REVISTA CONTEXTO GEOGRÁFICO
UFAL IGDEMA Programa de Pós-Graduação em Geografia
ISSN 2595-7236
Recebido em: 17/02/2025 Aceito para publicação 02/03/2025

DESENVOLVIMENTO DE PROTÓTIPO DE APLICAÇÃO SIG WEB OPENSOURCE PARA GESTÃO DE ÁREAS RURAIS EM MUNICÍPIOS OPERADOS PELA COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO

Fernando Yogi
Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), Brasil
fyogi@hotmail.com

RESUMO – Este estudo desenvolveu uma página HTML interativa com mapas de kernel por município, utilizando as bibliotecas Folium e Streamlit. A página permite explorar áreas de maior e menor densidade de edificações em zonas rurais, destacando as regiões prioritárias para a prestação de serviços de saneamento. Os dados foram integrados de diversas fontes, como o Sistema de Cadastro Ambiental Rural (SICAR) e o Open Buildings V3 via Google Earth Engine. O dashboard interativo facilita a análise, permitindo aos usuários aplicar filtros e realizar consultas espaciais. A página e o dashboard foram hospedados no GitHub Pages, proporcionando acesso público e gratuito. A combinação de ferramentas de código aberto e metodologias estatísticas promove a democratização da informação geográfica, auxiliando no planejamento de ações de saneamento em áreas rurais.

Palavras-chave: Geoprocessamento; Saneamento; Mapas de Kernel; Dados geoespaciais; WebGIS.

DEVELOPMENT OF A PROTOTYPE OPEN SOURCE WEB GIS APPLICATION FOR THE MANAGEMENT OF RURAL AREAS IN MUNICIPALITIES OPERATED BY THE SÃO PAULO STATE BASIC SANITATION COMPANY

ABSTRACT – This study developed an interactive HTML page with kernel maps by municipality, using the Folium and Streamlit libraries. The page allows exploring areas of higher and lower building density in rural zones, highlighting priority regions for the provision of sanitation services. The data were integrated from various sources, such as the Rural Environmental Registry System (SICAR) and Open Buildings V3 with Google Earth Engine. The interactive dashboard facilitates analysis, allowing users to apply filters and perform spatial queries. The page and dashboard were hosted on GitHub Pages, providing public and free access. The combination of open-source tools and statistical methodologies promotes the democratization of geographic information, aiding in the planning of sanitation actions in rural areas.

Keywords: Geoprocessing; Sanitation; Kernel Density maps; Geospatial data; WebGIS.

INTRODUÇÃO

A disponibilidade de dados geoespaciais e a constante evolução das ferramentas de código aberto que lidam com dados públicos representam um importante paradigma que oferece oportunidades de democratização da informação geográfica, servindo a diversos propósitos. O desenvolvimento de protótipos de aplicações SIG Web que permitam acesso a dados geoespaciais em áreas rurais facilitam a realização de análises espaciais e a visualização de informações relevantes. A utilização de ferramentas livres e gratuitas, sem a necessidade de instalação de softwares ou plugins, é um dos principais objetivos deste estudo. (MOBASHERI, PIROTTI & AGUGIARO, 2020; COETZEE, IVÁNOVÁ, MITASOVA & BROVELLI, 2020; BAKILLAH & LIANG, 2016).

A biblioteca Folium, baseada na Leaflet, é amplamente utilizada para a criação de mapas interativos em Python. Folium permite a integração de dados geográficos com visualizações interativas, suportando funcionalidades como zoom, pan, adição de marcadores, criação de mapas de calor e mapas coropléticos. A simplicidade e flexibilidade do Folium tornam-no uma escolha popular para desenvolvedores que desejam criar webmaps de alta qualidade sem a necessidade de conhecimentos avançados em desenvolvimento web. (FERNANDEZ, 2020).

Streamlit é outra biblioteca poderosa que permite a criação de interfaces web interativas diretamente a partir de scripts Python. Streamlit facilita a construção de dashboards e aplicações web interativas, permitindo a visualização de dados em tempo real e a interação com os usuários. A combinação de Folium e Streamlit oferece uma solução integrada para a criação de webmaps interativos, permitindo a visualização e a interação com dados geográficos de maneira eficiente e acessível. (JOHNS HOPKINS UNIVERSITY, 2024; NCEAS, 2019; PEREZ-RIVEROL et al., 2016).

O GitHub é uma plataforma de hospedagem de código-fonte que utiliza o sistema de controle de versão Git. É amplamente utilizado por desenvolvedores de software para colaborar, gerenciar e versionar projetos de programação. O GitHub permite que equipes de desenvolvimento compartilhem e modifiquem códigos, além de rastrear mudanças ao longo do tempo, facilitando a colaboração em projetos de qualquer escala. (JOHNS HOPKINS UNIVERSITY, 2024; NCEAS, 2019; PEREZ-RIVEROL et al., 2016).

O GitHub permite que você "clone" um repositório para ter uma cópia local e comece a trabalhar nas alterações necessárias. As mudanças são registradas por meio de "commits", que documentam o que foi modificado. Ao desenvolver uma nova funcionalidade ou corrigir um erro, você cria um "branch" (ramo) para trabalhar isoladamente e evitar interferir no código principal. Quando terminar, pode criar um "pull request" para sugerir que suas modificações sejam integradas ao repositório original. Em projetos de código aberto, você pode "fazer o fork" de um repositório para criar sua própria cópia e modificar o código. Depois, envia um pull request ao repositório original, propondo suas alterações. (JOHNS HOPKINS UNIVERSITY, 2024; NCEAS, 2019; PEREZ-RIVEROL et al., 2016).

O GitHub pode ser uma ferramenta extremamente útil para o planejamento, gerenciamento e implementação das ações de saneamento de uma webaplicação, permitindo controle de versões, colaboração e automação de tarefas.

