

Formas Verdes Híbridas:

Uma Abordagem Metodológica para Espaços Livres em Toledo, Paraná.

SESSÃO TEMÁTICA: ET 03: DIMENSÃO BIOFÍSICA DO PROJETO, DO PLANEJAMENTO E DA
GESTÃO DA PAISAGEM

CATEGORIA: ARTIGO ACADÊMICO CIENTÍFICO

Autor: Dhyogo Santis Delfino

Coautor: Ricardo Dias Silva

Coautor: Danielle Santis Delfino

RESUMO

Este estudo propõe uma metodologia para a provisão e otimização de espaços livres urbanos em Toledo, Paraná, centrada em áreas vegetadas e fundamentada nos princípios de planejamento ecológico, morfologia urbana e ecologia da paisagem. A análise inicial incorpora características específicas como topografia, hidrologia, ecologia e recursos naturais. A ecologia da paisagem orienta a avaliação da conectividade e fragmentação, fundamentando a concepção com a aplicação de modelos híbridos. A análise morfológica, com base em tipologias, identifica áreas propícias para intervenção em Toledo. A metodologia propõe a combinação de tipologias, como *greenways*, *greenbelts* e *green wedges*. A avaliação, incluindo métricas de fragmentação e conectividade, auxiliados por linguagem de programação *Python*, pretende estabelecer rede integrada e diversificada, equilibrando qualidade de vida e preservação ambiental no contexto urbano. A integração de ferramentas baseadas no planejamento ecológico possibilita analisar a fragmentação e conectividade na paisagem, crucial para propor soluções coesas. Como resultado, união de Morfologia Urbana e Ecologia da Paisagem permitiu a criação de formas híbridas, baseadas em tipologias conhecidas, promovendo espaços livres adaptados ao equilíbrio entre vida social e meio ambiente. Este método de proposição de tipologias pode contribuir para a sustentabilidade, estimulando um ambiente saudável para as cidades.

PALAVRAS-CHAVES: Espaços Livres Vegetados; Morfologia Urbana; Ecologia da Paisagem; Toledo, Paraná; Métricas no *Python*.

ABSTRACT

This study proposes a methodology for the provision and optimization of urban open spaces in Toledo, Paraná, focusing on vegetated areas and grounded in the principles of ecological planning, urban morphology, and landscape ecology. The initial analysis incorporates specific features such as topography, hydrology, ecology, and natural resources. Landscape ecology guides the assessment of connectivity and fragmentation, underpinning the conception with the application of hybrid models. Morphological analysis, based on typologies, identifies suitable areas for intervention in Toledo. The methodology suggests the combination of typologies, such as *greenways*, *greenbelts*, and *green wedges*. The evaluation, including metrics of fragmentation and connectivity assisted by Python programming language, seeks to establish an integrated and diversified network, balancing quality of life and environmental preservation in the urban context. The integration of tools based on ecological planning enables the analysis of fragmentation and connectivity in the landscape, crucial for proposing cohesive solutions. As a result, the integration of Urban Morphology and Landscape Ecology has allowed the creation of hybrid forms, based on known typologies, promoting open spaces adapted to the balance between social life and the environment. This method of proposing typologies can significantly contribute to sustainability, fostering a healthier environment for cities.

KEYWORDS: Greenspace; Urban Morphology; Landscape Ecology; Toledo - Paraná; Python Metrics.



1 INTRODUÇÃO

A partir de 2050, segundo dados do relatório New Urban Agenda – ONU (2017), é esperado que a população urbana dobre, tornando a urbanização um tópico desafiador da contemporaneidade. Com isso, os centros urbanos, que concentram atividades sociais, culturais e econômicas, pressionam recursos naturais e o meio ambiente despertando-nos para a necessidade de uma aproximação entre sociedade e natureza (McHarg, 1969). A partir dessa previsão, é necessário que a sociedade atue com propostas e ações que permitam usos sustentáveis, estimulando formas e métodos que preservem recursos naturais e ajudem no desenvolvimento sustentável das cidades.

A cidade é estruturada desde sua origem pela interação entre o construído e o não construído. Este último, identificado por espaços livres, abrange áreas desprovidas de edificações, podendo ser vegetadas ou não. Esses espaços, categorizados como públicos ou privados, possuem o potencial em compor sistemas, melhorar o espaço urbano, trazendo vantagens ambientais, econômicas e sociais. O sistema de espaços livres (SEL) descreve as relações que estruturam e organizam os espaços livres em uma determinada área da cidade, em diferentes escalas, abrangendo sistemas locais e regionais (Macedo et al., 2012). A partir do desafio de desenvolver cidades sustentáveis, a Infraestrutura Verde torna-se um caminho para a melhoria da qualidade de vida urbana. De acordo com Mell (2017), o termo *Green Infrastructure*, ou Infraestrutura Verde, é utilizado para designar um sistema de espaços livres interconectados em rede. Caracteriza-se por áreas livres planejadas em sistema, que conservam ecossistemas naturais e benefícios para as pessoas e a vida selvagem, como ar e água limpos, presença de áreas de lazer e de conservação. Esses benefícios são denominados de serviços ecossistêmicos, servindo como parâmetro para medir a desempenho da infraestrutura verde (Matsler et al., 2021). Em áreas de crescimento acelerado, a Infraestrutura Verde pode ajudar a especificar as questões ambientais, promovendo melhor qualidade ao ambiente construído. A Infraestrutura Verde pode ser interpretada como *framework*, ou seja, conjunto de métodos e diretrizes onde aspectos de meio ambiente, saúde, sociais e econômicos serão a base para formação de um sistema de suporte à vida (Benedict & McMahon, 2006).

Este estudo busca aprofundar o entendimento das estratégias para o planejamento de espaços urbanos, apontando o estabelecimento de uma Infraestrutura Verde nas cidades. Baseado nas teorias da Ecologia da Paisagem e Morfologia Urbana, a escolha pela primeira se justifica pela gestão de estruturas ecológicas, explorando benefícios da diversificação e otimização de espaços livres. O estudo da Morfologia Urbana analisa as formas urbanas e suas transformações históricas, influenciando o ambiente e biodiversidade. Essas teorias, interligadas, podem formar uma base para estratégias eficazes de planejamento urbano.

