soil loss rates for soil conservation planning in the Borena Woreda of South Wollo Highlands, Ethiopia. *Journal of Sustainable Development in Africa*. v.13, n.3, 2011.

SIMKIN, R. D., KAREN C. S., MCDONALD R.I., & JETZ W. Biodiversity Impacts and Conservation Implications of Urban Land Expansion Projected to 2050. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 119(12): e2117297119.

SINGH, R. & DHEERA K. Urban Sprawl and Its Impact on Generation of Urban Heat Island: A Case Study of Ludhiana City. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing* 47(9): 1567–76.

WALSH, C. J., FLETCHER, T. D., & BURNS, M. J. Urban Stormwater Runoff: A New Class of Environmental Flow Problem ed. Jack Anthony Gilbert. *PLoS ONE* 7(9): e45814. <https://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0045814> (March 7, 2023).

ZHANG, H., WEI-CHUN M., & XIANG-RONG W. Rapid Urbanization and Implications for Flood Risk Management in Hinterland of the Pearl River Delta, China: The Foshan Study. *Sensors* 8(4): 2223–39. <http://www.mdpi.com/1424-8220/8/4/2223> (March 6, 2023).

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.

