



Configuração e conectividade de áreas verdes: um método para o planejamento sustentável do crescimento urbano

Edilson Pereira

Doutor, UFMG, Brasil

arqedpereira@gmail.com

ORCID iD <https://orcid.org/0000-0002-2544-7250>



Configuração e conectividade de áreas verdes: um método para o planejamento sustentável do crescimento urbano

RESUMO

Objetivo: desenvolver um método para identificar e analisar áreas verdes em Blumenau (SC), avaliando sua conectividade e integração no contexto do planejamento urbano sustentável.

Metodologia: foram utilizadas imagens de satélite (NDVI > 0,60), associadas à Sintaxe Espacial e ao Diagrama de Voronoi em ambiente SIG (QGis), para mapear vegetação e fragmentos urbanos.

Originalidade/relevância: o estudo contribui para a integração de ferramentas geométricas e sintáticas na análise da conectividade das áreas verdes, promovendo um planejamento urbano mais sustentável.

Resultados: as análises apontaram a carência de vegetação de qualidade em áreas próximas a recursos hídricos, impactando a biodiversidade. Identificaram-se também regiões com alto potencial de integração, sugerindo corredores ecológicos e áreas prioritárias para preservação ou reflorestamento.

Contribuições teóricas/metodológicas: o método proposto pode ser replicado em outros contextos urbanos, auxiliando diagnósticos ambientais e estratégias de infraestrutura verde.

Contribuições sociais e ambientais: o estudo reforça a importância de soluções baseadas na natureza no planejamento urbano, favorecendo cidades mais resilientes, biodiversas e sustentáveis.

PALAVRAS-CHAVE: Áreas verdes. Planejamento urbano. Conectividade ecológica. Infraestrutura verde.

Configuration and connectivity of green areas: a method for sustainable urban growth planning

ABSTRACT

Objective: develop a method to identify and analyze green areas in Blumenau (SC), assessing their connectivity and integration within the context of sustainable urban planning.

Methodology: satellite images (NDVI > 0.60) were used, combined with Space Syntax and the Voronoi Diagram in a GIS environment (QGis) to map vegetation and urban fragments.

Originality/relevance: this study contributes to the integration of geometric and syntactic tools in the analysis of green area connectivity, promoting more sustainable urban planning.

Results: the analyses revealed a lack of high-quality vegetation near water resources, affecting biodiversity. Regions with high integration potential were also identified, suggesting ecological corridors and priority areas for preservation or reforestation.

Theoretical/methodological contributions: the proposed method can be replicated in other urban contexts, assisting in environmental diagnostics and green infrastructure strategies.

Social and environmental contributions: the study reinforces the importance of nature-based solutions in urban planning, fostering more resilient, biodiverse, and sustainable cities.

KEYWORDS: Green areas. Urban planning. Ecological connectivity. Green infrastructure.



Configuración y conectividad de áreas verdes: un método para la planificación sostenible del crecimiento urbano

RESUMEN

Objetivo: desarrollar un método para identificar y analizar áreas verdes en Blumenau (SC), evaluando su conectividad e integración en el contexto de la planificación urbana sostenible.

Metodología: se utilizaron imágenes satelitales (NDVI > 0.60), combinadas con Sintaxis Espacial y el Diagrama de Voronoi en un entorno SIG (QGIS) para mapear la vegetación y los fragmentos urbanos.

Originalidad/relevancia: el estudio contribuye a la integración de herramientas geométricas y sintácticas en el análisis de la conectividad de áreas verdes, promoviendo una planificación urbana más sostenible.

Resultados: los análisis revelaron una carencia de vegetación de calidad en áreas cercanas a los recursos hídricos, lo que afecta a la biodiversidad. También se identificaron regiones con alto potencial de integración, sugiriendo corredores ecológicos y áreas prioritarias para preservación o reforestación.

Contribuciones teóricas/metodológicas: el método propuesto puede ser replicado en otros contextos urbanos, apoyando diagnósticos ambientales y estrategias de infraestructura verde.

Contribuciones sociales y ambientales: el estudio refuerza la importancia de las soluciones basadas en la naturaleza en la planificación urbana, fomentando ciudades más resilientes, biodiversas y sostenibles.

PALABRAS-CLAVE: Áreas verdes. Planificación urbana. Conectividad ecológica. Infraestructura verde.



1 INTRODUÇÃO

O exponencial crescimento das cidades brasileiras nas últimas décadas, tem exigido especial atenção a maneira como as cidades crescem. É notório, que o crescimento desordenado, entre outras questões, tem pressionado as áreas verdes urbanas a fim de expandir e ocupar todo o território. A busca por equilíbrio entre o ambiente natural e o construído é imperativo para lidar com as mudanças climáticas e com a sustentabilidade das cidades. Diante disso, novas abordagens, como as soluções baseadas na natureza (SbN), surgem como uma estratégia para integrar a natureza ao espaço urbano, melhorando a resiliência e a qualidade de vida nas cidades (Faivre, 2017). Experiências bem-sucedidas, a exemplo de Copenhague, que através do fomento de áreas verdes, aumentaram a resiliência da cidade contra eventos climáticos extremos, melhoraram a qualidade do ar e a biodiversidade urbana; evidenciam o quanto o direcionamento do planejamento urbano alinhado às SbN tem oferecido ótimos retornos para a sustentabilidade urbana (Kabisch et al., 2016).

A partir desta problemática, e principalmente, da importância de repensar novas formas de analisar o espaço urbano, em especial as pautadas em soluções ambientais. Esta pesquisa tem como objetivo propor um método de identificação e análise de áreas verdes urbanas e seus fragmentos, a partir do conceito de configuração espacial e a sua conectividade. Este método possui potencial de contribuição, na medida em que, se propõe a analisar áreas urbanas, e o seu crescimento de maneira planejada fomentando uma infraestrutura verde com maior potencial de conexão e com funções ecológicas essenciais para a qualidade de vida do habitat e a manutenção da biodiversidade, mantendo assim, a sustentabilidade do crescimento urbano.

Para isso, buscou-se realizar um estudo de caso na cidade de Blumenau (SC), escolhida como recorte para a aplicação deste método, devido a duas condições principais. A primeira, diz respeito à sua característica de difícil planejamento, uma vez que está incrustada em um vale estreito, suscetível a cheias e enchentes e apresenta uma geologia extremamente frágil. A segunda, o estímulo de expansão e ocupação da região norte da cidade desde 1989, com o primeiro Plano Diretor da cidade.

A partir deste cenário, e principalmente, da importância de repensar novas formas de analisar o espaço urbano, em especial as pautadas em soluções ambientais. Esta pesquisa se utiliza da metodologia da Sintaxe Espacial para analisar a configuração das áreas verdes e seus fragmentos conforme descrito na metodologia a seguir.

2 METODOLOGIA

A metodologia proposta para analisar as áreas verdes e seus fragmentos, deu-se início a partir da identificação das fontes ecológicas. Esta identificação é com base no uso da terra de toda a área urbana de Blumenau, para em seguida, extrair-se o Índice de Vegetação



por Diferença Normalizada (NDVI)¹, maior que 0,60². Foi utilizado o software QGIS como ferramenta para calcular este procedimento. Os dados utilizados para esta análise foram imagens de satélite em infravermelho, obtidas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), extraídas do satélite CBERS-4A em 2021. Assim, foi possível identificar entre as manchas e fragmentos de áreas verdes quais apresentam melhores características para a qualidade da biodiversidade, resultando em um mapa de vegetação das áreas verdes e fragmentos, com NDVI acima de 0,60.

Em seguida, a partir do mapa de vegetação desenvolvido, ainda no software QGIS, cada mancha no mapa que representa uma área verde ou fragmento foi transformada em polígono, e a cada polígono atribuído um centróide. Dando continuidade, foi desenvolvido um Diagrama de Voronoi³. O Diagrama de Voronoi é uma técnica matemática da geometria utilizada para análise de proximidade e distribuição espacial. Ele permite identificar áreas de influência; e parte de um conjunto de pontos distintos em um espaço contínuo, associando cada ponto do espaço ao membro mais próximo desse conjunto. Assim, utiliza a distância euclidiana para formar polígonos convexos, delimitados por retas equidistantes entre os pontos geradores (Novaes, 2007). Embora existam variações do diagrama que atribuam pesos diferentes aos pontos geradores, para a análise proposta, foi utilizado o diagrama ordinário, pois representa melhor a espacialidade das áreas verdes e fragmentos estudados. Esse diagrama apresenta a relação entre o tamanho do polígono traçado em torno de centros (no caso, áreas verdes e seus fragmentos) e a sua influência com os demais polígonos circundantes, ou seja, à medida que o polígono diminui, a influência deste ponto sobre essa região específica (deste mesmo polígono) também diminui, e vice-versa. Quanto menor o polígono deste ponto (centróide), maior a proximidade com os demais pontos circundantes. Essa característica torna o Diagrama de Voronoi útil para representar a distribuição espacial de influência e proximidade em vários contextos, como neste caso, em áreas verdes e seus fragmentos. Por si só, os tamanhos dos polígonos de voronoi já poderiam apresentar resultados interessantes quanto ao grau de proximidade dessas áreas. Contudo, a fim de conhecer com maior precisão a probabilidade de conexão (integração) entre esses pontos, optou-se por avançar a partir da aplicação da sintaxe espacial sobre o diagrama de voronoi, através das medidas de integração e escolha.

