

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ARQUITETURA, URBANISMO E PAISAGISMO

Luan da Silva Klebers

O PLANEJAMENTO DE UM SISTEMA DE CORREDORES VERDES EM
SANTA MARIA/RS - UMA ABORDAGEM METODOLÓGICA A PARTIR DA
PERSPECTIVA DE MÉTRICAS ESPACIAIS DA PAISAGEM

Santa Maria, RS, Brasil
2021

Luan da Silva Klebers

**O PLANEJAMENTO DE UM SISTEMA DE CORREDORES VERDES EM SANTA MARIA/
RS – UMA ABORDAGEM METODOLÓGICA A PARTIR DA PERSPECTIVA DE MÉTRICAS
ESPACIAIS DA PAISAGEM**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, Urbanismo e Paisagismo, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito para obtenção do grau de **Mestre em Arquitetura, Urbanismo e Paisagismo**.

Orientador: Prof. Phd. Luis Guilherme Aita Pippi
Coorientadora: Dra. Raquel Weiss

Santa Maria, RS, Brasil
2021

This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) – Finance Code 001

Klebers, Luan da Silva

O PLANEJAMENTO DE UM SISTEMA DE CORREDORES VERDES EM SANTA MARIA/ RS – UMA ABORDAGEM METODOLÓGICA A PARTIR DA PERSPECTIVA DE MÉTRICAS ESPACIAIS DA PAISAGEM / Luan da Silva Klebers.- 2021.

144 p.; 30 cm

Orientador: Luis Guilherme Aita Pippi

Coorientadora: Raquel Weiss

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, Urbanismo e Paisagismo, RS, 2021

1. Planejamento da Paisagem 2. Análise de Decisão Multicritério 3. Ecologia da Paisagem I. Pippi, Luis Guilherme Aita II. Weiss, Raquel III. Título.

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados fornecidos pelo autor(a). Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.

Declaro, LUAN DA SILVA KLEBERS, para os devidos fins e sob as penas da lei, que a pesquisa constante neste trabalho de conclusão de curso (Dissertação) foi por mim elaborada e que as informações necessárias objeto de consulta em literatura e outras fontes estão devidamente referenciadas. Declaro, ainda, que este trabalho ou parte dele não foi apresentado anteriormente para obtenção de qualquer outro grau acadêmico, estando ciente de que a inveracidade da presente declaração poderá resultar na anulação da titulação pela Universidade, entre outras consequências legais.

© 2021

Todos os direitos autorais reservados a Luan da Silva Klebers. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte. E-mail: luan.klebers@hotmail.com

Luan da Silva Klebers

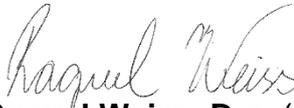
**O PLANEJAMENTO DE UM SISTEMA DE CORREDORES VERDES EM SANTA MARIA/
RS - UMA ABORDAGEM METODOLÓGICA A PARTIR DA PERSPECTIVA DE MÉTRICAS
ESPACIAIS DA PAISAGEM**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, Urbanismo e Paisagismo, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito para obtenção do grau de **Mestre em Arquitetura, Urbanismo e Paisagismo**.

Aprovado em 27 de agosto de 2021.



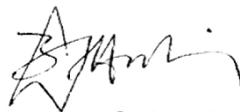
Prof. Luis Guilherme Aita Pippi, Phd. (UFSM)
(Presidente/ Orientador) - Videoconferência



Prof. Raquel Weiss, Dra. (UFSM)
(Coorientadora) - Videoconferência



Prof. Andrea Valli Nummer, Dra. (UFSM) - Videoconferência



Prof. Luciana Bongiovanni Martins Schenk, Dra. (USP) - Videoconferência

Santa Maria, RS, Brasil
2021

Dedico este trabalho à minha família.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço à minha família (pai, mãe, mana) pelo apoio incondicional, companheirismo e por serem meu porto seguro. À Anna Laura, minha sobrinha, que há três anos enche nossos corações de alegria e propósito.

À minha namorada, Mirian, por todo o carinho e compreensão durante esse percurso, obrigado por sempre estar ao meu lado.

Ao Frodo – O Pug, por ser meu fiel escudeiro e por manter minha sanidade mental durante o período de pandemia.

Aos professores do PPGAUP, em especial aos meus orientadores Luis Guilherme Aita Pippi e Raquel Weiss, por me guiarem para o lado paisagístico da força, despertando em mim uma nova paixão por essa área do conhecimento e por me ensinarem que “o céu é o limite”.

À minha dupla inseparável, Silvia, por me aguentar desde a primeira orientação desses mais de dois anos, do mestrado para a vida (partiu doc?).

À minha orientadora emprestada, Vanessa Goulart Dorneles, por ser muito mais que uma professora, uma amiga que fiz durante essa jornada.

A todos os colegas do PPGAUP, em especial à Renata Michelin Cocco, por me iluminar nos momentos nos quais o geoprocessamento ofuscava.

À UFSM e à cidade de Santa Maria por desempenharem um papel fundamental não só na minha formação acadêmica, mas como ser humano.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de pesquisa que possibilitou esse trabalho.

Agradeço, ainda, às professoras presentes em minha banca, Andrea Valli Nummer e Luciana Bongiovanni Martins Schenk; obrigado por todos os ensinamentos e orientações.

Por fim, a todos os meus amigos pela compreensão durante o sumiço. E aos que perguntavam: “e o mestrado?” Terminei!

Há três décadas, sabemos como tornar as cidades melhores e mais habitáveis - depois de termos esquecido por quatro décadas - e, mesmo assim, não fomos capazes de melhorá-las. Jane Jacobs, que escreveu em 1960, em 1980 já havia conquistado os urbanistas. Mas os urbanistas ainda têm de conquistar a cidade.

(SPECK, 2017, p. 13).

RESUMO

O PLANEJAMENTO DE UM SISTEMA DE CORREDORES VERDES EM SANTA MARIA/ RS – UMA ABORDAGEM METODOLÓGICA A PARTIR DA PERSPECTIVA DE MÉTRICAS ESPACIAIS DA PAISAGEM

AUTOR: Luan da Silva Klebers
ORIENTADOR: Luis Guilherme Aita Pippi
COORIENTADORA: Raquel Weiss

Este trabalho tem como objetivo o planejamento de um sistema de corredores verdes como estratégia de conectividade urbana e natural, aumentando a resiliência das cidades e atuando como balizadores da expansão para áreas de alto teor de preservação. Atualmente, a fragmentação e a destruição da paisagem são grandes problemáticas para os planejadores e gestores da paisagem, sendo consequências diretas do crescimento urbano. O cenário natural encontra-se desconexo e descontínuo, visto que, culturalmente, as cidades tendem a possuir maiores porções de impermeabilizações de solo do que as áreas naturais (de uso e recreação ou de preservação e conservação), o que forma áreas urbanas vastas, com alto índice populacional e sem planejamento, com ocupações em áreas impróprias e até mesmo áreas de risco, comprometendo o sistema natural como um todo. Dessa forma, a pesquisa visa a determinar áreas de potencialidade para um sistema de corredores verdes no município de Santa Maria (polo regional do Estado do Rio Grande do Sul), a partir de uma abordagem multicritério, com o auxílio da metodologia de Processo de Hierarquia Analítica, trabalhando com variáveis integradas, com ferramentas de geoprocessamento para a espacialização desses mapeamentos. Observou-se, através dos resultados obtidos, que o referido município apresenta uma alta potencialidade para um sistema de corredores verdes, visto que, apesar de fragmentados, ainda possui grandes estoques de vegetação e áreas naturais dentro do perímetro urbano, o que é extremamente positivo para o planejamento de expansão da cidade e dos espaços livres de lazer e recreação.

Palavras-chaves: Planejamento da Paisagem. Análise de Decisão Multicritério. Ecologia da Paisagem.

ABSTRACT

GREENWAY SYSTEM PLANNING IN SANTA MARIA/RS - A METHODOLOGICAL APPROACH FROM THE PERSPECTIVE OF SPATIAL LANDSCAPE METRICS

*Author: Luan da Silva Klebers
Supervisor: Luis Guilherme Aita Pippi
Supervisor: Raquel Weiss*

This work aims at the planning of a greenway system as a strategy for urban and natural connectivity, increasing the resilience of cities and acting as a guide for expansion to areas with a high level of preservation. Currently, landscape fragmentation and destruction are one of the biggest problems for landscape planners and managers, being direct consequences of urban sprawl. The natural scenario is disconnected and discontinuous, since culturally cities tend to have larger portions of soil waterproofing than for natural areas (use and recreation or preservation and conservation) forming vast urban areas with a high population rate and without planning, with occupations in assigned areas and even risk areas, which compromises the natural system as a whole. Thus, the research aims to determine areas of potential for a greenway system in the municipality of Santa Maria, a regional hub of the State of Rio Grande do Sul through a multi-criteria approach, with the help of the Analytical Hierarchy Process methodology, working with integrated variables in order to geoprocessing tools for the spatialization of these mappings. It was observed through the results obtained that the municipality has a high potential for a system of greenway, since despite being fragmented, they still have large stocks of vegetation and natural areas within the urban perimeter, being extremely positive for expansion planning the city and free spaces for leisure and recreation.

Key-words: Landscape Planning. Multicriteria Decision Analysis. Landscape Ecology.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Matriz, fragmento e corredor	37
Figura 2: Níveis de análise das métricas espaciais	40
Figura 3: Aplicação das métricas espaciais.....	43
Figura 4: Emerald Necklace por Frederik Olmsted	45
Figura 5: Planejamento de Dedos Verdes de Copenhagen.....	46
Figura 6: Winsconsin Heritage Trail Proposal por Phil Lewis.....	47
Figura 7: Objetivos dos corredores verdes	49
Figura 8: Motivações de infraestruturas verdes e azuis.....	53
Figura 9: Composição funcional de corredores verdes.....	54
Figura 10: Grafos de conexões em rede	55
Figura 11: Teoria dos grafos aplicada	57
Figura 12: <i>Layouts</i> de corredores.....	59
Figura 13: Rede Ecológica para Holanda	62
Figura 14: Proposta para a rede Regional de Corredores Verdes da Flórida	62
Figura 15: Plano para a Biorregião de Toronto, Canadá	63
Figura 16: Rede de Corredores Verdes para Azambuja, Portugal.....	63
Figura 17: Centro de Tomar	64
Figura 18: Efeito borda e área de núcleo	65
Figura 19: Diferenças de áreas nas manchas vegetadas	66
Figura 20: Larguras de corredores	67
Figura 21: Localização de Santa Maria	69
Figura 22: Expansão urbana de Santa Maria -RS	71
Figura 23: Caracterização de usos do solo de Santa Maria/ RS	73
Figura 24: Vista aérea de Santa Maria	74
Figura 25: Foto panorâmica da barragem da DNOS	75
Figura 26: Ordenação do solo de Santa Maria	75
Figura 27: Mapa de áreas de preservação - anexo 12 LUOS.....	77

Figura 28: Procedimentos metodológicos da pesquisa	80
Figura 29: Etapas do Processo Analítico Hierárquico (AHP)	84
Figura 30: Bases de dados dos mapeamentos	88
Figura 31: Síntese dos cruzamentos de mapas	89
Figura 32: Base de Viabilizadores	91
Figura 33: Usos do Solo	93
Figura 34: Classificações de declividade	95
Figura 35: Classes de Declividade de Santa Maria	96
Figura 36: Recursos Hídricos	97
Figura 37: <i>Buffer</i> dos recursos hídricos	99
Figura 38: Espaços Livres Intraurbanos de Lazer e Recreação	101
Figura 39: Densidade de Vegetação Urbana	103
Figura 40: Métrica de dispersão	104
Figura 41: Métrica de Dispersão	105
Figura 42: Diagrama dos cruzamentos	107
Figura 43: Mapa de Sensibilidade Ecológica Potencial	109
Figura 44: Sensibilidade Antrópica	111
Figura 45: Sensibilidade Potencial de Corredores Azuis	113
Figura 46: Ponderação da Base de Viabilizadores	115
Figura 47: Síntese de Corredores Verdes Potenciais	118
Figura 48: Sistema de Corredores Verdes para Santa Maria	120
Figura 49: Identificação das morfologias de corredores	122
Figura 50: Sistema de Corredores Verdes e Áreas de Conservação Natural	124

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Tipos de atividades para corredores verdes	51
Tabela 2: Funções ecológicas, sociais e culturais dos corredores verdes	52
Tabela 3: Escala de importância AHP	83
Tabela 4: Valores do Índice Randômico (IR)	85
Tabela 5: Variável de Viabilizadores	91
Tabela 6: Variável de Usos do Solo	92
Tabela 7: Variável de Declividade	95
Tabela 8: Variável de Recursos Hídricos	97
Tabela 9: Variável de Buffer dos Recursos Hídricos	99
Tabela 10: Variável de Espaços Livres	100
Tabela 11: Variável de Densidade de Vegetação Urbana	102
Tabela 12: Variável de Dispersão	106
Tabela 13: Matriz de Comparação da AHP mapa B	107
Tabela 14: Pesos estatísticos dos critérios	108
Tabela 15: Matriz de Comparação da AHP mapa C	110
Tabela 16: Pesos estatísticos dos critérios	110
Tabela 17: Matriz de Comparação da AHP mapa D	112
Tabela 18: Pesos estatísticos dos critérios	112
Tabela 19: Matriz de Comparação da AHP mapa A1	114
Tabela 20: Pesos estatísticos dos critérios	115
Tabela 21: Matriz de Comparação da AHP mapa E	116
Tabela 22: Pesos estatísticos dos critérios	117
Tabela 23: <i>Layout</i> e morfologia dos corredores verdes	123

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ADESM	Agência de Desenvolvimento de Santa Maria
AHP	<i>Analytic Hierarchy Process</i> (Processo Analítico Hierárquico)
APP	Área de Proteção Permanente
CAD	<i>Computer Aided Design</i> (Desenho Auxiliado por Computador)
ELLR	Espaços Livres de Lazer e Recreação
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPLAN	Instituto de Planejamento de Santa Maria
LSI	<i>Landscape Shape Index</i> (Índice de Forma da Paisagem)
LUOS	Lei de Uso e Ocupação do Solo
MFC	Matriz/ Fragmento/ Corredor
NBR	Norma Brasileira
PARQUI	Laboratório de Paisagem, Arquitetura, Urbanismo e Imaginários
PDDT	Plano Diretor de Desenvolvimento Territorial
SEL	Sistemas de Espaços Livres
SIG	Sistemas de Informações Geográficas
SR	Sensoriamento Remoto
UFSM	Universidade Federal de Santa Maria
USCB	<i>United States Census Bureau</i> (Departamento de Censo dos Estados Unidos)
RPAA	<i>Regional Planning Association of America</i> (Associação Regional de Planejamento da América)
PDDI	Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado

SUMÁRIO

Capítulo 1	23
Introdução.....	23
1.1. Questões de Pesquisa	25
1.2. Objetivo Geral	26
1.3. Objetivos Específicos	26
1.4. Justificativa.....	27
1.5. Estrutura do Trabalho.....	28
Capítulo 2	31
Referencial Teórico	31
2.1. Paisagem como objeto de análise.....	31
2.2. A Ecologia da Paisagem e suas Métricas.....	36
2.3. Corredores Verdes	44
2.3.1. Olhar Histórico	44
2.3.2. Definições de Corredores Verdes	48
2.3.3. Atividades nos Corredores Verdes.....	51
2.3.4. Morfologia de Corredores	55
2.3.5. <i>Layout</i> de Corredores	58
2.3.6. Escalas de Corredores	60
2.3.7. <i>Buffer</i> , Borda e Largura de Corredores	65
Capítulo 3	69
Caracterização da Área-Estudo	69
3.1. Santa Maria – Rio Grande do Sul/ Brasil	69
3.1.1. Contexto Geral da Evolução Urbana de Santa Maria.....	70
3.1.2. Caracterização da Paisagem de Santa Maria	72
Capítulo 4	79
Processos Metodológicos	79
4.1. Análise de Decisão Multicritério e Processo de Hierarquia Analítica	81

4.2. Caracterização da Base de Dados e Identificação dos Critérios de Análise ...	87
Capítulo 5.....	90
Resultados e Discussões	90
5.1.1. Base de Viabilizadores.....	90
5.1.2. Critério de Usos do Solo	92
5.1.3. Critério de Declividade	94
5.1.4. Critério de Recursos Hídricos.....	96
5.1.5. Critério de <i>Multibuffer</i> dos Recursos Hídricos	98
5.1.6. Critério de Espaços Livres.....	100
5.1.7. Critério de Densidade de Vegetação Urbana	102
5.1.8. Critério de Métrica de Dispersão	103
5.2. Sobreposição Físico-Ambiental Antrópica	106
5.3. Um Sistema de Corredores Verdes para Santa Maria/ RS	119
Capítulo 6.....	127
Considerações Finais	127
Referências	133

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

A grande urgência da população em expandir-se e formar comunidades é historicamente fomentada pela evolução das cidades. A facilidade e a praticidade de residir em centros urbanizados seduzem mais e mais cidadãos no mundo todo. De acordo com estimativas feitas pelas Nações Unidas, se o desenvolvimento urbano seguir no ritmo em que está, em 2050 aproximadamente 70% da população mundial estará vivendo em cidades (AHERN, 2011).

Já no Brasil, aponta-se um reflexo mais preocupante ainda, visto que, de acordo com o Censo 2010, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, 84,72% da população brasileira já está vivendo em áreas urbanas. Mais especificamente, no estado do Rio Grande do Sul, de acordo com dados do IBGE (2010), 85,1% da população reside em áreas urbanas, enquanto apenas 14,1% em áreas rurais. Em Santa Maria, o município em estudo, a Agência de Desenvolvimento de Santa Maria (ADESM, 2010) aponta que 95% da população está alocada dentro do perímetro urbano e apenas 5% nas áreas rurais.

A compatibilização desse crescente urbano teria ocorrido de forma mais lenta e prolongada se previamente houvesse alguma espécie de planejamento sistêmico, contudo, a dispersão urbana (ou *urban sprawl*) que, em função da supressão de espaços, originada pelos grandes adensamentos urbanos (em termos de população), envia novos moradores cada vez mais a áreas periféricas, margeando essas porções urbanizadas e promovendo a criação de novos núcleos urbanizados em bairros diferentes, descentralizando e fragmentando cada vez mais a paisagem.

Essas ações fragmentaram a paisagem devido a impactos de ações antrópicas, tais como a utilização do automóvel que, como meio de transporte, tornou-se imprescindível para a vida urbana. “A cidade fragmenta-se e perde sua unidade funcional.” (SALGUEIRO, 1997). O processo de *desmetropolização* (SANTOS, 1993)

ocorre de maneira gradual desde 1990, e esse nome é dado devido ao fato de o crescimento relativo ser maior nas áreas periféricas do que nas metrópoles em si (OJIMA, et al 2012).

Contudo, esse processo aumenta consideravelmente a complexidade da narrativa urbana, visto que está sendo gerido um estilo de vida baseado em mobilidade (FRÉMONT, 1980), frente à problemática de (des)conectividade da paisagem. Esse desequilíbrio intensifica os desajustes da paisagem urbana, trazendo aspectos negativos ao diálogo de mobilidade, planejamento e gestão das cidades, como apropriações e ocupações em locais impróprios, como encostas de morros, áreas inundáveis e/ou sujeitas a movimentos de massa, o que aumenta consideravelmente o nível de fragilidade ambiental e vulnerabilidade social dessas áreas, por muitas vezes colocando sua população em estado de risco (WEISS, 2012).

Devido a esse processo formador das cidades atuais, o adensamento populacional reservou poucos espaços livres destinados a lazer e recreação propriamente ditos e à preservação de recursos naturais. Quando existem, são circundados por grandes avenidas com tráfego intenso de veículos, com pequena possibilidade de arborização e oferecendo espaços pouco atraentes para pedestres (PENTEADO, 2007).

Essa realidade implica em diversas consequências negativas para o ambiente urbano, como aponta Penteado (2007). Ruas estreitas, por exemplo, denotam um baixo índice de ventilação natural, o que aumenta a concentração de altas temperaturas e intensifica a permanência de gases poluentes no local, impossibilitando o bom crescimento de espécies arbóreas e impedindo a filtragem de ar e o sombreamento, o que gera menos habitat de pássaros, insetos, mamíferos e répteis, logo também significa uma menor taxa de retenção de águas fluviais para o solo (ANGEOLETTO, 2019). Esse ciclo resultou em diversos dos problemas que assolam as cidades nos dias atuais.

O somatório desses fatores acarreta em uma alta fragilidade ambiental, empurrando cada vez mais a porção da população de baixa renda para as margens, obrigando-a a transpor Áreas de Preservação Permanentes (APPs) e até mesmo colocarem-se em zonas de risco para que possam ter uma chance de desfrutar da cidade. Esses problemas são cada vez mais comuns em grandes cidades e acabam criando estruturas urbanas polinucleadas e com baixa conectividade entre si.

O mundo atual apresenta um cenário fragmentado, com áreas naturais sendo penetradas pelo desenvolvimento urbano e reduzidas a porções dispersas com dinâmicas individuais. A vida selvagem não se move livremente pela paisagem e as vias navegáveis têm suas vegetações protetoras expostas a contaminantes que deslocam as encostas (HELLMUND; SMITH, 2006).

A diversificação de abordagens metodológicas para o planejamento e gestão de paisagens tem evoluído desde a década de 1970 como resposta direta aos avanços informacionais, contudo, foi somente após 1986, com o lançamento do livro *Ecologia da Paisagem (Landscape Ecology)*, de Richard T.T. Forman e Michel Godron, que a fusão entre ecologistas, geógrafos, arquitetos, paisagistas, planejadores e historiadores teve de fato seu início (NDUBISI, 2002).

Dessa forma, a conceituação de corredor verde surge do inglês *greenway*, que se refere a espaços lineares que apresentam funções ecológicas de conectividade entre paisagens, faixas de proteção para corpos d'água e também zonas para a vida selvagem (SMITH; HELLMUND, 1993).

Jongman e Pungetti (2006) explicam, ainda, que o termo *greenways* (americano) é certamente inspirado nos *ecological corridors* (europeus), diferenciados pela classificação em sistema, onde o termo europeu é apenas um componente de uma rede ecológica; o termo americano se refere à conectividade de toda a rede.

Entretanto, de maneira mais abrangente, Ahern (1995) explica que corredores verdes são “espaços em rede contendo elementos lineares que são planejados, projetados e manejados para múltiplos propósitos, incluindo ecológico, recreativo, cultural, estético ou outros propósitos compatíveis com o conceito de uso sustentável do solo.”.

1.1. QUESTÕES DE PESQUISA

No que tange aos questionamentos acerca da temática, as questões de pesquisa que este trabalho visa a responder são duas:

1. Como identificar, caracterizar e planejar um sistema de corredores verdes?
2. Como analisar e mensurar as áreas em potencial, áreas prioritárias e zonas viabilizadoras para um sistema de corredores verdes?

1.2. Objetivo Geral

Os objetivos são descritos em dois subtítulos: objetivo geral e objetivos específicos, demonstrando a estrutura proposta para a pesquisa, bem como o panorama das etapas a serem seguidas.

O objetivo geral é identificar, com ênfase na ecologia da paisagem, as áreas em potencial para um sistema de corredores verdes no município de Santa Maria – RS.

1.3. Objetivos Específicos

Para o cumprimento pleno do objetivo geral, a pesquisa explicita a necessidade de quatro objetivos específicos, sendo estes alusivos a cada capítulo desta dissertação:

- I. Determinar a conceituação de corredores verdes bem como objetivos, funções, benefícios, morfologia e tipos de atividades que podem compreender no perímetro urbano;
- II. Caracterizar os elementos da paisagem urbana de Santa Maria/ RS e o panorama ecológico atual;
- III. Estabelecer valorações e pesos, determinando variáveis relevantes para o planejamento de um sistema de corredores verdes através da sobreposição de mapas temáticos;

- IV. Desenvolver uma base metodológica quali-quantitativa com múltiplos critérios de análise em geoprocessamento voltada para a definição de áreas ecológicas potenciais;
- V. Propor um sistema de corredores verdes a nível do perímetro urbano do município.

1.4. Justificativa

De forma geral, as cidades brasileiras não oferecem a real importância e consideração que o planejamento da paisagem e de espaços livres requerem, o que intensifica a problemática de que a paisagem de uma cidade é contemplada diretamente através de seus espaços livres. Estes espaços desempenham uma dinâmica própria que constantemente é ignorada pelos gestores e ameaçados pelos padrões de modelos de ordenação territorial, culminando na fragmentação definitiva da paisagem.

Para este trabalho, a área-estudo é delimitada como a sede urbana do município de Santa Maria – RS, que possui uma área total de 1.780,194 km² (IBGE, 2020) e, como delimitação para a pesquisa, o perímetro urbano compreende 13.092 Ha, com uma população estimada de 283.677 habitantes (IBGE, 2020).

Situando-se em uma zona de transição entre os Biomas Pampa e Mata Atlântica, Santa Maria oferece uma diversidade de elementos naturais extremamente rica e potencial, contudo, ainda é assolada pelos problemas anteriormente explanados. Consolidando um processo de espraiamento fomentado pelos órgãos oficiais da cidade, esta apresenta baixo índice de mobilidade alternativa, sendo a prioridade majoritária, a do automóvel. No entanto, apresenta grandes interlúdios urbanos, conformados por terrenos baldios e áreas naturais que, em situação atual não desempenham benefícios ativos aos pedestres, porém podem desempenhar papel fundamental para uma alteração nesse cenário ao ser aplicada uma abordagem vinculada à ecologia da paisagem.

Com base nesses conceitos, diversos lugares no mundo, como Estados Unidos da América, Canadá, China, Coreia, entre outros, já adotaram a ecologia da paisagem para o planejamento e gestão de seus estoques vegetados e sua conectividade

através de corredores verdes. O Brasil, por sua vez, possui legislações que protegem as áreas naturais, no entanto não previnem sua fragmentação.

É imprescindível que, para o mantimento do ecossistema natural, seus corredores sejam mantidos, uma vez que atuam como limitantes de ações antrópicas como urbanização em larga escala e mitigatórios dos efeitos de eventos naturais como movimentos de massa, enchentes e alagamentos. Por ser uma cidade média, populosa e com um grande perímetro urbano, com vastas áreas de preservação e áreas naturais em potencial, Santa Maria configura-se como um objeto de estudo relevante no que tange ao tema da metodologia de corredores verdes.

1.5. ESTRUTURA DO TRABALHO

A presente pesquisa compreende a linha de pesquisa de Planejamento, Projeto e Fundamentos do Ambiente Construído e é desenvolvida a partir de uma linha contínua de pensamento. Subdivide-se em quatro capítulos, com o objetivo de facilitar a leitura e compreensão dos pontos abordados.

- I. Capítulo 1: Apresenta brevemente o trabalho com introdução, objetivos e justificativa da pesquisa buscando contextualizar a relevância para a área de estudo;
- II. Capítulo 2: É iniciada a Revisão Bibliográfica sobre o tema abordado, partindo dos conceitos de paisagem, ecologia da paisagem e métricas da paisagem. O debate traz o discurso acerca de corredores verdes a partir de seu histórico, definições, benefícios, morfologia, *layout*, escalas, *buffers*, bordas e larguras;
- III. No Capítulo 3, é apresentada a área de estudo deste trabalho através de um breve panorama de urbanização brasileira e o cenário ecológico do município em questão;
- IV. Capítulo 4: Nesta etapa, são introduzidas as metodologias deste estudo qualitativo e quantitativo através da análise multicritérios e a definição

das variáveis de análise, e da sobreposição espacial de mapas temáticos;

- V. Capítulo 5: São apresentados os resultados da pesquisa, sendo desde a base de dados, suas ponderações, matrizes de comparação e mapeamentos cruzados com informações adicionais;
- VI. Capítulo 6: Por fim, são realizadas as considerações finais acerca do trabalho.

Capítulo 2

REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Paisagem como objeto de análise

De acordo com Macedo (1999), a paisagem se retrata como a expressão morfológica de diferentes formas de ocupação, conseqüentemente transformando o ambiente de um determinado espaço e tempo. Com essa colocação, faz-se necessário iniciar o debate no qual ocorra a desconstrução da palavra “paisagem” como algo natural ou verdejado. Spirn (1995) explica que o quadro da paisagem é complexo e dinâmico, sendo tecido por muitos fios de múltiplas dimensões, sendo, dessa forma, uma resposta aos ritmos e histórias vivenciadas, expressadas, reprimidas e sentidas.

Besse (2014) considera a paisagem como uma representação cultural informada principalmente através da pintura, um território produzido pelas sociedades conformando um complexo sistema, articulando elementos naturais e culturais em espaços de experiências sensíveis. O confronto a esse termo paisagem, a partir de conjuntura teórica, ocorre devido ao amplo número de disciplinas que se apropriam dele como campo de estudo, como Urbanismo, Paisagismo, Sociologia, Antropologia, Geografia, Ecologia, Biologia, Filosofia, História, etc. Essa miscelânea de definições e especulações gera termos divergentes.

Schenk e Lima (2019) pontuam que, na busca por uma relação mais equilibrada entre natureza e cidade, existe uma predominância da chave ecológica no que tange ao planejamento de espaços livres, deixando de lado aspectos essenciais como realidade vivida, sociocultural, memória e patrimônio do espaço, dimensões pouco contempladas no processo de projeto.

Os espaços livres são definidos por Magnoli (2006) como “todo espaço (e luz) nas áreas urbanas e em seu entorno, não coberto por edifícios”, o que gera um “tecido pervasivo” (LIMA, 1996) sob o qual se estabelecem as cidades e todas as questões apropriadas pela sociedade. São, portanto, os espaços de ar livre, vida cotidiana; fomentam acessos, atividades, movimentações, lazer, recreação e convivência. A totalidade dessas áreas são tratadas como sistemas de espaços livres urbanos, sobretudo quando configuradas em forma de rede, fornecendo habitat para a vida silvestre (além de todos os benefícios supracitados para os seres humanos).

“A paisagem pode ser definida como um território produzido e praticado pelas sociedades humanas, por motivos que são, ao mesmo tempo, econômicos, políticos e culturais. Efetivamente nessa perspectiva, o valor paisagístico de um lugar não é considerado unicamente do ponto de vista estético (embora também o seja), é considerado mais em relação com a soma das experimentações, dos costumes e das práticas desenvolvidas por um grupo humano nesse lugar.” (BESSE, 2014).

Cada abordagem para o termo possui peculiaridades, e através da categorização supracitada, Besse (2014) classifica cinco aspectos aos quais chama de portas (ou entradas) para a paisagem, sendo uma representação cultural (A), um território produzido pela sociedade em sua história (B), um complexo sistêmico articulando elementos naturais e culturais numa totalidade objetiva (C), um espaço de experiências sensíveis (D) ou como um local/ contexto para projeto (E).

Essas portas não necessariamente atribuem profissão exclusiva à sua conceituação e, por vezes, todas se articulam entre si para de fato representar a complexidade do conceito. Para fins de melhor compreensão deste texto, assume-se a caracterização do termo paisagem sendo subsequente ao conceito B: Um complexo sistêmico articulando elementos naturais e culturais numa totalidade objetiva, estando em perfeita consonância com a própria ecologia da paisagem, uma vez que trata o complexo sistêmico (mosaico heterogêneo) com elementos naturais e culturais (unidades interativas).

Discussões sobre a conceituação da paisagem não são assuntos recentes, sendo fomentadas e complexificadas ao longo dos séculos, buscando, através de debates em bases conceituais e práticas, intervir e descrever a relação do ser humano com as diferentes perspectivas e experiências sobre sua inserção em áreas naturais,

visando a contribuir positivamente para o ordenamento urbano. Desta forma, evidenciando o conflito histórico e o alto grau de complexidade entre a sociedade urbana e a natureza (FREITAS, 2020).

A incorporação de espaços livres no debate de contribuições para a qualidade ambiental no âmbito urbano é recorrente desde o século XIX, quando buscou-se critérios de higiene e recreação para as edificações (FALCÓN, 2007). Já em Paris, durante o Plano Hausmann (1851-1870), foi proposta a articulação de um sistema viário com parques e jardins; e justamente a multiescalaridade desses elementos permitiu a rede hierárquica de uma nova paisagem.

Essas experiências europeias foram o grande marco inspirador para o norte-americano precursor da arquitetura da paisagem, Frederick Law Olmsted (1822-1903), que busca aliar as dimensões estéticas, culturais e técnicas, tratando o elemento paisagem como o resultado de todo um desenvolvimento humano somado a elementos do lugar. (SCHENK, 2008).

Frederick Law Olmsted (1870) teve um papel fundamental no planejamento e apropriação de projetos na escala da paisagem, visto que não se restringia somente às questões físicoambientais isoladas, como relevo, águas e drenagem, mas pensava também na integração, entre si, desses processos naturais; pretendia aproximar o cidadão da experiência com a natureza (SCHENK e LIMA, 2019). Essa aproximação e exploração saudável da natureza geram valorações sutis na percepção da distribuição e função do verde e fornecem aos usuários uma intrínseca experiência do local, tornando a paisagem única para cada observador (MELL, 2010).

Enquanto isso, na França, as alternativas de planejamento da paisagem eram alinhadas com a de Olmsted, que teve papel fundamental no trabalho de Jean Claude Nicolas Forestier (1861-1930), destacando o papel fundamental que um sistema de parques, aliado a uma hierarquia de espaços livres, desenvolve no planejamento urbano. Sendo assim, Forestier desenvolve uma metodologia integradora verticalizada, indo desde aspectos físico-ambientais e naturais do território até a sua relação com usuários (ABREU FILHO, 2010).

É apenas no século XX que as dimensões de paisagem e ordenamento urbano tendem a contrariar a densa urbanização desenfreada que assola o mundo. Buscando o diálogo com a natureza e evidenciando sua importância fundamental para a vida de todos, Ebenezer Howard (1850-1928) apresenta o projeto de Cidade-Jardim, que visa

a estabelecer as vantagens da vida no campo e na cidade concomitantemente com questões ambientais, econômicas, sociais e políticas (HOWARD,1996). sendo o marco precursor para a fundamentação de outras propostas em diferentes escalas e perspectivas integradas pelos membros da *Regional Planning Association of America* (RPAA), dentre eles, Patrick Geddes (1854-1932) na escala de regional e Patrick Abercrombie (1897-1957) no contexto pós-Segunda Guerra Mundial com sua proposta para reestruturar a Grã-Bretanha.

Ficou evidente, com a realidade pós-guerra, que a arquitetura da paisagem começa a ganhar destaque como área de estudo, sendo aliadas principalmente questões ambientais para sua proposta, sendo o marco inicial para um planejamento ecológico.

É nesse sentido que Ian McHarg (1920-2001) começa a desenvolver a questão de natureza e do ser humano como indo além de um viés decorativo ou de embelezamento de uma cidade insalubre; ele acreditava que, por prover fonte de vida, deveria ser respeitada (MC HARG, 1971).

O autor desenvolve uma metodologia de sobreposição cartográfica de informações técnicas, como geologia, fisiologia, hidrologia, podologia do solo, associações de plantas, vida selvagem, recursos minerais, uso e ocupação do solo, marcos paisagísticos e históricos (etc) somando ainda processos históricos, físicos e biológicos, constituindo valores sociais para uma adequação única de diferentes usos do solo (MC HARG, 1971). Nesse cenário, surge a ecologia da paisagem, que pode ser classificada como “o estudo das interações entre os organismos e seus ambientes” (DRAMSTAD, W.E.; OLSON, J. D.; FORMAN, R.T.T, 1996).

As paisagens gerenciam e dão suporte a serviços ambientais com utilidades inclusive humanas. Alguns exemplos desses serviços podem ser definidos como a ciclagem de nutrientes, formação do solo, provisão de água, purificação do ar, regulamentação do clima e a polinização (KREMEN, 2005; SOUZA, 2012).

Permeando este mosaico chamado de paisagem, acontecem os movimentos de animais e o fluxo de matéria e energia, que são aspectos primordiais para a manutenção de serviços ambientais (BENNET, 2003). Em algumas paisagens que apresentam níveis reduzidos de degradação, é possível observar conexões e interações entre os elementos naturais, que são justamente a chave para a

manutenção e funcionamento equilibrado dos ecossistemas (HELLMUND & SMITH, 2006).

São apontados alguns padrões espaciais na paisagem que conformam qualidades fundamentais para a conservação da biodiversidade¹ e dos serviços ambientais em qualquer local (FORMAN & COLLINGE, 1997). Esses padrões espaciais podem ser definidos como uma área heterogênea de terra composta por mosaicos, caracterizando manchas, corredores e matrizes² (FORMAN & GODRON, 1986).

Existem arranjos insubstituíveis dentro de uma paisagem, como as manchas de grandes vegetações nativas, conexões entre essas manchas, corredores com vegetações ao longo de recursos hídricos e fragmentos vegetativos distribuídos dentro de matrizes com menor qualidade ecológica (SOUZA, 2012). Dessa forma, fenômenos que culminam em mudanças no padrão espacial natural das paisagens, como por exemplo, a fragmentação, possuem influência direta sobre o equilíbrio desses ecossistemas (JONGMAN & PUNGETTI, 2004).

De modo geral e em escala global, as alterações nos padrões espaciais das paisagens naturais são prioritariamente oriundas de intervenções humanas (TURNER; GARDNER; O'NEILL, 2001; SOUZA, 2012). As alterações antrópicas na paisagem podem incluir, por exemplo, desenvolvimento de áreas agrícolas, extração de recursos naturais, construção de cidades e infraestruturas de transportes (FORMAN & GODRON, 1986). Em áreas com ocupação antrópica, são caracterizadas como fase contínua da paisagem (ou matriz dominante) as áreas de cultivo ou áreas urbanas, enquanto a fase descontínua (ou fragmentada) passa a ser a cobertura nativa, o que classifica como uma inversão da matriz. Embora processos naturais também possam fragmentar a matriz natural da paisagem através de processos ecológicos (como, por exemplo, processos erosivos e voçorocas), a velocidade das

¹ Pode-se definir biodiversidade como “a variabilidade entre os organismos vivos de todas as fontes, incluindo o *inter alia*, sistemas terrestres, marinhos, outros sistemas aquáticos e os complexos ecológicos do qual eles são parte; isso inclui a diversidade dentro de espécies, entre espécies e de ecossistemas” (HARPER; HAWKSWORTH, 1995).

