

MAPEAMENTO INTELIGENTE: SEGMENTAÇÃO DA COBERTURA ARBÓREA EM CAMPO GRANDE (MS) POR MEIO DE REDES NEURAS PROFUNDAS

Eveline Terra Bezerra

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia, Campo Grande, MS, Brasil
eveline.terra@ufms.br

João Lucas Aparecido Rocha Paes

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Faculdade de Computação, Campo Grande, MS, Brasil
Joao.paes@ufms.br

José Marcato Júnior

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia, Campo Grande, MS, Brasil
jose.marcato@ufms.br

Wesley Nunes Gonçalves

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Faculdade de Computação, Campo Grande, MS, Brasil
wesley.goncalves@ufms.br

Lucas Yuri Dutra de Oliveira

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia, Campo Grande, MS, Brasil
lucas.oliveira@ufms.br

Anette Eltner

JProfessor for Geosensor Systems, Technische Universität Dresden, Dresden, Saxonia, Alemanha
anette.eltner@tu-dresden.d

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo mapear e analisar a cobertura arbórea nas bacias hidrográficas urbanas de Campo Grande (MS), utilizando técnicas de sensoriamento remoto e aprendizado profundo. Foram empregadas ortofotos de alta resolução de 2023 e o modelo de segmentação semântica InternImage, treinado com dados anotados da Bacia do Prosa, para classificar áreas permeáveis e não permeáveis. Os resultados obtidos mostram variações significativas na densidade de vegetação entre as onze bacias analisadas, com destaque para a Bacia do Bandeira, com 20% de cobertura, e a do Anhanduí, com apenas 5,59%. O modelo alcançou acurácia de 93,34%, IoU de 78,42% e F-score de 87,9%, demonstrando bom desempenho na tarefa. A análise permitiu identificar áreas prioritárias para intervenção e forneceu subsídios para o planejamento urbano sustentável. A pesquisa reforça a importância das áreas verdes para a gestão das águas pluviais e a resiliência climática, contribuindo para a qualidade ambiental urbana e para a formulação de políticas públicas de arborização.

Palavras-chave: Cobertura arbórea. Segmentação semântica. Planejamento urbano. Bacias hidrográficas. Sensoriamento remoto.

URBAN TREE COVER MAPPING IN CAMPO GRANDE (MS) USING DEEP LEARNING AND REMOTE SENSING TECHNIQUES

ABSTRACT

This study aims to map and analyze tree cover in the urban watersheds of Campo Grande (MS), Brazil, using remote sensing and deep learning techniques. High-resolution orthophotos from 2023 and the InternImage semantic segmentation model, trained with annotated data

from the Prosa Basin, were used to classify permeable and impermeable areas. The results reveal significant variations in vegetation density across the eleven analyzed basins, with the Bandeira Basin showing the highest coverage (20%) and the Anhanduí the lowest (5.59%). The model achieved an accuracy of 93.34%, an IoU of 78.42%, and an F-score of 87.9%, demonstrating strong performance. The analysis identified priority areas for intervention and provided support for sustainable urban planning. The research highlights the importance of green areas for stormwater management and climate resilience, contributing to urban environmental quality and to the development of urban tree cover policies.

Keywords: Tree cover. Semantic segmentation. Urban planning. Watersheds. Remote sensing.

INTRODUÇÃO

Amplamente relacionados a processos de urbanização acelerados e pouco planejados, os problemas ambientais em áreas urbanas podem incluir a impermeabilização desordenada de áreas naturais, como as margens de corpos hídricos, causando prejuízos em diversas escalas. Tais impactos vão desde danos à natureza e aos moradores locais até a contribuição para problemas ambientais em escala global. Neste contexto, as áreas verdes urbanas desempenham um papel essencial na qualidade de vida das populações, podendo contribuir para a regulação térmica, a melhoria da qualidade do ar e a gestão das águas pluviais.

Segundo Nespolo et al. (2020), apesar de a arborização urbana ser um elemento fundamental no planejamento urbano, ainda é necessária a criação de uma legislação que possibilite sua implantação. Apesar de ainda não existir uma Política Nacional de Arborização Urbana, observa-se que alguns municípios incorporam em seus Planos Diretores a Arborização Urbana, enquanto outros elaboram Planos Diretores próprios de Arborização Urbana ou leis ambientais municipais com diretrizes específicas, como existe em Campo Grande - MS, o "Plano Diretor de Arborização Urbana (PDAU) e Legislações".

O Plano Diretor é um instrumento fundamental para o ordenamento e desenvolvimento de áreas urbanas, que desempenha um papel crucial na promoção do desenvolvimento urbano sustentável, na melhoria da qualidade de vida da população e na preservação dos recursos naturais e culturais.

Os planos diretores determinam um percentual de áreas permeáveis para cada região, sendo as diretrizes, muitas vezes, desrespeitadas (Centeno et al., 2003). O Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Ambiental de Campo Grande - PDDUA é o instrumento básico da política de desenvolvimento urbano, nos termos do art. 182 da Constituição Federal, e tem por objetivo ordenar o pleno desenvolvimento das funções sociais da cidade e da propriedade, garantindo o bem-estar de seus habitantes, no âmbito urbano e rural, sob os aspectos urbanístico, ambiental, social, cultural, econômico e administrativo, englobando o território do Município (PLANURB, 2023). Em adição, tem-se a Lei Complementar n. 74, de 6 de setembro de 2005, que dispõe sobre o ordenamento do uso e da ocupação do solo no município de Campo Grande e dá outras providências. (PMCG, 2005).

Bargos e Matias (2011) afirmam que as cidades brasileiras têm sofrido intensas transformações desde a década de 1970, tornando a preocupação com a diversidade dos aspectos do espaço urbano e suas dimensões socioambientais cada vez mais presente para o planejamento e gestão urbana, estando a vegetação intraurbana como um tema de destaque devido às funções que exerce na melhoria das condições do ambiente urbano.

Segundo Domingos, Fonseca e Monteiro (2005), o "espaço intraurbano" designa o que é essencialmente urbano, a saber, o espaço cotidiano estruturado pelas condições de deslocamento do ser humano e onde existem fenômenos cuja medição é de grande importância para a orientação do planejamento urbano.

De acordo com Nucci (2001), um importante atributo no desenvolvimento das cidades é a cobertura vegetal, que representa, além de uma necessidade humana, um meio de reduzir problemas como a poluição do ar e dos rios, que representam uma grande problemática urbana.

Segundo Bargos e Matias (2011), a manutenção das áreas verdes urbanas é justificada pelo seu potencial em propiciar qualidade ambiental à população e interferir diretamente na qualidade de vida dos seres, por meio das funções sociais, ecológicas, estéticas e educativas, amenizando, ainda, as consequências negativas da urbanização.

De acordo com Lima e Amorim (2006) as áreas verdes são de extrema importância para a qualidade ambiental das cidades por assumirem um papel de equilíbrio entre o espaço modificado do assentamento urbano e o meio ambiente, são ainda consideradas um indicador nas avaliações de qualidade ambiental urbana.

Ainda segundo os autores, a falta de arborização pode causar desconforto térmico e alterações no microclima, além de prejudicar a qualidade de vida. Contudo, a Geografia Urbana exige que o próprio conceito de qualidade de vida seja problematizado, uma vez que a simples presença física de áreas verdes não garante, por si só, a melhoria das condições de vida da população. De acordo com Carlos (2007), o espaço urbano é socialmente produzido e sua apropriação é atravessada por contradições, fazendo com que as qualidades ambientais da cidade sejam, muitas vezes, mercantilizadas. Nesse cenário, Santos (2007) alerta para a seletividade espacial dos investimentos, dinâmica na qual a infraestrutura e os serviços urbanos, incluindo a arborização, são distribuídos de forma desigual, reforçando as disparidades socioespaciais. Corroborando essa perspectiva, Rolnik (1994) aponta que o planejamento urbano e as políticas territoriais tendem, historicamente, a reproduzir padrões de exclusão. Dessa forma, a avaliação da arborização urbana deve transcender a métrica estritamente quantitativa, incorporando a análise de sua distribuição justa e de seu acesso equitativo, evitando que a vegetação atue apenas como um elemento de valorização imobiliária restrito a determinadas áreas da cidade.

De acordo com Abreu e Coutinho (2014), o mapeamento do uso da terra e da vegetação natural pode subsidiar ações que venham a estabelecer práticas de desenvolvimento sustentável, além da implementação de políticas de uso sustentável da biodiversidade.

Por meio do mapeamento e de ferramentas como os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), é possível observar e analisar áreas urbanas arborizadas, além de áreas ambientais protegidas que devem conter massas arbóreas mais robustas, como Áreas de Preservação Permanentes (APP), definidas na Lei 12.651/2012 – Novo Código Florestal Brasileiro – como área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade.

Outros benefícios da análise e do mapeamento rápido de áreas urbanas dizem respeito à resiliência climática, algo crucial atualmente, em que enfrentamos um período de ebulição global. Considerando que as mudanças climáticas aumentam a frequência e intensidade das chuvas, a presença de áreas permeáveis torna-se fundamental para lidar com eventos climáticos extremos, contribuindo para a resiliência das cidades, reduzindo os impactos de inundações e minimizando os custos associados aos danos materiais e sociais. Além disso, essas ações podem aumentar a conscientização sobre a importância da preservação ambiental entre os cidadãos, incentivando práticas sustentáveis e o cuidado com o meio ambiente.

Considerando a cobertura arbórea para a gestão sustentável das águas e suas implicações na urbanização, os objetivos deste trabalho envolvem o uso de tecnologias de sensoriamento remoto em conjunto com a utilização de inteligência artificial para otimização, mapeamento e análise das áreas de cobertura arbórea em Campo Grande, reunindo informações valiosas para o planejamento estratégico da gestão das águas pluviais e de seus impactos no ciclo hídrico.