A Sintaxe Espacial é uma metodologia de análise espacial que busca compreender a configuração dos espaços urbanos. Ela se baseia na representação dos espaços como redes de conexões, permitindo estudar padrões de acesso e conexões. Há duas medidas fundamentais

¹ NDVI é uma medida amplamente utilizada para estimar a cobertura vegetal e sua saúde em áreas terrestres. É calculado a partir de imagens de satélite que capturam ondas na região do vermelho e do infravermelho, e através de softwares de geoprocessamento é possível extrair matematicamente a quantidade de luz absorvida e refletida, desta forma é possível obter um resultado normalizado entre 1 a 1 (Rouse, et al., 1973).

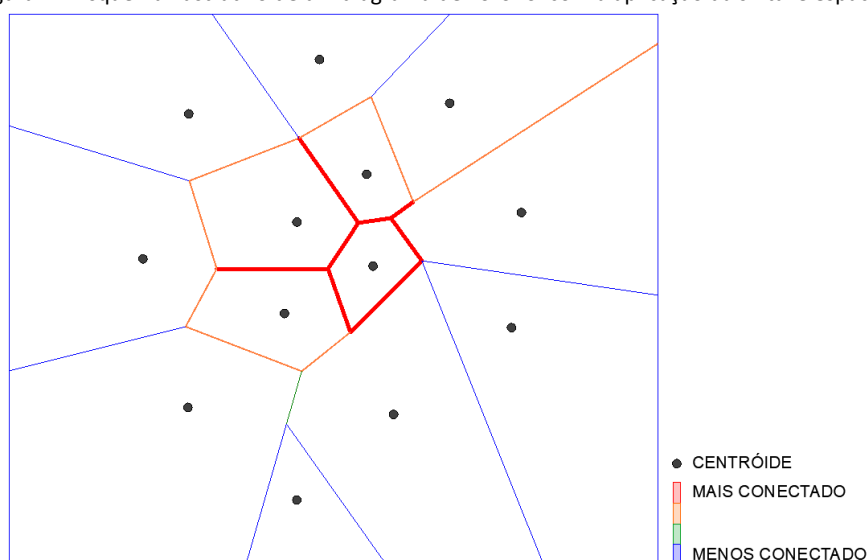
² Quando o NDVI é maior que 0,60, geralmente indica uma cobertura vegetal densa e saudável. Isso ocorre porque as plantas saudáveis têm mais clorofila e outras estruturas de pigmentos que refletem fortemente a radiação na faixa do infravermelho próximo, resultando em um valor de NDVI alto. (Rouse, et al., 1973).

³ Para criar um diagrama de voronoi, o software QGIS utiliza o algoritmo de Fortune, também conhecido como "Algoritmo de Varredura de Linha de Fortune", é um dos métodos mais comuns e eficientes para gerar diagramas de Voronoi. Este algoritmo foi proposto por Steven Fortune em 1986 e publicado no artigo: A Sweepline Algorithm for Voronoi Diagrams, em 1987, onde ele descreve o algoritmo em detalhes.

na Sintaxe Espacial. A primeira, a integração, que indica o quão conectado e acessível um espaço é em relação a toda a rede. A segunda, a escolha, que mede a frequência com que um determinado espaço é preferido como parte do caminho mais curto entre outros pontos da rede. Essas medidas ajudam a compreender os padrões espaciais e a influência da configuração urbana (Hillier; Hanson, 1984).

Neste contexto, são tomados como caminhos percorráveis, as linhas que geram um polígono de voronoi, porque o raciocínio é o de que tais células são envolventes do núcleo que circundam, sendo assim, percursos perfeitamente analisáveis pela sintaxe espacial, conforme figura 1.

Figura 1 – Esquema ilustrativo de um diagrama de voronoi com a aplicação da sintaxe espacial.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Através da análise sintática das bordas das células de voronoi, foi possível gerar dois mapas: um mapa angular de segmentos com informações sobre integração, com distância métrica de 1000 metros⁴. E outro mapa angular de segmentos com informações sobre a medida escolha. A realização destes mapas ocorreu através do software QGis com a utilização do plugin Space Syntax Toolkit (Gil, et al., 2015).

A medida de integração está relacionada à conectividade e à acessibilidade, portanto, é possível avaliar a integração de cada área verde e fragmento considerando a conectividade entre os segmentos dos limites dos polígonos de voronoi. Com este artifício geomático, pode-se analisar como a distribuição espacial influencia a diversidade de rotas possíveis para a fauna e a flora entre as áreas e fragmentos existentes, considerando a medida de 1000 metros como distância alcançável. A partir desses resultados, foi possível identificar áreas onde a integração é alta e a escolha é diversificada. Essas áreas podem sugerir potenciais corredores ecológicos e

⁴ Esta distância foi escolhida considerando que diversos autores ressaltam a importância da conectividade entre áreas verdes, e que a distância entre essas áreas deve ser pautada em um estudo aprofundado sobre as espécies existentes, porém quando não seja possível fazer este estudo, regula-se uma distância entre 800 a 1000 metros para que haja uma maior probabilidade de conectividade entre os fragmentos e suas matrizes (Noss, et al., 2019).



locais adequados para promover a conectividade entre esses fragmentos. Contudo, é importante considerar possíveis barreiras a essa conectividade ecológica, como as edificações e as vias. Para isso, foi realizada uma sobreposição desses mapas, com os mapas do sistema viário e das edificações. Tais mapas são dados secundários e fornecidos pelo setor de Planejamento Urbano da Prefeitura Municipal de Blumenau, com a última atualização em 2021. Desta maneira, pode-se conhecer quais áreas apresentam maiores possibilidades de conexão e onde se localizam, considerando suas barreiras e resultando em um mapa de vegetação com áreas de maior potencial de conectividade, e que devem ser preservadas.

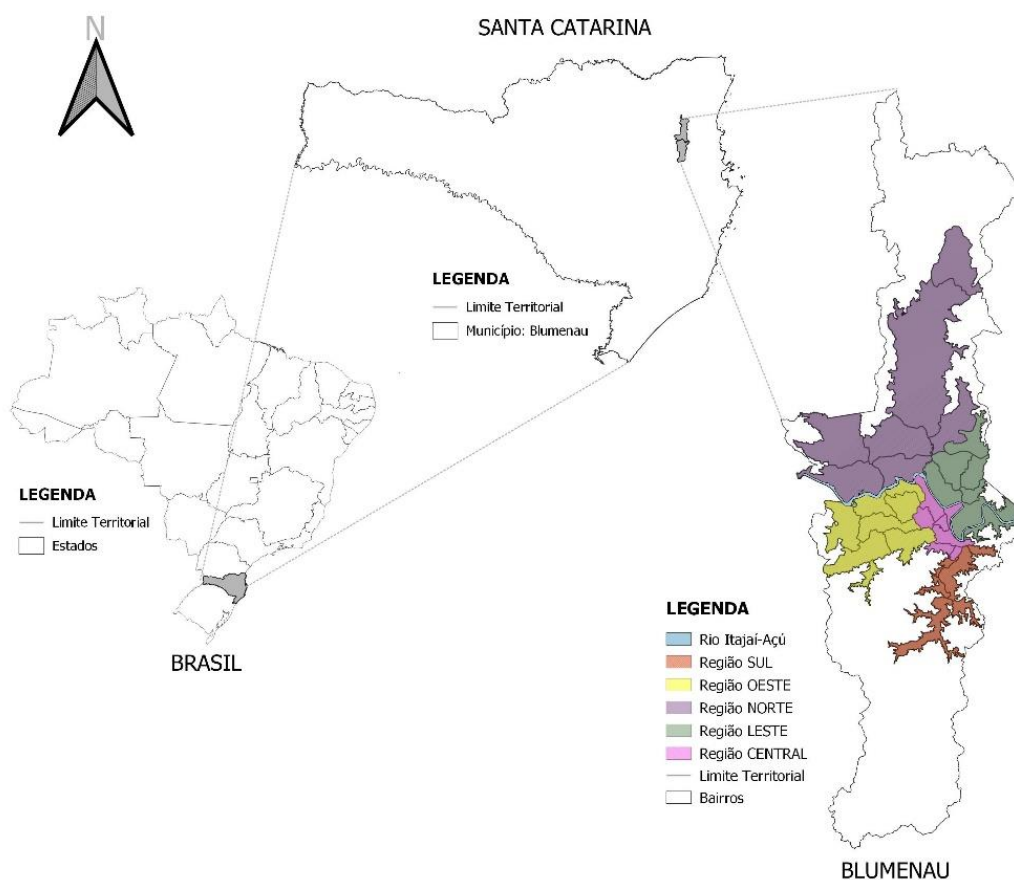
Desta forma, espera-se contribuir com o desenvolvimento de um método que possa ser aplicado a outras cidades, generalizando-se os achados do estudo de caso de Blumenau. Este método poderá interessar a governança do espaço público que busca elaborar projetos que considerem a configuração espacial e as soluções baseadas na natureza, como recomenda as Agendas Urbanas e que evidenciam que o crescimento das cidades é inevitável nos tempos atuais.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A cidade de Blumenau foi escolhida como estudo de caso, por duas razões principais. A primeira, sua condição natural, um vale estreito, propenso a enchentes e com uma geologia frágil, tornando o planejamento urbano desafiador. A segunda, o incentivo da expansão urbana para a região norte da cidade, que deu início e se fortaleceu através da revisão do plano diretor de 1989, e perdura até hoje. Neste cenário, a preocupação sobre a expansão desordenada da cidade e por consequência a pressão sobre as áreas verdes urbanas se tornam campo fértil para a aplicação de metodologias que envolvam as soluções baseadas na natureza como referenciais de planejamento urbano, em especial, uma infraestrutura verde.