O GitHub Pages é uma excelente plataforma para hospedar sites estáticos, como blogs e documentação de projetos, oferecendo simplicidade e integração com repositórios GitHub. No entanto, para projetos que exigem conteúdo dinâmico, como mapas interativos e gráficos dinâmicos, criados com ferramentas como Folium e Streamlit, o GitHub Pages pode ser combinado com outras tecnologias. Embora o GitHub Pages em si seja ideal para hospedar conteúdo estático, é possível integrar funcionalidades dinâmicas ao site, utilizando APIs ou servidores externos para gerar e exibir interações como mapas e gráficos.

Outras bibliotecas podem ser utilizadas para aprimorar a funcionalidade e a experiência de usuário dos webmaps. Bibliotecas como Pandas e Geopandas são essenciais para a manipulação e análise de dados geográficos, enquanto bibliotecas como Plotly e Matplotlib podem ser utilizadas para a criação de visualizações adicionais. A integração dessas bibliotecas permite a criação de webmaps interativos ricos em funcionalidades e visualmente atraentes. (LAWHEAD, 2019)

A responsividade dos webmaps é outro aspecto crítico para garantir uma experiência de usuário consistente e satisfatória. A capacidade dos mapas de se adaptar a diferentes tamanhos de tela e dispositivos é essencial, uma vez que cada vez mais usuários acessam a internet por meio de smartphones e tablets. Técnicas de design responsivo e otimização de performance serão discutidas, abordando aspectos como a escolha de layouts, a utilização de media queries e a otimização de imagens e scripts.

Aliados estas tecnologias SIG WEB, as metodologias estatísticas como a estimativa de densidade Kernel (KDE), tem permitido avanços significativos na análise de padrões espaciais de ocupação e adensamento no Brasil. Métodos baseados em KDE fornecem visualizações precisas de áreas com diferentes densidades de ocupação, sendo amplamente utilizados para identificar zonas prioritárias para o planejamento territorial e planejamento das ações de saneamento nas áreas rurais. (BACKURS, INDYK e WAGNER, 2019).

Na análise territorial estadual, conforme Backurs, Indyk e Wagner (2019), a estimativa de densidade Kernel tem sido particularmente útil para identificar padrões de ocupação em áreas rurais dispersas. A escolha adequada do parâmetro de suavização (largura de banda) desempenha um papel central na eficácia do método, permitindo interpretações locais para ações de planejamento de Saneamento.

A estimativa de densidade Kernel é uma técnica estatística que permite criar mapas de calor, representando a concentração de eventos ou objetos em uma área espacial. Essa abordagem se baseia na aplicação de funções Kernel que suavizam a distribuição de dados, criando superfícies contínuas que representam densidades estimadas. (BACKURS, INDYK e WAGNER, 2019).

O KDE calcula a densidade de pontos (como edificações, centróides, ocorrências ou eventos) em uma região geográfica. Ele utiliza uma função chamada kernel para suavizar a distribuição dos dados, criando uma superfície contínua que representa a concentração de pontos no espaço. O KDE atribui um peso decrescente a cada ponto com base na distância do ponto de interesse. (BACKURS, INDYK e WAGNER, 2019). Onde:

$$f(x) = \frac{1}{nh^d} \sum_{i=1}^{n} K\left(\frac{\|x - x_i\|}{h}\right)$$

n: número total de pontos no conjunto de dados.

h: parâmetro de suavização ou "largura de banda", que determina o alcance da influência de cada ponto.

d: dimensionalidade do espaço

xi: localização de cada ponto no espaço.

K: função kernel, que define como os pesos são distribuídos em torno dos pontos.

A função kernel mais comum é a gaussiana, que atribui maior peso a pontos próximos ao ponto de interesse e menor peso a pontos distantes.

A largura da banda h é um parâmetro crucial no método KDE, pois controla o grau de suavização. Se h for muito pequeno, o mapa apresentará "picos" muito localizados, dificultando a identificação de padrões gerais. Se h for muito grande, a densidade será excessivamente suavizada, apagando detalhes importantes. Assim, a escolha adequada de h é essencial para a qualidade da análise. (BACKURS, INDYK e WAGNER, 2019).

Os dados publicados a partir da aplicação de KDE nas aplicações SIG WEB demostram que o adensamento rural tende a ser inverso ao de áreas urbanas interioranas com características metropolitanas. Enquanto as zonas rurais apresentam ocupação dispersa e com baixa densidade, os municípios interioranos com características urbanas revelam adensamentos significativos, refletindo padrões de urbanização associados a centros de serviços regionais.

O Cadastro Ambiental Rural (CAR) é um instrumento de regularização ambiental que foi criado com base no Código Florestal Brasileiro (Lei nº 12.651/2012) para identificar, monitorar e promover a regularização das propriedades e posses rurais no Brasil, garantindo que as propriedades estejam em conformidade com as exigências ambientais previstas na legislação.

Associar o Cadastro Ambiental Rural (CAR) a aplicações SIG (Sistemas de Informação Geográfica) baseadas na web, como Folium e Streamlit, pode ser uma excelente forma de visualizar, interagir e analisar dados geoespaciais relacionados a propriedades rurais e questões ambientais.

O CAR é um sistema baseado em dados geoespaciais, onde as propriedades rurais são mapeadas com informações sobre o uso do solo, áreas de preservação permanente, reservas legais, nascentes e outros dados ambientais. A integração do CAR com as biblbiotecas Python, o Folium e Streamlit, criam-se soluções interativas para visualização de dados geoespaciais e planejamento de ações de saneamento rural.

O Cadastro Ambiental Rural (CAR) ajuda a organizar e mapear as propriedades rurais, oferecendo um panorama do uso da terra e dos recursos naturais no cenário nacional onde as ações de infraestrutura são deficientes. Esse mapeamento facilita o planejamento de saneamento, permite identificar áreas com risco de poluição e ausência de saneamento. O Sistema de Cadastro Ambiental Rural (SICAR) pode ser utilizado para localizar regiões com falta de abastecimento público ou fontes de poluição que comprometem o abastecimento de água potável.