O Deep Learning, uma subárea da Inteligência Artificial (IA), emprega redes neurais artificiais profundas para executar tarefas complexas de aprendizado e identificação de padrões. A capacidade dessas redes em lidar com representações intrincadas permite a gestão de avanços tecnológicos e de automação. Essas redes aprendem representações abstratas de dados por meio do treinamento com grandes conjuntos de dados, possibilitando ajustes automáticos nos parâmetros internos para otimizar o desempenho em tarefas específicas. Além disso, o Deep Learning destaca-se pela eficiência notável na análise de dados não estruturados, como imagens.

Nos últimos anos, redes neurais artificiais profundas venceram inúmeras competições em reconhecimento de padrões e aprendizado de máquina (Schmidhuber, 2015) e, por meio do desenvolvimento de métodos de sensoriamento remoto para melhorar o desempenho de aspectos como pré-processamento, segmentação e classificação, redes neurais têm sido usadas na comunidade de sensoriamento remoto (Ma et al. 2019). A exploração de métodos de Deep Learning em imagens de sensoriamento remoto tem sido observada em diferentes aplicações ambientais (Gonçalves et al. 2023), incluindo tarefas de análise de imagens de sensoriamento remoto, como fusão e registro de imagens, classificação de cena, detecção de objetos, classificação de uso e cobertura da terra, segmentação e pesquisa de objetos (Ma et al. 2019).

Deep Learning e Visão Computacional são áreas inter-relacionadas, muitas vezes utilizadas de forma conjunta para abordar problemas complexos relacionados ao processamento de imagens e informações visuais. Visão Computacional é atualmente uma das principais áreas da Inteligência Artificial, reunindo técnicas para carregar, manipular, tratar, processar, detectar, prever, segmentar e analisar imagens (DeepLearningBook, 2024). As três principais tarefas para projetos de visão computacional dizem respeito à classificação, tarefa fundamental e responsável pelo reconhecimento; à detecção, tarefa de reconhecer não somente o que é, mas onde determinado objeto está localizado; e à segmentação semântica, tarefa que tenta encontrar a identidade de um pixel (AprendaDataScience, 2024).

Em geral, os métodos de segmentação tomam uma imagem como entrada e retornam uma classificação pixel a pixel (Gonçalves et al. 2023). O interesse na segmentação semântica de imagens de sensoriamento remoto aumentou nos últimos anos, com estruturas compostas sequencialmente por sub-redes codificadoras e decodificadoras, tendo como principal vantagem sua capacidade de explorar informações de contexto multinível em campos receptivos muito grandes (Ma et al. 2019).

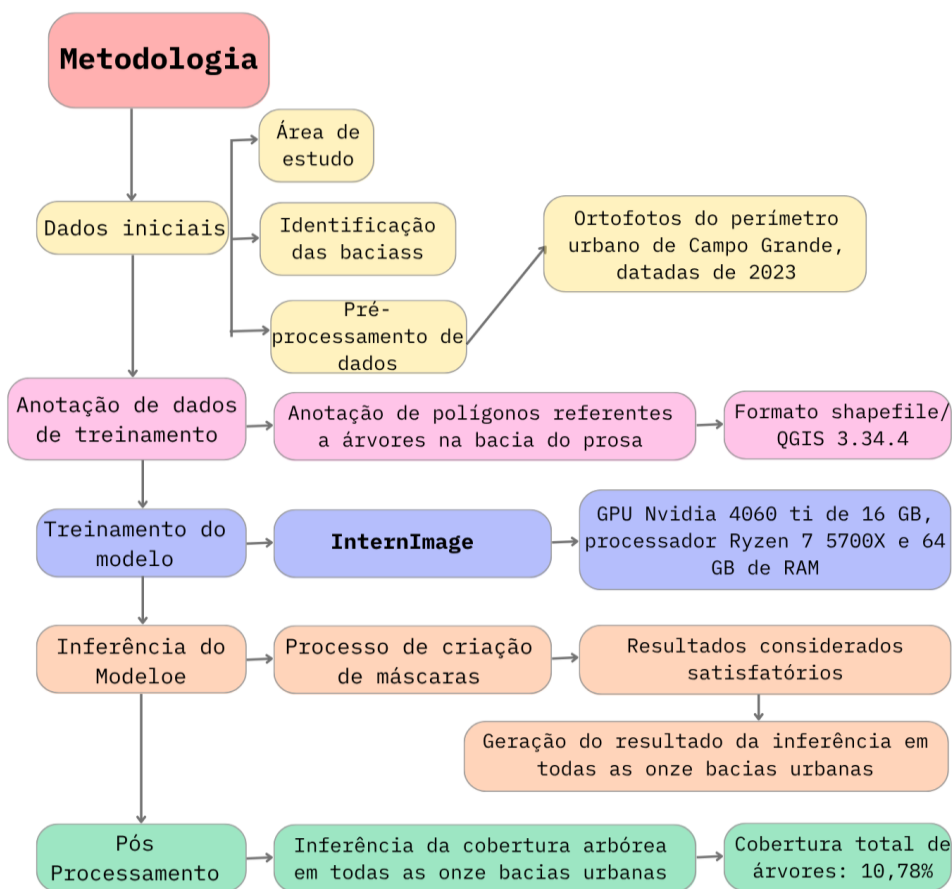
Nesse contexto de segmentação semântica, destaca-se o modelo InternImage (WANG et al., 2023), um modelo de fundação em larga escala baseado em redes neurais convolucionais (CNNs), que utiliza convoluções deformáveis como seu operador principal. Essas convoluções permitem que o modelo tenha um campo receptivo eficaz grande o suficiente para lidar com tarefas complexas de visão computacional, como detecção e segmentação de objetos, enquanto também possui uma agregação espacial adaptativa ajustada de acordo com as informações da entrada e da tarefa. Isso significa que o InternImage pode aprender representações robustas e poderosas a partir de grandes volumes de dados de treinamento, resultando em desempenho comparável ou até superior aos modelos baseados em transformers em uma variedade de tarefas de visão.

Simulando estratégias que beneficiem a manutenção e expansão do Plano Diretor de Arborização Urbana, este trabalho busca contribuir para o monitoramento e a gestão eficiente de áreas arborizadas, bem como para a identificação de áreas que necessitem de mais vegetação, avaliação de impactos ao longo do tempo e análise da qualidade ambiental por meio de áreas verdes.

MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia empregada neste estudo é ilustrada na Figura 1, apresentando uma visão geral do fluxo de trabalho. O processo inicia-se com a localização da área de estudo no Centro-Oeste do Brasil, cuja metodologia pode ser replicada em outras regiões. Em seguida, ocorre o pré-processamento dos dados de entrada, incluindo ortofotos de alta resolução do perímetro urbano de Campo Grande. As bacias urbanas foram identificadas, e os dados de cobertura arbórea foram anotados para o treinamento do modelo InternImage, escolhido pelo seu uso avançado de convoluções deformáveis e sua capacidade de lidar com padrões urbanos complexos.

Figura 1- Fluxograma da Metodologia



Elaboração: Os autores, 2025

Área de Estudo

A análise foi realizada na área urbana do município de Campo Grande, localizada no estado de Mato Grosso do Sul, Brasil, (Figura 2 e Figura 3), que conta com o total de onze sub-bacias hidrográficas (Ribeirão Botas, Lageado, Gameleira, Bálsamo, Bandeira, Coqueiro, Prosa, Anhanduí, Segredo, Lagoa e Imbirussu (SISGRAN, 2023).