O município de Blumenau, situado na mesorregião do Vale do Itajaí, estado de Santa Catarina (SC), encontra-se especificamente na região do médio vale, caracterizada por uma topografia em forma de vale onde flui o Rio Itajaí-Açu (FIGURA 2). Está a uma distância de 140 km da capital de Santa Catarina, Florianópolis, sendo que a área territorial de Blumenau abrange 518,62 km² e abriga a terceira maior população do estado, com um total de 361.261 habitantes, de acordo com dados do IBGE, do Censo de 2022. Blumenau possui uma densidade populacional de cerca de 696,58 habitantes por km². Conforme observado por Siebert (2017), a área urbana de Blumenau se expandiu de maneira dispersa ao longo do território, em parte devido às características topográficas acidentadas, mas também, devido às enchentes e deslizamentos de terra que foram e continuam sendo comuns na região.

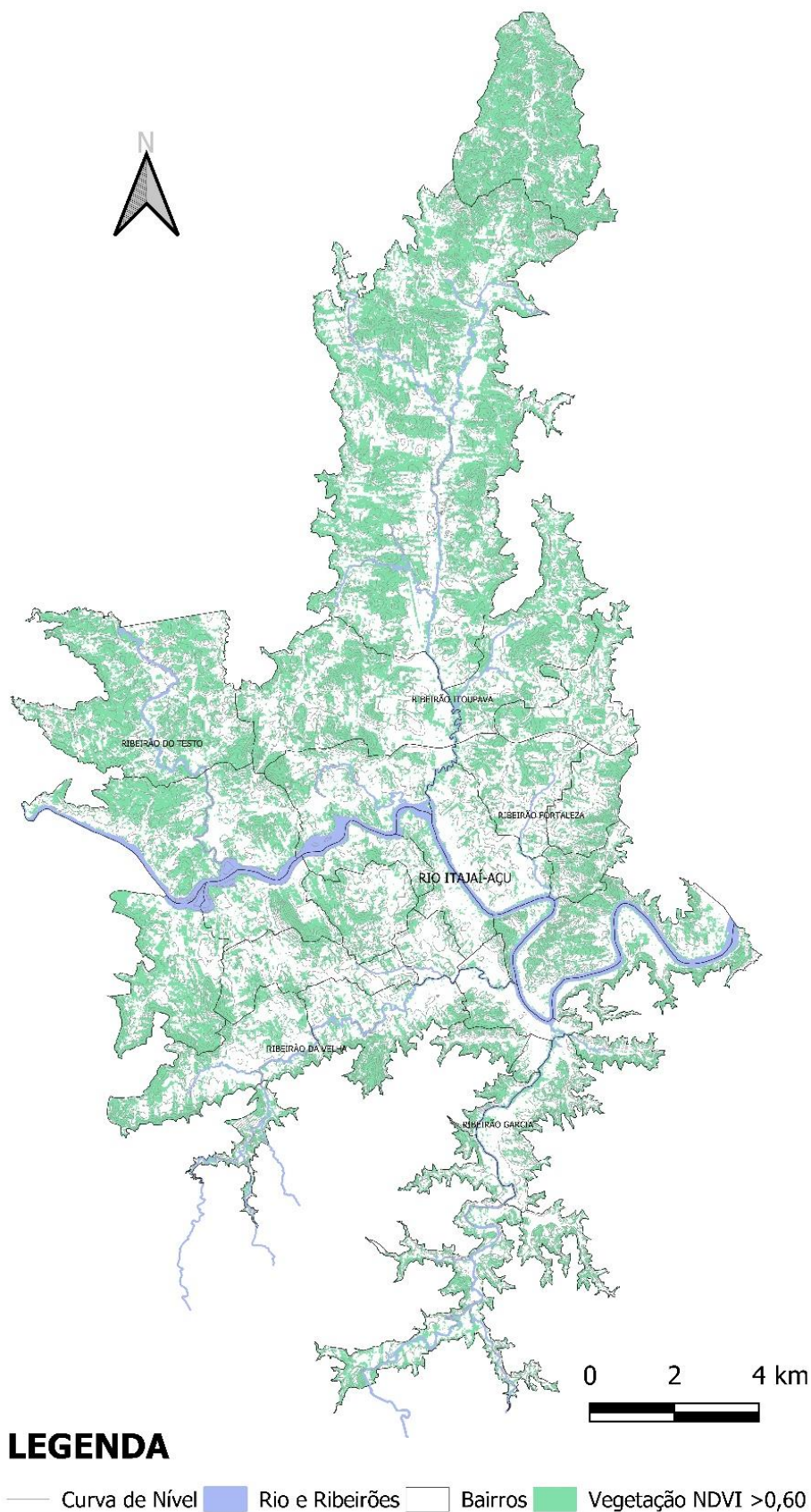
Figura 2 – Localização de Blumenau, área urbana.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

A partir do levantamento das áreas verdes e seus fragmentos, da área urbana de Blumenau foi desenvolvido um mapa de vegetação; que após tratado, buscou-se conhecer às áreas com o NDVI maior que 0,60, ou seja, as áreas verdes que apresentam melhores condições para a biodiversidade e qualidade do habitat. O NDVI é uma medida utilizada para estimar a saúde da cobertura vegetal, resultando em um mapa ilustrado pela figura 3.

Figura 3 – Vegetação urbana de Blumenau, NDVI > 0,60, rios e ribeirões.





