

**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Proposta de corredores florestais com base na caracterização e
cálculo de métricas da paisagem do entorno de uma área em
processo de restauração**

Sidnei Enriqui da Silva

Trabalho de conclusão de curso apresentado
como parte dos requisitos para obtenção do título de
Engenheiro Florestal

**Piracicaba
2019**

Sidnei Enriqui da Silva

Proposta de corredores florestais com base na caracterização e cálculo de métricas da paisagem do entorno de uma área em processo de restauração

Orientador:
Prof. Dr. **EDSON JOSÉ VIDAL DA SILVA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado
como parte dos requisitos para obtenção do título de
Engenheiro Florestal

**Piracicaba
2019**

Dedico esse trabalho a minha mãe (Irene Enriqui da Silva), que foi e sempre será a minha base, meu exemplo de humanidade e a minha força. Me incentivando e me apoiando em todos os passos da minha jornada, mesmo quando não consegue entender os meus propósitos. É dela a garra por trás de todas as batalhas que travo rumo aos meus sonhos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família, minha mãe, Irene, por ter sido a minha base e meu conforto para realização dos meus sonhos. Ao meu pai, Cicero, por nunca ter deixado que nada atrapalhasse minha vida escolar, mesmo com tantos obstáculos. A minha irmã, Cilene, por ter sido meu primeiro exemplo de dedicação e propósito aos estudos. E ao meu sobrinho, Leonardo, que mesmo chegando a tão pouco tempo já se tornou uma motivação na minha vida.

Agradeço ao Rogério Oliveira, pela amizade, por ter sido tão companheiro e paciente na minha jornada acadêmica, participando ativamente da minha luta diária, me ajudando em trabalhos de campo e até mesmo cedendo seu computador para que eu passasse dias rodando as simulações desse trabalho.

À Tamara Nascimento, que me acompanha em décadas de amizade e foi de fundamental importância para a profissão que escolhi para chamar de minha.

À Camilla, Mayara e Tainá, pela amizade e por todos os momentos compartilhados ao longo da graduação, fazendo com que a rotina se tornasse menos cansativa e mais agradável.

À Giovana e Camilla, mais uma vez, por compartilharem um lar comigo, repleto de amizade e companheirismo durante a maior parte da graduação.

Ao Laboratório de Ecologia e Entomologia Florestal, por ter sido o *start* para o meu aprendizado em ecologia da paisagem, em especial ao Prof. Dr. Wesley Godoy.

Aos membros do GEPEM, grupo ao qual devo muito amor e muito aprendizado ao longo desses últimos anos.

À Marina Duarte, por ter me ajudado em diversos momentos com a indicação de artigos e me instigado através de discussões.

À Casa da Floresta Ambiental, pelo aprendizado ao longo dos últimos dois anos e pelo apoio para realização desse trabalho, em especial a equipe de avifauna e mastofauna. Ao Vagner por me ajudar, na revisão da redação do projeto inicial. Ao Rodrigo, por ter sido um excelente mentor, me auxiliando em atividades fundamentais desse trabalho e de outros desenvolvidos na empresa.

Ao Prof. Dr. Edson Vidal, pela orientação ao longo desses últimos anos, me auxiliando em questões fundamentais da vida acadêmica.

A todos que de alguma forma contribuíram para a minha jornada de conhecimento e amadurecimento profissional.

Por fim, agradeço a Deus e todos os meus guias espirituais por terem me auxiliado nas tomadas de decisões, certas ou erradas, que me proporcionaram a chegada até aqui.

“Deixe estar que o que for pra ser vigora”

Maria Gadú

SUMÁRIO

RESUMO.....	8
ABSTRACT	9
LISTA DE FIGURAS.....	10
LISTA DE TABELAS	12
1. INTRODUÇÃO	13
1.1 Contextualização	13
1.2 Objetivo.....	14
1.2.1 Objetivos específicos	14
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1 Restauração e reestruturação de paisagens florestais	15
2.2 Estudo da paisagem	16
2.3 Conceito de corredores de vegetação nativa.....	18
3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	20
3.1 Área de estudo.....	20
3.2 Aspectos físicos	21
3.2.1 Clima	21
3.2.2 Hidrografia.....	22
3.2.3 Classificação pedológica.....	23
3.2.4 Aspectos ambientais e de ocupação.....	25
4. METODOLOGIA.....	26
4.1 Caracterização do uso do solo	26
4.2 Avaliação da estrutura da paisagem.....	32
4.3 Proposta de corredores florestais	37
4.3.1 Pontos de conexão e mapas de resistência à paisagem	38
4.3.2 Parâmetros e métodos de entrada	39
4.3.3 Definição de espécies relevantes da fauna.....	41
4.4 Simulação de corredores florestais.....	45
4.5 Delineamento dos corredores florestais.....	47
5. RESULTADOS	47
5.1 Mapeamento do uso e ocupação do solo	47
5.2 Métricas da Paisagem	50
5.3 Simulação e proposta de corredores florestais	54
5.3.1 Simulações de rotas de menor custo	54
5.3.2 Proposta de corredores florestais	61
6. DISCUSSÃO	64
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	71

8. REFERÊNCIAS	72
APÊNDICE A	80
ANEXO A	83

RESUMO

Proposta de corredores florestais com base na caracterização e cálculo de métricas da paisagem do entorno de uma área em processo de restauração

A modificação dos espaços naturais tem acelerado em um curto espaço de tempo, transformando paisagens complexas em ambientes simples e fragmentados. O estudo dessas paisagens tem se mostrado de grande valia por avaliar a configuração existente e o impacto gerado para o habitat de organismos que dependem dessas áreas e até mesmo para a evolução humana. Esse tipo de análise corrobora ainda, com a compreensão da necessidade de restituir as paisagens fragmentadas, através de restauração ecológica e florestal, aliadas a criação de corredores que conectem as áreas remanescentes, permitindo uma maximização dos processos ecológicos. Neste sentido o presente trabalho teve a finalidade de realizar um estudo em ecologia da paisagem, utilizando métricas que respondem sobre a configuração e caracterização da vegetação para viabilizar a proposta de criação de corredores florestais entre uma área em processo de restauração e fragmentos relevantes na região de Piracicaba - SP. Para tanto, utilizou-se de geotecnologias para a realização de mapeamento de uso e ocupação do solo, através de técnicas de fotointerpretação, e uma caracterização ecológica utilizando métricas da paisagem que deram subsídios para simulação de corredores florestais utilizando como base a resistência de grupos de aves e mamíferos perante a paisagem. Os resultados apontam uma paisagem formada por uma matriz de uso agropecuário, com dominância de cultivo de cana-de-açúcar, que apresenta 14% de cobertura de vegetação arbórea, composta majoritariamente por fragmentos menores que 10 hectares. Em decorrência da alta fragmentação a vegetação apresenta, empiricamente, elevados efeitos nas áreas de contato entre a matriz e a borda da vegetação, resultando em núcleos reduzidos de vegetação, a depender da exigência dos organismos. A distância entre as manchas é em média de 56 metros, podendo se distanciar em até 715 metros, o que em consequência gerou uma paisagem com baixa conectividade estrutural, podendo ser compensada pela capacidade funcional dos organismos em se movimentar na paisagem, sendo ideal para espécies com capacidade de deslocamento acima de 500 metros. A simulação de rotas de ligação entre a área em processo de restauração e 11 fragmentos relevantes da paisagem resultaram em 16 corredores florestais que geraram um panorama de ampliação da conectividade estrutural e funcional da paisagem, sendo de grande valia para maximizar o deslocamento e permanência de espécies da fauna nos fragmentos da região. As análises apresentadas nesse projeto abarcam a necessidade de potencializar a conexão entre os fragmentos de paisagens de matriz agrícola. Trazendo um precedente acerca da implantação de corredores florestais que podem auxiliar na taxa de recolonização de organismos de ambientes degradados e de baixa diversidade.

Palavras-chave: Caracterização ecológica, Geotecnologias, Fragmentos florestais

ABSTRACT

Proposal of forest corridors based on the characterization and calculation of landscape metrics around a restoration area

The modification of natural spaces has been accelerating in a short time, transforming complex landscapes into simple and fragmented environments. The study of these landscapes has been very useful in assessing the existing configuration and the impact on the habitat of organisms that depend on these areas and the impact on human evolution. This type of analysis also corroborates with the understanding of the need to restore fragmented landscapes through ecological and forest restoration along the creation of corridors which connect the remaining areas in order to allow the maximization of ecological processes. In this sense, the present work aimed to lead and study a study in landscape ecology, using metrics associated to the configuration and characterization of the vegetation t in order to enable the proposal of the creation of forest corridors between an area in restoration process and some relevant fragments in the region of Piracicaba - SP. To achieve this, geotechnologies have been used to perform a characterization of land use and occupation, through photointerpretation techniques, and an ecological description, using landscape metrics which provided subsidies for simulation of forest corridors based on group resistance of birds and mammals before the landscape. The results show a landscape formed by a matrix of agricultural use, with dominance of sugarcane crops, and presents 14% of tree vegetation cover, composed mostly by fragments smaller than 10 hectares. Due to the high fragmentation, the vegetation empirically has high effects on the contact areas between the matrix and the vegetation edge, resulting in reduced vegetation cores, depending on the organisms' needs. The distance between the spots is an average of 56 meters, and can be up to 715 meters, which consequently generated a landscape with low structural connectivity. This distance can be offset by the functional capacity of organisms to move in the landscape, being ideal for species with displacement capacity over 500 meters. The simulation of connecting routes between the area under restoration and 11 relevant landscape fragments, resulted in 16 forest corridors that provided a panorama of increasing the structural and functional connectivity of the landscape. It has been important for maximizing species displacement and stabilization of fauna in the region's fragments. The presented analyzes in this project include the need to enhance the connection between fragments situated in landscapes of agricultural matrix, bringing a precedent about the implementation of forest corridors that can assist in the rate of recolonization of organisms from degraded and low diversity environments.

Keywords: Ecological characterization, Geotechnologies, Forest fragments

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Área de estudo (<i>buffer</i> 10 km – limite em preto) no entorno do fragmento em processo de restauração (limite em amarelo) situado no IPEF, Piracicaba, SP .	20
Figura 2 - Visão panorâmica atual da floresta em processo de restauração (Fonte: Casa da Floresta, 2019)	21
Figura 3 - Classificação climática de Koppen (base de dados Alvares et al., 2013) .	22
Figura 4 - Mapa de bacias e redes hidrográficas (base de dados ANA, 2003)	23
Figura 5 - Mapa pedológico (base de dados ROSSI, 2017)	23
Figura 6 - Área protegidas de Piracicaba – SP (base de dados SEDEMA, 2018)	25
Figura 7 – Faixas de distância da área em processo de restauração definidas empiricamente para o cálculo de proporção de vegetação nativa	33
Figura 8 – Fragmentos com diferentes efeitos de borda. Em verde os fragmentos e em vermelho a área de borda. Conforme o efeito de borda aumenta alguns fragmentos deixam de possuir área nuclear. Este exemplo refere-se a um fragmento encontrado na área de estudo (<i>buffer</i> de 10 km).....	34
Figura 9 – Cálculo do índice de conectividade. Em roxo o fragmento foco e em verde os fragmentos do entorno, o círculo vermelho representa a área de busca a partir de um raio pré-definido	35
Figura 10 – Cálculo do índice de proximidade. Em roxo o fragmento foco e em verde os fragmentos do entorno, o círculo vermelho representa a área de busca a partir de um raio pré-definido	36
Figura 11 – Cálculo de distância média entre os vizinhos mais próximos, cujo resultado foi de 37,5 m	36
Figura 12 – Exemplo de como a conectividade funcional é medida em diferentes escalas. Em verde os fragmentos florestais e em laranja a escala de análise	37
Figura 13 – Exemplo de três simulações de corredores em uma superfície de resistência hipotética com diferentes custos de permeabilidade no <i>LSCorridors</i> . As linhas roxas nas simulações indicam os conjuntos de linhas de resultado, indicando o conjunto de caminhos mais eficientes para as ligações (RIBEIRO et al. 2017b).....	38
Figura 14 – Interface gráfica do <i>LSCorridors</i> com destaque para os principais parâmetros biológicos simulados.....	40
Figura 15 - Mapa de uso e cobertura do solo	48
Figura 16 - Percentual do uso e cobertura do solo em nível de classe de mapeamento	49
Figura 17 - Fragmentos de vegetação arbórea.....	50

Figura 18 – Densidade de área central e índice de fragmentação para a subclasse de vegetação arbórea por classe de tamanho	51
Figura 19 - Histograma de distância da métrica vizinho mais próximo.....	53
Figura 20 - Índice de conectividade da paisagem considerando diferentes raios de busca.....	53
Figura 21 – Conectividade funcional da paisagem para escalas hipotéticas de deslocamento.....	54
Figura 22 - Rotas resultantes da simulação de corredores para espécies do grupo de aves, comparando os métodos de entrada com as escalas de deslocamento	55
Figura 23 - Rotas resultantes da simulação de corredores para espécies do grupo de mamíferos, comparando os métodos de entrada com as escalas de deslocamento	55
Figura 24 – Custo médio das rotas para os métodos simulados considerando a variação da escala	56
Figura 25 – Resultado das simulações de rotas para o método <i>MLavg</i> na escala de 50 m para espécies do grupo de aves	57
Figura 26 – Resultado das simulações de rotas para o método <i>MLavg</i> na escala de 50 m para espécies do grupo de mamíferos	57
Figura 27 – Principais opções de trajetos com corredores de 100 metros de largura entre os fragmentos selecionados como relevante na paisagem.....	59
Figura 28 - Rotas de corredores florestais, em verde os corredores que apresentaram maior viabilidade e em vermelho os que foram considerados inviáveis	61
Figura 29 – Percentual e áreas de uso e cobertura do solo dentro de cada trajeto de corredor selecionado.....	62
Figura 30 - Projeção da paisagem com a implantação dos corredores florestais	63
Figura 31 – a. Situação da área em julho de 2004, tomada por gramíneas. b. Região tomada por <i>Tecoma stans</i> (ipê-de-jardim) (Fonte: Casa da Floresta, 2014).....	80
Figura 32 – a. Área logo após o plantio das mudas em junho de 2006. b. Manutenção das mudas plantadas (Fonte: Casa da Floresta, 2014).....	81
Figura 33 – a. Limite com a propriedade vizinha dominada por <i>Tecoma stans</i> (ipê-de-jardim), fonte de propágulos para o fragmento. b. Capivaras residentes do local (Fonte: Casa da Floresta, 2014).....	82

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classe e subclasse de uso do solo.....	27
Tabela 2 - Classes de uso do solo, seus pesos quanto ao impedimento de passagem de corredores e justificativas para a geração matricial da resistência da paisagem.	44
Tabela 3 – Subclasses de uso do solo e seus valores de resistência utilizados para a geração matricial de custo por espécie.....	45
Tabela 4 - Valores atribuídos para os parâmetros e métodos para a simulação inicial, seguidos das justificativas de escolha	46
Tabela 5 – Área e percentual a nível de classe e subclasse do uso e cobertura do solo	49
Tabela 6 - Percentual de vegetação arbórea, quantidade de fragmentos e tamanho médio das manchas ao longo das faixas de distância do fragmento foco	51
Tabela 7 - Resultados de comprimento das rotas resultantes da simulação e área da faixa de corredores florestais.....	58
Tabela 8 - Área e percentual de uso e cobertura do solo presente nos corredores selecionados.....	63

1. INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

A fragmentação de um hábitat compreende o processo de redução e isolamento de ambientes naturais, podendo ocorrer naturalmente, como o caso das savanas amazônicas que se apresentam na forma de manchas de vegetação aberta, com a presença massiva de árvores baixas e espaçadas, envoltas por uma matriz de floresta densa, ou mais comumente, ocorrer de forma antrópica para suprimir a necessidade humana de áreas urbanas, industriais e para produção de alimentos (ASSIS et al., 2019).

A modificação da paisagem, advinda do desmatamento, transforma ambientes extensos e complexos em habitats fragmentados e simplificados (FAHRIG, 2003). Ainda assim, esses remanescentes desempenham grande importância por abrigarem espécies raras e gerar inúmeros serviços ambientais à sociedade, por exemplo, conservação do solo, estocagem de carbono e regulação de cursos hídricos, entre outros (ENGEL e PARROTA, 2003; TAMBOSI et al., 2015). Também, aumentam a conectividade entre as manchas de hábitat e facilitam a movimentação das espécies da fauna (UMETSU, 2005).

Segundo Galindo-Leal e Câmara (2005) neste sentido surge a necessidade de criar paisagens em que haja maior conexão entre os fragmentos formados, seja por meio da criação de áreas protegidas, como através da recuperação ativa de áreas que foram alteradas e altamente degradadas. Nesse contexto, áreas de restauração podem dar início a processos ecológicos e interligar áreas de fragmentos já estabelecidos. O sucesso do processo de restauração, pode depender de uma visão mais ampla da paisagem, verificando a existência de fragmentos florestais que possibilite o fornecimento de propágulos e mecanismos para a sua conectividade (TABARELLI et al., 2005).

A criação de novas áreas de conexão, tem sido um dos principais benefícios ligados a restauração florestal e ecológica, se tornando ainda maior em paisagens altamente antropizadas, onde são encontrados poucos remanescentes de floresta natural, em sua maioria pequenos e muito degradados separados por grandes distâncias (METZGER, 2003a; METZGER, 2009; BRANCALION et al., 2010). O aumento da conectividade ocasionado pelas práticas de restauração da paisagem se dão pela junção de remanescentes formando corredores, ou por reduzir a distância

entre eles, possibilitando ainda, o aumento da circulação de animais polinizadores e dispersores de sementes, viabilizando a sustentabilidade dos ambientes em processo de restauração e aumentando a taxa de recolonização de áreas degradadas (ASSIS et al., 2019; PRIMACK e RODRIGUES, 2001).

Sendo assim, a criação de corredores ecológicos, são essenciais por manter a conectividade de paisagens florestais, o fluxo entre a fauna e a flora e garantir áreas com capacidade de abrigar espécies mais exigentes. Segundo Metzger (2012), essas estruturas podem ser definidas como manchas de vegetação em formato linear que permitem a ligação entre fragmentos que já estiveram conectados um dia. Assim como os corredores, Assis et al. (2019) sugerem que *stepping stones*, ou trampolins ecológicos, que são caracterizados como manchas pequenas de habitat, também podem contribuir significativamente para o aumento da conectividade da paisagem. Os trampolins ecológicos funcionam como pequenas ilhas que abrigam temporariamente uma diversidade de organismos que podem ter sua movimentação facilitada na paisagem.

Em Piracicaba, região centro-oeste de São Paulo, a realidade das paisagens extremamente fragmentadas, com áreas em diversos estados de regeneração não é muito diferente na matriz de uso do solo. Ao realizar o processo de restauração dessas áreas, é importante a realização de estudos que visem encontrar forma de conectá-las a fragmentos bem estruturados em seu entorno. Sendo de fundamental importância estudos que priorizam o acompanhamento e análise de ecologia da paisagem com a finalidade de propor ações para aumentar a conectividade entre os fragmentos.

1.2 Objetivo

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a configuração da paisagem no entorno de uma área em processo de restauração e assim propor corredores florestais para interligá-la a remanescentes ecologicamente significativos na paisagem, propiciando o aumento da conectividade e, possivelmente, a aceleração no processo de restauração florestal.

1.2.1 Objetivos específicos

- Mapear o uso do solo presente no entorno da área restaurada;

- Avaliar a configuração da paisagem através de métricas de Ecologia de Paisagem;
- Identificar os fragmentos de vegetação no entorno da área restaurada mais relevantes do ponto de vista da estrutura da paisagem;
- Propor a criação de corredores florestais que interliguem a área restaurada com os maiores fragmentos do entorno;

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Restauração e reestruturação de paisagens florestais

A recuperação de áreas florestais tem como fundamento a restituição do ambiente original, de forma que ele possa se autoperpetuar sem que dependa de constantes intervenções humanas (BRANCALION et al., 2010). Tal prática que leva ao restabelecimento e potencialização de serviços ecossistêmicos e da biodiversidade, são fundamentais não só em nível local, como também para otimizar a conservação em paisagens fragmentadas pela antropização (TABARELLI et. al., 2010).

A fragmentação causada pelo homem é um fenômeno observado na quase totalidade dos ambientes naturais do planeta, sendo as florestas tropicais os ambientes que mais sofreram seus efeitos em um passado recente (ASSIS et al., 2019). A Mata Atlântica, considerada um dos domínios mais biodiversos e ameaçados do mundo, é a porção da floresta tropical brasileira que mais sofreu alteração em sua paisagem no último século (MYERS, 2000; NEWBOLD et al., 2015).

Segundo Ribeiro (2009), do que resta da vegetação original da Mata Atlântica, grande parte é constituído por pequenos remanescentes florestais fragmentados e isolados, com certo grau de degradação e circundados por matrizes agrícolas. Tais fragmentos estão distribuídos em uma faixa do território brasileiro que abriga 72% da população (SOS MATA ATLÂNTICA e INPE, 2018).

A redução de áreas extensas de floresta é uma realidade que abrange quase todo o território brasileiro. Assis et al. (2019) evidencia que no estado de São Paulo o cenário compreende, em sua maioria, fragmentos florestais pequenos e isolados, localizados em propriedades agrícolas com matriz de cana-de-açúcar, que se apresentam em diferentes estados de conservação, muitos deles em estado de regeneração, seja através de método passivo ou ativo.

O cenário implica que a realidade por traz das estratégias de restauração e seus resultados são provenientes da necessidade do efetivo cumprimento da Lei de Proteção à Vegetação Nativa (GARCIA et al., 2013). Sendo assim, o cumprimento da lei se torna essencial para manter e aumentar a porção de florestas, pois 90% dos remanescentes do domínio Mata Atlântica, estão localizados em propriedades rurais privadas, e um percentual muito pequeno em áreas protegidas (SOARES-FILHO et al., 2014; BRANCALION et al., 2016).

Viani et al. (2015) ressaltam a importância por traz da restauração de fragmentos degradados, como sendo uma estratégia relevante não só para alavancar a conservação das manchas de vegetação existentes como também uma forma de tornar palpável as metas de restauração de áreas degradadas estabelecidas mundialmente. No Brasil, metas audaciosas foram definidas pelo governo em 2015, com o compromisso de restaurar 12 milhões de hectares de florestas até 2020 e o Pacto pela Restauração da Mata Atlântica estabeleceu meta de restauração de 15 milhões de hectares até 2050 (CALMON et al., 2011).

Apesar de ambiciosos, os planos de restauração florestal são mecanismos importantes para conservação da biodiversidade e melhoria de serviços ambientais (BENAYAS et al., 2009). As florestas restauradas são capazes de desempenhar função essencial na conservação em escala de paisagem, fornecendo cobertura adicional para espécies ameaçadas da fauna e da flora, permitindo que populações biológicas previamente isoladas se reconectem (BRANCALION et al., 2013; ROTHER et al., 2018).

2.2 Estudo da paisagem

A paisagem pode ser compreendida como uma estrutura associada a um referencial no espaço. Metzger (2001) define paisagem como “um mosaico heterogêneo formado por unidades interativas, sendo esta heterogeneidade existente para pelo menos um fator, segundo um observador e numa determinada escala de observação”. Já o conceito de ecologia de paisagens de Metzger (2001) define que é uma ciência “variável em função da abordagem (‘geográfica’ ou ‘ecológica’) e dos autores”.

A ecologia de paisagens pode ser compreendida como um estudo da estrutura, função e da dinâmica de ecossistemas que se integram em áreas heterogêneas na escala da paisagem (FORMAN e GODRON 1986; POJAR et al. 1994). E ainda,

segundo Naveh e Lieberman (1994) como “uma ciência interdisciplinar que lida com as interações entre a sociedade humana e seu espaço de vida, natural e construído”.

Sendo assim a ecologia de paisagens analisa o espaço em múltiplas escalas utilizando como parâmetro índices conhecidos como métricas de paisagem, que respondem sobre a configuração da paisagem, evidenciando as relações entre a forma e a fragmentação de ambientes antrópicos, bem como os fenômenos socioambientais que os envolvem (DIBARI, 2007; LI et al., 2009).

Segundo McGarigal e Marks (1995) a configuração de uma paisagem se relaciona com a distribuição física dos elementos que a compõem e as métricas relacionados dão subsídio para o entendimento da espacialização dos fragmentos e seus graus de conectividade. Sendo a conectividade compreendida como a capacidade da paisagem de facilitar a movimentação dos organismos (METZGER, 2003b).

A conexão de paisagens apresenta como consequência um intensificado processo de recolonização após a ocorrência de um evento drástico na população da fauna e da flora de um fragmento (ASSIS et al., 2019). Essas paisagens, podem ainda, formar grandes mosaicos capazes de sustentar ciclos de vida completos, sendo abrigo de espécies que requerem uma área muito extensa para garantir sua sobrevivência (NOSS et al. 1997). Essas espécies podem ser usadas como indicadoras no planejamento e monitoramento da conservação da paisagem, partindo da premissa de que, se os componentes da paisagem têm capacidade de preservar populações viáveis destas espécies, concomitantemente há habitat suficiente para uma gama de outras espécies com necessidades menor de recursos (NOSS et al. 1997).

A avaliação dos aspectos da paisagem é primordial para tomada de decisão acerca da melhor estratégia para conservação e conexão de fragmentos. É necessária a análise de métricas utilizadas para obtenção de panoramas que permitem a interpretação das relações entre os processos funcionais que a paisagem promove aos organismos vivos e seus padrões (LANG e BLASCHKE, 2009). Para a construção dessas métricas, o uso de geotecnologias (Sistemas de Informação Geográfica – SIG, Sensoriamento Remoto – SR, Sistema de Posicionamento Global – GPS, etc.) e da computação é fundamental, uma vez que possibilitam a aquisição dos dados espaciais que serão utilizados para quantificar a estrutura da paisagem (LANG e BLASCHKE, 2009).

2.3 Conceito de corredores de vegetação nativa

A primeira menção a corredores na legislação brasileira foi através do Decreto nº 750/93, referente à proteção da Mata Atlântica, referindo-se a corredores formados pelas áreas de proteção amparadas pelo Código Florestal de 1965:

“Art. 7º Fica proibida a exploração de vegetação que tenha a função de proteger espécies da flora e fauna silvestres ameaçadas de extinção, formar corredores entre remanescentes de vegetação primária ou em estágio avançado e médio de regeneração [...]”

Em 1996 a RESOLUÇÃO CONAMA nº 9 define os corredores remanescentes como sendo:

“Art. 1o [...] faixa de cobertura vegetal existente entre remanescentes de vegetação primária em estágio médio e avançado de regeneração, capaz de propiciar habitat ou servir de área de trânsito para a fauna residente nos remanescentes.”