Figura 2- Área de estudo - Localização Perímetro Urbano Campo Grande - MS

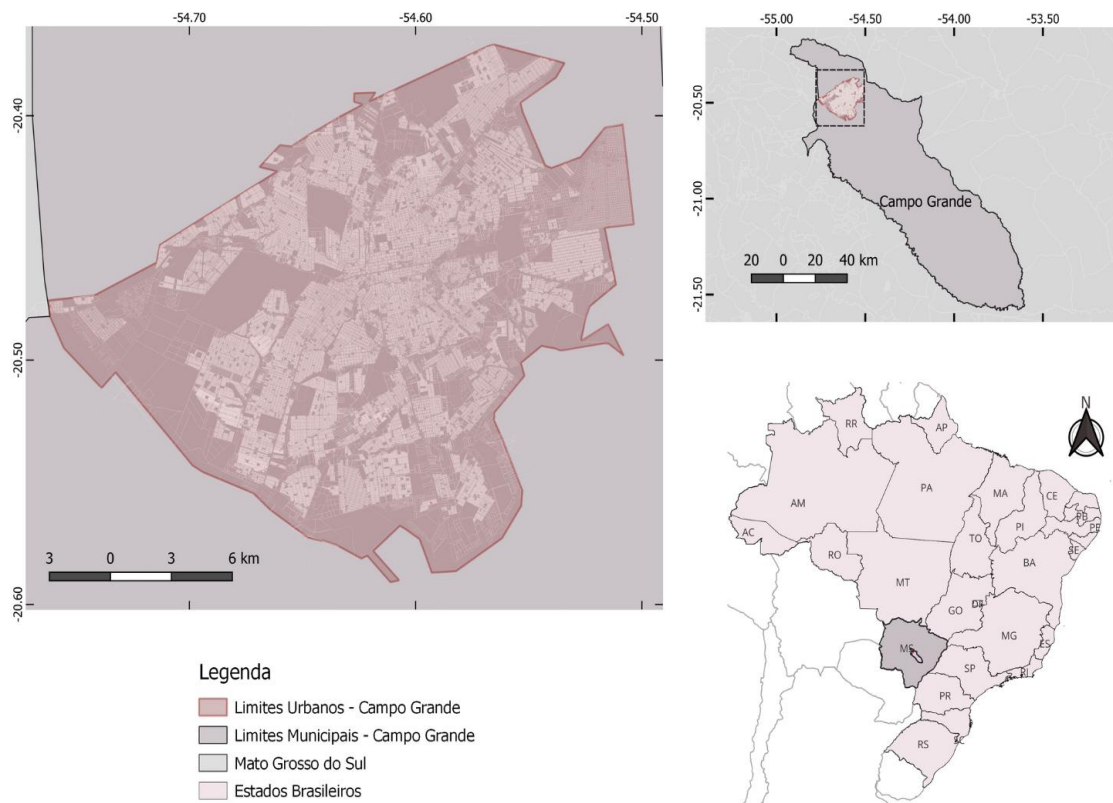
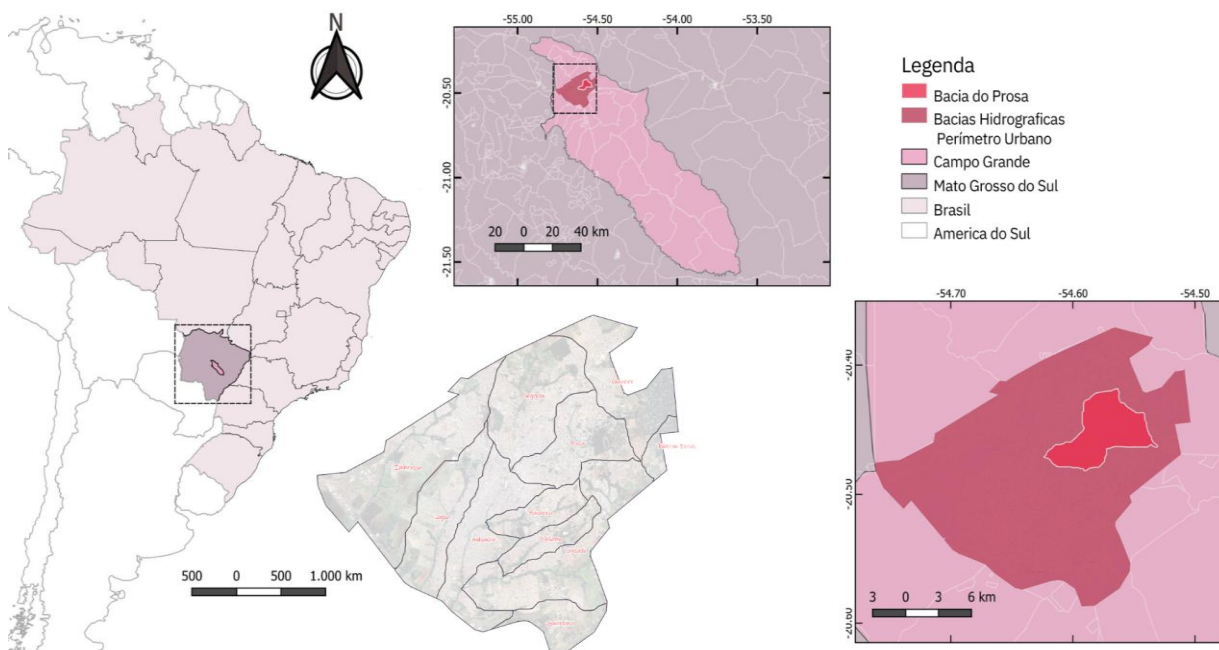


Figura 3 - Área de estudo - Localização Bacia Urbana do Prosa em Campo Grande - MS



Fonte: IBGE, 2021; SISGRAN, 2023. Elaboração: Os autores, 2025

Para a produção dos mapas, foi utilizado o software livre QGIS 3.34.4, com Sistema de Coordenadas Planas, projeção UTM, fuso 21S e datum SIRGAS 2000, utilizando dados de limites territoriais e setores censitários (IBGE, 2021), além de dados de bacias hidrográficas e hidrografia de Campo Grande (SISGRAN, 2023). Prosseguiu-se com os seguintes passos:

Pré-processamento dos Dados

As imagens utilizadas foram ortofotos aéreas do perímetro urbano de Campo Grande, datadas de 2023, disponibilizadas pela Prefeitura (Semadur, 2024), com alta resolução espacial (10 cm). Os dados foram tratados para aplicação de aprendizado profundo, com foco na detecção de áreas permeáveis e não permeáveis, incluindo arborização urbana, coberturas de edificações e ruas asfaltadas.

Para a realização da segmentação semântica das áreas urbanas de Campo Grande, este estudo empregou o modelo InternImage (WANG et al., 2023). Durante a etapa de treinamento, o modelo utilizou inicialização com pesos pré-treinados no conjunto de dados *Mapillary*, garantindo a robustez necessária na extração inicial de características e na identificação de padrões urbanos.

Na fase de preparação dos dados, visando aprimorar a capacidade de generalização do modelo e evitar o sobreajuste (*overfitting*), foram aplicadas técnicas de aumento de dados (*data augmentation*), especificamente operações de *RandomCrop* e *RandomFlip*. O processamento das imagens foi estruturado com tamanhos de recorte (*patches*) definidos rigorosamente em 512x512 pixels. A normalização dos tensores de entrada foi realizada com valores de média e desvio padrão específicos, ajustados de acordo com as características radiométricas das ortofotos locais utilizadas. Com essa parametrização, o InternImage apresentou desempenho consistente na inferência das áreas permeáveis e não permeáveis, adaptando-se eficientemente às diferentes escalas e complexidades do ambiente urbano mapeado.

RESULTADOS

Para iniciar o processo de treinamento, foram selecionados quatro polígonos dentro dos limites da bacia urbana do Prosa (Figura 4), totalizando uma área combinada de 3,262 km². Esses polígonos possuem, respectivamente, áreas de 1,044 km², 0,581 km², 0,832 km² e 0,805 km². O objetivo dessa seleção foi garantir uma representação abrangente das características da área de estudo, contemplando uma variedade de condições de uso do solo. Em cada um desses polígonos, todas as árvores foram anotadas em formato shapefile, visando fornecer um conjunto de dados de treinamento.

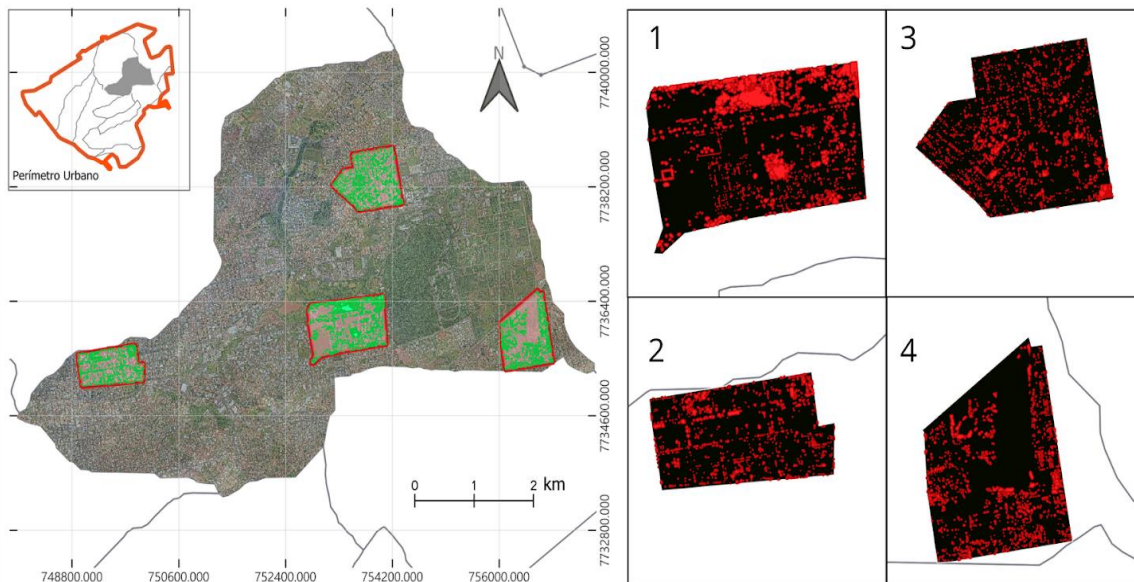
A anotação manual foi realizada no software livre QGIS (versão 3.34.4), utilizando a vetorização de polígonos a partir da interpretação visual das ortofotos em composição RGB verdadeira. O critério de inclusão para a anotação contemplou a cobertura vegetal arbórea visível, considerando indivíduos com copa contígua. Conforme a natureza do dado utilizado (visão zenital), não houve distinção metodológica entre árvores e arbustos de grande porte, adotando-se a cobertura arbórea enquanto classe visual. Todo o procedimento foi conduzido pela autora principal e passou por controle de qualidade por meio de revisão e análise visual dos coautores.

Essas anotações serviram como referência durante o treinamento do modelo InternImage. Os treinos foram conduzidos em um sistema equipado com uma máquina GPU Nvidia 4060 Ti 16GB, processador Ryzen 7 5700X e 64GB de memória RAM, durante o processo de criação de máscaras, no qual cada pixel da imagem RGB é atribuído a uma classe correspondente.