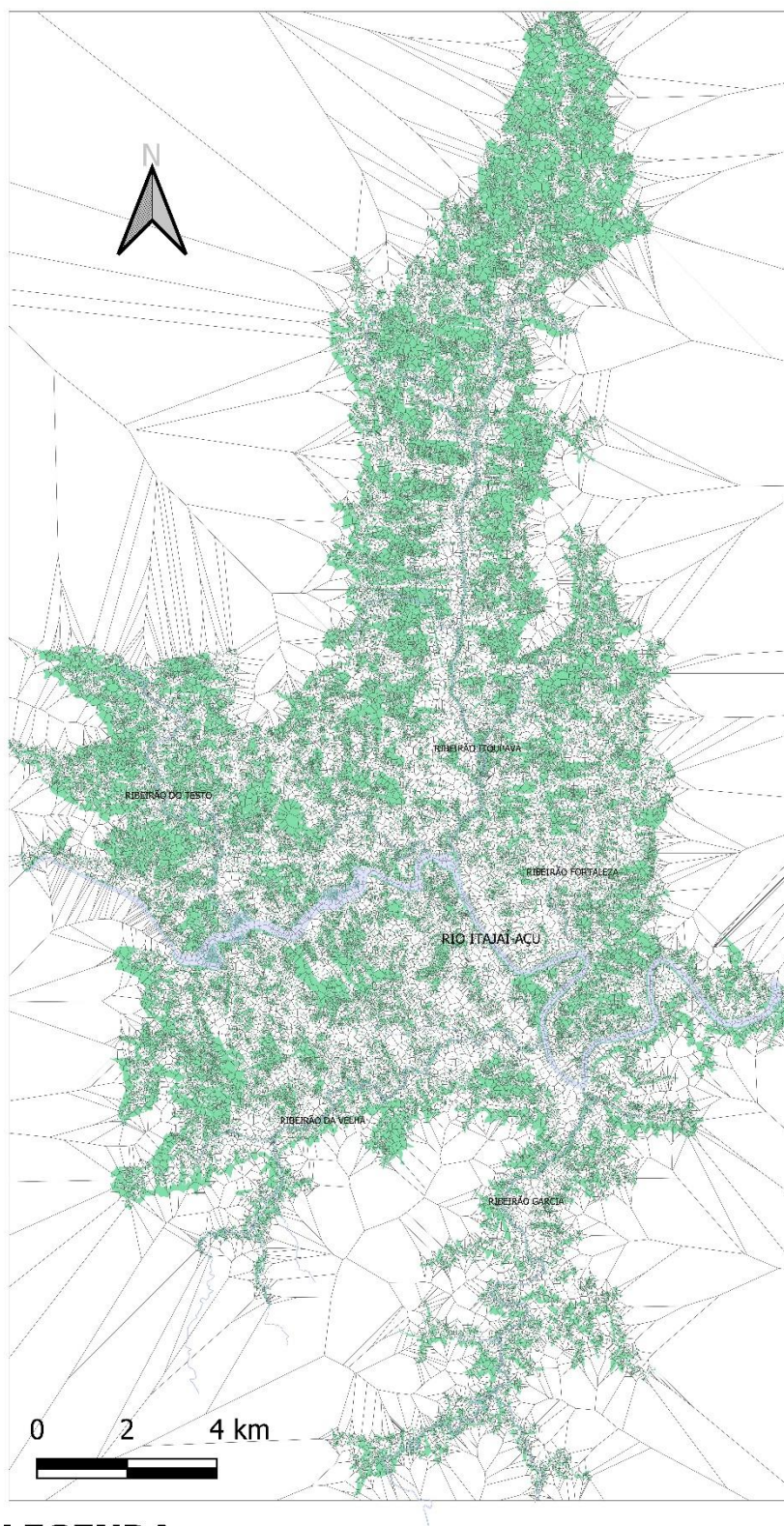
Fonte: Prefeitura Municipal de Blumenau (2021), elaborado pelo autor (2024)

É possível perceber que a cidade de Blumenau possui uma grande quantidade de vegetação em toda a área urbana. Vale destacar que a análise descarta toda a vegetação com o NDVI menor que 0,60, ou seja, áreas de baixa qualidade para a manutenção da biodiversidade. É importante destacar, que através do resultado deste mapa foi possível perceber outra situação. Áreas onde essa vegetação, de melhor qualidade vegetal, deveria existir, ou seja, ao longo do rio e dos ribeirões, elas são escassas. Nota-se que, grande parte do Ribeirão Itoupava, Ribeirão da Velha e Ribeirão Garcia não estão envoltos por essa vegetação. Além disso, os ribeirões da Fortaleza e Testo também apresentam partes sem essa vegetação, assim como o Rio Itajaí-Açu. Isso não significa que essas áreas não possuem vegetação nenhuma, pois este mapa desconsidera áreas vegetadas com NDVI menor que 0,60. Contudo, salienta-se que essa vegetação ilustrada no mapa é a que possui maior qualidade ambiental, maior biodiversidade e, por isso, de maior contribuição para a qualidade de vida urbana.

Deste modo, essa vegetação é a que deveria ser preservada, em especial ao longo de rios e ribeirões. De acordo com Johansen et al. (2010), a vegetação classificada como mata ciliar (ao longo de cursos d'água) desempenham funções ecológicas importantes, incluindo a proteção das margens dos rios contra a erosão, a melhoria da qualidade da água, e a oferta de habitat para a fauna, por isso devem apresentar valores altos de NDVI, indicando uma vegetação mais vigorosa e saudável.

Ademais, a fim de dar respostas ao objetivo desta pesquisa, é importante conhecer o nível de conectividade dessas áreas, em especial dos fragmentos de áreas verdes. Assim, foi desenvolvido sobre essas áreas o diagrama de Voronoi (FIGURA 4) para capturar a proximidade e a influência que cada área e fragmento possui em relação às demais áreas circundantes, resultando em um mapa de vegetação com o diagrama de Voronoi. O Diagrama de Voronoi é uma técnica matemática da geometria que calcula o grau de proximidade em um plano. Ele permite a identificação de áreas de cobertura e regiões de influência no espaço (Novaes, 2007).

Figura 4 – Vegetação NDVI >0,60 aplicado diagrama de voronoi.



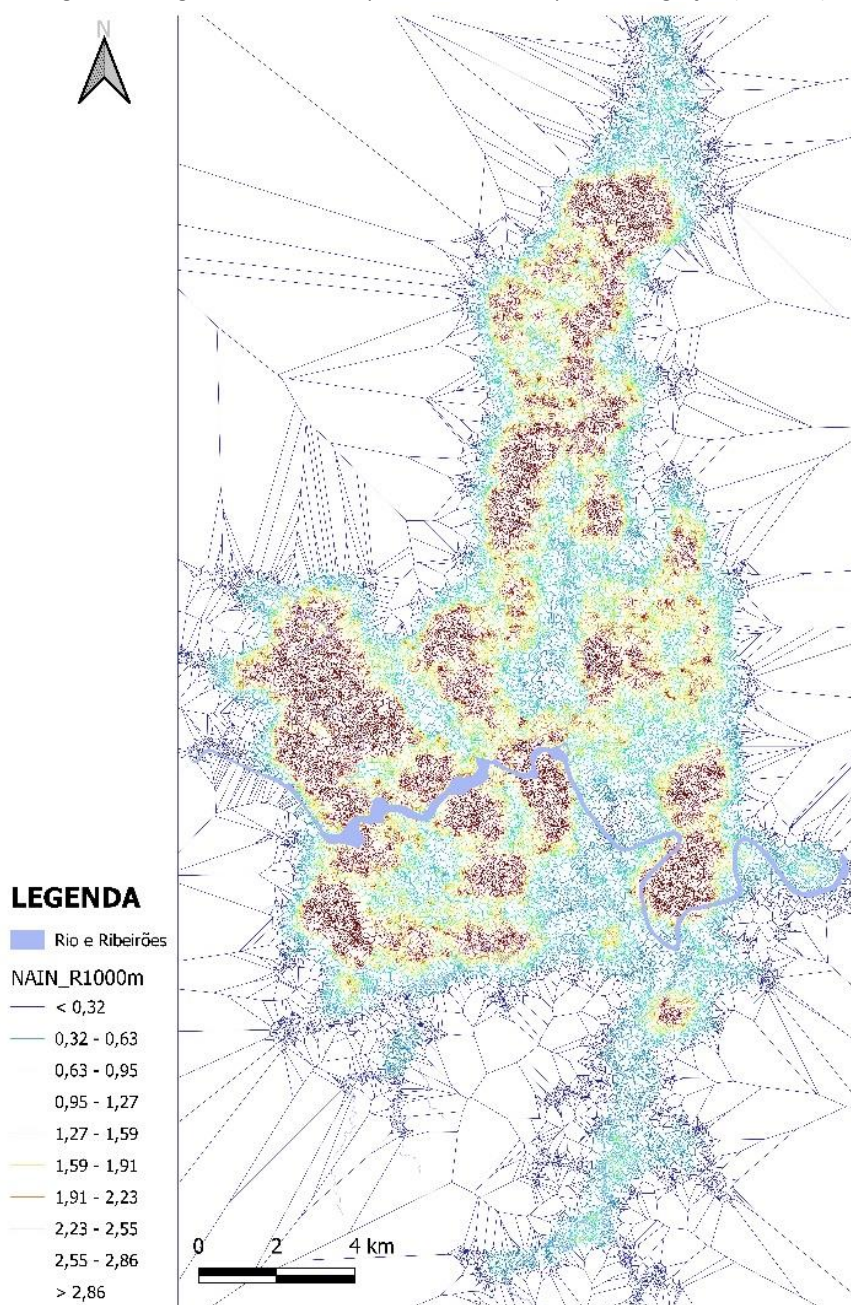
LEGENDA

Rio e Ribeirões Linhas Voronoi - Diagrama Vegetação NDVI >0,60

Fonte: Prefeitura Municipal de Blumenau (2021), elaborado pelo autor (2024)

Os tamanhos dos polígonos gerados pelo diagrama de Voronoi já apresentam resultados interessantes quanto ao grau de proximidade dessas áreas. Ou seja, quanto menor o polígono ali representado no mapa, maior a proximidade com os demais polígonos circundantes e maior a probabilidade de se conectarem. Entretanto, a fim de conhecer com maior precisão essa probabilidade de conexão, foi aplicado sobre o diagrama de Voronoi o método da sintaxe espacial, através das medidas de integração local e escolha (FIGURA 5).