O Open Buildings v3, obtido através do Google Earth Engine (GEE), é uma base de dados geoespacial que fornece informações sobre a localização e a estrutura de edifícios. Essa base de dados foi criada pela Descartes Labs, em colaboração com a Google, utilizando imagens de satélite de alta resolução e Machine Learning para identificar e mapear edifícios de forma precisa. A versão 3 (v3) é uma atualização desse conjunto de dados, com melhorias em relação às versões anteriores. (SIRKO et al, 2021).

O Open Buildings v3 com ferramentas web SIG como Folium, Streamlit e GitHub é uma forma eficaz de criar aplicações interativas para visualização, análise geoespacial e juntas podem tornar a análise de dados geoespaciais ainda mais acessível e interativa.

Este estudo tem como objetivo investigar o uso integrado das bibliotecas Folium, Streamlit e outras ferramentas complementares para a criação de webmaps interativos, focando especialmente na aplicação de mapas de Kernels para análise do adensamento de edificações em áreas rurais, auxiliando no planejamento de saneamento. A integração de ferramentas de código aberto com metodologias estatísticas e dados geoespaciais contribuirá para a democratização e o acesso à informação.

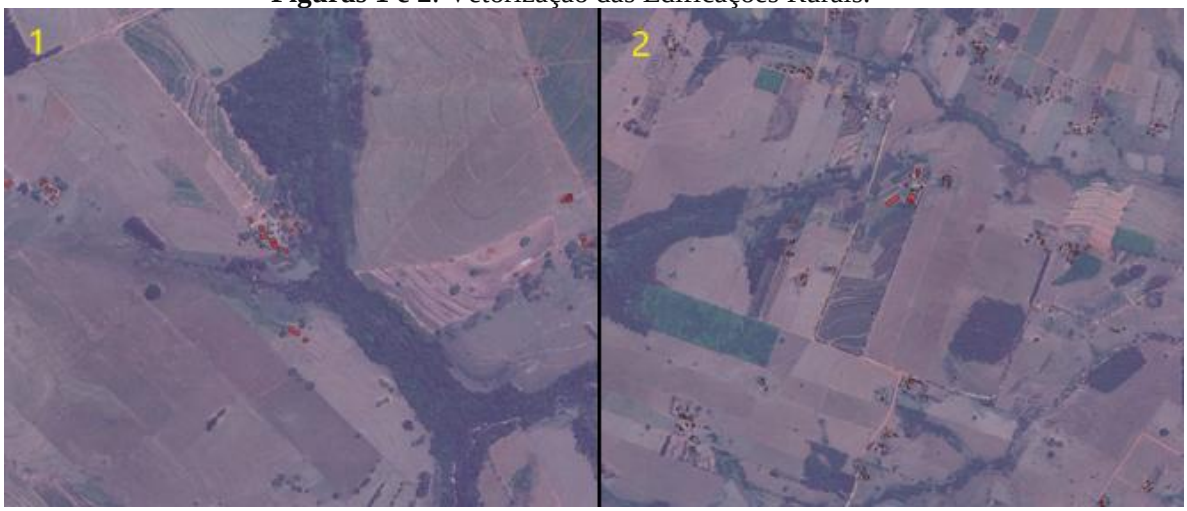
MATERIAIS E MÉTODOS

A primeira etapa da metodologia consiste na coleta de dados geográficos e de edificações. Esses dados foram obtidos a partir de diversas fontes, incluindo imagens de satélite de alta resolução, registros de edificações fornecidos por órgãos municipais e estaduais, e dados do Sistema de Cadastro Ambiental Rural (SICAR) e do Open Buildings V3 no Google Earth Engine.

A integração dessas diferentes fontes de dados é essencial para garantir a precisão e a abrangência das informações utilizadas na criação dos webmaps. As camadas do Estado de São Paulo foram obtidas em formato Shapefile a partir do Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural (SICAR). As áreas urbanas foram removidas utilizando a operação de Diferença Simétrica em ferramentas como QGIS ou ARCGIS Pro ®. Foi aplicada a ferramenta Dissolve para manter apenas as áreas rurais. Em seguida, as áreas rurais foram recortadas para selecionar somente os municípios operados pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp). Após a coleta de dados, as edificações das áreas rurais foram vetorizadas utilizando o Open Footprint Dataset no Google Earth Engine (GEE).

O GEE foi utilizado para vetorizar (Figuras 1 e 2) as edificações nas áreas rurais atendidas pela Sabesp. Para conhecer mais a aplicação feita para extração de edificações feita no Google Earth Engine. Os centroides das edificações foram calculados utilizando QGIS ou ARCGIS Pro para análises espaciais.

Figuras 1 e 2: Vetorização das Edificações Rurais.



Organização: Autores (2025)

O Open Buildings V3 com o Google Earth Engine permite a identificação automática de edificações a partir de imagens de satélite, enquanto o ArcGIS ® e QQGIS possibilitam a edição manual para corrigir possíveis erros de detecção. Os centroides das edificações foram calculados utilizando funções específicas do ArcGIS ® e QGIS, que permitem determinar o ponto central de cada polígono representando uma edificação. Utilizando ferramenta Kernel Maps, foram criados mapas de Kernel para visualizar a densidade de pontos centróides em áreas rurais (Figura 3).

Figura 3: Centróides dos vetores das Edificações.