A ecologia da paisagem, segundo Pellegrino (2006), investiga a estrutura da paisagem e suas funções ecológicas em diferentes escalas, caracteriza-se por compreender processos de conectividade, isolamento e fragmentação e seus resultados. Essa teoria é formada pela convergência de diversas disciplinas que, em abordagem holística, aprimorando processos naturais, econômicos e sociais. A ecologia da paisagem baseia-se na aproximação sistemática no manejo do ecossistema, apoiada no desenvolvimento científico recente (Forman, 1995; Nassauer & Faust, 2013). Em pesquisas recentes, a Ecologia da Paisagem, na perspectiva do planejamento espacial, investiga a simbiose de mecanismos ecológicos e sociais,



implementando diferentes tipos de experimentos, projetos para o desenvolvimento ambiental (Forman, 2008; Nassauer, 2012; Milovanović et al., 2020). O campo do *green space* segue a direção de estabelecimento de estratégias e métodos, campo voltado para a integração de campos do conhecimento (Marcus et al. 2020; Zou e Wang, 2021; Palazzo, 2022). Portanto, a Morfologia e a Ecologia da Paisagem podem ser utilizadas como abordagem para propor métodos e formas dos espaços livres, aperfeiçoando elementos naturais e urbanos.

A Morfologia Urbana versa sobre a leitura da forma e da organização das características da cidade em diferentes períodos, analisando alterações e transformações da forma urbana. A análise de planos urbanísticos, da ocupação do território e da paisagem construída possibilitam identificar as características das formas presentes no objeto de estudo, relatando a evolução, as alterações e as permanências na ocupação do território (Moudon, 2017). A morfologia pode ser utilizada como ferramenta para implementação dos aspectos tecnológicos e sustentáveis, na aplicação de conceitos, onde a sustentabilidade estaria condicionada a um conjunto de mudanças comportamentais, otimizando padrões de assentamento e território e uso de recursos naturais (Maretto, 2014). O estudo da forma pode ser utilizado para compreender tipologias e usos. Para a compreensão desses fenômenos, é importante a utilização de métodos que permitam sistematizar a complexidade espacial e os processos de formação urbana, utilizando o estudo da forma como método para compreender regras, formas e tipologias. Por aprimorar a percepção da estrutura espacial da cidade, os estudos sobre a forma física da cidade compõem a base da Morfologia urbana. Embora a abrangência de pesquisas sobre a forma física das cidades e discussões sobre esse tema, são necessários mais estudos que abordem a integração dos múltiplos conceitos da morfologia urbana e a ecologia da paisagem (Marcus et al., 2019).

A partir dessas duas teorias, estabeleceu-se a pergunta: como a morfologia urbana e a ecologia da paisagem podem ser utilizadas para estabelecer métodos para otimizar as formas dos espaços livres? Para responder a esse questionamento, este trabalho propõe método de análise dos espaços livres. Para isso, serão analisados e aplicado um método baseado na combinação entre os fundamentos da morfologia urbana e ecologia da paisagem. A partir dessas abordagens, serão sugeridas ferramentas e formas adequadas, com o intuito de contribuir com o planejamento urbano e promover a sustentabilidade ambiental. Dentre a diversidade de cidades brasileiras, as cidades médias têm se destacado em diversas áreas de estudo. Cidades médias são importantes para a rede urbana brasileira e a análise de seus dados, contribui para o ambiente urbano no país. São classificadas como centros urbanos que possuem entre 100.000 e 500.000 habitantes, situados entre as grandes metrópoles e as pequenas cidades. Embora essas cidades sejam consideradas importantes para o desenvolvimento regional, enfrentam diversos desafios ambientais (Lima Silveira et al., 2022). Esse fenômeno tem impulsionado o debate acadêmico em diversas áreas acerca das características específicas dessas cidades (Cocozza e Albieri, 2022). Assim, investigar o SEL nas cidades médias é uma forma de contribuir para seu desenvolvimento e de fornecer subsídios relevantes para o planejamento e a gestão das cidades médias.

No contexto da evolução das abordagens na interseção entre morfologia urbana e ecologia da paisagem, tem-se observado um notável surgimento de métodos inovadores nos últimos anos (Milovanović et al., 2020). Embora essas contribuições sejam valiosas e representem avanços significativos, é frequente encontrar aplicações específicas e complexas dessas metodologias,

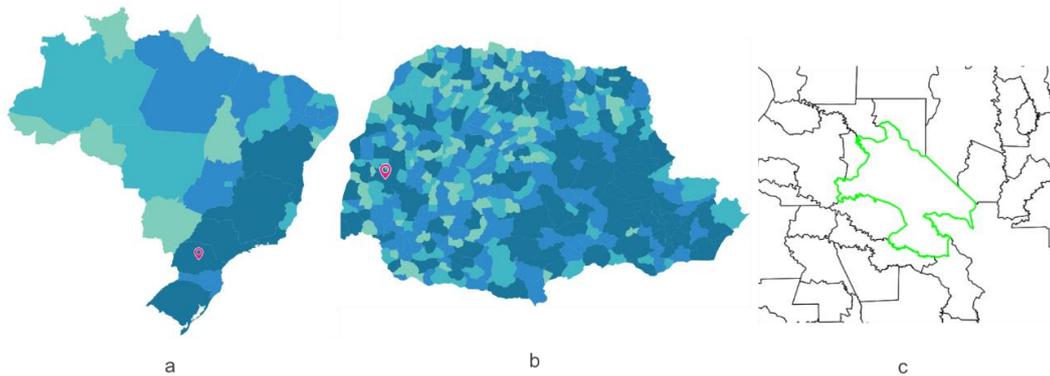


dificultando a adoção e replicação no cenário nacional. Este artigo propõe suprir essa lacuna ao apresentar método que favorece a análise da paisagem, viabilizando a concepção e manejo eficiente dos dados. Essa proposta se fundamenta na utilização de dados ambientais brasileiros disponíveis em plataformas de acesso público e em software estabelecido, tornando possível uma análise regional baseada em informações regularmente atualizadas, otimizando os meios de análise e tomada de decisão.

2 OBJETO

O município de Toledo, localizado na região Oeste do estado do Paraná, possui uma área territorial de 1.198,049 km² (fig.1). A população é estimada em 144.601 pessoas. Com base nesses dados, a densidade demográfica de Toledo é calculada em 99,68 habitantes por quilômetro quadrado (IBGE, 2020). A cidade teve seu núcleo urbano estabelecido durante a década de 1940, por meio do projeto de colonização da empresa Industrial Madeireira Colonizadora Rio Paraná S/A, conhecida como MARIPÁ (Grondin, 2007).

Figura 1 – Localização no Brasil (a), no estado do Paraná (b), e delimitação do município de Toledo PR. (c).