Amparados pelo Ministério do Meio Ambiente através da Lei 9985/2000 que institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC) e seu Decreto 4340/2002, surge na legislação os corredores ecológicos, sendo definidos como:

(CAP. I - Art 2º inciso XIX) “[...] porções de ecossistemas naturais ou seminaturais, ligando unidades de conservação, que possibilitam entre elas o fluxo de genes e o movimento da biota, facilitando a dispersão de espécies e a recolonização de áreas degradadas, bem como a manutenção de populações que demandam para sua sobrevivência áreas com extensão maior do que aquela das unidades individuais.”

No Brasil são reconhecidos apenas seis corredores ecológicos, sendo três deles via Ministério do Meio Ambiente – Corredor Capivara-Confusões (Portaria nº 76 de 11 de março de 2005); Corredor Ecológico da Caatinga (Portaria nº131 de 04 de maio de 2006); Corredor Ecológico Santa Maria (Portaria 137 de 9 de outubro de 2001(IBAMA)); – e três via Secretarias Estaduais de Meio Ambiente – Corredor Ecológico Chapecó (Decreto Estadual (SC) nº 2.957/2010); Corredor Ecológico Timbó

(Decreto Estadual (SC) nº 2.956/2010); Corredor Ecológico da Quarta Colônia (Portaria nº 143/2014 (RS)).

Embasados na lei e na literatura, corredores ecológicos são extensões contínuas de vegetação que visam permitir o fluxo gênico e a dinâmica populacional de espécies da fauna e da flora, levando em consideração a funcionalidade da paisagem e as relações que abrangem as áreas a serem conectadas (AYRES et al., 2005). Os corredores ecológicos são estratégias para a ligação de ecossistemas fragmentados adjunto da manutenção da biodiversidade local (PEREIRA et al., 2007; SEOANE et al., 2010).

Apesar dos poucos corredores existentes no Brasil, as faixas de vegetação visando a eficiência ecológica e funcional têm ganhado grande notoriedade na literatura (ORROCK e DANIELSON, 2005; DAMSCHEN et al., 2006). São diversos os estudos que desenvolvem modelos e propõe a criação de áreas inferindo sobre os ganhos de implementação, destacando suas principais funções como a redução ou mitigação da fragmentação das florestas existentes, a sustentação ou restabelecimento da conectividade da paisagem, a manutenção hidrológica e o aumento do fluxo gênico entre populações, alavancando, assim, as chances de que as comunidades se perpetuem (DAMSCHEN et al., 2006; MUCHAILH et al., 2010).

O estudo de corredores pode ainda, trazer reflexões complexas acerca da sua funcionalidade. Em determinadas paisagens um corredor pode não exercer uma função ecológica em detrimento do tipo de vegetação que o compõe. Espécies exóticas presentes em fragmentos degradados pela matriz e que serão conectados pelos corredores podem se permeabilizar entre fragmentos e comprometer a dinâmica de uma metapopulação (SIMBERLOFF, 1984). Os corredores de vegetação natural, podem nestes casos, ser apenas habitats temporários que permitem a passagem dos organismos entre fragmentos isolados, de grande utilidade, principalmente para espécies vulneráveis à extinção e que são pouco permeáveis a paisagens fragmentadas (DÁRIO, 1999).

3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1 Área de estudo

A área de estudo trata-se de um raio de 10 km (*buffer* de 10 km), que corresponde a uma área de 32.861,87 ha e abrange as cidades de Piracicaba (94%), Iracemápolis (3%), Rio das Pedras (2,8%) e uma pequena área de Limeira (0,2%) (Figura 1). Sua delimitação foi feita a partir do entorno de uma área em processo de restauração (fragmento foco), com 6,18 ha, caracterizada como Área de Preservação Permanente (APP) de uma lagoa artificial de propriedade do Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (IPEF) (Figura 1), na qual houve a implantação de um projeto de restauração florestal no ano de 2006 (CASA DA FLORESTA, 2014).

Atualmente, com treze anos (Figura 2), o plantio apresenta características que, de acordo com a Resolução SMA N° 32/2014 pode-se considerar uma área em estágio inicial de regeneração com percentual de cobertura do solo por vegetação nativa adequado para a idade de plantio em áreas de Floresta Estacional Semidecidual. O fragmento está localizado no bairro Monte Alegre, município de Piracicaba, oeste do estado de São Paulo, nas coordenadas geográficas 22°42'28"S e 47°36'22"O, com altitude média aproximada de 554 metros.

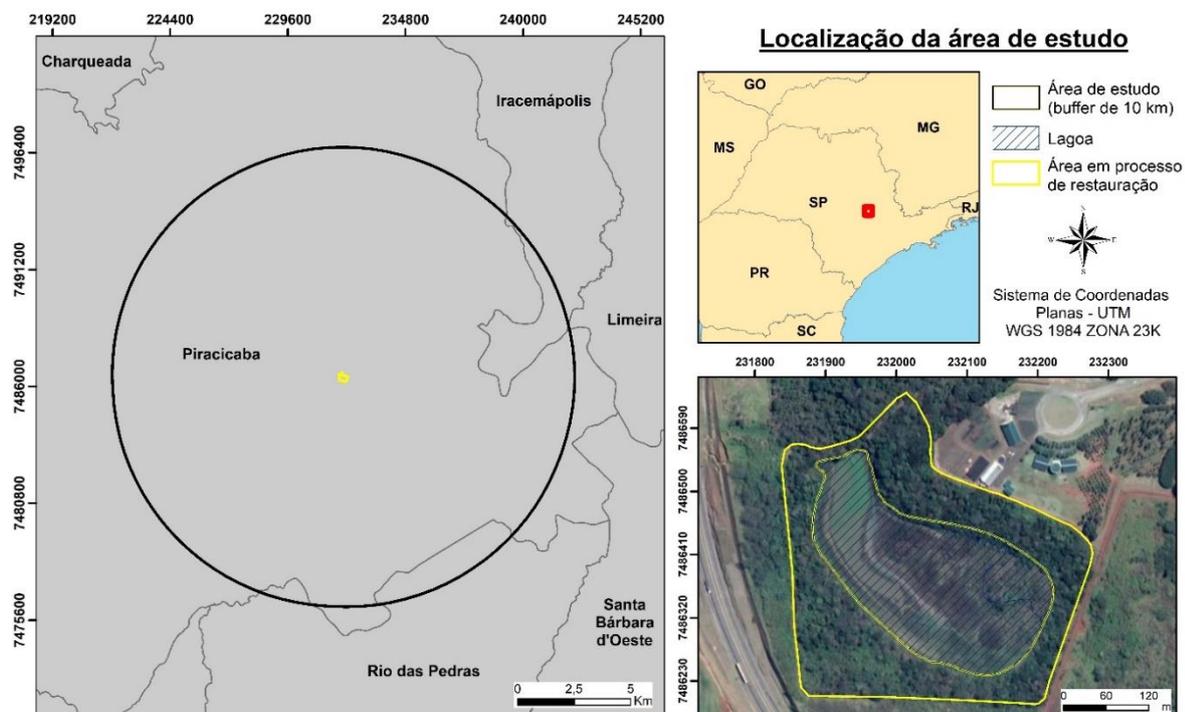


Figura 1 - Área de estudo (*buffer* 10 km – limite em preto) no entorno do fragmento em processo de restauração (limite em amarelo) situado no IPEF, Piracicaba, SP



Figura 2 - Visão panorâmica atual da floresta em processo de restauração (Fonte: Casa da Floresta, 2019)

3.2 Aspectos físicos

3.2.1 Clima

Segundo Alvares et al. (2013), a Classificação Climática de Köppen para a Região de Piracicaba é do tipo Cfa e Cwa (Figura 3), sendo que a maior parte da área de estudo encontra-se inserida na classificação Cfa e uma pequena parte ao norte na classificação Cwa.

O clima Cfa é caracterizado por apresentar verão quente e precipitação com mais de 30 mm no mês mais seco (as temperaturas são superiores a 22°C nos meses mais quentes e inferiores a 17°C nos meses mais frios), a pluviosidade média anual é está entre 1.300 e 1.600 mm (ALVARES et al., 2013).

O Clima Cwa é caracterizado por apresentar verão quente e estiagem no inverno (registrando temperaturas superiores a 25°C nos meses mais quentes e inferiores a 18°C nos meses mais frios), a pluviosidade média anual está entre 1.300 e 1.600 mm (ALVARES et al., 2013).

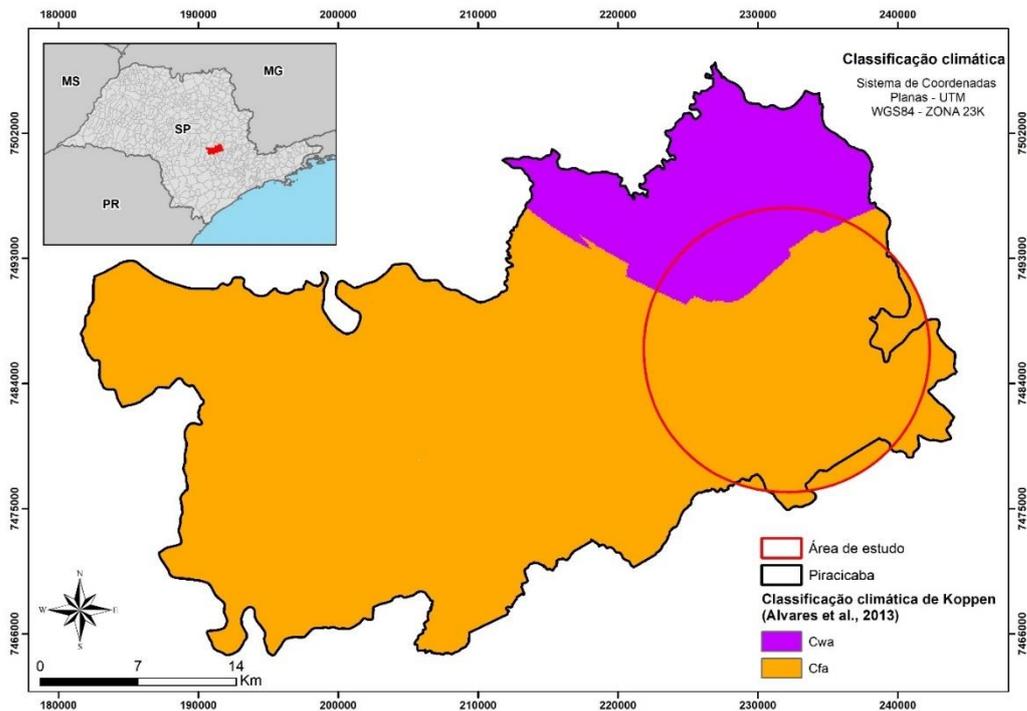


Figura 3 - Classificação climática de Koppen (base de dados Alvares et al., 2013)

3.2.2 Hidrografia

As principais bacias hidrográficas da região de Piracicaba são a bacia do Rio Piracicaba que abrange a maior parte do município e a bacia do Alto Tietê. A área de estudo está completamente inserida na bacia do Piracicaba, sendo que os corpos d'água mais relevantes para a área são o próprio Rio Piracicaba que divide a área de estudo ao meio e o Rio Corumbataí, localizado a leste. Outros corpos d'água de menor porte que apresentam relevância para a área são: Ribeirão Piracicamirim, Ribeirão dos Marins, Ribeirão da Cachoeira, Ribeirão Guamium, Ribeirão Tijuco Preto e Córrego Água Suja. Esses corpos d'água formam as principais sub bacias presentes na área de estudo (Figura 4).

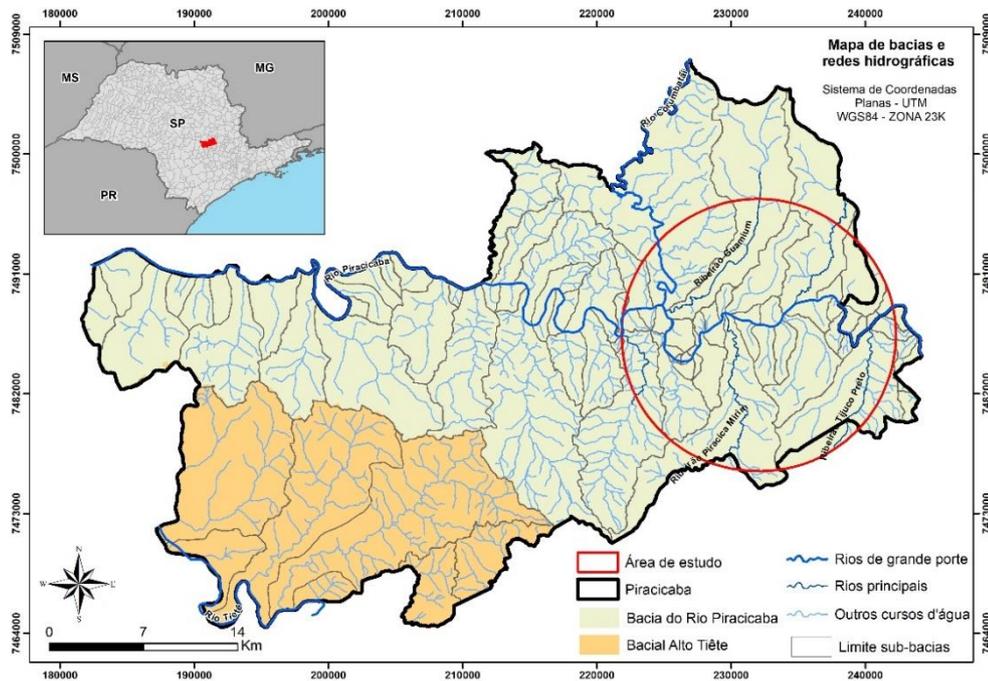


Figura 4 - Mapa de bacias e redes hidrográficas (base de dados ANA, 2003)

3.2.3 Classificação pedológica

A região de Piracicaba apresenta diversas classes de solo, sendo os Argissolos Vermelho-amarelos predominantes. Na área de estudo são encontradas 8 ordens de solo divididos em 10 subordens (Quadro 1), sendo os Latossolos Vermelhos predominante na área (Figura 5).

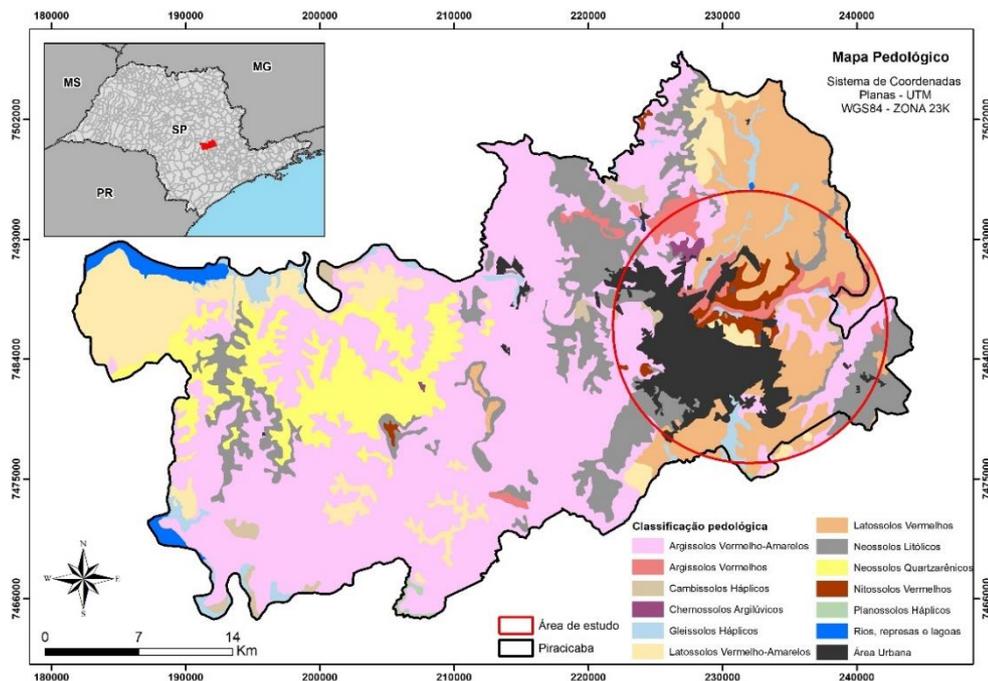


Figura 5 - Mapa pedológico (base de dados ROSSI, 2017)

Quadro 1 – Descrição pedológica da área de estudo

Ordem	Descrição
Argissolos Área na paisagem: 7.998,59 ha Percentual: 24,34%	São solos minerais com altos teores de argila em profundidade. Podem ser arenosos, de textura média ou argilosos no horizonte mais superficial. E apresentam cores fortes. Apresenta fertilidade variável, e boa retenção de água em profundidade (OLIVEIRA et al.,1999). Na paisagem está localizado próximo as margens do Rio Piracicaba, sendo encontradas as subordens: Argissolos Vermelho-Amarelo (18,27%) e Argissolos Vermelhos (6,07%).
Cambissolos Área na paisagem: 250,5 há Percentual: 0,71%	Solos minerais com textura média ou mais fina e ausência de grande desenvolvimento pedogenético. São solos com pequena profundidade e presença de fragmentos de rocha (OLIVEIRA et al.,1999). Apresenta apenas uma mancha na paisagem, próxima a área urbana ao leste, sendo encontrada a subordem Cambissolos háplicos.
Chernossolos Área na paisagem: 256,67 há Percentual: 0,78%	Solos de desenvolvimento pouco avançado, apresentam alta atividade da argila e podem apresentar acúmulo de carbonato de cálcio (ZARONI e SANTOS,2017). Na paisagem é encontrada apenas uma pequena mancha ao norte, sendo encontrada a subordem dos Chernossolos Argilúvicos.
Gleissolos Área na paisagem: 950,08 há Percentual: 2,89%	Solos minerais formados em condições de saturação com água. Apresentam coloração pouco viva, com tendência às cores acinzentadas. Sua textura, varia de arenosa à argilosa, e sua fertilidade, tende a ser baixa (OLIVEIRA et al.,1999). Na paisagem está localizado em algumas margens do Rio Piracicaba e Corumbataí e na cabeceira do Ribeirão Piracicamirim, sendo encontrada a subordem dos Gleissolos háplicos.
Latossolos Área na paisagem: 11.095,20 há Percentual: 33,76%	São solos minerais, homogêneos, apresentam cor homogênea em profundidade. São característicos por serem solos profundos, bem drenados e pouco férteis (OLIVEIRA et al.,1999). Na paisagem são os solos de maior abrangência, sendo utilizados como matriz de cultivo de cana de açúcar, sendo encontradas as subordens: Latossolos Vermelho-Amarelo (1,49%) e Latossolos Vermelhos (32,27%).
Neossolos Área na paisagem: 2.953,47 há Percentual: 8,99%	São solos pouco desenvolvidos, caracterizado ou por pequena profundidade (rasos) ou por predomínio de areias quartzosas ou pela presença de camadas distinta herdadas dos materiais de origem (OLIVEIRA et al.,1999). Na paisagem encontram-se manchas dessa ordem ao leste e oeste, sendo encontrada a subordem dos Neossolos Litólicos.
Nitossolos Área na paisagem: 1.466,13ha Percentual: 4,46%	São solos argilosos, que apresentam boa retenção de água e mantem boa drenagem, suas propriedades físicas são ideais em condições de seca prolongada. São solos férteis e por isso de excelente potencial agrícola (OLIVEIRA et al.,1999). Na paisagem são encontrados nas proximidades das margens do Rio Piracicaba, sendo encontrada a subordem dos Nitossolos Vermelhos.
Planossolos Área na paisagem: 35,61 ha Percentual: 0,04%	São solos pouco profundos, com horizonte superficial de cores claras e textura arenosa ou média (leve), apresentam baixa drenagem sendo responsável pela formação de lençol freático suspenso temporário (JARBAS et al., 20017). Na paisagem é encontrado em pequenas manchas próximas ao Rio Piracicaba, sendo encontrada a subordem dos Planossolos Háplicos.

3.2.4 Aspectos ambientais e de ocupação

A paisagem de estudo é composta por diversos usos do solo, como áreas agrícolas, indústrias, residências, áreas públicas, áreas verdes e cursos d'água. Está situada entre as rodovias SP-304 e SP-147, ao lado do Anel Viário de Piracicaba, que interliga outras rodovias da região (SP-304 e SP-308 às rodovias SP-147 e SP-127) e da estrada Comendador Pedro Morganti, a qual interliga o bairro Monte Alegre a porção urbanizada da cidade, onde frequentemente são constatados atropelamentos de animais silvestres como quatis (*Nasua nasua*), tatus e capivaras (*Hydrochoerus hydrochaeris*). Vale destacar que o atropelamento é uma das principais ameaças à fauna silvestre em pequenos fragmentos, pois devido à limitação de recursos é frequente a migração dos indivíduos para outras áreas, o que os coloca em situação de perigo em razão da proximidade com o sistema viário (EIGENBROD et al.; 2008).

A fitofisionomia natural da região de Piracicaba é classificada como floresta estacional semidecidual (IBGE, 2012), podendo ocorrer outras formações pertencentes ao domínio Mata Atlântica. Segundo dados da Secretaria Municipal de Meio Ambiente (SEDEMA), Piracicaba possui quatro Unidades de Conservação, sendo três Estaduais: Estação Ecológica de Ibicatu, Área de Proteção Ambiental Tanquã-Rio Piracicaba e Área de Proteção Ambiental Barreiro Rico e uma Municipal: Parque Natural Municipal de Santa Terezinha, além de uma área protegida Estadual caracterizada como Estação Experimental: Estação Experimental Tupi (Figura 6).

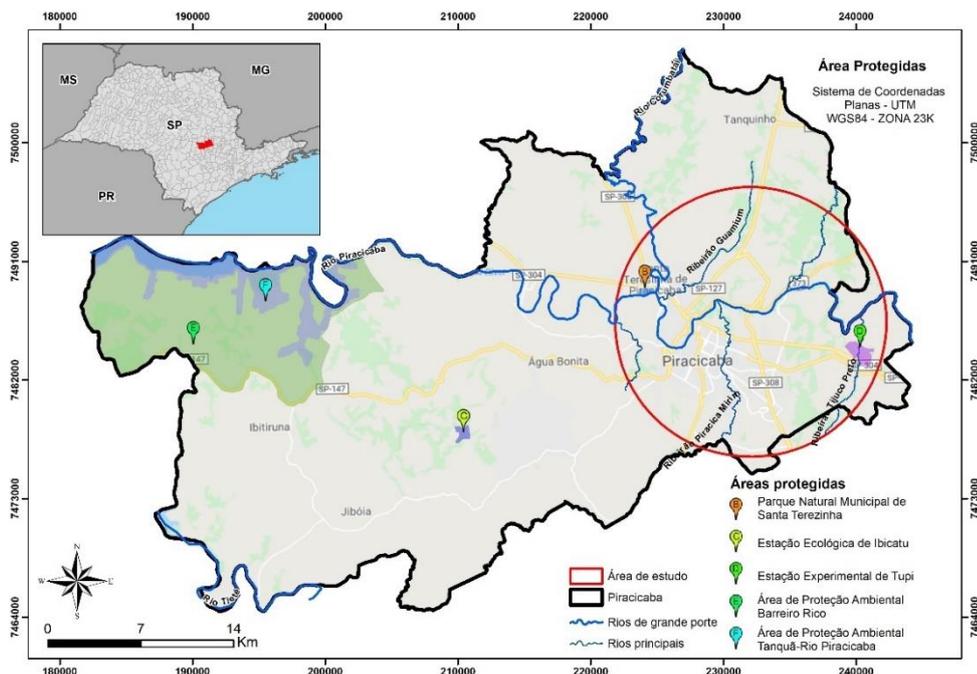


Figura 6 - Área protegidas de Piracicaba – SP (base de dados SEDEMA, 2018)

Das áreas mencionadas, duas delas estão dentro da área de estudo:

- a) Parque Natural Municipal de Santa Terezinha:** é uma Unidade de Conservação de Proteção Integral criada pelo Decreto Municipal 10.845 (de 11/08/2004), abrange uma área de 40 hectares confluyente aos Rios Piracicaba e Corumbataí, localizada no distrito de Santa Terezinha. A UC é considerada o Parque da Cidade de Piracicaba, se tratando de uma Unidade de Proteção Integral é permitida a visitação pública com fins recreativos e educacionais, regulamentada pelo seu Plano de Manejo e respeitando o Zoneamento do Parque. As pesquisas científicas, estão sujeitas a aprovação do órgão responsável e devem respeitar as restrições do Plano de Manejo.
- b) Estação Experimental de Tupi:** é uma área protegida não pertencente as categorias de UC's, sendo caracterizada como Estação Experimental - Unidade de Produção - criada pelo Decreto nº 19.032 de 23/12/1949 de responsabilidade do Serviço Florestal do Estado. A Estação Experimental, tem área de aproximadamente 198 hectares área destinada à realização de programas e atividades de pesquisas científicas previstos em seu Plano de Manejo. Área de visitação prevista no zoneamento corresponde à 22,3 hectares dispendo de importantes coleções de espécies florestais nativas.

4. METODOLOGIA

4.1 Caracterização do uso do solo

A área de estudo foi delimitada através de um *buffer* de 10km a partir dos limites da área em processo de restauração, totalizando uma área de abrangência de 32.861,87 ha. O mapeamento do uso do solo foi realizado pelo método de fotointerpretação de imagem, utilizando o *ArcGIS 10.6* em uma escala de visualização de 1:3.000. As imagens utilizadas são datadas do primeiro semestre de 2019, disponíveis na extensão de imagens *Google Tile Layers*. Nos casos em que houve dúvidas quanto ao uso do solo observado na imagem supracitada, foram feitas consultas remotas a imagens históricas do *Google Earth Pro*, buscando avaliar as mudanças no uso da área em dúvida ao longo dos anos para tomada de decisão quanto a sua classificação.

O mapeamento foi realizada em dois níveis, sendo a “Classe” o nível mais abrangente e a “Subclasse” o nível mais detalhado, como descrito na Tabela 1. As características levadas em consideração para tomada de decisão durante a fotointerpretação estão apresentadas no Quadro 2.