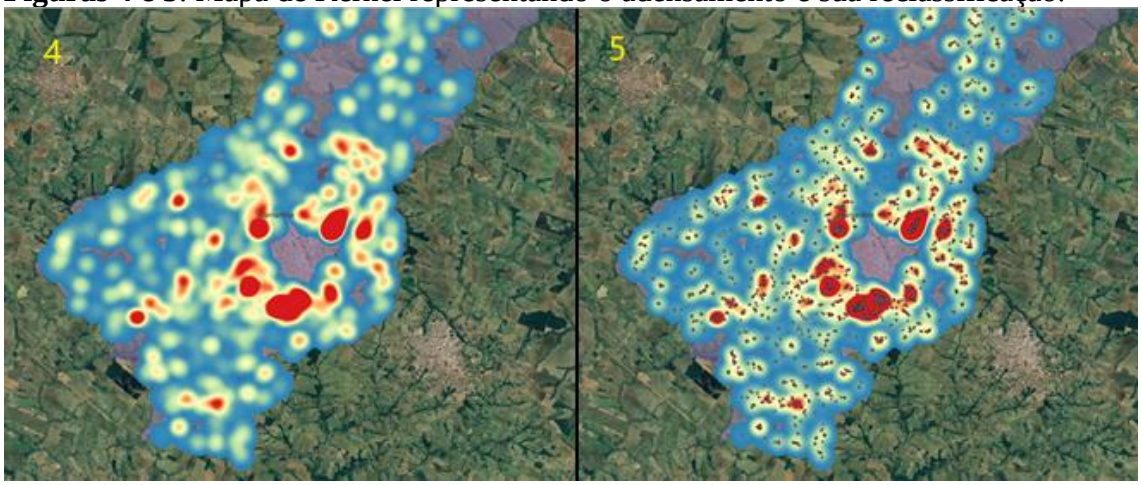
Organização: Autores (2025)

Os mapas de Kernel, também conhecidos como mapas de calor, são ferramentas poderosas para identificar regiões com maior concentração de edificações. Eles utilizam uma paleta de cores que varia de frias a quentes para indicar áreas de menor a maior densidade. As coordenadas obtidas do Open Buildings V3 foram utilizadas para gerar esses mapas, proporcionando uma visualização clara das áreas mais adensadas.

Os dados contínuos dos mapas de Kernel foram transformados em dados discretos para permitir a classificação das áreas. As imagens raster dos mapas de Kernel possuem dados contínuos, e o

processo de vetorização de um raster exige que esses dados sejam transformados em dados discretos (Figuras 4 e 5).

Figuras 4 e 5: Mapa de Kernel representando o adensamento e sua reclassificação.

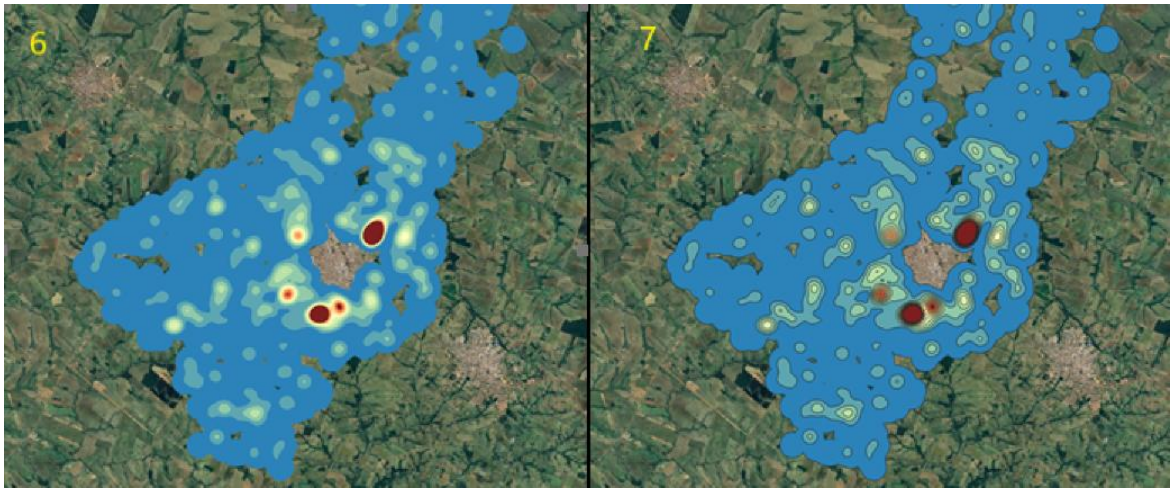


Organização: Autores (2025).

A reclassificação permite identificar claramente as áreas prioritárias para a prestação de serviços, destacando as regiões com maior densidade de edificações. Com base nos mapas de Kernel reclassificados, foram identificadas as áreas rurais adensadas prioritárias para a prestação de serviços. As áreas com classificação próxima a 10 foram identificadas como zonas rurais densamente povoadas, prioritárias para a universalização do saneamento (Figuras 6 e 7).

A Sabesp pode utilizar as classes-alvo para definir as zonas prioritárias para a implantação de projetos de saneamento. A partir da seleção das áreas mais adensadas, pode-se estabelecer mais uma etapa para criar uma envoltória convexa ou caixa delimitadora, a fim de determinar uma área mínima de vários fragmentos.

Figuras 6 e 7: Dados discretizados a partir do mapa de Kernel e a vetorização dos dados discretos.