Fonte: Autor, baseada em IBGE (2023).

A cidade tem experimentado um rápido crescimento populacional e desenvolvimento socioeconômico, tornando-se um polo de referência para diversas atividades. Com seu desenvolvimento, algumas fragilidades ambientais foram identificadas nas áreas vegetadas analisadas de Toledo (tabela 1).

Tabela 1. Lista de fragilidades ambientais do município de Toledo.

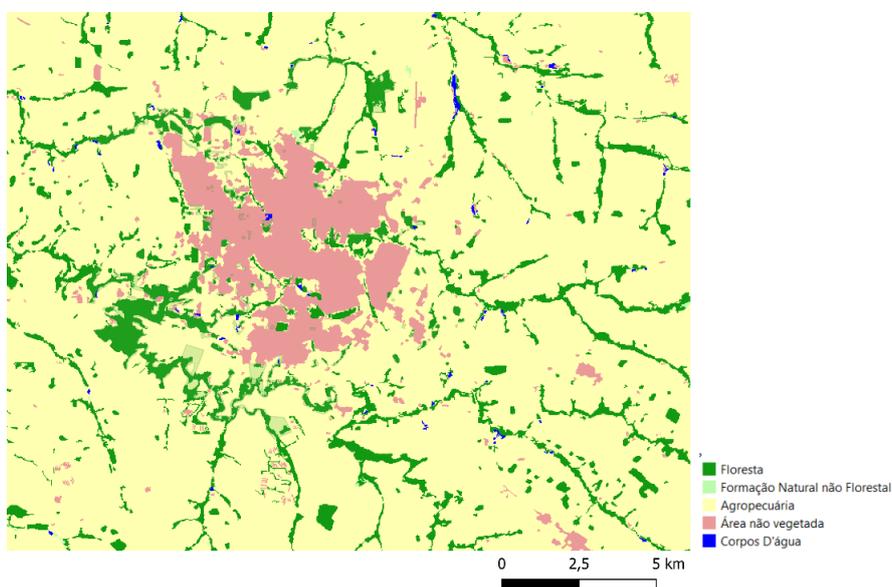
Fragilidades Ambientais Analisadas em Toledo:	
Nas Áreas Vegetadas:	
Ausência de mata ciliar em vários trechos de áreas de preservação permanente, que não compreendem os 30 metros de mata nativa.	Pereira, 2016;
Ocupações irregulares próximas aos rios em desacordo com o Código Florestal Brasileiro.	Pereira, 2016; Nogueira, 2017;

Áreas de preservação permanente com acumulação clandestina de resíduos, como lixo doméstico e entulhos de obras.	Neves,2013; Oliveira, 2016;
Arborização urbana e de parques com alta incidência de espécies exóticas e invasoras.	Plano de Biodiversidade de Toledo, 2016;
Na Expansão Urbana:	
A ocupação e uso do solo de Toledo apresenta sistemas florestais que se encontram fragmentados.	Plano de Biodiversidade de Toledo, (2016)
Ocorrência de decréscimo de vegetação arbustiva e aumento do solo exposto.	Ribeiro et al. (2018) Silva (2021)
Alta incidência de vazios urbanos, passíveis a se tornarem pontos de insegurança e espaços ambientalmente frágeis.	Kliemann, (2017)

Fonte: Autor, 2023.

A ausência de mata ciliar em diversos trechos de áreas de preservação permanente. Essas áreas, que deveriam abranger pelo menos 30 metros de mata nativa ao longo dos rios e corpos d'água, apresentam-se desprotegidas, comprometendo a função dessas faixas de vegetação em termos de estabilização de margens, conservação da biodiversidade e filtragem da água (Pereira, 2016). Utilizando a base do Mapbiomas¹, tem-se a caracterização espacial de Toledo – PR (figura 2).

Figura 2 – Mancha urbana de Toledo como área não vegetada e mapeamento de características ambientais da região, baseada nos dados do Mapbiomas.



Fonte: Autor, baseado em Mapbiomas, 2023

Ocupações irregulares são identificadas em áreas próximas aos rios, o que está em desacordo com o Código Florestal Brasileiro. Essas ocupações representam uma ameaça à integridade dos

¹ O MapBiomas realiza anualmente o mapeamento da cobertura e do uso da terra, monitorando mensalmente desde 1985. O programa valida e elabora relatórios para cada evento de desmatamento identificado no Brasil desde janeiro de 2019. <https://mapbiomas.org>.

ecossistemas marginais e podem comprometer a qualidade e disponibilidade dos recursos hídricos (Pereira,2016); (Nogueira, 2017) As áreas de preservação permanente que sofrem com a acumulação clandestina de resíduos, como lixo doméstico e entulhos de obras. Essa prática prejudica a saúde ambiental como a qualidade de vida da população, comprometendo a beleza e a funcionalidade dessas áreas (Neves, 2013); (Oliveira, 2016).

O Plano de Biodiversidade de Toledo (2016) revela uma prevalência significativa de espécies exóticas e invasoras na arborização urbana e parques, indicando impactos negativos na biodiversidade local e no equilíbrio dos ecossistemas. Desafios relacionados à ocupação urbana, principalmente em áreas de fragilidade ambiental, são evidentes, resultando em consequências adversas para o equilíbrio ecológico (Silva, 2021). A diminuição da vegetação e o aumento do solo exposto agravam a degradação ambiental, com potencial para prejudicar a qualidade do ar, a conservação do solo e a diversidade de espécies (Plano de Biodiversidade de Toledo, 2016). A presença significativa de vazios urbanos preocupa devido ao potencial de insegurança e fragilidade ambiental (Kliemann, 2017). A revitalização desses espaços é crucial, integrando-os de maneira sustentável ao ambiente urbano.

As formas de ocupação e uso do solo na cidade têm resultado em sistemas florestais fragmentados Plano de Biodiversidade de Toledo, (2016). A conversão dessas áreas em assentamentos ou em locais intensamente utilizados tem levado à formação de segmentos isolados de habitat e ecossistemas, prejudicando a conectividade entre os elementos da paisagem, conforme demonstrado na figura 3:

Figura 3. Destaque para os espaços livres vegetados na região de Toledo, excluindo áreas agricultáveis.



Fonte: Autor, baseado em Google Earth, 2023.