Tabela 1 - Classe e subclasse de uso do solo

Classe	Subclasse
Cobertura vegetal	Vegetação arbórea
	Vegetação pioneira
	Vegetação graminosa
	Área úmida
Corpos d'água	Lago ou lagoa
	Rios
Uso agropecuário	Pasto limpo
	Pasto sujo
	Culturas anuais
	Culturas perenes
	Culturas experimentais
	Agricultura de baixo impacto
Uso antrópico	Silvicultura
	Área edificada
	Área urbana
	Área industrial
	Aeroporto
	Estradas ou rodovias
Servidão administrativa	
	Parque urbano

Quadro 2 – Critérios para fotointerpretação dos níveis em ‘Classe’ e ‘Subclasse’ de uso do solo

Classe	Subclasse	Características da subclasse	Características avaliadas na Fotointerpretação	Exemplo
Cobertura vegetal	Vegetação arbórea	Foram consideradas como vegetação arbórea, fragmentos de floresta que apresentam dossel fechado e presença de sub-bosque. Sem considerar o nível de conservação da área e a presença de espécies exóticas.	Cor: Verde escuro Textura: Grosseira Formações Florestais apresentam coloração verde escura, podendo variar na tonalidade de acordo com a fisionomia, contudo essa distinção pode ser pouco perceptível.	
	Vegetação pioneira	Foram consideradas como vegetação pioneira, áreas com expressivas manchas de regenerantes arbóreos e arbustivos. Ou seja, áreas que não evidenciam fechamento de dossel e ainda sofrem baixa interferência antrópica.	Cor: Verde claro com manchas escurecidas Textura: Grossa Vegetações pioneiras apresentam coloração verde mais claras com manchas escuras de vegetação mais densa.	
	Vegetação Graminosa	Foram consideradas como vegetação graminosa, áreas com predomínio de gramíneas com pouca expressão de regenerantes, sendo áreas abandonadas e não destinadas a pecuária.	Cor: verde claro Textura: Fina Áreas de vegetação graminosa apresentam coloração verde claro, em alguns casos com a presença de pontos mais escuros representados por indivíduos em regeneração pouco expressivos.	
	Área úmida	Foram consideradas como área úmida, aquelas que sofrem influência direta ou variáveis da ação da água, seja por cursos d'água ou pela própria variação do lençol freático.	Cor: Verde mesclado com cinza Textura: Lisa Estas áreas apresentam coloração verdes característica de vegetação, contudo com tons cinzas escuros pela presença de água.	

Corpos d' água	Rio	Foram considerados como Rio, corpos d'água contínuos permanentes com largura maior ou igual a 10 m.	<p>Cor: Preto</p> <p>Textura: Lisa</p> <p>Rios apresentam coloração escura, em geral preta e em alguns casos acinzentada. A textura é lisa e possuem formações bem contrastante na imagem.</p>	
	Lago ou lagoa	Foram considerados como lago ou lagoa, corpos d'água não contínuos, ou seja, aqueles que apresentam represamento de água natural ou artificial.	<p>Cor: Cinza escuro</p> <p>Textura: Lisa</p> <p>Lagos ou lagoas apresentam coloração cinza (em alguns casos marrom) em tons escuros, são bem contrastantes na paisagem.</p>	
Uso agropecuário	Pasto limpo	Foram considerados como pasto limpo, áreas com predomínio de gramíneas com baixa ou nenhuma expressão de regeneração (quando presente, apresentada por árvores esparsas), destinada a pecuária.	<p>Cor: verde claro</p> <p>Textura: Fina</p> <p>Áreas de pasto limpo apresentam coloração verde claro, em alguns casos com a presença de pontos mais escuros representados por árvores esparsas.</p>	
	Pasto sujo	Foram consideradas como pasto sujo, áreas com predomínio de gramíneas com relevante expressividade de indivíduos regenerantes em toda a sua extensão, destinada a pecuária.	<p>Cor: verde claro com manchas de tons mais escuros</p> <p>Textura: levemente rugosa</p> <p>Estas áreas apresentam manchas verdes mais escuras que correspondem a vegetação regenerante que contrasta em meio ao pasto.</p>	
	Culturas anuais	Foram consideradas como culturas anuais, aquelas que apresentam ciclos curtos de cultivo, de no máximo um ano.	<p>Cor: Verde claro mesclado com tons mais escuros ou amarelados</p> <p>Textura: Áspera</p> <p>Áreas de culturas anuais apresentam padrão linear e podem ser variáveis de acordo com a cultura.</p>	

	Culturas perenes	Foram consideradas como culturas perenes, aquelas que apresentam ciclos longos de cultivo, superior a um ano, com exceção de culturas de produção madeireira.	Cor: Verde escuro Textura: Grosseira Culturas perenes apresentam porte arbóreo/arbustivo de coloração em tons de verde escuro, contrastando na paisagem pela homogeneidade e boa definição de linha de plantio.	
	Culturas experimentais	Foram consideradas como culturas experimentais, áreas agrícolas dentro da ESALQ de alta rotatividade ao longo do período de análise, não sendo possível a identificação do tipo de cultivo e sem padrão para o uso do solo.	Cor: Mescla de verde e marrom Textura: Áspera Áreas de culturas experimentais apresentam padrão linear, com variação de cor de acordo com a cultura.	
	Agricultura de baixo impacto	Foram consideradas como agricultura de baixo impacto, áreas de agricultura familiar ou de pequenos produtores (baixa escala). Em geral com cultivo de hortaliças.	Cor: Tons de verde e marrom Textura: Áspera Áreas de agricultura de baixo impacto apresentam padrão linear, com variação de cor de acordo com a cultura.	
	Silvicultura	Foram consideradas como áreas de Silvicultura, monocultivos de espécies arbóreas nativas ou exóticas, utilizadas para fins madeireiros.	Cor: Verde escuro Textura: Áspera Monocultivos de espécies de porte arbóreo apresentam coloração em tons de verde mais escuro que a vegetação nativa, contrastando na paisagem pela homogeneidade.	
Uso antrópico	Área edificada	Foram consideradas como área edificada, construções isoladas, ou seja, àquelas que não compõe a área urbana. Podendo ser uma edificação isolada ou um conjunto de edificações e benfeitorias.	Cor: Amarelo/ branco Textura: Lisa As edificações são caracterizadas principalmente pelas suas formas, em geral quadradas ou retangulares.	

Área urbana	Foram consideradas como áreas urbanas, aglomerados residenciais e viários.	<p>Cor: Alaranjado/Acinzentado com tons escuros</p> <p>Textura: Grosseira</p> <p>As áreas urbanas são caracterizadas pela presença massiva de edificações e malhas viárias que dão a imagens tons alaranjados mesclados com cinza.</p>	
Área industrial	Foram consideradas como área industrial, setores da indústria aglomerados ou isolados.	<p>Cor: Acinzentado com tons claros e manchas brancas</p> <p>Textura: Grosseira</p> <p>As áreas industriais são caracterizadas pela presença massiva de edificações metálicas que dão a imagens tons cinza mesclados com branco.</p>	
Estradas ou rodovias	Foram consideradas como estradas ou rodovias, a malha viária larga e contínua que não compõe a malha viária urbana.	<p>Cor: Rosa claro ou cinza</p> <p>Textura: Fina</p> <p>As estradas são de fácil percepção em razão da sua forma. Sua coloração pode variar dependendo do tipo de pavimento (asfáltico ou terra).</p>	
Servidão administrativa	Foram consideradas como servidão administrativa, áreas destinadas a passagem de linhas de transmissão de energia. Sendo áreas onde não é permitida construções ou vegetação de porte arbóreo.	<p>Cor: verde claro</p> <p>Textura: Fina</p> <p>Áreas de servidão administrativa apresentam coloração verde claro devido a presença de gramíneas, sua configuração é linear e de largura variável.</p>	
Parque urbano	Foram considerados como parques urbanos, áreas públicas utilizadas para recreação.	<p>Cor: Verde escuro com manchas cinza e rosa</p> <p>Textura: Grosseira</p> <p>Os parques urbanos são caracterizados pela presença de cor verde das copas de árvore e mesclados de cinza com rosa das edificações. Alguns parques podem apresentar cores verde claro devido a campo aberto.</p>	

Além das subclasses descritas no Quadro 2, foi mapeado dentro da classe Uso Antrópico, a subclasse Aeroporto. Compreende-se como aeroporto, área destinada para pouso e decolagem de aeronaves, além da infraestrutura de segurança de seu entorno. Essa área foi delimitada visualmente sem levar em consideração aspectos das técnicas de fotointerpretação.

4.2 Avaliação da estrutura da paisagem

A análise em ecologia da paisagem buscou responder questões associadas aos elementos da paisagem e como se apresentam no contexto ecológico quando considerada sua configuração em diferentes escalas de distância da área em processo de restauração, desenvolvendo, para tanto, uma série de métricas com o intuito de fornecer informações para a interpretação das relações entre os processos funcionais que a paisagem promove aos organismos vivos e seus padrões (LANG e BLASCHKE, 2009).

Para o desenvolvimento da caracterização e análise em ecologia de paisagem foi considerado o mapeamento de uso do solo (*buffer* de 10 km) da área de estudo. As métricas utilizadas tem a finalidade de explicar a composição da matriz de uso do solo e subsidiar a definição das melhores áreas de conexão entre a área em processo de restauração e os maiores fragmentos já estabelecidos da área de estudo, visando o abrigo de espécies relevantes da fauna. Para tanto, foram utilizadas as métricas descritas abaixo, executadas no *ArcGIS 10.6* e no *Fragstats 4*:

Proporção de vegetação arbórea em faixas de distância do fragmento em processo de restauração: a forma como a configuração da paisagem e o grau de fragmentação afetam a permeabilidade das espécies ainda são questões difíceis de serem respondidas (FISHER e LINDENMAYER, 2007; HANSKI, 2011). Diferentes escalas de vegetação nativa podem existir a depender das características da paisagem, ou seja, diferentes valores de proporção de vegetação nativa podem ser determinantes para a ocorrência de alguns processos ecológicos (METZGER e D'ECAMPS, 1997; WITH e KING, 1999). Para o cálculo da métrica proporção de vegetação nativa considerou-se empiricamente, seis faixas de proximidade em relação a área em processo de restauração, sendo elas: 50 m, 200 m, 500 m, 1.000 m, 5.000 e 10.000 m (Figura 7).

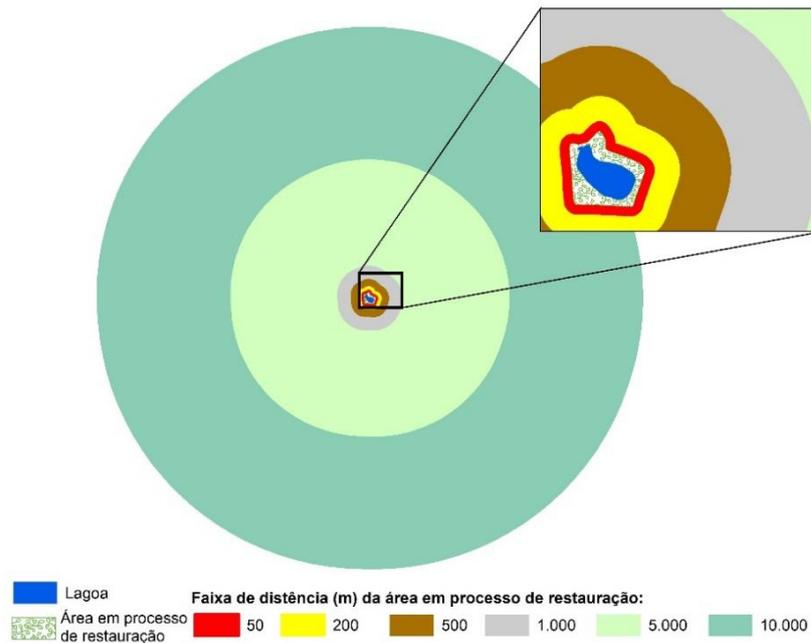


Figura 7 – Faixas de distância da área em processo de restauração definidas empiricamente para o cálculo de proporção de vegetação nativa

Para as faixas de proximidade foram calculadas:

- a) **Porcentagem de vegetação nativa:** Apresenta a proporção do total coberto por vegetação nativa em relação a área total de cada faixa de distância avaliada;
- b) **Quantidade de fragmentos:** Refere-se à quantidade de remanescentes encontrado em cada faixa de distância avaliada;
- c) **Tamanho médio dos fragmentos:** Cômputo da área de todos os remanescentes dividido pela quantidade de remanescentes na faixa de distância;

Efeito de Borda: a área de contato entre o fragmento florestal e a matriz do entorno causa perturbações e afeta a qualidade do fragmento. As modificações microclimáticas geradas nas bordas destes habitats afetam a permanência de espécies mais exigentes. Metzger (2010) ressalta que nas bordas dos remanescentes ocorre um aumento da luminosidade, causando uma baixa na umidade do ar e do solo, ajunto ao aumento da entrada de espécies oportunistas vindas das matrizes de entorno. Outras perturbações são causadas pela ação dos ventos e alta radiação no fragmento florestal que prejudicam algumas espécies causando mortalidade (METZGER, 2010; REDDING et al. 2003). Tais perturbações tem impacto direto na forma como a fauna utiliza o fragmento de vegetação, causando efeitos biológicos

ligados ao deslocamento das espécies, dispersão de sementes, competição, entre outros (MacDOUGALL e KELLMAN 1992; DIDHAN e LAWTON 1999; GALETTI et al. 2003; KOLLMANN e BUSCHOR 2003).

Laurance et al. (2002) sugerem que a maior intensidade dos efeitos na borda de um fragmento ocorre nos primeiros 100 m, já Brancalion et al. (2010) sugerem que os efeitos são maiores nos primeiros 35 m. Por não haver um efeito de borda que considere a relação das diferentes matrizes de entorno ou grau de conservação dos fragmentos, optou-se por utilizar no presente estudo três valores de efeito de borda, sendo um conservacionista de 100 metros e outros dois abrangentes de 50 e 30 metros (Figura 8).

Os valores dessa métrica são obtidos realizando um *buffer* interno nos valores pré-estipulados (100, 50 e 30 metros), posteriormente, a área dos fragmentos resultante é recalculada, obtendo-se então a área núcleo dos fragmentos, a qual é computada e relacionada à área original (sem efeito de borda) e calculada a diferença entre ambas, a qual é considerada como a borda do fragmento. Nessa métrica, um fator importante e que determina se o fragmento é constituído somente de borda ou não é a forma, quanto mais alongado for o fragmento, maior será a área sob efeito de borda.

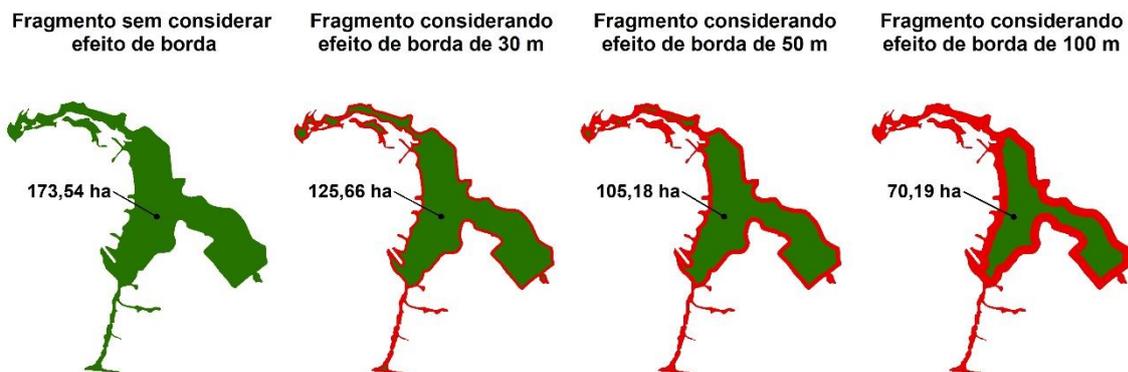


Figura 8 – Fragmentos com diferentes efeitos de borda. Em verde os fragmentos e em vermelho a área de borda. Conforme o efeito de borda aumenta alguns fragmentos deixam de possuir área nuclear. Este exemplo refere-se a um fragmento encontrado na área de estudo (*buffer* de 10 km)

Índice de conectividade: Mede a proporção entre as ligações funcionais dentre todos os fragmentos e o número total de ligações possíveis existentes entre eles (MARTENSEN et al., 2008). Sendo assim, o índice é definido pelo número de

junções funcionais entre as manchas de vegetação, em que cada par está conectado ou não com base em um critério de distância (McGARIGAL e ENE, 2015) (Figura 9).

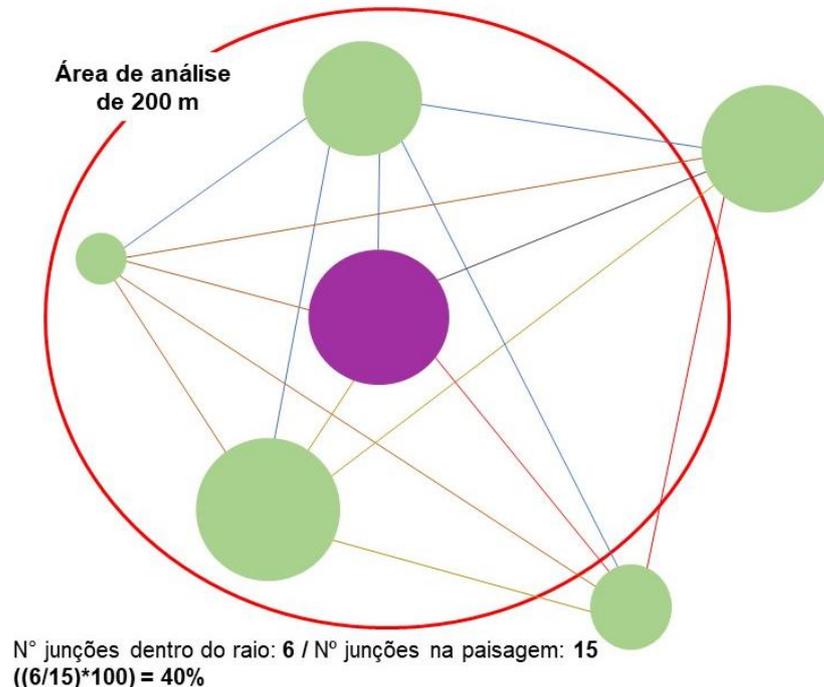
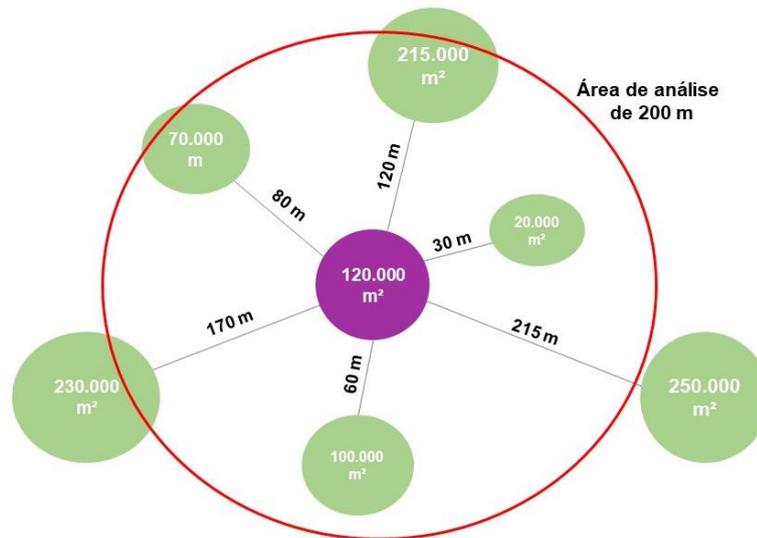


Figura 9 – Cálculo do índice de conectividade. Em roxo o fragmento foco e em verde os fragmentos do entorno, o círculo vermelho representa a área de busca a partir de um raio pré-definido

A conexão é relatada como uma porcentagem de conexão máxima da paisagem, valores mais próximos de zero indicam baixa conexão entre os fragmentos, ao passo que maiores valores indicam maior conectividade (MARTENSEN et al., 2008). No presente estudo foram estipulados quatro raios: 50 m, 200 m, 500 m e 1.000 m. Os diferentes raios ajudam a entender o percentual de conectividade da paisagem à medida que se afasta da área em processo de restauração.

Índice de proximidade média: o índice de proximidade mede, a partir de um raio pré-estabelecido, a relação entre a distância e a soma das áreas entre o fragmento foco e seus vizinhos (McGARIGAL e ENE, 2015) (Figura 10). A partir do valor referente ao índice de proximidade obtido para cada fragmento da área de estudo, é então calculada a média, cujo valor resultante é adimensional, sendo utilizada apenas para efeito comparativo entre diferentes raios de busca (McGARIGAL e ENE, 2015). No presente estudo foram estipulados quatro raios: 50 m, 200 m, 500 m e 1.000 m. Os diferentes raios ajudam a entender a paisagem e inferir sobre a permeabilidade da fauna e flora, uma vez que permite a análise em diferentes escalas.



Cálculo para obtenção do índice de proximidade à 200 m do fragmento foco:

$$\frac{((120.00+70.000)/80^2)+((120.000+215.000)/120^2)+((120.000+20.000)/30^2)+((120.000+100.00)/60^2)+((120.000+230.000)/170^2)}{6} =$$

$$= 29,69 + 23,26 + 155,56 + 61,11 + 12,11 =$$

$$= 281,73$$

Figura 10 – Cálculo do índice de proximidade. Em roxo o fragmento foco e em verde os fragmentos do entorno, o círculo vermelho representa a área de busca a partir de um raio pré-definido

Distância média entre vizinhos mais próximos: a distância que um fragmento está de seu vizinho mais próximo pode ajudar a compreender como eles estão distribuídos na paisagem e assim entender melhor os processos ecológicos que a envolvem. Ele pode ser usado também para estimar o grau de isolamento da paisagem, uma vez que quanto menor a distância entre os fragmentos menor será também o grau de isolamento (McGARIGAL e ENE, 2015). O valor para essa métrica é obtido somando-se a distância de todos os fragmentos para com seu vizinho mais próximo e posteriormente obtido a média (Figura 11).

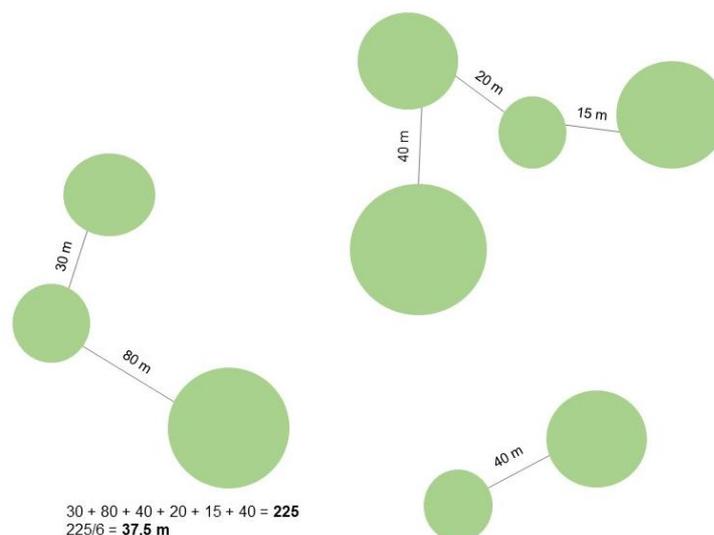


Figura 11 – Cálculo de distância média entre os vizinhos mais próximos, cujo resultado foi de 37,5 m

Conectividade funcional: a conectividade funcional está ligada a uma série de fatores que envolvem a paisagem e as espécies ou grupos funcionais, tais como: capacidade de deslocamento em diferentes matrizes, distância entre os fragmentos e uso de corredores florestais. Esses fatores, quando analisados em conjunto, respondem se uma dada paisagem está funcionalmente conectada (ou não) para um determinado organismo ou grupo funcional, ou seja, se há ou não possibilidade de dispersão da fauna entre fragmentos florestais (GREENBERG, 1989; SIEVING et al. 1996). Neste estudo, foram consideradas empiricamente diferentes capacidades de deslocamentos, portanto, a conectividade funcional foi avaliada em 50 m, 100 m, 200 m, 500 m e 1.000 m. O resultado foi calculado pela soma das áreas dos fragmentos conectados nas diferentes distâncias, sendo está a área funcionalmente conectada (Figura 12) (MARTENSEN et al., 2008; METZGER et al., 2009, RIBEIRO et al., 2009).

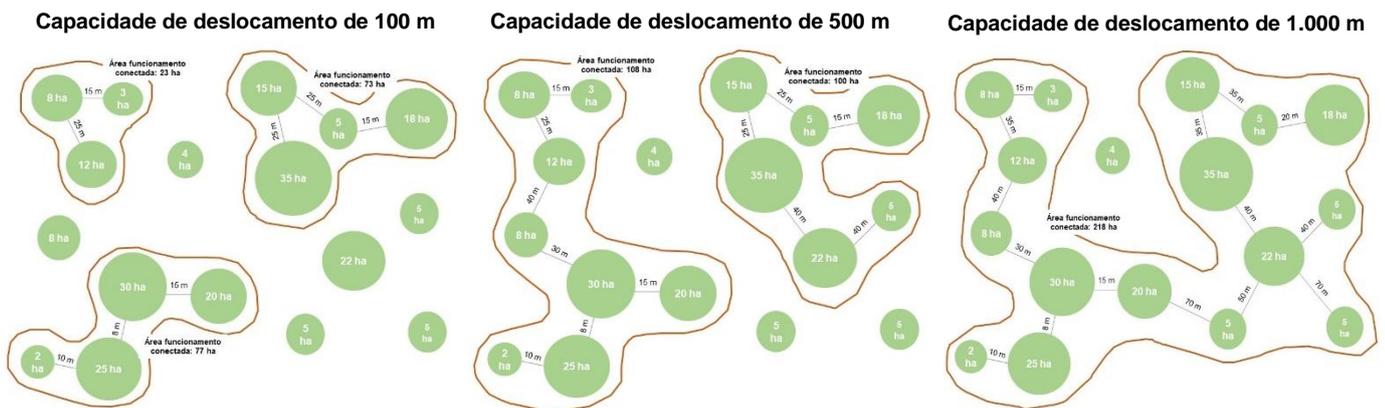


Figura 12 – Exemplo de como a conectividade funcional é medida em diferentes escalas. Em verde os fragmentos florestais e em laranja a escala de análise

4.3 Proposta de corredores florestais

As simulações de corredores florestais foram realizadas utilizando o pacote *LSCorridors*, que consiste em um *software* livre, desenvolvido na linguagem *Python* e executado no ambiente GRASS GIS 7.4.4 O *LSCorridors* simula múltiplos corredores ecológicos funcionais utilizando um mapa de superfície de resistência, que representa o quanto a paisagem facilita ou dificulta a movimentação de organismos, e um segundo mapa que apresenta a identificação dos fragmentos de origem e destino, ou seja, as áreas a serem conectadas nas simulações do corredor (RIBEIRO et al. 2017a). Para isso, o pacote utiliza informações de requisitos de habitat de espécies e um algoritmo de caminho de menor custo (RAYFIELD et al., 2010; PINTO et al., 2012). O *LSCorridors* realiza análises com adição de variações estocásticas, definidas

previamente às simulações, tornando-as mais realistas (Figura 13) (RIBEIRO et al. 2017a).