Para garantir a reprodutibilidade do experimento, o treinamento foi realizado utilizando a arquitetura InternImage-T (disponibilizada via *Hugging Face* pelo OpenGVLab), inicializada com pesos pré-treinados no conjunto de dados *Cityscapes*, o que otimizou a convergência na extração de características em cenários urbanos. O processamento dos dados utilizou recortes (*patches*) de 512 x 512 pixels. O modelo foi treinado utilizando o otimizador AdamW, com taxa de aprendizado inicial de 1e-4 e decaimento de peso (*weight decay*) de 0.05, ao longo de 100 épocas. O tamanho do lote (*batch size*) foi estipulado em 4 amostras e o número de *workers* foi estritamente limitado. Essa parametrização foi essencial para adequar o processamento à capacidade da VRAM da GPU (16 GB), além de evitar picos de calor acima de 80°C na CPU, preservando a constância e a integridade do hardware durante as rotinas de treinamento intensivo. A função de perda (*loss function*) adotada foi a

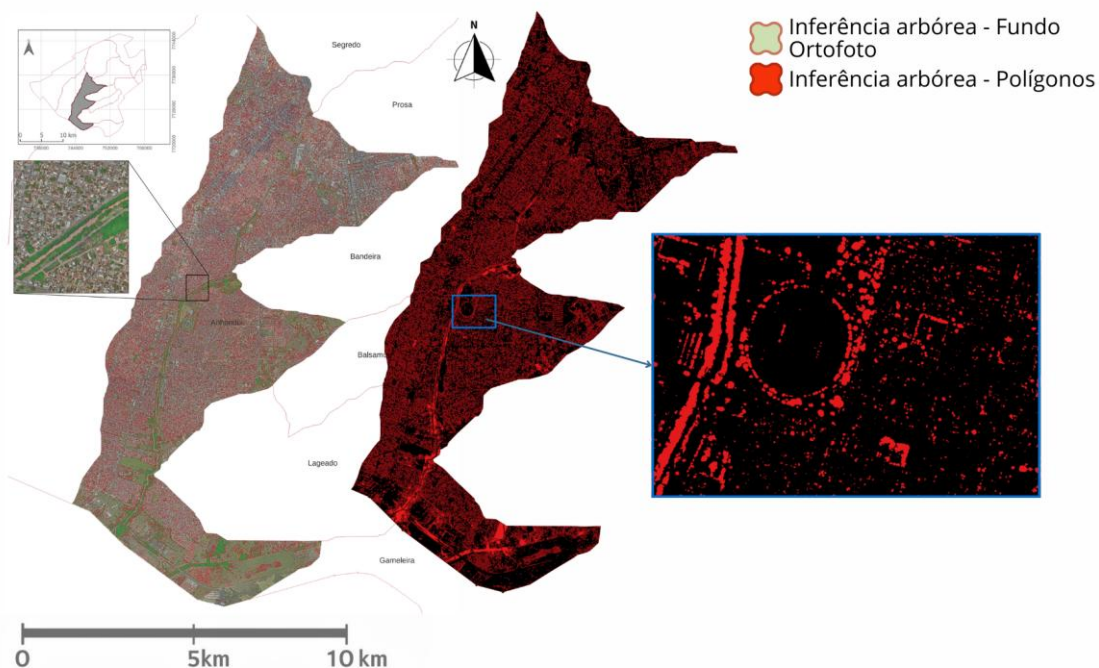
Cross-Entropy. Os resultados mostraram que o modelo obteve um IoU 78,42%. A acurácia do modelo foi de 93,34%, com uma pontuação de F-score de 87,9%.

Figura 4 - Localização das Anotações de Árvores na Bacia Urbana do Prosa - Campo Grande/ MS



Elaboração: Os autores, 2025.

Figura 5 - Inferência InternImage de Árvores na Bacia Urbana do Anhanduí



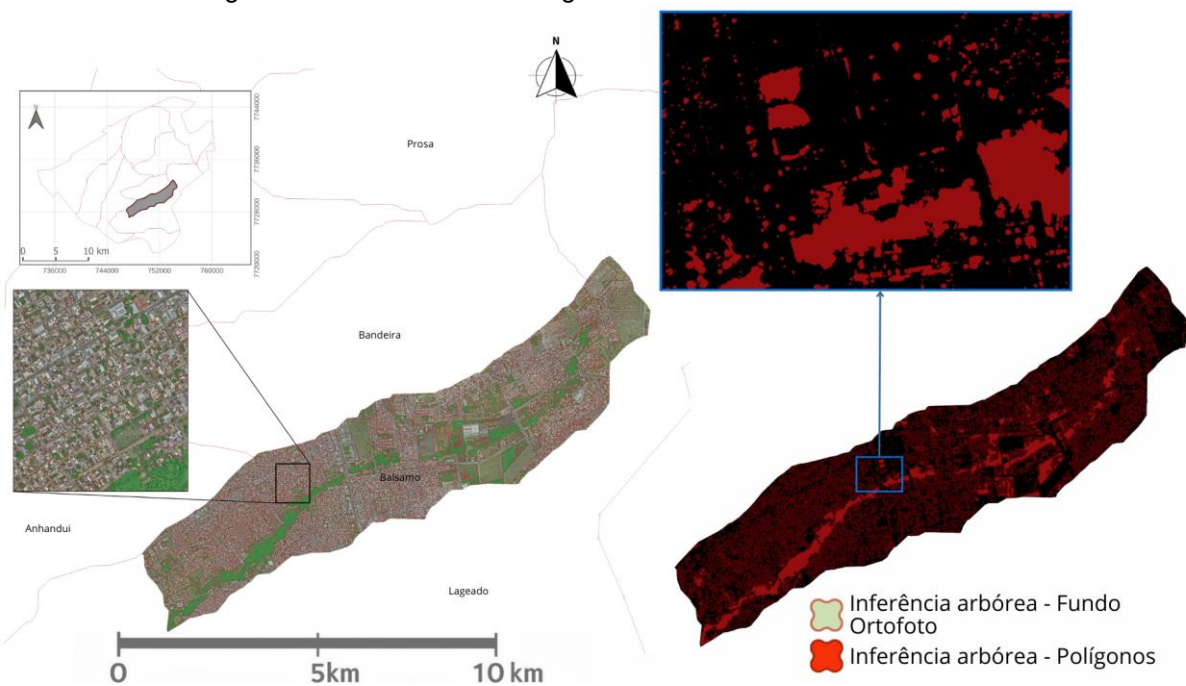
Elaboração: Os autores, 2025.

Com base nisso, o modelo *InternImage*, fazendo uso dos dados da Bacia do Prosa, foi utilizado para gerar o resultado de inferências em todas as onze bacias urbanas. A Bacia do Anhanduí, (Figura 5)

conta com área de 38,318 km² e uma cobertura arbórea de 2,144 km², exibindo uma densidade de arborização de 5,59%.

A Bacia Urbana Hidrográfica do Bálsamo (Figura 6), com área de 13,257 km², apresenta uma cobertura arbórea de 1,741 km², contando com 13,1% de cobertura vegetal.

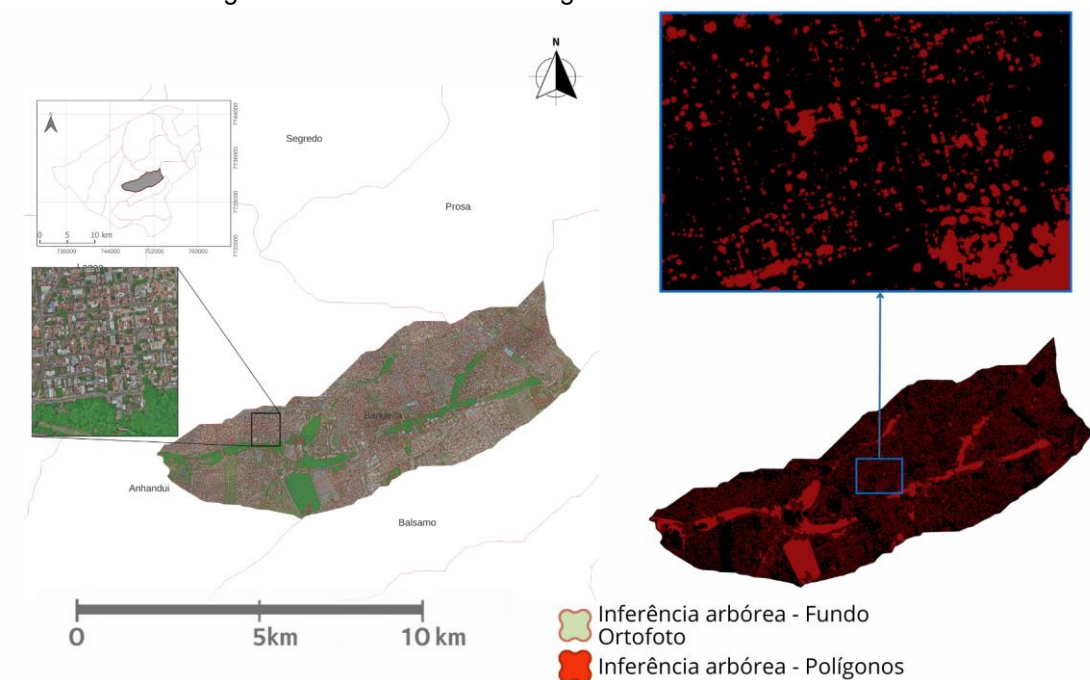
Figura 6 - Inferência InternImage de Árvores na Bacia Urbana do Bálsamo



Elaboração: Os autores, 2025.

A Bacia Urbana Hidrográfica do Bandeira (Figura 7) conta com área de 15,23 km² e cobertura arbórea de 3,123 km², apresentando uma densidade de cobertura arbórea de cerca de 20%.