Essas fragilidades apontam para a necessidade de medidas de conservação e restauração ambientais, visando proteger e preservar as áreas vegetadas, promover o cumprimento da legislação ambiental e garantir espaços livres e áreas urbanas sustentáveis. Por esses problemas, é fundamental que sejam implementadas estratégias de planejamento e gestão urbanas que considerem a preservação e recuperação dos espaços naturais, a promoção da conectividade ecológica. A conscientização e ações coletivas são essenciais para garantir um desenvolvimento urbano equilibrado e sustentável em Toledo.

3 METODOLOGIA: PLANJEAMENTO ECOLÓGICO E ANÁLISE DA FORMA

No planejamento ecológico, a análise prioriza a identidade local, a recuperação das formas naturais e o equilíbrio entre a natureza e a sociedade, conforme McHarg (1969). Consideram-se diversos fatores, como topografia, hidrologia, ecologia e recursos naturais. Um dos objetivos é identificar e delimitar áreas que necessitam de uma proteção especial devido à sua relevância ambiental ou fragilidade. Dentre os processos de fragilidade, destacam-se a fragmentação da paisagem, que ocorre devido à conversão e desenvolvimento de áreas em assentamentos humanos ou em áreas intensamente utilizadas. Essa fragmentação resulta na formação de segmentos isolados de habitat e ecossistemas, causando interrupção das conexões ecológicas existentes entre os elementos da paisagem que estão separados espacialmente (Forman,1995).

Em comparação com outras abordagens metodológicas presentes na literatura, este estudo se insere no contexto da investigação da performance espacial de áreas urbanas, em linha com propostas semelhantes encontradas em estudos como o de Masoudi (2019) e Lai (2018). Por exemplo, Li (2019) emprega uma metodologia semelhante para a consolidação de políticas visando moldar uma forma urbana sustentável, enquanto Akyol et al. (2022) fundamentam sua análise nos métodos da ecologia da paisagem, aplicados em escala de grandes cidades. Pezzagno (2021), ao investigar padrões espaciais de espaços livres, identifica predominantemente formas fragmentadas e compactas. Esses estudos compartilham o objetivo de considerar a heterogeneidade dos espaços livres urbanos, visando sistematizar a complexidade espacial e identificar processos urbanos e ecológicos de maneira coerente. Estes empregam o geoprocessamento como ferramenta base, abordando diferentes variáveis no estudo da forma e ecologia urbanas. No entanto, podem oferecer desafios na implementação, como a dificuldade em replicar suas metodologias em diferentes panoramas e escalas, e na adaptação desses métodos à realidade brasileira, aspecto que a metodologia proposta neste artigo procura otimizar.

Para analisar a fragmentação de espaços livres, aplicaram-se princípios da Ecologia da Paisagem, empregando métricas para avaliar a estrutura e os padrões espaciais dos fragmentos na paisagem. Desenvolveu-se um código em Python² para a leitura de arquivos (*shapefile*) contendo informações sobre os espaços livres vegetados, com base nos dados da coletânea Mapbiomas. O código³, criado para abordar a problemática apresentada, foi concebido no ambiente de desenvolvimento *Visual Studio Code*⁴, para a elaboração e otimização.

² *Python* é uma linguagem de programação versátil e de alto nível, conhecida por sua sintaxe clara e legibilidade. Amplamente utilizada em desenvolvimento de software, ciência de dados, automação e aprendizado de máquina, Python oferece uma vasta gama de bibliotecas e frameworks. Sua comunidade ativa e suporte robusto contribuem para sua popularidade e eficácia em diversas áreas da computação (PYTHON, 2023).

³ O código desenvolvido está disponível para acesso no *GitHub*. Pode-se encontrá-lo em [<https://github.com/dsdelfino/Formas-Hibridas.git>]. Este repositório inclui a implementação em *Python*, acompanhado de informações detalhadas sobre como reproduzir a análise e os resultados obtidos.

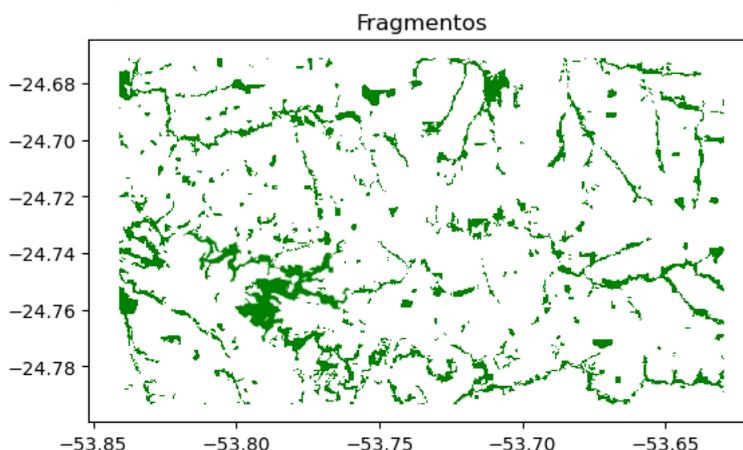
⁴ *Visual Studio Code* é um ambiente de desenvolvimento integrado (IDE) leve e altamente personalizável, desenvolvido pela Microsoft. Ele oferece suporte a várias linguagens de programação.

3.1 Ecologia da paisagem: análise de fragmentação

O processo de análise dos fragmentos compreende diversas etapas. Inicia-se com a análise dos fragmentos. Em seguida, são calculadas várias métricas, como área, perímetro, índice de forma e razão de compacidade. As métricas calculadas são exibidas, incluindo a apresentação de histogramas da área e da razão de compacidade dos fragmentos. Em seguida, ocorre o ordenamento e a visualização das manchas, destacando aquelas de maior e menor fragmentação. Há a opção de exportar as manchas de maior e menor fragmentação como *shapefiles*, que são arquivos com as formas das manchas. A etapa seguinte engloba o cálculo e a exibição da conectividade e da densidade dos fragmentos. Por fim, o processo identifica e plota os fragmentos isolados, proporcionando uma análise detalhada da distribuição e características dos fragmentos.

O código apresentado realiza uma análise dos fragmentos de uma paisagem utilizando a biblioteca *GeoPandas*, usada para manipulação e análise de dados geoespaciais. O *matplotlib.pyplot* é uma biblioteca para a criação de gráficos e visualizações. Como resultado dessa análise, são calculadas métricas como área, perímetro, índices de forma e razão de compacidade dos fragmentos. Essas métricas são importantes para compreender a configuração e a forma dos fragmentos e sua relação com a conectividade e a qualidade do habitat. A imagem é resultado da análise inicial, contendo a formação dos fragmentos totais detectados (fig.4).