² Matrizes, de acordo com Forman e Godron (1986) são áreas largas e densas de uma mesma forração, destacando-se na paisagem como grandes maciços, comumente associados a áreas de florestas ou matas, porém podendo ser caracterizado também como zonas urbanas ou aglomerações homogêneas.

alterações antrópicas diferem e dificultam a regeneração da forração nativa (HILTY; LIDCKER; MERENLENDER, 2006; SOUZA, 2012).

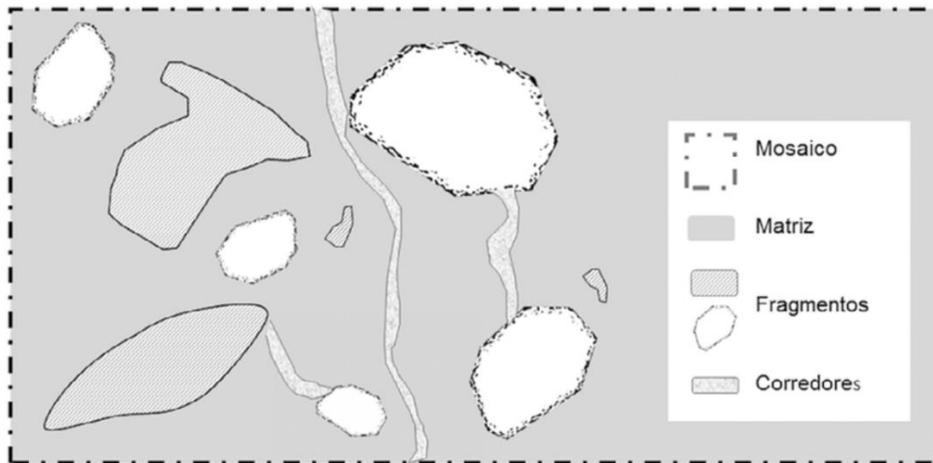
Corredores verdes são considerados uma estratégia para planejamento de ocupações da paisagem, corroborando com os conceitos explanados. Essa estratégia compreende a tipologia de sistemas lineares de conexões (formando redes) entre elementos naturais de uma paisagem (AHERN, 1995). Auxiliando na conservação da biodiversidade, os corredores verdes promovem, conseqüentemente, diversos benefícios para as populações humanas (AHERN, 2002). O sistema em forma de rede de corredores pode ser projetado em múltiplas escalas, desde o nível local até um nível nacional (FABOS, 2004).

Essa estratégia é diferida da abordagem tradicional que enfatiza a não-ocupação de áreas de valor ecológico, entretanto não previne sua fragmentação (AHERN, 1995), já que seu foco principal é a preservação das áreas e não a conectividade entre elementos naturais da paisagem (SOUZA, 2012). A área de estudo que prevê a análise da paisagem como um sistema único se chama Ecologia da Paisagem.

2.2. A Ecologia da Paisagem e suas Métricas

A ecologia da paisagem surge em 1939 com o alemão Carl Troll, que buscava integrar as disciplinas de Geografia e Ecologia, sendo o primeiro a inferir que estas são simbioticamente interligadas (NUCCI, 2007). Posteriormente, a definição de corredor verde é originária de uma metodologia de ecologia da paisagem que visa compreender, separar e analisar os elementos componentes da paisagem (tanto natural quanto antrópica em quaisquer níveis de conservação ou degradação) e separá-los entre matrizes, fragmentos e corredores (figura 1).

Figura 1: Matriz, fragmento e corredor



Fonte: Armenteras & Vargas (2016)

A matriz é o elemento de maior atenção na paisagem (podendo ser grandes morros, vastas áreas vegetadas, campos de solo exposto ou solo agrícola, grandes urbanizações...) e tem a função de caracterizar o local, sendo um elemento estruturante para as unidades da paisagem (FORMAN & GODRON, 1986).

Os fragmentos são porções menores e mais espalhadas da mesma classificação das matrizes. Pode-se, por exemplo, pensar na fragmentação dos espaços livres dentro de uma área de densa urbanização (FORMAN & GODRON, 1986).

Já os corredores são porções lineares desta classificação, onde ainda não existe diferenciação entre larguras e comprimentos. Os corredores comumente assumem o nome de uma coloração para facilitar o entendimento do que são, como corredores verdes (áreas naturais verdes), corredores azuis (redes hidrográficas), corredores amarelos (faixas litorâneas de mangue e restinga), corredores cinzas (impermeabilizações do solo por sistema viário). A função primordial dos corredores é buscar sempre a conexão dos outros elementos integrados à paisagem (HELLMUND & SMITH, 2006).

Os corredores verdes podem assumir duas proporções: corredores e corredores ripários, que são localizados próximos às margens de redes hidrográficas e ao longo de suas áreas de influência. A biodiversidade encontrada nesses locais é superior a outras paisagens (FORMAN & GODRON, 1986), portanto possui vital

importância, sendo indispensáveis para o funcionamento sustentável, uma vez que seu funcionamento não pode ser suprido por outro local (SOUZA, 2012).

O principal fator de importância dos corredores ripários para a dinâmica urbana é a atuação como zona de amortecimento, realizando filtragem de sedimentos e impedindo que atinjam tão facilmente as zonas ocupadas. Também controlam a erosão e regulamentam a temperatura e manutenção e qualidade da água, protegendo o habitat de perturbações externas e gerindo o fluxo de nutrientes, materiais e organismos (FORMAN & GODRON, 1986; SOUZA, 2012).

Para as zonas densamente ou moderadamente urbanizadas, os corredores ripários agem como mitigadores dos impactos oriundos da antropização humana, como inundações, por exemplo, ou até mesmo movimentos de massa (deslizamentos). A vegetação ripária atua também como promotora de proteção da biota terrestre e da aquática (HILTY et al 2006).

A paisagem não é a simples adição de elementos geográficos disparatados. É, em uma determinada porção do espaço, o resultado da combinação dinâmica, portanto instável, de elementos físicos, biológicos e antrópicos que, reagindo dialeticamente uns sobre os outros, fazem da paisagem um conjunto único e indissociável, em perpétua evolução. A dialética tipo-indivíduo é o próprio fundamento do método de pesquisa. (BERTRAND, 2004).

De acordo com Forman e Godron (1986), a paisagem é heterogênea, composta por conjuntos de ecossistemas interativos. Em consonância, Metzger (2001) define a paisagem como um mosaico heterogêneo formado por unidades interativas, segundo um observador e uma determinada escala de observação. É dentro da Ecologia da Paisagem que se examinam as dinâmicas, funções e estruturas que compõem a paisagem e suas implicações (SUN, 2006).

As métricas da paisagem podem ser classificadas como índices qualitativos e quantitativos que buscam descrever configurações e padrões da paisagem (BHATTA, 2010; ARCHER, 2013; WEISS, 2016). Elas permitem estudos científicos, lógicos e dedutivos, uma vez que seu algoritmo admite a mensuração de geometrias e propriedades espaciais (HEROLD et. al, 2002; LIU et. al, 2010; ZHANG, 2010; WEISS, 2016).

As métricas da paisagem são utilizadas de forma a monitorar, quantificar e compreender as alterações na configuração e composição da paisagem através de

estudos analíticos referentes à forma, como tamanho, borda, diversidade e organização (SUN, 2006; ZHANG, et. Al 2011; COELHO et. Al 2014; WEISS, 2016).

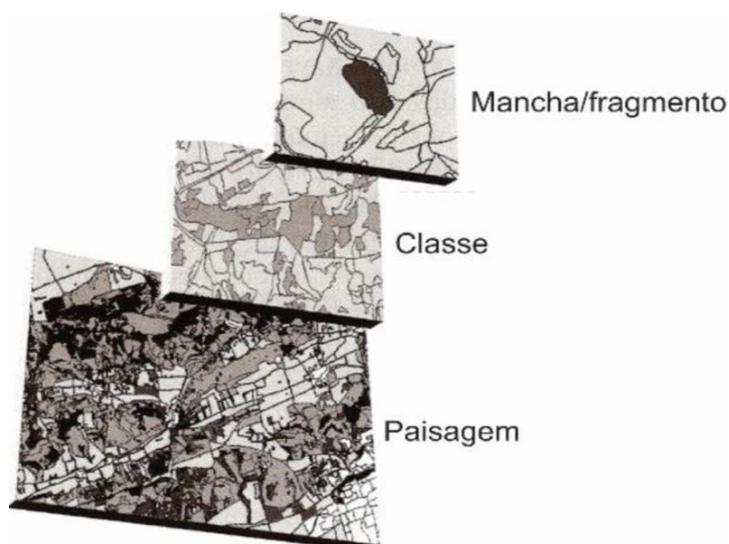
Um fator que popularizou a metodologia de métricas da paisagem em estudos de geografia, urbanismo, ecologia e suas diversas áreas foi a interface com os Sistemas de Informações Geográficas (SIG), permitindo o desenvolvimento de diversos estudos, tais como detecção, estrutura, análises e avaliações do planejamento e da modelagem urbana: “As mais importantes ferramentas holísticas para análise, planejamento e gestão da paisagem.” (LANG; BLASCHKE, 2009).

Pereira et. al (2011) explica que diversas problemáticas das cidades, como por exemplo, a dispersão urbana, receberam atenção especial após a expansão destas técnicas de espacialização, pois conseguem, de forma mais didática, conciliar os conceitos de forma urbana em diferentes escalas com base em estatísticas. A análise com base em imagens aéreas/ de satélite quantifica itens como composição e configuração espacial, manchas, classes e paisagem urbana (SUN, 2006; YU; NG, 2007; PHAM et al 2011; WEISS, 2016).

A utilização de índices e mensurações oriundas das métricas da paisagem para a quantificação do crescimento de processos urbanos implica em um grande avanço para a compreensão destes fenômenos, possibilitando, assim, avaliar alterações espaciais com mais precisão e diagnosticar níveis de compactação ou dispersão de desenvolvimento urbano, rural ou natural (HEROLD et al., 2003; SETO; FRAGKIAS, 2005; BHATTA, 2010; JENERETTE E POTERE, 2010, AGUILERA et al., 2011; PHAM et al., 2011; WEISS, 2016).

Assumindo, então, que a paisagem é um sistema composto pela interação de elementos heterogêneos, as métricas da paisagem hierarquizam e quantificam-se em três níveis: manchas/ fragmentos, classes de uso do solo e a matriz espacial, que seria a própria paisagem em si (FORMAN, 1995; SUN, 2006; LANG & BLASCHKE, 2009; WEISS, 2016).

Figura 2: Níveis de análise das métricas espaciais



Fonte: Lang & Blachske (2009)

A **mancha/ fragmento** é composta por uma área com características homogêneas da paisagem (figura 2) como, por exemplo, a definição do mesmo uso de solo. É a unidade básica fundamental para a mensuração das métricas da paisagem (FORMAN, 1995; COUTO, 2004; SCHNEIDER, 2006; SUN, 2006; LIANG, 2008; BEKALO, 2012; ARCHER, 2013; WEISS, 2016).

Já a **classe** é considerada a entidade espacial que comporta todas as manchas de determinado uso (FORMAN, 1995; COUTO, 2004; LANG & BLASCHKE, 2009; WEISS, 2016). Estoque e Murayama (2013) apontam que o estudo a nível de classe é a principal análise, configurada por fornecer maiores informações quanto a padrões, distribuições, e variações de desenvolvimento paisagístico (WEISS, 2016).

Com base nos três níveis de quantificação, as métricas se subdividem em duas grandes categorias (figura 2): as que mensuram a **composição** e as que avaliam a **configuração espacial** (LANG & BLACHSKE, 2009; MCGARIGAL, 2014; WEISS, 2016).

A **composição** leva em consideração a variedade e abundância de tipos (usos do solo) de manchas bem como suas relações com os demais componentes da paisagem, contudo descartam características espaciais, disposição e localização das manchas. Nesse norte, de acordo com McGarigal (2014), Delgado (2010) e Weiss (2016), no que tange às métricas de composição, as principais são:

- i. **Proporção de abundância da classe:** Sendo a proporção de cada classe em relação a paisagem como um todo;
- ii. **Riqueza:** O número de diferentes tipos (usos do solo) de manchas;
- iii. **Uniformidade:** Relacionada aos tipos diferentes de manchas e suas dominâncias ou equidades;
- iv. **Diversidade:** Relação entre riqueza e uniformidade.

Já a configuração espacial faz questão da descrição de características espaciais de acordo com o arranjo, posição ou orientação das manchas, logo, abrange níveis de mancha e classe. De acordo com McGarigal (2014), Lang & Blaschke (2009) e Weiss (2016), as principais métricas citadas são:

- i. **Tamanho da mancha e borda:** Atuando como atributo crucial para a configuração espacial, o tamanho da mancha identifica a área do fragmento, que é incorporado em diversas outras métricas relacionadas a classe e paisagem. A medida das bordas está vinculada à densidade e comprimento da borda, onde valores altos indicam graus elevados de irregularidade e complexidade;
- ii. **Complexidade da forma da mancha:** Está relacionada à geometria das manchas, levando em consideração se são mais simples, compactas e irregulares. Os valores são formados, geralmente, por meio da relação perímetro/ área, perímetro/ paisagem ou como uma dimensão fractal. Valorações elevadas classificam maior complexidade de forma (considerando uma feição padrão quadrado-círculo). Quanto mais a mancha desviar do padrão quadrado-circular, proporcionalmente será seu indicador;
- iii. **Área-núcleo:** É a área interna da mancha que leva em consideração uma faixa perimetral, uma área de amortização chamada de *buffer* em relação à borda. Representa a distância que a área interna da mancha não sofreu com influências externas, que decaem somente sobre as áreas de borda;

- iv. **Proximidade:** Mensura o relativo isolamento das manchas de mesma classe, destacando a medida de borda-a-borda com o vizinho mais próximo.

A figura 3 exemplifica as principais métricas vinculadas a estas categorias, sendo empregadas valorações hipotéticas e simulação de as manchas, classes e matriz da paisagem para proporcionar maior compreensão.

Vale-se ressaltar, ainda, que a figura representa um recorte espacial de uma paisagem heterogênea e as métricas aplicadas são relativas a níveis de classe e mancha.

Área/ densidade/ borda: área da mancha, perímetro da mancha, área da classe, número de manchas, densidade da mancha, total de borda, densidade de borda, índice da maior mancha, distribuição da área de mancha.

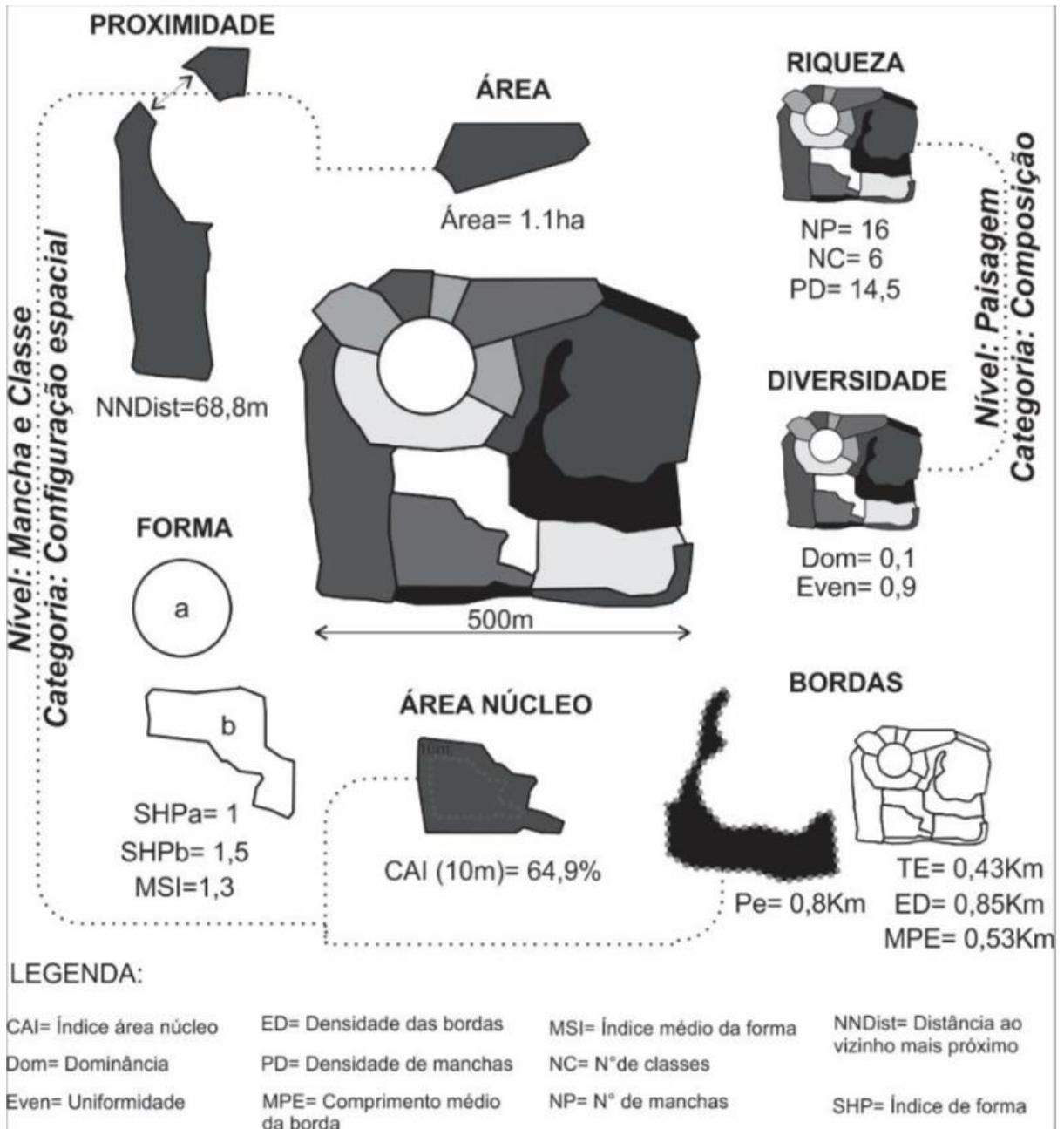
Forma: relação perímetro/ área, índice de forma, dimensão fractal, índice de linearidade, dimensão fractal perímetro- área.

Área núcleo: área núcleo, número de áreas núcleos, número de manchas, densidade da mancha, total de borda, densidade de borda, índice de forma da paisagem, índice da maior mancha, distribuição da área de mancha.

Proximidade: índice de proximidade, índice de similaridade, distribuição do índice de proximidade, distribuição do índice de similaridade.

Diversidade: índice de riqueza, índice de diversidade Shannon, índice de diversidade Simpson, índice de uniformidade Shannon, índice de uniformidade Simpson.

Figura 3: Aplicação das métricas espaciais



Fonte: Weiss, 2016.

Herold (et al 2005) aponta que as métricas se comportam como um sumário estatístico, permitindo extrair informações de média, variância, distribuição e frequência na paisagem.

2.3. Corredores Verdes

Benedict e McMahon (2006) explicam que um sistema interconectado de áreas naturais (ou outros espaços livres) conservam o ecossistema natural, valorizando funções como sustentação e filtragem de ar e água (limpos) bem como uma ampla gama de benefícios para a vida selvagem. Um sistema assim pode ser considerada um marco ecológico para o meio ambiente, social, econômico e saúde – resumindo, todo sistema natural de suporte à vida.

Importante pontuar que este não é um conceito novo; similares a corredores verdes remontam à Inglaterra, final do século XIX, quando Ebenzer Howard apresentou um esquema de cidade-jardim, a qual era delimitada por um grande “cinturão verde”, que estaria conectando a área residencial com os grandes parques.

De acordo com Flink (2020), a clássica definição de corredores verdes é de um espaço livre linear geralmente estabelecido ao longo de um corpo d’água (também podendo ser aplicado em vias urbanas, áreas históricas ou ferrovias) e fomentam a conectividade entre comunidades, lazer e recreação bem como meio de locomoção. Em 1989, Charles Little já os chamava de “cenário essencial de comunidades bem-sucedidas, engajadas e progressistas”.

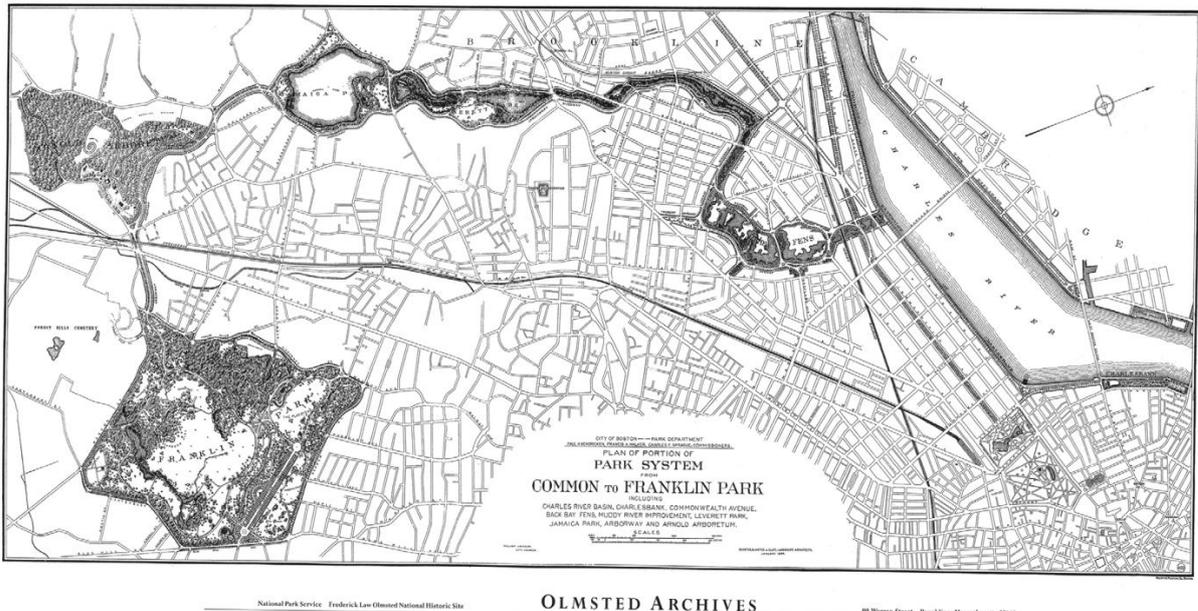
Forman (1986) elenca cinco funções primordiais desempenhadas pelos corredores verdes na paisagem: habitat, condução, filtragem, fonte e destino; em habitat prevalecem as espécies de borda ou generalistas, com exceção das que utilizam a porção central de alguns corredores (quando largos o suficiente). A filtragem corre através de uma barreira, inibindo a travessia ou a apropriação destes lugares. A fonte é quando um corredor atua como um reservatório de animais e sementes. Já o destino é a absorção de fluxos de áreas adjacentes, acumulando sedimento, nutrientes de solo e animais.

2.3.1. Olhar Histórico

A sistematização do espaço livre através da conformação de áreas verdes teve seus estudos iniciais no fim do século XIX, com base nos trabalhos de Frederik Law

Olmsted principalmente sobre o Sistema de Parques de Boston (1887), que convergia à zona pantanosa da *Back Bay* e se estendeu por contínuos parques interconectados até se tornar a *Emerald Necklace* (colar de esmeraldas), formado por 10km de extensão e mais de 800 hectares de área (figura 4).

Figura 4: Emerald Necklace por Frederik Olmsted

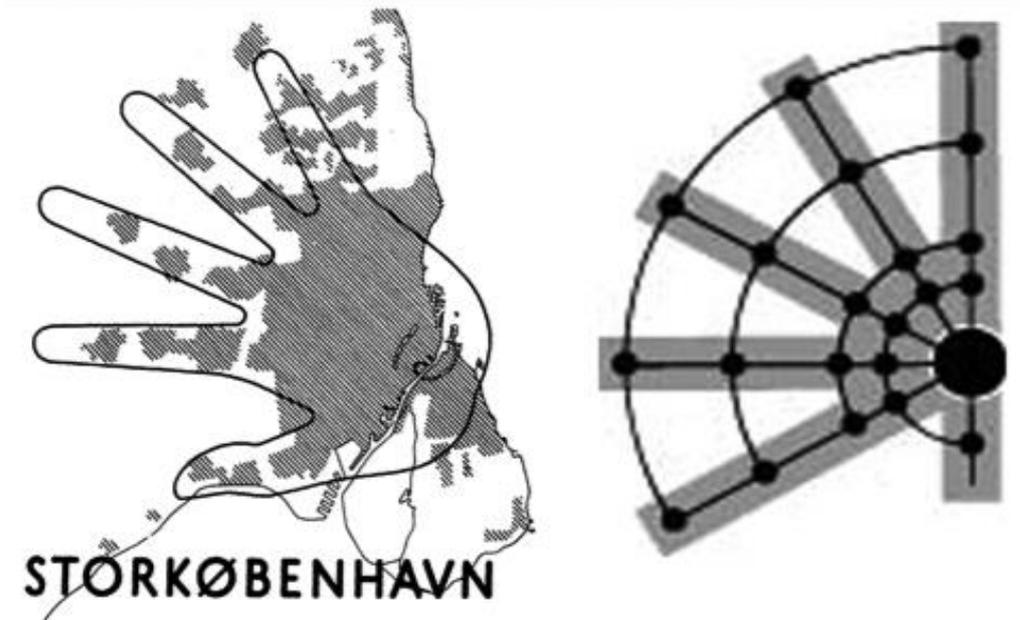


Fonte: Bonzi (2014)

Buscando integrar a cidade e o campo, Olmsted unificava partes de um mesmo desenho através de espaços livres, adquirindo, então, uma nova dimensão para além dos parques públicos, visto que estavam conectados através do que chamava de *parkways*. Além de unir e integrar os parques entre si, contribuía para a nova concepção do desenho urbano, tomando partido do desfrute da paisagem, caminhos panorâmicos ou elementos de continuidade paisagísticas que cruzavam parques e outros espaços livres. (JELLICOE, 1995).

Nesse sentido, em 1947, as cidades europeias também estavam buscando a integração da natureza com a urbanização e, com isso, surge o *Copenhagen Finger Plan* (figura 5), onde os dedos verdes invadem a cidade, auxiliados pela topografia natural, circundavam e controlavam as áreas de adensamento urbano, ordenando o desenvolvimento de novas ocupações ao redor desses eixos.

Figura 5: Planejamento de Dedos Verdes de Copenhague

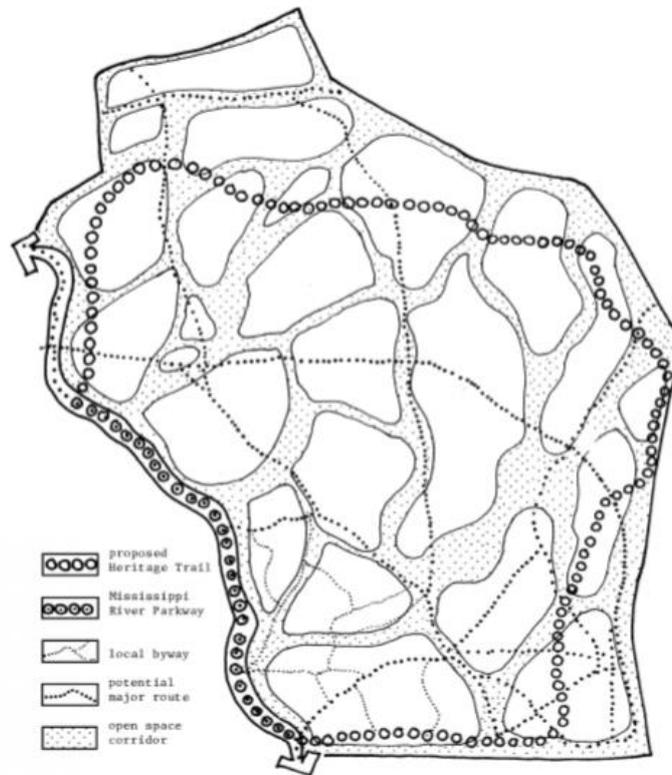


Fonte: Tardin, 2008.

De acordo com Little (1990) e Hellmund & Smith (2006), a nomenclatura “corredores verdes” surgiu apenas em 1950 como um novo conceito e ganhou campo entre urbanistas e planejadores da paisagem. Já em 1960, Philip Lewis e Ian McHarg documentaram a importância de proteger e conservar as áreas naturais da paisagem e a identificação desses corredores.

Ainda na década de 60, Philip Lewis trouxe uma nova abordagem para a metodologia de desenvolvimento de corredores verdes em um projeto para Winsconsin. Ele utilizou diversas técnicas de sobreposição de mapas e verificou que os recursos (naturais e culturais) mais significativos para a paisagem ficavam ao longo de corredores, principalmente os rios. Seu projeto está ilustrado na figura 6.

Figura 6: Winsconsin Heritage Trail Proposal por Phil Lewis.



Fonte: FABOS Conference (2004)

Em 1969 Flounoy desenvolve seu trabalho intitulado “Um Relatório ao Conselho da Cidade sobre os Benefícios, Potenciais e Metodologia do Estabelecimento de um Sistema de Corredores Verdes em Raleigh”.

De modo a promover o acesso universalizado da população americana a áreas verdes próximas de habitações ou urbanizações, na década de 80 a *U.S. President's Comission On American Outdoor Reports* recomenda o desenvolvimento de corredores verdes conectando diferentes locais e permeando a paisagem urbana e rural (FABOS, 2004).

Na contemporaneidade, o escritório Alta Planning, sob direção do arquiteto e paisagista Charles Flink, é um dos maiores planejadores da paisagem com foco em corredores verdes no mundo, tendo projetado mais de 200 corredores só nos Estados Unidos da América.

Atualmente, o debate sobre corredores verdes está disseminado pelo mundo, contando com uma conferência própria que reúne materiais, metodologias e diferentes abordagens, denominada *FABOS Conference on Landscape & Greenway Planning*

(Conferencia FABOS sobre paisagem & planejamento de corredores verdes que ocorre a cada 3 anos desde 1997).

Ainda assim, não existe um consenso acerca de itens como território, paisagem e espaços livres, bem como não foi definido um termo exato para o que representam. Com referências oriundas sobretudo do urbanismo, paisagismo, geografia, e ecologia, suas definições qualificam estruturas físicas e estabelecem a composição dos ecossistemas que ali existem (TARDIN, 2008).

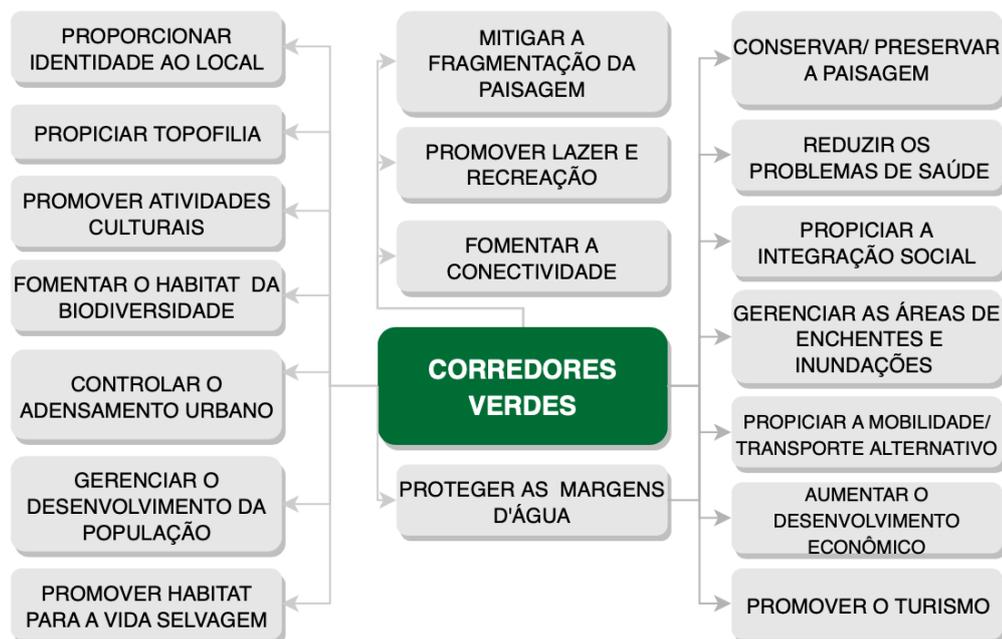
Sendo assim, território, paisagem, espaços livres, corredores verdes, ecologia da paisagem e sustentabilidade, de modo geral, em sua pluralidade, denotam conotações variadas, destacando características mais adequadas para as análises que se deseja realizar (TARDIN, 2008).

2.3.2. Definições de Corredores Verdes

A fragmentação da paisagem ocorre de forma histórica na sociedade e o potencial destas áreas inexploradas deve ser aproveitado de forma com que não destrua, mas sim construa a biofilia, principalmente pelo fato de que o somatório de áreas urbanizadas no mundo todo é referente a não mais que 5% de toda a área do globo terrestre (ANGEOLETTO, 2019), isto é, tem-se uma grande área ainda para remediar e consertar o que as gerações anteriores não conseguiram. Corredores verdes são porções de terra planejadas e projetadas para diversos propósitos, incluindo objetivos ecológicos, recreativos, culturais, estéticos ou outros fins compatíveis com o conceito de uso sustentável da terra (AHERN, 1995).

Seu conceito pode ser classificado como a renovação da paisagem do século XIX e XX, é considerado uma solução para o problema de fragmentação da paisagem. Conectividade é a chave, permitindo unir uma série de elementos aparentemente desconexos, aumentando, assim, a utilidade dos espaços livres tanto para pessoas quanto para animais selvagens. (ERICKSON, 2006). Na figura 7 são estabelecidos alguns dos objetivos centrais de um sistema de corredores verdes.

Figura 7: Objetivos dos corredores verdes



Fonte: O autor, 2021.

Geralmente, os corredores verdes são porções lineares e contínuas de áreas verdes (embora estudos cite quintais residenciais como corredores, por fornecerem fluxo de espécies com maior mobilidade, como pássaros). No panorama atual das cidades, esta dinâmica só é possível em Áreas de Preservação Permanente (APPs), visto que em sua totalidade já foram explorados quase todos os outros possíveis espaços legais para se utilizar o solo.

Corredores que acompanham as redes hidrográficas são chamados de Corredores Ripários e suas margens de influência possuem grande quantidade de biodiversidade, o que os torna indispensáveis para a conformação de um sistema de corredores verdes.

Além da gestão de fauna e flora, os corredores ripários atuam fortemente como zonas de amortecimento, sendo filtradores de sedimentos e controladores da erosão destas áreas, regulando a temperatura e melhorando gradativamente a qualidade das águas. (FORMAN, GODRON, 1986).

Por definição, as margens d'água constituem uma superfície de interseção entre o solo e os sistemas hidrológicos. Os corredores ripários são fundamentais para os corredores verdes, visto que fornecem e fomentam a conectividade, contendo vários usos e funções (AHERN, 2004).

Esses corredores são indispensáveis em qualquer lugar do mundo para o funcionamento sustentável da paisagem, uma vez que suas funções não podem ser obtidas por qualquer outro meio ou localização em uma paisagem, sejam naturais ou antrópicos (FORMAN, 1995).

Dessa forma, os corredores ripários desempenham grande papel no controle de enchentes e inundações de áreas urbanas, visto que, ao circundarem o perímetro das cidades, aumentam significativamente suas áreas alagáveis e de infiltração de água, bem como suas vegetações (em todas as escalas – gramíneas, herbáceas, arbustivas até mesmo de grande porte) filtram as impurezas e dejetos antrópicos que intensificam as causas de cheias.

Em contraponto, o outro tipo de corredor existente é o não-ripario, que usualmente ocorre em áreas de fragmentação vegetal não margeadas por rios, localizadas através da metodologia matriz-fragmento-corredor, que ilustra o grau de conectividade existente ou possível para as massas vegetadas.

De modo geral, corredores verdes são uma alternativa sustentável com diversos pontos positivos para que atuem de forma a suprir a deficiência sobre a fragmentação do ambiente urbano. Ferreira e Machado (2010) descrevem as quatro infraestruturas que a rede de corredores verdes impactam:

- I. Infraestrutura azul (circulação de água);
- II. Infraestrutura verde (produção de biomassa);
- III. Infraestrutura cultural (paisagem e elementos culturais/ sociais);
- IV. Infraestrutura de mobilidade sustentável (não motorizada).

Jongman e Pungetti (2004) explicam que, anterior aos conceitos da ecologia da paisagem, esses elementos eram tratados e planejados individualmente, como áreas de amortização em rios (*buffer*), áreas de preservação, fluxos migratórios de fauna, dispersões, entre outros termos.

Com a implementação da metodologia ecológica da paisagem, a estrutura é tratada como um todo de forma sistêmica, onde os elementos únicos interagem entre si de maneira dinâmica e são combinados para criar a rede ideal de conservação e diversidade biológica da paisagem, enquanto, ao mesmo tempo, apoiam o uso sustentável da terra (JONGMAN & PUNGETTI, 2004).

2.3.3. Atividades nos Corredores Verdes

No que tange à classificação de usos e atividades que podem ser desenvolvidas dentro dos corredores verdes, são concomitantes com seus diversos objetivos, variando e contemplando todos os usos de um espaço livre de lazer e recreação. Dessa forma, visando a identificar e classificar alguns dos usos propostos por estes trechos (em sua microescala) foi desenvolvida a tabela 1.

Tabela 1: Tipos de atividades para corredores verdes

Tipos de atividades			
1	Ciclismo;	13	Pescaria;
2	Corridas;	14	Slackline;
3	Exercício físico;	15	Estar (apreciando paisagem);
4	Skatismo;	16	Descanso;
5	Interação com animais domésticos;	17	Caminhadas;
6	Interação com animais selvagens;	18	Patinete;
7	Interação com elementos naturais;	19	Triciclos;
8	Prática de yoga;	20	Permanência (em pé);
9	Turismo;	21	Outros tipos de modais;
10	Jardinagem;	22	Alongamentos;
11	Monociclo;	23	Sociabilizações;
12	Introspecção;	24	Outros.

Fonte: Adaptado de Pippi (2014) pelo autor (2021)

É válido ressaltar que as atividades descritas não ocorrem obrigatoriamente no perímetro do corredor, uma vez que este pode assumir proporções mais delgadas (em áreas urbanas, por exemplo) não tendo área livre para poder avançar e realizar o manejo dessas atividades. Não obstante, a atuação como pontos conectores para áreas onde essas atividades ocorram é a chave do conceito. Em corredores mais largos que possuam estrutura para contemplar locais de permanência e estar, estes sim, podem tornar-se peças convidativas para que seus usuários se apropriem de seu espaço para usufruir momentos de lazer.