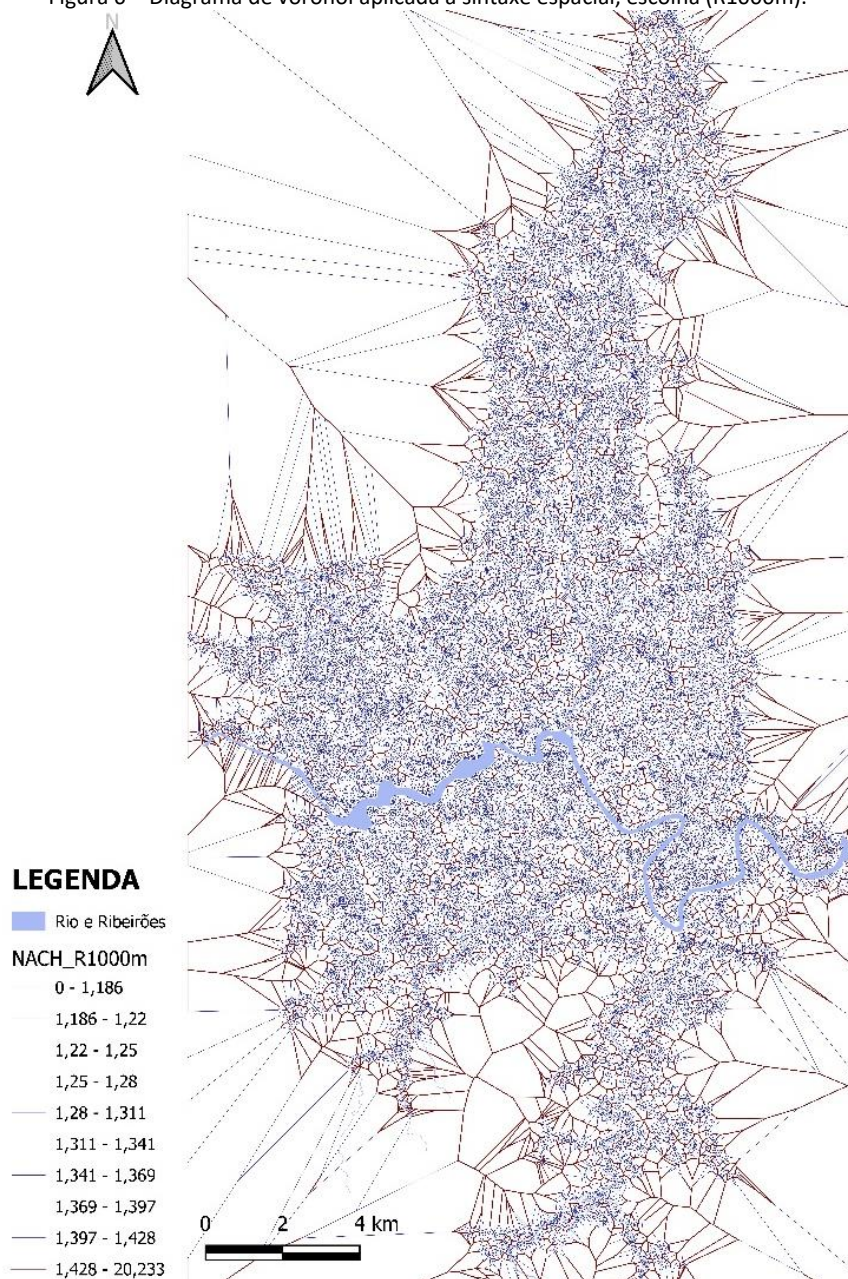
Figura 5 – Diagrama de voronoi aplicada a sintaxe espacial, integração (R1000m).



Fonte: Prefeitura Municipal de Blumenau (2021), elaborado pelo autor (2024).

Através da sintaxe espacial, é possível conhecer o potencial de integração dessas áreas, pois somente a proximidade entre elas não é preditiva para se conectarem. É preciso haver oportunidades de conexão, e a sintaxe captura essas oportunidades a partir do cálculo de integração através das linhas formadas pelo diagrama de Voronoi. É possível notar que a região oeste apresenta as áreas com maiores níveis de integração, seguida pela região norte. A região leste também apresenta áreas com integração, porém em menor quantidade, enquanto a região sul praticamente não apresenta áreas de integração de grande influência. Cabe ressaltar que este estudo foi desenvolvido apenas na área urbana, ou seja, subtraiu do estudo todas as áreas rurais, vegetadas ou não do território.

Figura 6 – Diagrama de voronoi aplicada a sintaxe espacial, escolha (R1000m).



Fonte: Prefeitura Municipal de Blumenau (2021), elaborado pelo autor (2024).

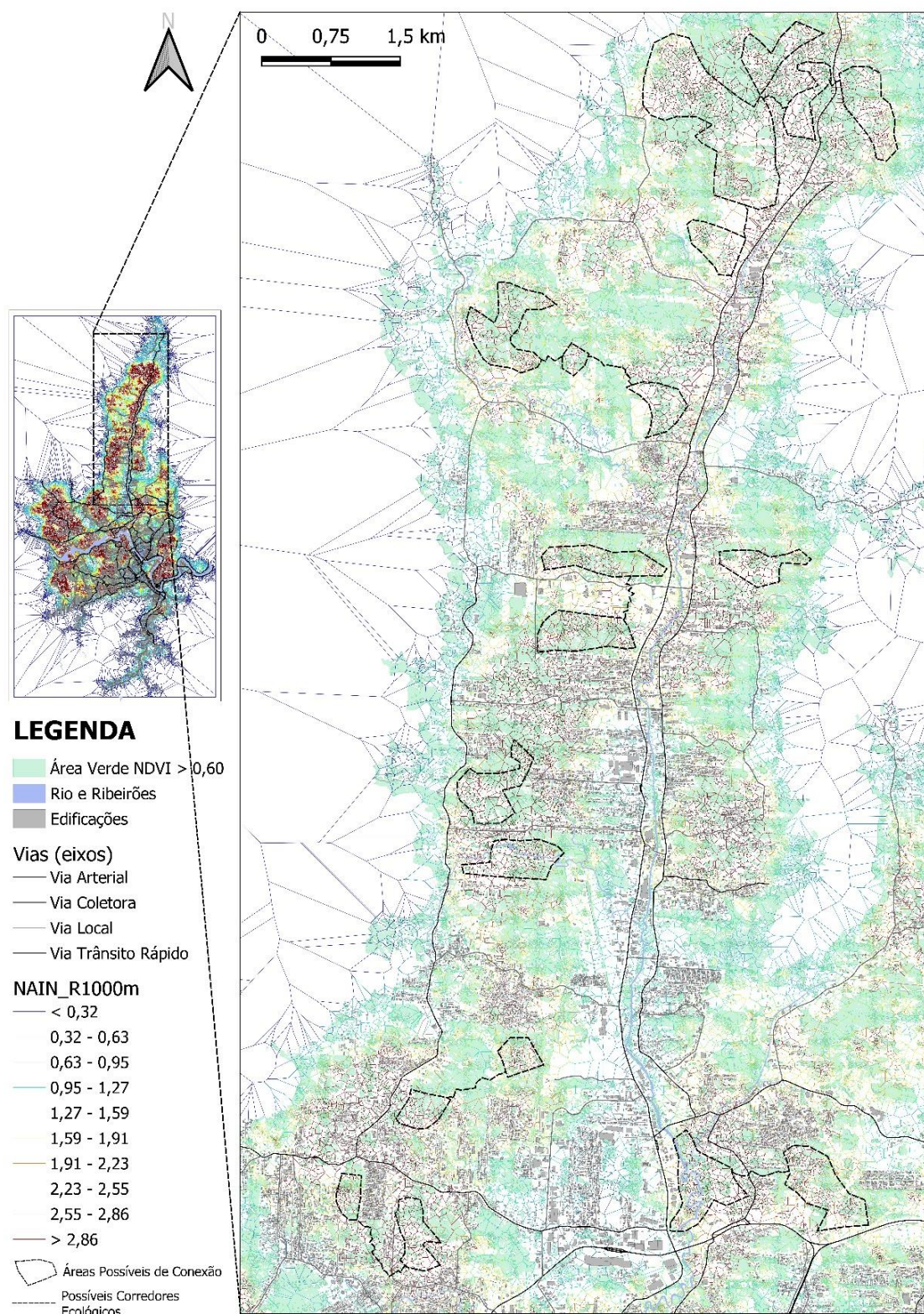


Quanto à medida de escolha (FIGURA 6), o objetivo é identificar possíveis caminhos para corredores ecológicos. O mapa ilustra a tendência de caminhos que podem ser pensados para manejo e proteção a fim de que possam vir a se tornar corredores ecológicos. As linhas mais grossas representadas pela cor vermelha evidenciam esses caminhos, possibilidade que corroboram às conexões entre essas áreas e seus fragmentos, conforme destacado no mapa. E ainda, no sentido oposto, o mapa permite identificar áreas que hoje não apresentam possibilidades de conexão, mas que por outros motivos podem ser alvo de estudos para manejo e reflorestamento de vegetação nativa, a exemplo da região sul. Cabe salientar, que as linhas vermelhas apresentadas nas bordas devem ser descartadas, pois, no cálculo da sintaxe espacial, elas sofrem o que se chama de efeito de borda⁵.