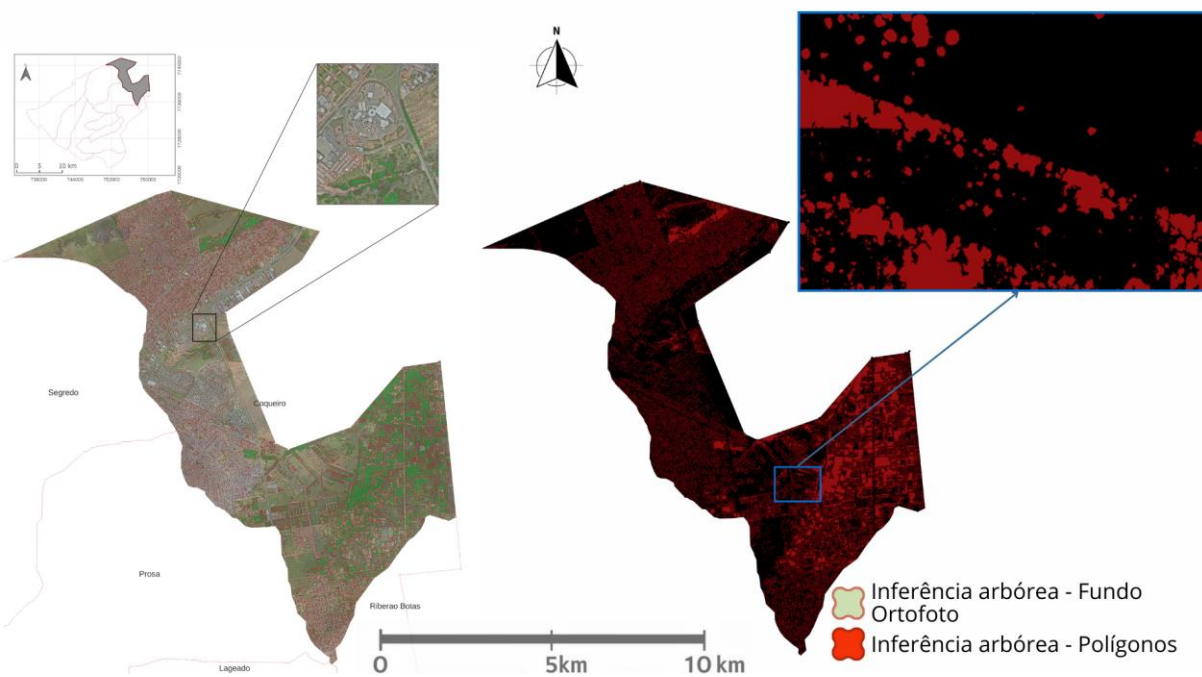
Figura 7 - Inferência InternImage de Árvores na Bacia Urbana do Bandeira



Elaboração: Os autores, 2025.

A Bacia Urbana Hidrográfica do Coqueiro (Figura 8) conta com uma área territorial de 33,191 km² e uma cobertura arbórea de 5,278 km², demonstrando uma densidade de árvores de 15,9%.

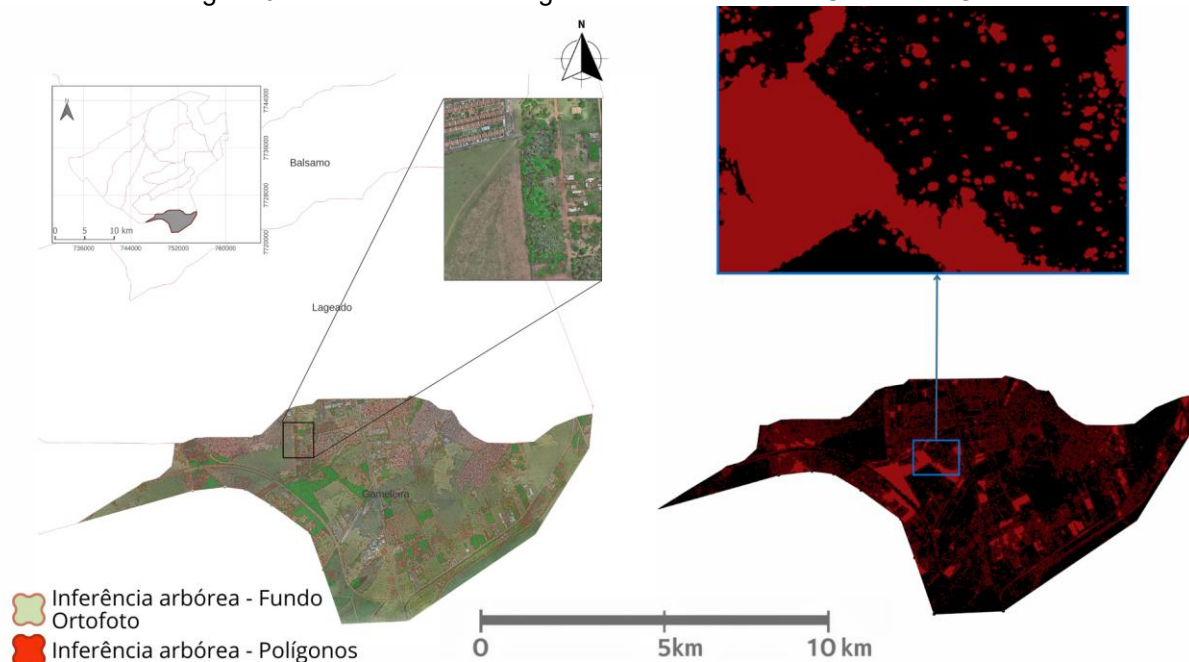
Figura 8 - Inferência InternImage de Árvores na Bacia Urbana do Coqueiro



Elaboração: Os autores, 2025.

A Bacia Urbana da Gameleira (Figura 9) com uma área de 15,452 km² e cobertura arbórea de 1,884 km², conta com cobertura arbórea de 12,2% da área total da bacia.

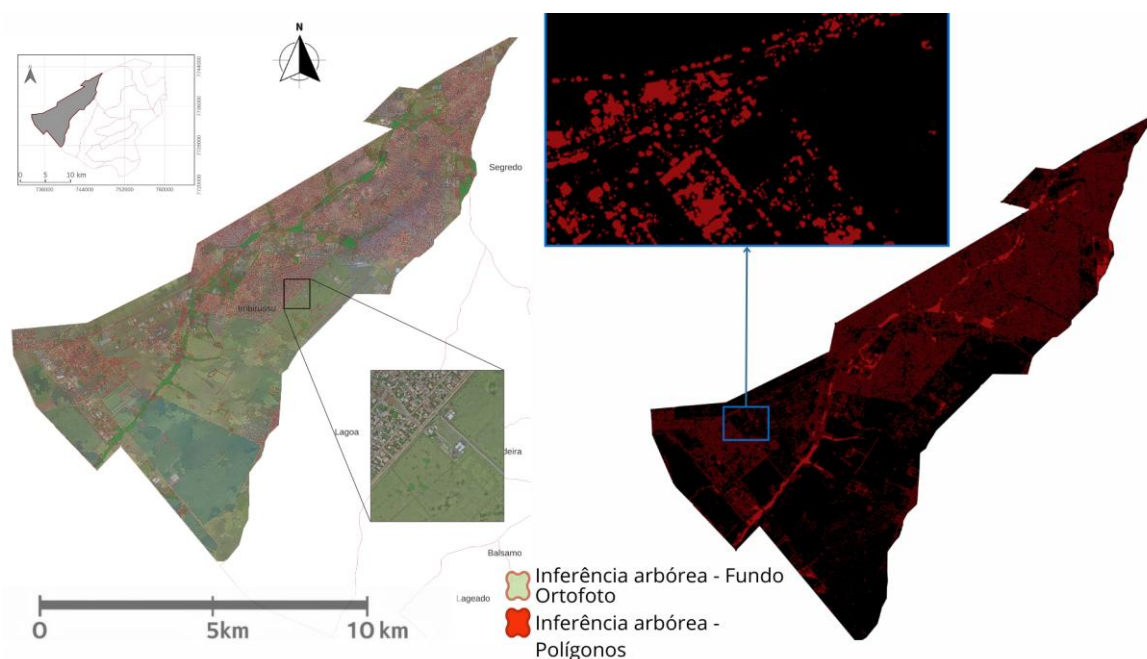
Figura 9 - Inferência InternImage de Árvores na Bacia Urbana da Gameleira



Elaboração: Os autores, 2025.

Por outro lado, a Bacia Urbana do Imbirussu (Figura 10), com uma área consideravelmente maior, de 66,658 km² e cobertura arbórea de 4,605 km², apresenta uma densidade de árvores de 6,9% da área total da bacia.