Em relação à funcionalidade, os corredores verdes desempenham três funções primordiais para os habitantes da cidade, sendo elas: função ecológica, social e cultural (AHERN, 1995). O resultado dessas classificações uma é uma amarração

teórica entre os objetivos, atividades, funções e benefícios dos corredores, uma vez que estes quatro pilares norteiam de forma geral as análises de espaços de lazer e recreação.

Dentro desses itens, estão inseridos todos os benefícios que a implementação deste conceito traz para o dia-a-dia dos habitantes das cidades. Suas funções são listadas como ecológicas, sociais e culturais, conforme a tabela 2 descreve.

Tabela 2: Funções ecológicas, sociais e culturais dos corredores verdes

Funções Ecológicas	
I	Manutenção da biodiversidade: proteção de áreas naturais, constituindo habitats;
II	Estabelecimento de ligações entre áreas de habitats e, conseqüentemente, o movimento de espécies, materiais e energia;
III	Filtro natural à poluição das águas e poluição atmosférica. Purificação do ar através da liberação de oxigênio e “sumidouro” de CO ₂ ;
IV	A fixação de poeiras, a proteção dos ventos e a regularização de brisas;
V	A regularização de amplitudes térmicas e da luminosidade atmosférica. Em ambiente urbano é particularmente eficaz em baixar a temperatura da água e do ar devido ao efeito sombra, devido à elevada evapotranspiração, e interfere positivamente nos processos hidrológicos, reduzindo os riscos de erosão;
VI	A circulação da água pluvial a céu aberto e infiltração, promovendo a utilização da água local e torrencial;
VII	Conectividade entre fragmentos de paisagens e habitats.
Funções Sociais e Culturais	
I	Fornecem espaços para recreação e lazer, fomentando a integração social;
II	Identidade para a comunidade;
III	Aumento da satisfação e moral da vizinhança e comunidade local;
V	Envolvimento da vizinhança e comunidade local;
VI	Auxiliam no desenvolvimento de laços de amizade;
VII	Desenvolvimento de crianças, jovens, adultos e idosos;
VIII	Aumento da confiança e compaixão pelo próximo;
IIX	Senso de comunidade e redução da solidão;
IX	Redução da alienação e exclusão social;
X	Redução da criminalidade e tráfico de drogas.
XI	Conectividade entre diferentes escalas (quadras, espaços livres, bairros, cidades).

Fonte: Adaptado de Ferreira e Machado (2010) pelo autor (2021).

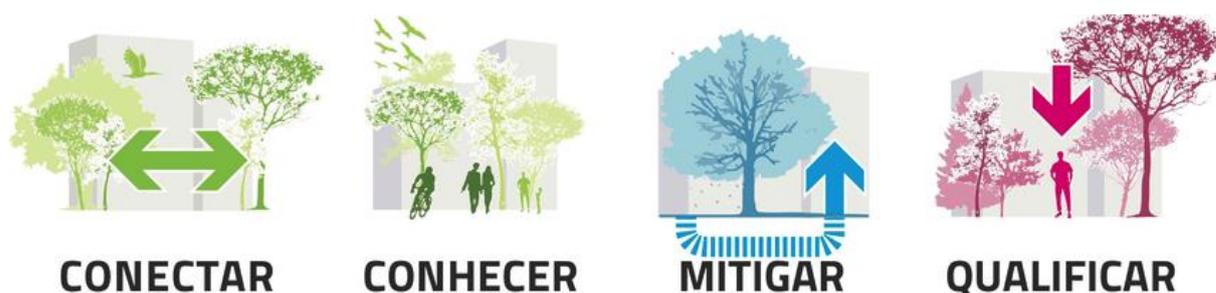
A função ecológica é por si só compreendida no próprio conceito da palavra corredor verde, principalmente em relação à atração e à manutenção da

biodiversidade, enquanto a função social está ligada aos benefícios que os seres vivos tirarão desta relação ecossistêmica simbiótica como purificação de ar, sombreamento, gestão de microclimas, mobilidade e a função cultural está vinculada às formas de aprendizado que partirão deste convívio, a mudança no imaginário das pessoas e o próprio fomento que os corredores proporcionarão aos alvos de suas conexões podendo ser voltados à cultura, bem como servindo de fomento à prática de exercícios físicos (RUMBLE et al 2019).

Percebe-se que é um efeito cascata, pelo qual o simples fato do corredor existir resulta em inúmeros benefícios, não somente para os seres humanos, mas também para fauna e flora, assim como aumenta consideravelmente a resiliência das cidades e diminui a vulnerabilidade ambiental.

O espaço público que tem o privilégio de ser margeado por um corredor verde é um lugar rico de biosfera, fauna e flora pluralizados, abundância vegetal deslumbrante e formadora da paisagem. Esse espaço conta com barreiras vegetadas controlando o índice de ruídos causados pelo meio urbanizado, árvores filtrando e purificando o ar, fomento ao convívio e ao contato com natureza, fazendo com que as próximas gerações cresçam conscientes de que é preciso preservar e executar manutenção dos sistemas de infraestrutura verde e azul.

Figura 8: Motivações de infraestruturas verdes e azuis



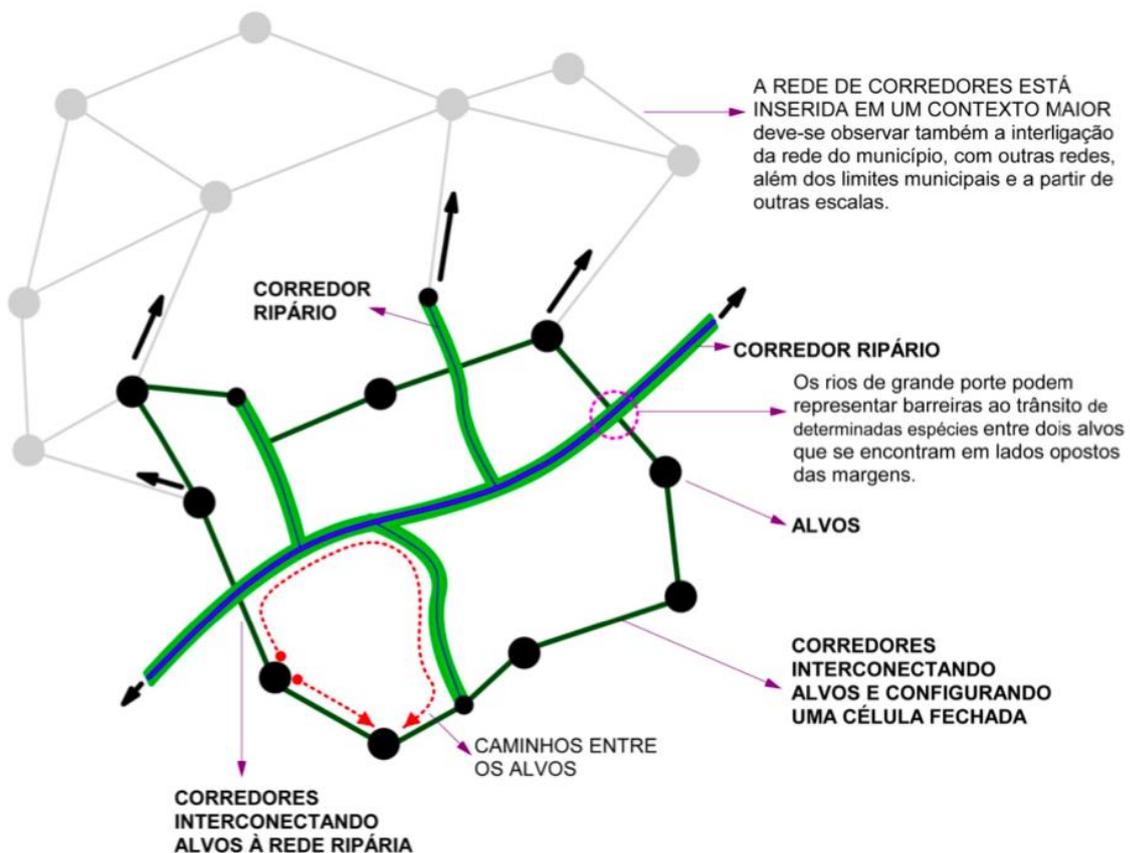
Fonte: Adaptado de Lablonovski (2016)

Nesse norte, Lablonovski (2016) elabora a figura 8 classificando quatro motivações para a implementação destas infraestruturas. São elas, primordialmente: **conectar** espaços e fragmentos de vegetações; **conhecer** novas paisagens, ambiências e sociabilizações; **mitigar** os impactos da supressão antrópica, reduzindo

poluentes e o risco de inundações e enchentes, e **qualificar** o ambiente, tanto através de identidade social quanto de qualidade de vida.

A natureza dos corredores verdes é justamente a eficiência de sua interconexão entre remanescentes de áreas naturais e na permeação da paisagem, o que depende especificamente do local de habitat onde se originam e do mosaico de uso da terra onde estão inseridos. A densidade e composição espacial variam de acordo com o tipo de ocupação, enquanto a função de conectividade varia de acordo com seu arranjo espacial (JONGMAN & PUNGETTI, 2004).

Figura 9: Composição funcional de corredores verdes



Fonte: Souza (2012)

O princípio geral da sistematização de uma rede de corredores verdes é o preceito de que haverá alvos (nós de atividade) para essas ligações (corredores). Nesses nós de atividade encontram-se, por exemplo, áreas de permanência para apreciação da paisagem, parques, praças, academias ao ar livre, estacionamentos e mobiliários urbanos.

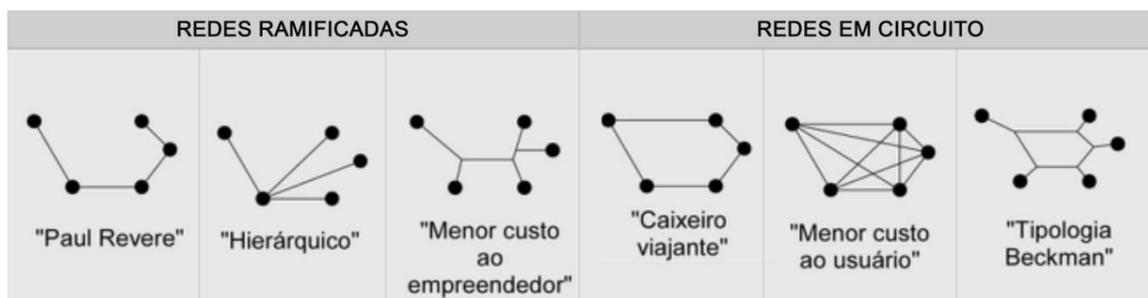
Souza (2012) ilustra (figura 9) a dinâmica do sistema, elencando vários de seus itens de primordial importância. Os nós de atividades também podem ser chamados de bolsões de atividade (PIPPI, 2014); são lugares onde ocorre a concentração de pessoas em locais de permanência, estar e lazer e recreação, enquanto acompanham recursos hídricos (no caso de corredores ripários) e permeiam os usos urbanos, garantindo acessibilidade e visibilidade universal pelos habitantes e usuários.

2.3.4. Morfologia de Corredores

Para compreender a morfologia dos corredores verdes no âmbito de criar conexões entre as diferentes unidades de paisagem, primeiramente precisa-se estabelecer os sistemas hierárquicos (ou grafos) existentes. Um esquema apresentado por Linehan (1995) exemplifica seis tipologias comuns de redes de conectividade em forma de diagramas, sendo um grafo composto por um conjunto finito de ligações e de nós, definindo uma relação clara entre os elementos (CANTWELL; FORMAN, 1993).

Cada grafo possui vantagens e desvantagens, eles são divididos entre redes ramificadas (Paul Revere, Hierárquico e Menor Custo Ao Empreendedor) e redes em circuito (Caixeiro Viajante, Menor Custo ao Usuário e Tipologia Beckman) e estão representados, respectivamente, na figura 10. Para convenção de compreensão dos grafos, entende-se que os círculos são nós ou pontos de atividade, alvos, sendo classificados como algo que vale a pena a inclusão no contexto histórico-social da paisagem, e as linhas seriam as conexões que levam aos nós.

Figura 10: Grafos de conexões em rede



Fonte: Adaptado de Linehan et al (1995) Pippi (2014) pelo autor (2021)

Linehan et al (1995) explica que, no sistema Paul Revere, todos os nós são visitados pelo menos uma vez. Hellmund e Smith (2006) complementam e aproximam o debate ilustrando que, neste caso, os alvos são conectados apenas por um corredor verde. Souza (2012) comenta sobre as vantagens de implementação deste sistema em relação à facilidade de geração de traçado e menor custo de implementação, entretanto, salienta que se torna um sistema frágil, visto sua facilidade em quebrar, acarretando no isolamento completo do nó.

Quanto ao sistema Hierárquico, tem seu fluxo direcionado a partir de um nó de distribuição (LINEHAN et. al, 1995). Hellmund e Smith (2006) explicam que esse sistema ocorre quando um ou mais 'nós' possuem alto grau de importância, o que torna desejável que todos os outros sejam conectados a ele. Souza (2012) também comenta a fragilidade desse sistema, já que a hierarquização dos alvos não garante redundância ao sistema, uma vez que facilmente pode-se isolar um nó e este se tornar obsoleto.

O sistema de Menor Custo ao Empreendedor é um dos grafos selecionados pelos autores (LINEHAN et. al 1995; HELLMUND & SMITH, 2006; SOUZA, 2012; PIPPI, 2014) como de maior índice de conectividade e uma das melhores soluções para implementação. Todos os nós tornam-se terminais e são alimentados por uma conexão convergente aos demais nós flutuantes (LINEHAN et. al, 1995). Hellmund e Smith (2006) explicam que esse grafo é chamado de menor custo ao empreendedor por reduzir as distâncias de conexões. Souza (2012) explica que o sistema, ainda que não apresente redundância e robustez para a rede, visto que o isolamento de um nó pode quebrá-lo, está presente naturalmente na paisagem, e então o compara com corredores ripários e sua estruturação, à qual os alvos podem ser conectados.

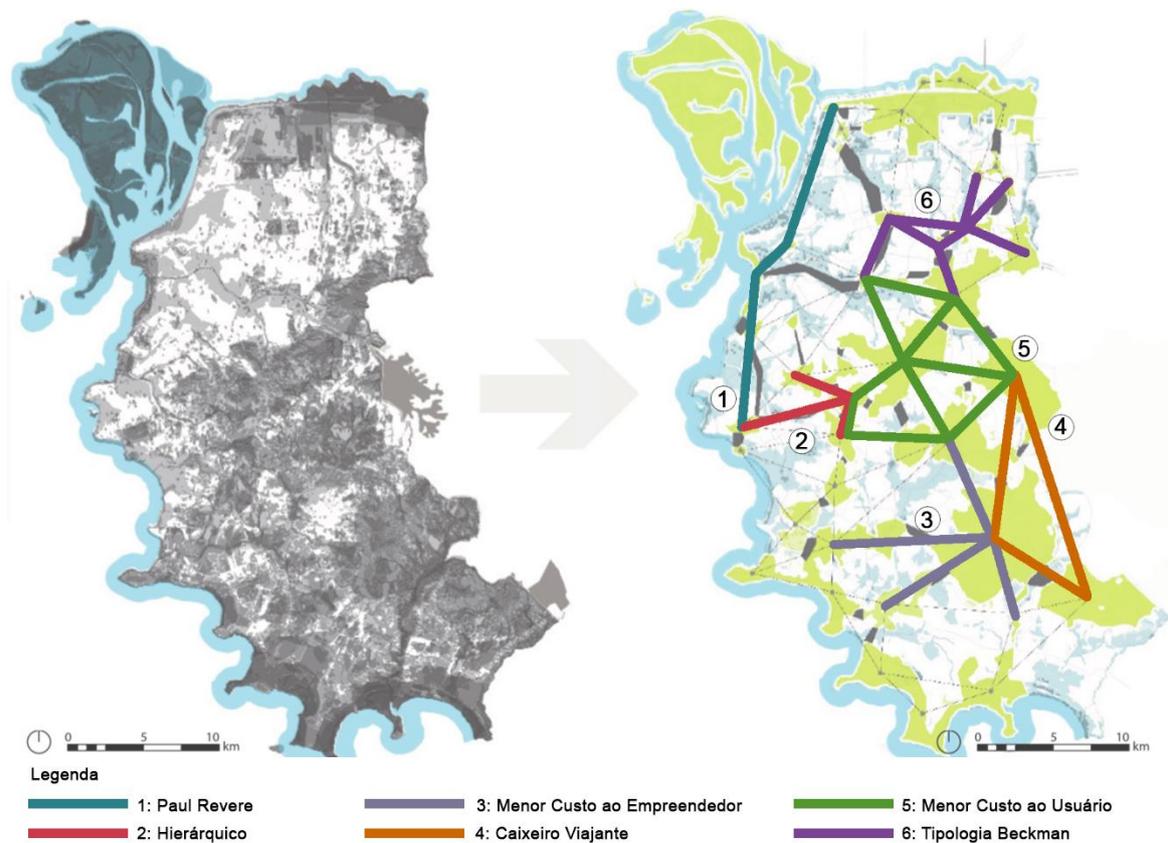
Iniciando no grupo dos grafos em circuito, tem-se o Caixeiro Viajante, uma das melhores alternativas (de acordo com LINEHAN et al 1995), na qual é apresentada uma única rota de forma cíclica e contínua, facilitando o deslocamento (HELLMUND; SMITH, 2006). Embora confira redundância mínima ao sistema, ainda se pode quebrá-lo; entretanto, seria necessário interromper duas rotas de conexões para isolar um nó, por isso a importância de servir cada um com no mínimo duas conexões (SOUZA, 2012).

Já o modelo de Menor Custo ao Usuário, apresenta conexão entre todos os nós e, por isso, recebe esse nome. É o grafo que apresenta maior redundância e

robustez ao sistema de conexões, pois cada nó recebe um grande número de conexões (HELLMUND; SMITH, 2006). Souza (2012) explica que este modelo, apesar de positivo, é o que apresenta menor probabilidade de viabilização, visto que implica em uma grande quantia de alternativas para rotas, conferindo maior dificuldade em sua projeção e implementação.

Por fim, o grafo intitulado Tipologia Beckman, de acordo com Linehan et al (1995), permite uma grande flexibilidade ao sistema e tem sua peculiaridade no fato de permitir que o usuário transite entre dois nós sem necessariamente passar por eles (HELLMUND; SMITH, 2006). Souza (2012) aponta a dificuldade para a seleção de rotas, uma vez que seriam necessários pontos intermediários para orientar a localização em relação à célula central e, ainda, apresenta grande fragilidade por poder facilmente isolar um nó.

Figura 11: Teoria dos grafos aplicada



Fonte: Adaptado de Lablonovski (2016) pelo autor (2021)

A figura 11 ilustra a teoria dos grafos aplicada a um mapa produzido por Lablonovski (2016) e explica a conectividade entre os fragmentos estabelecidos pelo autor e também reiteram que não somente um grafo pode ser aplicado, mas sua diversificação é incentivada, devido ao fato de cada local demandar um tipo diferente de abordagem. Contudo, aponta-se que, com base nas referências analisadas, os modelos “Menor Custo ao Empreendedor” e “Caixeiro Viajante” são os que oferecem maior benefício no que tange ao planejamento ecológico da paisagem por oferecer maior redundância e maior consistência cíclica ao sistema.

2.3.5. **Layout de Corredores**

Por outro lado, Flink e Searns (1993) indicam que existem diversos *layouts* de corredores aceitos internacionalmente. Em 1980, foi definido no Programa de Trilhas da Pensilvânia que as trilhas (neste caso, corredores) não deveriam ser somente o caminho mais simples e curto entre dois pontos, mas sim demonstrar senso de personalidade. Dessa forma, os autores elencaram seis tipos de *layout* para a projeção de corredores verdes (figura 12).

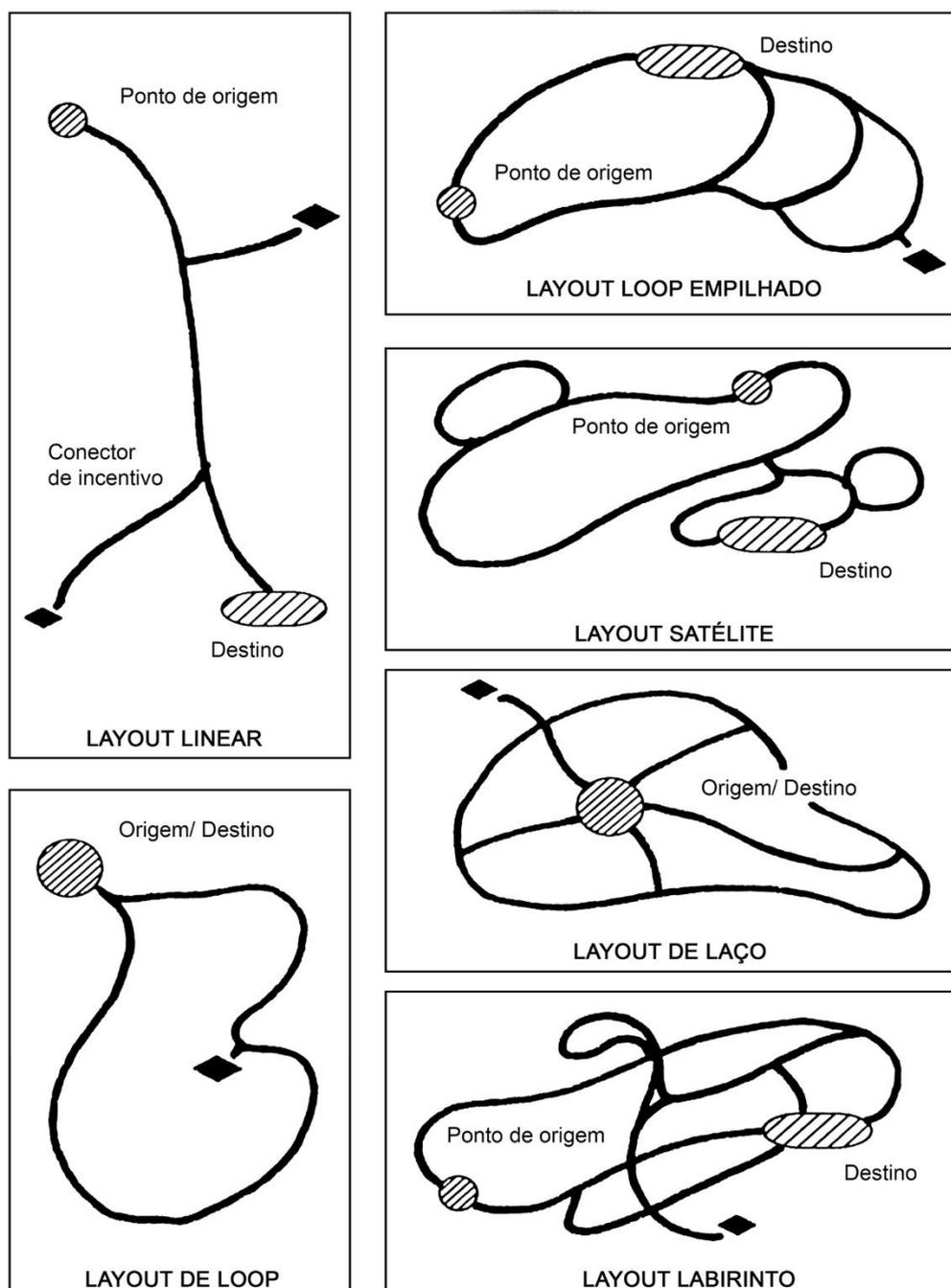
Comumente, sua formação é feita por diversos *layouts* e morfologias, sendo resultantes de diversas análises teóricas e conceituais. Sua separação ainda pode ser feita em relação à sua escala, sendo maiores (ou *major*) ou menores (caracterizados por sua morfologia).

O **layout linear** satisfaz a menor distância entre dois pontos e, por precisar de estreitas porções de terra, é um dos mais comuns utilizados. Pode-se complementar esse padrão por incentivos de conectores, ligando várias origens e vários destinos à rota. A maior desvantagem desse sistema é que o usuário deve refazer seus passos para percorrer de volta do destino à origem. Esse *layout* é mais indicado para corredores estreitos onde o objetivo principal é somente o transporte alternativo ou uso compartilhado entre comunidades (FLINK & SEARNS, 1993).

O **layout de loop** oferece muito mais versatilidade para os usuários de corredores verdes, ainda que seu destino e origem sejam os mesmos. É muito eficaz em torno de lagos e reservatórios, por meio de configurações planejadas ou áreas verdes mais amplas. Essa configuração requer mais terreno para uma implementação

bem-sucedida, visto que seus usuários buscam sentir-se como se estivessem percorrendo uma longa distância por um senso de aventura. A maior desvantagem é a falta de variação; o *loop* é adequado para uso recreativo (FLINK & SEARNS, 1993).

Figura 12: *Layouts* de corredores



Fonte: Adaptado de Flink & Searns (1993) pelo autor (2021)

Já o **layout de loop empilhado**, consiste em dois ou mais *loops* enlaçados em um único *loop*, localizado próximo ao início do corredor. Empilhar os *loops* adiciona distância e variedade à rota, sendo particularmente útil quando o terreno varia entre diversas altitudes e o objetivo é fornecer níveis e distâncias opcionais para usuários explorarem e desfrutarem. Uma grande vantagem desse *layout* é a oferta de diferentes comprimentos de trilha e experiências de curta-média-longa distância. É adequado para uso recreativo se for em pequena escala, podendo também ser aplicado a médias escalas, englobando comunidades e bairros (FLINK & SEARNS, 1993).

O **layout satélite** é classificado por possuir uma série de trilhas lineares em *loops* que irradiam de um ponto de origem, oferecendo *subloops* de conectividade. Geralmente a aplicação desta configuração ocorre quando existe uma trilha principal que atende as necessidades de lazer e recreação enquanto os *loops* radiantes atendem grupos únicos de usuários com a função de mobilidade e exercícios físicos (quando humanos) e vida selvagem (no que tange à fauna). Em uma paisagem regional de corredores é um sistema funcional onde o coletor primário é a trilha principal que circunda o núcleo da cidade, enquanto os *subloops* radiantes servem bairros suburbanos e comunidades rurais adjacentes (FLINK & SEARNS, 1993).

O **layout de laço** inclui uma série de trilhas lineares que irradiam de um núcleo central para uma trilha de *loops* secundários. Este sistema pode ser utilizado em escala regional, integrando comunidades e atividades (FLINK & SEARNS, 1993).

Já o **layout labirinto**, oferece o número máximo de rotas alternativas possíveis através de uma série de corredores lineares em *loops* interligados. Possui também a maior variedade de distâncias e número de cruzamentos. Essa configuração exige uma grande porção de terra. Em um maior panorama, a origem e o destino podem ser comunidades regionais ligadas por um sistema de rotas alternativas e rotas designadas exclusivamente para transporte recreativo, alternativo e vida selvagem (FLINK & SEARNS, 1993).

2.3.6. Escalas de Corredores

O fator escala é de vital importância para a aplicabilidade desta infraestrutura e está intimamente ligada com as funções pretendidas para o trecho de corredor, as

características da paisagem, contextos sociais da área e abrangência do plano (HILTY et al 2006).

Pode-se analisar as figuras (13 a 17), as quais ilustram diferentes escalas e aplicações de conexões verdes para diferentes estudos no mundo todo. **A Escala Internacional** é a que engloba mais de um país. As escalas de trabalho são muito pequenas. Já a **Escala Nacional** (figura 13), corresponde à escala do país. As escalas de trabalho são muito pequenas, variando de 1:1.000.000 a 1:500.000 (SOUZA, 2012).

A **Escala Regional** (figura 14) corresponde ao território político-administrativo formal e a um nível de governo. Nessa escala são elaborados os planos de desenvolvimento regional e trabalha-se em escalas pequenas, médias e grandes, variando de acordo com a abrangência. Pode ser utilizado 1:1.000.000 até o tamanho das cartas topográficas, de 1:50.000 (SOUZA, 2012).

A escala **Macrolocal** (figura 15) corresponde à situação das regiões metropolitanas, onde unidades meso-locais se integram. Em função da proximidade de problemas e dos fluxos comuns, compartilha-se de certa unidade. Nessa escala, são observados os planos de desenvolvimento e macrozoneamentos de regiões metropolitanas. Utilizam-se grandes escalas como 1:200.000 para representação geral e 1:50.000 para trabalho (SOUZA, 2012).

A escala **Mesolocal** (figura 16), por sua vez, corresponde à cidade ou ao município. Em cidades médias ou grandes não se percebe, nesse nível, a vivência cotidiana do espaço. A escala de trabalho dependerá do tamanho do município, podendo variar de 1:200.000 até 1:20.000 para representações gerais e 1:50.000 a 1:10.000 para trabalhos e representação de detalhes (SOUZA, 2012).

Por fim, a escala **Microlocal** (figura 17) permite a vivência cotidiana dos espaços; correspondem em ordem crescente de tamanho ao quarteirão, ao sub-bairro, ao bairro e ao setor geográfico. Esse nível está vinculado à participação popular direta e é a partir dele que se pode monitorar o plano implementado. Essa escala corresponde aos detalhamentos do Plano Diretor e utiliza escalas muito grandes de trabalho, selecionadas de acordo com o tamanho da cidade, as quais podem variar de 1:50.000 a 1:5.000 para a representação geral e de 1:10.000 para 1:2500 para a representação de detalhes (SOUZA, 2012).

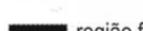
Figura 13: Rede Ecológica para Holanda

Escala: nacional

Localização: Holanda

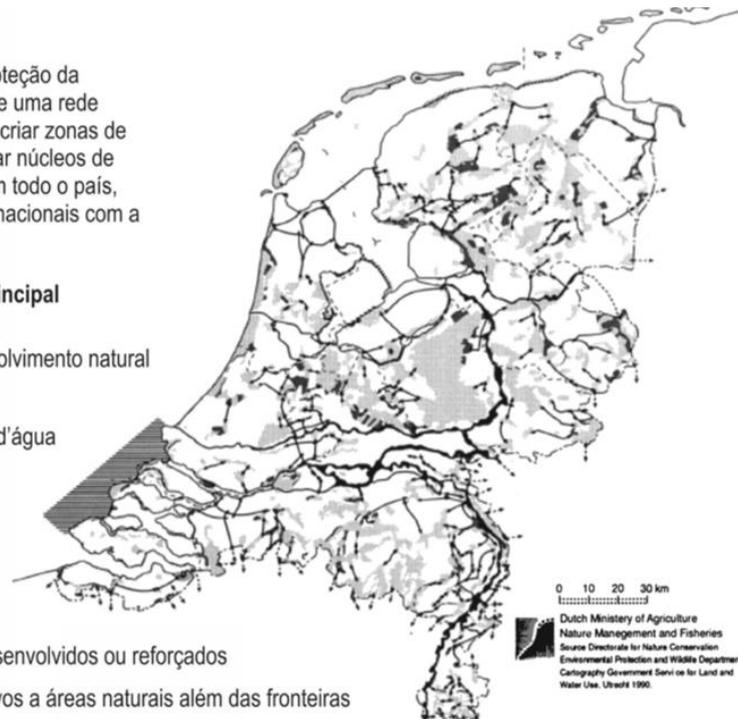
Objetivos do Plano: proteção da biodiversidade através de uma rede ecológica para proteger, criar zonas de amortecimento e conectar núcleos de importância ecológica em todo o país, incluindo conexões internacionais com a Alemanha e a Bélgica

estrutura ecológica principal

-  núcleos
-  áreas de desenvolvimento natural
-  região fluvial
-  grandes corpos d'água

corredores

-  a serem desenvolvidos ou reforçados
-  idem; relativos a áreas naturais além das fronteiras



Fonte: AHERN, 1995

Figura 14: Proposta para a rede Regional de Corredores Verdes da Flórida

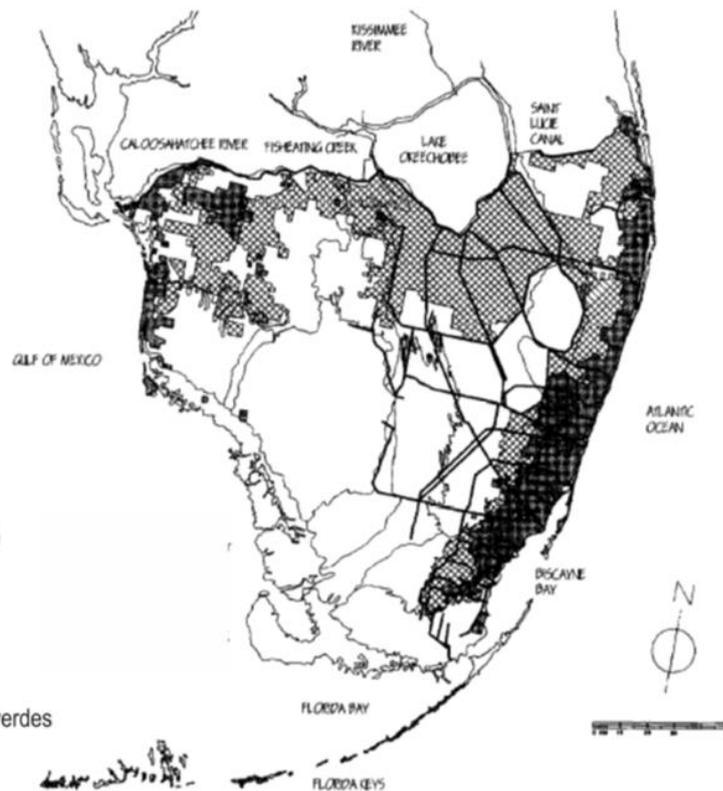
Escala: regional

Localização: Sul da Flórida

Objetivos do Plano:

Reconectar fragmentos florestais a partir do sistema regional de drenagem existente. A paisagem do sul da Flórida foi progressivamente fragmentada pelas atividades agrícolas e pelo desenvolvimento urbano.

-  contexto urbano e suburbano
-  contexto rural
-  contexto natural
-  rede regional de corredores verdes



Fonte: BUENO et al 1995.

Figura 15: Plano para a Biorregião de Toronto, Canadá

Escala: macro-local

Localização: Toronto

Objetivos do Plano: Atender as demandas de uma população crescente e proteger ecossistemas vulneráveis. O plano recomenda que análises detalhadas sejam feitas em escalas aproximadas para a identificação de outros corredores e áreas naturais relevantes ou usos humanos que possam ser contemplados no projeto.



Fonte: TAYLOR; PAINE; GIBBON, 1995

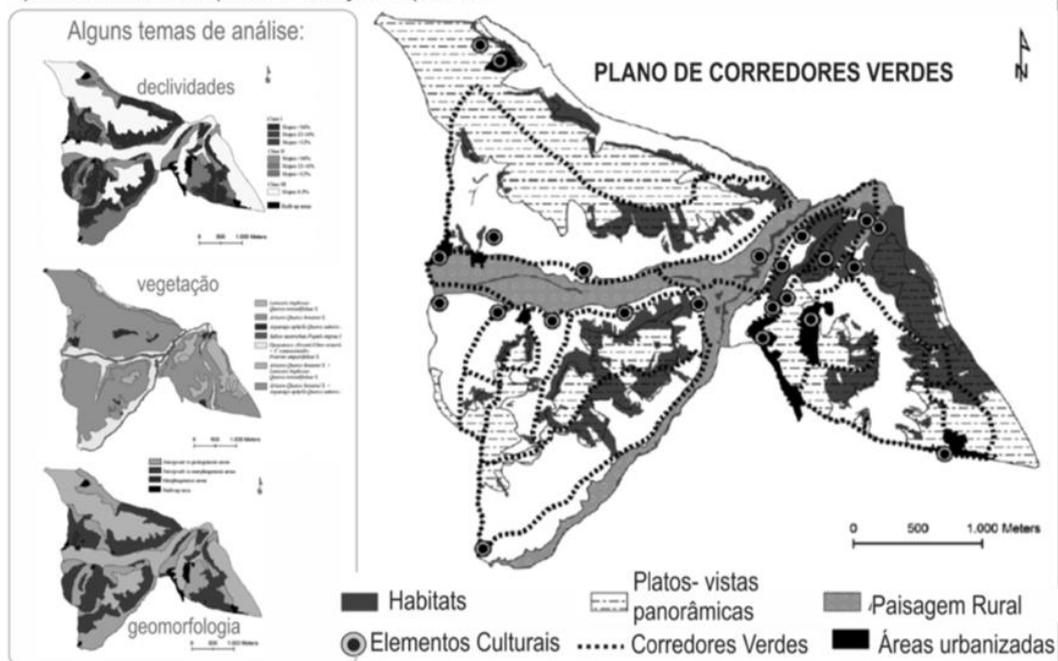
Figura 16: Rede de Corredores Verdes para Azambuja, Portugal

Escala: meso-local ou municipal

Localização: Município de Azambuja (região metropolitana de Lisboa, Portugal)

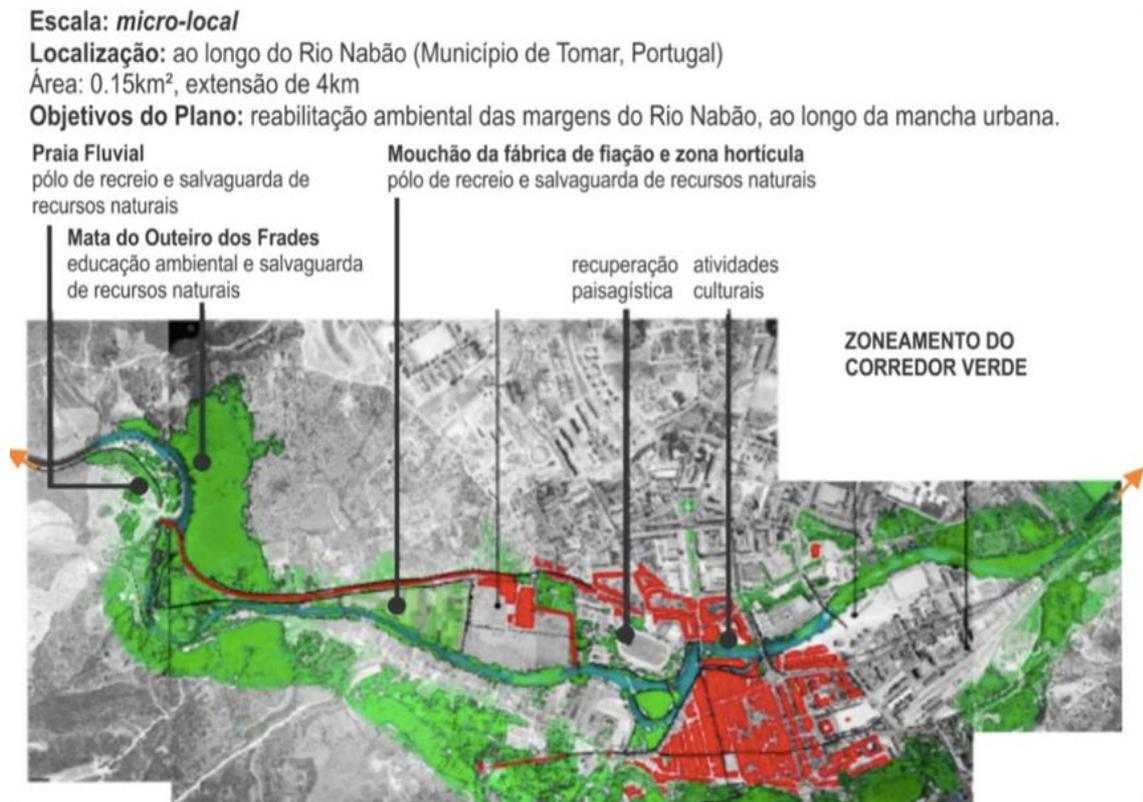
Área: 1030ha

Objetivos do Plano: manutenção das qualidades culturais e ecológicas da paisagem, corredores verdes que incluíssem rotas para a circulação de pessoas



Fonte: PENA, et al 2010

Figura 17: Centro de Tomar



Fonte: RIBEIRO; BARÃO, 2006

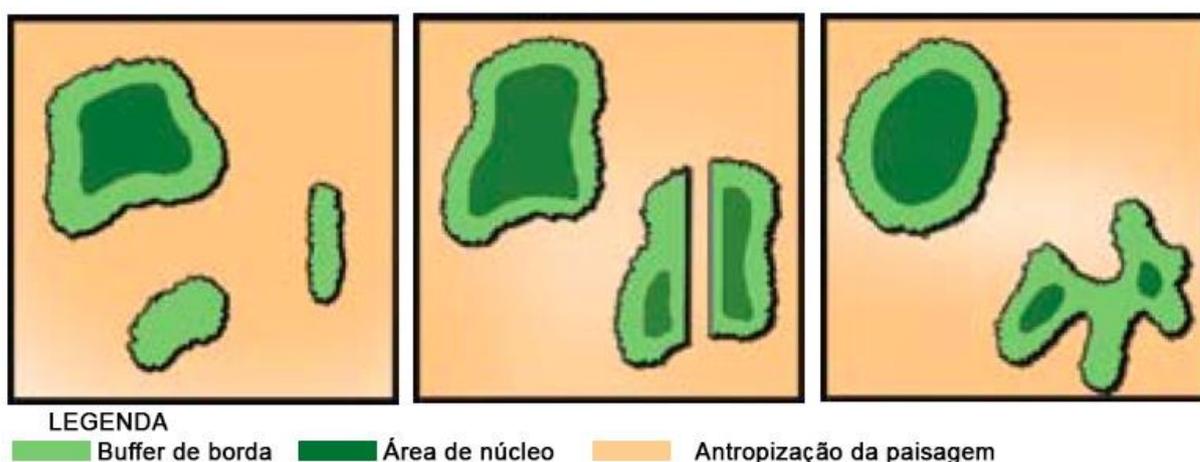
Para uma análise em grau de importância, é evidente que as escalas nacionais e regionais serão superiores, visto que, por exemplo, a vegetação ripária existente à margem de rios, em uma grande escala, possui um fator potencial para promover habitats de grande valor ecológico, enquanto uma ligação microlocal entre fragmentos de floresta apresenta uma contribuição limitada para a manutenção da biodiversidade (BENNET, 2003; SOUZA, 2012).