Por se tratar de uma área urbana, é preciso conhecer as barreiras que, por vezes, podem impedir essas conexões. Portanto, é necessário realizar uma sobreposição dos mapas anteriores com o sistema viário e as edificações. O sistema viário foi considerado de acordo com a sua hierarquia, definida pelo Decreto 13.075/2021, como vias de trânsito rápido, arteriais, coletoras e locais. Considerar a hierarquia das vias se torna importante na medida em que as vias de maior intensidade e velocidade sugerem áreas com probabilidade menor de integração das áreas verdes; o que também pode sugerir a implantação de passa-faunas, nessas áreas. Desta forma, foi possível selecionar as áreas que são passíveis de desenvolver conexões, integrando os fragmentos as matrizes (maiores áreas de vegetação), além de sugerir locais para a implantação de corredores ecológicos, considerando as barreiras atuais (vias e edificações), observados através das figuras 7, 8 e 9. Essas áreas demarcadas no mapa foram selecionadas levando em consideração os resultados das medidas da sintaxe espacial, ou seja, os níveis de integração elevados para as conexões dos fragmentos de áreas verdes e a medida de escolha, para as possibilidades de implantação de corredores ecológicos, considerando as barreiras. A delimitação das áreas para a construção de uma infraestrutura verde a partir das áreas verdes e seus fragmentos, seguiram os conceitos de Pereira e Cestaro (2016), quanto a opção de conexões através de corredores ecológicos, não conectados diretamente, mas através de fragmentos próximos que permitem o deslocamento entre as áreas maiores, atuando como “trampolins ecológicos”. E também, na opção de corredores ecológicos contínuos. Ambas as propostas visam construir conexões entre as grandes áreas verdes (matrizes). A partir da figura 36, nota-se como a hierarquia das vias podem influenciar nas conexões das áreas verdes. As vias arteriais, localizadas no centro da figura, e associadas às barreiras das edificações dificultam a conexão dessas áreas verdes no sentido leste-oeste da área. Assim como, nas demais figuras também se observa esse efeito.

⁵ O efeito de borda, refere-se às distorções ou imprecisões nos resultados de análises espaciais que ocorrem nas áreas periféricas ou limites de uma área de estudo. Quando se analisa um sistema espacial, a análise é geralmente mais precisa no centro do sistema, onde há uma maior densidade de conexões e dados. No entanto, nas áreas de borda, as conexões são mais limitadas e podem não refletir com precisão a verdadeira conectividade do sistema, já que essas áreas se conectam com espaços fora do limite da área de estudo que não estão incluídos na análise. Isso pode resultar em uma subestimação ou superestimação das propriedades espaciais dessas áreas de borda (Hillier, 1987).

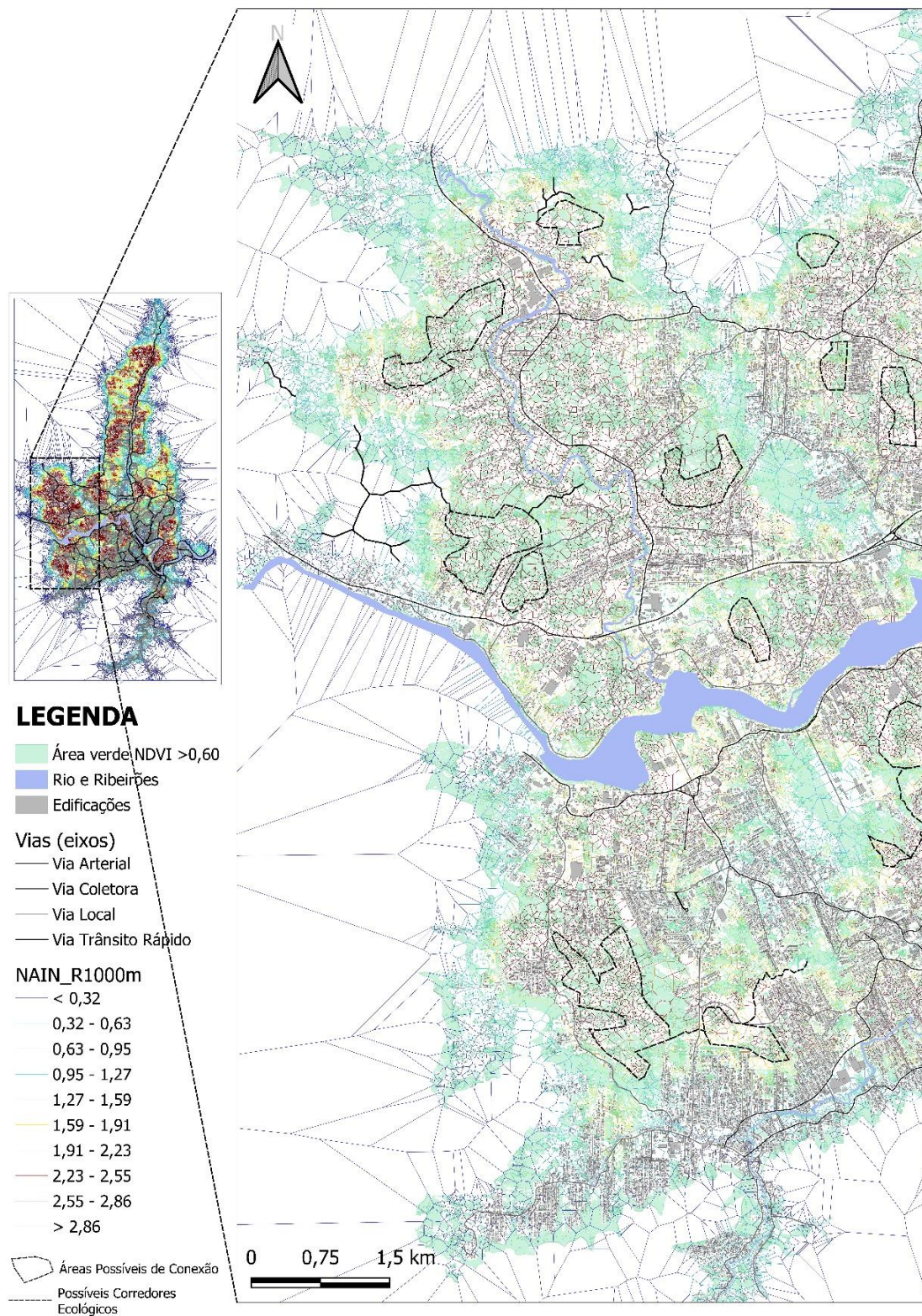
Figura 7 – Vegetação NDVI >0,60, possibilidades de corredores ecológicos, região norte.



Fonte: Prefeitura Municipal de Blumenau (2021), elaborado pelo autor (2024).