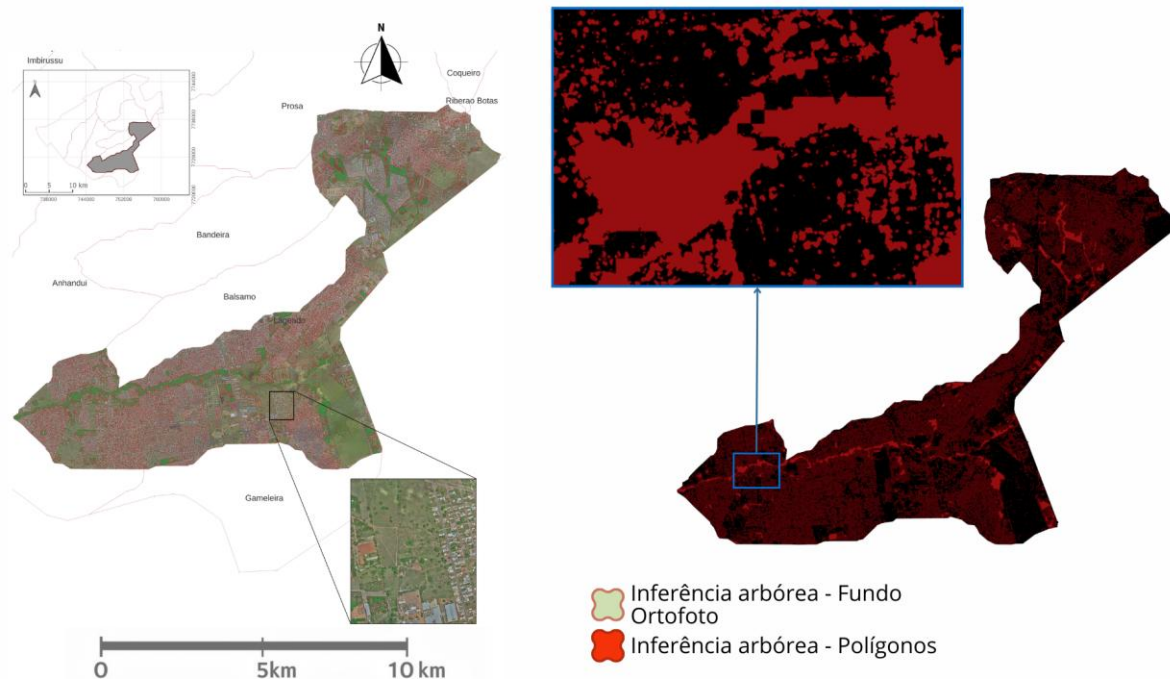
Figura 10 - Inferência InternImage de Árvores na Bacia Urbana do Imbirussu



Elaboração: Os autores, 2025.

A Bacia Urbana do Lageado (Figura 11), com uma área territorial de 51,292 km² e uma cobertura arbórea de 4,688 km², demonstra cobertura arbórea de 9,1% da área total da bacia.

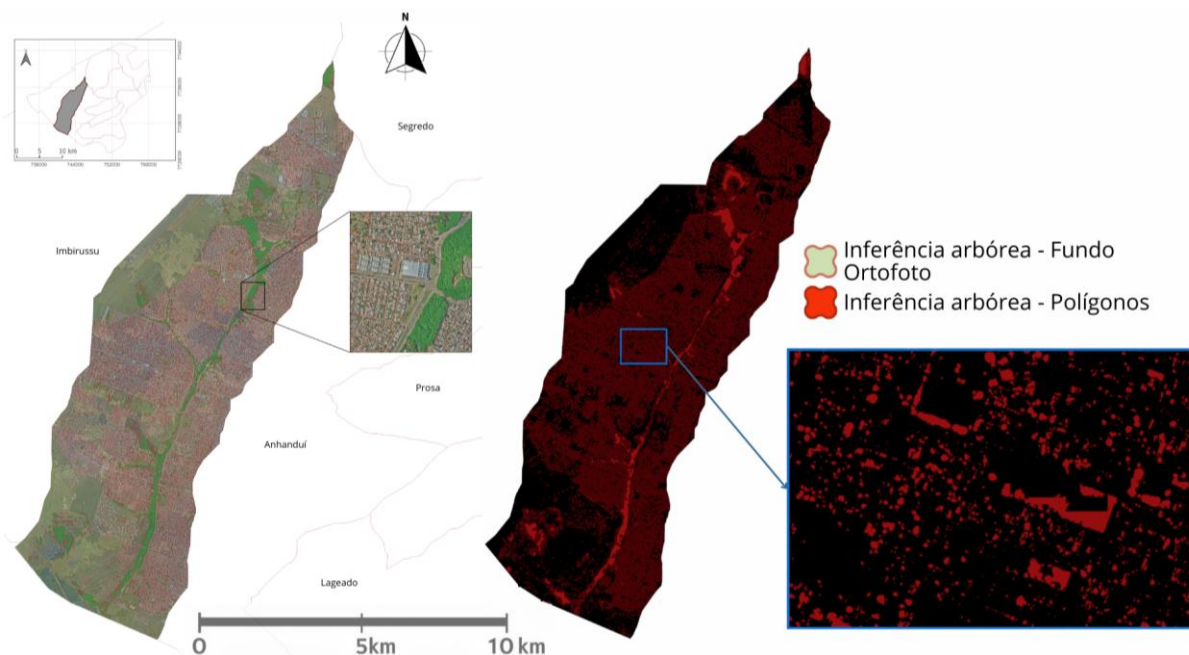
Figura 11 - Inferência InternImage de Árvores na Bacia Urbana do Lageado



Elaboração: Os autores, 2025.

A Bacia Urbana da Lagoa (Figura 12) conta com área territorial de 36,619 km² e cobertura arbórea de 2,748 km², apresentando uma densidade moderada de árvores em relação à sua extensão territorial, de 7,5% da área total da bacia.

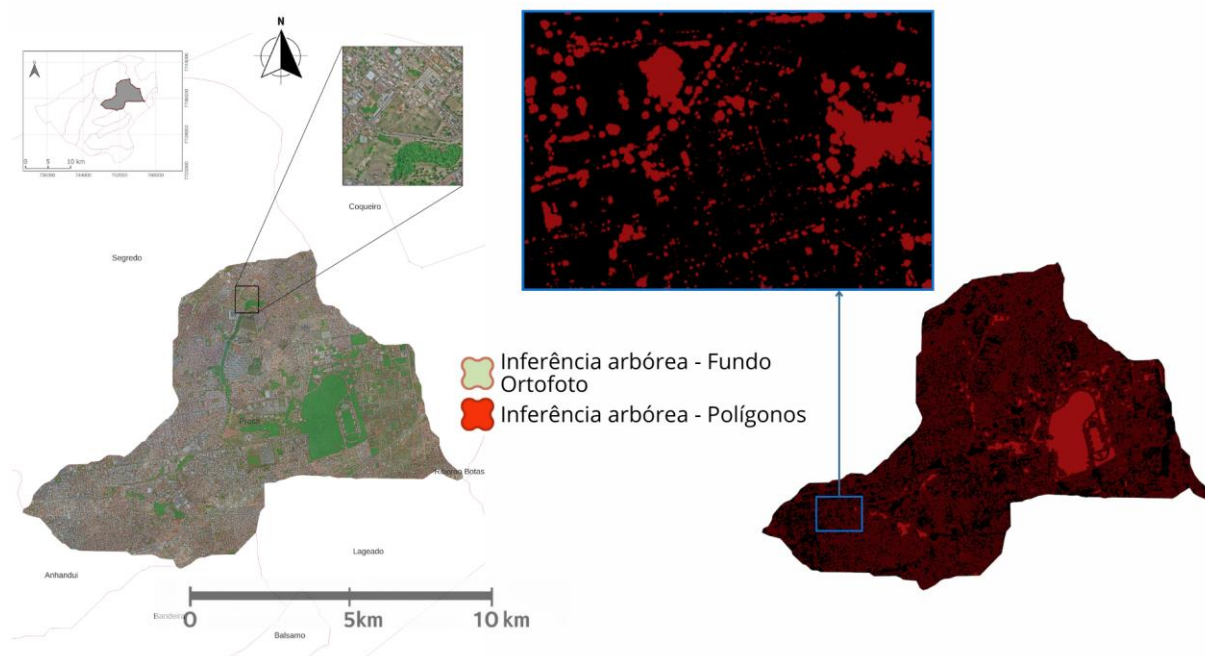
Figura 12 - Inferência InternImage de Árvores na Bacia Urbana da Lagoa



Elaboração: Os autores, 2025.

A Bacia Urbana do Prosa (Figura 13), com área territorial de 31,945 km² e cobertura arbórea de 5,894 km², exibe uma densidade considerável de árvores em relação à sua extensão territorial, de 18,4%.

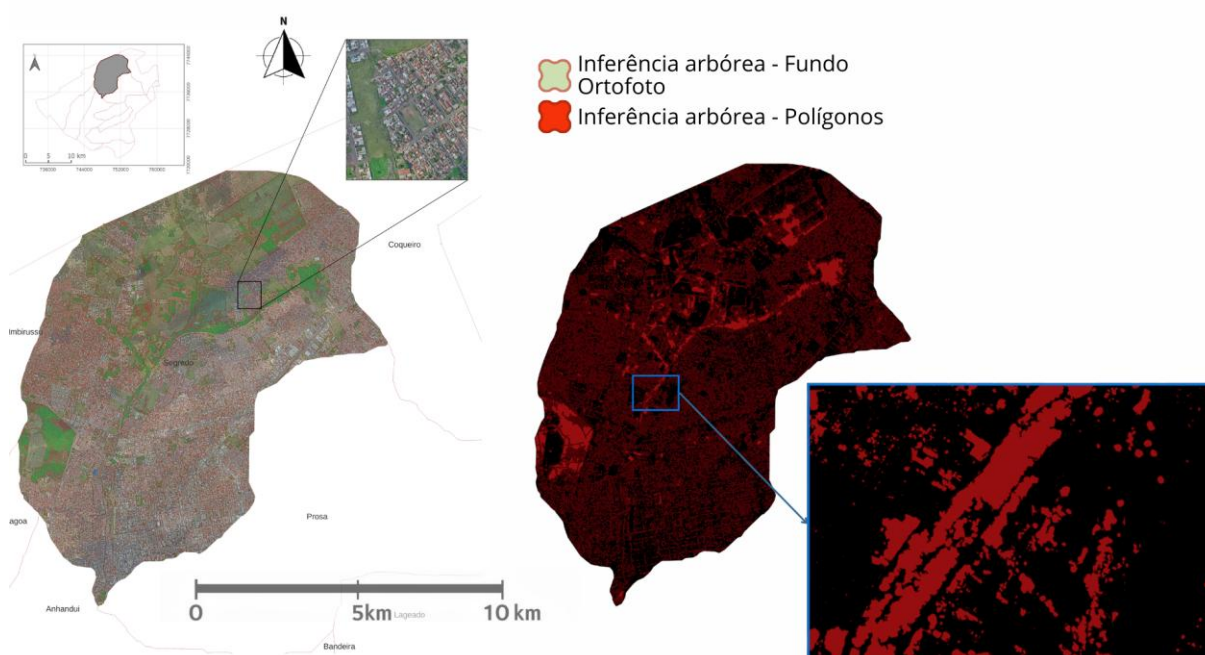
Figura 13 - Inferência InternImage de Árvores na Bacia Urbana do Prosa



Elaboração: Os autores, 2025.