2.3.7. **Buffer, Borda e Largura de Corredores**

Para a compreensão deste conceito, precisa-se antes estabelecer o significado de *buffer* dentro da ecologia da paisagem. *Buffer* é uma distância linear de uma determinada área previamente calculada/ informada com o intuito de mitigar os efeitos antrópicos. Um exemplo comum da utilização de um *buffer* é nas áreas de APP (Área de Preservação Permanente) nas quais existe uma faixa perimetral de mesma medida em todos os ângulos do polígono onde qualquer ação antrópica deve obedecer a uma série de restrições legislativas com o intuito de aumentar o valor de conservação da área (JONGMAN & PUNGETTI, 2004).

Ao se aplicar um *buffer*, obtém-se as áreas de núcleo, que seriam as áreas de matrizes na paisagem; uma vez que aplicado o *buffer* de borda, restam as áreas de núcleo (figura 18) onde fomentam a biodiversidade e propiciam habitats para diferentes espécies. Dentro do conceito de área-núcleo entra em questão a dimensão propriamente dita, visto que, assim como nas escalas de corredores, quanto maior a escala da mancha vegetada maior o fator importância para a ecologia da paisagem (BENTRUP, 2008).

Figura 18: Efeito borda e área de núcleo



Fonte: Adaptado de BENTRUP, 2008 pelo autor, 2021.

A borda de uma mancha apresenta um ambiente e uma variedade diferente de espécies que o interior da mancha (FORMAN & GODRON, 1986), por exemplo, a borda da floresta recebe mais iluminação (e poluentes) no chão. Dessa forma, a

variedade de florações, arbustos, gramíneas e forrações vegetais é muito maior que, por exemplo, nas áreas de núcleo no interior das manchas. Isso faz com que a fauna silvestre percorra até as áreas de borda em busca de alimentos e, após, retorne para seu habitat (FLINK & SEARNS, 1993).

Bentrup (2008) ainda estabelece que a faixa perimetral (o *buffer*) representa uma zona de transição, servindo primordialmente como área de amortização dos efeitos antrópicos. Esse fenômeno é conhecido como efeito de borda (que torna importante a presença da borda); ele acontece, geralmente, quando o corredor permeia ou circunda eixos densamente urbanizados.

A supressão que a cidade causa na zona vegetada tende a diminuí-la cada vez mais, exigindo manutenção para que se possa criar ambientes propícios para que a vegetação cresça e se desenvolva, o que permite a inserção de fauna dentro dos perímetros da cidade.

Uma aplicação palpável dessa metodologia é para a classificação de manchas vegetadas coerentes no uso que está sendo analisado. Essa classificação (figura 19) ocorre em função da diversidade e qualidade de manchas vegetadas, uma vez que podem assumir formas mais esbeltas (A) com menor área de núcleo (acarretando, assim, numa “relevância” ecológica “menor” para o estudo); ela pode também apresentar formato robusto (B), com uma grande área de núcleo, ou até mesmo formatos muito recortados (C), com núcleos pequenos.

Figura 19: Diferenças de áreas nas manchas vegetadas



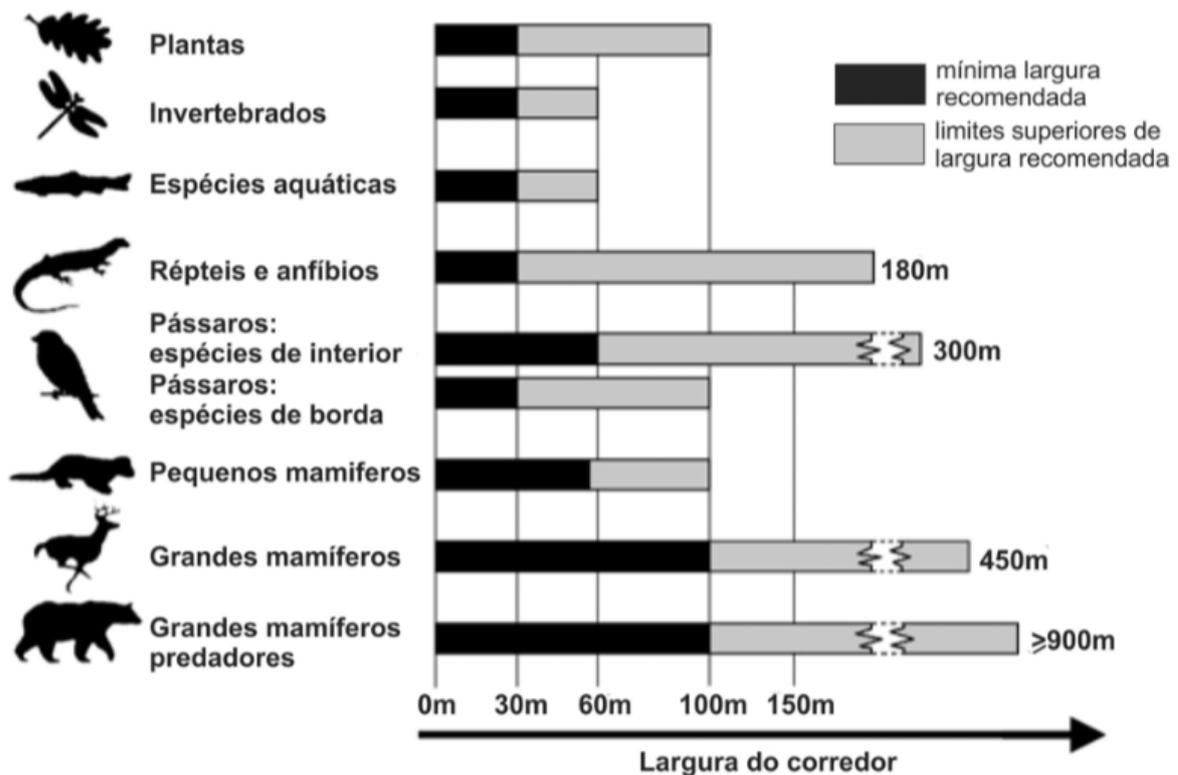
Fonte: O autor, 2021.

De acordo com Metzger (2010), o fator largura é um dos mais importantes para promover a preservação da biodiversidade. A largura deve ser definida em função do uso previsto para o corredor, efeito de borda e do comprimento da conexão (SOUZA, 2012).

De maneira geral, maximizar as larguras (figura 20) de corredores verdes reduz consideravelmente os efeitos de borda, o que aumenta sua eficácia (METZGER, 2010). Aumentando a largura, a tendência é que se aumente também o fator potencial da área para incluir maior variedade de habitats e diversidade de organismos (HILTY et al, 2006).

Sumariamente, os efeitos de borda são intensificados nos 100 primeiros metros. Dessa forma, os corredores com larguras menores que 200m serão essencialmente compostos por ambientes de borda (METZGER, 2010). Outrossim, existem estudos indicando o desenvolvimento de corredores com apenas 30m de largura de borda como capacitados para fomentar a manutenção da biodiversidade (METZGER, 2010).

Figura 20: Larguras de corredores



Fonte: Bentrup (2008)

Dessa forma, Bentrup (2008) elenca e recomenda a necessidade de diferentes aplicações de larguras para corredores sobre diferentes espécies de fauna e flora. Para corredores ripários, sua largura deve ser suficiente para desempenhar adequadamente as funções de controle e gerenciamento dos fluxos e nutrientes d'água, e facilitar a mobilidade de fauna silvestre. Recomenda-se que o corredor cubra a planície de inundação em ambos os lados e uma faixa em um planalto, sendo mais larga que os efeitos de borda (FORMAN & GODRON, 1986).

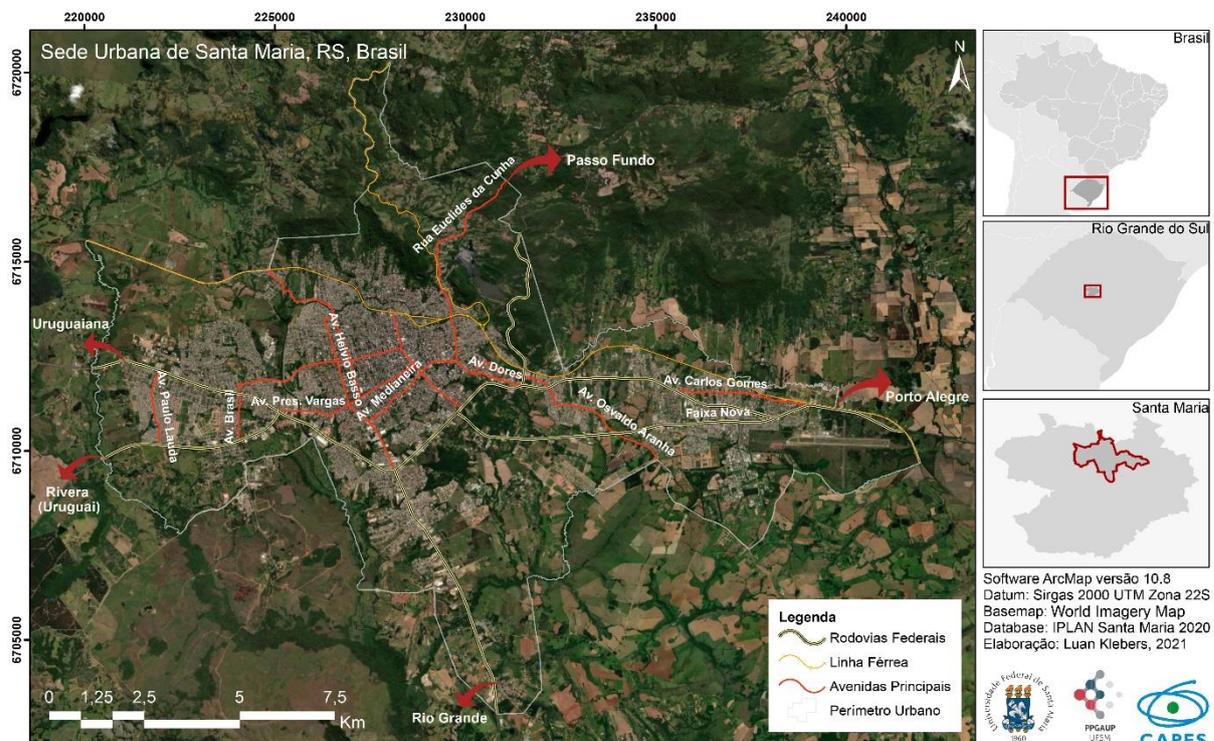
Capítulo 3

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA-ESTUDO

3.1. Santa Maria – Rio Grande do Sul/ Brasil

A área-estudo desta dissertação é o município de Santa Maria (figura 21), localizada na região central do estado do Rio Grande do Sul, entre as coordenadas geográficas 29° 39' 43" de Latitude Sul, e 53° 50' 45" de Longitude Oeste, nas zonas de transição dos Biomas Pampa e Mata Atlântica.

Figura 21: Localização de Santa Maria



Fonte: O autor, 2021

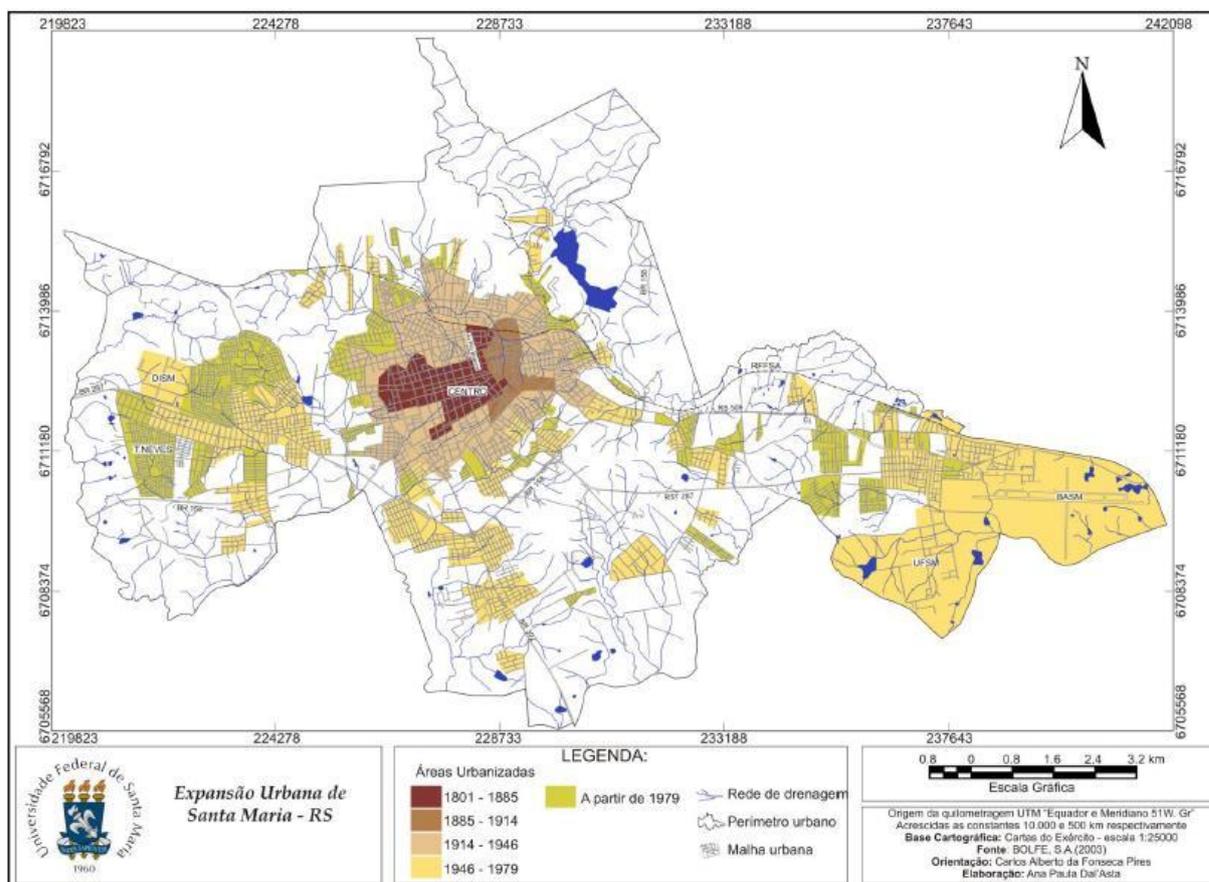
De acordo com o último censo divulgado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2020), a população registrada foi de 283.677 habitantes, distribuídas em 1.780km², apresentados em oito zonas administrativas e 41 bairros dentro do perímetro urbano. O município fica aproximadamente a 300km da capital do estado, Porto Alegre, tendo como principais acessos as rodovias RS 287, que atravessa o município no sentido Leste-Oeste, RS 158 no sentido Sudoeste-Norte e RS 392 no sentido Sudeste-Norte.

Santa Maria confronta limite administrativo com dez outros que, segundo a Lei de Uso e Ocupação do Solo (LUOS SANTA MARIA 2018) são: São Martinho da Serra, Itaara, Júlio de Castilhos e Silveira Martins (ao Norte); Restinga Seca (ao Leste); Formigueiro, São Sepé e parte de São Gabriel (ao Sul) e; parte de São Gabriel e os Municípios de Dilermando de Aguiar e São Pedro do Sul (ao Oeste).

3.1.1. Contexto Geral da Evolução Urbana de Santa Maria

Com origem datada em 1797, Santa Maria surge com acampamentos militares e a marca de um dia ter sido a segunda maior cidade brasileira em número de quartéis (BELÉM, 2000) fomentados e incentivados pelo fato da cidade apresentar um dos maiores centros ferroviários do estado; era responsável pelo transporte de minerais, vegetais, animais de transporte e passageiros (TOMAZETTI, 2000). Sua expansão está demonstrada na figura 22.

Figura 22: Expansão urbana de Santa Maria -RS



Fonte: DAL'ASTA et. Al., 2005

Outrossim, o município também teve crescimento populacional de caráter exponencial a partir de 1950, marcado como o ano em que se instituiu a Universidade Federal de Santa Maria; esse crescimento foi posteriormente fomentado pela implantação de outras universidades e instituições militares. A ferrovia, por sua vez, atualmente desempenha um papel de menor importância no município, visto que efetua apenas o transporte cargueiro em rotas limitadas e de pequena escala (WEISS, 2012).

Ao analisar a expansão urbana do município, é possível caracterizar o corredor Leste-Oeste de urbanização (figura 22) como a principal área de expansão. A centralidade demarcada em cor mais escura apresenta a mais antiga conformação, enquanto as mais recentes estão em tons mais claros. A ocupação do solo nessas faixas aconteceu a partir do ano de 1946 (quatro anos antes do surgimento da Universidade Federal de Santa Maria) e foi fomentada subsequentemente pela própria UFSM, pela base aérea e por outras instituições de ensino.

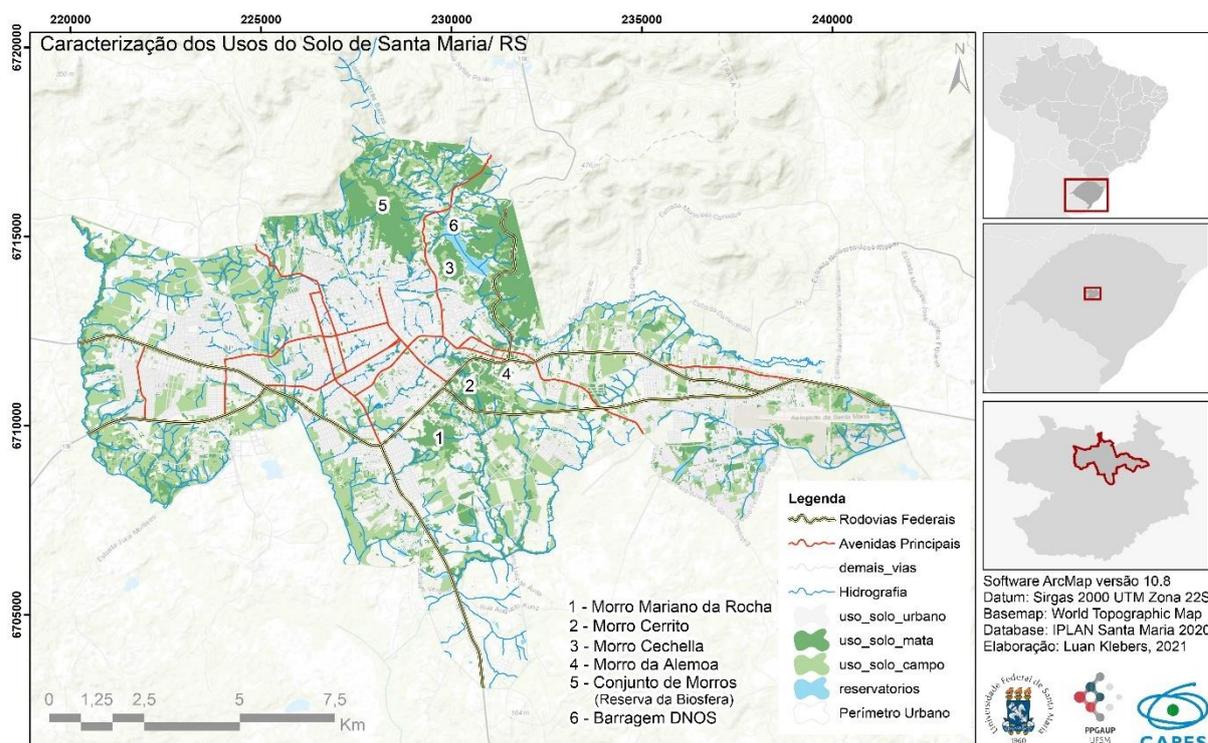
O município apresenta expansão nesse sentido (leste - oeste), visto que ao Norte o caráter monumental dos morros (somado a legislações específicas de preservação e conservação) exprime a ocupação no sentido oposto, atuando como um limitador natural de urbanização, enquanto ao Sul situam-se as áreas de concentração e treinamento militares. Dessa forma, desde seu início a cidade de Santa Maria tende a dispersar e espraiar linearmente.

3.1.2. Caracterização da Paisagem de Santa Maria

De acordo com Pippi *et al.* (2009) e Weiss (2012), Santa Maria possui uma expansão urbana fragmentada e desarticulada, apresentando desintegração espacial em função da segregação social e por deficiências urbanas, sociais e ambientais (poluição, mobilidade, infraestrutura e acessibilidade), processo “incentivado” pelo Plano Diretor de Desenvolvimento Territorial (PDDT 2018), que segue defasado, precisando de revisão com viés sistêmico e paisagístico.

Santa Maria apresenta-se na faixa de transição entre o bioma de Mata Atlântica (ao norte) e o bioma Pampa (sul), resultando em uma peculiar e abrupta alteração altimétrica. Constituída pelos morros do Rebordo do Planalto e os morros testemunhos, a cidade apresenta sítios fossilíferos ao centro (morro Cerrito e morro Mariano da Rocha). Existem, ainda, resquícios significativos de estoques de vegetação e uma rica rede hidrográfica (figura 23); é evidente, também, a marcante presença de paisagem natural integrada ao cenário urbano. A relação de Santa Maria com os morros é instigante, e chama a atenção do escritor gaúcho João Simões Lopes Neto, em “Contos Gauchescos”, obra literária de grande importância para a história do Rio Grande do Sul; descreve: “Saudei a graciosa Santa Maria, fagueira e tranquila na encosta da serra, emergindo do verde-negro da montanha copada o casario, branco, como um fantástico algodão em explosão de casulos.” (LOPES NETO, 2011).

Figura 23: Caracterização de usos do solo de Santa Maria/ RS



Fonte: O autor, 2021

Ainda sobre o cenário dos usos de solo de Santa Maria, cabe salientar que o município apresenta diversos recursos hídricos em aproximadamente 70% de sua área urbana como, por exemplo, o arroio Cadena, o rio Vacacaí-Mirim e o manancial subterrâneo Aquífero Arenito Basal, que é integrante do Aquífero Guarani. Além disso, a cidade apresenta vinte sítios paleontológicos de alta relevância científica; destacam-se os sítios da Alemoa e do Cerrito, apresentando a existência de inúmeros atributos ambientais e uma vasta biodiversidade.

Ao Norte do município (figura 24), localizam-se as paisagens naturais mais importantes deste estudo, são relevos muito acidentados formando morros que são ameaçados por ocupações irregulares. Ao Sul, a paisagem natural também é comprometida frente à supressão urbana e agrícola. O adensamento populacional e expansão urbana ocorrem no sentido Leste-Oeste, uma vez que impulsionados pelo próprio Plano Diretor (PIPII, 2009).

Figura 24: Vista aérea de Santa Maria



Fonte: QUAPÁ-SEL Núcleo Santa Maria, 2009.

A mobilidade urbana de Santa Maria apresenta uma linearidade acentuada e contínua no sentido leste – oeste, enquanto sua verticalização é localizada densamente nas zonas centrais; expandem-se cada vez mais em direção aos bairros a criação de prédios e habitações multifamiliares.

Enquanto isso, na área central o adensamento populacional permite e impulsiona a verticalização das edificações, atendo-se cada vez mais a edifícios e condomínios em altura. O surgimento histórico de Santa Maria e seu desenvolvimento cultural, bem como étnico, econômico e social a tornam peculiar (OLIVEIRA, 2004).

A importância do Exército no município ainda segue forte, visto que as áreas militares ocupam grandes extensões de terra localizadas nas direções sudoeste, criando pequenos aglomerados de gentrificação e, conseqüentemente, impedindo que o crescimento urbano aconteça nessa direção.

Figura 25: Foto panorâmica da barragem da DNOS

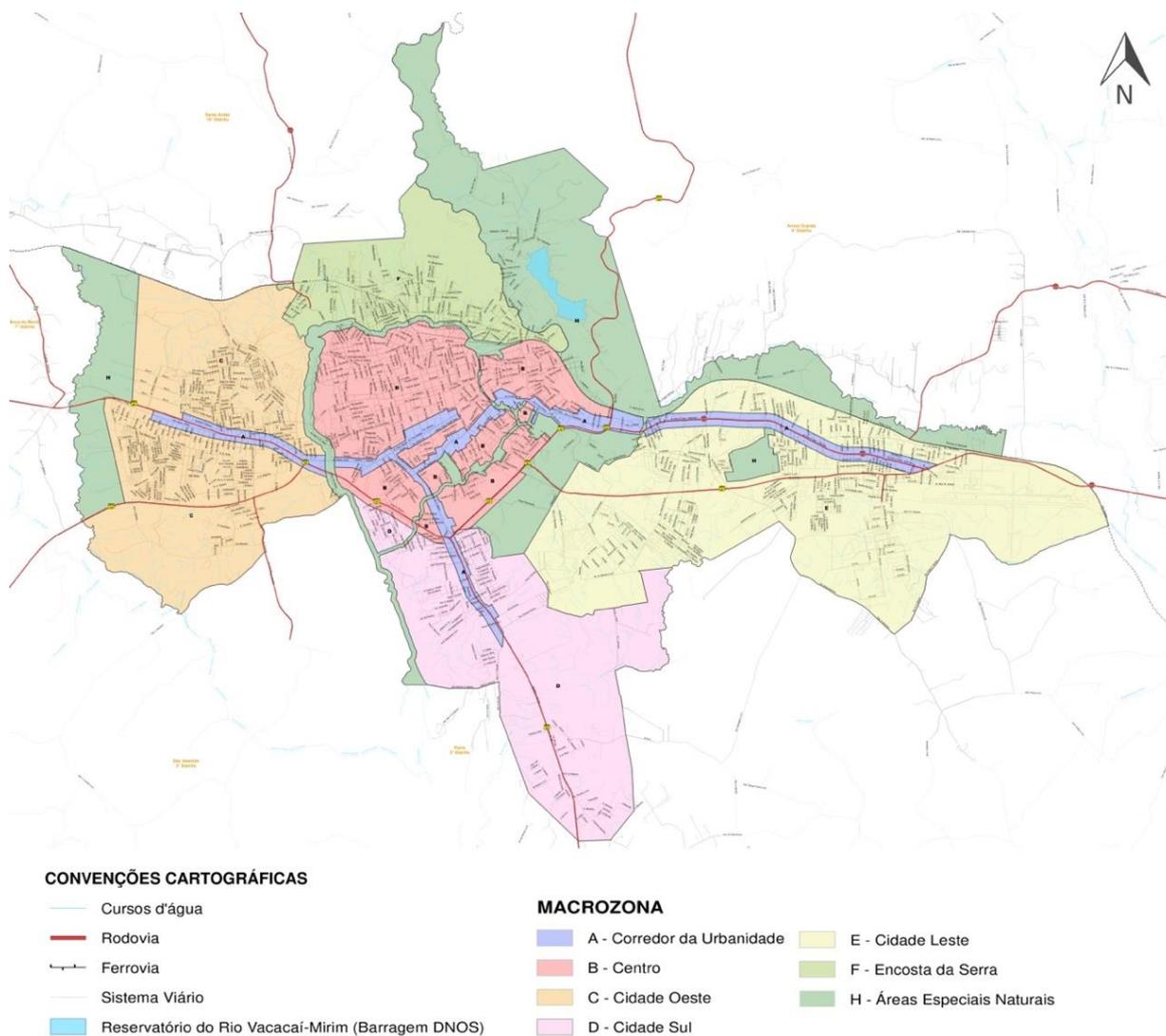


Fonte: QUAPÁ-SEL Núcleo Santa Maria, 2009.

Outra paisagem natural de extrema importância para o município é a barragem da DNOS (figura 25). Possuindo caráter modelador e contribuindo na esculturação do relevo, esta bacia hidrográfica proporciona significativos serviços ambientais, representando 40% do abastecimento público de água no município.

O município compreende 41 bairros e o perímetro urbano é uma parcela que representa aproximadamente 7% da área total (IBGE 2010). Em 2005, o Plano Diretor Municipal previa a conformação da cidade em 8 macrozonas (figura 26) com características, legislações e índices urbanísticos específicos.

Figura 26: Ordenação do solo de Santa Maria

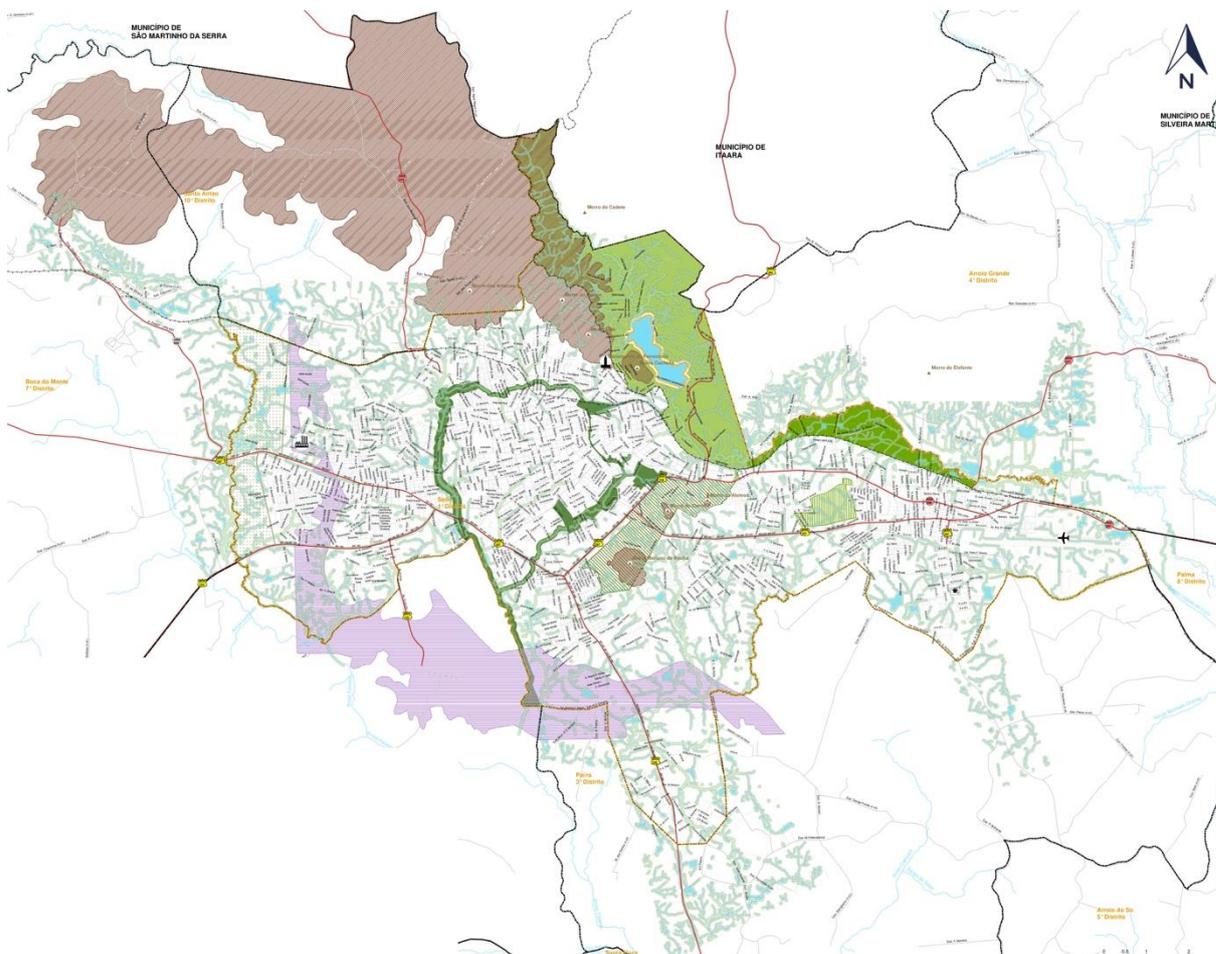


Fonte: Plano Diretor de Desenvolvimento (PDDT, 2018)

Conforme previamente estabelecido, o ordenamento territorial da cidade de Santa Maria é regido pelos documentos Plano Diretor de Desenvolvimento Territorial (PDDT, 2018) e Lei de Uso e Ocupação do Solo (LUOS, 2018). Estes possuem uma caracterização especial para as áreas de preservação e conservação ambiental (figura 27), dividindo-as em doze áreas, assim como a cidade em si é dividida entre setores chamados de macrozonas.

Reitera-se a conformação da cidade entre dois grandes núcleos - cidade centro (B) e cidade leste (E). O corredor de urbanidade (A) é, atualmente, a única conexão entre essas zonas. A área de encosta da serra (E) é caracterizada pela existência de algumas edificações em áreas irregulares e sofre grande pressão vinda dos morros, sendo estes a unidade de paisagem mais marcante do município.

Figura 27: Mapa de áreas de preservação - anexo 12 LUOS



CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- | | | |
|---|----------------|--|
| ▲ Morros de Santa Maria | — Rodovias | ✈ ALA 4 - Força Aérea Brasileira - Aeroporto Civil de Santa Maria |
| ⏏ Monumento do Ferroviário | — Ferrovias | 🏭 Distrito Industrial de Santa Maria |
| 🎓 Universidade Federal de Santa Maria | — Malha viária | ⬛ Limite Distritos de Santa Maria |
| 🌊 Reservatório da Barragem do Rio Vacacaí Mirim | — Hidrografia | |
| AC1 - Área de Conservação Natural - Reserva da Biosfera da Mata Atlântica | | 🌿 AC7 - Área de Conservação Natural - Zona dos Morros |
| AC2 - Área de Conservação Natural - Parque Ferreira | | 🌿 AC8 - Área de Conservação Natural - Aquífero Arenito Basal Santa Maria |
| AC3 - Área de Conservação Natural - Sub-bacia do Rio Vacacaí Mirim | | 🌿 AC9 - Área de Conservação Natural - Arroio Cadena - Cancela |
| AC4 - Área de Conservação Natural - Barragem do Rio Vacacaí Mirim | | 🌿 Área de Preservação Permanente - Recursos Hídricos |
| AC5 - Área de Conservação Natural - Parque São José | | 🌿 Área de Preservação Permanente da Barragem do Rio Vacacaí Mirim |
| AC6 - Área de Conservação Natural - Área Produtiva Vacacaí Mirim | | 🌿 Área de Preservação Permente de Morros |

Fonte: Lei de Uso e Ocupação do Solo de Santa Maria, 2018

Contudo, no que tange às áreas especiais naturais do município, conforme instituído em suas legislações pertinentes, apesar de serem a base normativa municipal instituída, são zonas criadas sem justificativas ou critérios científicos plausíveis para tal e ainda possuem falhas nas demarcações de seus limites, como, por exemplo, a delimitação equivocada da sub-bacia do Rio Vacacaí-Mirim, que é

relatada a partir do perímetro urbano e não pela definição de bacia hidrográfica (FOLLMAN, 2018).