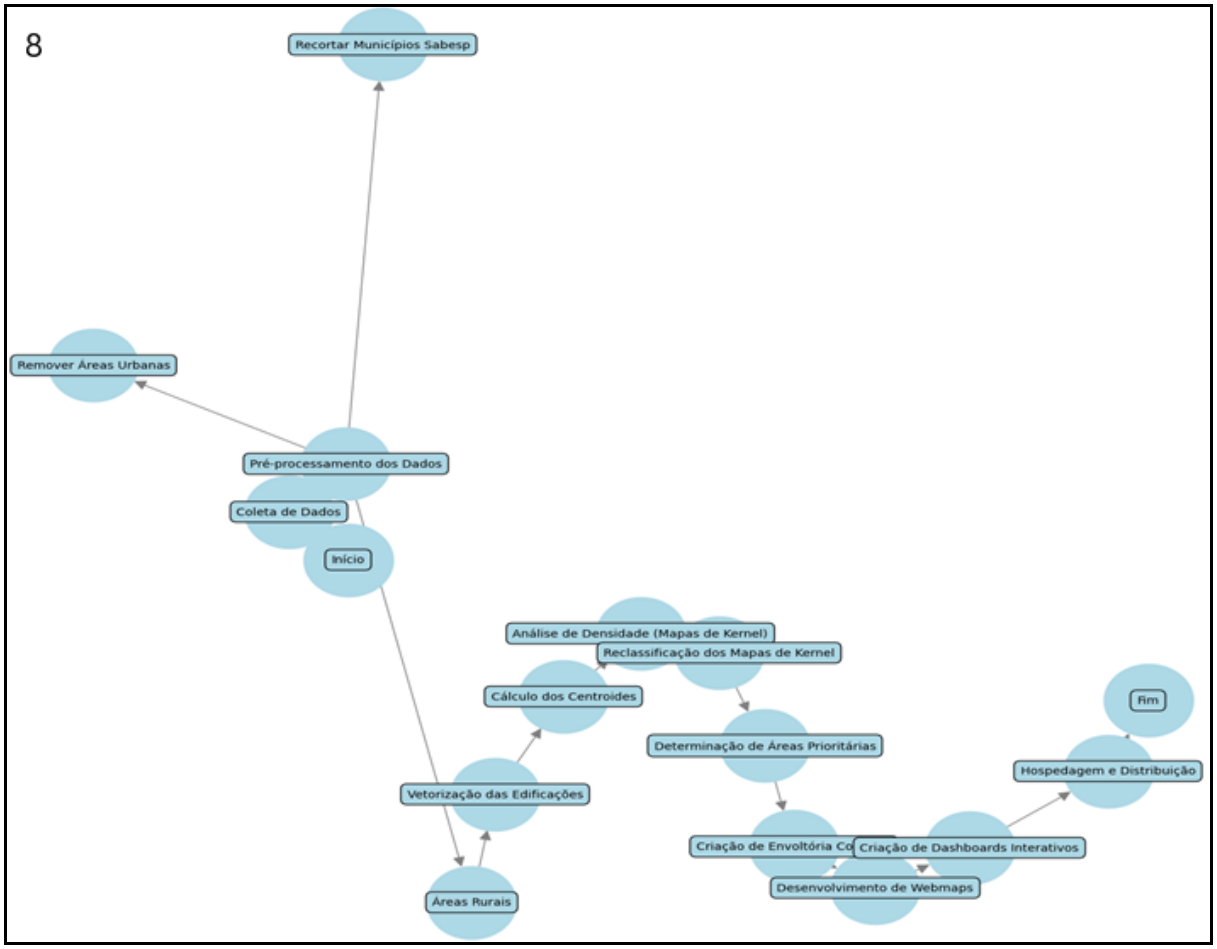
Organização: Autores (2025).

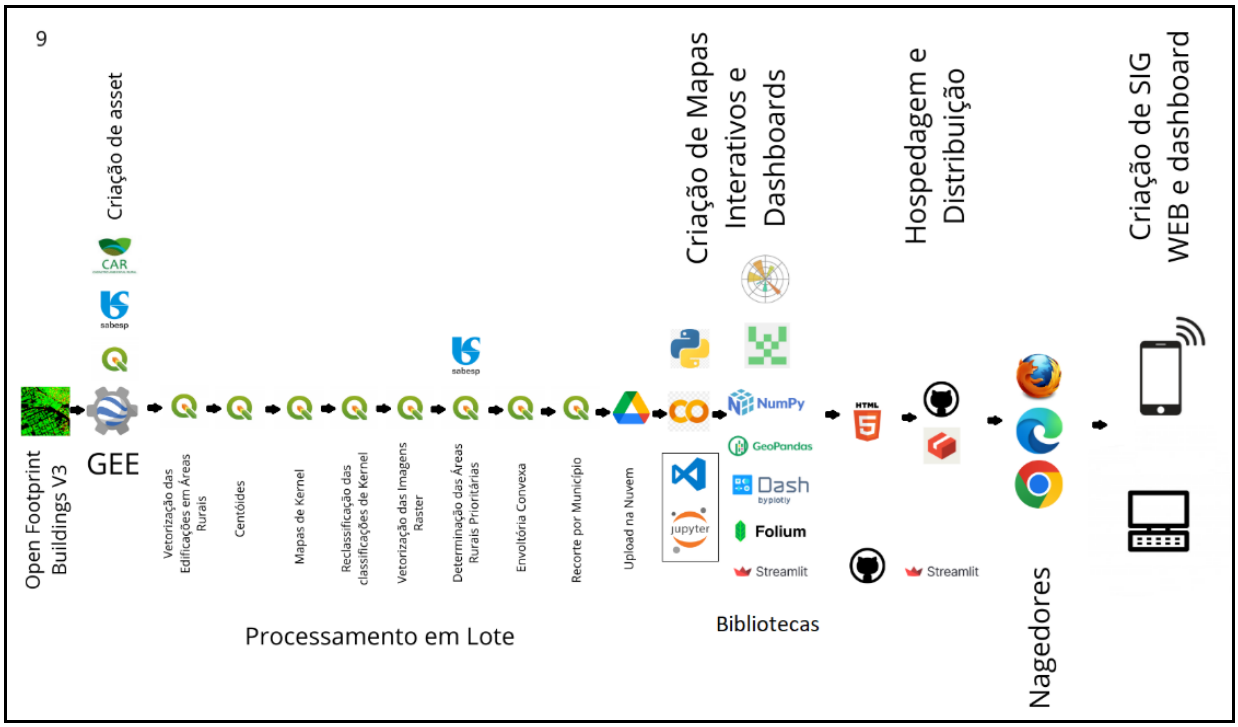
Os webmaps foram desenvolvidos (Figuras 8 e 9) utilizando a biblioteca Folium em Python. A simplicidade e flexibilidade do Folium tornam-no uma escolha popular para desenvolvedores que desejam criar webmaps sem a necessidade de conhecimentos avançados em desenvolvimento web.

Streamlit foi utilizado para a criação de dashboards interativos (figuras 08 e 09) que permitem a visualização e a interação com os webmaps desenvolvidos. Streamlit facilita a construção de interfaces web interativas diretamente a partir de scripts Python, permitindo a visualização de dados em tempo real e a interação com os usuários. A integração de dados dinâmicos permitiu a atualização em tempo real dos dashboards, refletindo mudanças e eventos à medida que ocorrem.