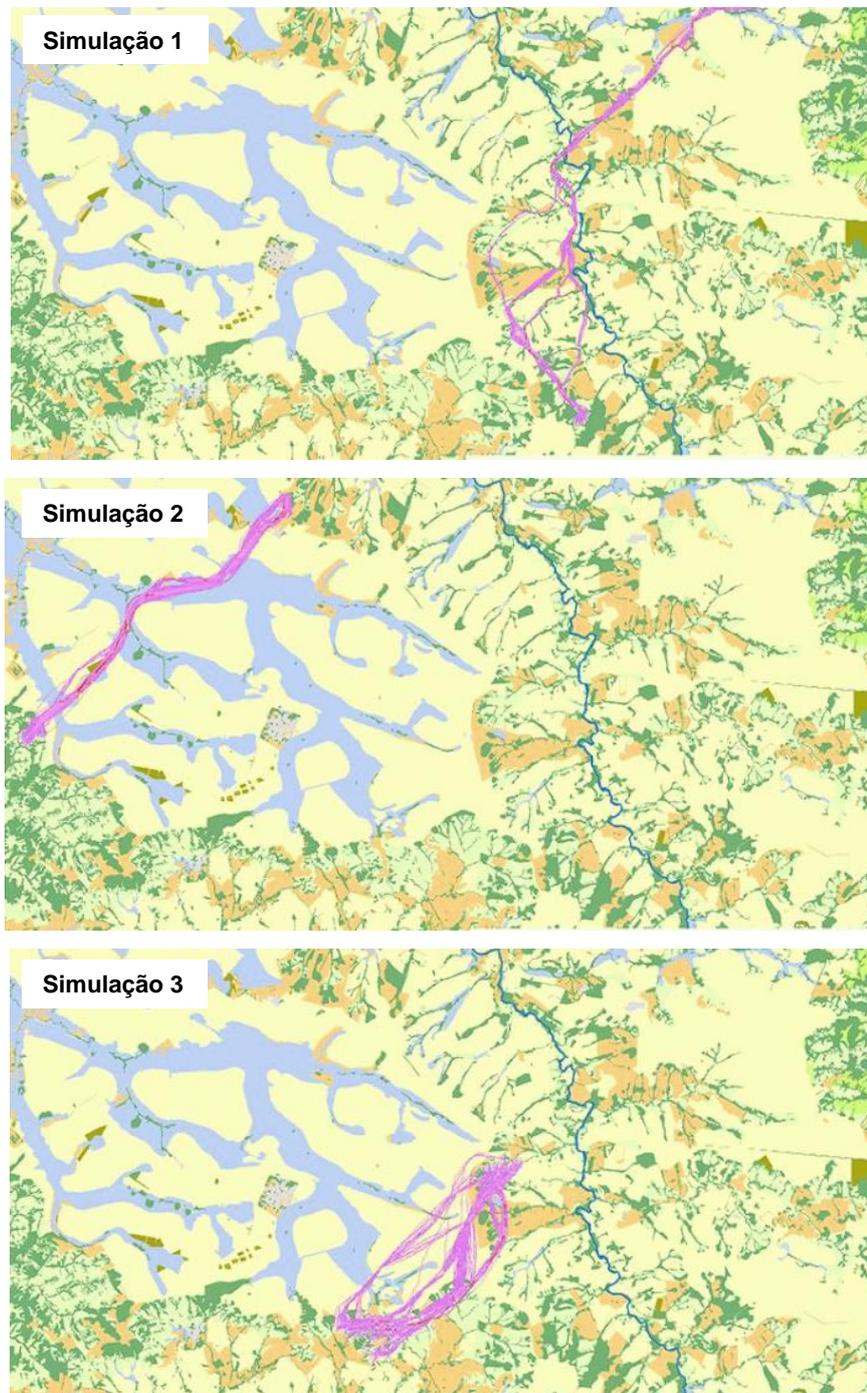


Figura 13 – Exemplo de três simulações de corredores em uma superfície de resistência hipotética com diferentes custos de permeabilidade no *LSCorridors*. As linhas roxas nas simulações indicam os conjuntos de linhas de resultado, indicando o conjunto de caminhos mais eficientes para as ligações (RIBEIRO et al. 2017b)

4.3.1 Pontos de conexão e mapas de resistência à paisagem

As simulações foram realizadas utilizando um mapa de superfície de resistência gerado com os valores apresentados na Tabela 3 e um mapa contendo o fragmento

em processo de restauração (ponto de partida) e os pontos de ligação (fragmentos alvo).

Os pontos de ligação foram definidos com base na análise da paisagem. Sendo selecionados os fragmentos que apresentaram melhores características estruturais levando em consideração sua área núcleo. Para o processo de seleção levou-se em consideração os seguintes critérios:

- a)** Aplicação de efeito de borda de 50 m nos fragmentos mapeados na subclasse de vegetação arbórea – optou-se pelo efeito de borda de 50 m, pois a paisagem é constituída por fragmentos pequenos, que acabariam sendo desconsiderados em caso de utilização de uma métrica mais conservacionista.
- b)** Aproveitamento dos fragmentos resultantes com área núcleo maiores que 1 ha (121 fragmentos) – optou-se por desconsiderar os fragmentos menores que 1 ha para evitar interferência de manchas pouco significativas resultantes nos critérios de seleção;
- c)** Cálculo da média e desvio padrão dos fragmentos com área núcleo maiores que 1 ha – Média resultante = 7,45 ha/ Desvio padrão = 14,39 ha;
- d)** Seleção dos fragmentos que apresentaram área núcleo maior que a soma entre média e o desvio padrão obtido (22,84 ha).

Da análise foram obtidos 11 fragmentos, que foram separados em um novo arquivo *shapfile* com a adição do ponto de partida (área em processo de restauração). Os fragmentos foram numerados – sendo o ponto de partida considerado como o número 1 e os demais de 2 à 12 em ordem arbitrária – e posteriormente convertidos para um arquivo *raster* com resolução espacial de 5 m.

A construção dos mapas de superfície de resistência consistiu na atribuição dos valores apresentados na Tabela 3 em arquivos *shapfile* de uso do solo replicado para cada espécie, posteriormente convertidos para arquivos *rasters* com resolução espacial de 5 m. Esse processo garantiu que cada espécie apresentasse a superfície de resistência de acordo com seus critérios de permeabilidade.

4.3.2 Parâmetros e métodos de entrada

O software apresenta quatro métodos diferentes para simulação de rotas (*MP*, *MLmin*, *MLavg* e *MLmax*) dos corredores ecológicos, considerando diferentes parâmetros de influência da paisagem e estocástica (variabilidade e escala) (RIBEIRO

et al. 2017a), como apresentado na Figura 14. A inicial *M* dos métodos se refere a *medidas*; o método *P* se refere a análise considerando somente o valor do *pixel*, ou seja, medida por *pixel*; e o *L* se refere a *Landscape* (paisagem), ou seja, medida considerando o valor da paisagem.

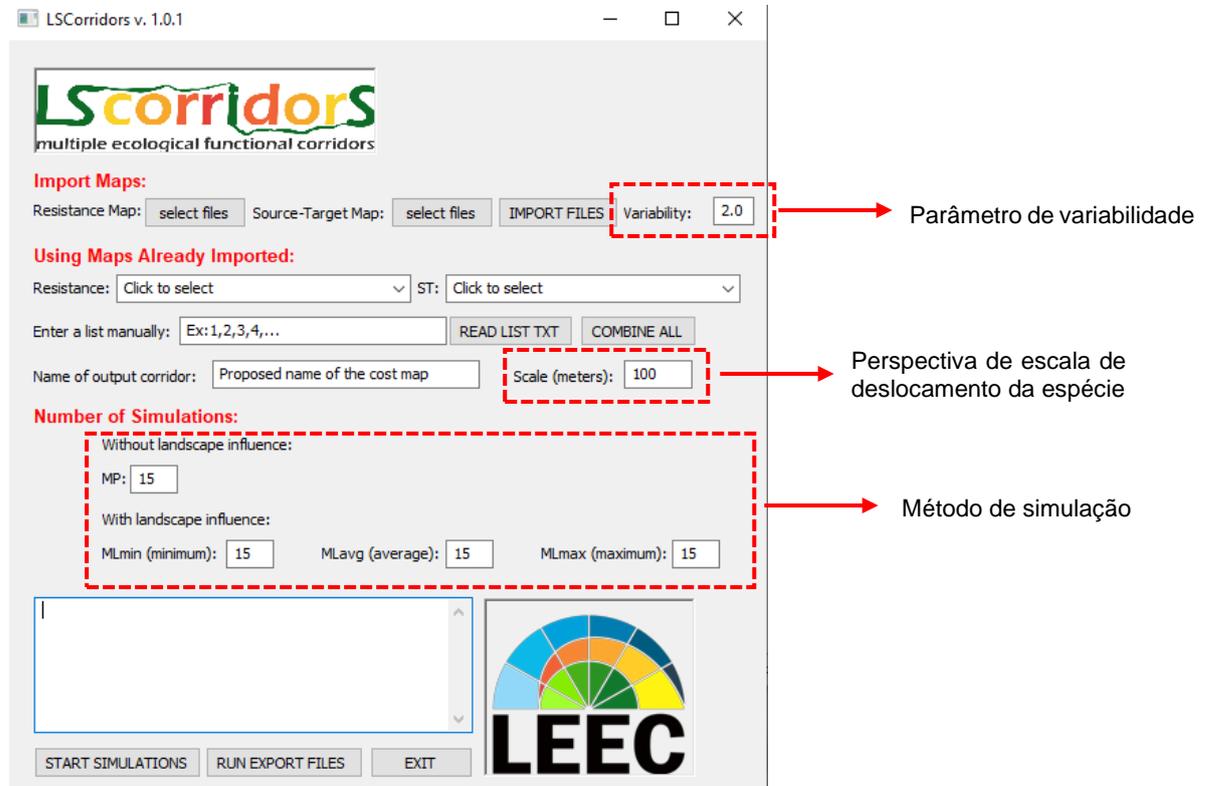


Figura 14 – Interface gráfica do *LSCorridors* com destaque para os principais parâmetros biológicos simulados

Os quatro métodos utilizam o mapa de superfície de resistência como entrada, mas adicionam as duas fontes de variação estocástica nas simulações, sendo a influência definida por valores dado pelo usuário (RIBEIRO et al. 2017a). As simulações geradas assumem que os organismos se movimentam para qualquer local dentro das manchas, sejam elas de vegetação ou não, e que distintas espécies assumem riscos distintos ao se mover em uma matriz de alto custo (RIBEIRO et al. 2017a).

- a) Parâmetro variabilidade:** a variabilidade é representada por um número inteiro maior que 0. O valor se refere a estocástica da simulação, sendo que altos valores de variabilidade tornam a seleção menos consistente, fazendo com que surja um número maior de rotas (RIBEIRO et al. 2017c). Sendo assim, à medida que o parâmetro aumenta, o *software* entende que os

organismos tendem a optar por rotas diferentes e o custo médio dos corredores tende a aumentar, pois essa variabilidade aumenta os valores da superfície de resistência (RIBEIRO et al. 2017a).

- b) Parâmetro escala:** a escala representa a capacidade de deslocamento do organismo dentro da paisagem, sendo que esse parâmetro não é levado em consideração no método *MP* (RIBEIRO et al. 2017a). Quando a análise considera os métodos *ML* a medida que o parâmetro de escala aumenta, o valor da resistência de cada *pixel* sofre influência por um número maior de *pixels* a sua volta, tornando o mapa final de resistência mais homogêneo (RIBEIRO et al. 2017c).
- c) Método *Pixel (MP)*:** o *MP* considera apenas os valores dos *pixels* individuais dos mapas de resistência, Ribeiro et al. (2017a) consideram como o método mais simples de simulação. A aleatoriedade de variação ao mapa da superfície de resistência fica a cargo apenas do parâmetro de variabilidade, ou seja, o método *MP* não sofre influência da escala, tornando a análise mais restritiva (RIBEIRO et al. 2017c). O valor de entrada corresponde ao número de vezes que o *software* simulará corredores por esse método.
- d) Método Paisagem (*ML*):** os métodos *ML* consideram os *pixels* vizinhos na influência de um *pixel* central a depender da percepção das espécies sobre a paisagem. Os métodos se baseiam na hipótese de que os organismos podem ter se adaptado às novas condições do ambiente sendo capazes de se movimentar por matrizes anteriormente pouco permeáveis (RIBEIRO et al. 2017a). A diferença entre o *ML min* (mínimo), *ML avg* (médio) e *ML max* (máximo) está no raio de busca dos *pixels* circundantes. Esse raio, corresponde ao parâmetro escala dado em metros (RIBEIRO et al. 2017a). Assim como no *MP*, o valor de entrada corresponde ao número de vezes que o *software* simulará corredores por cada um dos métodos.

4.3.3 Definição de espécies relevantes da fauna

O levantamento das espécies relevantes foi realizado através da caracterização da área em processo de restauração, com base em dados de monitoramento primário de fauna e flora, que a Casa da Floresta realiza no local desde 2010. A definição foi baseada em consulta a especialistas da Casa da Floresta, que indicaram espécies

que ao terem habitat estruturado, geram condições para a ocorrência de outras menos exigentes. As espécies selecionadas bem como suas características estão apresentadas no Quadro 3.

Quadro 3 – Espécies selecionadas como relevantes para ocorrência na área de estudo e região

Grupo	Nome científico (Nome popular)	Descrição da espécie	Foto
Aves	<i>Penelope superciliaris</i> (Jacupemba)	Ave frugívora de grande porte, dispersora de sementes. Depende de fragmentos com biodiversidade de plantas capaz de ofertar frutos para a espécie ao longo do ano, não costuma se afastar da vegetação nativa. Encontra-se quase ameaçada de extinção no estado de São Paulo. Sofre pressão com a destruição de habitat e caça.	 <p>a</p>
	<i>Conopophaga lineata</i> (Chupa dente)	Pequeno pássaro insetívoro que vive no sub-boque e chão da floresta, podendo ser encontrado inclusive em pequenos fragmentos. Endêmico da Mata Atlântica, depende da ocorrência de sub-bosque. Não está ameaçado de extinção.	 <p>b</p>
	<i>Dacnis cayana</i> (Saí-azul)	Saíra que se alimenta de frutos, néctar e pequenos artrópodes. De hábitos semiflorestais, ocupa tanto o interior quanto a borda de fragmentos florestais, podendo se afastar dos mesmos. Costuma ficar nas copas das árvores, eventualmente descendo à baixa altura. Não está ameaçada de extinção.	 <p>c</p>

Mamíferos	<p><i>Puma concolor</i> (Onça parda)</p>	<p>A onça parda se alimenta de animais de porte variado. Possui hábito generalista, sendo adaptada a se locomover em ambientes abertos, de pouca cobertura vegetal e até mesmo em ambiente perturbados. Mesmo com essa resiliência, ambientes fragmentados não são capazes de abrigar populações viáveis da espécie. O que a classifica como uma espécie vulnerável.</p>	<p>d</p> 
	<p><i>Leopardus guttulus</i> (Gato-do-mato-pequeno)</p>	<p>O gato-do-mato-pequeno se alimenta de animais de porte pequeno. Tem hábito de vida solitário, ocupando ambientes que variam de áreas mais abertas até vegetação mais densa. As populações da espécie encontram-se altamente reduzidas o que a classifica como uma espécie vulnerável.</p>	<p>e</p> 
	<p><i>Coendou sp.</i> (Ouriço sp.)</p>	<p>Os ouriços são animais de médio porte, caracterizados por serem cobertos de espinhos longos. São roedores que se alimentam de frutos, raízes e insetos, possuem hábito solitário e arborícola, ocupando o interior de fragmentos e bordas de cursos d'água. Não são espécies consideradas suscetíveis à extinção.</p>	<p>f</p> 

Fonte: a. Casa da Floresta, 2018; b. Casa da Floresta, 2016; c. Casa da Floresta, 2018; d. Casa da Floresta, 2015; e. Casa da Floresta, 2007; f. Casa da Floresta, 2014

Para construir a superfície de resistência para as espécies, foi solicitado a 14 ornitólogos e 13 mastozoólogos que atribuíssem notas de valores inteiros entre 0 e 10 quanto a permeabilidade das espécies para cada tipo de uso do solo presente na área de estudo (sendo a nota 0 considerada como não permeável e 10 como muito permeável). Para Assis et al. (2019) entende-se como permeabilidade da matriz a resistência que os organismos encontram ao atravessá-la, sendo que o deslocamento e a permanência são influenciados pela capacidade que uma dada espécie tem em transitar por um determinado uso da matriz.

Para a construção do mapa final de resistência foi obtido o valor médio da permeabilidade para cada espécie. O valor foi então invertido para que se adequasse

a faixa de resistência da paisagem, no qual *pixels* com baixos valores contribuem de forma mais eficiente para a conectividade funcional da paisagem (ADRIAENSEN et al. 2003). Desta forma usos que obtiveram média 10 (muito permeável) foram convertidos em 1 (baixa resistência), assim como médias 0 (não permeável) foram convertidos em 11 (alta resistência).

As classes de uso do solo podem favorecer ou dificultar a permeabilidade de espécies da fauna de forma diferente, não sendo adequado que elas tenham o mesmo peso no cálculo da resistência (FERRARI et al., 2012). Desta forma as médias de resistência foram multiplicadas pelos pesos apresentados na Tabela 2, atribuídos conforme a justificativa por classe de mapeamento, visando distanciar as classes menos favoráveis a passagem de corredores de vegetação nativa (FERRARI et al., 2012). Os valores finais de resistência à paisagem por espécie estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 2 – Classes de uso do solo, seus pesos quanto ao impedimento de passagem de corredores e justificativas para a geração matricial da resistência da paisagem

Classe	Subclasse	Peso	Justificativas*
Cobertura vegetal	Vegetação arbórea	1	São áreas favoráveis à fauna. Sendo consideradas positivas pois as conexões se dariam de forma natural, com a necessidade de pouca ou nenhuma intervenção
	Vegetação pioneira		
	Área úmida		
	Vegetação graminosa		
Corpos d'água	Lago ou lagoa	3	Apesar de serem barreiras naturais para algumas espécies são áreas adequadas para utilização da fauna
	Rios		
Uso agropecuário	Pasto limpo	5	Áreas utilizadas para fins agropecuários são pouco permeáveis para a maioria das espécies, principalmente as mais restritivas. Além disso essas áreas acarretam a necessidade de recuperação com o plantio de espécies nativas
	Pasto sujo		
	Culturas anuais		
	Culturas perenes		
	Culturas experimentais		
	Agricultura de baixo impacto		
Silvicultura			
Uso antrópico	Área edificada	10	Áreas de uso antrópico são consideradas como barreira para a passagem de corredores ecológicos e de grande risco para a fauna. São áreas com pouca permeabilidade e que geram riscos a integridade da fauna silvestre
	Área urbana		
	Área industrial		
	Aeroporto		
	Estradas ou rodovias		
	Servidão administrativa		
Parque urbano			

*Fonte: Adaptado de Ferrari et al., 2012

Tabela 3 – Subclasses de uso do solo e seus valores de resistência utilizados para a geração matricial de custo por espécie

Subclasse	Resistência					
	Jacupemba	Chupa-dente	Sai-azul	Onça-parda	Gato-do-mato-pequeno	Ouriço sp.
Vegetação arbórea	1	1	1	1	1	1
Vegetação pioneira	5	5	3	2	3	3
Área úmida	8	9	8	5	6	9
Vegetação graminosa	7	8	6	3	4	8
Lago ou lagoa	21	24	18	15	24	27
Rios	24	27	18	18	24	27
Pasto limpo	50	55	45	35	40	45
Pasto sujo	45	50	40	30	40	45
Culturas anuais	45	50	40	25	35	40
Culturas perenes	40	45	35	20	30	35
Culturas experimentais	40	50	40	30	35	40
Agricultura de baixo impacto	35	45	30	30	35	40
Silvicultura	35	40	25	15	25	30
Área edificada	100	110	80	80	90	80
Área urbana	100	110	70	100	100	90
Área industrial	100	100	100	90	100	90
Aeroporto	110	110	110	110	110	110
Estradas ou rodovias	90	100	80	70	90	90
Servidão administrativa	90	100	80	50	70	80
Parque urbano	70	80	30	60	70	40

4.4 Simulação de corredores florestais

Levando em consideração a definição dos parâmetros e métodos de simulação do *LSCorridors*, optou-se por gerar corredores para as 6 espécies selecionadas utilizando como base todos os parâmetros e métodos de entrada. E posteriormente selecionar o(s) valor(es) de parâmetro(s) e método(s) mais adequado(s) para as espécies em questão e então gerar um corredor único que fosse capaz de atender os requisitos de todas as espécies.

Simulação inicial: teve como objetivo definir os valores finais dos parâmetros e métodos para geração de corredores para as espécies em estudo a partir de valores pré-selecionados como relevantes. Para esta etapa foram utilizados os mapas de superfície de resistência de cada espécie e o mapa pontos de ligação, gerando rotas entre o fragmento foco e os 11 pontos alvo, totalizando 10 simulações de rotas de corredores. Os valores e justificativas de escolha dos parâmetros e métricas desta etapa estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Valores atribuídos para os parâmetros e métodos para a simulação inicial, seguidos das justificativas de escolha

Parâmetro	Valores	Justificativa
Variabilidade	2.0	Optou-se por um número baixo de variabilidade pois a medida que o valor aumenta os corredores se tornam menos consistentes, surgindo muitas rotas alternativas.
Escala (m)	50, 250 e 500	Como as espécies apresentam hábitos distintos de deslocamento e objetiva-se um corredor único, optou-se por simular a escala em três níveis de deslocamento, um mais restritivo, um intermediário e um mais amplo.
Método	Valores	Justificativa
<i>MP</i>	20	Optou-se por usar um valor mais amplo para o <i>MP</i> pois ele considera o valor único do pixel, impedindo que a paisagem influencie no seu custo. Oferecendo rotas mais restritivas quanto aos valores de resistência.
<i>ML min</i>	5	Optou-se por um valor menor de simulações para o <i>ML min</i> pois ao considerar a paisagem de resistência em torno de cada <i>pixel</i> selecionado, as rotas se transformam em linhas aproximadamente retas entre os fragmentos.
<i>ML avg</i>	20	Optou-se por um valor mais amplo para o <i>ML avg</i> pois ao considerar os valores médios da resistência de entorno ele considera a paisagem e ainda assim valoriza o valor de resistência do pixel de passagem.
<i>ML max</i>	5	Optou-se por um valor menor de simulações para o <i>ML max</i> pois ao considerar a paisagem de forma mais ampla suas rotas acabam se tornando inadequadas, passando por áreas pouco permeáveis para espécies restritivas.

Simulação final: os valores de parâmetro e métodos que apresentaram as melhores opções de rota para as espécies em estudo foram a escala de 50 m e o *ML avg*. A escolha está justificada na sessão de resultados.

Para a simulação final do corredor único para as espécies foi gerado um novo mapa de resistência da paisagem. Esse mapa é resultante da soma dos mapas de resistência de cada espécie utilizando a ferramenta *Raster calculator* do pacote de Ferramentas de Análises Espaciais do *ArcGIS 10.6*.

Como todos os mapas de entrada já consideravam os pesos apresentados na Tabela 3, foi feita apenas uma soma simples dos mapas, gerando um novo mapa de resistência com resolução espacial de 5 m que variou sua resistência de 6 à 620.

Para a simulação do novo corredor utilizou-se do mapa gerado e dos fragmentos de pontos de ligação. Os valores e métodos de entrada foram: variabilidade: 2.0; escala: 50 m; *MP*: 0; *ML min*: 0; *ML avg*: 50; e *ML max*: 0.

As simulações foram feitas utilizando a opção *combine all* que simula rotas entre todos os fragmentos do mapa de pontos de ligação. Com o cenário foram geradas 66 combinações origem/alvo. A alteração foi realizada com o objetivo de definir rotas alternativas na paisagem que pudessem apresentar menores comprimentos e melhor conectividade.

4.5 Delineamento dos corredores florestais

Foram gerados os arquivos *shapfile* de linhas das rotas resultantes da simulação final e trabalhados no *ArcGIS 10.6*. Os corredores foram gerados realizando um *buffer* a partir das rotas escolhidas, sendo sua largura fixada em 100 m, como recomenda a Resolução Conama 09/1996:

“Art. 3o A largura dos corredores será fixada previamente em 10% (dez por cento) do seu comprimento total, sendo que a largura mínima será de 100 m.”

A análise de validação dos corredores partiu da premissa de que as rotas de passagem devem ser as que correspondem a áreas que causam menores conflitos de uso e cobertura do solo. Sendo assim para os fragmentos selecionados que haviam mais de uma rota de ligação foi realizada uma reavaliação. A reavaliação consistiu em uma análise comparativa entre as rotas, visando a seleção das que apresentaram menores conflitos com áreas antropizadas (áreas edificadas, urbanas, industriais e menores cruzamentos por estradas ou rodovias).

5. RESULTADOS

5.1 Mapeamento do uso e ocupação do solo

A área total de mapeamento, compreendida pelo entorno de 10 km da área em processo de restauração corresponde a 32.861,87 ha. O uso e cobertura do solo presente é caracterizado pela presença de pequenos fragmentos de vegetação nativa

em diversos estados de regeneração em meio a uma matriz agrícola e industrial de grande proximidade com a área urbana (Figura 15).