A Bacia Urbana do Segredo (Figura 14), com uma área territorial de 45,345 km² e cobertura arbórea de 4,491 km², exibe uma densidade de árvores de 9,9% em relação à sua extensão territorial.

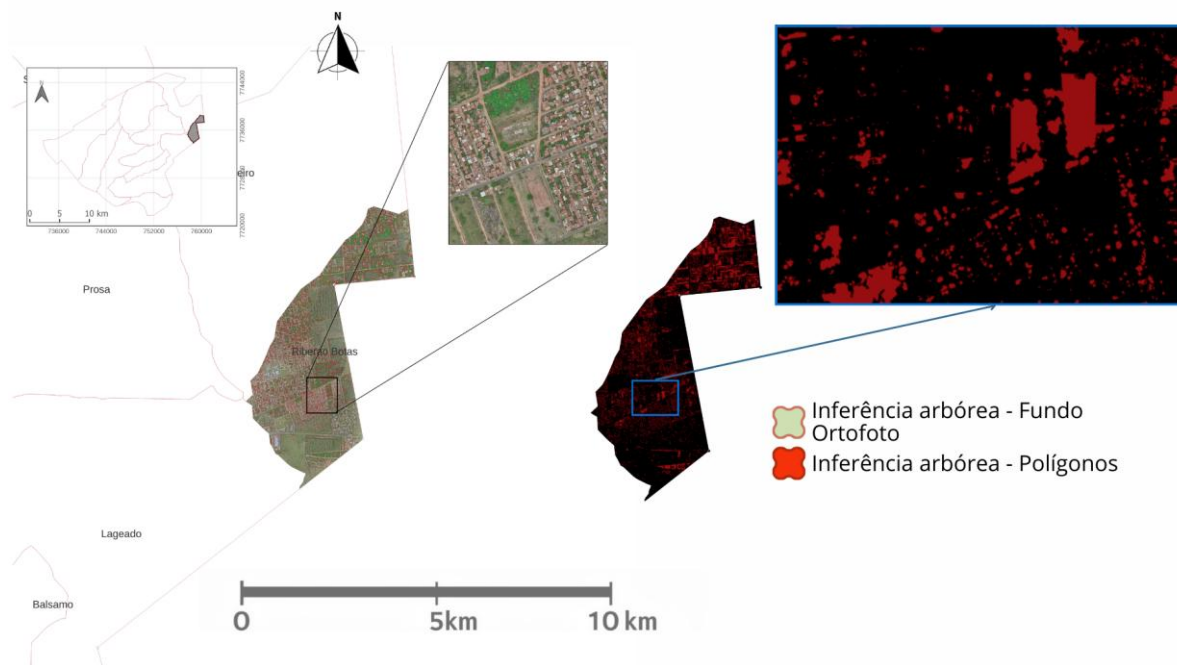
Figura 14 - Inferência InternImage de Árvores na Bacia Urbana do Segredo



Elaboração: Os autores, 2025.

A Bacia Urbana do Ribeirão Botas (Figura 15), com área territorial de 5,445 km² e cobertura arbórea de 0,837 km², apresenta uma densidade de 15,4% da área total da bacia.

Figura 15 - Inferência InternImage de Árvores na Bacia Urbana do Ribeirão Botas



Elaboração: Os autores, 2025.

A fim de consolidar as inferências geométricas obtidas e facilitar a análise comparativa da distribuição espacial da vegetação no perímetro urbano, a Tabela 1 apresenta a síntese dos dados quantitativos para as onze bacias hidrográficas avaliadas.

Tabela 1 - Síntese dos resultados de inferência geométrica detalhando a área total, área de cobertura arbórea segmentada e percentual de densidade por bacia hidrográfica urbana

Bacia Hidrográfica	Área Total (km ²)	Cobertura Arbórea (km ²)	Densidade Arbórea (%)
Bandeira	15,23	3,123	20,0
Prosa	31,945	5,894	18,4
Coqueiro	33,191	5,278	15,9

Ribeirão Botas	5,445	0,837	15,4
Bálsamo	13,257	1,741	13,1
Gameleira	15,452	1,884	12,2
Segredo	45,345	4,491	9,9
Lageado	51,292	4,688	9,1
Lagoa	36,619	2,748	7,5
Imbirussu	66,658	4,605	6,9
Anhanduí	38,318	2,144	5,59

Elaboração: Os autores, 2025.

Os dados sintetizados evidenciam uma expressiva amplitude na densidade de cobertura arbórea da capital. A discrepância observada, variando de cenários com maior preservação, como a Bacia do Bandeira (20,0%), a contextos de déficit crítico, como a Bacia do Anhanduí (5,59%), reforça a heterogeneidade da paisagem urbana. Essa disparidade quantitativa fundamenta a análise socioambiental e de planejamento territorial aprofundada na seção a seguir

DISCUSSÃO

O mapeamento da cobertura arbórea em Campo Grande (MS) (Figura 16), por meio de redes neurais profundas, alcançou acurácia de 93,34% e F-score de 87,9%, demonstrando a alta eficácia do modelo InternImage para a segmentação de elementos urbanos. Esse desempenho é consistente com a literatura recente, que valida o uso de *deep learning* para análises ambientais em cidades brasileiras. Como exemplo, Noletto et al. (2025), ao utilizarem Redes Neurais Convolucionais (CNNs) para o

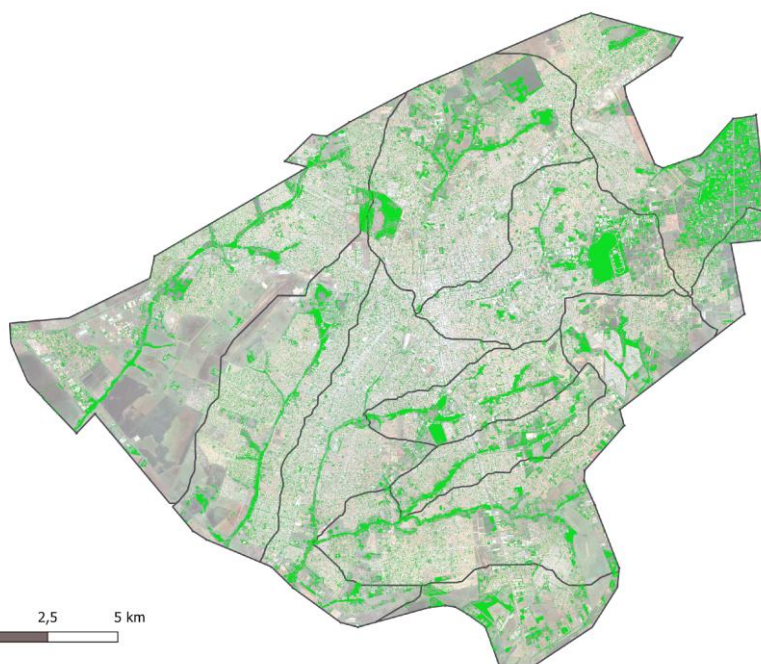
reconhecimento de espécies florestais, obtiveram uma acurácia de 90%, corroborando o potencial da tecnologia para classificações complexas. Da mesma forma, o trabalho de Silva (2024) reforça que as CNNs são ferramentas eficazes para a classificação de diferentes tipos de cobertura do solo em ambientes urbanos, fortalecendo a validade da metodologia aqui empregada.

A análise dos resultados expõe uma heterogeneidade acentuada na distribuição da cobertura arbórea entre as onze bacias hidrográficas de Campo Grande, com índices que variam de 5,59% na Bacia do Anhanduí a 20% na Bacia do Bandeira. Esse padrão de distribuição não é uma exclusividade de Campo Grande. Almeida e Garcia (2023), em um mapeamento da cidade de São Paulo, revelaram grande desigualdade na cobertura verde, associando a maior presença de árvores aos bairros de maior renda.

As bacias do Bandeira (20%), Prosa (18,4%) e Coqueiro (15,9%) destacam-se como áreas de maior resiliência ambiental. O alto percentual de cobertura nessas regiões pode estar associado à preservação de fragmentos florestais que, segundo Martins et al. (2023), são cruciais para a manutenção da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos em meio urbano. Em contrapartida, as bacias do Anhanduí (5,59%), Imbirussu (6,9%) e Lagoa (7,5%) apresentam os menores índices, indicando uma vulnerabilidade crítica. A baixa densidade arbórea nessas áreas, que estão entre as maiores em extensão territorial, sugere uma forte pressão urbana, um fenômeno também observado por Paes e Garcia (2023) em Belo Horizonte, onde o avanço do espaço construído resultou na supressão da vegetação.