Os webmaps e dashboards interativos foram hospedados no GitHub Pages, uma plataforma gratuita que permite a hospedagem de sites estáticos diretamente a partir de repositórios GitHub (figuras 8 e 9). A combinação de Folium, Streamlit e GitHub Pages ofereceu uma solução eficaz e acessível para a criação e distribuição de webmaps interativos. Um repositório GitHub foi criado para cada webmap e dashboard, e os arquivos HTML foram carregados no repositório. O GitHub Pages foi ativado nas configurações do repositório, selecionando a branch que contém os arquivos HTML. O GitHub Pages forneceu uma URL onde os webmaps e dashboards estão disponíveis publicamente.

Figuras 8 e 9 – Fluxograma Metodológico e Fluxograma de conteúdos e aplicações



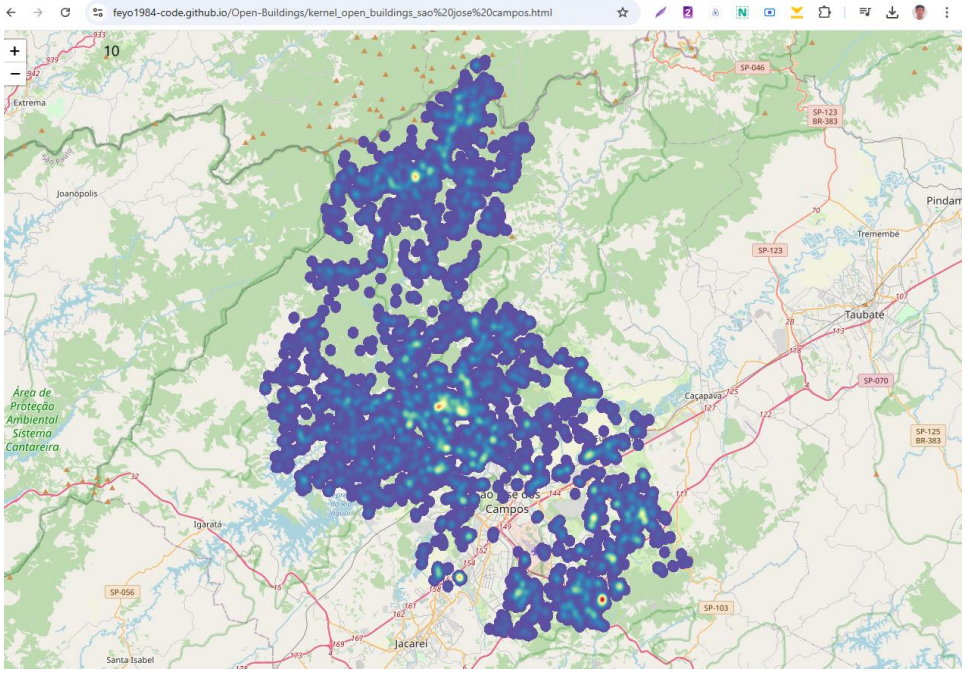


Organização: Autores (2025).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A página HTML (Figura 11), interativa que apresenta mapas de kernel (Figura 10) por município, desenvolvida utilizando as bibliotecas Folium e Streamlit, permite a visualização interativa dos mapas de kernel, onde os usuários podem explorar as áreas de maior e menor densidade de edificações em cada município.

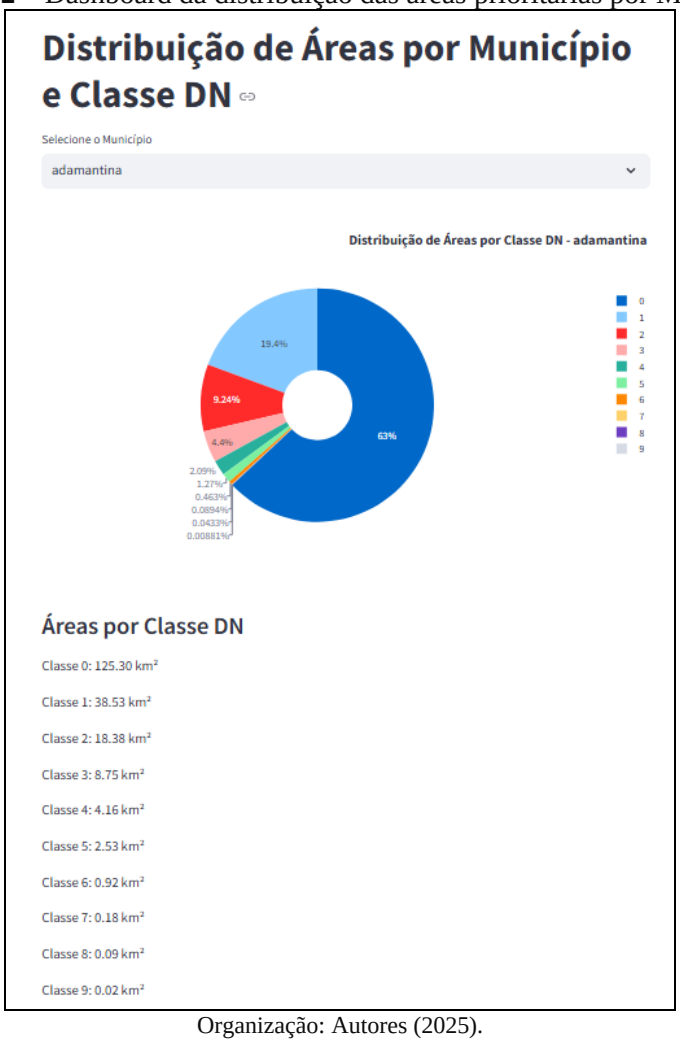
Figuras 10 e 11 – Mapa de Kernel de São José dos Campos e extrato da página HTML.



Organização: Autores (2025).