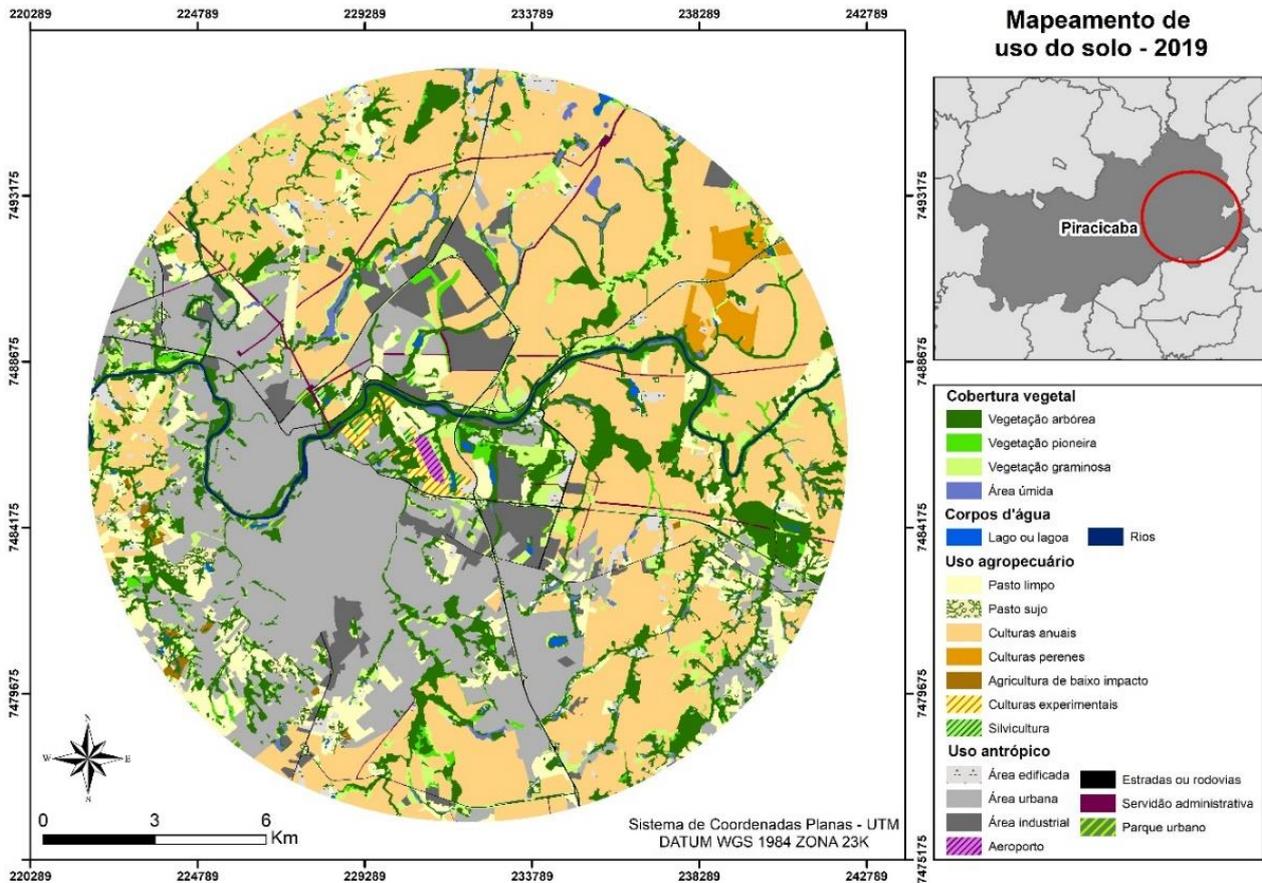


Figura 15 - Mapa de uso e cobertura do solo

Um grande percentual da área mapeada é composto por extensões de uso agropecuário, com 47,58% em relação a área total do *buffer* de 10 km. O uso antrópico representa 29,82%, a cobertura vegetal 21,51% e os corpos d'água apenas 1,09% (Figura 16). Os dados de cobertura de cada subclasse são apresentados na Tabela 5 e mostram que as Culturas anuais representam o maior uso de terra na área, com cerca de 80% da classe de uso agropecuário e 38,03% de cobertura da área total. A área urbana representa 21,82% da paisagem, que é maior do que toda a classe de cobertura vegetal que representa apenas 21,51% da área mapeada.

O percentual de cada subclasse dentro da cobertura vegetal mostra que apenas 14,25% da paisagem é composta por áreas com vegetação arbórea, seguido de 5% de vegetação gramínea, 1,19% de vegetação pioneira e 1,06% de áreas úmidas.

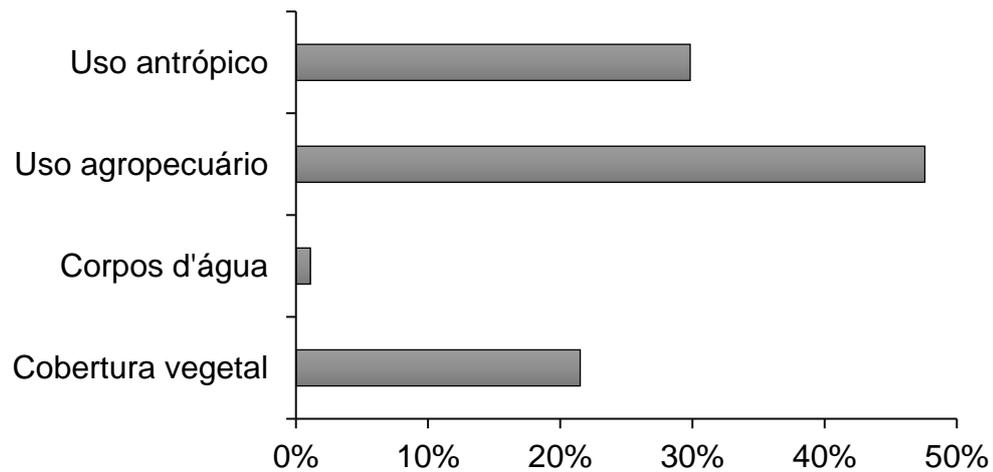


Figura 16 - Percentual do uso e cobertura do solo em nível de classe de mapeamento

Tabela 5 – Área e percentual a nível de classe e subclasse do uso e cobertura do solo

Classe	Subclasse	Quantitativo		
		Área (ha)	% da classe	% do buffer
Cobertura vegetal	Vegetação arbórea	4.684,10	66,28%	14,25%
	Vegetação pioneira	390,39	5,52%	1,19%
	Vegetação gramínea	1.643,84	23,26%	5,00%
	Área úmida	348,98	4,94%	1,06%
	subtotal	7.067,31		21,51%
Corpos d'água	Lago ou lagoa	101,90	28,46%	0,31%
	Rios	256,09	71,54%	0,78%
	subtotal	357,99		1,09%
Uso agropecuário	Pasto limpo	2.329,92	14,90%	7,09%
	Pasto sujo	202,68	1,30%	0,62%
	Culturas anuais	12.497,77	79,93%	38,03%
	Culturas perenes	338,86	2,17%	1,03%
	Agricultura de baixo impacto	67,33	0,43%	0,20%
	Culturas experimentais	134,31	0,86%	0,41%
	Silvicultura	64,57	0,41%	0,20%
	subtotal	15.635,44		47,58%
Uso antrópico	Área edificada	601,91	6,14%	1,83%
	Área urbana	7.169,61	73,15%	21,82%
	Área industrial	1.413,50	14,42%	4,30%
	Aeroporto	46,85	0,48%	0,14%
	Estradas ou rodovias	296,29	3,02%	0,90%
	Servidão administrativa	202,72	2,07%	0,62%
	Parque urbano	70,26	0,72%	0,20%
	subtotal	9.801,13		29,82%
	TOTAL	32.861,87		

5.2 Métricas da Paisagem

Da área total mapeada no uso e ocupação do solo, 7.067,31 ha são de cobertura vegetal, o que equivale a 21,51%, sendo que desta área 14,25% representam áreas com vegetação arbórea (Figura 17). O total de fragmentos identificados na classe citada foi de 788, cujo tamanho variou entre áreas muito pequenas, com 0,02 ha, a fragmentos relevantes em nível de paisagem, com área de até 374 ha. Grande parte dos fragmentos apresentaram área menor do que 1 ha, os quais correspondem a 50% do total, representando 3% da área coberta por vegetação arbórea (Figura 18). Foram identificados apenas 6 fragmentos maiores que 100 ha, correspondendo principalmente a áreas contínuas de vegetação às margens do Rio Piracicaba e a vegetação da Estação Experimental de Tupi.

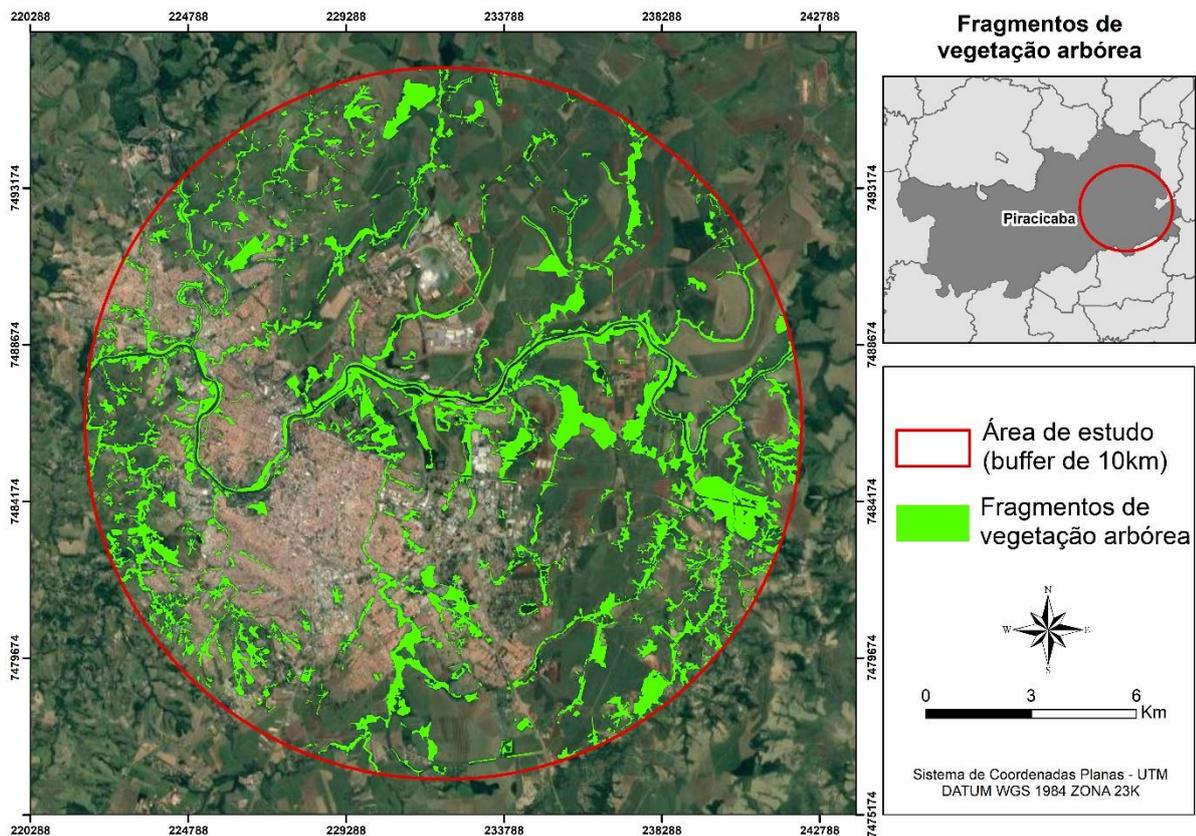


Figura 17 - Fragmentos de vegetação arbórea

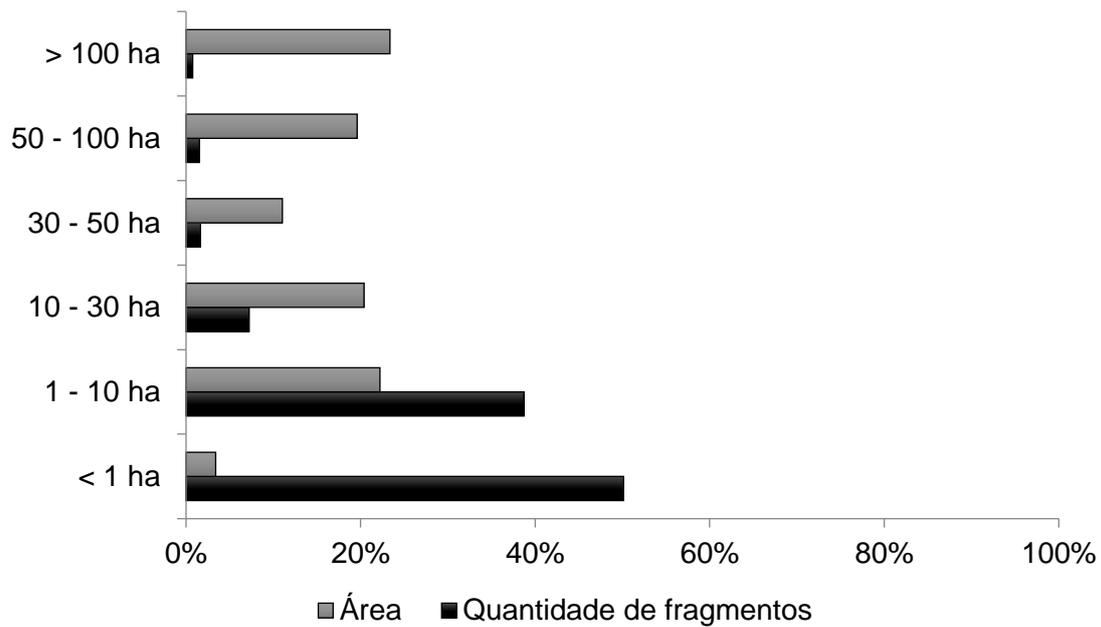


Figura 18 – Densidade de área central e índice de fragmentação para a subclasse de vegetação arbórea por classe de tamanho

A métrica porcentagem de vegetação arbórea em faixas de distância do fragmento foco, apresentado na Tabela 6 mostrou que o melhor cenário da área de estudo encontra-se em uma faixa de distância de 1.000 metros. Neste cenário o percentual de vegetação arbórea é de 26%, o maior apresentado entre as faixas, assim como apresenta o maior tamanho médio de fragmentos (8,87 ha). A quantidade de manchas de vegetação arbórea apresenta um grande salto da faixa de 1.000 m para 5.000, com um aumento de 138 manchas.

Tabela 6 – Percentual de vegetação arbórea, quantidade de fragmentos e tamanho médio das manchas ao longo das faixas de distância do fragmento foco

Faixas de distância	Percentual de vegetação arbórea	Quantidade de manchas	Tamanho médio (ha)
50 m	19%	1	3,83
200 m	18%	2	4,95
500 m	23%	11	3,39
1.000 m	26%	14	8,87
5.000 m	14%	152	7,94
10.000 m	14%	788	5,94

Os efeitos de borda propostos mostraram que ao considerar 30 m, 50 m e 100 m, a área dos fragmentos constituída de borda compreende, respectivamente, 63%, 79% e 93% da área total de vegetação arbórea. Dessa forma os valores de área núcleo (vegetação resultante) são de 37%, 21% e 7% para as classes de borda respectivamente. Ao eliminar as bordas a quantidade de fragmentos (núcleos) também é alterada, ao considerar a eliminação de 30 m de borda surgiriam 1.122 áreas núcleos, em 50 m cairia para 524 núcleos e em 100 m o número passaria para apenas 99 manchas. A representatividade na paisagem também é alterada, sem considerar o efeito de borda o percentual de vegetação arbórea é de 14%, ao aplicar 30 m a vegetação passa a representar apenas 5% da paisagem, no cenário de 50 m apenas 3% e ao ser restritivo, no cenário de 100m, a representatividade passa a ser de 1%.

Os índices de proximidade média para as faixas de distância de 50 m, 200 m, 500 m e 1.000 m foram de 558, 596, 600 e 601 respectivamente. As maiores variações do índice são na comparação entre as escalas de 50 m – 200 m, 50 m – 500 m e 50 m – 1.000 m apresentando variação de 38, 42 e 43 respectivamente. As classes de distância maiores apresentaram baixa diferença entre si, não ultrapassando variação de 5. O resultado reflete que em uma escala menor é possível encontrar fragmentos maiores com distâncias mais curtas entre si, ao passo que ao aumentar a faixa de busca surgem fragmentos menores e mais espaçados, o que reduz a variação entre o índice nas faixas.

A distância média entre os fragmentos presentes na paisagem de estudo foi de 56 m, sendo o fragmento mais isolado distante em 715 m de outro fragmento. O desvio padrão da métrica foi de 73 m, o que indica que existe uma grande variação de distanciamento entre os fragmentos. A variação pode ser constatada no histograma da Figura 19, nota-se que a maioria dos fragmentos apresentaram distância entre 1 e 50 m, ao passo que poucos fragmentos estão distantes mais de 100 m entre si, havendo uma redução exponencial no número de fragmentos a medida que as classes de distância aumentam.

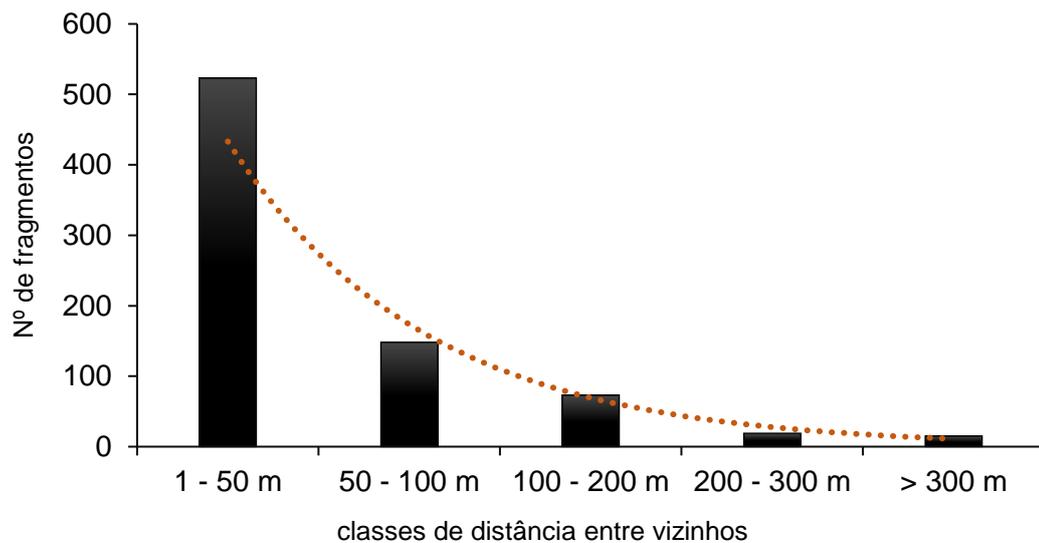


Figura 19 - Histograma de distância da métrica vizinho mais próximo

O índice de conectividade da paisagem (Figura 20) mostra a fragilidade entre as conexões estruturais da área de estudo. A conectividade é inferior a 1% quando o raio de busca é menor do que 500 m, havendo um salto para 20% em uma escala de 1.000 m na paisagem. Considerando a área total de mapeamento o percentual conectado da vegetação arbórea é de 57%.

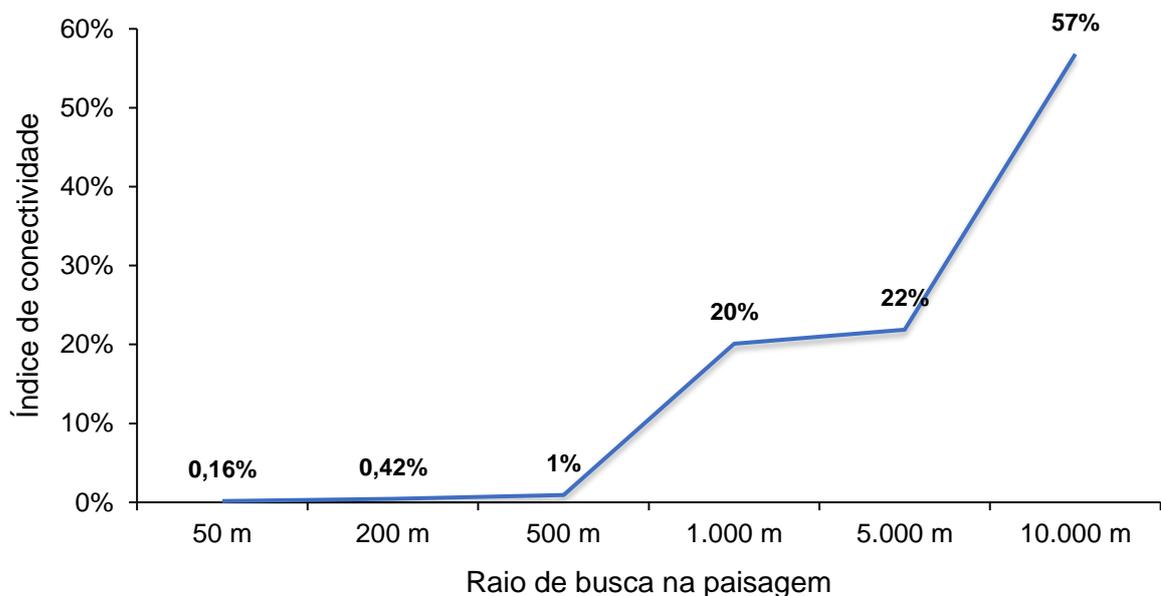


Figura 20 - Índice de conectividade da paisagem considerando diferentes raios de busca

Por outro lado, a conectividade funcional da paisagem mostra que ela pode ser altamente adequada para espécies com capacidade de deslocamento a partir de 500

m, quando o percentual de vegetação arbórea conectada funcionalmente é de 99%. Para espécies com capacidade mais baixa de deslocamento, como por exemplo a 50, a conectividade funcional é de cerca de 30%. O gráfico da Figura 21 mostra que a conectividade funcional aumenta rapidamente conforme o aumento da capacidade de deslocamento.

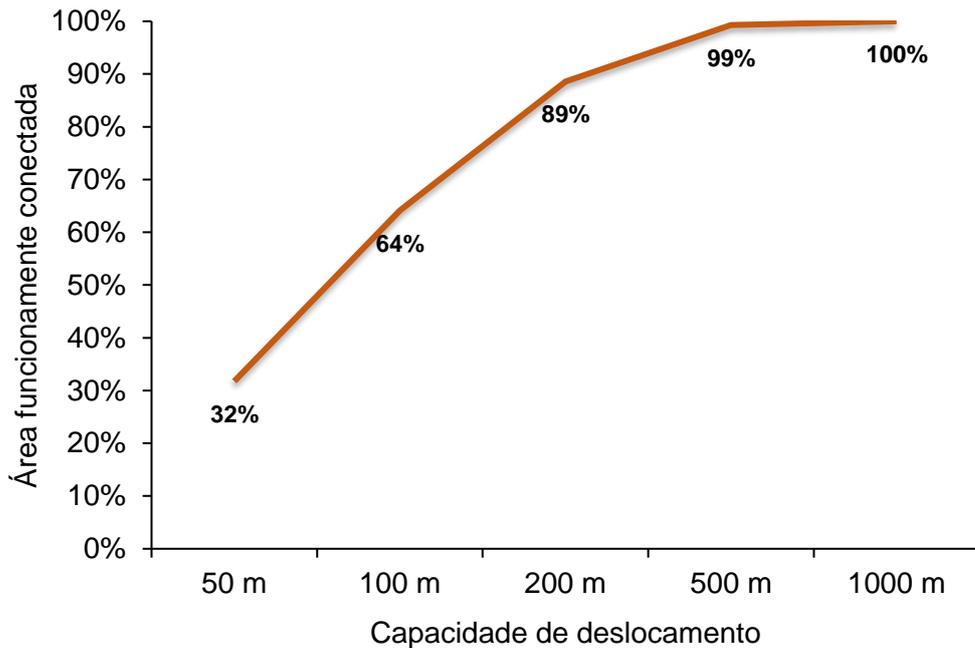


Figura 21 – Conectividade funcional da paisagem para escalas hipotéticas de deslocamento

5.3 Simulação e proposta de corredores florestais

5.3.1 Simulações de rotas de menor custo

As primeiras simulações para os corredores florestais resultaram em 9.900 rotas de corredores para as seis espécies da fauna. A influência dos parâmetros e valores de métodos de simulação apresentaram caminhos semelhantes e variações visuais nas estruturas das rotas resultantes (Figura 22 e Figura 23). Para as espécies dos dois grupos, aves e mamíferos, as rotas simuladas apresentaram muitas semelhanças entre os métodos *MP* e *MLmin* e entre os métodos *MLavg* e *MLmax* quando comparados na escala mais restritiva, de 50 m. Com o aumento da escala ocorreram maiores variações entre os métodos, em 250 m e 500m os métodos *MP* e *MLmin* apresentaram falhas em algumas rotas para os dois grupos de espécies.