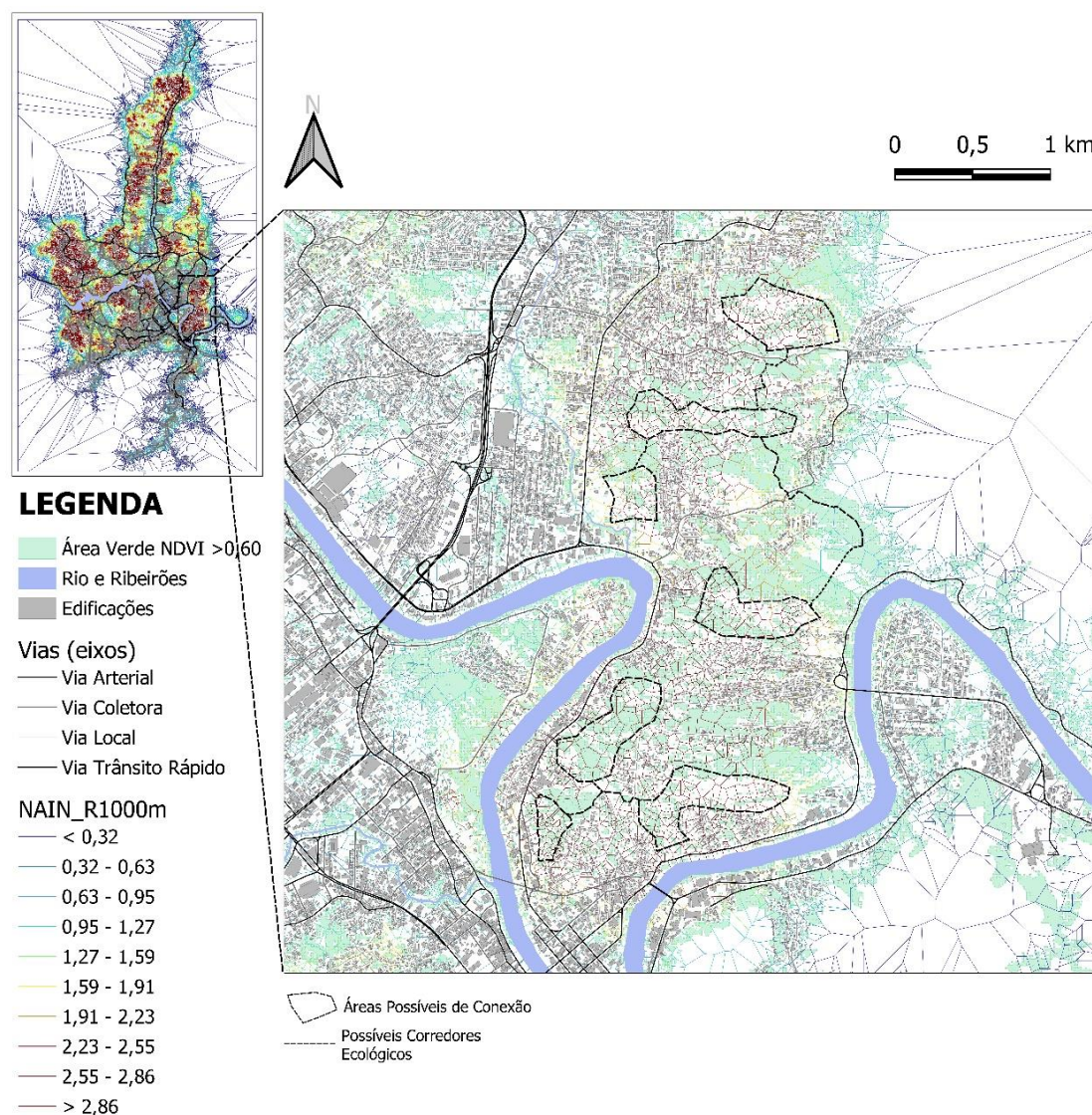


Figura 8 – Vegetação NDVI >0,60, possibilidades de corredores ecológicos, região norte e oeste.



Fonte: Prefeitura Municipal de Blumenau (2021), elaborado pelo autor (2024).

Figura 9 – Vegetação NDVI >0,60, possibilidades de corredores ecológicos, região leste.



Fonte: Prefeitura Municipal de Blumenau (2021), elaborado pelo autor (2024).

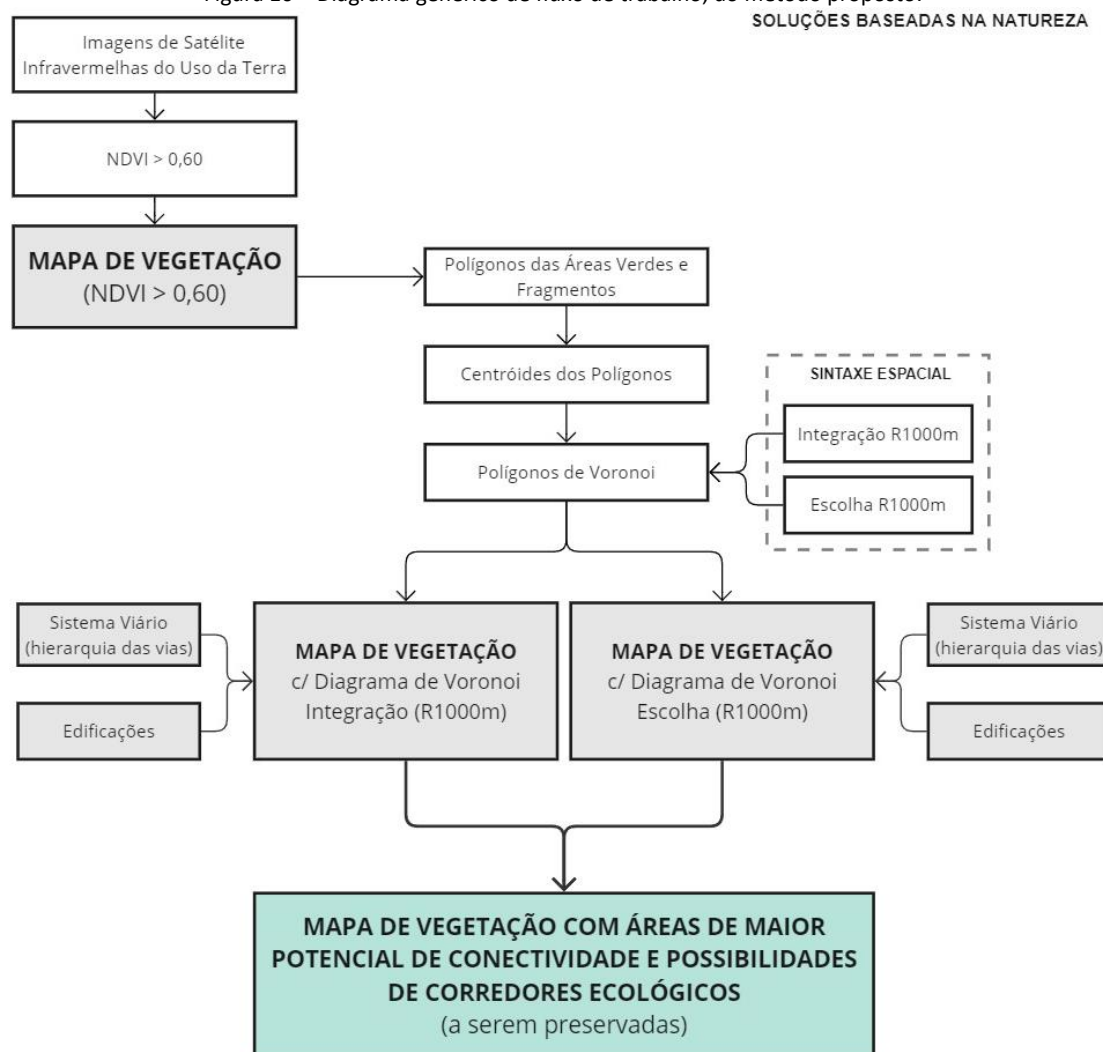
Assim, foi possível selecionar áreas (indicadas nos mapas) nas regiões oeste, nos bairros Passo Manso e Do Salto; região leste, nos bairros Ponta Aguda, e parcialmente em Nova Esperança e Tribess; e região norte, nos bairros Badenfurt, Testo Salto, Itoupavazinha e Itoupava Central. Sugere-se que essas áreas sejam objeto de estudo para alterações de zoneamento, estabelecendo áreas de proteção etc. E ainda, o resultado desses mapas pode vir a ser objeto de estudo para áreas com pouca vegetação, ou vegetação de baixa qualidade, em áreas não ocupadas e sem barreiras, mas que sejam alvo para manejo e reflorestamento, como as visualizadas na região sul e na região do extremo norte da cidade.

O resultado destes mapas vai ao encontro dos estudos de (Khan; et al., 2021) e (Khan; Ponce; Yu, 2021) que evidenciam a necessidade de construir um padrão de segurança ecológica que considere a formação de uma rede de proteção ao identificar pontos, linhas e áreas com funções ecológicas, conforme delimitado no mapa. Além disso, a construção de

uma infraestrutura verde tem se mostrado frutífera para atenuar alterações climáticas locais e desenvolver espaços ecológicos e sociais nas cidades (Peng; et al., 2019). Ressalta-se que a vegetação de Blumenau é descrita por Pinheiro e Severo (2010) como floresta tropical pluvial, também chamada floresta ombrófila densa, sendo a maior representante da diversidade biológica evoluída. Diante de todos os outros biomas ela se sobressai por sua riqueza de recursos, portanto, torna-se imperial a sua preservação.