Ainda de acordo com Follman (2018), esse mapeamento ambiental não atingiu critérios rigorosos de planejamento, uma vez que sem a definição de parâmetros não há análise crítica tampouco consolidação do plano na prática. Outrossim, não existe planejamento a níveis diferentes de parques ou praças no município de Santa Maria, estando esse mapa de Áreas Especiais Naturais sem associação alguma com o planejamento de espaços de lazer e recreação futuros, apesar de que esses conceitos deveriam andar juntos.

Com base no panorama ambiental apresentado nesse capítulo, a pesquisa tem como objetivo uma comparação crítica do plano de sistema de corredores verdes a ser proposto com a legislação ambiental em vigor, aferindo se existirá alguma relação entre um sistema conectado de espaços livres e o planejamento de áreas especiais naturais.

Capítulo 4

PROCESSOS METODOLÓGICOS

O planejamento estratégico da paisagem como uma metodologia de análise teve como um de seus pioneiros Ian McHarg, que originou a prática de síntese com sobreposição manual de espacializações temáticas (mapas temáticos). Esses cruzamentos de dados traziam informações de fatores ambientais bem como a humanização da paisagem. O pioneiro da área de estudo hoje conhecida como sustentabilidade ecológica buscava racionalizar a utilização do solo por atividades antrópicas.

O método de Ian McHarg, proposto por ele em sua obra *Design With Nature* (1969), é conhecido pela análise da apropriação do uso do solo urbano (*suitability analysis*). O autor baseia-se na formulação de catálogo ecológico de uma determinada área para obter dados relevantes inerentes ao planejamento ecológico, levando em consideração os eventos naturais.

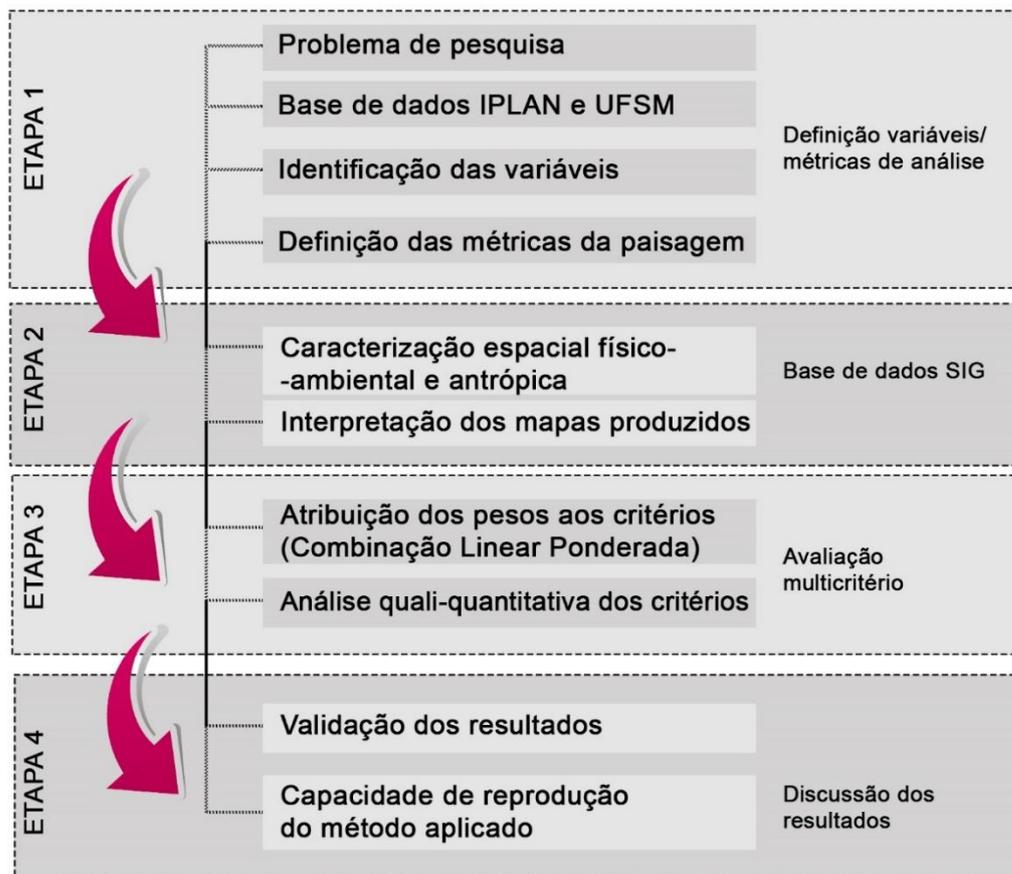
Os procedimentos metodológicos desta pesquisa são provenientes dos estudos de McHarg, visando a responder as perguntas de pesquisa (como identificar, caracterizar, categorizar e projetar um sistema de corredores verdes e como analisar e mensurar as áreas em potencial e áreas prioritárias para um sistema de corredores verdes).

Foram utilizadas ferramentas empregando técnicas de sensoriamento remoto (SR) e atividades que envolvem geoprocessamento e suas aplicações em SIG (Sistemas de Informações Geográficas). O armazenamento, coleta e processamento destes dados foram efetuados no *software ArcGIS – ArcMap 10.8.1*.

Foi tomado como ponto de partida a base de dados fornecida pelo Instituto de Planejamento de Santa Maria (IPLAN) e o acervo do Laboratório de Paisagem, Arquitetura e Imaginários (PARQUI, da UFSM) sendo identificadas as variáveis de análise para que fossem atreladas a valorações de caráter quantitativo e qualitativo para estes atributos.

Após, foi necessária a caracterização da paisagem através de mapas temáticos que auxiliaram o entendimento e a compreensão do espaço físico do perímetro urbano de Santa Maria – RS. Desse modo, optou-se pela abordagem sistêmica, que é um conjunto de objetos ou atributos estruturados, os quais consistem de variáveis que operam conjuntamente como um complexo (CHRISTOFOLETTI, 1999). Sendo assim, com base nos estudos citados, o caminho metodológico da pesquisa é explicado pela figura 28, a qual descreve as etapas de desenvolvimento.

Figura 28: Procedimentos metodológicos da pesquisa



Fonte: O autor, 2021.

Dividindo-se em quatro etapas, a primeira é em função da definição das variáveis de análise (ou métricas espaciais da paisagem) onde o objetivo foi, com base no referencial teórico, estabelecer quais os elementos abordados e seus pesos para posterior avaliação no *software*.

A etapa 2 classifica a caracterização espacial destes aspectos físico-ambientais e antrópicos, sendo uma consequência direta da etapa 1. Nela foram produzidos e analisados os mapas que a etapa anterior apontou de como estas áreas se comportam atualmente.

Posteriormente à caracterização, na etapa 3 foram aplicados pesos, oriundos de uma metodologia de análise e decisão multicritério, para que sejam calculados através de uma álgebra de mapas, com o seguimento para a etapa 4 e a validação dos dados obtidos.

4.1. ANÁLISE DE DECISÃO MULTICRITÉRIO E PROCESSO DE HIERARQUIA ANALÍTICA

Para que se desenvolva um processo de análise e planejamento da paisagem com base em Sistemas de Informações Geográficas, é necessária uma constante interface entre as etapas 1 e 3 citadas na figura 28. A definição dos critérios e o cruzamento dos mapeamentos necessitam de um fomento metodológico para garantir a acurácia e a validação dos valores.

Neste momento, entra a Análise de Decisão Multicritério (ou *Multicriteria Decision Analysis* – MCDA). Este modelo é delimitado através de um conjunto fundamental de critérios básicos que possam ser medidos ou avaliados e é comumente utilizado como base metodológica para auxiliar profissionais ou organizações em momentos nos quais o objetivo é identificar prioridades de maneira transparente e coletiva, partindo de diversas alternativas (GOMES, GOMES, 2014; LANG, BLASCHKE, 2009).

Dessa forma, o ponto inicial para iniciar-se uma análise de decisão multicritério é elencar os critérios ou variáveis necessárias para o estudo. A etapa de definição dos critérios para a análise pode ser a fase mais trabalhosa do processo de tomadas de decisões, abrangendo até 90% do trabalho. Isso se deve ao fato de que há diversas maneiras de chegar-se a uma definição de critérios para serem aplicados à uma análise multicritérios (FOLLMAN, 2018). Quando a busca de uma solução representa uma problemática envolvendo a paisagem construída, este processo de escolha dos

critérios torna-se um desafio ainda maior, levando em consideração a quantia de variáveis existentes.

A hierarquização é feita com base na coleta de atributos julgadores e então é aplicada uma comparação pareada entre elementos de mesmo nível a partir de uma matriz quadrada cuja ordem é igual ao número de elementos subordinados, culminando na conformação de linhas e colunas de matrizes (SAATY, 1979).

No caso deste trabalho, essas valorações adotaram a pontuação máxima como peso 10, com o objetivo de facilitar o entendimento do mapa final e das equações dos mapas. Para isso, foi adotada uma classificação final dividida entre **Alta, Moderada e Baixa**, e as pontuações sempre em escala de 0 a 10, conforme indicado por Lyle (1999). As classificações são em 5 escalas³: **Igual** (de 0 a 1), **Moderada** (de 1,01 a 3), **Forte** (de 3,01 a 5), **Muito Forte** (de 5,01 a 7) e **Absoluta** (de 7,01 a 10).

Para que a classificação seja considerada **Baixa**, precisa apresentar peso entre 0 a 3. Para que recebam a classificação **Moderada**, foram definidas as avaliações finais no intervalo entre 3,01 e 7, enquanto que, para a classificação **Alta**, são os intervalos de 7,01 a 10.

Essas avaliações previstas por Lyle (1999) são referentes à etapa de classificação em grau de importância das variáveis, enquanto para hierarquizar a nível de escalas de análise para melhor compreender as sínteses dos mapas, foram convertidos e aplicados o método de Saaty (1979), conhecido como *Analytic Hierarchy Process* (AHP) ou processo analítico hierárquico. De acordo com Blaschke (2009), ao comparar diversos métodos de avaliações multicritérios com foco em determinação de suscetibilidade, a AHP se apresenta como a técnica que possui maior acurácia, visto que existe maior consistência no mapeamento e validação de modelo.

Esse método foi proposto por Wharton, em 1979, e é utilizado para a resolução de problemas a partir de uma abordagem multicritérios. Consiste, basicamente, na hierarquização de atributos através de pesos ou grau de importância entre elementos, sendo uma simplificação de um complexo sistema em uma matriz de comparações pareadas em uma definição linear de hierarquia e importância em uma escala de 1 a

³ Com ressalvas explicativas quando as análises solicitarem uma leitura diferente, onde a pontuação baixa representa uma avaliação positiva (por exemplo, a baixa densidade demográfica pode ser considerada um fator positivo).

9 (conforme a tabela 3), baseadas prioritariamente no julgamento comparativo e síntese de prioridades (SAATY, 1987; COCCO, 2020).

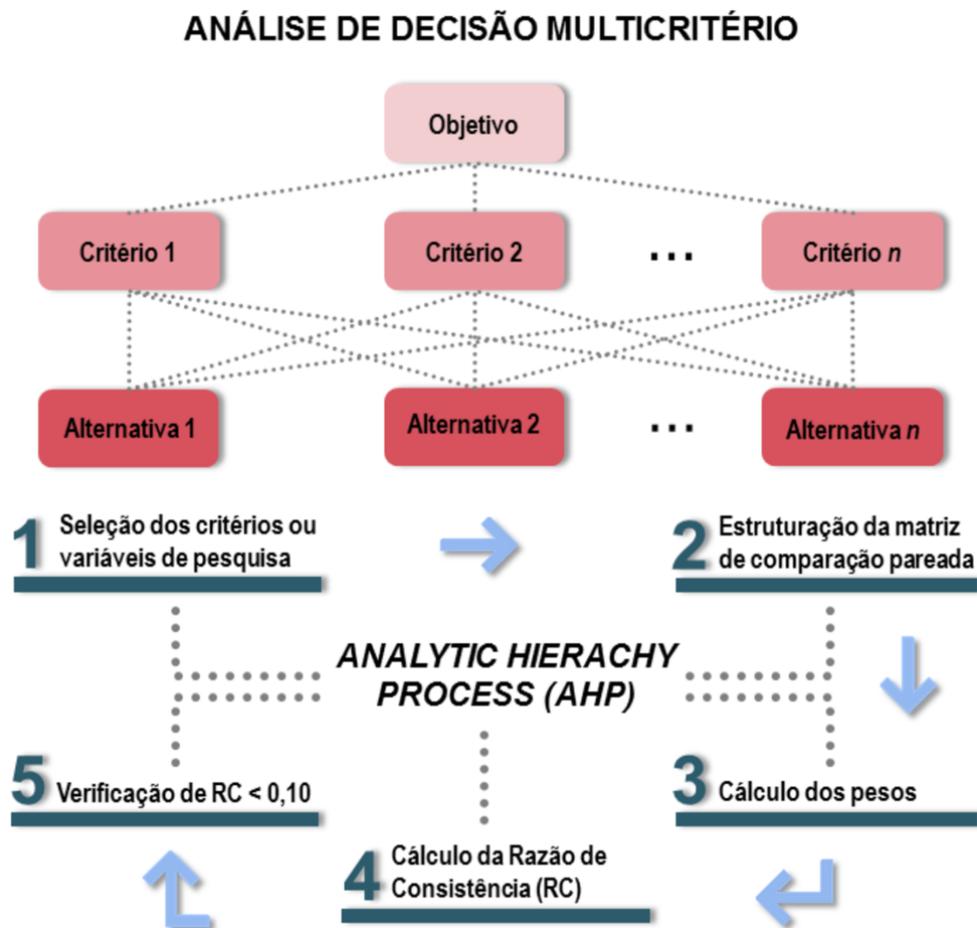
Tabela 3: Escala de importância AHP

PESO	IMPORTÂNCIA
1/9	Extremamente menos importante que
1/7	Muito fortemente menos importante que
1/5	Fortemente menos importante que
1/3	Moderadamente menos importante que
1	Igualmente importante a
3	Moderadamente mais importante que
5	Fortemente mais importante que
7	Muito fortemente mais importante que
9	Extremamente mais importante que
2,4,6 e 8	Valores intermediários

Fonte: Adaptado de Saaty e Vargas, 1979

A figura 29 estabelece um exemplo de escolha, justificativa e hierarquização dos critérios e das etapas utilizadas nesse processo, no qual para se atingir o objetivo estabelecem critérios com alternativas diversas, estas que são ponderadas entre si através de uma matriz de comparação pareada para que sejam aplicados pesos (valores) reais, onde são submetidos a cálculos estatísticos verificados através de uma razão de consistência.

Figura 29: Etapas do Processo Analítico Hierárquico (AHP)



Fonte: Cocco (2021)

A Razão de Consistência (RC) é um cálculo que afere a coerência dos pesos analisados, visando à verificação da consistência da análise em si. Estes valores de RC devem estar compreendidos entre 0 e 0,10. Lyle (1999) e McHarg (1969) explicam que diferentes níveis de potencialidades (obtidas através dessa álgebra de mapas) podem estar atrelados a distintos níveis de conservação e preservação do meio ambiente, podendo até mesmo concluir potenciais usos e atividades para lazer e recreação.

O seguimento da pesquisa faz jus à construção da matriz de comparação par-a-par, ou matriz de decisão orientada por hierarquia de importância, demonstrando a correlação dos elementos entre uma escala de 1 a 9, de acordo com a Tabela 3 previamente ilustrada.

Esta é uma das etapas mais importantes para a construção dos mapas, uma vez que deve ser justificada mediante experiências pessoais do pesquisador (sejam

pesquisas de campo, bibliográficas ou vivências), sendo o elemento modificador principal dos resultados (WEISS, PIPPI, 2019; SANTOS, LOUZADA E EUGENIO, 2010; SAATY, VARGAS, 1979).

Com base nas variáveis de estudo, é composta a matriz de comparação representada através da equação 1

(1)

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix}$$

Uma vez definidos os pesos de acordo com a matriz (que se caracteriza como quali-quantitativa, visto que envolve informações de dados relativos e subjetivos juntamente com objetivos, é efetivada a avaliação e a veracidade das atribuições através do cálculo da Razão de Consistência, apresentado na equação 2

(2)

$$RC = \frac{IC}{RC}$$

RC é a Razão de Consistência e IR é o Índice Randômico, ou aleatório, que varia com a ordem da matriz n, seus valores são pré-determinados conforme a Tabela 4, de acordo com Saaty (1987).

Tabela 4: Valores do Índice Randômico (IR)

ORDEM DA MATRIZ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
VALOR DE IR	0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,51

Fonte: Adaptado de Saaty (1987)

O cálculo de IC é determinado por

(3)

$$IC = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1)$$

Sendo n representante do número de variáveis e é auto vetor calculado por

(4)

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [Aw]_i / W_i$$

Aw é a matriz que resulta do produto (matriz de comparação par-a-par) através dos requisitos adquiridos:

(5)

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} W_{11} \\ W_{22} \\ \vdots \\ W_{n1} \end{bmatrix}$$

Dessa forma, após a realização destas etapas de cálculo, é verificado se a Razão de Consistência é menor que 0,10 ($RC < 0,10$). Caso o valor de RC atenda este requisito, é considerado satisfatório, compatibilizando, assim, os níveis de importância elencados e atribuindo estas valorações aos mapas finais, que serão cruzados conforme o exemplo abaixo de Weiss e Pippi (2019)

(6)

$$FAE = hipsos * 0,0420 + pedol * 0,1216 + decliv * 0,2787 + uso da terra * 0,5577$$

No caso do estudo supracitado, *FAE* trata-se de Mapa de Fragilidade Ambiental Emergente, *hipsos* sendo o Mapa de Hipsometria, *pedol* o Mapa de Pedologia do Solo, *decliv* o Mapa de Declividade e *uso da terra* se refere ao Mapa de Usos do Solo. Esse cálculo é feito visando à determinação de todas as variáveis e mapas envolvidos (conforme equação 5 e 6), através de uma álgebra de mapas.

Dessa forma, percebe-se que o modelo algébrico de AHP é rígido e rigoroso, reduzindo significativamente a probabilidade de erros atrelados às etapas de julgamento, principalmente para trabalhos que envolvem a definição de variáveis complexas. É uma postura decisória interdisciplinar, podendo gerar resultados promissores ou desastrosos, dependendo das decisões tomadas ao longo do processo (WEISS, PIPPI, 2019; FITZ, 2008).

4.2. CARACTERIZAÇÃO DA BASE DE DADOS E IDENTIFICAÇÃO DOS CRITÉRIOS DE ANÁLISE

As abordagens metodológicas e teórico-conceituais desta pesquisa se baseiam nos diversos trabalhos de análise e gestão da paisagem apresentados no Capítulo 2 de Revisão de Literatura, de maneira que a definição dos critérios de análise esteja inerente aos usos ecológicos, bem como antrópicos dos processos de urbanização, visando à determinação de áreas em potencial para um sistema de corredores verdes.

A base de dados SIG utilizada é fornecida pelo Instituto de Planejamento de Santa Maria (IPLAN) e de espacializações realizadas pelo autor deste trabalho a partir do *Basemap World Imagery*, do *software ArcMap* (versão 10.8). Os geodados, bem como a imagem, foram solicitados de maneira formal via ofício institucional, uma vez que a maioria das informações relevantes para o desenvolvimento desta pesquisa não é disponibilizada nas plataformas *online* do IPLAN.

A escala de trabalho dos mapas desta pesquisa apresenta um recorte específico, sendo o perímetro urbano. Além disso, a escala trabalhada é definida na 1:75.000, com uma resolução espacial de pixel para as imagens *raster* de 10x10m, sendo uma célula considerada de alta resolução espacial para análises de planejamento urbano (WEISS, 2012).

Como resumo do processo de tratamento da base de dados, após definidas as variáveis, seus pesos consistentes e valorações de AHP, a rotina de trabalho em cada mapa foi: (1) definir os atributos e cálculos gerais necessários para a camada *shapefile*, (2) rasterizar os vetores através da ferramenta *feature to raster*, (3) realizar o recorte espacial com relação ao perímetro urbano com a ferramenta *extract by mask*, (4) transformar em números inteiros os valores com o comando *INT*, (5) reclassificar os elementos através de notas dadas a cada classe, com a ferramenta *reclassify*, formando um mapa ponderado de cada base e (6) aplicar a álgebra de mapas AHP com o *Raster Calculator*, cruzando todos os mapas necessários.

As bases de dados, descritas na figura 30⁴, são definidas a partir do princípio de que os corredores verdes são ferramentas ambientais fundamentais com grande potencialidade também para usos antrópicos, fomentando a preservação ambiental e

⁴ Todas as cartografias citadas nas bases de dados serão explicadas na sequência.

mitigando os aspectos negativos dos processos de urbanização, dividindo-se em grupos e subgrupos de elementos analisados.

Figura 30: Bases de dados dos mapeamentos

A - Base de dados e mapeamentos	A1 - BASE DE VIABILIZADORES		
	A1.1 - Ciclovias e Pistas Multiuso	A1.3 - Avenidas principais	
	A1.2 - Ferrovia	A1.4 - Vias (locais, coletoras e arteriais)	
	BASE DE VARIÁVEIS		
	A2 - Usos do Solo	A4 - Recursos Hídricos	A6 - Espaços Livres
	A2.1 - Solo Exposto	A4.1 - Barragem, rios e nascentes	A6.1 - Praças
	A2.2 - Campo		A6.2 - Parques Setoriais
	A2.3 - Mata		A6.3 - Parques de Bairro
	A2.4 - Urbano	A5 - Buffer dos Rec. Hídricos	A7 - Densidade de Vegetação Urbana
	A3 - Declividade	A5.1 - até 30m	A7.1 - Proximidade da Arborização Urbana
A3.1 - <5%	A5.2 - 30,01 a 50m		
A3.2 - 5,01 a 12%	A5.3 - 50,01 a 100m		
A3.3 - 12,01 a 30%	A5.4 - 100,01 a 200m		
A3.4 - 30,01 a 47%		A8 - Métrica de Dispersão	
A3.5 - > 47%		A8.1 - Dispersão	

Fonte: O autor, 2021

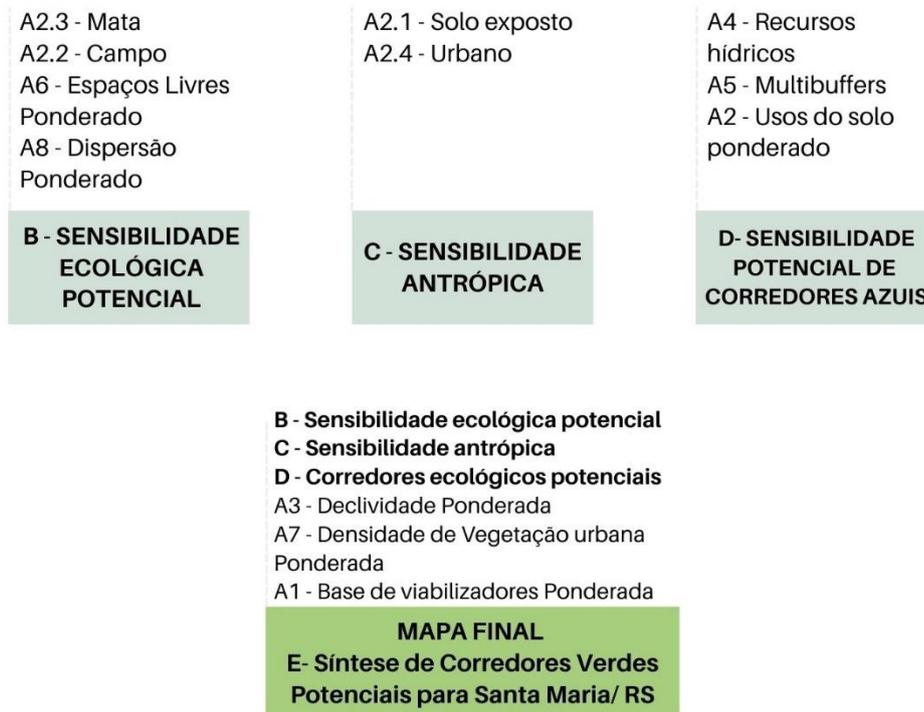
Cada mapeamento previsto na Base de Dados e Mapeamentos receberá tratamento de peso de 1 a 10 (conforme Lyle, 1999), elencando sua relação de importância, para que assim possa ser feita sua ponderação com os valores de AHP.

Nesse sentido, é elaborada também a figura 31, que ilustra a relação de cruzamento dos mapeamentos supracitados, de forma que se torne gráfico-visual o nível de relação que essas variáveis possuem entre si.

Para os critérios com a nomenclatura “ponderado”, entende-se como os mapeamentos que possuem correlação entre suas classes, por exemplo a definição de que quanto maior a densidade de vegetação urbana, maior seu peso, enquanto menor a densidade, menor o peso.

A base de dados viabilizadora possui um viés antropizado enquanto a base de variáveis desempenha função natural de elementos físico-ambientais. Essa aproximação distinta acontece para que ocorra uma interface entre estes elementos, uma vez que, conforme estudos previamente citados, a relação de benefícios e melhorias que os corredores verdes trazem para os seres humanos é tão potencial quanto para fauna e flora local.

Figura 31: Síntese dos cruzamentos de mapas



Fonte: O autor, 2021

Evidencia-se a separação física dos dados em grupos (B, C e D) de relação ambiental. A Sensibilidade Ecológica Potencial leva em conta as variáveis de mapa, campo, espaços livres intraurbanos de lazer e recreação e o grau de dispersão das manchas de mata.

Por sua vez, a Sensibilidade Antrópica ilustra a relação do solo exposto com o solo urbano, elencando níveis de importância ponderada entre estas bases, e o mapa de Sensibilidade Potencial de Corredores Azuis compatibiliza o sistema hidrográfico do município com os usos do solo e os buffers de proteção de seus cursos d'água.

Para o mapa final chamado de Síntese de Corredores Verdes Potenciais para Santa Maria/ RS, foi realizado o cruzamento de todos esses mapas já ponderados com a declividade, vegetação urbana e a própria base antrópica chamada de viabilizadores, com o intuito de aproximar os corredores dos usos urbanos.

Capítulo 5

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para o seguimento deste trabalho, as variáveis previamente definidas receberam pesos em grau de importância dentro de cada categoria para, assim, serem submetidas às análises de AHP com pesos estatísticos. São quatro mapas preliminares com informações de cruzamento e um mapa final com a síntese das áreas potenciais ilustradas.

5.1.1. Base de Viabilizadores

A base de viabilizadores é composta por mapeamentos de caráter antrópico, com o objetivo de atuar como pontos conectores de elementos naturais. Dessa forma, estabelece-se como o nível mais importante as ciclovias e pista multiuso presentes no perímetro urbano. Essa valoração ocorre justamente pelo papel que desempenham e a numerosa quantia de pessoas que se deslocam diariamente até esses espaços para usufruí-los.

Com o segundo valor mais alto, está a linha férrea, que possui importância histórica fundamental para o município (conforme previamente explanado no capítulo 3). Atualmente, se encontra em situação de desuso, sofrendo com o descaso do poder público, entretanto, apresenta um grande potencial para servir como elemento conector através de um corredor verde, visto que conecta núcleos distintos da cidade.

As avenidas principais são a terceira pontuação devido ao grande fluxo de pessoas que as utilizam diariamente. Pela necessidade de intervenções, tornam-se pontos interessantes de análise, visto seu potencial para humanização e melhorias, além do transporte público, que apresenta possibilidade de conexões intermodais.

As vias locais apresentam-se como as notas mais baixas, principalmente para que não ocorra o superpeso da infraestrutura urbana, uma vez que são numerosas e

atuam como conectores para as vias mais importantes supracitadas. A relação de importância da base de variáveis viabilizadora é representada pela tabela 5.

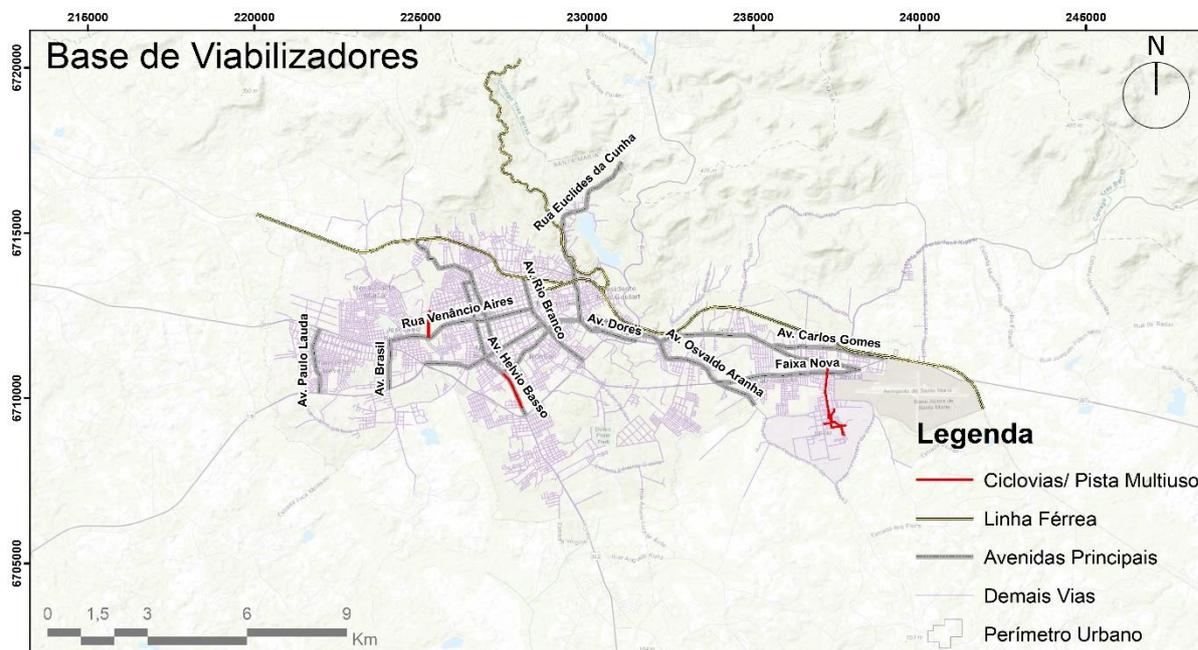
Tabela 5: Variável de Viabilizadores

A1 – VIABILIZADORES	PONDERAÇÃO
A1.1 – Ciclovias e pista multiuso	10,00
A1.2 – Ferrovia	8,00
A1.3 – Avenidas principais	6,00
A1.4 – Demais Vias (locais, coletoras, arteriais, etc.)	3,00

Fonte: O autor, 2021

A figura 32 ilustra a base de viabilizadores, deixando claro a importância que ela possui para o objetivo do trabalho, uma vez que possui seu recorte delimitado pelo próprio perímetro urbano.

Figura 32: Base de Viabilizadores



Fonte: O autor, 2021

Percebe-se que, apesar de poucas, as ciclovias e pistas multiuso existentes no município estão em locais distintos da cidade. A área central é contemplada com duas; uma em seu núcleo e outra sendo dividida com a ala oeste da cidade. Enquanto na

ala leste, no bairro Camobi, encontra-se a pista multiuso da Universidade Federal de Santa Maria.

Fica claro não somente a importância histórica e potencial que a linha férrea apresenta, mas também sua capacidade de conexão do perímetro urbano como um todo, bem como seu desvio para áreas naturais. As avenidas principais, apesar de numerosas, também cruzam todo o perímetro urbano e, por fim, as demais vias permeiam todo o tecido urbano, delimitando e fragmentando áreas naturais.

5.1.2. Critério de Usos do Solo

A caracterização de usos do solo é uma base primordial para quaisquer análises de paisagem, bem como para intervenções urbanas. O contexto físico-ambiental oriundo dessa informação deve sempre estar aliado às demais variáveis. Essa caracterização é também uma das métricas mais complexas que define os moldes básicos de matriz, fragmento e corredor.

Os usos do solo foram cruzados de maneira distinta nos mapas B, C e D. A tabela 6, que expressa os níveis de valorações de cada elemento de uso do solo avaliado, é representante de sua aparição no mapeamento D – Sensibilidade Potencial de Corredores azuis, enquanto as classes dos mapas B e C apresentaram valorações individuais diferentes, descritas em suas respectivas tabelas.

Tabela 6: Variável de Usos do Solo

A2 – USOS DO SOLO	PONDERAÇÃO
A2.1 – Mata	10,00
A2.2 – Campo	8,00
A2.3 – Solo exposto	6,00
A2.4 – Urbano	3,00

Fonte: O autor, 2021

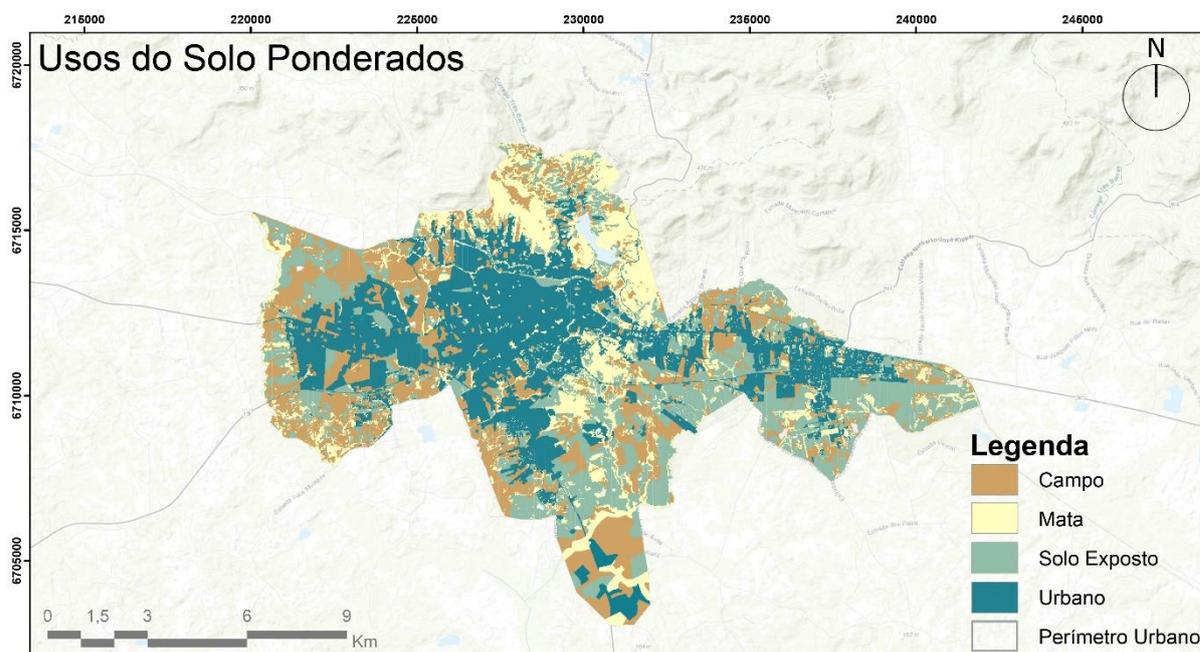
Para as áreas de mata, tem-se o peso 10, uma vez que configura a mais importante porção para o estudo, sendo o elemento formador que se pretende sempre manter, intensificando e fomentando sua área ao invés de reduzi-la. É dentro das

áreas de mata que se localizam as Áreas de Preservação Permanente (APPs) do município, incluindo a Reserva da Biosfera da Mata Atlântica e os topos dos morros.

As áreas de campo compreendem as largas forrações vegetais de gramas, gramíneas, pastagem (etc) e possuem a segunda maior valoração, considerando sua potencialidade para servirem como corredores e, principalmente, conectores entre áreas fragmentadas de mata. Essas áreas estão disseminadas por todo perímetro urbano.

O solo exposto é a terceira nota mais alta e segue o mesmo preceito do campo, englobando todas as áreas onde não existe mais forração vegetal, bem como solos de agricultura. Estes apresentam potencial alto para servirem como conectores, contudo, por se tratarem de áreas mais largas, localizam-se prioritariamente nas bordas do perímetro urbano.

Figura 33: Usos do Solo



Fonte: O autor, 2021

A mancha urbana fica com a valoração mais baixa, visto que é a grande causadora da fragmentação das outras forrações. A crescente urbanização santamariense se expande nas faixas leste-oeste do município, espalhando cada vez mais e necessitando de vias e pavimentações para locomoção.

Percebe-se, na figura 33, a relação dos usos do solo previamente explanada; em amarelo, as manchas de fragmento de mata compreendem apenas 18% do perímetro urbano, sendo suas maiores áreas localizadas nas encostas dos morros. As áreas de campo permeiam a mancha urbana representando 22% e delimitam os espaços de solo exposto, que se situam nas bordas do recorte, representando 24% do espaço. Já a mancha urbana, apresenta a maior área, contando com 30% do perímetro urbano; os valores faltantes, aprox. 6%, são representados pelas áreas de reservatórios municipais, contudo, para esta variável, elas não estão inclusas, visto que existe outra apenas de recursos hídricos onde será devidamente valorada.

5.1.3. Critério de Declividade

A declividade é caracterizada como a tangente de inclinação da superfície e possui classes de classificação dentro da área de estudo da geografia. Essa classificação baseia-se nos estudos de De Biasi (1993) e considera condicionantes físicos com embasamento legislativo estando presentes tanto nas áreas urbanas, rurais e de extrativismo vegetal.

A confecção dos mapas temáticos de declividade ocorre a partir da digitalização das curvas de nível separadas de 10 em 10 metros baseadas nas cartas do exército e o cálculo tangente. A figura 34 define as classes adotadas no trabalho, seguindo os critérios apresentados por De Biasi; tem sua clinografia dividida em cinco classes.

Figura 34: Classificações de declividade

CLASSE	RELEVO	CARACTERÍSTICAS USO
< 5%	Plano	Uso urbano ou rural, exceto vales fluviais
5,01- 12%	Moderadamente ondulado	Limite máximo para uso de mecanização na agricultura
12,01- 30%	Ondulado	Limear para urbanização sem restrições de legislações (Lei federal 667/79)
30,01- 47%	Fortemente ondulado	Limite máximo para corte raso de vegetação, cuja exploração é concedida se estiver estruturada por cobertura de floresta (Código Florestal)
> 47%	Montanhoso	Proibido corte de área florestal

Fonte: De Biasi (1993); Weiss (2012)

Para o seguimento da pesquisa, a tabela 7 explica a relação de valorações da declividade. O maior valor é ocupado pela declividade de menor inclinação (<5%), uma vez que é natural a maior caminhabilidade e utilização da parte de pedestres em áreas planas do que íngremes. Dessa forma, é um processo gradativo de valores até chegar na maior (>47%), que ocupa a menor valoração.