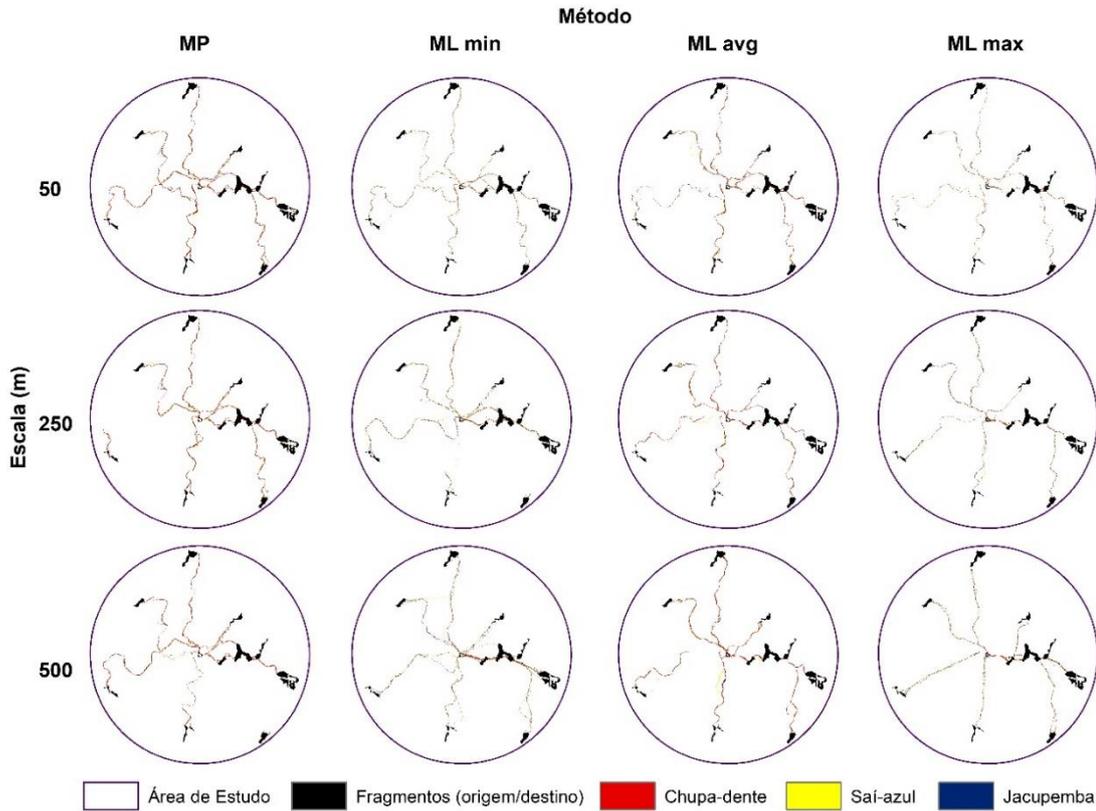


Figura 22 - Rotas resultantes da simulação de corredores para espécies do grupo de aves, comparando os métodos de entrada com as escalas de deslocamento

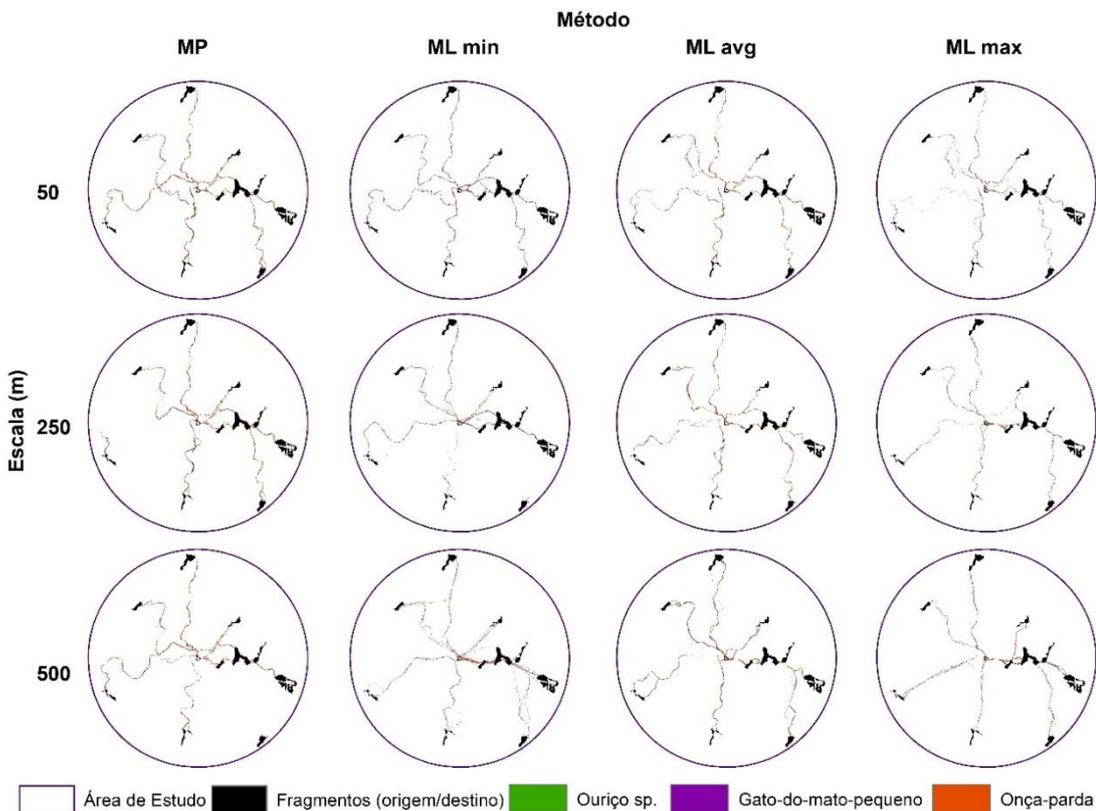


Figura 23 - Rotas resultantes da simulação de corredores para espécies do grupo de mamíferos, comparando os métodos de entrada com as escalas de deslocamento

Os métodos *MLmin* e *MLmax* foram os métodos que apresentam maiores alterações nas rotas com o aumento da escala, com o surgimento de pequenas rotas pouco simuladas que acabam seguindo um caminho retilíneo até o fragmento alvo. Para o *MLmax* essa percepção é muito maior ao passo que a escala aumenta, sendo que em 500 m as rotas simuladas são praticamente linhas retas entre o ponto de saída e chegada. O método *MLavg* apresentou menor número de falhas e pouca variação em rotas com o aumento da escala para os dois grupos de espécies.

As falhas e qualidade das rotas simuladas são muito importantes para tomada de decisão na construção dos corredores. Outro fator fundamental é o custo gerado pela simulação dentro dos parâmetros e métodos. Para as simulações iniciais observa-se na Figura 24 que os métodos *MLmin* e *MLmax* apresentam os maiores custos médios conforme a escala de simulação aumenta, apresentando uma maior variação. Os métodos *MP* e *MLavg*, por sua vez, apresentaram custo médio menores, sendo que o *MP* apresentou redução do custo médio com o aumento da escala, já o *MLavg* apresentou o menor custo médio na escala de 50 m, comparado aos demais métodos, e teve um leve aumento com o aumento da escala.

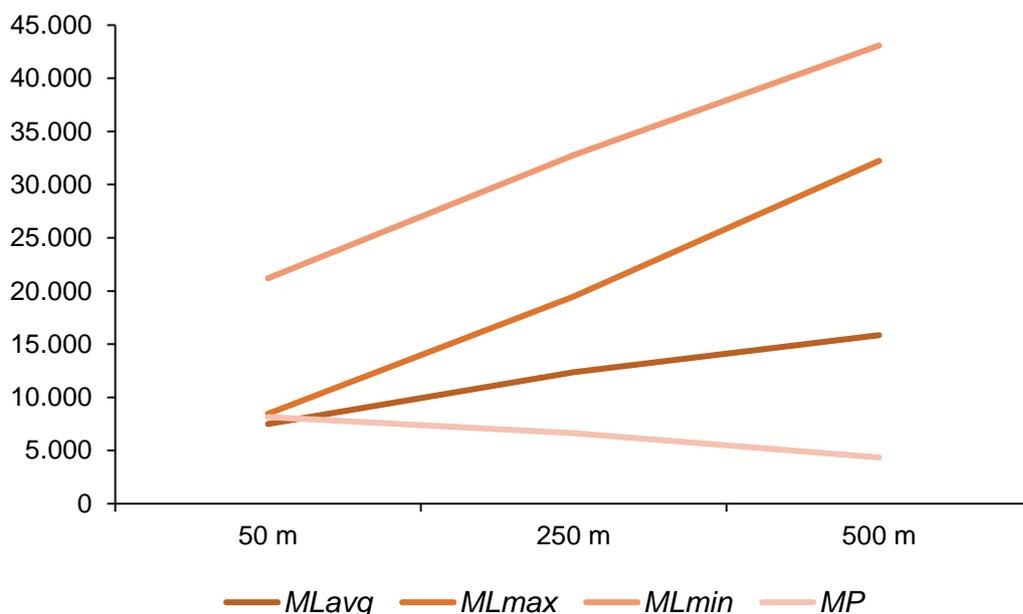


Figura 24 – Custo médio das rotas para os métodos simulados considerando a variação da escala

Os resultados mostram que o método *MLavg* apresentou o melhor desempenho de simulações, sendo que em uma escala mais restritiva de 50 m a qualidade das

rotas simuladas é alta, não sendo observadas falhas de simulação, além de apresentar custo médio mais baixo para os métodos que consideram a influência da paisagem. A sobreposição das rotas para as três espécies dentro de cada grupo mostra também uma preferência na simulação das rotas (Figura 25 e Figura 26).

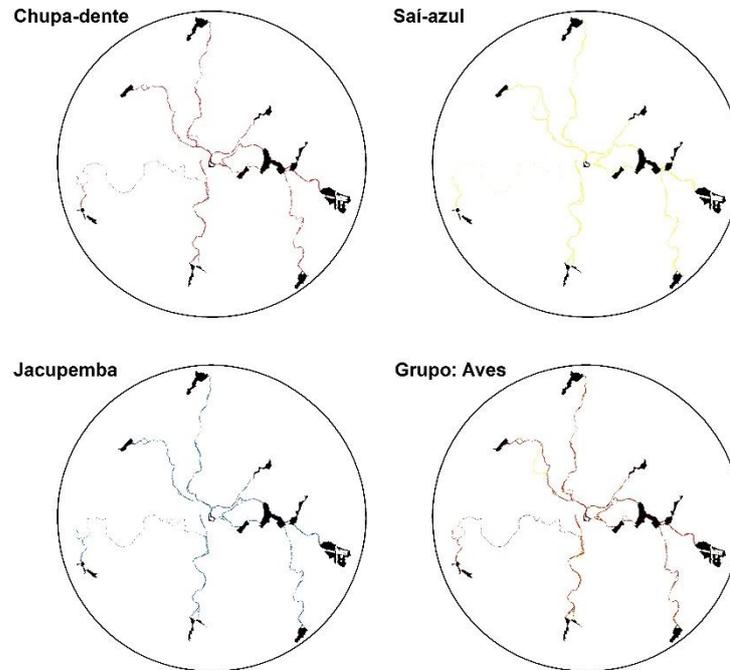


Figura 25 – Resultado das simulações de rotas para o método *MLavg* na escala de 50 m para espécies do grupo de aves

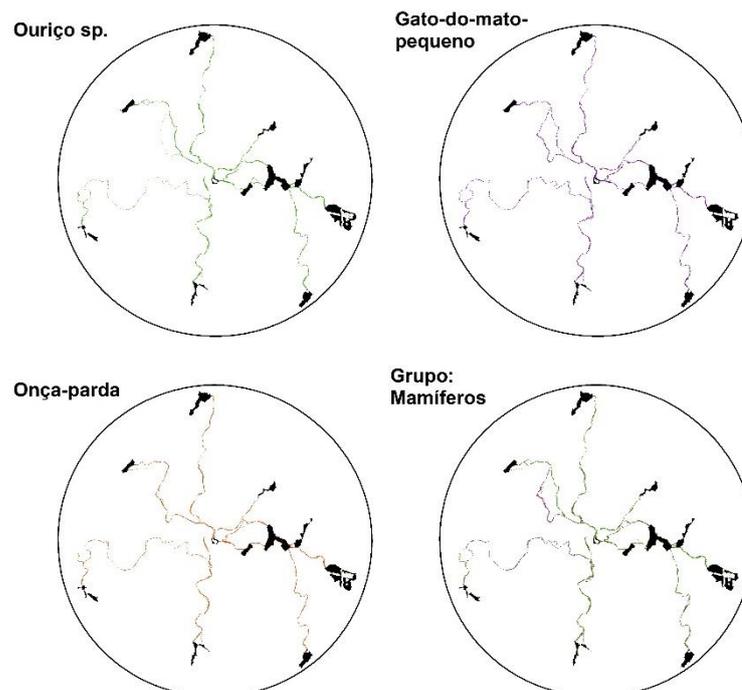


Figura 26 – Resultado das simulações de rotas para o método *MLavg* na escala de 50 m para espécies do grupo de mamíferos

A simulação do corredor único para todas as espécies do grupo de fauna, utilizando como método o *MLavg* e a escala de 50 metros, resultou em 3.300 rotas. O custo de simulação variou de 208 a 26.873, sendo o custo médio de 6.110. Vale ressaltar que o aumento do custo médio para a simulação se deu devido a mudança nos valores de resistência resultante da soma de todos os mapas de custo das espécies. Com a soma era esperado que a média de custo aumentasse em até 6 vezes comparado as primeiras simulações.

Os resultados das simulações apresentaram 21 trajetos com maior repetições, sendo que para alguns fragmentos foram apresentadas mais de uma opção de rotas. O comprimento das ligações variou de 127,86 a 20.586,74 metros e suas áreas em função da faixa de 100 metros de largura dos corredores variou de 2,06 a 205,28 ha (Tabela 7). Os trajetos e faixas de corredores com 100 metros de largura estão apresentados na Figura 27 e foram nomeados de A à U para facilitar a comparação de suas dimensões e viabilidade quanto ao uso do solo.

Tabela 7 – Resultados de comprimento das rotas resultantes da simulação e área da faixa de corredores florestais

Rota	Comprimento (m)	Área (ha)
A	1.915,77	19,93
B	4.111,45	41,84
C	1.038,78	11,16
D	351,69	4,30
E	2.672,67	27,49
F	3.034,23	31,11
G	127,86	2,06
H	11.534,70	116,03
I	5.153,69	52,11
J	4.643,25	47,15
K	11.521,67	115,89
L	9.234,70	93,05
M	11.033,87	111,04
N	8.621,43	85,41
O	13.587,81	136,52
P	20.586,74	205,28
Q	10.141,19	101,72
R	7.094,80	71,59
S	11.642,71	117,14
T	9.051,57	91,24
U	14.995,57	150,59

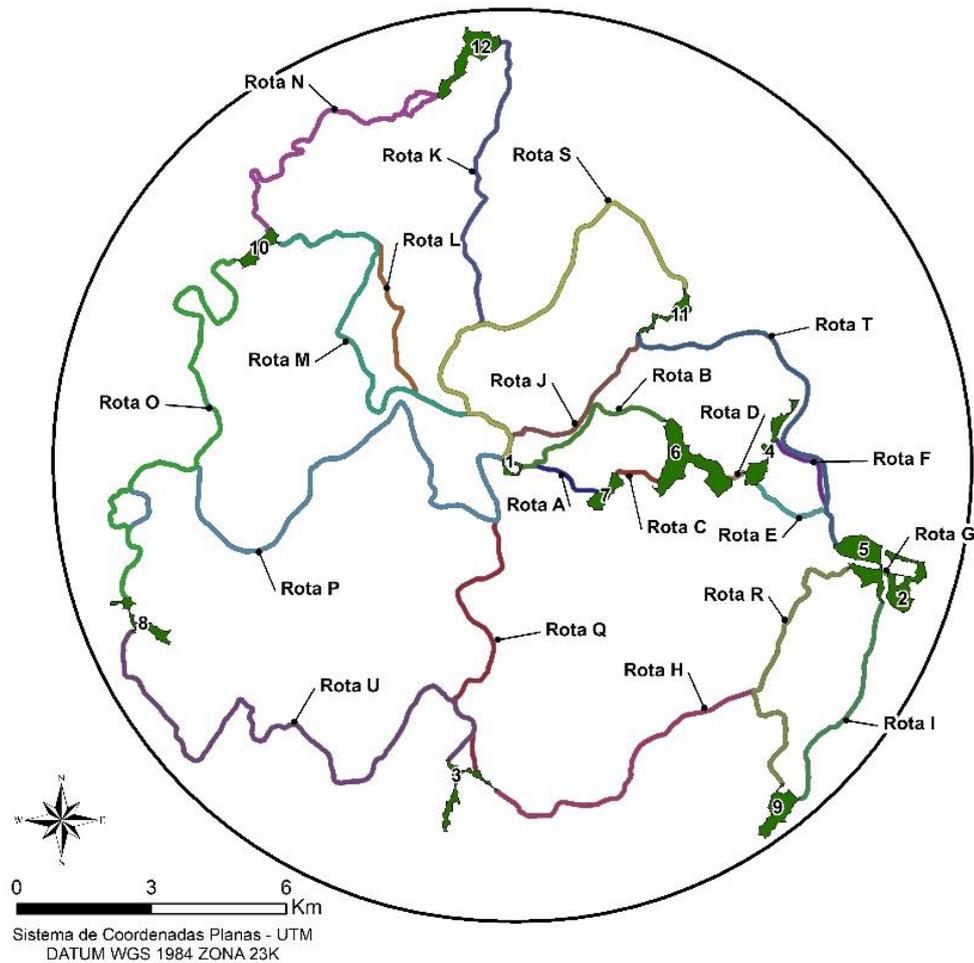


Figura 27 – Principais opções de trajetos com corredores de 100 metros de largura entre os fragmentos selecionados como relevante na paisagem

A análise do uso e cobertura do solo dentro de cada trajeto proposto está apresentado no Anexo A e mostra que nem todas as opções de trajetos resultante apresentam viabilidade para sua implantação. Com exceção dos corredores D e E, todos os outros apresentaram percentual de ocupação de áreas antropizadas, como área edificada, área urbana e área industrial que são de difícil intervenção na hora de implantação dos corredores.

As rotas B e C que interligam o fragmento 6 apresentaram conflito de uso de áreas antrópicas. A rota B apresentou 1,72 ha (4,11% da rota) em áreas edificadas, urbanas, industrial e passagem por estradas ou rodovias, já a rota C apresentou 1,21 ha (10,83% da rota) de conflito com área edificada e passagem por estradas ou rodovias. Neste caso optou-se por manter a rota C, pois ela apresentou menor conflito em área quando comparado ao trajeto B.

A rota K comparada a rota N, que interligam o fragmento 12, apresentou 7,23 ha (6,24 %) de conflito com área edificada, industrial e estradas ou rodovias, já a rota

N apresentou conflito de 0,29 ha (menos de 0,01% da rota) com a área edificada. Sendo assim optou-se pela exclusão da rota K.

A rotas L e M interligam o fragmento 1 ao 10, no comparativo a rota L apresenta 10,09 ha (10,83% da rota) de conflito com área edificada, urbana e industrial e atravessa estradas ou rodovias em mais de um ponto, já a rota M apresentou conflito de 7,82 ha (7,04% da rota) nas mesmas condições que a anterior. Apesar de existir outras rotas de acesso ao fragmento 10, optou-se por descartar a rota L e manter a M para contribuir em uma maior conectividade entre os fragmentos.

As rotas H e a Q ligam o fragmento 3 de diferentes pontos de partida, ao realizar a comparação a rota H apresenta 11,69 ha (10% da rota) de conflito com áreas edificadas, urbanas e estradas ou rodovias, já a rota Q apresenta 20 ha (19,69% da rota) de com a área urbana, industrial e estradas ou rodovias, sendo o dobro da rota H. Sendo assim optou-se pela exclusão da Rota Q.

As rotas O e U fazem ligação com o fragmento 8, o comparativo mostra que a rota O apresenta 12 ha (8,88% da rota) de conflito com áreas edificadas, urbanas e industriais, além de passagem por estradas ou rodovias, já a rota U apresenta 14,80 ha (9,83% da rota) de conflito com área edificada, urbana e passagem por estradas ou rodovias. Dessa forma optou-se por manter a rota O e descartar a U.

As rotas I e R interligam o fragmento 9, sendo que a I apresentou 1,66 ha (3,18% da rota) de conflito com áreas antrópicas, enquanto a rota R apresentou 2,15 ha (0,03% da rota) de conflito. Apesar da rota R apresentar maior conflito optou-se por manter as duas rotas, pois a área de conflito da rota R coincide com as áreas de conflito da rota H que será mantida, sendo assim as intervenções realizadas para favorecer a rota H também irão favorecer a R, dando a possibilidade de maiores rotas de ligação.

As rotas E, F e T apresentaram ligações para o fragmento 5, sendo que a rota E não apresenta conflito com áreas antrópicas, a rota F apenas 0,08 ha com área edificada e a T apenas uma passagem por estrada ou rodovias, sendo viável manter as três rotas. As rotas J e S apresentam pequenos conflitos que podem ser resolvidos ao adaptar a rota M que já foi mantida, sendo assim optou-se por manter as duas. A rota G é a única que liga o fragmento 5 e apresenta apenas um conflito com estrada ou rodovia.

5.3.2 Proposta de corredores florestais

Com a exclusão das rotas que apresentam maior conflito de uso com áreas antrópicas, foram mantidos 16 trajetos de corredores, os quais estão apresentados na Figura 28. Os dados da Figura 29 mostram os valores de área e percentual de uso e cobertura do solo dentro de cada trajeto mantido. Observa-se que apenas os corredores C e N apresentam área de vegetação arbórea inferior a 50% da área de ocupação do corredor. As áreas que irão precisar de maior intervenção para a composição dos corredores são as de Culturas anuais (plantios de cana-de-açúcar) seguidos de áreas de vegetação gramínea (áreas ociosas).

Os dados da Figura 29 não são ideais para analisar o quantitativo de áreas que precisarão de intervenção, pois alguns dos trajetos apresentam áreas em comum. O comparativo ideal está apresentado na Tabela 8, onde as duplicidades foram eliminadas.

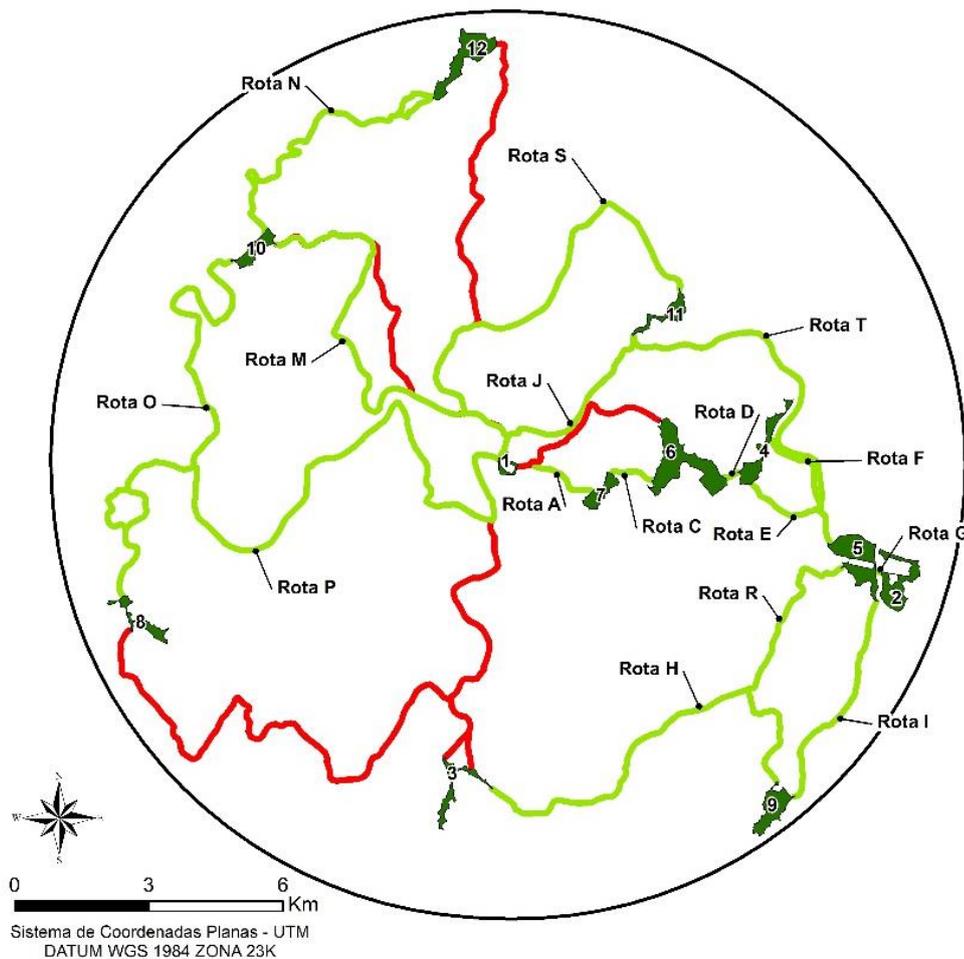


Figura 28 - Rotas de corredores florestais, em verde os corredores que apresentaram maior viabilidade e em vermelho os que foram considerados inviáveis

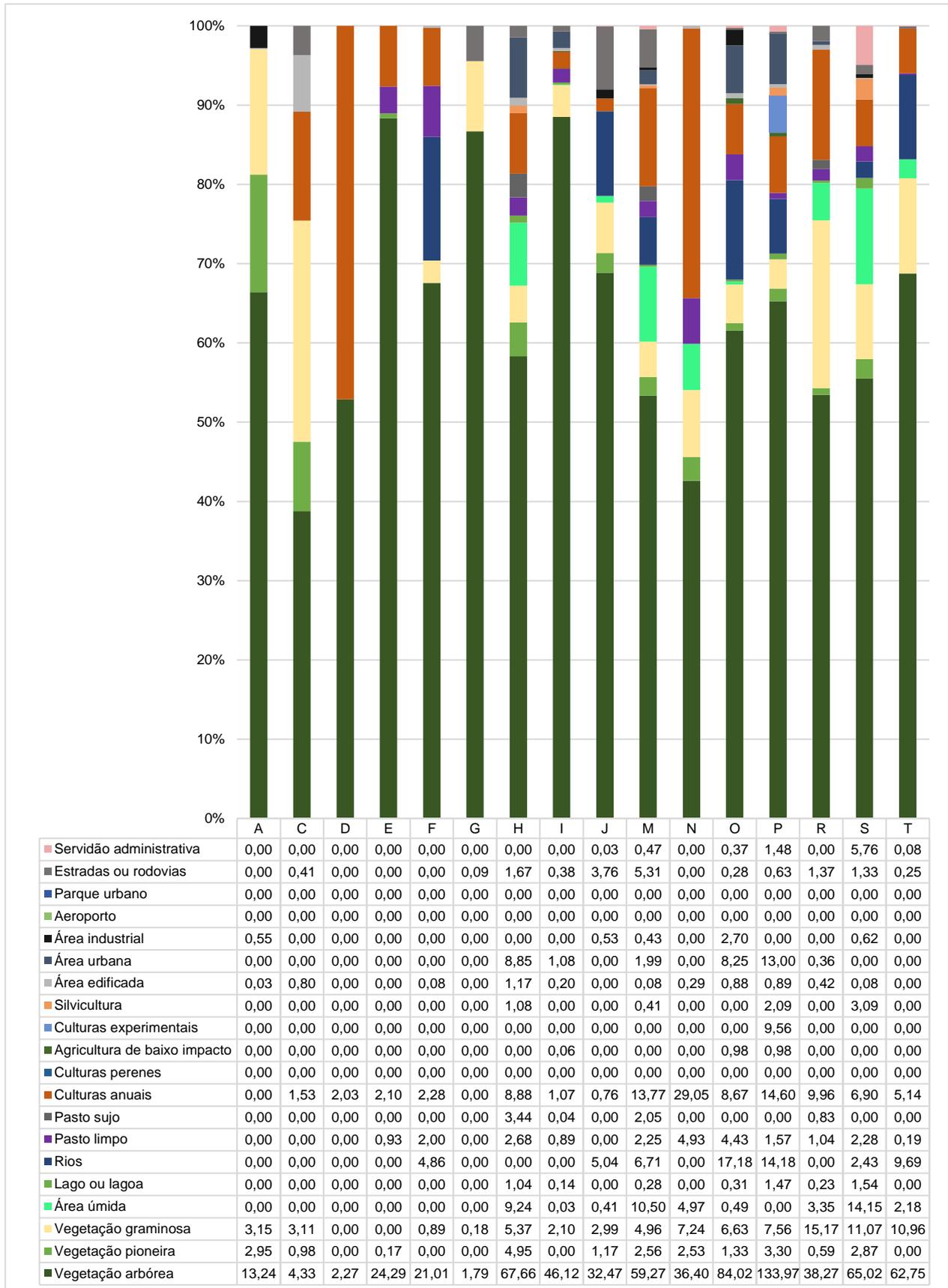


Figura 29 – Percentual e áreas de uso e cobertura do solo dentro de cada trajeto de corredor selecionado

Tabela 8 – Área e percentual de uso e cobertura do solo presente nos corredores selecionados

Classe	Subclasse	Área (ha)	%
Cobertura vegetal	Vegetação arbórea	802,67	59,33%
	Vegetação pioneira	35,12	2,60%
	Vegetação gramínea	105,11	7,77%
	Área úmida	49,20	3,64%
Corpos d'água	Lago ou lagoa	5,06	0,37%
	Rios	59,61	4,41%
Uso agropecuário	Pasto limpo	48,86	3,61%
	Pasto sujo	7,43	0,55%
	Culturas anuais	112,14	8,29%
	Culturas perenes	0,00	0,00%
	Agricultura de baixo impacto	3,83	0,28%
	Culturas experimentais	9,61	0,71%
	Silvicultura	7,49	0,55%
Uso antrópico	Área edificada	20,27	1,50%
	Área urbana	60,81	4,50%
	Área industrial	0,00	0,00%
	Aeroporto	0,00	0,00%
	Estradas ou rodovias	16,35	1,21%
	Servidão administrativa	8,25	0,61%
	Parque urbano	1,06	0,08%
Total		1.352,86	-

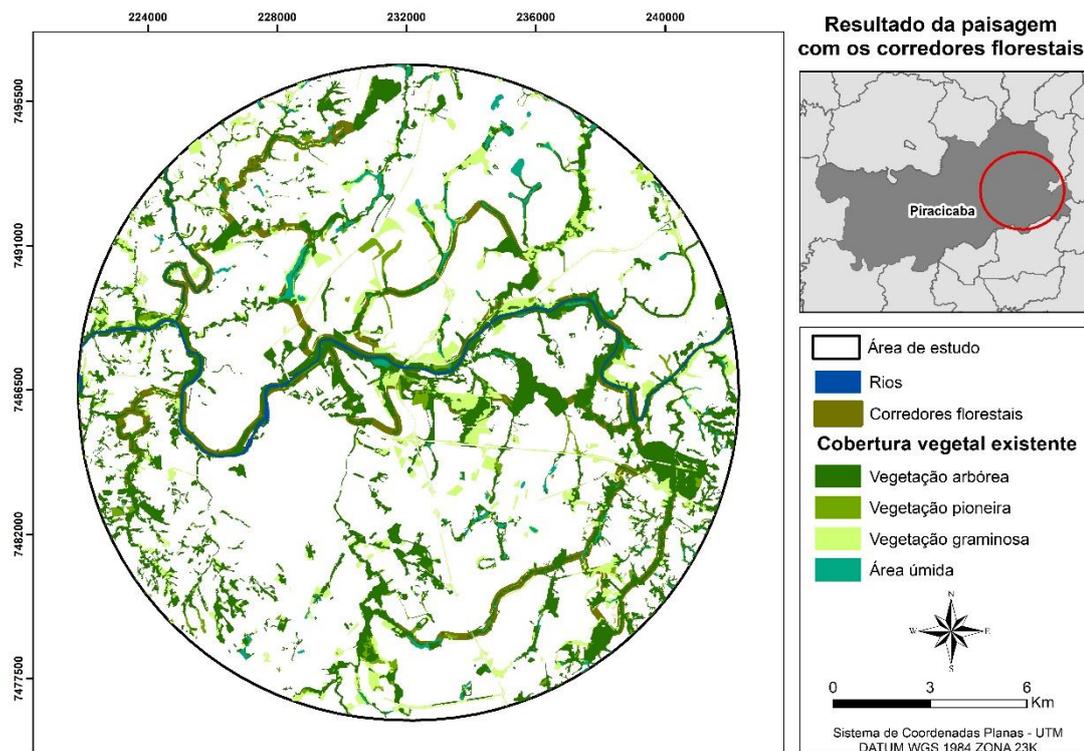


Figura 30 - Projeção da paisagem com a implantação dos corredores florestais

A forma como a paisagem pode ser favorecida estruturalmente está apresentada na Figura 30, que apresenta uma projeção de como a paisagem ficará com a implementação dos corredores florestais. Na figura os corredores interligam os fragmentos selecionados e em consequência ampliam a conectividade com todas as classes de cobertura vegetal.