Figura 4 –Dados de fragmentos detectados pela análise da forma dos espaços vegetados de Toledo. Foram identificados 374 fragmentos isolados.



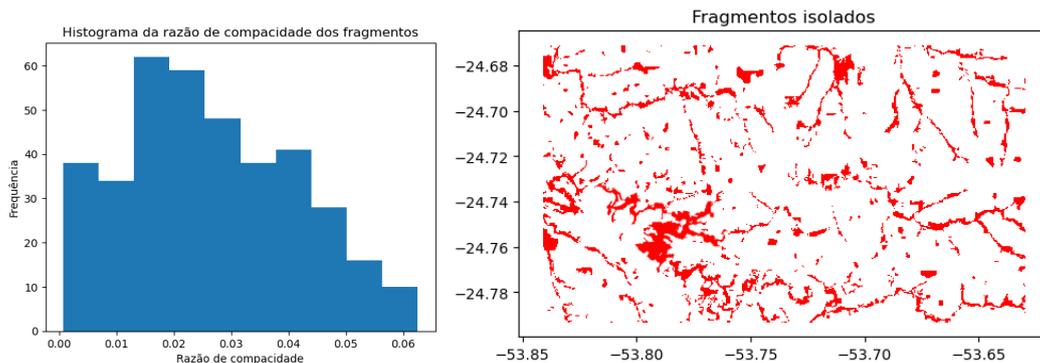
Fonte: Autor, 2023.

A fragmentação da paisagem é reconhecida como uma ameaça à biodiversidade, causando perda de conectividade entre os *habitats*, como destacado por Córdova-Lepe et al. (2018). Esse processo resulta em uma diminuição do espaço disponível para as espécies. A fragmentação pode levar a mudanças na estrutura do ecossistema, afetando a disponibilidade de recursos e aumentando a vulnerabilidade das populações, sendo necessário abordar os impactos da fragmentação da paisagem para preservar e conservar a biodiversidade



A área do fragmento é de 1,428. O perímetro do fragmento é de 0,331478. O índice de forma do fragmento é de 0,005201. O índice de forma é uma medida da forma do fragmento. Um índice de forma alto (fig.5) significa que o fragmento é alongado (Jia et al., 2019); (Turner et al., 2001). Os dados demonstram a predominância de áreas vegetadas em espaços de preservação, enquanto a presença de grandes áreas é infrequente, ressaltando a importância da conservação e proteção dos espaços existentes.

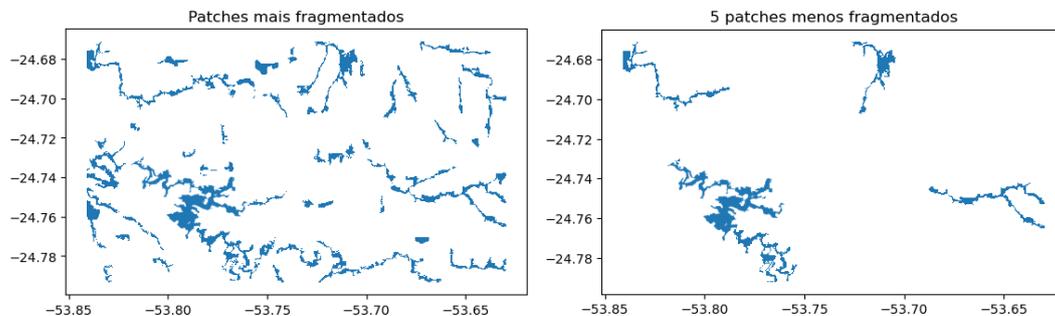
Figura 5 – Histograma de razão de compacidade dos fragmentos e distribuição dos fragmentos isolados.



Fonte: Autor, 2023.

A análise dos dados permitiu identificar e delimitar as áreas fragmentadas (fig.6), fornecendo uma base de dados que auxilia na definição de prioridades de conectividade e na identificação das áreas que necessitam de proteção. Essa abordagem contribui para o planejamento ecológico e o estabelecimento de estratégias de conservação, visando a minimização dos impactos da fragmentação da paisagem e a promoção da conectividade entre os *habitats*.

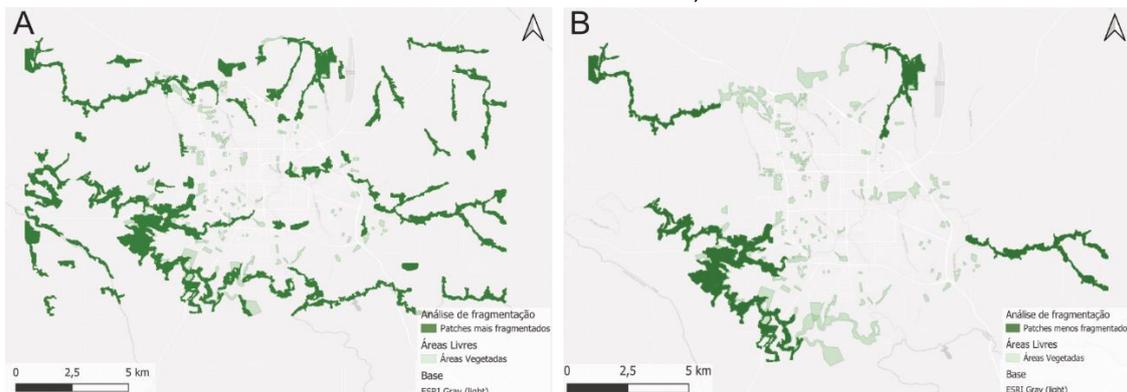
Figura 6 – Análise das manchas (*patches*) com maior e menor fragmentação.



Fonte: Autor, 2023.

A delimitação das áreas a serem protegidas com base nos fragmentos identificados subsidia a implementação de medidas de manejo e restauração específicas, como o desenvolvimento urbano adequado, reduzindo os efeitos da fragmentação da paisagem (fig. 7). Essas ações visam promover a integridade dos ecossistemas, a conservação da biodiversidade e a melhoria da qualidade de vida da população. Ao considerar as características dos fragmentos e sua conectividade, é possível direcionar os esforços para a criação de corredores ecológicos, a recuperação de áreas degradadas e a implementação de medidas de planejamento que favoreçam a preservação ambiental.

Figura 7 – Análise de fragmentação demonstrando áreas livres com maior (A) e menor (B) fragmentação na malha urbana de Toledo, PR.



Fonte: Autor, 2023.