Tabela 7: Variável de Declividade

A3 – DECLIVIDADE	PONDERAÇÃO
A3.1 – <5%	10,00
A3.2 – 5,01 a 12%	8,00
A3.3 – 12,01 a 30%	6,00
A3.4 – 30,1 a 47%	3,00
A3.5 - >47%	1,00

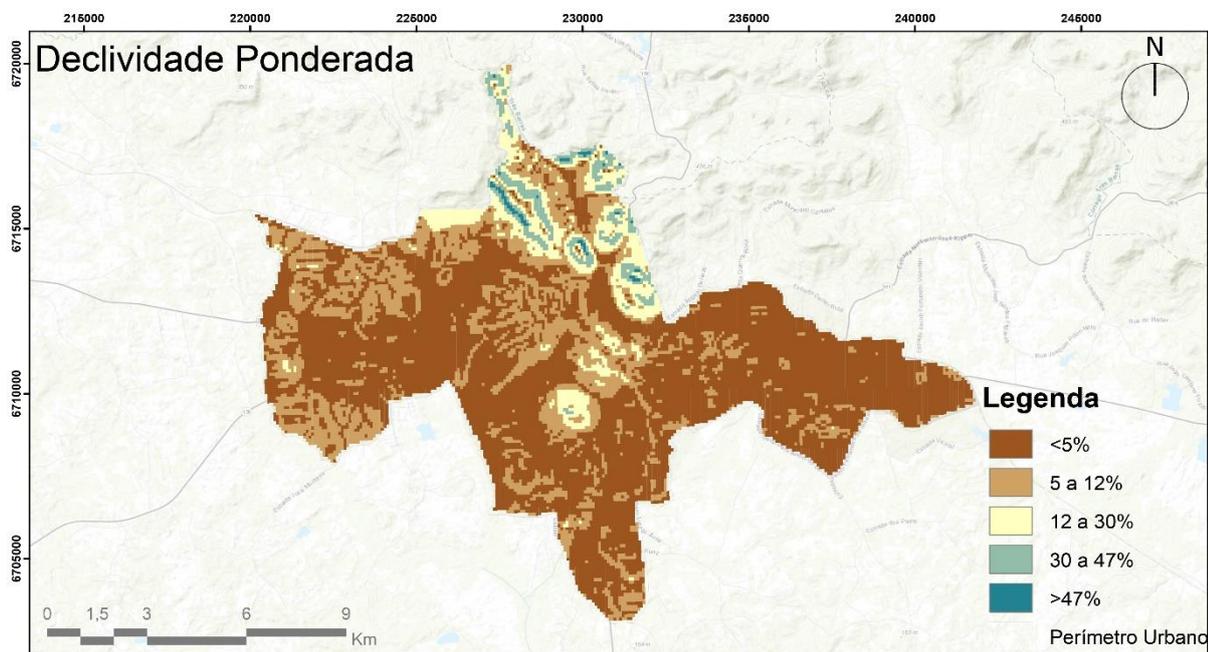
Fonte: O autor, 2021

É importante pontuar que o objetivo deste trabalho é propor corredores verdes multiuso, que desempenhem funções de manutenção ambiental, mitigação climática

e antrópica, bem como atuar como equipamentos de lazer e recreação; os valores de declividade são voltados para este objetivo.

A figura 35 representa as classes de declividade presentes no perímetro urbano, percebe-se a grande predominância de classes com baixa inclinação, onde <5% e 5 a 12% apresentam-se de vasta maneira no sentido leste-oeste (sentido este onde a urbanização do município segue) e as demais classes que tendem a limitar a ocupação urbana localizam-se nos topos dos morros (sobre as áreas de mata).

Figura 35: Classes de Declividade de Santa Maria



Fonte: O autor, 2021

5.1.4. Critério de Recursos Hídricos

Santa Maria é uma cidade muito rica no que tange os recursos hídricos, desta forma o trabalho realiza sua hierarquização em rios intermitentes, que são recursos onde não existe fluxo contínuo de água em todas as épocas do ano, rios perenes ou permanentes que, em contraponto, possuem corrente de água contínua, reservatórios ou barragem e nascentes.

A tabela 8 apresenta as classificações dos recursos hídricos que foram mapeados pelo IPLAN e por essa pesquisa, contudo, suas valorações na ponderação foram 10,00 em todos.

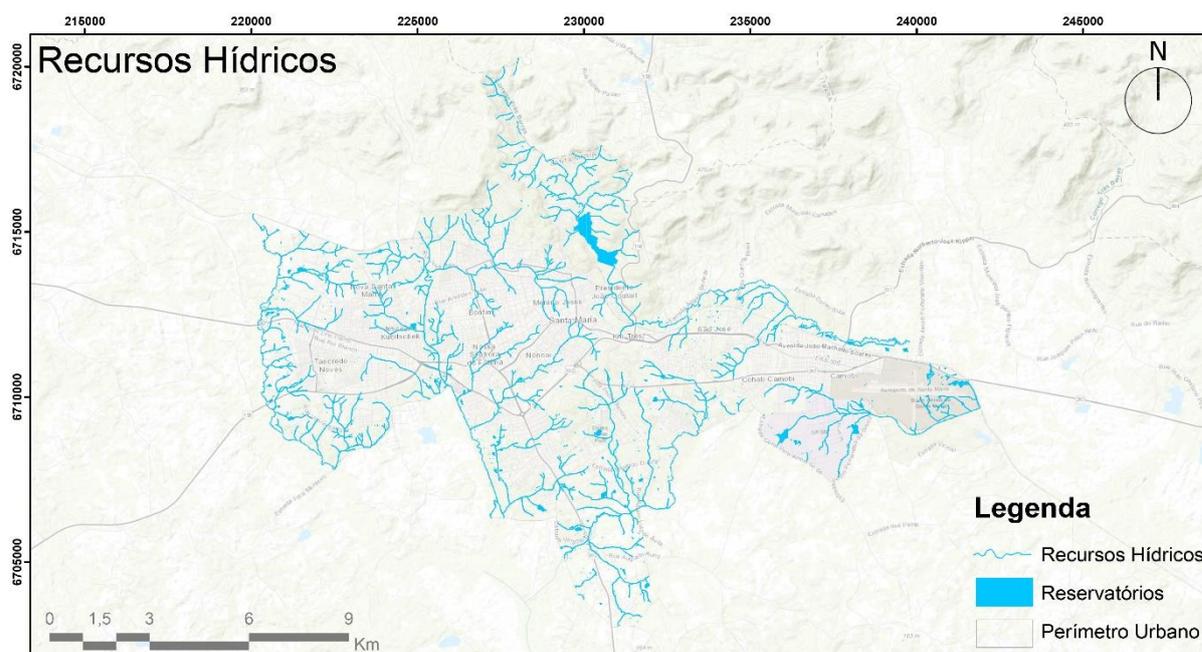
Tabela 8: Variável de Recursos Hídricos

A4 – RECURSOS HÍDRICOS	PONDERAÇÃO
A4.1 – Rios Intermitentes	10,00
A4.2 – Rios Perenes	10,00
A4.3 – Reservatórios/ Barragem	10,00
A4.4 – Nascentes	10,00

Fonte: O autor, 2021

A figura 36 ilustra a nível de perímetro urbano o modo como se comporta a rede hidrográfica de Santa Maria. É inegável sua importância, tanto para a utilização doméstica e apropriação para espaços de lazer e recreação, onde as pessoas se sentem mais propensas a utilizar espaços às margens d'água, quanto para suas funções ecológicas e ambientais, que são fundamentais para o mantimento do ecossistema.

Figura 36: Recursos Hídricos



Fonte: O autor, 2021

Essa relação de pareamento da rede hidrográfica ocorre como coeficiente de segurança para que não haja superavaliação da variável, uma vez que o próximo critério é justamente as áreas de *buffer* dos recursos hídricos.

Todos são valorados com máxima pontuação neste critério, contudo, para os cruzamentos, apresentam caráter inverso, onde o *buffer* se torna o peso mais alto, atribuindo, assim, o caráter ambiental e cênico dos rios.

5.1.5. Critério de *Multibuffer* dos Recursos Hídricos

O critério de *Multibuffer* dos Recursos Hídricos, representado pela tabela 9, está ligado com o critério anterior, contudo, neste caso, foi valorado e ponderado, uma vez que, apesar da inegável importância que os recursos hídricos desempenham para o seguimento deste trabalho, com o foco em corredores verdes, fez-se coerente atribuir valoração à formação de terra próxima aos leitos e não ao curso d'água em si.

Sendo assim, destaca-se a importância, também, das faixas de preservação previstas de acordo com a Lei nº 12.651 do Código Florestal, a qual define as larguras mínimas de proteção como 30m para rios com 10 a 50m, 50m para rios com 20 a 200m, 100m para rios com 200m a 600m e 600m para rios de 600m ou mais.

Já para reservatórios naturais (lagos e lagoas) que estejam presentes na área urbana, seu *buffer* é de 30m, enquanto para reservatórios artificiais decorrentes de barramento ou represamento de cursos d'água naturais com mais de 1ha é de 15m a 30m em áreas urbanas.

Somado ainda com a referência de escala dada por Bentrup (2008), ilustrada pela figura 20 dessa pesquisa, na qual o autor define escalas médias para corredores que possibilitem a diversidade de fauna e flora, sendo no mínimo até 30m para plantas, invertebrados, espécies aquáticas, répteis e anfíbios, enquanto no mínimo 100m para grandes mamíferos predadores.

Tabela 9: Variável de Buffer dos Recursos Hídricos

A5 – BUFFER DOS RECURSOS HÍDRICOS	PONDERAÇÃO
A5.1 – até 30m	10,00
A5.2 – 30,01 a 50m	8,00
A5.3 – 50,01 a 100m	6,00
A5.4 – 100,01 a 200m	3,00

Fonte: O autor, 2021

Para o seguimento deste estudo, foram adotados *buffers* gerais oriundos da própria legislação, segundo a qual a distância de maior peso é a de 30m, partindo do pressuposto de que por ser mais próximo do leito do rio/ lençol freático possui maior importância para a preservação ambiental e recuperação de áreas de habitat. Somado ainda ao fato de ser a porção de terra mais próxima do curso d'água, tende a atrair mais usuários.

Figura 37: *Buffer* dos recursos hídricos



Fonte: O autor, 2021

O segundo *buffer* adotado foi de 30m a 50m e recebe a segunda pontuação mais alta, ainda somando uma zona de amortização natural para o *buffer* anterior, enquanto de 50m a 100m recebe o terceiro peso mais alto e, conseqüentemente, o último *buffer* de 100m a 200m é o valor mais baixo. Isso ocorre por um processo

gradativo de valorações baixas, pois existe uma grande tendência de perturbações urbanas nessas áreas, sendo muito maior a probabilidade de fragmentação de suas bordas.

É importante ressaltar que, visando a um resultado com maior acurácia, a ferramenta utilizada para fazer esta análise foi a *ring buffer*, onde o programa não sobrescreve as áreas de *buffer* (como faria com a ferramenta normal de *buffer*), mas cria anéis nos limites indicados. Por esse motivo, não existe superavaliação no *buffer* de 30m, pois o de 30 a 5,0 é iniciado a partir do limite indicado pelo vizinho anterior.

5.1.6. Critério de Espaços Livres

Os espaços livres de lazer e recreação (neste caso intitulados de intraurbanos) ou ELIULRs podem ser classificados em diversas escalas e morfologias, sendo por vezes até subjetivos em sua conceituação. Para este estudo, foram adotados apenas três espaços livres: praças, parques setoriais e parques de bairro, que atuaram como polos magnéticos buscando conectividade dos corredores. Estes serviram como nós de atividades, uma vez que são os espaços mais democráticos de uma cidade, podendo contemplar usuários dos mais heterogêneos grupos sociais.

A tabela 10 representa as valorações utilizadas; vale ressaltar que estes pesos foram prioritariamente em função de seu raio de abrangência (consequência da classificação que estes espaços possuem) desconsiderando área e equipamentos/infraestrutura urbana.

Tabela 10: Variável de Espaços Livres

A6 – ESPAÇOS LIVRES	PONDERAÇÃO
A6.1 – Praças	6,00
A6.2 – Parques setoriais	10,00
A6.3 – Parques de bairro	8,00

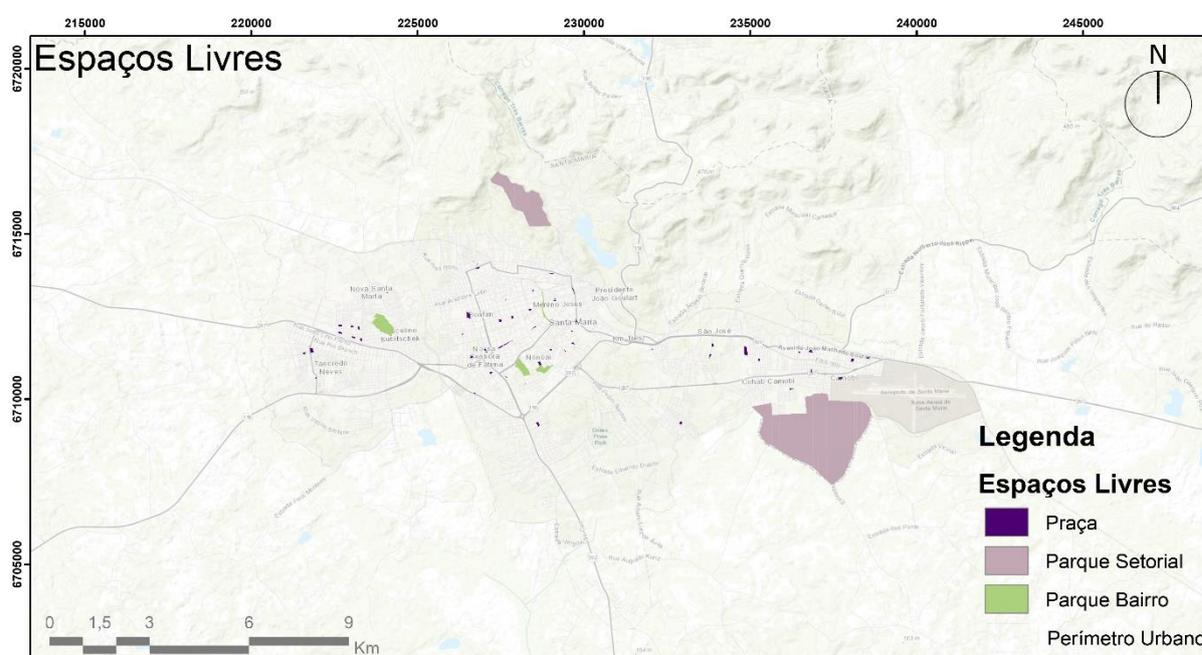
Fonte: O autor, 2021

Os parques setoriais presentes no município são apenas dois, localizados em áreas distintas, sendo um a norte e outro a leste em zonas opostas da cidade. São

responsáveis pela captação de uma grande quantidade de usuários, principalmente o grande parque setorial que é a Universidade Federal de Santa Maria; dessa forma, pontuam com a maior valoração.

Os parques de bairro, por sua vez, representam a segunda nota mais alta, sendo grandes conectores inseridos na malha urbana, enquanto as praças são os elementos com a menor valoração; apresentam-se de maneira disseminada em todo perímetro urbano, atuando como pequenos articuladores ou nós de atividade para o sistema de corredores proposto.

Figura 38: Espaços Livres Intraurbanos de Lazer e Recreação



Fonte: O autor, 2021

Percebe-se, a partir da figura 38, a relação que os espaços livres analisados possuem, sendo complementações naturais e gradativas um do outro; contudo, para o município de Santa Maria, ainda são poucos os espaços de qualidade para esse uso.

5.1.7. Critério de Densidade de Vegetação Urbana

A vegetação urbana é um elemento fundamental para o funcionamento urbano das cidades, os pedestres sentem-se mais instigados a explorar e utilizar o ambiente externo quando submetidos a sombras e diferentes texturas visuais; assim se caracteriza a tabela 11.

Isto posto, afirma-se que este critério é compreendido puramente com a questão de proximidade entre as arborizações urbanas, visando tão somente à sua relação com os corredores a serem propostos, portanto, sua pontuação é ponderada por aglomerados; quanto maior o grupo ou cluster de vegetações, maior o peso.

Os valores em cinco classes descritas na tabela 11 são índices dos aglomerados, ou clusters definidos pela ferramenta de kernel dentro do ArcMap e representam o nível de densidade do atributo analisado, sendo 0,2 o menor e 0,22 o maior.

Tabela 11: Variável de Densidade de Vegetação Urbana

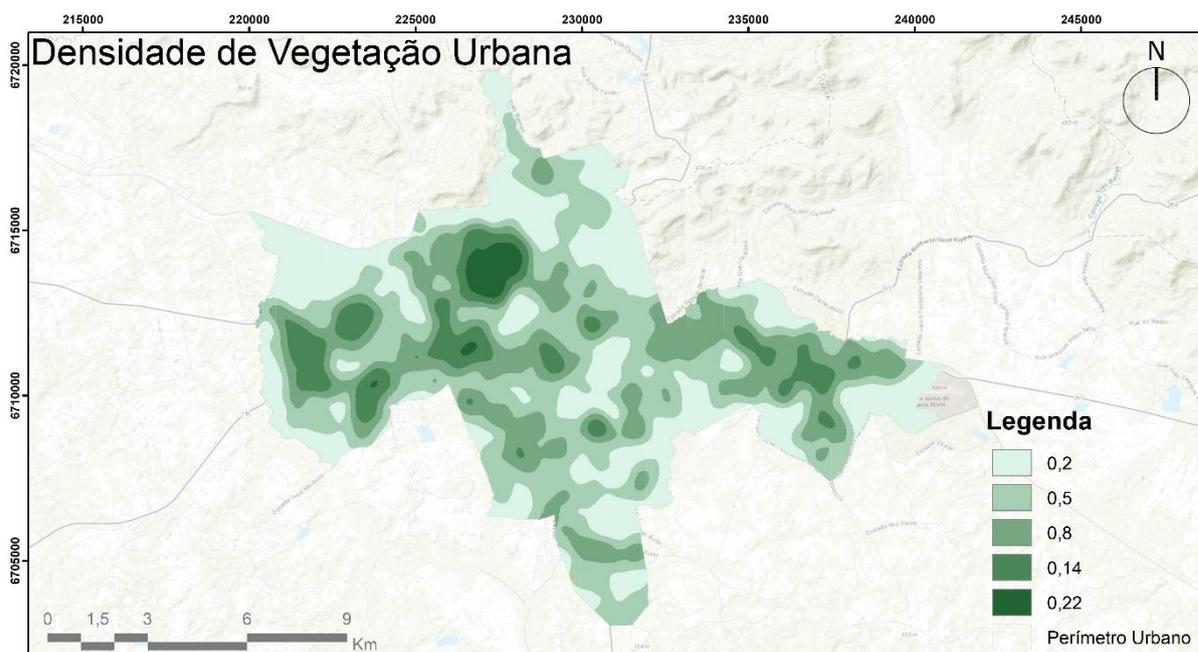
A7 –DENSIDADE DE VEGETAÇÃO URBANA	PONDERAÇÃO
0,22	10,00
0,14	8,00
0,8	6,00
0,5	4,00
0,2	1,00

Fonte: O autor, 2021

De maneira geral, a arborização urbana desempenha inúmeras funções ambientais e socioambientais e está também vinculada a aspectos estéticos; seus benefícios podem, ainda, ser sentidos por seus cidadãos.

Proporcionar sombreamento, mitigar poluição sonora, aumentar umidade do ar e filtrar sedimentos são alguns aspectos ecológicos, mas são também comumente utilizados de modo estético para demarcar acessos, direcionar caminhos, integrar ambientes, reconstruir paisagens e impactam diretamente no bem-estar da população, propiciando uma interface com a natureza em ambientes antropizados.

Figura 39: Densidade de Vegetação Urbana



Fonte: O autor, 2021

Percebe-se, através da figura 39, que o maior aglomerado de vegetações está localizado sobre a área dos morros, enquanto outras áreas distanciam-se pela cidade e avançam na área central e no sentido leste-oeste, o que pode ser visto como um aspecto positivo, uma vez que, nesse ponto, localiza-se a principal faixa de ligação municipal. Embora não existam vegetações urbanas de alto porte nesse trajeto, isso representa o potencial que o trecho apresenta para possíveis intervenções.

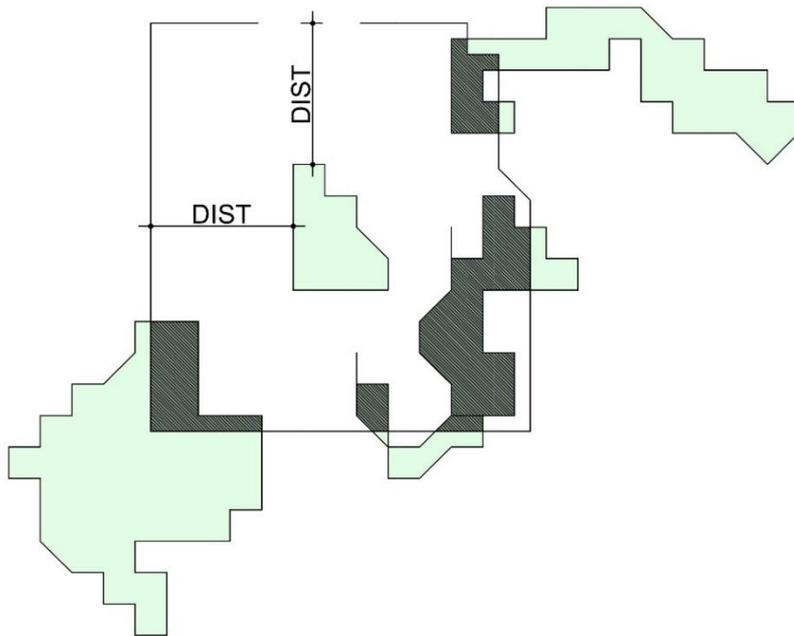
5.1.8. Critério de Métrica de Dispersão

O critério de métrica de dispersão ou de isolamento é equivalente à categoria de configuração espacial e é útil para a avaliação da expansão urbana ou até mesmo a verificação do fenômeno de espraiamento ou compacidade. A grande vantagem dessa métrica é que ela não avalia somente a forma, mas também a conectividade e a fragmentação da mancha em análise.

Essa métrica trabalha com a definição de um intervalo (DIST), ou um *buffer* definido pelo usuário e o aplica em todo recorte, criando uma grande matriz onde esses intervalos se cruzam (figura 40). Então, para cada fragmento, o software define

esse intervalo e para cada mancha onde exista uma interseção é considerado na métrica, calculando a distância de cada fragmento analisado em relação à mancha focal.

Figura 40: Métrica de dispersão



Fonte: O autor, 2021

O cálculo realizado por essa métrica é descrito pela equação 7. A área é descrita em m^2 por a_{ijs} entre os fragmentos, enquanto h_{ijs} é a distância (expressa em metros) entre fragmentos baseada no intervalo definido, gerando um índice que é ilustrado pela figura 41.

(7)

$$PROX = \sum_{s=1}^n \frac{a_{ijs}}{h_{ijs}^2}$$

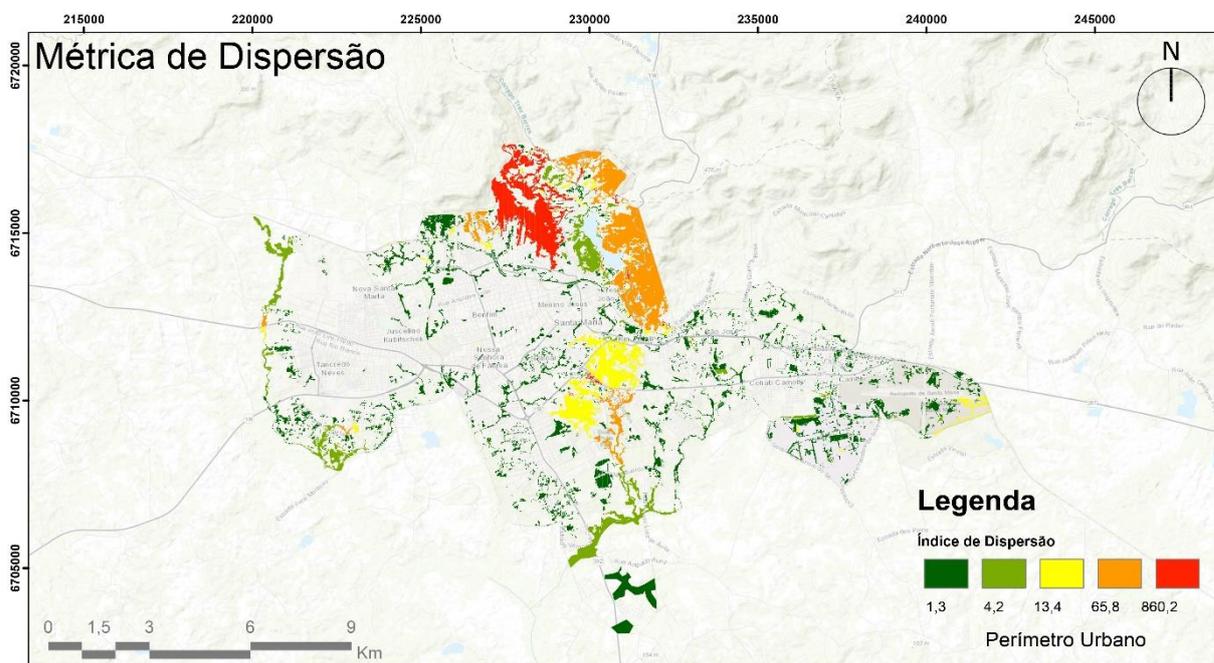
Para o seguimento do trabalho, foi atribuído a esse *buffer* o valor de 200m, baseado nos estudos de Kliass e Magnolli (2006). As autoras estabelecem raios de atendimento para espaços livres de lazer e recreação planejados e sua abrangência das cidades, onde praças possuem um raio de atendimento de 250m, parques de bairro 1000m e parques setoriais 5000m.

Entretanto, como o produto desta dissertação não é um parque único, e sim um sistema de corredores verdes, ou parques lineares entrelaçados, adotou-se como princípio o raio de 200m por ser uma medida caminhável e de uma escala a nível do pedestre.

Portanto, atribui-se o maior peso para as ponderações de áreas mais dispersas. Ainda que essas áreas mais isoladas sejam difíceis de viabilizar novas conexões e expressem valor ecológico menor em função ainda da proximidade com o perímetro urbano, esta pesquisa toma partido delas para buscar a conectividade entre espaços livres.

Em contraponto, as áreas menos dispersas receberão uma alta valoração natural oriunda dos aspectos ambientais já caracterizados. Dessa forma entende-se que as áreas menos conectadas são as que necessitam de atenção imediata, pensando em seu mantimento a longo prazo. A figura 41 ilustra os resultados dessa métrica.

Figura 41: Métrica de Dispersão



Fonte: O autor, 2021

De acordo com a métrica calculada, o elemento mais conectado é o integrado ao sistema; ele é representado pela coloração mais quente, enquanto as maiores

dispersões ou isolamento são representadas pelo tom frio. À vista disso, foi desenvolvida a tabela 12.

Tabela 12: Variável de Dispersão

A8 – MÉTRICA DE DISPERSÃO	PONDERAÇÃO
1,3	10,00
4,2	8,00
13,4	6,00
65,8	4,00
860,2	1,00

Fonte: O autor, 2021

Percebe-se que os elementos mais conectados estão associados aos topos dos morros e, quanto mais inseridos na malha urbana, maior sua dispersão; esse é um fenômeno natural oriundo dos processos de urbanização, podendo ser caracterizado como um aspecto negativo, conforme explanado previamente pelas palavras de Forman (1995), uma vez que apresentam clara intervenção e fragmentação dos corredores e das matrizes, acarretando em desapropriação das áreas de habitats de fauna silvestre.

5.2. SOBREPOSIÇÃO FÍSICO-AMBIENTAL ANTRÓPICA

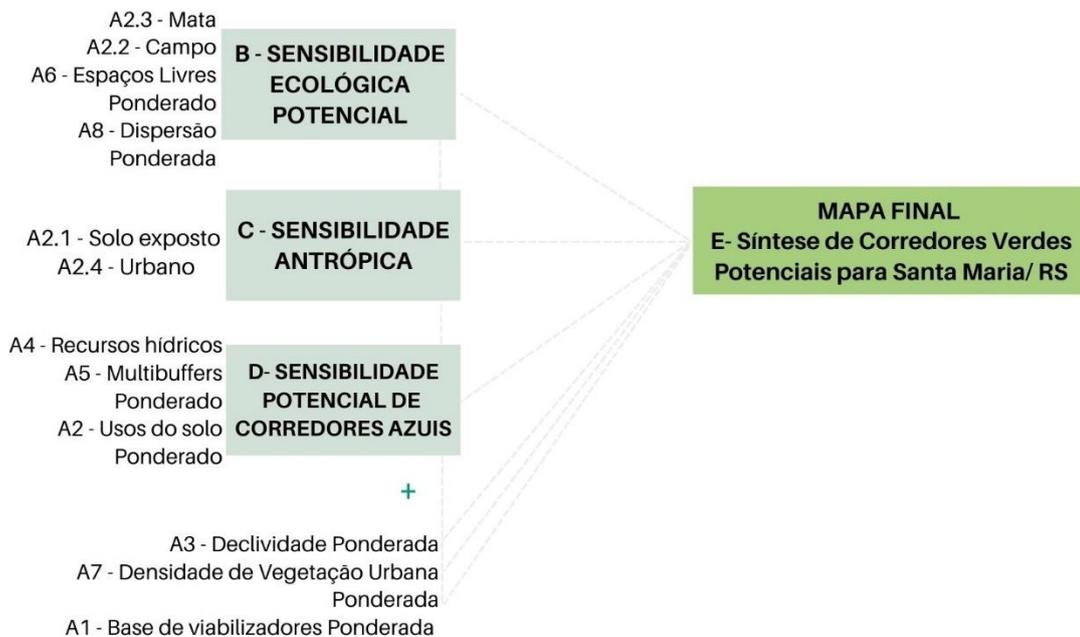
A partir das ponderações dos critérios em relação às suas classes, a próxima etapa foi a atribuição dos pesos estatísticos da AHP, de acordo com a tabela 3 que ilustra o grau de importância previsto por Saaty e Vargas (1979).

Esta valoração anterior a AHP é essencial para o cruzamento dos mapas, servindo como um balizador para a definição da escala de importância que foi aplicada pelo método, este descrito no Capítulo 4 “Processos Metodológicos”.

A figura 42 representa a relação que as bases apresentam entre si e os cruzamentos necessários para obter o produto deste trabalho. Para ilustrar isso, serão

necessários mapas intermediários que sintetizam as bases cartográficas e estes se cruzam entre si.

Figura 42: Diagrama dos cruzamentos



Fonte: O autor, 2021

Serão necessárias cinco matrizes de AHP distintas, um referente a cada mapa (A1, B, C, D e o Mapa Final E) fazendo com que esses critérios interajam entre si e posteriormente entre as sínteses desenvolvidas, cada uma tendo sua hierarquização em grau de importância. A tabela 13 representa a matriz AHP do primeiro cruzamento, o mapa B.

Tabela 13: Matriz de Comparação da AHP mapa B

CRITÉRIOS	A2.3 Mata	A2.2 Campo	A6 Espaços Livres	A8 Dispersão
A2.3 Mata	1	5,00	4,00	1,00
A2.2 Campo	0,20	1	0,20	0,20
A6 Espaços Livres	0,25	5,00	1	1,00
A8 Dispersão	1,00	5,00	1,00	1

Fonte: O autor, 2021

Os valores estipulados para cada critério são divididos pelo somatório dos elementos da coluna à qual pertencem, para que ao final seja feita a média geométrica entre as colunas, podendo, assim, efetuar a determinação de peso. A confirmação da acurácia desses pesos é realizada pela Razão de Consistência (RC).

A tabela 14 apresenta a relação de importância do primeiro processo AHP, sendo referente ao Mapa B – Sensibilidade Ecológica Potencial, utilizando das bases de mata, campo, ELIULR e dispersão.

Tabela 14: Pesos estatísticos dos critérios

CRITÉRIO	PRIORIDADE (%)	IMPORTÂNCIA	PESO
A2.3 Mata	44%	1	0,440
A2.2 Campo	5,8%	4	0,058
A6 Espaços Livres	21,2%	3	0,212
A8 Dispersão	29%	2	0,290

Fonte: O autor, 2021

Para essa análise, a Razão de Consistência foi de $RC=0,06$, considerando-se aceitáveis os pesos dos cruzamentos. Percebe-se, ainda, através da coluna Importância que agora, além dos elementos estarem ponderados entre si, com suas próprias classes, eles interagem com outros, estabelecendo, então, que a base mais importante é a classe de mata, enquanto, em segundo lugar, entra a métrica de dispersão, seguida dos espaços livres e, por fim, as áreas de campo.

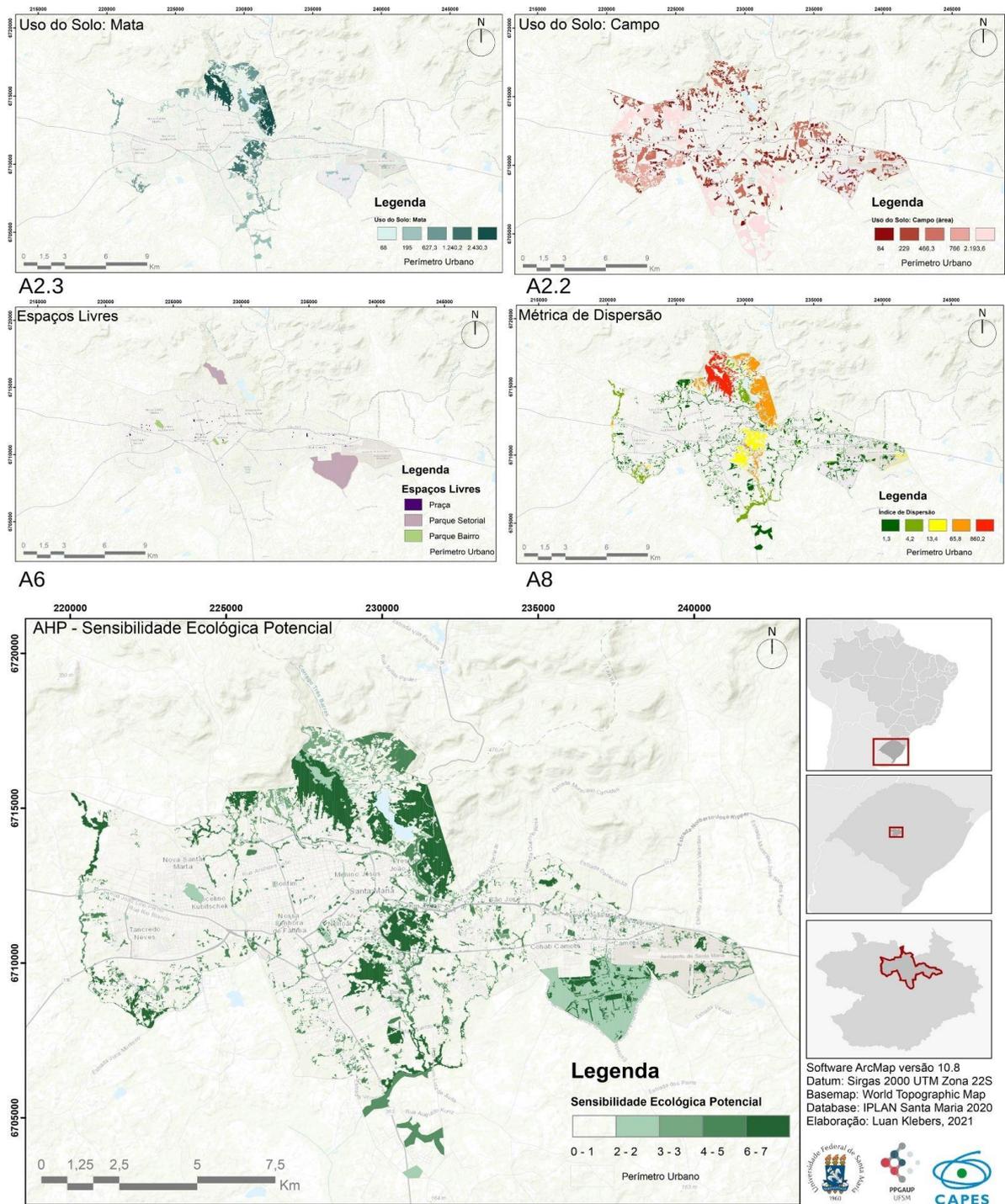
Isso ocorre devido ao objetivo de conectar os fragmentos de mata. Assim sendo, o ideal é identificar quais estão mais isolados, confrontando-os com os espaços livres ou polos magnéticos para, finalmente, utilizar as áreas de campo como potenciais para formalizar o sistema de corredores.

Portanto, para o cruzamento do mapa B de Sensibilidade Ecológica Potencial (*B SENS ECO POT*), apresentado pela figura 43, utiliza-se a expressão (8).

(8)

$$B \text{ SENS ECO POT} = 0,440 * A2.3 + 0,058 * A2.2 + 0,212 * A6 + 0,290 * A8$$

Figura 43: Mapa de Sensibilidade Ecológica Potencial



B - SENSIBILIDADE ECOLÓGICA POTENCIAL

Fonte: O autor, 2021

O mapa de sensibilidade ecológica potencial ilustra um viés ecológico, demonstrando onde se localizam as zonas do perímetro urbano que desempenham um potencial alto ou baixo, sendo representado através da escala de cores. Aqui,

quanto maior o valor (máximo 7,2), mais alta é a potencialidade, enquanto menor (mínimo 0), mais baixa é. Percebe-se a grande potencialidade já evidenciada nos mapas anteriores para os topos dos morros e a própria Universidade Federal de Santa Maria, enquanto dentro da área urbanizada a potencialidade diminui, existindo um alto grau de fragmentação.

Dado seguimento, é necessário o mapa C (tabela 15) de Sensibilidade Antrópica. Para essa análise, serão necessárias as bases de A2.1 Solo Exposto e A2.4 Solo Urbano, visto que são oriundos de atividades humanas e podem ser associadas a usos que fragmentam os resquícios naturais em meios urbanos.