6. DISCUSSÃO

O mapeamento de uso e cobertura do solo resultou em uma caracterização detalhada da área, apresentando um panorama da matriz que constitui a paisagem em estudo. A área em questão apresentou cerca de 48% de cobertura de uso agropecuário, sendo que cerca de 80% são de culturas anuais, representada integralmente pela cultura de cana-de-açúcar, e seguido de cerca de 15% de áreas de pastagem. Os dados são condizentes com o atlas rural de Piracicaba, que aponta que cerca de 45% da área do município é destinado ao cultivo de cana-de-açúcar e 25% de áreas destinadas a pastagem (com maior ocupação na região oeste) (BARRETO et al., 2006). A extensa ocupação de uso para cultivo de cana confere a cidade uma grande importância regional (BARRETO et al. 2006).

As áreas de uso antrópico são majoritariamente compostas pela área urbana, que junto com áreas edificadas do meio rural e as áreas industriais somam cerca de 28% da área mapeada. Os corpos d'água somam cerca de 1% da paisagem e são representados por pequenos lagos e lagoas e pelos Rios Piracicaba e Corumbataí, que juntos representam 0,78% da classe. As áreas de cobertura vegetal somam apenas 21,51% da paisagem. Segundo Barreto et al. (2006) a vegetação de Piracicaba é caracterizada por áreas de remanescentes de florestas nativa extremamente antropizadas e áreas em diversos estados de regeneração que somam cerca de 20% da área do município.

A caracterização da cobertura vegetal mostra que cerca de 66% é composta por vegetação arbórea, o que representa 14% da paisagem. Essa cobertura constitui a mais importante para a paisagem, pois representa as áreas florestais de menor nível de degradação. Mesmo não se tendo conhecimento sobre os componentes presente em seu extrato, áreas desse tipo apresentam maior potencial de resiliência, sendo fundamentais na paisagem por auxiliar na resposta de fragmentos que estão em estado intermediário de degradação (ASSIS et al., 20119). As áreas de vegetação pioneira, que representam cerca de 1% da paisagem, podem ser favorecidas por

esses fragmentos, recebendo as condições necessárias para a regeneração através da chegada de propágulos que permitem a continuidade do processo sucessional (ROZZA; FARAH; RODRIGUES, 2007). Outras áreas que podem ser favorecidas são as de vegetação graminosa, que representam 5% da paisagem e são compostas por áreas ociosas com baixo estado de regeneração. Essas áreas fazem parte principalmente de Áreas de Preservação Permanente que foram delimitadas para se adequar a legislação ambiental, sendo consideradas como áreas prioritárias para a restauração florestal e ecológica (BARBOZA, 2007).

Além da baixa cobertura da vegetação, a paisagem de estudo é altamente fragmentada, composta em sua maioria por pequenas manchas. Metade dos fragmentos encontrados são menores que 1 hectare e somam apenas 3% da área total de vegetação arbórea, outros 22% da cobertura são compostos por fragmentos entre 1 e 10 hectares, representando 39% dos fragmentos. Menos de 1% das manchas apresentam área maior do que 100 hectares. Ainda que pequenos, esses fragmentos podem ser considerados importantes na paisagem, apesar de não fornecerem recursos para permanência a longo prazo das espécies, são considerados como *stepping stones*, ou trampolins ecológicos, que correspondem a manchas muito pequenas de *habitat* que contribuem efetivamente para o aumento da conectividade (ASSIS et al., 2019).

A cobertura vegetal responde muito sobre as interações que ocorrem na paisagem. A fragmentação cria empecilhos para a dispersão da fauna entre os fragmentos, já que a permeabilidade das espécies depende da habilidade individual de enfrentar barreiras (VALERI e SENÔ, 2004). Sendo assim, o percentual de cobertura e relação tamanho/quantidade de fragmentos é muito importante na paisagem. Metzger (2002) baseado na teoria da percolação, aponta que espécies restritivas precisam de uma paisagem com cerca de 59% de cobertura vegetal, tornando o ambiente favorável a suportar um grande número de espécies e reduzir o risco de extinção. A área de estudo apresenta cobertura de vegetação arbórea de 14%, muito abaixo do sugerido como ideal por Metzger.

Os resultados de proporção de vegetação nativa ao longo de faixas de distância da área em processo de restauração, mostra que existe uma variação desse percentual ao longo da paisagem. Ainda assim em nenhuma das faixas o percentual de vegetação ultrapassa 26% e o tamanho médio das manchas varia entre 3,39 e 8,87 ha. Essa variação entre percentuais de vegetação arbórea entre os cenários pode

implicar em perda de diversidade e riqueza de espécies na paisagem, já que em paisagens originalmente florestais, um limiar de 30% de cobertura vegetal representa uma grande perda de habitat (MARTENSEN et al., 2008; METZGER et al., 2009). Observa-se ainda que com este cenário dificilmente uma espécie restritiva que habita a faixa de 50 m conseguirá se deslocar até a faixa mais periférica, ainda assim essa é uma afirmação empírica, uma vez que as dificuldades encontradas em atravessar a matriz de uso do solo podem ser variadas de acordo com a permeabilidade e a percepção da espécie perante a paisagem (LIMA e ZOLLNER, 1996; ZOLLNER, 2000).

Além da dificuldade de se locomover em uma paisagem fragmentada, a permanência das espécies pode ser limitada pela qualidade do fragmento em que ela busca abrigo. O efeito de borda causa aumento das perturbações destes habitats sendo que a influência pode variar de acordo com a espécie e os processos dos quais ela depende (METZGER, 2010). Na área de estudo esse efeito deve ser levado em consideração, já que para os efeitos de borda simulados, todos mostram uma redução drástica da área núcleo da vegetação. Ao considerar um efeito de 30 m de bordadura a paisagem se torna ainda mais fragmentada, gerando pequenos núcleos dentro da paisagem. Ao passo que a simulação se torna mais restritiva a paisagem passa a ser formada basicamente por fragmentos compostos apenas por borda.

Os dados que podem responder como a estrutura da paisagem auxilia na movimentação dos organismos, mitigando os impactos causados pela fragmentação e os efeitos ocasionados pelo contato entre o fragmento e a matriz são as métricas que medem a distância e/ou proximidade entre os fragmentos (ASSIS et al., 2019). Os resultados indicam que em faixas mais próximas da área em processo de restauração (até 50 m) a proximidade média dos fragmentos é maior, sendo que ao ampliar a faixa de 200 até 10.000 m o índice aumenta, mas não varia entre as classes, indicando que a proximidade entre os fragmentos é pouco alterada. Esse fato pode estar associado a proximidade da área em processo de restauração com as áreas de APP do Rio Piracicaba e de áreas verdes da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ/USP), sendo assim a soma das áreas dos fragmentos se tornam maiores e a distância entre eles menores, fazendo com que a relação reduza o valor do índice (McGARIGAL e ENE, 2015). O contrário ocorre ao adicionar fragmentos menores e mais distantes ao ampliar a faixa na paisagem.

A distância média entre os fragmentos vizinhos mostra que a maioria das manchas estão em média 56 m umas das outras, sendo que 523 fragmentos estão distantes em menos de 50 m entre si. Ainda assim o desvio padrão da distância entre os fragmentos é de 73 m, essa alta variação está associada aos fragmentos que, mesmo que poucos, estão muito distantes uns dos outros, podendo chegar à distância de até 715 m. As distâncias menores podem favorecer a movimentação dos organismos entre as manchas de vegetação, ainda assim a matriz é um dos fatores determinantes na capacidade de deslocamento das espécies, sendo que a resposta a essa métrica varia de acordo com a capacidade de permeabilidade e percepção de cada espécie (ASSIS et al., 2019).

Ainda que a distância média entre os fragmentos aparente ser baixa, o índice de conectividade da paisagem revela que a área de estudo é frágil em conexões. Em uma faixa de até 500 metros, apenas 1% da paisagem apresenta conectividade estrutural, sendo que o valor aumenta conforme se aumenta o raio de distância até um máximo de 57%. Pode se inferir que o baixo índice de conectividade para as faixas mais próximas da área em processo de restauração é devido a alta proximidade com a área urbana e com o Rio Piracicaba, que apesar de natural representa uma barreira por dividir a área de estudo ao meio, tornando baixa as opções de junção quando comparadas a todo raio de busca. Ainda que importante, avaliar a paisagem apenas pelas relações físicas entre os fragmentos, pode não ser adequado, pois ao se basear somente na estrutura se ignora a resposta dos organismos em função da paisagem (TAYLOR et al., 1993).

Sendo assim a conectividade funcional introduz a análise os processos ecológicos, mesclando a estrutura dos elementos com as respostas comportamentais das espécies (GOODWIN, 2003). Desta forma a paisagem em estudo apresenta resultados mais agradáveis, com uma conectividade funcional de 32% ao considerar espécies mais restritiva (deslocamento de 50 m) e um cenário ainda melhor para espécies generalistas e com boa capacidade de deslocamento, apresentando cerca de 100% da paisagem conectada para espécies que se deslocam acima de 500 m entre fragmentos. Ainda assim a análise considera apenas a capacidade de deslocamento das espécies de forma empírica, pois como discutido anteriormente, a matriz exerce uma forte influência sobre a permeabilidade e a maneira como cada espécie “percebe” as matrizes na paisagem (ASSIS et al., 2019).

A caracterização ecológica, através do mapeamento de uso e cobertura do solo e das métricas da paisagem foram fundamentais para a análise dos parâmetros e métodos de entrada do *LSCorridors*. A permeabilidade da matriz se mostrou mais influenciada pela escala do que pela resistência das espécies, fazendo com que as linhas resultantes na simulação variassem em função do método de entrada. Isso se deve ao fato de que, à medida que a escala aumenta, o valor da resistência de cada *pixel* é influenciado por um número maior de *pixels* ao redor, aumentando a homogeneidade da paisagem do mapa de resistência final (RIBEIRO et al, 2017c). Sendo assim a seleção para esse parâmetro se baseou no fato de que uma escala menos ampla é capaz de gerar rotas que favorecem espécies mais restritivas e ao mesmo tempo espécies mais generalistas, sendo possível beneficiar um número maior de espécies, justificando a escolha do parâmetro em uma escala de 50 m.

A variação das rotas simuladas dentro dos métodos de entrada, principalmente entre os métodos *MP* e *MLavg* em uma escala menos ampla (50m) foi baixa, já o custo nesta escala, se mostrou menor para o método *MLavg*. Apesar do método *MP* apresentar redução do custo médio ao ampliar a escala de simulação, ele não considera a paisagem, resultando em um valor baseado apenas no *pixel* de passagem. Entretanto o custo está associado ao favorecimento da espécie na paisagem, o que se torna limitado no método *MP*. Pinto et al., (2012) ressaltam que no contexto biológico os custos se relacionam com o movimento da espécie, levando em consideração que a paisagem pode inferir sobre riscos de predação, qualidade do remanescente e gasto de energia. Dessa forma o caminho de menor custo indica as áreas da paisagem que existe maior probabilidade daquela determinada espécie usar no deslocamento de um ponto a outro, sendo importante que o cálculo do custo não seja limitado a resistência de um único *pixel* na linha simulada. Sendo assim o método que apresentou melhor desempenho considerando a paisagem foi o *MLavg* em uma escala de 50 m.

As simulações do corredor único resultaram em maiores opções de trajetos para as áreas a serem conectadas ao fragmento em processo de restauração. Mesmo com a acurácia da escolha dos parâmetros e método de entrada, era esperado que ao delimitar a faixa de corredores haveria conflitos de uso do solo nas rotas simuladas. A maior variação das rotas deu a possibilidade de seleção das que apresentaram os menores conflitos e maior probabilidade de sucesso na implantação. A análise minuciosa foi útil para a exclusão dos trajetos que apresentaram maiores conflitos com

áreas antropizadas, principalmente áreas edificadas, de uso urbano e industrial. Uma vez que essas áreas são consolidadas pelo Macrozoneamento Urbano do Município de Piracicaba, previsto na lei complementar 394/2018 que rege o Plano Diretor em vigência na cidade. Os usos agropecuários também estão previstos na lei através do Macrozoneamento Rural, contudo não são providos de infraestrutura consolidada, permitindo alterações.

Dentro dos 16 corredores selecionados ainda há conflitos com áreas antropizadas, vale ressaltar que o método utilizado é remoto, ou seja por meio computacional, sendo uma análise prévia das opções existentes na paisagem que permeiam a viabilidade de rotas, sendo necessária uma avaliação posterior de campo, que pode resultar em ações para definir o melhor caminho final para passagem dos corredores. Ferrari et al. (2012), destacam que a delimitação de corredores por meio de geotecnologias deve ser usada somente para análises precedentes, sendo que o processo de estabelecimento de um corredor envolve variáveis, como a desapropriação de propriedades particulares, a promoção de mudanças de comportamento dos autores sociais envolvidos e outras questões socioeconômicas.

A análise de uso e ocupação do solo dentro das áreas escolhidas mostra que 7,20% (97,44 ha) da área de corredores correspondem a usos antrópicos de menor possibilidade de alterações (área edificada, área urbana, área industrial e estradas ou rodovias), sendo que a análise de campo se faz necessária para avaliar as possibilidades de redução da faixa do corredor nas proximidades com essas áreas, ou alteração do percurso visando desviar as rotas de forma a eliminar os conflitos. A classe de estradas ou rodovias representa cerca de 1% das áreas dentro dos corredores, sendo o uso mais preocupante do ponto de vista ecológico. Segundo Seiler e Heldin (2006), os atropelamentos da fauna silvestre passaram a ser a principal causa de mortalidade de animais, se tornando uma ameaça para biodiversidade. Segundo dados do Centro Brasileiro de Ecologia de Estradas (CBEE) 15 animais silvestres são atropelados por segundo nas estradas brasileira, sendo que o Estado de São Paulo é o maior responsável por morte de animais em estradas.

Ainda que preocupante na paisagem da área de estudo, é impossível criar corredores sem que eles passem por áreas de estradas ou rodovias. Sendo preciso a instalação de infraestruturas que auxiliem a fauna na travessia dessas barreiras em segurança. Juntamente com os corredores é necessário a criação de estruturas que conectem os ambientes e concomitantemente funcionem de modo apropriado

conforme a forma de locomoção de cada organismo (ABRA, 2012). Somados a essas estruturas, os corredores mesmo que passando por áreas de estradas e rodovias podem alavancar os benefícios na manutenção da biodiversidade (BEIER e NOSS, 1998).

As áreas de uso agropecuário representam 14% da área dos corredores (189,35 ha), sendo que a maior representatividade é pelas culturas anuais, com 8,29%, seguidos das áreas de pasto limpo, com 3,61%. Essas áreas são passíveis de serem restauradas para compor a vegetação dos corredores, conforme previsto no Artigo 2º Resolução Conama 09/96, que prevê que em áreas que sejam necessárias intervenções deverá ser realizada a recomposição florística com espécies nativas regionais.

Os corpos d'água representam 4,78% da área delimitada pelos corredores, sendo que os rios representam quase totalidade do percentual. Ferrari et al., (2012) ressaltam que os corpos d'água são áreas adequadas para compor corredores, pois além de serem áreas utilizadas para a dessedentação da fauna, ainda compõem as áreas de preservação permanente. Apesar de extremamente importante na composição dos corredores, é preciso uma verificação local para que as faixas sejam delimitadas às margens dos rios sendo que as duas margens devem entrar na composição do corredor como previsto no Parágrafo Único da Resolução Conama 09/96.

Das classes de cobertura presente na delimitação dos corredores, a cobertura vegetal representou 73,33% da área (992,10 ha), atestando a eficiência das simulações do *LSCorridors*. As áreas de vegetação arbórea representaram cerca de 59% da área, seguido de áreas de vegetação graminosa, com 7,77%. Vale ressaltar que as áreas de vegetação graminosa também necessitam de intervenção para compor as áreas dos corredores, sendo necessária a recomposição florística dessas áreas.

Como apresentado na Figura 30 a projeção da paisagem ao adicionar os corredores florestais, parece viabilizar o incremento das áreas de cobertura vegetal. Demonstrando que as ações são satisfatórias e serão de grande valia para melhorar a permeabilidade e permanência da fauna na região. A conectividade também poderá ser beneficiada com o aumento, mesmo que pequeno, da cobertura vegetal resultante das novas áreas presentes no corredor. A proposta pode ainda, mitigar o processo de degradação intenso das áreas de vegetação, principalmente para as menores

manchas. Sendo assim, os corredores podem acabar beneficiando na compensação da cobertura florestal na paisagem de modo a restabelecer a conectividade estrutural e funcional dos fragmentos (METZGER, 1998). Além disso, os resultados de caracterização ecológica da paisagem, demonstram a necessidade de serem criadas novas conexões na área de estudo, uma vez que a área apresenta baixa conectividade estrutural e funcional, principalmente para espécies mais restritivas. As relações da paisagem aqui retratadas vão de encontro a necessidade de ampliar os conceitos de fragmentação, permeabilidade dos organismos na matriz, corredores ecológicos e florestais e fluxo gênico, ampliando ações em áreas degradadas e sob a ótica da restauração (METZGER, 2000 e REIS et al., 2003).

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O panorama encontrado na área de estudo é de uma paisagem altamente fragmentada, composta por apenas 21% de cobertura vegetal, em baixo estado de conservação e diferentes níveis de regeneração, em meio a uma matriz de uso agropecuário, representada majoritariamente pela cultura de cana-de-açúcar, e de alta proximidade com áreas urbanas e industriais. Sendo que, a caracterização da paisagem demonstra que a cobertura de vegetação arbórea é composta por pequenas manchas com baixa representatividade na paisagem, não ultrapassando uma cobertura de 14% da área. Ainda assim, exercendo importante papel na conservação da biodiversidade por funcionar como trampolins ecológicos, principalmente para espécies generalistas.

A configuração ecológica demonstra que os fragmentos de vegetação arbórea estão distribuídos de formas distintas ao longo da paisagem de estudo, não ultrapassando um limiar de 26% de cobertura, sendo que a representatividade da cobertura se torna inferior ao se aplicar os efeitos causados pelo contato da matriz de uso com as bordas dos fragmentos, demonstrando que as manchas são constituídas majoritariamente de áreas sob efeito de borda, ou por pequenas áreas núcleos a depender do grau de intensidade das alterações causadas pelo entorno e das exigências dos organismos quanto ao habitat.

Essa configuração afeta diretamente a permeabilidade, dispersão e permanência das espécies da fauna e da flora no local. Já que a distância média entre os fragmentos demonstra que indivíduos de espécies mais dependentes do extrato arbóreo podem enfrentar dificuldades de locomoção em uma paisagem que

apresentou conexões estruturais frágeis, exigindo uma resposta comportamental maior dos organismos para que a funcionalidade da paisagem seja alavancada, ou seja, a paisagem exige que as espécies tenham uma alta plasticidade para que transitem entre os fragmentos.

Como alternativa a problemática, a identificação de rotas para passagem de corredores florestais realizadas através do *LSCorridors* se mostra de grande valia para alavancar a conexão da paisagem e permitir uma maior conectividade estrutural e funcional da paisagem, beneficiando principalmente espécies mais restritivas a locomoção em paisagens alteradas. A paisagem demonstra alto precedente para implantação de corredores, apresentando diversas áreas potenciais para serem interligadas, exigindo poucas intervenções para sanar conflitos de uso do solo.

A proposta de áreas de corredores florestais apresentada, projeta uma nova paisagem para a área de estudo, demonstrando que a criação das rotas de ligação entre a área em processo de restauração nas dependências do Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais e fragmentos potencialmente bem estruturados da região, pode beneficiar espécies mais restritivas, permitindo que elas tenham uma maior circulação pela paisagem, aumentando a taxa de recolonização em ambientes atualmente degradado ou com baixa diversidade.

Sendo assim, a caracterização e a análise em ecologia da paisagem para a área de estudo se mostraram de grande valia para a validação da proposta de corredores florestais na região. Enaltecendo a necessidade de conectar as áreas de fragmentos, que podem beneficiar não somente o fragmento em processo de restauração, mas também, a paisagem como um todo. Além disso, o estudo se torna fundamental como um precedente para estudos de campo que visem a implantação final de corredores florestais em Piracicaba - SP, uma vez que traz evidências da necessidade de maximizar a permeabilidade e permanência da fauna na região, gerando como consequência a retomada de processos ecológicos importantes das paisagens naturais.

8. REFERÊNCIAS

ABRA, F. D. **Monitoramento e avaliação das passagens inferiores de fauna presentes na rodovia SP-225 no município de Brotas, São Paulo**. São Paulo: Diss. Universidade de São Paulo, 2012.

ADRIAENSEN, F. *et al.* The application of “least-cost” modelling as a functional landscape model. **Landscape and Urban Planning**, v. 64, n. 4, p. 233–247, 15, 2003.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. Regiões hidrográficas. Disponível em: <<http://datageo.ambiente.sp.gov.br/geoportal/catalog/search/resource/details.page?uid=%7BDFA36A93-D2BC-4C18-A150-8F32D436BCEF%7D>>. Acesso em 18 de out 2019.

ALVARES, C. A. *et al.* Köppen’s climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.

AYRES, J.M.; FONSECA, G.A. DA; RYLANDS, A.B.; QUEIROZ, H.L.; PINTO, L.P.; MASTERSON, D.; CAVALCANTI, R.B. **Os corredores ecológicos das florestas tropicais do Brasil**. Belém: Sociedade Civil Mamirauá, 256p., 2005.

BARRETO, A. G. O. P.; SPAROVEK, G.; GIANNTTI, M. **Atlas Rural de Piracicaba**. Piracicaba: IPEF, 76 p., 2006.

BEIER, P.; NOSS, R. F. Do Habitat Corridors Provide Connectivity? **Conservation Biology**, v. 12, n. 6, p. 1241–1252, 1998.

BRANCALION, P. H. S. *et al.* Instrumentos legais podem contribuir para a restauração de florestas tropicais biodiversas. **Revista Arvore**, v. 34, n. 3, p. 455–470, 2010.

BRANCALION, P. H. S. *et al.* Biodiversity Persistence in Highly Human-Modified Tropical Landscapes Depends on Ecological Restoration. **Tropical Conservation Science**, v. 6, n. 6, p. 705–710, 2013.

BRANCALION, P. H. S. *et al.* Análise crítica da Lei de Proteção da Vegetação Nativa (2012), que substituiu o antigo Código Florestal: atualizações e ações em curso. **Natureza & Conservação**, v. 14, p. e1–e16, 2016.

BRASIL. Dispõe sobre o corte, a exploração e a supressão de vegetação primária ou nos estágios avançado e médio de regeneração da Mata Atlântica, e dá outras providências. Decreto N° 750, de 10 de fevereiro de 1993. Diário Oficial da União - Seção 1, p.1801, 1993.

CASA DA FLORESTA. **Relatório de Monitoramento de Flora e Fauna de uma Área em Processo de Restauração** – Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais. Piracicaba: Casa da Floresta, dez. 2014. 121p. (Relatório Técnico).

CALMON, M. *et al.* Emerging Threats and Opportunities for Large-Scale Ecological Restoration in the Atlantic Forest of Brazil. **Restoration Ecology**, v. 19, n. 2, p. 154–158, 2011.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. Dispõe sobre os corredores de vegetação entre remanescentes como área de trânsito para a fauna. Resolução n. 09, de 24 de outubro de 1996. Diário Oficial da União, n. 217, p. 23070, 1996.

DAMSCHEN, E. I. *et al.* Corridors increase plant species richness at large scales. **Science**, v. 313, n. 5791, p. 1284–1286, 1, 2006.