A análise dos municípios atendidos pela Sabesp pelos dashboards e mapas interativos revelou a possibilidade de agrupá-los com base nas características das áreas rurais, considerando a densidade populacional, distribuição espacial das edificações e extensão territorial. O uso dos mapas de Kernel auxilia na identificação e classificação dos adensamentos em áreas rurais, resultando em uma divisão estruturada que ajuda a compreender os padrões de ocupação e as demandas de saneamento. Foram identificadas quatro classes principais com base na densidade e no tamanho das áreas rurais.

Figura 12 – Dashboard da distribuição das áreas prioritárias por Município.



Organização: Autores (2025).

Pelo Dashboard foi possível observar que a classe abrange áreas rurais com alta densidade de edificações e pequenas extensões territoriais. Representam cerca de 12% das áreas rurais mapeadas e concentram aproximadamente 35% das edificações identificadas no levantamento. Municípios como Itu, Bragança Paulista e São Roque destacam-se por apresentarem concentrações significativas de edificações rurais próximas a centros urbanos.

Os dashboards revelam que essas regiões representam uma prioridade para a universalização do saneamento, devido ao elevado número de famílias em áreas densamente habitadas, que favorece a viabilidade econômica de sistemas centralizados. Os adensamentos médios variam entre 50 a 150 edificações/km², com áreas que não excedem 100 km².

Municípios classificados para densidades intermediárias, com adensamentos entre 20 e 50 edificações/km², em áreas maiores que a Classe 1, variando de 100 a 500 km². Cerca de 25% das áreas rurais do estudo pertencem a essa classe, abrigando aproximadamente 30% das edificações.

O uso de mapas de Kernel para identificar áreas com alta densidade de edificações e pequenas extensões territoriais, como Itu, Bragança Paulista e São Roque, está alinhado com as novas possibilidades de representação cartográfica visto em Mendonça, Schmidt e Delazari (2009), permitindo uma melhor cognição, compreensão dos padrões de ocupação e uma análise mais precisa e informada das necessidades de saneamento.

Os municípios de Botucatu, Itapeva e Presidente Prudente são exemplos dessa categoria. Embora as edificações sejam mais espaçadas, há aglomerados suficientes para justificar sistemas híbridos, com soluções descentralizadas complementando redes centralizadas em áreas mais concentradas. Essas regiões também apresentam desafios logísticos devido à dispersão relativa das edificações, conforme destacado por Filho, Lämlle e Moreira (2020).

Em regiões com densidades intermediárias, a aplicação de técnicas de SIG e geoprocessamento, conforme levantado por Filho, Lämlle e Moreira (2020), é essencial para planejar soluções alternativas. A análise espacial detalhada ajuda a identificar aglomerados de edificações e a desenvolver estratégias que combinam sistemas centralizados e descentralizados.

Os dashboard e os mapas interativos ajudam a identificar aglomerados de edificações e a desenvolver estratégias que combinam sistemas centralizados e descentralizados. destaca os desafios logísticos associados à dispersão das edificações, que são relevantes para a implementação de soluções de saneamento em áreas rurais extensas e de baixa densidade.

Essa classe com áreas rurais muito extensas, geralmente superiores a 500 km², com densidades inferiores a 20 edificações/km², representam 45% da área rural analisada e abrigam menos de 20% das edificações identificadas, indicando uma ocupação extremamente dispersa.

Os gráficos demonstram que municípios como Araçatuba, São José do Rio Preto e Barretos se encaixam neste último grupo, onde predominam propriedades rurais extensas e baixa densidade populacional. A prestação de serviços de saneamento nessas áreas apresenta maior complexidade e custos elevados, sendo necessárias soluções descentralizadas e sustentáveis, como biodigestores ou sistemas compactos.

Cerca de 18% das áreas rurais mapeadas estão próximas a centros urbanos e possuem densidade variável, com adensamentos de até 80 edificações/km² em áreas fragmentadas que raramente ultrapassam 50 km². Municípios como Campinas, São José dos Campos e Sorocaba são exemplos típicos dessa classe.

Nessas regiões, as áreas rurais apresentam forte influência urbana, com demandas de saneamento ligadas às periferias das cidades. A proximidade com redes de saneamento urbanas oferece uma oportunidade para expandir os serviços já existentes e atender as populações rurais adjacentes.

Os municípios analisados nos gráficos e dashboards mostram que as características das áreas rurais variam substancialmente em termos de densidade e extensão, o que exige estratégias personalizadas para atender as demandas locais. Em regiões densamente povoadas, é possível priorizar investimentos em redes de saneamento centralizadas, com alta relação custo-benefício. (COSTA, 2010).

Os municípios classificados como a mais urbanizada destacam-se pela interação entre áreas rurais e urbanas. A integração das redes de saneamento nessas regiões poderia atender rapidamente uma parcela significativa da população rural que ainda não possui acesso a serviços básicos, aproveitando a infraestrutura já existente.

Os resultados reforçam a importância de utilizar análises espaciais detalhadas para identificar prioridades de atendimento e desenvolver políticas públicas mais eficazes. Com base nessa classificação, poderão ser estabelecidas diretrizes regionais para expandir a universalização do saneamento, priorizando as áreas de maior vulnerabilidade e densidade populacional.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A publicação de um GIS Web desenvolvido com ferramentas de código aberto, como Python, Google Earth Engine (GEE), Streamlit, Geopandas, Folium, Matplotlib e GitHub, representa um marco significativo na democratização e acessibilidade de dados geoespaciais. Este trabalho demonstrou a viabilidade de construir uma aplicação interativa, robusta e funcional, sem a necessidade de softwares proprietários ou licenças comerciais, permitindo a disseminação de informações geográficas e estatísticas em um ambiente intuitivo e acessível.

A utilização dessas ferramentas livres e gratuitas possibilitou a integração eficiente de diferentes fontes de dados, o processamento geoespacial e a visualização interativa em uma interface amigável. Ferramentas como o Geopandas e o Folium facilitaram a manipulação e visualização de dados geográficos, enquanto o Streamlit proporcionou uma plataforma leve e flexível para o desenvolvimento da aplicação. Além disso, a integração com o GitHub garantiu a transparência do código e a possibilidade de colaboração em um ambiente de ciência aberta, promovendo a replicabilidade e a escalabilidade do projeto.