Tabela 15: Matriz de Comparação da AHP mapa C

CRITÉRIOS	A2.1 Solo Exposto	A2.4 Solo Urbano
A2.1 Solo Exposto	1	5,00
A2.4 Solo Urbano	0,20	1

Fonte: O autor, 2021

Com a ponderação dos pesos (tabela 16), o solo exposto possui um grau de importância muito maior que o solo urbano. Isso ocorre devido à possibilidade do uso urbano consolidado apresentar uma resistência para alterações.

Tabela 16: Pesos estatísticos dos critérios

CRITÉRIO	PRIORIDADE (%)	IMPORTÂNCIA	PESO
A2.1 Solo Exposto	83,3%	1	0,833
A2.4 Solo Urbano	16,7%	2	0,167

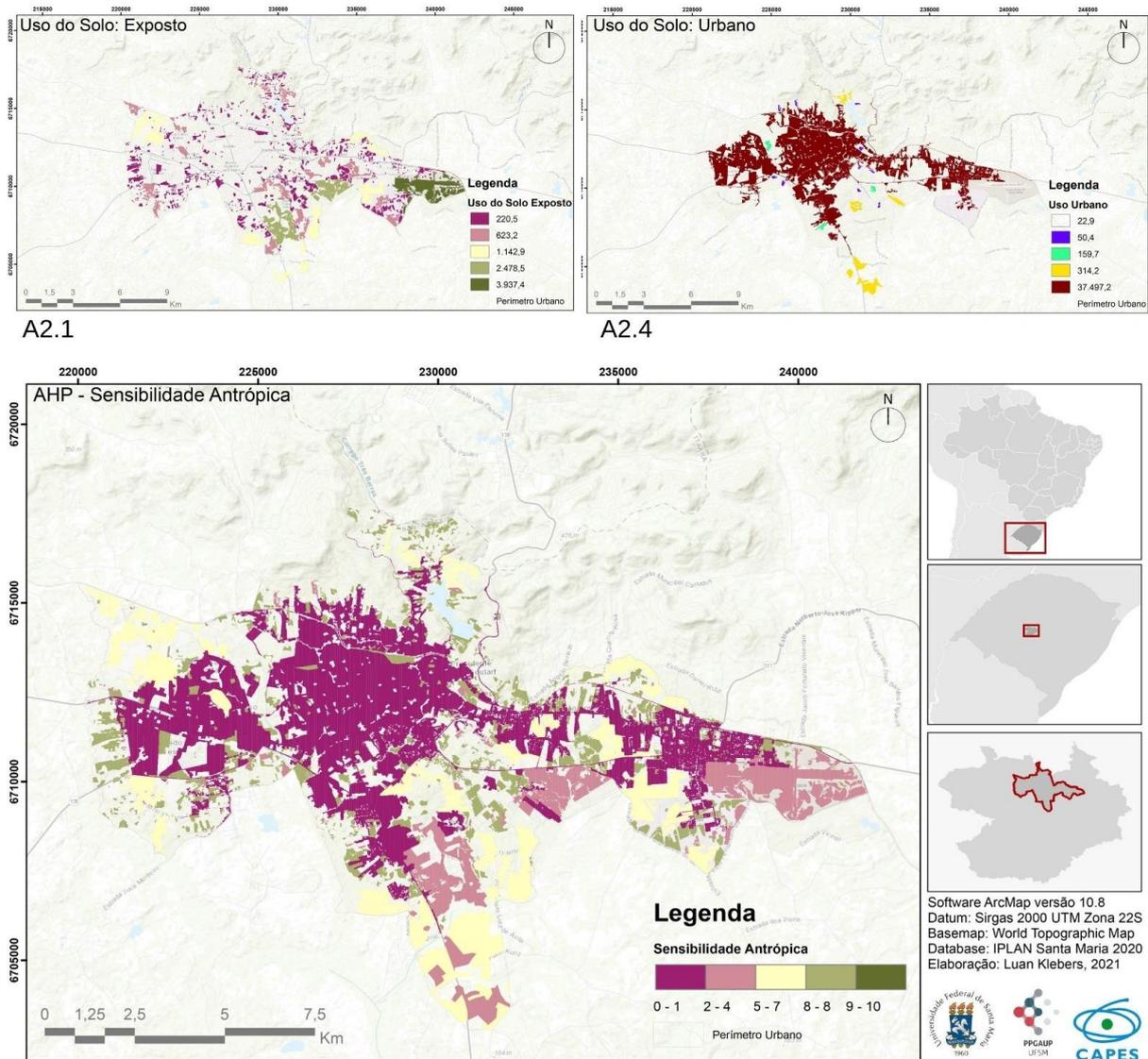
Fonte: O autor, 2021

Por conseguinte, a equação que rege o mapeamento C – Sensibilidade Antrópica ($C \text{ SENS ANTR}$) apresenta razão de consistência de 0,01, sendo apresentado na expressão (9) abaixo e ilustrado pela figura 44.

(9)

$$C \text{ SENS ANTR} = 0,833 * A2.1 + 0,167 * A2.4$$

Figura 44: Sensibilidade Antrópica



Fonte: O autor, 2021

Nesse mapa, percebe-se a baixa potencialidade (alta sensibilidade) para as áreas densamente urbanizadas, representadas pelo valor de 1,3 (mínimo) até 10 (máximo), desempenhando maior potencialidade (baixa sensibilidade).

Desse modo, é possível concluir, com base nessa espacialização, que o sentido de sensibilidade ecológica potencial é complementar à sensibilidade antrópica, uma vez que ambas exprimem a potencialidade para fora do perímetro urbano, demonstrando também os aspectos negativos da urbanização no que tange aos conceitos ecológicos e ambientais.

Para o seguimento da pesquisa, é necessário analisar também as bases de recursos hídricos, *multibuffers* (tabela 17) e usos do solo ponderados, configurando, assim, um panorama do cenário atual das dinâmicas ambientais de Santa Maria bem como uma pré-análise das atribuições feitas por este trabalho.

Tabela 17: Matriz de Comparação da AHP mapa D

CRITÉRIOS	A4 Recursos Hídricos	A5 <i>Multibuffers</i>	A2 Usos do Solo Ponderados
A4 Recursos Hídricos	1	0,14	0,14
A5 <i>Multibuffers</i>	7,00	1	1,00
A2 Usos do Solo Ponderados	7,00	1,00	1

Fonte: O autor, 2021

A matriz de ponderação estabelece como prioridade (tabela 18) os *multibuffers* (que estão ponderados de acordo com a valoração atribuída anteriormente, com o maior peso sendo de 30m) e os usos do solo ponderado (sendo o mais importante as áreas de mata), enquanto os recursos hídricos ocupam o menor valor somente pelo fato de que, para o cumprimento do objetivo desta dissertação, as áreas de margens das águas são considerados mais relevantes que os recursos hídricos em si (estes que englobam rios perenes, rios intermitentes, nascentes e reservatórios).

Tabela 18: Pesos estatísticos dos critérios

CRITÉRIO	PRIORIDADE (%)	IMPORTÂNCIA	PESO
A4 Recursos Hídricos	6,6%	3	0,066
A5 <i>Multibuffers</i>	46,7%	1	0,467
A2 Usos do Solo Ponderados	46,7%	1	0,467

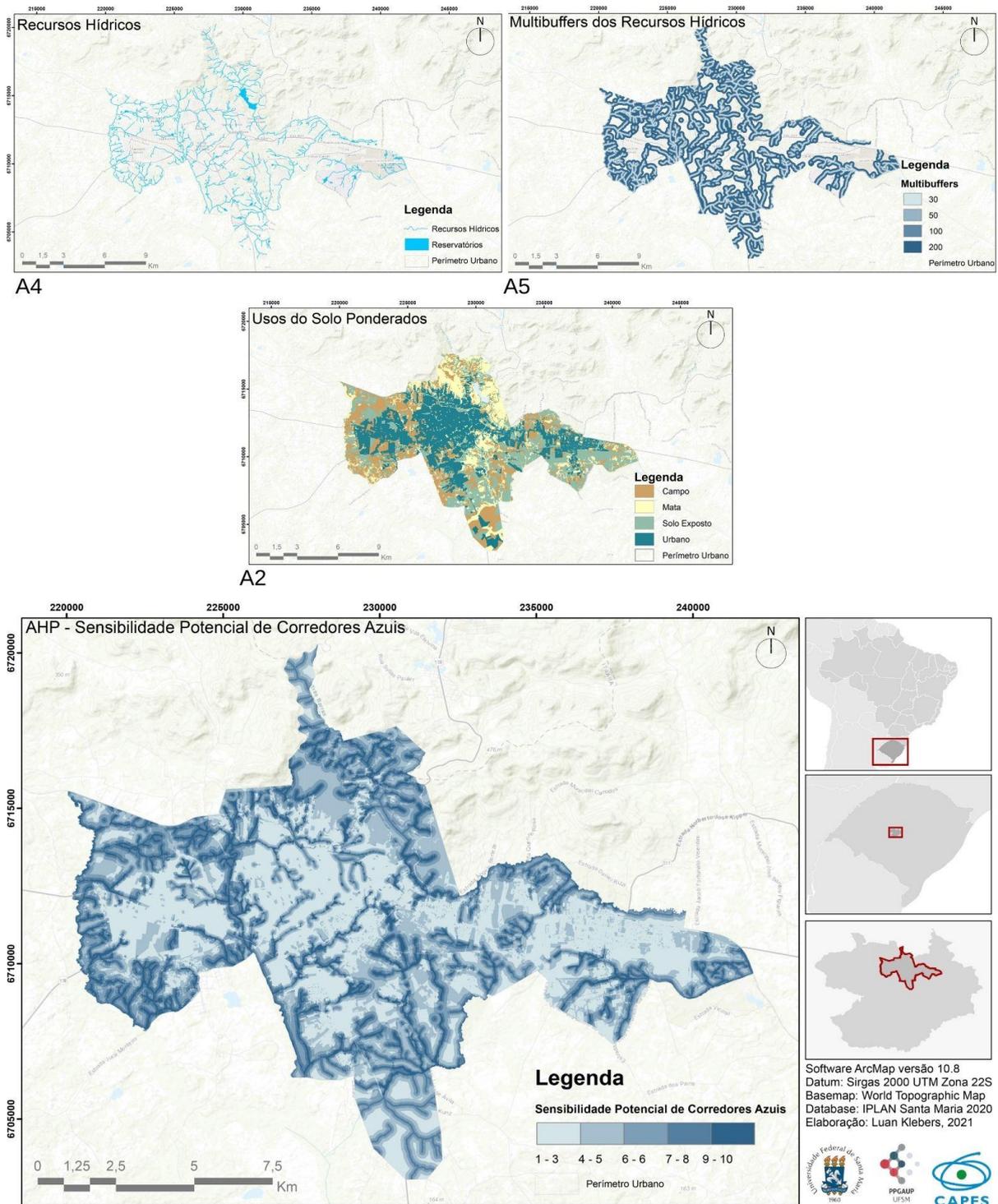
Fonte: O autor, 2021

A equação (10) abaixo apresenta as valorações atribuídas para a definição do mapa D Sensibilidade Potencial de Corredores Azuis (*D SENS BLUE*) enquanto a figura 45 apresenta os cruzamentos realizados para a realização desta álgebra de mapas.

(10)

$$D \text{ SENS BLUE} = 0,067 * A4 + 0,467 * A5 + 0,467 * A2$$

Figura 45: Sensibilidade Potencial de Corredores Azuis



D - SENSIBILIDADE POTENCIAL DE CORREDORES AZUIS

Fonte: O autor, 2021

Com base na figura 45, é possível identificar que, concernente aos corredores azuis e recursos hídricos, suas potencialidades são distintas dos demais. Este

mapeamento leva em consideração a porcentagem de uso de solo e sua ponderação de acordo com cada *buffer*, democratizando, assim, a potencialidade tanto intra quanto extra perímetro urbano. Nesse caso, quanto menor a valoração (mínimo 2), menor a potencialidade que o recurso apresenta, logo, quanto maior a valoração (máximo 16), maior a sensibilidade potencial.

Com o objetivo de aproximar ainda mais a relação de corredores verdes para o perímetro urbano, a base de viabilizadores torna-se um artifício interessante no quesito conectividade, utilizando de alguns eixos estruturantes do município para a apropriação de um possível corredor verde. Seu processo AHP é apresentado pela tabela 19.

Tabela 19: Matriz de Comparação da AHP mapa A1

CRITÉRIOS	A1.1 Ciclovía e Pista Multi.	A1.2 Ferrovia	A1.3 Avenidas Principais	A1.4 Demais Vias
A1.1 Ciclovía e Pista Multi.	1	1,00	5,00	9,00
A1.2 Ferrovia	1,00	1	7,00	5,00
A1.3 Avenidas Principais	0,20	0,14	1	0,30
A1.4 Demais Vias	0,11	0,20	0,33	1

Fonte: O autor, 2021

A Razão de Consistência desta matriz foi de 0,06, satisfazendo, assim, os cálculos necessários. Seu processo hierárquico segue com a maior importância, sendo as ciclovias e a pista multiuso, seguidas da ferrovia e avenidas principais, tendo, por fim, as demais vias (tabela 20).

Tabela 20: Pesos estatísticos dos critérios

CRITÉRIO	PRIORIDADE (%)	IMPORTÂNCIA	PESO
A1.1 Ciclovía e Pista Multi.	42,9%	1	0,429
A1.2 Ferrovia	42,5%	2	0,425
A1.3 Avenidas Principais	9,5%	3	0,095
A1.4 Demais Vias	5,2%	4	0,052

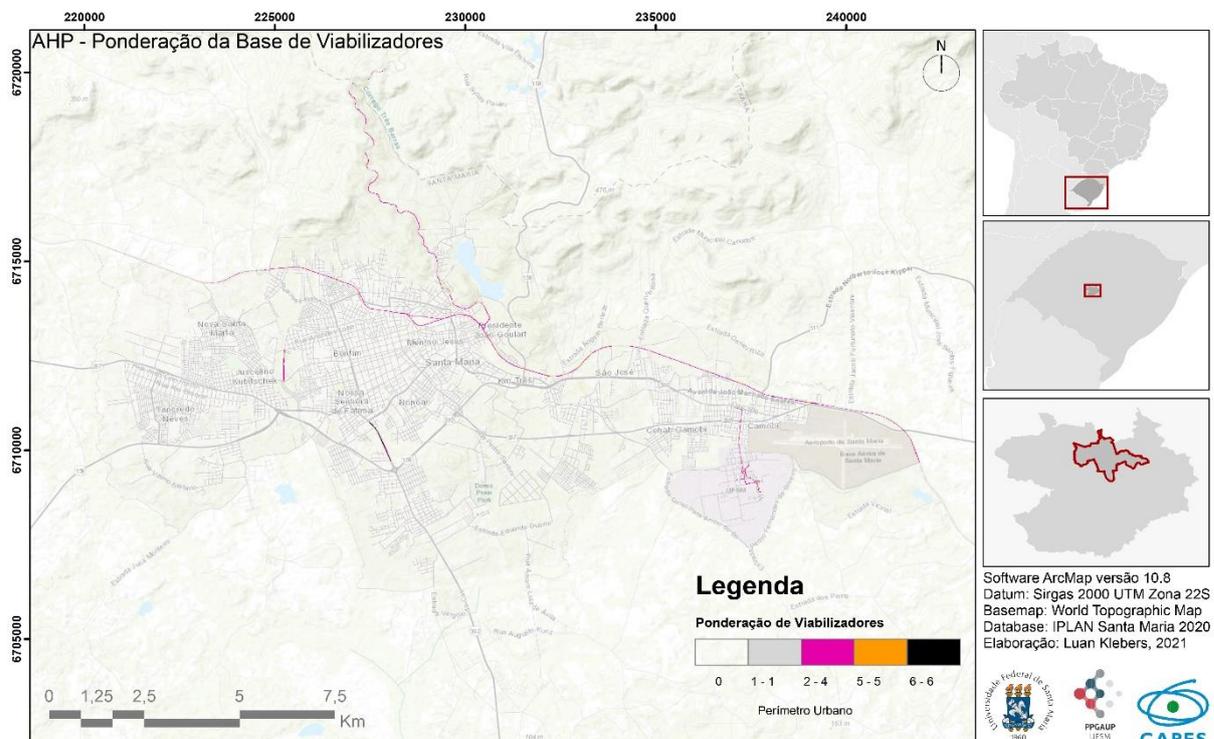
Fonte: O autor, 2021

A equação (11) abaixo apresenta a forma com que este cruzamento de ponderações (A1 VIAB) foi interpretado pela ferramenta *raster calculator* e é representado pela figura 46.

(11)

$$A1\ VIAB = 0,429 * A1.1 + 0,425 * A1.2 + 0,095 * A1.3 + 0,052 * A1.4$$

Figura 46: Ponderação da Base de Viabilizadores



Fonte: O autor, 2021

O resultado desse cruzamento é interpretado através das cores que cada linha possui, sendo o menor potencial apresentado pelo menor número (mínimo 1), enquanto o máximo é representado pela maior numeração (máximo 6).

Percebe-se que as demais vias do município receberam a menor valoração juntamente com as avenidas principais, enquanto gradativamente sobe a potencialidade para a linha férrea, seguida da pista multiuso da Universidade Federal de Santa Maria e a ciclovia da Av. Dom Ivo Lorscheiter, que separa o bairro Centro do Juscelino Kubitschek, enquanto a valoração mais alta foi da ciclovia existente na Avenida Hólvio Basso. Isso ocorre devido à sobreposição de *layers*, onde a própria referida avenida é uma via estruturante para a cidade, enquanto, por exemplo, a Av. Roraima, é um ponto conector importante para a UFSM, o que justifica a alta pontuação.

O cruzamento final tem como objetivo unir todas essas informações em um único mapeamento, ilustrando as maiores potencialidades para um sistema de corredores verdes no município de Santa Maria. Sua AHP (tabela 21) é a mais complexa, uma vez que precisa costurar todos os demais mapas.

Tabela 21: Matriz de Comparação da AHP mapa E

CRITÉRIOS	B SENS ECO	C SENS ANTRO	D SENS <i>BLUE</i>	A3 DECLIV	A7 DENS. DE VEG. URBANA	A1 VIAB
B SENS ECO	1	5,00	0,33	7,00	1,00	1,00
C SENS ANTRO	0,20	1	0,11	0,20	0,14	0,25
D SENS <i>BLUE</i>	3,00	9,00	1	5,00	5,00	3,00
A3 DECLIV	0,14	5,00	0,20	1	0,50	1,00
A7 DENS. DE VEG. URBANA	1,00	7,00	0,20	2,00	1	1,00
A1 VIAB	1,00	4,00	0,33	1,00	1,00	1

LEGENDA:

B SENS ECO: B – SENSIBILIDADE ECOLÓGICA POTENCIAL

C SENS ANTRO: C – SENSIBILIDADE ANTRÓPICA

D SENS *BLUE*: D – SENSIBILIDADE POTENCIAL DE CORREDORES AZUIS

A3 DECLIV: A3 – DECLIVIDADE PONDERADA

A7 DENS. DE VEG. URBANA: A7 – DENSIDADE DE VEGETAÇÃO URBANA PONDERADA

A1 VIAB: A1 – VIABILIZADORES PONDERADOS

Fonte: O autor, 2021

Essa matriz apresentou a Razão de Consistência = 0,08 e leva em consideração os mapas previamente analisados juntamente com as bases de vegetação urbana e declividade ponderados. Sua matriz de valorações estatísticas é apresentada pela tabela 22.

Tabela 22: Pesos estatísticos dos critérios

CRITÉRIO	PRIORIDADE (%)	IMPORTÂNCIA	PESO
B SENS ECO	20,3%	2	0,203
C SENS ANTRO	2,8%	6	0,028
D SENS <i>BLUE</i>	42,5%	1	0,425
A3 DECLIV	8,1%	5	0,081
A7 DENS. DE VEG. URBANA	14,0%	3	0,140
A1 VIAB	12,3%	4	0,123

LEGENDA:

B SENS ECO: B – SENSIBILIDADE ECOLÓGICA POTENCIAL

C SENS ANTRO: C – SENSIBILIDADE ANTRÓPICA

D SENS *BLUE*: D – SENSIBILIDADE POTENCIAL DE CORREDORES AZUIS

A3 DECLIV: A3 – DECLIVIDADE PONDERADA

A7 DENS. DE VEG. URBANA: A7 – DENSIDADE DE VEGETAÇÃO URBANA PONDERADA

A1 VIAB: A1 – VIABILIZADORES PONDERADOS

Fonte: O autor, 2021

A expressão (12) a seguir sumariza os resultados anteriores deste trabalho, o qual tem seu produto (*E CORR POT*) apresentado na figura 47.

(12)

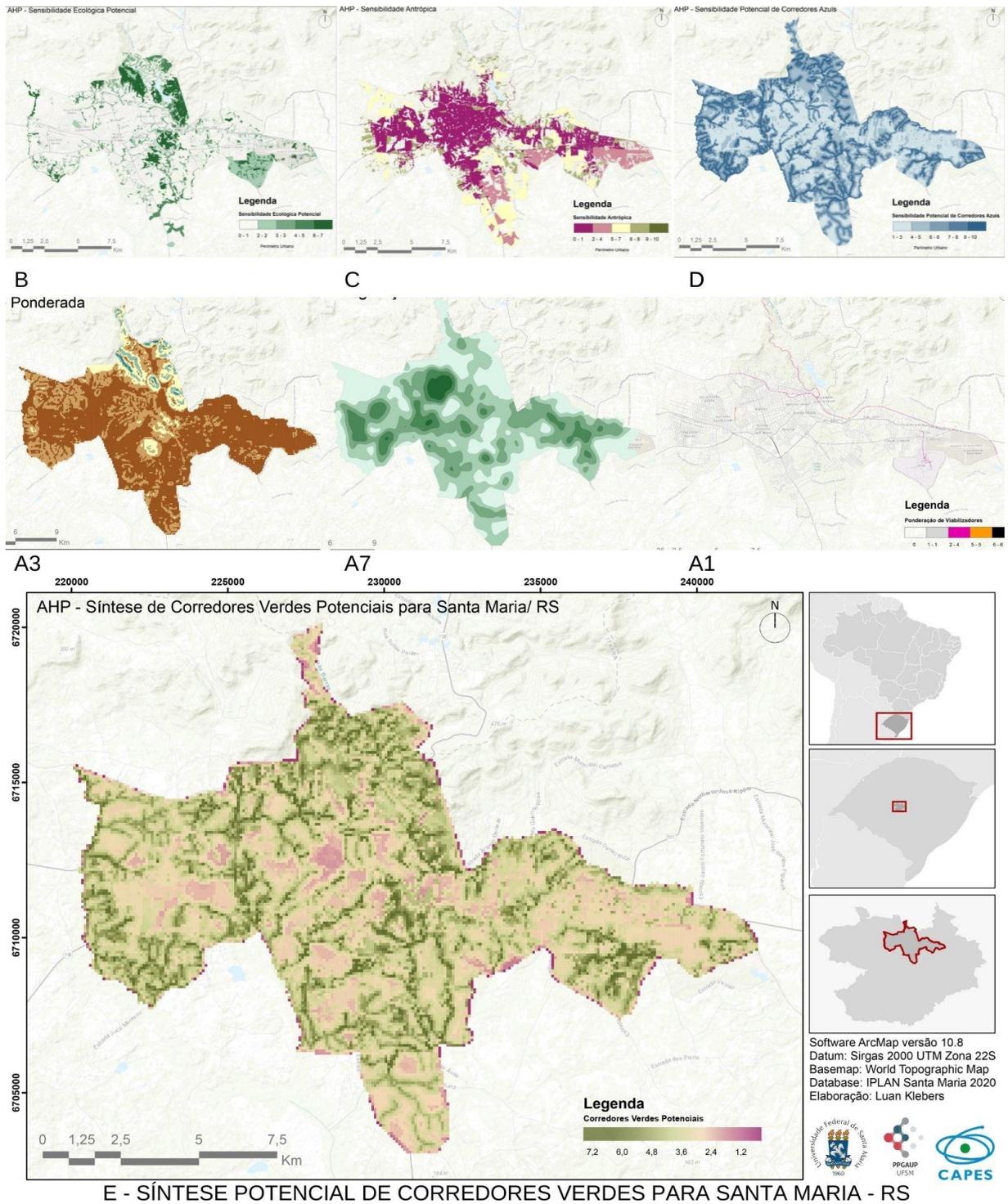
$$E\ CORR\ POT =$$

$$0,203 * B + 0,028 * C + 0,425 * D + 0,081 * A3 + 0,14 * A7 + 0,123 * A1$$

O produto resultante desse cruzamento demonstra onde estão localizadas as áreas com maior potencial para contemplar um sistema de corredores verdes. De

acordo com a legenda, quanto mais alto o valor (máximo 7,2), maior a potencialidade, enquanto que, quanto menor o valor (mínimo 1,2), mais baixa é a potencialidade.

Figura 47: Síntese de Corredores Verdes Potenciais



Fonte: O autor, 2021

Percebe-se, ainda, nesse mapeamento como o processo de construção das variáveis e dos pesos AHP foram ocorrendo, camada sob camada. Os graus de importância são evidentes, valorações que caminham desde as bases cartográficas até o mapa final. As maiores valorações são para as áreas de mata e as regiões de 30m, a partir dos recursos hídricos, gradativamente reduzem até a malha urbana consolidada.

5.3. UM SISTEMA DE CORREDORES VERDES PARA SANTA MARIA/RS

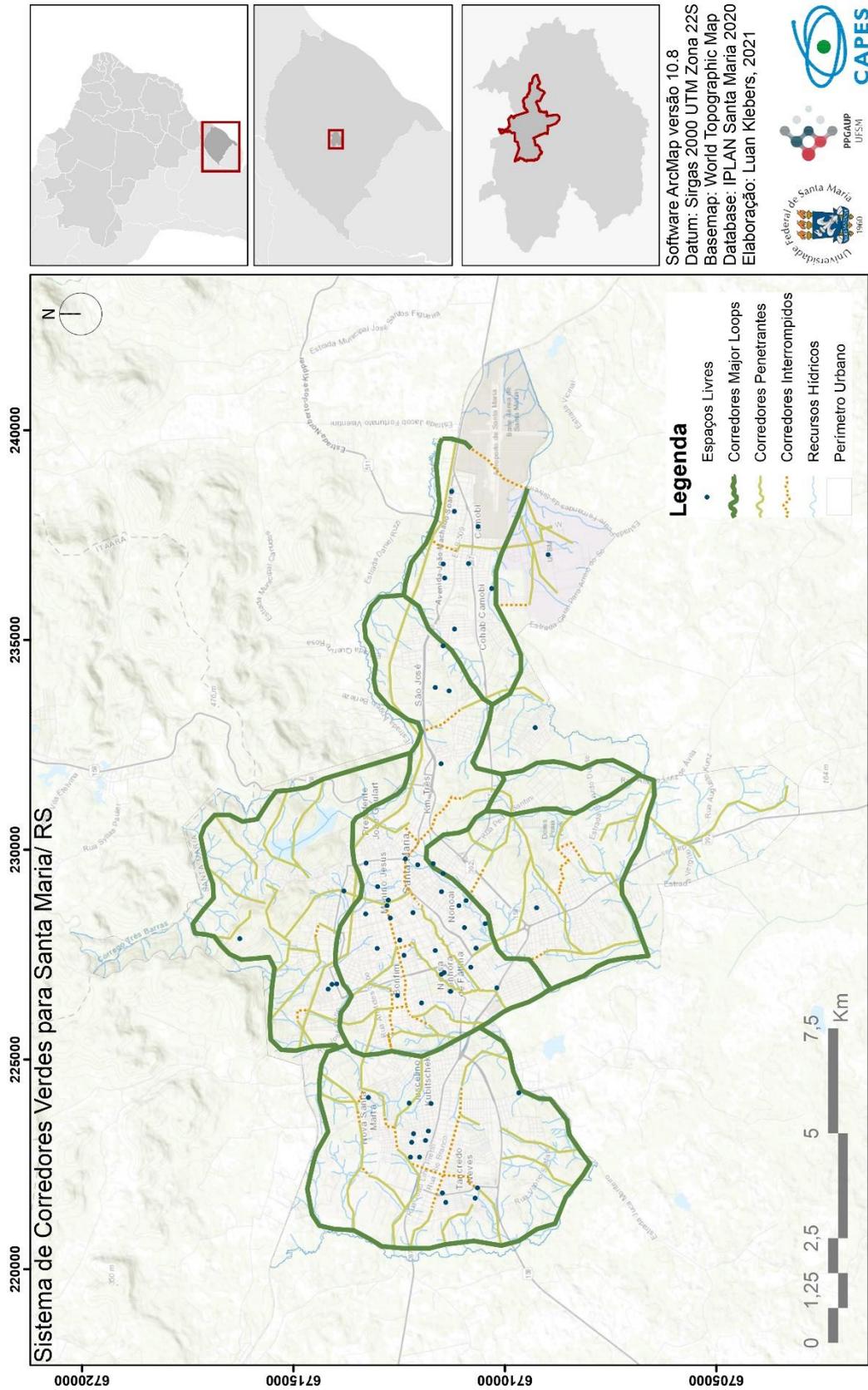
Os resultados obtidos pelo cruzamento do mapa Síntese Potencial de Corredores Verdes, possibilitam uma base com fundamentação teórica acerca do cenário ecológico que o município de Santa Maria pode apresentar, servindo como uma proposição de um grande sistema ambiental.

Parte-se do pressuposto de que uma abordagem ecológica da estrutura urbana provê inúmeros benefícios para a população, mesmo que seja como conceito ou processo. Como conceito, o planejamento e o manejo da esfera ecológica tendem a guiar um sistema de espaços livres articulados, suportando conservação e preservação juntamente com valores de recreação.

Enquanto processo, essa abordagem fornece mecanismos necessários para diversos interesses referentes à identificação de áreas prioritárias para proteção, podendo ser utilizada para conduzir o crescimento futuro das cidades, limitando a ocupação em áreas de bens comunitários e recursos naturais (MENEGETTI, 2009).

Nesse sentido, foram sobrepostas novamente algumas bases cartográficas que auxiliam a guiar o traçado dessas áreas, uma vez que é necessário agregar os espaços livres existentes a fim de formar uma rede de sustentabilidade para a comunidade vegetal e animal bem como mobilidade (tanto de pedestres quanto de fauna) gerando espaços livres multifuncionais, maximizando seus usos e benefícios e democratizando seus acessos. A figura 48 ilustra o cenário de um sistema de corredores verdes possíveis pelas variáveis analisadas.

Figura 48: Sistema de Corredores Verdes para Santa Maria



Fonte: O autor, 2021

Devido ao teor cíclico que a morfologia das áreas naturais e de preservação apresentam, é possível desenvolver um layout de *major loops* ou *loops* principais no sentido de *loop* empilhado, com seis grandes anéis circundando o perímetro urbano, delimitando sua expansão e guiando o planejamento ecológico, uma vez que esses corredores apresentam porções mais largas de terra com recursos hídricos. Além do valor ecológico que desenvolvem, demonstram potencial para apropriação dos bairros que circundam para fomentar comércios locais, turismo ou até mesmo atividades para as comunidades, como hortas, feiras e etc.

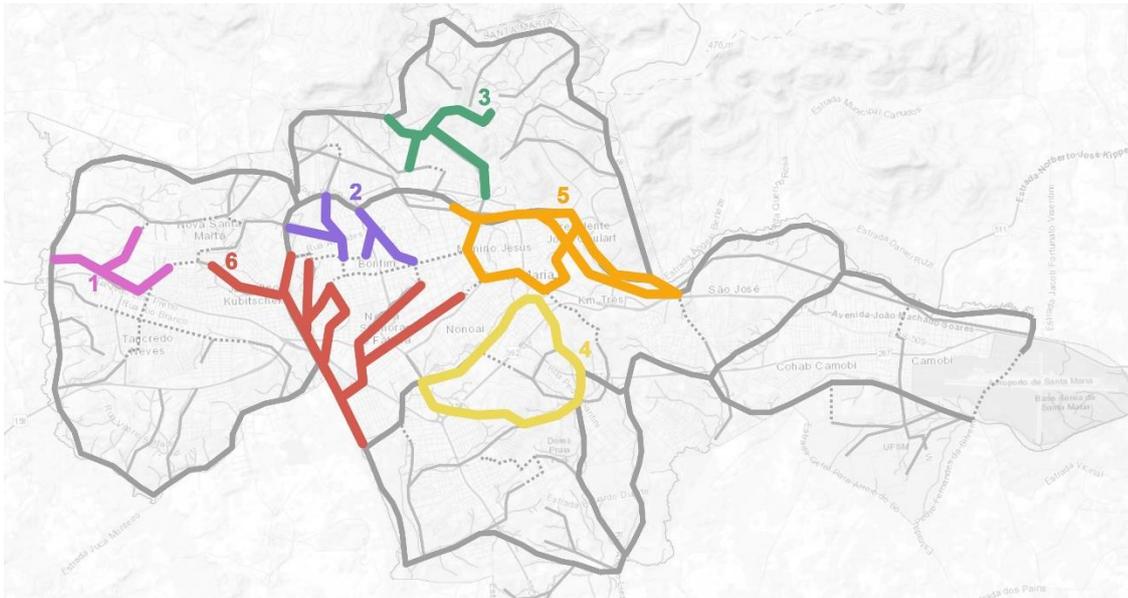
Os corredores penetrantes desempenham o papel linear onde, com uma escala menor, permeiam o espaço urbano tentando conectar os espaços livres existentes, por vezes assumindo caráter cíclico, contudo com importância menor que a de *major loops*. Estes são os que fomentam a conectividade e a caminhabilidade urbana, atuando não somente como áreas de lazer e recreação, mas também podendo desempenhar papéis como rotas de transporte alternativo, uma vez que interligam importantes áreas das cidades.

Os corredores interrompidos são áreas onde não foi possível traçar uma mancha verde, devido à densa urbanização, contudo, seria relevante para os processos de uso e apropriação que essas vias atribuíssem prioridade aos pedestres através de políticas públicas e ferramentas que permitissem a seus usuários a prática de exercícios com segurança.

No que tange à sua morfologia, os conceitos visam a aplicar maior ciclicidade, robustez e conectividade ao sistema, podendo estas apresentarem as mais diversas configurações dentre as seis previamente citadas (capítulo 2 Referencial Teórico).

A figura 49 representa a identificação de múltiplas morfologias nos corredores desta pesquisa. É natural que, em um processo de tomada de decisões, se estabeleçam todas as tipologias possíveis para que em estudos contínuos sejam avaliadas em uma escala microlocal e validadas para execução.

Figura 49: Identificação das morfologias de corredores



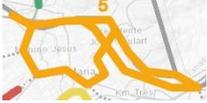
Fonte: O autor, 2021

Cada um dos seis tipos de morfologia possui características específicas e desempenha captações diferentes de usuários aos corredores. É válido pontuar, ainda, que para diferentes abordagens, variáveis ou traçados diferentes podem ser obtidos *layouts* e morfologias diferentes, sendo um processo ímpar para cada cidade.

A tabela 23 apresenta ampliações do sistema desenvolvido, representando graficamente a relação que a morfologia possui com o *layout* e a configuração dos corredores verdes.

A identificação dos *layouts* e morfologias dos corredores permitem uma verificação em escala reduzida da sua acurácia de planejamento, uma vez que torna evidente o grau de conectividade e até mesmo a fragilidade que o sistema possui de maneira visual, entendendo que o sistema não pode parar caso um corredor seja inutilizado (por quaisquer motivos) e suas consequências tanto para fauna e flora quanto para usuários não sejam definitivas.

Tabela 23: *Layout* e morfologia dos corredores verdes

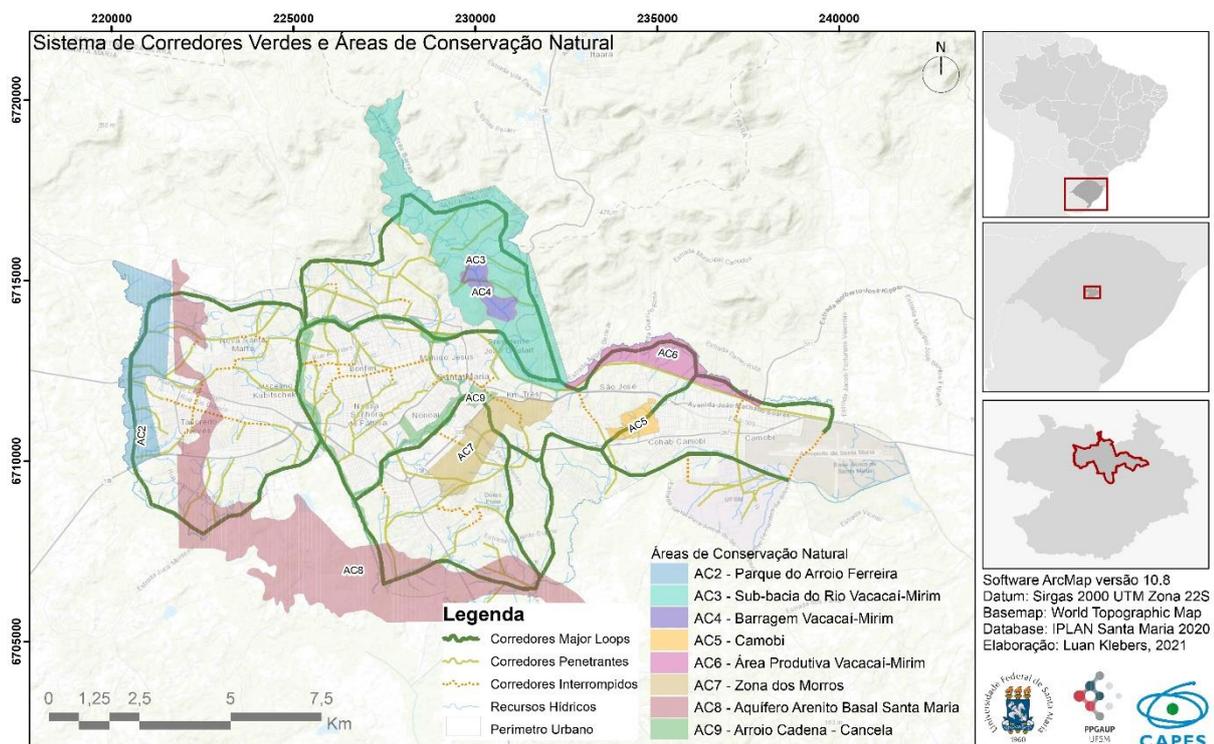
CONFIGURAÇÃO	TIPOLOGIA	DESCRIÇÃO
	Loop Empilhado	São laços entrelaçados formando um grande <i>loop</i> , possibilitam diferentes comprimentos de trilhas, englobando comunidades e bairros (FLINK & SEARNS, 2009).
	Layout Linear	É mais comum por precisar de porções mais estreitas de terra, é indicado onde o objetivo é somente transporte alternativo ou uso compartilhado (FLINK & SEARNS, 2009).
	Paul Revere	Todos os alvos são alcançados ao menos uma vez, conectados apenas por um corredor, apresenta facilidade de traçado (LINEHAN <i>et al.</i> 1995; HELLMUND; SMITH, 2006).
	Hierárquico	Apresenta fluxo direcionado por apenas um ponto inicial de distribuição, hierarquiza com alta importância o ponto central tornando desejável que mais de um corredor o interligue (LINEHAN <i>et al.</i> 1995; HELLMUND; SMITH, 2006).
	Menor Custo ao Empreendedor	Todos os alvos são servidos por somente uma conexão, convergindo pontos flutuantes e implicando em um menor custo ao empreendedor, uma vez que reduz as distâncias conectadas (LINEHAN <i>et al.</i> 1995; HELLMUND; SMITH, 2006).
	Caixeiro Viajante	Similar a um <i>loop</i> (diferindo apenas na escala) apresenta rota única que retorna ao ponto inicial e grande vantagem para lazer e recreação, facilitando o deslocamento (HELLMUND; SMITH, 2009; SOUZA, 2012).
	Menor Custo ao Usuário	A conexão ocorre direta entre os pontos e os corredores, sendo o menor custo ao usuário referente a grande oferta de trajetos e a redundância/robustez que o sistema recebe (LINEHAN <i>et al.</i> 1995; HELLMUND; SMITH, 2006).
	Tipologia Beckman	Permite variação da célula fechada, flexibilizando o sistema e deslocando alvos sem que necessariamente seja através um do outro (LINEHAN <i>et al.</i> 1995; HELLMUND; SMITH, 2006; SOUZA, 2012).