A disponibilidade de análises quantitativas e visuais dos fragmentos de áreas verdes proporcionadas por código pode ser considerada uma vantagem significativa. Facilitando a compreensão detalhada da distribuição, conectividade, densidade e características das manchas. Essas informações podem auxiliar nas decisões em termos de planejamento e gestão ambiental.

O código possibilita a exportação das manchas verdes de maior e menor fragmentação, como arquivos separados para posterior análise ou visualização em software GIS é uma vantagem adicional. Facilita a observação dos resultados com outras ferramentas, facilitando análise personalizada dos dados. No geral, a análise subsidiada por código é positiva, oferecendo recursos para a avaliação e monitoramento dos fragmentos de áreas verdes, auxiliando na conservação e no manejo dessas áreas.

3.2 Análise da forma: tipo morfológica.

A morfologia urbana, segundo Barke (2018), tem como objetivo a análise das formas existentes e aprimoramento das futuras. Nesse contexto, é fundamental considerar a estrutura urbana, que engloba elementos como ruas, quadras, lotes e edifícios. A abordagem morfológica auxilia a análise e categorização das tipologias de espaços livres, proporcionando meios para a identificação de padrões, como áreas verdes, espaços vazios ou com potencial para intervenção e desenvolvimento de espaços livres (Pezzagno et al. (2021); (Mobaraki & Vehbi, 2022); (Lehner & Blaschke, 2019)). Essa abordagem contribui para a compreensão e aprimoramento do ambiente urbano, promovendo o planejamento e o desenvolvimento sustentável das cidades.

A análise morfológica urbana das ruas, lotes e edifícios tem sido a ferramenta importante ao estudar o sistema urbano. Para Pezzagno et al. (2021), ao ser aplicada aos espaços abertos, pode estabelecer as bases para análise dos espaços abertos do ambiente urbano. A soma dos espaços verdes, informais e formais, define as configurações repetitivas desses espaços denominadas como padrões espaciais urbanos verdes. A análise foi aplicada em Toledo, identificando as tipologias sugeridas na metodologia, com os seguintes padrões demonstrados na tabela 2. Baseado nas tipologias, a tabela demonstra os tipos predominantes de espaços vegetados em Toledo, com a distribuição e subcategoria de forma.



Tabela 2 – Tipos de espaços livres de Toledo, baseados em Pezzagno et al. (2021).

Tipo de distribuição	Descrição	Subcategoria de forma espaço livre	Exemplo gráfico
Distribuição linear	Áreas caracterizadas por uma forma alongada e irregular	Vertical ou horizontal Cinturão Corredores	
Distribuição fragmentada	Áreas dispersas caracterizadas por formas regulares ou irregulares.	Maiores e dispersas Menores e dispersas	
Distribuição compacta	Grandes áreas verdes caracterizadas por baixo nível de fragmentação.		

Fonte: Autor, 2023.

A identificação de tipologias de espaços livres, auxilia na compressão dos padrões existentes, distribuição e caracterização das áreas vegetadas da cidade. Com esses dados a sugestão de formas e combinações é facilitada. Como exemplo, as áreas de distribuição compacta, com baixo nível de fragmentação podem servir de áreas de conservação e conexão entre outras tipologias, sendo possível a conexão com *greenways* e *green wedge*. As áreas com maior fragmentação e dispersão, necessitam de conexões e maior atenção. A identificação de tipologias espaços livres podem ser avaliados como ferramenta importante ao considerar áreas verdes como parte relevante do sistema urbano. Há o potencial em otimizar os fatores que contribuem para o desenvolvimento de abordagens voltadas a cidades resilientes.

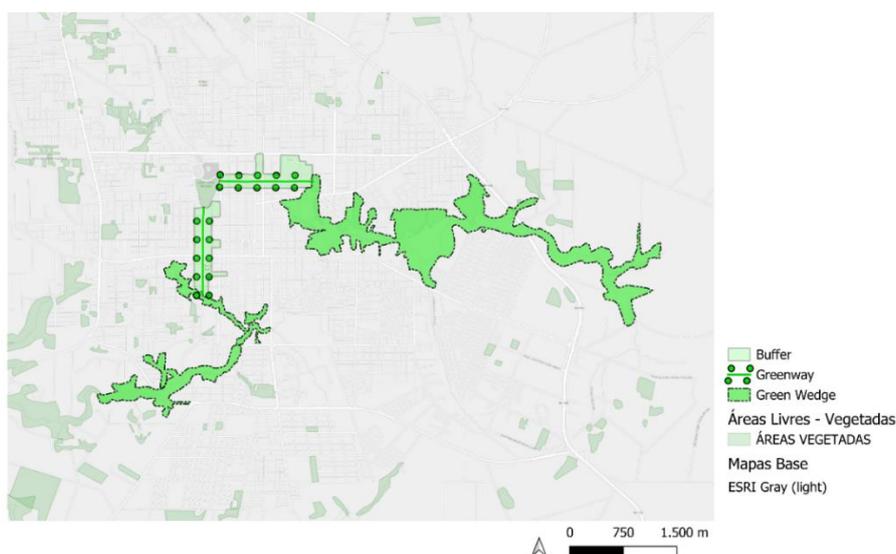
4 RESULTADO: FORMAS HÍBRIDAS PARA ESPAÇOS LIVRES.

Com base nas etapas anteriores, que incluem a identificação do nível de fragmentação, conectividade e formas existentes, o método é aplicado. Isso envolve a combinação de tipologias como *greenbelt*, *greenway* e *green wedge*, adaptadas às características e oportunidades do contexto urbano em estudo. O objetivo é diversificar as formas de espaços livres, considerando aspectos ambientais e sociais. Para aumentar a aplicabilidade do método, Ahern (2022) propõe uma abordagem oportunista, identificando oportunidades em locais inesperados e usando estratégias para implementar tipologias de espaços livres. Isso inclui a reutilização de infraestruturas subutilizadas, aproveitamento de lotes vazios e adaptação de espaços existentes. Esses princípios otimizam os espaços urbanos e guiam a proposição do método.