DÁRIO, F. R. **Influência de corredor florestal entre fragmentos da mata atlântica utilizando-se a avifauna como indicador ecológico**. Piracicaba: Diss. Universidade de São Paulo, 1999.

DIBARI, J. N. Evaluation of five landscape-level metrics for measuring the effects of urbanization on landscape structure: the case of Tucson, Arizona, USA. **Landscape and Urban Planning**, v. 79, n. 3–4, p. 308–313, 2, 2007.

DIDHAM, R. K.; LAWTON, J. H. Edge Structure Determines the Magnitude of Changes in Microclimate and Vegetation Structure in Tropical Forest Fragments1. **Biotropica**, v. 31, n. 1, p. 17–30, 1999.

EIGENBROD, F.; HECNAR, S. J.; FAHRIG, L. Accessible habitat: an improved measure of the effects of habitat loss and roads on wildlife populations. **Landscape Ecology**, v. 23, n. 2, p. 159–168, 9, 2008.

ENGEL, V. L.; PARROTTA, J. A. Definindo a restauração ecológica: tendências e perspectivas mundiais. **book chapter (in Portuguese)**, 2003.

FAHRIG, L. EFFECTS OF HABITAT FRAGMENTATION ON BIODIVERSITY. **Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.**, v. 34, p. 487–515, 2003.

FERRARI, J. L. *et al.* Corredores ecológicos potenciais na subbacia hidrográfica do córrego Horizonte, Alegre-ES, indicados por meio de SIG. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 7, n. 1, p. 133–141, 2012.

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

GALINDO-LEAL, C.; CÂMARA, I. de G. **Mata Atlântica: Biodiversidade, Ameaças e Perspectivas**. Fundação SOS Mata Atlântica e Conservação Internacional. Belo Horizonte, 472 p., 2005.

GOODWIN, B. J. Is landscape connectivity a dependent or independent variable? **Landscape Ecology**, v. 18, n. 7, p. 687–699, 2003.

GORNE VIANI, R. A. *et al.* **A new focus for ecological restoration: management of degraded forest remnants in fragmented landscapes**. Newsletter of the Global Land Project, n. 12, 2015.

GREENBERG, R. Forest migrants in non-forest habitats on the Yucatan Peninsula. In: HAGAN, J. M.; JOHNSTON, W. **Ecology and conservation of neotropical migrant land birds**. Washington: Smithsonian Institution, p. 273–286, 1989.

HANSKI, I. Habitat loss, the dynamics of biodiversity, and a perspective on conservation. **Ambio**, v. 40, n. 3, p. 248–255, 2011.

IBGE. Manual técnico da vegetação brasileira. **Manuais técnicos em geociências**, v. 1, ed. 2, 2012.

JARBAS, T. *et al.* Bioma Caatinga: Planossolos. **Agência Embrapa de Informações Tecnológicas**. Disponível em:

<https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/bioma_caatinga/arvore/CONT000g5twggzh02wx5ok01edq5s189t6ux.html>. Acesso em 01 de nov 2019.

KOLLMANN, J.; BUSCHOR, M. Edges effects on seed predation by rodents in deciduous forests of northern Switzerland. **Plant Ecology**, v. 164, n. 2, p. 249–261, 2003.

LANG, S.; BLASCHKE, T. **Análise da Paisagem com SIG**. Tradução: Hermann Kux, São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

LAURANCE, W. F. *et al.* Ecosystem Decay of Amazonian Forest Fragments: a 22-Year Investigation. **Conservation Biology**, v. 16, n. 3, p. 605–618, 2002.

LI, J. JUAN *et al.* Remote sensing evaluation of urban heat island and its spatial pattern of the Shanghai metropolitan area, China. **Ecological Complexity**, v. 6, n. 4, p. 413–420, 2009.

LIMA, S. L.; ZOLLNER, P. A. Towards a behavioral ecology of ecological landscapes Trends in Ecology and Evolution. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 11, n. 3, p. 131-135, 1996.

LINDENMAYER, D. B.; FISCHER, J. Tackling the habitat fragmentation panchreston. **Trends in Ecology and Evolution**, v. 22, n. 3, p. 127–132, 2007.

MACDOUGALL, A.; KELLMAN, M. The Understorey Light Regime and Patterns of Tree Seedlings in Tropical Riparian Forest Patches. **Journal of Biogeography**, v. 19, n. 6, p. 667, 1992.

MARTENSEN, A. C.; PIMENTEL, R. G.; METZGER, J. P. Relative effects of fragment size and connectivity on bird community in the Atlantic Rain Forest: Implications for conservation. **Biological Conservation**, v. 141, n. 9, p. 2184–2192, 2008.

McGARIGAL, K.; ENE, E. **Fragstats: spatial pattern analysis program for categorical maps**. Version 4.2, computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts, Amherst, available via DIALOG. Amherst, 2015.

McGARIGAL, K.; MARKS, B. J. FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. **Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-351. Portland, OR: US Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station.** 122 p, v. 351, 1995.

METZGER, J. P.; DECAMPS, H. The structural connectivity threshold: An hypothesis in conservation biology at the landscape scale. **Acta Oecologica**, v. 18, n. 1, p. 1–12, 1997.

METZGER, J. P. Landscape ecology approach in the preservation and rehabilitation of riparian forest areas in S.E. Brazil. In: CHAVÉZ, Salinas; MIDDLETON, John (Orgs.). **Landscape Ecology as a Tool for Sustainable Development in Latin America**. Logan: International Association for Landscape Ecology, 1998.

METZGER, J. P. Como restaurar a conectividade de paisagens fragmentadas. In: SIMPÓSIO DE RESTAURAÇÃO DE ECOSSISTEMAS DEGRADADOS COM ESPÉCIES NATIVAS. São Paulo: Edusp, 2000.

METZGER, J. P. O que é ecologia de paisagens? **Biota Neotropica**, v. 1, n. 1–2, p. 1–9, 2001.

METZGER, Jean Paul. Bases biológicas para a ‘reserva legal’. **Ciência Hoje**, v. 31, n. 183, p. 48-49, 2002.

METZGER, J. P. Como restaurar a conectividade de paisagens fragmentadas? In: KAGEYAMA, P. Y. et al. (Orgs.). **Restauração ecológica de ecossistemas naturais**. Botucatu: FEPAF, p.51-76, 2003a.

METZGER, J.P. Estrutura da paisagem: o uso adequado de métricas. **Métodos de estudos em biologia da conservação e manejo da vida silvestre**, 2003b.

METZGER, J. P. Conservation issues in the Brazilian Atlantic forest. **Biological Conservation**, v.142, n.6, p.1138-1140, 2009.

METZGER, J. P.; MARTENSEN, A. C.; DIXO, M.; BERNACCI, L. C.; RIBEIRO, M. C.; TEIXEIRA, A. M. G.; PARDINI, R. Time-lag in biological responses to landscape changes in a highly dynamic Atlantic forest region. **Biological Conservation**, v. 142, n. 6, p. 1166–1177, 2009.

METZGER, J. P. O Código Florestal tem base científica?. **Natureza & Conservação**, v. 8, n. 1, p. 92-99, 2010.

MMA-MINISTERIO DO MEIO AMBIENTE (2006). *O corredor central da Mata Atlântica: uma nova escala de conservação da biodiversidade*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente/Conservação Internacional/Fundação SOS Mata Atlântica. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/sbf_corredores/_publicacao/109_public159cacao10072009110911.pdf>.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. Regulamenta o art. 225, § 1o, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Lei n. 9.985 de 18 de julho de 2000. DOU, p. 1.

MUCHAILH, M. C. *et al.* METODOLOGIA DE PLANEJAMENTO DE PAISAGENS FRAGMENTADAS VISANDO A FORMAÇÃO DE CORREDORES ECOLÓGICOS. **FLORESTA**, v. 40, n. 1, 25., 2010.

MYERS, N. *et al.* Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, n. 6772, p. 853–858, 24., 2000.

NAVEH, Z; LIEBERMAN, A. **Landscape ecology: theory and application**. Pringer-Verlag, New York, 1994.

NEWBOLD, T. *et al.* Global effects of land use on local terrestrial biodiversity. **Nature**, v. 520, n. 7545, p. 45–50, 2 abr. 2015.

- NOSS, R. F.; O'CONNELL, M. A.; MURPHY, D. D. **The science of conservation planning: habitat conservation under the Endangered Species Act**. Island Press, 1997.
- PEREIRA, M.A.S.; NEVES, A.G.S.; FIGUEIREDO, D.F.C. **Considerações sobre a fragmentação territorial e as redes de corredores ecológicos**. Revista Geografia, v.16, n.2, p.5-24, 2007.
- OLIVEIRA, J. B.; CAMARGO, M. D.; ROSSI, M.; CALDERANO FILHO, B. **Mapa pedológico do Estado de São Paulo: legenda expandida**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Campinas, SP (Brasil). Centro Nacional de Pesquisa de Solos Instituto Agronômico, Campinas, SP (Brasil), 1999.
- PINTO, N.; KEITT, T. H.; WAINRIGHT, M. LORACS: JAVA software for modeling landscape connectivity and matrix permeability. **Ecography**, v. 35, n. 5, p. 388–392, 2012.
- POJAR, J.; DIAZ, N.; STEVENTON, D.; APOSTOL, D.; MELLEN, K. **Biodiversity planning and forest management at the landscape scale**, 1994. In: HUFF, M.H.; NORRIS, L.K.; NYBERG, J.B.; WILKIN, N.L. (Coords.). Expanding horizons of forest ecosystem management. Proceedings of the third “Habitat Futures Workshop”. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station, Portland, OR. pp. 55-70.
- PRIMACK, R. B.; RODRIGUES, E. *Biologia da Conservação*. 328 p. **Efraim Rodrigues, Londrina**, 2001.
- RAYFIELD, B.; FORTIN, M. J.; FALL, A. The sensitivity of least-cost habitat graphs to relative cost surface values. **Landscape Ecology**, v. 25, n. 4, p. 519–532, 2010.
- REDDING, T. E. *et al.* Spatial patterns of soil temperature and moisture across subalpine forest-clearcut edges in the southern interior of British Columbia. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 83, n. 1, p. 121–130, 2003.
- REIS, A.; ESPÍNDOLA, M. B.; VIEIRA, N. K. Restauração de áreas degradadas: a nucleação como base para os processos sucessionais. **Natureza & Conservação**, Curitiba, p. 28-36 e p. 85-92, 2003.
- REY BENAYAS, J. M. *et al.* Enhancement of biodiversity and ecosystem services by ecological restoration: A meta-analysis. **Science**, v. 325, n. 5944, p. 1121–1124, 2009.
- RIBEIRO, J. W. *et al.* LandScape Corridors (Lscorridors): a new software package for modelling ecological corridors based on landscape patterns and species requirements. **Methods in Ecology and Evolution**, v. 8, n. 11, p. 1425–1432, 2017a.
- RIBEIRO, J. W. *et al.* LSCorridors multiple ecological functional corridors. Disponível em: < https://github.com/LEEClab/LS_CORRIDORS/wiki>. LEEC Lab, 2017b.
- RIBEIRO, J. W. *et al.* **Supporting Information to: Landscape Corridors (LSCorridors): a new package for modeling ecological corridors based on landscape patterns and species requirements. Methods in Ecology and Evolution**, v. 8, n. 11, p. 1425–1432, 2017c.

RIBEIRO, M. C. *et al.* The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. **Biological Conservation**, v. 142, n. 6, p. 1141–1153, 2009.

ROSSI, M. Mapa pedológico do Estado de São Paulo: revisado e ampliado. **São Paulo: Instituto Florestal**, v. 1, p. 118, 2017.

ROTHER, D. C. *et al.* How Legal-Oriented Restoration Programs Enhance Landscape Connectivity? Insights From the Brazilian Atlantic Forest. **Tropical Conservation Science**, v. 11, p. 194008291878507, 6, 2018.

ROZZA, A. F.; FARAH, F. T.; RODRIGUES, R. R. Ecological management of degraded forest fragments, 2007. *In*: RODRIGUES, R. R.; MARTINS, S. V.; GANDOLFI, S. (Orgs.). *High diversity forest restoration in degraded areas: methods and projects in Brazil*. **New York: Nova Science Publishers**, p. 171-196.

SANTOS DE ASSIS, L. S.; CAMPOS, M.; GIRÃO, V. J. Manejo de fragmentos florestais – Campinas (SP): **The Nature Conservancy**. 172 p., 2019

SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE, SÃO PAULO. Resolução 47. Altera e amplia a Resolução SMA 21, de 21.11.2001; fixa orientação para o reflorestamento heterogêneo de áreas degradadas e dá providências correlatas. Diário Oficial do Estado de São Paulo, SP, 27 de novembro de 2003.

SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE, SÃO PAULO. Resolução 32. *Estabelece as orientações, diretrizes e critérios sobre restauração ecológica no Estado de São Paulo, e dá providências correlatas*. Diário Oficial do Estado de São Paulo, SP, 05 de março de 2014, p. 36-37.

SEDEMA. Unidades de Conservação – Piracicaba/SP. Disponível em: <<https://sedema.wixsite.com/sedema/unidadesdeconservacao>>. Acesso em 28 de out 2019.

SEOANE, C.E.; DIAZ, V.S.; SANTOS, T.L.; FROUFE, L.C.M. **Corredores ecológicos como ferramenta para a desfragmentação de florestas tropicais**. Pesquisa Florestal Brasileira, v.30, n.63, p.207-216, 2010.

SIEVING, K. E.; WILLSON, M. F.; SANTO, T. L. DE. Habitat Barriers to Movement of Understory Birds in Fragmented South-Temperate Rainforest. **The Auk**, v. 113, n. 4, p. 944–949, 1996.

SILVA BARBOZA, R. **Caracterização das bacias aéreas e avaliação da chuva oculta nos contrafortes da serra do Mar-RJ**. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais) Universidade Federal do Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ.

SIMBERLOFF, D. **Mass extinction and the destruction of moist tropical forests**. Zhurnal Oshehei Biologii, v.45, p.767-778, 1984.

SOARES-FILHO, B. *et al.* Cracking Brazil's Forest Code. **Science**, v. 344, n. 6182, p. 363–364, 2014.

TABARELLI, M. *et al.* Challenges and opportunities for biodiversity conservation in the Brazilian Atlantic Forest. **Conservation Biology**, v. 19, n. 3, p. 695-700, 2005.

TABARELLI, M., AGUIAR, A. V., RIBEIRO, M. C., METZGER, J. P., & PERES, C. A. Prospects for biodiversity conservation in the Atlantic Forest: Lessons from aging human-modified landscapes. **Biological Conservation**, v. 143, n. 10, p. 2328–2340, out. 2010.

TAMBOSI, L. R. *et al.* Funções eco-hidrológicas das florestas nativas e o Código Florestal. **Estudos Avançados**, v. 29, n. 84, p. 151–162, 2015.

TAYLOR, P. D. *et al.* Connectivity Is a Vital Element of Landscape Structure. **Oikos**, v. 68, n. 3, p. 571, dez. 1993.

UMETSU, F. **Pequenos mamíferos em um mosaico de habitats remanescentes e antropogênicos: qualidade da matriz e conectividade em uma paisagem fragmentada da Mata Atlântica**. Tese (Mestrado em Ecologia) - Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. 125 p. 2005.

VALERI, S. V.; SENÔ, M. A. A. F. A importância dos corredores ecológicos para a fauna e a sustentabilidade de remanescentes florestais. In: **8º Congresso Internacional de Direito Ambiental**. 2004.

WITH, K. A.; KING, A. W. Dispersal success on fractal landscapes: a consequence of lacunarity thresholds. **Landscape Ecology**, v. 14, n. 1, p. 73-82, 1999.

ZARONI, M. j.; SANTOS, H. G. Solos Tropicais: Chernossolos. Agência Embrapa de Informações Tecnológicas. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONTAG01_19_2212200611543.html>. Acesso em 01 de nov 2019.

ZOLLNER, P. A. Comparing the landscape level perceptual abilities of forest sciurids in fragmented agricultural landscapes. **Landscape Ecology**, v. 15, n. 6, p. 523–533, 2000.

APÊNDICE A

Histórico da área em processo de restauração (fragmento foco)

Segundo dados dos relatórios técnicos da Casa da Floresta, previamente ao início do processo de restauração, foi realizada uma visita técnica para reconhecimento da área e de sua situação. Foi avaliado que a área estava com alto grau de degradação e completamente tomada por espécies exóticas invasoras, como *Panicum maximum* (capim-colonião), *Urochloa sp.* (braquiária) e *Tecoma stans* (ipê-de-jardim) (Figura 31).

Antes de iniciar o plantio das mudas foram realizadas algumas atividades técnicas para que as novas espécies pudessem se estabelecer de forma mais adequada. Para tanto, foi realizado o controle de matocompetição com grade mecânica e aplicação de herbicida, com intuito de evitar o rebrotamento das espécies invasoras.



Figura 31 – a. Situação da área em julho de 2004, tomada por gramíneas. b. Região tomada por *Tecoma stans* (ipê-de-jardim) (Fonte: Casa da Floresta, 2014)

As árvores exóticas já existentes no local foram mortas em pé, e suas galhadas foram deixadas no local para servir de abrigo para a fauna. Também foi realizado o controle e a supressão da exótica *Tecoma stans* (ipê-de-jardim). Após a limpeza da área foi realizado o controle de formigas cortadeiras por meio de iscas com o formicida Mirex. Esse procedimento foi feito antes e depois do plantio, seguido de manutenções periódicas para evitar a reinfestação. Por fim, houve a aquisição, o transporte e estoque das mudas, estas foram selecionadas da seguinte maneira: 80 espécies nativas com ocorrência em floresta estacional semidecidual, sendo 60% delas caracterizadas como pioneiras e 40% como tardias, seguindo o conceito de sucessão

florestal, objetivando atingir uma alta diversidade de acordo com o indicado na Resolução SMA 47/2003 que orientava na época o reflorestamento heterogêneo, a qual estabelecia:

“Art. 2º A recuperação florestal de áreas degradadas nas formações de floresta ombrófila, floresta estacional semidecidual e savanas florestadas (cerradão), será efetivada mediante o plantio de mudas de, no mínimo, 80 (oitenta) espécies arbóreas das formações vegetais de ocorrência regional, exemplificadas na listagem do Anexo a esta resolução, não excluindo espécies levantadas regionalmente.”

Para que se pudesse dar início ao plantio das mudas, foi realizado o preparo do solo com um subsolador, que se restringiu apenas às linhas de plantio. Após essa etapa, foram abertas as covas, que receberam 200g de superfosfato simples no plantio e adubação de cobertura com 100g de NPK 20-5-20, que foi realizada três meses após o plantio. O plantio ocorreu no ano de 2006, no fim do período chuvoso, e foi realizado com o espaçamento 3 x 2 m. Para a manutenção do plantio, foram feitas irrigações, devido à implantação ter coincidido com período de estiagem. A situação da área, logo após o plantio das mudas, pode ser vista na Figura 32.

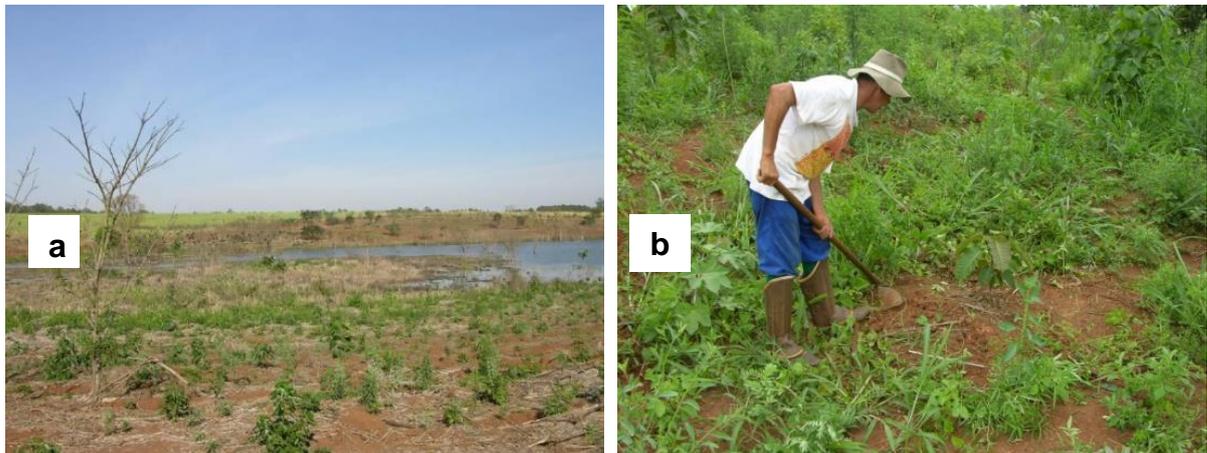


Figura 32 – a. Área logo após o plantio das mudas em junho de 2006. **b.** Manutenção das mudas plantadas (Fonte: Casa da Floresta, 2014)

Com o avanço do desenvolvimento da regeneração e o fechamento das clareiras, foram suprimidos naturalmente o domínio de *Urochloa sp.* (braquiária), restando apenas alguns maciços isolados. Contudo um fator recorrente é a alta abundância de *Tecoma stans* (ipê-de-jardim) que compete com as plântulas em

estágio inicial (Figura 33). Outro fator que ainda é presente na área são as capivaras, que atraídas pela lagoa se alojam no fragmento Figura 33.

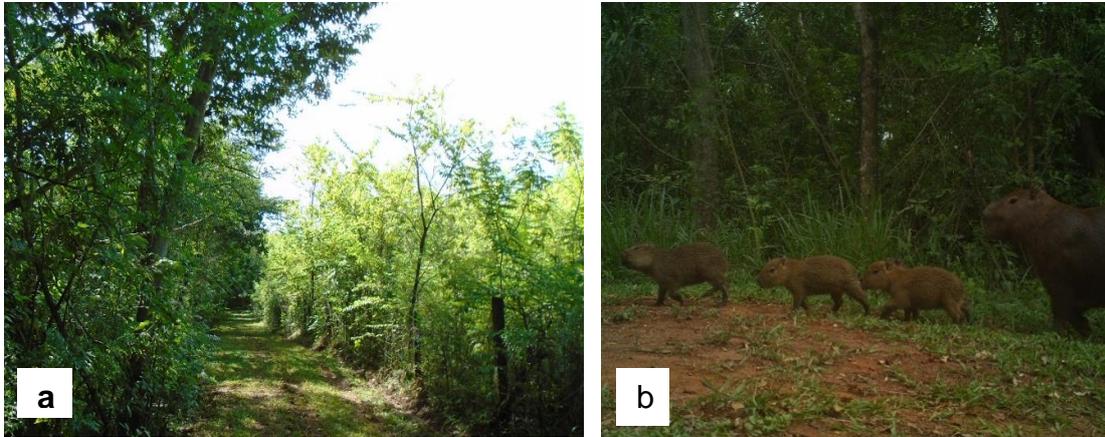


Figura 33 – **a.** Limite com a propriedade vizinha dominada por *Tecoma stans* (ipê-de-jardim), fonte de propágulos para o fragmento. **b.** Capivaras residentes do local (Fonte: Casa da Floresta, 2014).

ANEXO A – Uso do solo nas faixas de corredores florestais

Uso do solo	Corredor simulado																				Total da classe	
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T		U
Vegetação arbórea	13,24	30,69	4,33	2,27	24,29	21,01	1,79	67,66	46,12	32,47	61,66	53,68	59,27	36,40	84,02	133,97	56,95	38,27	65,02	62,75	95,45	991,31
Vegetação pioneira	2,95	2,77	0,98	-	0,17	-	-	4,95	-	1,17	13,62	2,72	2,56	2,53	1,33	3,30	1,35	0,59	2,87	-	1,81	45,69
Vegetação gramínea	3,15	1,00	3,11	-	-	0,89	0,18	5,37	2,10	2,99	7,96	6,92	4,96	7,24	6,63	7,56	14,96	15,17	11,07	10,96	10,15	122,39
Área úmida	-	1,69	-	-	-	-	-	9,24	0,03	0,41	3,55	-	10,50	4,97	0,49	-	-	3,35	14,15	2,18	1,53	52,09
Lago ou lagoa	-	-	-	-	-	-	-	1,04	0,14	-	1,51	0,01	0,28	-	0,31	1,47	0,89	0,23	1,54	-	0,34	7,76
Rios	-	2,43	-	-	-	4,86	-	-	-	5,04	2,42	4,74	6,71	-	17,18	14,18	-	-	2,43	9,69	-	69,67
Pasto limpo	-	0,97	-	-	0,93	2,00	-	2,68	0,89	-	2,28	3,68	2,25	4,93	4,43	1,57	2,44	1,04	2,28	0,19	21,97	54,52
Pasto sujo	-	-	-	-	-	-	-	3,44	0,04	-	-	1,98	2,05	-	-	-	-	0,83	-	-	1,72	10,06
Culturas anuais	-	0,45	1,53	2,03	2,10	2,28	-	8,88	1,07	0,76	12,55	9,18	13,77	29,05	8,67	14,60	2,11	9,96	6,90	5,14	0,02	131,04
Culturas perenes	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00
Agricultura de baixo impacto	-	-	-	-	-	-	-	-	0,06	-	0,01	-	-	-	0,98	0,98	-	-	-	-	2,78	4,80
Culturas experimentais	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9,56	0,30	-	-	-	-	9,86
Silvicultura	-	-	-	-	-	-	-	1,08	-	-	3,09	-	0,41	-	-	2,09	2,69	-	3,09	-	-	12,46
Área edificada	0,03	0,34	0,80	-	-	0,08	-	1,17	0,20	-	0,58	0,37	0,08	0,29	0,88	0,89	-	0,42	0,08	-	0,96	7,16
Área urbana	-	0,42	-	-	-	-	-	8,85	1,08	-	-	3,89	1,99	-	8,25	13,00	14,40	0,36	-	-	13,48	65,72
Área industrial	0,55	0,39	-	-	-	-	-	-	-	0,53	5,02	1,70	0,43	-	2,70	-	3,82	-	0,62	-	-	15,77
Aeroporto	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00	-	-	-	-	-	0,00
Parque urbano	-	0,11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,95	-	-	-	-	1,06
Estradas ou rodovias	-	0,57	0,41	-	-	-	0,09	1,67	0,38	3,76	1,63	4,14	5,31	-	0,28	0,63	0,86	1,37	1,33	0,25	0,36	23,04
Servidão administrativa	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,03	0,01	0,06	0,47	-	0,37	1,48	-	-	5,76	0,08	-	8,25
Total do corredor	19,93	41,84	11,16	4,30	27,49	31,11	2,06	116,03	52,11	47,15	115,89	93,05	111,04	85,41	136,52	205,28	101,72	71,59	117,14	91,24	150,59	1.632,66