Fonte: O autor, 2021

Sua categorização multiescalar, além de desafiadora, garante a relação de conectividade com propósito para um corredor. Nesse caso, não falando de propósito ecológico ou ambiental, mas sim de capacidade de mobilidade com início e fim, onde levam de lugar A para lugar B. No caso deste estudo, a conferência com *layout* e morfologia são meramente comparativas e relativas, uma vez que, em função da escala trabalhada (aproximadamente 1:75.000), a precisão para tais mapeamentos é inviável.

Ainda em caráter comparativo, já que para a aplicação desta metodologia e cruzamento dos mapas foi realizado um inventário ecológico do município de Santa Maria, torna-se fundamental a comparação com o planejamento ambiental em vigor. De acordo com o capítulo 3 (Caracterização da Área de Estudo), a normativa que rege as áreas de conservação naturais (LUOS) as divide em nove zonas de máxima prioridade, conforme a figura 50.

Figura 50: Sistema de Corredores Verdes e Áreas de Conservação Natural



Fonte: O autor, 2021

Baseada em diversas legislações similares, a LUOS prevê restrições de usos específicos para essas áreas, sendo a primeira Área de Conservação (AC1) a Reserva da Biosfera de Mata Atlântica, localizada logo ao norte do perímetro urbano e sendo um importante manancial nacional, contudo, sua degradação é uma preocupação que demanda atenção de toda a região central do Rio Grande do Sul. Sua destruição tem sido intensificada nas últimas décadas, causando perdas dessa floresta devido aos usos antrópicos intensificados. Todas essas zonas previstas foram de caráter fundamental para a pesquisa, uma vez que é justamente sua proteção (oriunda de sua importância) que as mantém com estoques vegetados consideráveis.

Mesmo partindo de bases teóricas diferentes, é interessante compreender que a LUOS, com suas definições de conservação, mantém prioridade de algumas zonas de extrema relevância para um sistema de corredores verdes, como a sub-bacia do rio Vacacaí Mirim e ainda o Arroio Cadena – Cancela. Contudo, a definição dessas áreas por si só não apresenta relevância para o planejamento ambiental quanto a ecossistema.

São necessárias ações efetivas que previnam a fragmentação desses mananciais e fomentem sua conectividade, mitigando, assim, os efeitos negativos da antropização da paisagem, e para isso, a gestão pública, no que tange o planejamento ambiental de Santa Maria, está demasiadamente atrasada.

Capítulo 6

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ainda que o debate sobre corredores verdes exista desde 1887, com os estudos de Frederik Law Olmsted, seu diálogo ainda se faz muito pertinente mesmo 133 anos após seu ponto de partida. Em um cenário (principalmente o brasileiro) de degradação ambiental e descaso da parte dos gestores, cabe aos pesquisadores e planejadores da paisagem intervirem e reiterarem a importância da preservação, conservação e conectividade dessas áreas.

Cada vez mais as pesquisas apontam para os benefícios da implementação de um sistema de corredores verdes. São reflexos positivos, tanto pessoais (psicológicos, fisiológicos), quanto econômicos e ambientais, o que reforça cada vez mais a relevância desta temática de estudo.

A adoção da metodologia de matriz, fragmento e corredor, apresentada por Forman e Godron (1986), ainda é um dos métodos mais eficazes para o planejamento ecológico da paisagem, sendo um complemento direto da metodologia proposta por McHarg (1969), onde a sobreposição dos mapas, com base na fotointerpretação de aspectos físico-ambientais e antrópicos, revelam as principais características morfológicas das cidades, bem como as fragilidades e suscetibilidades ambientais e sua relação com as ocupações urbanas.

No capítulo 1, o trabalho é iniciado com a justificativa das áreas degradadas, sendo grande parte devido à dispersão urbana e ao fenômeno de espraiamento da população urbana. Evidente que esse é um processo natural de evolução da ocupação humana, contudo, a crítica (e o que move o trabalho) é o processo sem planejamento e sem respeito pelas áreas naturais de conservação e preservação.

Ainda nesse capítulo, são apresentadas as duas questões de pesquisa. 1ª: Como identificar, caracterizar e planejar um sistema de corredores verdes? E 2ª:

Como analisar e mensurar as áreas em potencial, áreas prioritárias e zonas viabilizadoras para um sistema de corredores verdes?

Ambas respondidas no decorrer desta pesquisa, as questões são desenvolvidas como conceitos unificados, de forma que uma análise leva à outra, onde para (2) analisar, mensurar áreas em potencial, utiliza-se de um catálogo ecológico da paisagem (oriundo diretamente da ecologia da paisagem) com metodologias de sobreposições cartográficas que vão costurando a (1) identificação, caracterização e conseqüente planejamento de um sistema de corredores verdes.

Percebe-se, ao fim desta pesquisa, que o objetivo geral (identificar, com ênfase na ecologia da paisagem, as áreas em potencial para um sistema de corredores verdes no município de Santa Maria – RS) foi alcançado com sucesso, juntamente com os cinco objetivos específicos.

A cidade de Santa Maria apresenta grande potencial paisagístico no que se refere a seus espaços livres, contudo, carece de planejamento e gestão. Seu panorama atual é fragmentado, desconexo e necessita urgentemente de novas articulações visando à valorização, principalmente das percepções de seus usuários e das comunidades locais.

O termo paisagem é desafiadoramente amplo, resultando em uma das maiores dificuldades deste trabalho: a conceituação e apropriação dessa nomenclatura. É extremamente denso e complexo tentar atribuir definição a um termo que apresenta apropriações das mais diversas áreas do conhecimento, especialmente quando essas são, por vezes, opostas ou até mesmo tratando de aspectos completamente diferentes.

A própria ecologia da paisagem, que desempenhou papel fundamental como via metodológica, e que visou conceituá-lo dentro da Geografia, desenvolve uma interface magnífica com a área do urbanismo e paisagismo, podendo ter seus conceitos aplicados livremente com aprofundamentos diferenciados, enfatizando aspectos diferentes, enquanto para o Direito, por exemplo, a paisagem recebe atribuições completamente distinta.

As métricas da paisagem forneceram subsídio complementar para a classificação e categorização dos elementos da paisagem, elevando, assim, o nível das análises com relações que permearam diversos aspectos, como, por exemplo, a

métrica adotada nas análises (dispersão) que relaciona área, perímetro e distância do vizinho mais próximo para hierarquizar o grau de conectividade das manchas.

A utilização da Análise Multicritério foi uma decisão assertiva, já que, através da AHP, permite com rigor metodológico a utilização de diversas variáveis que, normalmente, não são confrontadas. Entretanto, interagem diretamente entre si, uma vez que a paisagem, de modo geral, imprime uma relação sistêmica, até mesmo com zonas antropizadas.

Entre os resultados obtidos, reforça-se a importância de avaliar com maior peso as áreas naturais das APPS, bem como os recursos hídricos. Também se evidencia a baixa relação que a LUOS apresenta com o panorama de fragmentação atual dessas Áreas de Conservação Naturais. Mesmo que em mapeamentos indiquem proteção e restrição de ocupações, a urbanização intensificada já desarticulou a maioria dessas áreas, sendo necessária a tomada de ações públicas que visem não somente à restrição de uso, mas também a recuperação e (re)conectividade dessas áreas.

Os recursos hídricos e as áreas de mata são as mais importantes para este estudo, e isso se torna evidente no mapa final que assume e incorpora a relação dos *multibuffers* de recursos hídricos com as áreas vegetadas. Isso ocorre de maneira intencional, tomando partido das legislações vigentes as quais, ainda que ineficazes, são fortes balizadoras que auxiliam no mantimento desses estoques de APP no município.

Uma vez que esses mapeamentos existam com variáveis coerentes e que reflitam não somente a realidade ecológica e urbana, mas também o contexto social com a participação direta da população, se tornará ainda mais evidente a importância e os benefícios que um sistema de corredores verdes pode trazer para Santa Maria. Ainda que os mapeamentos sugiram todas as conexões possíveis, são preferíveis as mais altas para que ocorra, de fato, o traçado de um sistema.

Sua relação de *layout* é importante para que seja convidativo e instigante; corredores simples e lineares tendem a atuarem principalmente como eixos de mobilidade alternativa, enquanto desenhos mais complexos que interligam zonas urbanas com áreas de diferentes declividades e distintos extratos vegetais apresentam maiores apropriações das comunidades.

Já a morfologia visa a analisar conexões que possuam “início e fim” no sentido de que sirvam como meio de conexão direta entre, por exemplo, praças, equipamentos urbanos ou zonas históricas, sendo essa lista ampla e complexa, de acordo com o que cada cidade pode oferecer.

Ainda sobre resultados obtidos, chama a atenção que, de toda a base de viabilizadores analisada, a avenida que apresentou a maior potencialidade seja a Av. Hélyvio Basso. Localizada em um eixo estruturante da cidade, além de ser uma das principais vias, abriga uma ciclovia, contudo, carrega em si marcas do descaso da gestão pública, sendo um local desprovido de qualidade para seus usuários.

Seu teor cênico é de uma avenida industrial margeada de indústrias e trânsito intenso que, somados a uma faixa sem quaisquer tipos de arborização, resultam em um trecho árido e nada instigante, servindo durante o dia estritamente como eixo de mobilidade para quem necessita e, durante a noite, quando o calor ameniza, como eixo de atividades físicas de moradores locais.

É importante ressaltar, ainda, que os vetores de crescimento de Santa Maria exprimem a urbanização para o sentido Leste-Oeste; no entanto, o teor ambiental que a cidade apresenta nas zonas atuais é alto, sendo necessárias atividades que fomentem a preservação e a conectividade dessas áreas.

A sensibilidade de corredores potenciais apresentada nessa dissertação pode ser interpretada não como limitador da tendência de urbanização, mas como condicionante desta. A existência de um sistema de corredores verdes não impossibilita a urbanização por mais densa que seja, entretanto, a urbanização densa inviabiliza os aspectos naturais que necessitam os corredores verdes.

Como limitante desta pesquisa, é possível citar a escala utilizada para as análises. Trabalhar com o perímetro urbano de modo geral é desafiador devido à grande quantidade de agentes que interagem nesse ambiente. Quando se refere a corredores verdes, o desafio se intensifica, uma vez que, para garantir a coerência do sistema de corredores, seja necessário a conferência ponto-a-ponto de suas conexões.

Para desdobramentos futuros, conclui-se que este método pode ser replicado tanto em cidades com características similares a Santa Maria quanto para urbes mais complexas, densas e de maior porte. Dessa forma, se destacam como sugestão de replicação do método desta dissertação os itens abaixo:

- Replicar esta metodologia de planejamento de um sistema de corredores verdes para outras escalas de cidades (metropolitana, litorânea, médias e pequenas) para verificar se existem similaridades ou diferenças nos padrões e tendências apresentados no que se refere à análise e implementação deste sistema;
- Estudar os corredores verdes para áreas naturais, rurais, urbanas, rur-urbanas das cidades e verificar se existe similaridade ou diferença nos padrões e tendências.

Com o objetivo de contribuir positivamente para análises do desenvolvimento e cenário ecológico de Santa Maria, são apontadas possibilidades de futuros trabalhos para temáticas similares, já que o conhecimento deve ser democrático, acessível e, principalmente, estar em constante evolução:

- Redução da escala a nível de bairro para trabalhar pontualmente com os corredores potenciais traçados;
- Aumentar a escala a nível regional, verificando a possibilidade de maiores conexões em áreas menos urbanizadas entre regiões diferentes;
- Intensificar a complexidade das variáveis, adotando padrões de importância para extratos diferentes de vegetações, ilhas de calor, podologia do solo, densidade urbana e setores censitários;
- Entrevista de gestores para a aplicabilidade e viabilidade desse sistema;
- Aplicação de diferentes análises multicritérios objetivando a verificação do resultado bem como sua rigidez metodológica e acurácia.

REFERÊNCIAS

- ABREU FILHO, S. B. **Duas exposições espanholas:** Sevilha e Barcelona, 1929. Arqtextos. Porto Alegre, n. 16, p.28-55, 2010. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/36230?locale-attribute=en>> Acesso em 12 jan. 2019.
- ADESM. AGÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DE SANTA MARIA. **Santa Maria em Dados.** 2010. Disponível em: <<https://santamariaemdados.com.br/sociedade/8-1-demografia/>> Acesso em: 03 abr. 2019.
- AGUILERA, F.; VALENZUELA, L. M.; BOTEQUILHA-LEITÃO, A. Landscape metrics in the analysis of urban land use patterns: A case study in a Spanish metropolitan area. **Landscape and Urban Planning**, v. 99, n. 3-4, p. 226-238, 2011. ISSN 01692046.
- AHERN, J. *From fail-safe to safe-to-fail: Sustainability and resilience in the new urban world.* **Landscape and Urban Planning**, 100 (4), 341–343. doi:10.1016/j.landurbplan.2011.02.021, 2011.
- AHERN, J. **Greenways as planning strategy:** Landscape and urban planning, v. 33, p. 131-155, 1995.
- AHERN, J. **Greenways as Strategic Landscape Planning:** Theory and Application. 2002. 156 f. Tese. (Ph.D. Environmental Sciences) - Department of Physical Planning and Rural Development, Wageningen University, Netherlands, 2002.
- AHERN, J. Greenways in USA: Theory, Trends and Prospects. In: Rob Jongman and, Gloria Pungetti. **Ecological Networks and Greenways:** Concept, Design, Implementation. Cambridge, Studies in Landscape Ecology, Cambridge University Press, New York, USA. 2004
- ANGEOLETTO F., et al The consequence of Brazil's lack of transport planning is written in the blood of sparrows. **Urban Geography**, 40(8), p. 1191-1197, 2019.
- ANGEOLETTO, F. et al. **PLANEJAMENTO PARA O INCREMENTO DA DIVERSIDADE VEGETAL DOS QUINTAIS DE SARANDI** - PR. 2011. Disponível em:https://www.researchgate.net/publication/277786154_PLANEJAMENTO_PARA_O_INCREMENTO_DA_DIVERSIDADE_VEGETAL_DOS_QUINTAIS_DE_SARANDI_-_PR. Acesso em 28 de out. de 2019.

ARCHER, R. S. **Measuring and Monitoring Long Term Disaster Recovery Using Remote Sensing: A Case Study of Post Katrina New Orleans**. 2013. 205 (Tese). Geography, University of California, Santa Barbara.

ARMENTERAS, D. & VARGAS, O. **PATRONES DEL PAISAJE Y ESCENARIOS DE RESTAURACIÓN EN COLOMBIA: ACERCANDO ESCALAS**. Acta Biológica Colombiana. 21. 229-239. 10.15446/abc.v21n1Supl.50848. 2016. Disponível em https://www.researchgate.net/publication/300081544_PATRONES_DEL_PAISAJE_Y_ESCENARIOS_DE_RESTAURACION_EN_COLOMBIA_ACERCANDO_ESCALAS acesso em 12 de março de 2020.

BEKALO, M. T. **Landuse Change Detection Using GIS, Remote Sensing and Spatial Metrics: Case of Addis Adaba, Ethiopia**. USA: Lap Lambert Academic Publishing, 2012. ISBN 978-3-8473-3663-1.

BELÉM, J. **História do Município de Santa Maria: 1797-1983**. 3 ed. Santa Maria: UFSM, 2000.

BENEDICT, Mark A.; McMAHON, Edward T. **Green infrastructure: Linking landscapes and communities**. Washington, DC.: Island Press, 2006.

BENNET, A. F. **Linkages in the landscape: the role of corridors and connectivity in wildlife conservation**. Cambridge: IUCN Publications Services Unit, 2003.

BENTRUP, G. **Conservation Buffers: design guidelines for buffers, corridors and greenways**. Asheville, NC: Department of Agriculture, Forest Service, Southern Research Station. 2008

BERTRAND, G. **Paisagem e Geografia Física Global**. Esboço metodológico. RA'É GA, Curitiba, n. 8, p. 141-152, 2004. Tradução de Olga Cruz. 2004

BESSE, Jean-Marc. **As 5 portas da paisagem**. O gosto do mundo: exercícios de paisagem. Rio de Janeiro: Eduerj, 2014.

BHATTA, B.; SARASWATI, S.; BANDYOPADHYAY, D. Quantifying the degree-of-freedom, degree-of-sprawl, and degree-of-goodness of urban growth from remote sensing data. **Applied Geography**, v. 30, n. 1, p. 96-111, 2010. ISSN 01436228.

BONZI, R. EMERALD NECKLACE – INFRAESTRUTURA URBANA PROJETADA COMO PAISAGEM. **Revista LABVERDE**, (9), 106-127. <https://doi.org/10.11606/issn.2179-2275.v0i9p106-127>, 2015

CANTWELL, M. D.; FORMAN, R. T.T. Landscape graphs: ecological modeling with graph theory to detect configurations common to diverse landscape. **Landscape Ecology**, v.8, n.4, p. 239-255, 1993

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: Edgard blücher, 1999, 236 p.

COELHO, V. H. R. et al. Dinâmica do uso e ocupação do solo em uma bacia hidrográfica do semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 1, p. 64-72, 2014. ISSN 1807-1929.

COUTO, P. Análise factorial aplicada a métricas da paisagem definidas em FRAGSTATS. **Investigação Operacional**, v. 24, p. 109-137, 2004.

DAL'ASTA, A. P.; RECKZIEGEL, B. W.; ROBAINA, L. E. de S. **Análise de áreas de risco geomorfológico em Santa Maria-RS: o caso do morro Cechela**. Anais do XI Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada – 05 a 09 de setembro de 2005 – USP, São Paulo, 2005.

DELGADO C. **Expansão Urbana e Fragmentação de Áreas com Forte Aptidão Agrícola o Caso de Estudo da “Bacia Leiteira Primária” de Entre-Douro-e-Minho**. 2010. 335 (Dissertação). Faculdade de Letras, Universidade do Porto, Porto.

DRAMSTAD, W.E.; OLSON, J. D.; FORMAN, R.T.T. **Landscape Ecology – Principles in Landscape Architecture and Land-Use Planning**. Harvard: Island Press/ASLA, 1996.

EASTMAN, J. R. **IDRISI Kilimanjaro: Guide to GIS and Image Processing**. Worcester, MA: Clark University, 2003.

ERICKSON, D. **MetroGreen: Connecting Open Space in North American Cities**. Island Press, Washington, DC, EUA. 2006.

FABOS, J. G. Greenway planning in the United States: its origins and recent case studies. **Landscape and urban planning**, v. 68, p. 321 – 342, 2004.

FALCÓN, A. **Espacios verdes para una ciudad sostenible**. Planificación, proyecto, mantenimiento y gestión. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, 2007.

FERREIRA, J. C.; MACHADO, J. Infra-estruturas verdes para um futuro urbano sustentável. O contributo da estrutura ecológica e dos corredores verdes. **Revista LABVERDE**, n. 1, p. 69-90, 11 set. 2010. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/revistalabverde/article/view/61279/64214> acesso em nov. de 2019.

FICHERA, C. R. Land Cover classification and change-detection analysis using multi-temporal remote sensed imagery and landscape metrics. **European Journal of Remote Sensing**, p. 1-18, 2012. ISSN 22797254.

FITZ, Paulo Roberto. **Geoprocessamento sem complicação**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

FLINK, C. A. 2020. ***The Greenway Imperative: Connecting communities and landscapes for a sustainable future***. Gainesville: University of Florida Press.

FLINK, C. A., SEARNS, R. M. **Greenways: A Guide to Planning, Design, and Development**. The Conservation Fund. Island Press Washington-Covelos-California, U.S.A, 337 pages. 1993

FLINK, C. A.; OLKA, K., AND SEARNS, R. M. **Trails for the Twenty-First Century**. Planning, Design, and Management Manual for Multi-Use Trails. Copyright by Rails-to-Trails Conservancy, 2nd ed., Island Press. 2001.

FLOURNOY, W. L. **A Report to The City Council on the Benefits, Potential and Methodology of Establishing a Greenway System in Raleigh**. Raleigh: North Carolina State University, 1969.

FOLLMAN, F. M., Áreas prioritárias à conservação ambiental em Santa Maria, RS: estratégias para gestão ambiental municipal. **Tese de Doutorado**. Universidade Federal de Santa Maria – RS. 2018

FORMAN, R. T. T. **Land mosaics: the ecology of landscapes and regions**. Cambridge: Cambridge University Press, 1995. ISBN 0521474620.

FORMAN, R. T. T., GODRON, M. **Landscape ecology**. New York, NY: John Wiley and Sons, 1986.

FORMAN, R.T.T.; COLLINGE, S. K. Nature conserved in changing landscapes with and without spatial planning. **Landscape and urban planning**, v. 37, p. 129 – 135, 1997.

FREITAS, J. M. DE S. **O pulsar das águas na paisagem urbana: a requalificação do Corumbé como construção de um novo paradigma**. Dissertação de Mestrado— São Paulo: FAU USP, 22 maio 2020.

FRÉMONT, A. **Região, espaço vivido**. Coimbra: Almedina, 1980.

GOBSTER, P. **Perception and Use of a Metropolitan Greenway System for Recreation**. In: Fabos, Julius & Ahern, Jack (Editors). *Greenways: The Beginning of an International Movement*. University of Massachusetts. Department of Landscape Architecture and Regional Planning. Amherst, MA. U.S.A. Elsevier. 1995.

GOMES, Luiz Flavio Autran Monteiro; GOMES, Carlos Francisco Simões. **Tomada de decisão gerencial: enfoque multicritério**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2014. 400 p.

HARPER, J. L.; HAWKSWORTH, D. L. in: HAWKSWORTH, D. L. (Ed) **Biodiversity: Measurement and estimation**. Chapman & Hall: London, UK, 1995.

HELLMUND, P. C.; SMITH, D. S. **Designing Greenways: Sustainable Landscape for Nature and People**. Washington: Island Press, 2006.

HEROLD, M.; COUCLELIS, H.; CLARKE, K. C. The role of spatial metrics in the analysis and modeling of urban land use change. **Computers, Environment and Urban Systems**, v. 29, n. 4, p. 369-399, 2005. ISSN 01989715.

HEROLD, M.; LIU, X.; CLARKE, K. C. Spatial Metrics and Image Texture for Mapping Urban Land Use. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 69, n. 9, p. 991-1001, 2003.

HEROLD, M.; SCEPAN, J.; CLARKE, K. C. The use of remote sensing and landscape metrics to describe structures and changes in urban land uses. **Environment and Planning A**, v. 34, n. 8, p. 1443-1458, 2002. ISSN 0308-518X, 1472-3409.

HILTY, J.A.; LIDICKER, W.Z.; MERENLENDER, A.M. **Corridor ecology: the science and practice of linking landscapes for biodiversity conservation**. Washington: Island Press, 2006.

HOWARD, E. **Cidades-jardins de amanhã**. São Paulo: HUCITEC, 1996.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Estatísticas de Gênero**. 2010. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/apps/snig/v1/?loc=0,0U&cat=-1,1,2,-2,-3,128&ind=4710>>. Acesso em: 18 mai. 2020.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **População estimada**. 2020. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/santa-maria/panorama>>. Acesso em: 18 mai. 2020.

INOSTROZA, L.; BAUR, R.; CSAPLOVICS, E. Urban sprawl and fragmentation in Latin America: a dynamic quantification and characterization of spatial patterns. **J Environ Manage**, v. 115, p. 87- 97, Jan 30 2013. ISSN 1095-8630 (Electronic)0301-4797 (Linking). Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23246769> >.

JELLICOE, Geoffrey; JELLICOE, Susan. **El Paisaje del Hombre**. Barcelona: Gustavo Gili, 1995.

JENERETTE, G. D.; POTERE, D. Global analysis and simulation of land-use change associated with urbanization. **Landscape Ecology**, v. 25, n. 5, p. 657-670, 2010. ISSN 0921-2973, 1572-9761.

JONGMAN, R. AND PUNGETTI, G. **Ecological Networks and Greenways: Concept, Design and Implementation**. Cambridge, Studies in Landscape Ecology, Cambridge University Press, New York, USA. 2004.

KREMEN, C. Managing ecosystem services: what do we need to know about their ecology? **Ecology Letters**, n. 8, p. 468–479, 2005.

LABLONOVSKI, G. **Infraestrutura Polivalente Para Porto Alegre**. ANAIS DO IV ENANPARQ, 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/315054428_Infraestrutura_Polivalente_para_Porto_Alegre acesso em abr. de 2020.

LANG, S.; BLASCHKE, T. **Análise da paisagem com SIG**. São Paulo: 2009.

LIANG, B. **Assessing urban environmental quality at multiple spatial and temporal scales using remote sensing, GIS, and geospatial algorithms**. 2008. 271 (Dissertação). Department of Geography, Indiana State University, Terre Haute.

LIMA, C. P. C. S. A natureza na cidade, a natureza da cidade. 1996. **Tese (Doutorado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo**, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996

LINEHAN, J.; GROSS, M.; FINN, J. Greenway planning: developing a landscape ecological network approach. **Landscape and urban planning**, v. 33, p. 179 – 193, 1995.

*LITTLE, C. E. **Greenways for America**. Baltimore: The Johns Hopkins University Press, 1990.*

LIU, X. et al. A new landscape index for quantifying urban expansion using multi-temporal remotely sensed data. **Landscape Ecology**, v. 25, n. 5, p. 671-682, 2010. ISSN 0921-2973, 1572-9761.

LOPES NETO, João Simões. **Contos Gauchescos**. Porto Alegre: Editora Pradense, 2011. 88 p.

LYLE, John. T. **Design for Human Ecosystems. Landscape, Land Use and Natural Resources**. New York. Van Nostrand Reinhold Co. 1985. Copyright, 1999.

MACEDO, S. S. **Quadro do Paisagismo no Brasil**. São Paulo: Coleção QUAPÁ, São Paulo, 1999.

MAGNOLI, M. M. Em Busca de “Outros” Espaços Livres de Edificação. In: **Revista Paisagem e Ambiente: Ensaios**. N. 21, FAUUSP São Paulo, pp. 141-74. 2006.

MCGARIGAL, K. **Fragstats help**. Amherst: *University of Massachusetts* 2014.

MCHARG, Ian L. ***Design with nature***. Garden City, USA: Natural History Press, 1969

MELL, I. C. *Green infrastructure: concepts, perceptions and its use in spatial planning*. Liverpool, 2010. **Unpublished PhD Thesis**, University of Newcastle.

METZGER, J.P. 2010. **O Código Florestal tem base científica?** Nat. & Conserv. 8:1-5.

MOORE, R. L. and Driver, B. L. ***Introduction to Outdoor Recreation: Providing and Managing Natural Resource Based Opportunities***. Venture Publishing, Inc. 2005.

NDUBISI, F. ***Landscape Ecological Planning: A historical and comparative synthesis***. Baltimore: The Johns Hopkins University Press, 2002.

OJIMA, R., MARANDOLA JR, E. Mobilidade populacional e um novo significado para as cidades: dispersão urbana e reflexiva na dinâmica regional não metropolitana. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, São Paulo, V. 14, N. 2, p. 103-116. 2012. Disponível em: <https://rbeur.anpur.org.br/rbeur/article/view/4104/4002> acesso em nov. de 2019.

OLIVEIRA, E. L. de A. Áreas de risco geomorfológico na bacia hidrográfica do Arroio Cadena, Santa Maria/RS: zoneamento e hierarquização. 2004, 145f. **Dissertação (Mestrado em Geografia- Geociências)** – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

PENTEADO, H. M., ALVAREZ, C. E. Corredores Verdes Urbanos: Estudo da Viabilidade de Conexão das Áreas Verdes de Vitória. **Revista Paisagem & Ambiente**, São Paulo, n.24, p. 57-68, 2007. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/paam/article/view/85688/88448> acesso em nov. de 2019.

PEREIRA, R. H. M. et al. **QUANTIFICANDO A CENTRALIDADE URBANA: UMA PROPOSTA DE ÍNDICE SIMPLES E COMPARAÇÃO INTERNACIONAL**. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2011. ISBN 1415-4765. Disponível em: < http://www.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/TDs/td_1675.pdf >.

PHAM, H. M.; YAMAGUCHI, Y.; BUI, T. Q. A case study on the relation between city planning and urban growth using remote sensing and spatial metrics. **Landscape and Urban Planning**, v. 100, n. 3, p. 223-230, 2011. ISSN 01692046.

PIPII, L. G. A. et al. Sistema de espaços livres contemporâneos na cidade de médio porte de Santa Maria - RS. **Revista Paisagem e Ambiente**, São Paulo, n. 26, 2009.

PIPII, L. G. A., Social Network Interaction and Behaviors on Recreational Greenways and Their Role in Enhancing Greenway Potential. **Tese de Doutorado**. Faculty Of North Carolina State. Raleigh, North Carolina, 2014.

RUMBLE, H. ANGEOLETTO, F. CONNOP, S. GODDARD, A. M. NASH, C. (2019). Understanding and applying ecological principles in cities. In DE OLIVEIRA, F. L., & MELL, I. (Eds.). (2019). **Planning Cities with Nature: Theories, Strategies and Methods**. Springer.

NUCCI, J. C. Origem e desenvolvimento da ecologia e da ecologia da Paisagem. **Geografar**, v. 2, n. 1, p.77-99, jan./jun. 2007.

SAATY, T. L.; VARGAS, Luis G. Estimating Technological Coefficients by the Analytic Hierarchy Process. **Socio-Economic Planning Sciences**, v. 13, n. 6, p. 333-336, 1979.

SAATY, Thomas Loire. The Analytic Hierarchy Process - What It Is and How It Is Used. **Mathematical Modelling**, v. 9, n. 3-5, p. 161-176, 1987.

SALGUEIRO, B. T. Lisboa, metrópole policêntrica e fragmentada. *Revista Finisterra*, Lisboa, v. 63, p. 179-190, 1997.

SANTA MARIA. Lei complementar municipal n. 034 de 29 de dezembro de 2005. Institui a Política de Desenvolvimento Urbano e sobre o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Ambiental do Município de Santa Maria. **Prefeitura Municipal de Santa Maria**, Santa Maria, RS, 29 dez. 2005.

SANTA MARIA. Lei complementar municipal n. 072 de 04 de novembro de 2009. Institui a Lei de Uso e Ocupação do Solo, Parcelamento, Perímetro Urbano e Sistema Viário do Município de Santa Maria. **Prefeitura Municipal de Santa Maria**, Santa Maria, RS, 04 nov. 2009.

SANTA MARIA. **Lei Complementar nº 033**, de 29 de dezembro de 2005. Institui a Lei de Uso e Ocupação do Solo, Parcelamento, Perímetro Urbano e Sistema Viário do Município de Santa Maria. Prefeitura Municipal de Santa Maria, Santa Maria, 29 dez. 2005. Disponível em: <<https://leismunicipais.com.br/a/rs/s/santa-maria/lei-complementar/2005/3/33/lei-complementar-n-33-2005-institui-a-lei-de-uso-e-ocupacao-do-solo-parcelamento-perimetro-urbano-e-sistema-viario-do-municipio-de-santa-maria>>. Acesso em: 21 jan. 2019.

SANTA MARIA. **Lei Complementar nº 117**, de 26 de julho de 2018. Institui a Lei de Uso e Ocupação do Solo, Parcelamento, Perímetro Urbano e Sistema Viário do Município de Santa Maria. Prefeitura Municipal de Santa Maria, Santa Maria, 26 jul. 2018. Disponível em: <<https://www.camara-sm.rs.gov.br/camara/proposicao/Lei-Complementar/2018/1/0/41992>>. Acesso em: 21 mai. 2019

SANTA MARIA. **Plano Diretor de Saneamento do Município de Santa Maria**. PMDI – Projeto Santa Maria 2020.

SANTOS, Alexandre Rosa dos; LOUZADA, Franciane Lousada Rubini de Oliveira; EUGÊNIO, Fernando Coelho. **ARCGIS 9.3 Total**: Aplicações para Dados Espaciais. 2. ed. Alegre, ES: CAUFES, 2010. 184 p. Disponível em: <http://mundogeomatica.com.br/Livros/Livro_ArcGIS%209.3_Aplicacoes_Para_Dados_Espaciais/Livro_ArcGIS93_Total.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2019.

SANTOS, M. A urbanização brasileira. São Paulo: Hucitec, 1993.

SCHENK, L. B. M. Arquitetura da paisagem entre o Pinturesco, Olmsted e o Moderno. 2008. **Tese (Doutorado em Teoria e História da Arquitetura e do Urbanismo)** - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

SCHENK, Luciana e LIMA, Maria Cecilia. **O Método Cartográfico no projeto da Arquitetura da Paisagem**. Risco Revista de Pesquisa em Arquitetura e Urbanismo (Online). 17 (2), p. 26-40.

SCHNEIDER, A. **Urban growth as a component of global change**. 2006. 317 (Tese). Philosophy, Boston University, Boston.

SETO, K. C.; FRAGKIAS, M. Quantifying Spatiotemporal Patterns of Urban Land-use Change in Four Cities of China with Time Series Landscape Metrics. **Landscape Ecology**, p. 871-888, 2005. ISSN 0921-2973.

SMITH, D. S; HELLMUND, P. C., (Ed). **Ecology of greenways: Design and function of linear conservation areas**. Minneapolis: University of Minnesota Press, 1993.

SOLON, J. Spatial context of urbanization: Landscape pattern and changes between 1950 and 1990 in the Warsaw metropolitan area, Poland. **Landscape and Urban Planning**, v. 93, n. 3-4, p. 250-261, 2009. ISSN 01692046.

SOUZA, D.T.P. Corredores Verdes: Uma Abordagem para o seu Planejamento em Municípios Brasileiros de Pequeno Porte. **Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)** – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 2012.

SPIRN, A. W. **O Jardim de Granito**: A Natureza no Desenho da Cidade. Tradução de Paulo Renato Mesquita Pellegrino. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1995.

SUN, W. **A gis-based integrated approach to explore land-use/cover change dynamics in South-Central Indiana**. 2006. 252 (Tese). Department of Geography, Indiana University, Indiana.

TARDIN, R. **Espaços Livres: Sistema e Projeto Territorial**. Rio de Janeiro. Editora 7Letras. 2008

THAPA, R. B.; MURAYAMA, Y. Examining Spatiotemporal Urbanization Patterns in Kathmandu Valley, Nepal: Remote Sensing and Spatial Metrics Approaches. **Remote Sensing**, v. 1, n. 3, p. 534- 556, 2009. ISSN 2072-4292.

TOMAZETTI, A. **Mudanças observadas na área urbana de Santa Maria - RS, sob influência do traçado das linhas férreas para Porto Alegre e Cruz Alta. Santa Maria.** Santa Maria: UFSM, 2000.

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

WEISS, R. A DINÂMICA URBANA: DA COMPREENSÃO À CONSTRUÇÃO DE UM MODELO DE IDENTIFICAÇÃO DOS PADRÕES DE CRESCIMENTO URBANO POR MEIO DAS MÉTRICAS ESPACIAIS DA PAISAGEM: O CASO DO DISTRITO DA LAGOA DA CONCEIÇÃO. 2016, 311f. **Tese de Doutorado (Doutorado em Arquitetura)** Programa de Pós Graduação em Arquitetura e Urbanismo (PÓS-ARQ) Universidade Federal de Santa Catarina UFSC.

WEISS, R. Identificação da Fragilidade ambiental Quanto a Enchentes e Desemoronamentos no Perímetro Urbano de Santa Maria – RS por geotecnologias. 2012. 119f. **Dissertação de Mestrado (Mestrado em Geomática)** Programa de Pós-Graduação em Geomática, Universidade Federal de Santa Maria. Wiley & Sons, Inc.

WEISS, Raquel; PIPPI, Luis Guilherme Aita. Análise multicritério na definição de vulnerabilidade ambiental. **Terr@ Plural**, v.13, n.3, p. 296-312, 2019. Disponível em: <<https://www.revistas2.uepg.br/index.php/tp/article/view/13438/209209212643>>. Acesso em: 10 jan. 2020.

YU, X. J.; NG, C. N. Spatial and temporal dynamics of urban sprawl along two urban–rural transects: A case study of Guangzhou, China. **Landscape and Urban Planning**, v. 79, n. 1, p. 96-109, 2007. ISSN 01692046.

ZHANG, Q. et al. Simulation and analysis of urban growth scenarios for the Greater Shanghai Area, China. **Computers, Environment and Urban Systems**, v. 35, n. 2, p. 126-139, 2011. ISSN 01989715.

ZHANG, S. **Land Use/ Land Cover Change in Orange County, North Carolina from 1955 to 2001.** 2010. 76 (Dissertação). Department of Geography, University of North Carolina, Chapel Hill.