Modelos híbridos de planejamento oferecem uma abordagem holística e integrativa, combinando diferentes tipos de modelos de espaços livres, como o *green wedge*, *greenbelt*, *greenway*. Ao coexistirem, os diferentes modelos de planejamento permitem aproveitar os benefícios individuais, complementando as vantagens e desvantagens. Dessa forma, a aplicação isolada de cada modelo separado é insuficiente. É necessário adotar abordagens que integrem e explorem em conjunto o potencial dos diferentes modelos, promovendo uma perspectiva compreensiva no planejamento de espaços livres (Lemes De Oliveira & Mell, 2019). Com base nos conceitos apresentados, a sugestão proposta para a área central de Toledo, é a adoção de uma forma híbrida de conectividade, que combina o estabelecimento de *green wedges* (cunhas verdes) com o uso de *greenways* (corredores verdes). Nessa aplicação, o objetivo é conectar duas áreas de menor fragmentação por meio dos *green wedges*, enquanto os *greenways* proporcionam conectividade e multifuncionalidade em nível intermediário.

A combinação é considerada adequada para a conexão entre áreas urbanas, de acordo com a matriz espacial de planejamento híbrido (Lemes De Oliveira & Mell, 2019). Essa estratégia visa promover a integração de áreas verdes e a conservação da biodiversidade, atendendo necessidades urbanas e sociais. A imagem demonstra o resultado da aplicação da combinação de abordagens, como proposição para a área central de Toledo (fig.8).

Figura 8 - Proposta de formas de espaços livres para o centro de Toledo, PR.





Com o objetivo de formar um sistema de espaços livres, o caminho do *greenway* foi calculado pela menor distância possível, baseada na forma e disposição de quadras e ruas. A zona de buffer ou amortecimento, é desenhada para agregar os espaços existentes no caminho, como praças, formando uma área de suporte. Os resultados podem auxiliar o entendimento desses campos sobre os espaços livres, como apresenta um esforço de interação entre eles. O surgimento de novos procedimentos e métodos para análises morfológicas (Ye, 2018), baseados em combinação de ferramentas como o SIG/GIS (sistema de informação geográfica) e análise de índices como acessibilidade, tipologias e densidades, ajudam na quantificação de formas. Logo, a identificação de métodos que permitam sistematizar a complexidade espacial dos processos urbanos e ecológicos se faz necessária.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A combinação de ferramentas e métodos, como o planejamento ecológico e a ecologia da paisagem, promove a análise da fragmentação e conectividade na paisagem. O conhecimento e a aplicabilidade dos diferentes tipos de espaços livres predominantes são fundamentais para propor soluções que aumentem a coesão espacial e ambiental. Pela combinação entre Morfologia Urbana e Ecologia da paisagem foi possível propor formas híbridas, combinando diferentes tipologias de espaços livres, como *greenways*, *green wedges* e *green belts*, sugerindo espaços livres adaptados ao equilíbrio entre a vida social e o meio ambiente.

No cenário atual, há um aumento no desenvolvimento de abordagens que exploram a relação entre morfologia urbana e ecologia da paisagem. Embora muitas dessas metodologias apresentem complexidade e relações específicas com seus objetos, esta pesquisa apresenta proposta eficiente para analisar a paisagem urbana, utilizando dados ambientais abertos do Brasil e software de uso público, assessorando na compreensão espacial dos espaços livres urbanos.

Ao comparar essa abordagem com outras da literatura, percebe-se uma convergência de objetivos e ferramentas. Estudos anteriores compartilham o objetivo de entender a complexidade dos espaços livres urbanos, utilizando o geoprocessamento como ferramenta principal. No entanto, todos enfrentam desafios semelhantes, como adaptação para diferentes contextos e escalas. Assim, a metodologia proposta neste estudo busca superar esses desafios e fornecer uma análise espacial aplicável ao contexto urbano brasileiro. Ao desenvolver um método de proposição de tipologias de espaços livres, a combinação dessas abordagens oferece contribuição para a promoção da sustentabilidade e a criação de um ambiente equilibrado e saudável para todos.

REFERÊNCIAS

AHERN, Jack. Opportunistic Urban Greenways: typologies, precedents and challenge. *In: OPPORTUNISTIC URBAN GREENWAYS*, 2022. **Proceedings of the Fábos Conference on Landscape and Greenway Planning**. 2022. p. 32.

AKYOL ALAY, M. A landscape scenario development to enhance ecological integrity in landscape planning. **A/Z ITU Journal of the Faculty of Architecture**, [s. l.], 2022.



BARKE, M. The importance of urban form as an object of study. **Urban Book Series**, [s. l.], p. 11–30, 2018.

BENEDICT, Mark A.; MCMAHON, Edward. **Green infrastructure: linking landscapes and communities**. Washington, DC: Island Press, 2006.

COCOZZA, Glauco De Paula; ALBIERI. **Sistemas de Espaços Livres em Cidades Médias Brasileiras**. Editora Sibipiruna, 2022.

CÓRDOVA-LEPE, Fernando; DEL VALLE, Rodrigo; RAMOS-JILIBERTO, Rodrigo. The process of connectivity loss during habitat fragmentation and their consequences on population dynamics. **Ecological Modelling**, [s. l.], v. 376, p. 68–75, 2018.

FAUST, Chris; NASSAUER, Joan Iverson. **Placing Nature Culture and Landscape Ecology**. [S. l.], 2013.

FORMAN, Richard T. T. **Urban Regions: Ecology and Planning Beyond the City**. Cambridge, UK; New York: Cambridge University Press, 2008.

FORMAN, Richard T. T.; WILSON, Edward O. **Land Mosaics: The Ecology of Landscapes and Regions**. Cambridge; New York: Cambridge University Press, 1995.

GRONDIN, Marcelo. **O alvorecer de Toledo: na colonização do oeste do Paraná (1946-1949)**. Germânica, 2007.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). (2023). **Site oficial**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/>. Acesso em: 15 de novembro de 2023.

JIA, Yuqiu *et al.* Landscape pattern indices for evaluating urban spatial morphology – A case study of Chinese cities. **Ecological Indicators**, v. 99, p. 27-37, 2019.

KLIEMANN, D. C. **Urbanização e a existência de vazios urbanos: uma análise do caso do município de Toledo**. 2017. 89 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional e Agronegócio) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2017.

LAI, P.-C. *et al.* Neighborhood variation of sustainable urban morphological characteristics. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, [s. l.], 2018.

LEHNER, Arthur.; BLASCHKE, Thomas. A generic classification scheme for urban structure types. **Remote Sensing**, v. 11, n. 2, p. 173, 2019.

LI, S. *et al.* Spatial heterogeneity in the determinants of urban form: An analysis of Chinese cities with a GWR approach. **Sustainability (Switzerland)**, [s. l.], 2019.