Embora a análise em um único período (2023) ofereça um diagnóstico preciso, a literatura ressalta a importância de estudos multitemporais. O trabalho de Vieira e Biondi (2008), em Curitiba, por exemplo, demonstrou como a cobertura vegetal foi significativamente reduzida ao longo de quase duas décadas de expansão urbana. Da mesma forma, Pinheiro e Ribeiro (2022), ao analisarem a dinâmica de Palmas (TO), constataram que mais de 60% da área do plano diretor foi alterada em 30 anos. Esses estudos evidenciam que uma futura análise longitudinal em Campo Grande seria fundamental para avaliar a eficácia de instrumentos como o Plano Diretor de Arborização Urbana (PDAU) ao longo do tempo. Para tal avanço, sugere-se a utilização e atualização periódica de ortofotos aéreas de alta resolução, como as disponibilizadas e utilizadas neste trabalho, permitindo a avaliação e acompanhamento concreto da dinâmica espacial da cobertura arbórea urbana.

Figura 16 - Inferência da Cobertura Total Urbana pelo InternImage - Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Brasil



Elaboração: Os autores, 2025

Como afirmado por Souza et al. (2020), a vegetação urbana é de grande importância para mitigar problemas ambientais causados pela urbanização desordenada e proporcionar qualidade de vida à população. Os autores também destacam questões sociais relacionadas à alocação de populações de menor renda em áreas de maior risco e menor qualidade ambiental (Elias, 2012). Portanto, ao identificar bacias que precisam de atenção quanto à quantidade e à qualidade das áreas verdes oferecidas aos habitantes, este estudo oferece subsídios técnicos para que as políticas públicas de arborização em Campo Grande sejam direcionadas não apenas por critérios ecológicos, mas também por um viés de equidade social, em consonância com o que Acsegrad (2010) define como a luta por um ambiente justo e saudável para todos.

CONCLUSÃO

A pesquisa demonstrou o potencial do *deep learning* na classificação de áreas permeáveis e não permeáveis, contribuindo para o planejamento urbano e a gestão dos recursos hídricos. O modelo InternImage se mostrou uma ferramenta útil para a criação de sistemas urbanos resilientes e sustentáveis.

Por meio da análise das bacias hidrográficas do perímetro urbano de Campo Grande, revelou-se uma diversidade significativa na densidade arbórea e na distribuição da vegetação em diferentes regiões da cidade. Bacias como a do Prosa destacam-se por apresentar alta densidade de árvores, enquanto outras, como a do Imbirussu, têm menor densidade, evidenciando a necessidade de intervenções específicas para promover uma melhor distribuição da vegetação nas áreas urbanas.

Além disso, o tamanho da área territorial e a presença de infraestrutura verde influenciam diretamente a quantidade de cobertura vegetal em cada bacia hidrográfica. Estratégias integradas de planejamento urbano e conservação ambiental são cruciais para garantir a sustentabilidade ambiental e a qualidade de vida nas áreas urbanas. Nesse sentido, torna-se essencial investigar e analisar as particularidades de cada bacia hidrográfica, incluindo possíveis desafios como altas temperaturas, enchentes e alagamentos durante períodos chuvosos, bem como sua capacidade de resistência a esses problemas.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho contou com o apoio de agências de fomento à pesquisa, por meio da concessão de bolsas e financiamento. Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo suporte institucional que viabilizou o desenvolvimento desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ABREU, K. M. P.; COUTINHO, L. M. **Sensoriamento remoto aplicado ao estudo da vegetação com ênfase em índice de vegetação e métricas da paisagem**. *Vértices*, Campos dos Goytacazes, v. 16, n. 1, p. 173–198, jan./abr. 2014. <https://doi.org/10.5935/1809-2667.20140012>
- ACSELRAD, H. **Ambientalização das lutas sociais - o caso do movimento por justiça ambiental**. *Estudos Avançados*, São Paulo, v. 24, n. 68, p. 103–119, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0103-40142010000100010>
- ALMEIDA, C.; GARCIA, C. B. **Desigual distribuição de árvores em São Paulo revela problemas de urbanização**. *Jornal da USP*, 2020. Disponível em: <https://jornal.usp.br/ciencias/desigual-distribuicao-de-arvores-em-sao-paulo-revela-problemas-de-urbanizacao/>. Acesso em: 31 jul. 2025.
- APRENDA DATA SCIENCE. **Tarefas em Visão Computacional**. 2024. Disponível em: <https://www.aprendadatascience.com/blog/vis%C3%A3o-computacional/tarefas-em-vis%C3%A3o-computacional>. Acesso em: 19 fev. 2024.
- BARGOS, D. C.; MATIAS, L. F. **Áreas verdes urbanas: um estudo de revisão e proposta conceitual**. *Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana*, Piracicaba, v. 6, n. 3, p. 1–17, set. 2011. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/revsbau/article/view/66481/38295>. Acesso em: 23 nov. 2020.

- CARLOS, A. F. A. **O espaço urbano: novos escritos sobre a cidade**. São Paulo: FFLCH, 2007.
- DEEP LEARNING BOOK. **Machine learning – guia definitivo – parte 10**. 2024. Disponível em: <https://www.deeplearningbook.com.br/machine-learning-guia-definitivo-parte-10/>. Acesso em: 19 fev. 2024.
- DOMINGOS, P. L. H.; FONSECA, L. M. G.; MONTEIRO, A. M. V. **Extração de vegetação intra-urbana de imagens de alta resolução**. In: *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 12., 2005, Goiânia. Anais [...]. São José dos Campos: INPE, 2005. p. 3739–3746.
- ELIAS, L. L. S. **Justiça ambiental e distribuição de áreas verdes na cidade de Rio Claro – SP**. 2012. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/91870>. Acesso em: 31 jul. 2025.
- GONÇALVES, D. N. et al. **Transformers for mapping burned areas in Brazilian Pantanal and Amazon with PlanetScope imagery**. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, v. 116, p. 103151, fev. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2022.103151>
- IBGE. **Estimativas da população para o ano de 2021**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 10 nov. 2023.
- LIMA, G. S.; AMORIM, D. A. **A qualidade ambiental urbana e as áreas arborizadas como indicadores**. São Paulo: Humanitas, 2006.
- MA, X. et al. **Segmentação semântica em imagens de sensoriamento remoto com redes neurais profundas**. *Remote Sensing Letters*, v. 10, p. 123–134, 2019. <https://doi.org/10.1080/2150704X.2018.1538053>
- MARTINS, D. L.; PURIFICAÇÃO, A. F.; CARDOSO-LEITE, E. **Análise de um fragmento florestal em Sorocaba/SP para criação de uma área protegida**. *Revista Científica Anap Brasil*, v. 16, n. 39, p. 1–14, 2023. <https://doi.org/10.17271/19843240163920234584>
- NOLETO, R. S. et al. **Reconhecimento de espécies florestais madeireiras utilizando redes neurais convolucionais**. *Revista Brasileira de Criminalística*, v. 14, n. 2, p. 15–20, 2 jul. 2025. <https://doi.org/10.15260/rbc.v14i2.870>
- NUCCI, J. C. **Qualidade ambiental e adensamento urbano**. São Paulo: Humanitas, 2001.
- PAES, B. R. S.; GARCIA, R. A. **Dinâmica temporal da vegetação urbana com aplicação de NDVI no município de Belo Horizonte - Minas Gerais**. *Estudos Geográficos: Revista Eletrônica de Geografia*, v. 20, n. 3, p. 387–409, 2023. <https://doi.org/10.5016/estgeo.v20i3.16922>
- PINHEIRO, R. T.; RIBEIRO, N. G. R. **Análise multitemporal da cobertura vegetal no plano diretor urbano de Palmas, Tocantins**. *Ciência Florestal*, v. 32, n. 2, p. 1024–1046, 2022. <https://doi.org/10.5902/1980509843524>
- ROLNIK, R. **O que é cidade**. 3. ed. São Paulo: Brasiliense, 1994.
- SANTOS, M. **O espaço do cidadão**. 7. ed. São Paulo: Edusp, 2007.
- SCHMIDHUBER, J. **Deep learning no reconhecimento de padrões**. *Neural Networks*, v. 61, p. 85–117, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.neunet.2014.09.003>
- SEMADUR. **Ortofotos aéreas de Campo Grande, MS. Dados fornecidos pela Prefeitura Municipal de Campo Grande**, 2024.
- SILVA, E. S. **Classificação de coberturas e espécies de árvores em ambientes urbanos tropicais utilizando redes neurais convolucionais e conceitos de conjuntos fechados e abertos: revisão bibliográfica**. *Pleiade*, v. 18, n. 42, p. 57–65, jan./mar. 2024. <https://doi.org/10.32915/pleiade.v18i42.968>
- SISGRAN. **Sistema Municipal de Indicadores de Campo Grande – MS. 2023**. Disponível em: <https://sisgran.campogrande.ms.gov.br>. Acesso em: 10 nov. 2023.
- SOUZA, C. E.; MATIAS, Í. O.; ERTHAL JÚNIOR, M. **Uso de geotecnologias para mapeamento e análise de áreas verdes urbanas no município de Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil**. *Revista Vértices*, v. 22, n. 3, p. 590–609, 2020. <https://doi.org/10.19180/1809-2667.v22n32020p590-609>

VIEIRA, C. H. S. D.; BIONDI, D. **Análise da dinâmica da cobertura vegetal de Curitiba, PR (de 1986 a 2004), utilizando imagens Landsat TM.** *Revista Árvore*, v. 32, n. 3, p. 479–487, 2008.
<https://doi.org/10.1590/S0100-67622008000300010>

WANG, W. et al. **InternImage: Exploring large-scale vision foundation models with deformable convolutions.** In: *IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2023*, Vancouver. Proceedings [...]. Vancouver: IEEE, 2023. p. 14408–14419.
<https://doi.org/10.1109/CVPR52729.2023.01313>

Recebido em: 31/07/2025

Aceito para publicação em: 25/03/2026