Do ponto de vista técnico, o uso do Python como linguagem central foi crucial para a implementação de análises geoespaciais avançadas, aproveitando a vasta gama de bibliotecas disponíveis para o tratamento de dados (como Pandas e NumPy), visualização gráfica (Matplotlib e Plotly) e construção de mapas dinâmicos (Folium e Geopandas). A inclusão do Google Earth Engine acrescentou um poderoso recurso para lidar com dados geoespaciais massivos e realizar análises de grande escala, complementando as funcionalidades da aplicação com capacidades robustas de sensoriamento remoto e monitoramento ambiental.

A publicação da aplicação em um ambiente acessível via web democratizou o acesso aos dados, permitindo que usuários, independentemente de sua expertise técnica, pudessem explorar informações geográficas e estatísticas. Isso é especialmente relevante em um contexto acadêmico ou institucional, onde a necessidade de compartilhamento de dados entre diferentes stakeholders é alta.

Os resultados destacaram o potencial transformador dessas tecnologias para a análise espacial ações de planejamento em saneamento. O desenvolvimento e a publicação da aplicação reforçam o papel do software livre na construção de soluções tecnológicas inovadoras e acessíveis, alinhadas aos princípios da ciência aberta.

Logo, planeja-se a expansão das funcionalidades da aplicação, incluindo suporte para dispositivos móveis, maior personalização das interfaces e integração de novos conjuntos de dados geoespaciais. Além disso, a validação contínua junto aos usuários será essencial para garantir que a aplicação atenda às demandas reais, tanto no que diz respeito às funcionalidades quanto à usabilidade.

Por fim, a publicação de um GIS Web utilizando Python e ferramentas associadas reafirma o compromisso com a criação de soluções tecnológicas e inclusivas, que facilitam o acesso, uso de informações geográficas e promovam a colaboração e a inovação no campo da geoinformação.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos às instituições e equipes envolvidas na coleta de dados e na realização deste estudo. A colaboração foi essencial para a conclusão e sucesso deste trabalho.

REFERÊNCIAS

BACKURS, A., Indyk, P., & Wagner, T. Scalable Fair Clustering. Proceedings of the 36th International Conference on Machine Learning, PMLR 97, 2019. Disponível em:

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Disponível em: Planalto.

BAKILLAH, M; LIANG, S. Open Geospatial Data, Software and Standards. Open Geospatial Data, Software And Standards. Germany, p. 0-1. 03 mar. 2016. Disponível em: https://opengeospatialdata.springeropen.com/articles/10.1186/s40965-016-0004-1. Acesso em: 22 jan. 2025.

COETZEE, S. et al. Open Geospatial Software and Data: a review of the current state and a perspective into the future. Isprs International Journal Of Geo-Information, [S.L.], v. 9, n. 2, p. 90, 1 fev. 2020. MDPI AG. http://dx.doi.org/10.3390/ijgi9020090. Disponível em: https://www.mdpi.com/2220-9964/9/2/90. Acesso em: 22 jan. 2025.

COSTA, B. S. Universalização do Saneamento Básico: utopia ou realidade. 2010. 301 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina Centro Tecnológico, Florianópolis, 2010. Disponível em: https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/94690/282108.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 29 jan. 2025.

FERNANDEZ, J. L. Interactive Python maps with Folium. 2020. Disponível em: https://joseluisfernandez.me/interactive-python-maps-with-folium/. Acesso em: 22 jan. 2025.

FILHO, J. M. D., LÄMLLE, N. B., & MOREIRA, N. B. Gerenciamento de Resultados por Decisões Operacionais no Novo Mercado do Brasil: Uma Análise da Influência de Auditorias Big Four e não Big Four. Revista de Gestão, Finanças e Contabilidade, 10(2), 04-21. Disponível em: Revistas UNEB.

JOHNS HOPKINS UNIVERSITY. Python-for-data-science-and-machine-learning-essential-training-part-1. 2024. Disponível em: https://imagine.jhu.edu/classes/python-for-data-science-and-machine-learn2ing-essential-training-part-1/. Acesso em: 22 jan. 2025.

LAWHEAD, J. Learning Geospatial Analysis with Python: Understand GIS fundamentals and perform remote sensing data analysis using Python 3.7. Packt Publishing Ltd. ISBN: 9781789957931.

MENDONÇA, A. L. A., SCHMIDT, M. A. R., & DELAZARI, L. S. Cognitive differences in navigation using allocentric cameras. Abstr. Int. Cartogr. Assoc., 6, 225. DOI: 10.5194/ica-abs-6-225-2023.

MOBASHERI, A. Open-source geospatial tools and technologies for urban and environmental studies. Open Geospatial Data, Software And Standards, Germany, v. 5, n. 5, p. 1-4, 21 dez. 2020. Disponível em: https://opengeospatialdata.springeropen.com/articles/10.1186/s40965-020-00078-2. Acesso em: 22 jan. 2025.

NATIONAL CENTER FOR ECOLOGICAL ANALYSIS & SYNTHESIS. UC Santa Barbara. Reproducible Research Techniques for Synthesis. 2019. Disponível em: https://learning.nceas.ucsb.edu/2019-11-RRCourse/index.html. Acesso em: 22 jan. 2025.

PEREZ-RIVEROL, Yasset et al. Ten Simple Rules for Taking Advantage of Git and GitHub. Plos Computacional Biology. United Kingdom, p. 0-0. 14 jul. 2016. Disponível em: https://www.biorxiv.org/content/10.1101/048744v3.full. Acesso em: 22 jan. 2025

SIRKO, W., KASHUBIN, S., RITTER, M., ANNKAH, A. A., BOUCHAREB, Y. S. E., DAUPHIN, Y., & Quinn, J. Continental-Scale Building Detection from High Resolution Satellite Imagery. arXiv preprint arXiv:2107.12283. DOI: 10.48550/arXiv.2107.12283.