LIMA SILVEIRA, Rogério Leandro *et al.* Cidades Médias, Gestão do Território E Dinâmica Urbana e Regional no Centro-Norte Do Estado do Rio Grande Do Sul. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, [s. l.], v. 18, n. 1, 2022.

MACEDO, Silvio Soares *et al.* Os Sistemas de Espaços Livres na Constituição da Forma Urbana Contemporânea no Brasil: Produção e Apropriação (QUAPÁSEL II). **Paisagem e Ambiente**, [s. l.], n. 30, p. 137–172, 2012.

MARCUS, Lars; PONT, Meta Berghauser; BARTHEL, Stephan. Towards a socio-ecological spatial morphology: Integrating elements of urban morphology and landscape ecology. **Urban Morphology**, [s. l.], v. 23, n. 2, p. 115–124, 2019.



MARCUS, Lars; PONT, Meta Berghauser; BARTHEL, Stephan. Towards a socio-ecological spatial morphology: a joint network approach to urban form and landscape ecology. **Urban Morphology**, [s. l.], v. 24, n. 1, p. 21–34, 2020.

MARETTO, Marco. Sustainable urbanism: the role of urban morphology. **Urban Morphology**, [s. l.], v. 2, n. 18, p. 12, 2014.

MASOUDI, M.; TAN, P.Y.; LIEW, S.C. Multi-city comparison of the relationships between spatial pattern and cooling effect of urban green spaces in four major Asian cities. **Ecological Indicators**, [s. l.], 2019.

MATSLER, Marissa *et al.* A ‘green’ chameleon: Exploring the many disciplinary definitions, goals, and forms of “green infrastructure”. **Landscape and Urban Planning**, [s. l.], v. 214, p. 104145, 2021.

MCHARG, Ian. **Design with Nature**. [S. l.]: American Museum of Natural History, 1969.

MELL, Ian C. Green infrastructure: reflections on past, present and future praxis. **Landscape Research**, [s. l.], v. 42, n. 2, p. 135–145, 2017.

MILOVANOVIĆ, Aleksandra; MILOVANOVIĆ RODIĆ, Danijela; MARUNA, Marija. Eighty-year review of the evolution of landscape ecology: from a spatial planning perspective. **Landscape Ecology**, [s. l.], v. 35, n. 10, p. 2141–2161, 2020.

MOBARAKI, Abdollah; OKTAY VEHBI, Beser. A Conceptual Model for Assessing the Relationship between Urban Morphology and Sustainable Urban Form. **Sustainability**, [s. l.], v. 14, n. 5, p. 2884, 2022.

MOUDON, Anne Vernez; OLIVEIRA, Vitor. Morfologia urbana como um campo interdisciplinar emergente. **Revista de Morfologia Urbana**, [s. l.], v. 3, n. 1, p. 41–49, 2017.

NASSAUER, Joan Iverson. Landscape as medium and method for synthesis in urban ecological design. **Landscape and Urban Planning**, [s. l.], v. 106, n. 3, p. 221–229, 2012.

NEVES, Fabiano. Gerenciamento de resíduos sólidos: problemas e perspectivas em Toledo - PR. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 14, n. 47, p. 27-42, 2013

NOGUEIRA, Daiana. **A dimensão ambiental nos instrumentos de planejamento urbano no município de Toledo/PR**. 2017. 88 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo.

OLIVEIRA, F. L. de; MELL, I. (Orgs.). **Planning Cities with Nature: Theories, Strategies and Methods**. Springer International Publishing, 2019.

OLIVEIRA, Micheli. **Implicações socioambientais no espaço da Sanga Pinheirinho em Toledo – PR**. 2016. 132 f. Dissertação (Mestrado em Serviço Social, Políticas Sociais e Direitos Humanos) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **Transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development**. New York: ONU, 2017.

PALAZZO, Elisa. Bridging urban morphology and urban ecology: A framework to identify morpho-ecological periods and patterns in the urban ecosystem. **Journal of Urban Ecology**, [s. l.], 2022.

PELLEGRINO, Paulo. et al. A paisagem da borda: uma estratégia para a condução das águas, da biodiversidade e das pessoas. In: **Rios e Paisagens Urbanos em Cidades Brasileiras**. PROURB, Rio de Janeiro, 2006. p. 57-76.



PEREIRA, Eloisa Antunes. **Exaustão das águas: o que mudou no Rio Toledo e no potencial hídrico no município de Toledo – PR no período de 1985 a 2010**. 2016. 113 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2016.

PEZZAGNO, Michèle; FRIGIONE, Barbara M.; FERREIRA, Carla S. S. Reading Urban Green Morphology to Enhance Urban Resilience: A Case Study of Six Southern European Cities. **Sustainability**, [s. l.], v. 13, n. 16, p. 9163, 2021.

Prefeitura de Toledo. **Plano de Ação e Estratégias para a Biodiversidade do Município de Toledo. Produto – Diagnóstico de Dados Secundários**. 240 p. Disponível em: <www.toledo.pr.gov.br/sites/default/files/paginabasica202208/diagnostico_de_dados_secundarios.pdf>. Acesso em: 29 nov. 2023.

PYTHON. Site oficial. Disponível em: <<https://www.python.org/>>. Acesso em: 15 de outubro de 2023.

RIBEIRO, Bianca De Martini; PETRY, Fernanda Aline; LIMBERGER, Aline R. Análise Temporal de dados NDVI para o município de Toledo - PR, obtidos de imagens Landsat 8. **Revista Cultivando o Saber**, v. 11, n. 2, p. 40-50, 2018.

SILVA, Thaynna Aline Begozzi da. **Análise da fragilidade ambiental como subsídio à expansão urbana do município de Toledo - PR**. 2021. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Ambientais) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2021.

TURNER, Monica Goigel; GARDNER, R. H.; O'NEILL, R. V. **Landscape ecology in theory and practice: pattern and process**. New York: Springer, 2001.

YE, Yu; LI, Dong; LIU, Xingjian. How block density and typology affect urban vitality: an exploratory analysis in Shenzhen, China. **Urban Geography**, [s. l.], v. 39, n. 4, p. 631–652, 2018.

ZHOU, Li, S., C., WANG, S., GAO, S., & LIU, Z. (2019). Spatial heterogeneity in the determinants of urban form: An analysis of Chinese cities with a GWR approach. **Sustainability** (Switzerland), 2019.

ZOU, Hao; WANG, Xiaojun. Progress and Gaps in Research on Urban Green Space Morphology: A Review. **Sustainability**, [s. l.], v. 13, n. 3, p. 1202, 2021.