Diante dos resultados obtidos no estudo de caso, sugere-se uma generalização do método utilizado nesta pesquisa, ensejando em um fluxo de trabalho genérico que poderá ser utilizado para analisar e fomentar diagnósticos urbanos com ênfase em centralidades, a partir do conceito de soluções baseadas na natureza, conforme esquema proposto pela figura 10.

Figura 10 – Diagrama genérico de fluxo de trabalho, do método proposto.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Cabe ressaltar, que houve uma preocupação em utilizar métodos de fácil aplicação, como a sintaxe espacial, o diagrama de Voronoi e as métricas de centralidades e que pudessem ser modelados e realizados em softwares de livre acesso, como o QGis.



Diante deste contexto, espera-se que este método, exemplificado de maneira genérica por esse diagrama, possa ser útil para diagnósticos urbanos nas cidades, principalmente em momentos de revisão dos instrumentos urbanísticos do plano diretor.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A abordagem desta pesquisa reflete uma preocupação crescente com a necessidade de integrar o planejamento urbano e a preservação ambiental, de forma a promover um desenvolvimento sustentável e uma qualidade de vida superior para os habitantes urbanos. Além disso, destaca-se pela sua capacidade de abordar questões complexas, como o crescimento inevitável das cidades e a proteção do meio ambiente, as quais influenciam o desenvolvimento urbano e a sustentabilidade das cidades. Diante desse contexto, assumiu-se como objetivo, propor um método de identificação e análise de áreas verdes urbanas e seus fragmentos, a partir do conceito de configuração espacial e a sua conectividade. Este método possui potencial de contribuição, na medida em que, se propõe a analisar áreas urbanas, e o seu crescimento de maneira planejada fomentando uma infraestrutura verde com maior potencial de conexão e com funções ecológicas essenciais para a qualidade de vida do habitat e a manutenção da biodiversidade, mantendo assim, a sustentabilidade do crescimento urbano. E, então, propor um método de análise que considere a manutenção de áreas com funções ecológicas essenciais para sustentar o crescimento urbano.

Assim, destaca-se que a abordagem proposta nesta pesquisa pode ser uma ferramenta valiosa para gestores públicos e urbanistas, fornecendo insights sobre como planejar o crescimento urbano de forma a preservar importantes fragmentos de áreas verdes, contribuindo para a manutenção da biodiversidade e para a redução dos riscos naturais.

Contudo, cabe ressaltar, que por se tratar de um método que utiliza dados secundários, a aplicação dessa metodologia a outras cidades poderá enfrentar desafios quanto ao acesso de tais dados, pois nem todas as cidades possuem setores, universidades ou demais entidades que produzem e atualizam os dados constantemente.

Desta maneira, esta pesquisa oferece uma contribuição valiosa para o campo da teoria, produção e experiência do espaço, apresentando uma metodologia inovadora que equilibra o desenvolvimento urbano com a preservação ambiental. Além disso, as lições aprendidas a partir do estudo de caso em Blumenau, podem ser aplicadas a outras cidades que enfrentam desafios semelhantes, contribuindo para a construção de um futuro urbano mais sustentável e resiliente.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BLUMENAU (SC). **Decreto 13.075 de 2021**. Diário Oficial do Município de Blumenau, SC, 23 mar. 2010.

FAIVRE, N.; MUNAFÒ, M.; HOEGAERTS, S.; MERTENS, G.; COLLIER, M. Nature based solutions in the EU: Innovating with nature to address social, economic and environmental challenges. **Environmental Research**, v. 159, p. 509-518, 2017.

GIL, J. et al. O kit de ferramentas de sintaxe espacial: integrando o depthmapX e os fluxos de trabalho de análise espacial exploratória no QGIS. **10º Simpósio Internacional de Sintaxe Espacial**. Laboratório de Sintaxe Espacial, The Bartlett School of Architecture, UCL (University College London), 2015.

HILLIER, B. et al. Creating Life: Or, Does Architecture Determine Anything? **Architecture et Comportement/Architecture and Behaviour**, v. 3, n. 3, p. 233–250, 1987.

HILLIER, Bill; HANSON, Julianne. **The social logic of space**. Cambridge: Cambridge University Press, 1984.

IBGE. **Censo Demográfico 2022**: resultados preliminares. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>. Acesso em: ago. 2024.

JOHANSEN, K., PHINN, S., & WITTE, C. **Mapping of riparian zone attributes using discrete return LiDAR, Quick Bird and SPOT-5 imagery**: Assessing accuracy and costs. *Remote Sensing of Environment*, 114. ed. p. 2679-2691, 2010.

KABISCH, Nadja et al. Disponibilidade de espaços verdes urbanos nas cidades europeias. **Indicadores ecológicos**, v. 70, p. 586-596, 2016.

KHAN, SAR; PONCE, P.; TOMÁS, G.; YU, Z.; AL-AHMADI, M. S.; TANVEER, M. Digital Technologies, Circular Economy Practices and Environmental Policies in the Era of COVID-19. **Sustentability**, v. 13, p. 12789, 2021.

KHAN, SAR; PONCE, P.; YU, Z. **Technological innovation and environmental taxes towards a carbon-free economy**: an empirical study in the context of COP-21. *J. Environ. Gerenciar*, v. 298, p. 113418, 2021.

NOVAES, A. G. Resolução de Problemas de Transporte com Diagramas de Voronoi, **XXI ANPET**, Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes, RJ, 2007.

NOSS, R. F.; colaboradores. **Connectivity in Landscape Ecology**. In: Hutchings, M. J.; John, E. A.; Stewart, A. J. A. (eds.). *Encyclopedia of Ecology*. 2. ed. P. 80-84, Oxford: Elsevier, 2019.

PENG, J.; ZHAO, S.; DONG, J.; LIU, Y.; MEERSMANS, J.; LI, H.; WU, J. **Applying the ant colony algorithm to identify ecological safety patterns in megacities**. *Environmental Modelling & Software*, 117. ed p. 214-222, 2019.

PEREIRA, Vítor Hugo Campelo; CESTARO, Luiz Antonio. Corredores Ecológicos no Brasil: Avaliação sobre os principais critérios utilizados para definição de áreas potenciais. **Caminhos de Geografia**, v. 17, n. 58, p. 16-33, 2016.

PINHEIRO, Adilson; SEVERO, D. L. Análise do Evento Pluviométrico Catastrófico de Novembro de 2008 na Região de Blumenau, SC. In: **Anais Eletrônicos do XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia**, Belém/PA, 13 a 17 setembro 2010.

ROUSE, J. W. et al. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, NASA*, v. 1, p. 309-317, 1973.

SIEBERT, Claudia. O desafio da construção de cidades sustentáveis: uma análise crítica da governança urbana de Blumenau. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE MEIO AMBIENTE SUBURBANO, 3. ed São Paulo. **Anais**. São Paulo: Universidade de São Paulo, p. 131-138, 2017.



DECLARAÇÕES

CONTRIBUIÇÃO DE CADA AUTOR

Ao descrever a participação de cada autor no manuscrito, utilize os seguintes critérios:

- **Concepção e Design do Estudo:** Edilson Pereira.
- **Curadoria de Dados:** Edilson Pereira.
- **Análise Formal:** Edilson Pereira.
- **Aquisição de Financiamento:** Não se aplica.
- **Investigação:** Edilson Pereira.
- **Metodologia:** Edilson Pereira.
- **Redação - Rascunho Inicial:** Edilson Pereira.
- **Redação - Revisão Crítica:** Edilson Pereira.
- **Revisão e Edição Final:** Edilson Pereira.
- **Supervisão:** Edilson Pereira.

DECLARAÇÃO DE CONFLITOS DE INTERESSE

Eu, Edilson Pereira, declaro que o manuscrito intitulado "Configuração e conectividade de áreas verdes: um método para o planejamento sustentável do crescimento urbano":

1. **Vínculos Financeiros:** Não possui vínculos financeiros que possam influenciar os resultados ou interpretação do trabalho. Nenhuma instituição ou entidade financiadora esteve envolvida no desenvolvimento deste estudo.
2. **Relações Profissionais:** Não possui relações profissionais que possam impactar na análise, interpretação ou apresentação dos resultados. Nenhuma relação profissional relevante ao conteúdo deste manuscrito foi estabelecida.
3. **Conflitos Pessoais:** Não possui conflitos de interesse pessoais relacionados ao conteúdo do manuscrito. Nenhum conflito pessoal relacionado ao conteúdo foi identificado.