



Universidade Estadual Paulista
"Júlio de Mesquita Filho"

Programa Interunidades

unesp 

DOUTORADO

ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

LUDMILA ARAÚJO BORTOLETO

**SELEÇÃO E DIRETRIZES PARA O DESIGN DE CONECTORES
ECOLÓGICOS: UMA ABORDAGEM METODOLÓGICA**



Sorocaba
2019

LUDMILA ARAÚJO BORTOLETO

**SELEÇÃO E DIRETRIZES PARA O DESIGN DE CONECTORES
ECOLÓGICOS: UMA ABORDAGEM METODOLÓGICA**

Tese apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor no Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Área de Concentração Geotecnia.

Discente: Arq. Msc. Ludmila Araújo Bortoleto

Orientador: Prof. Assoc. Alexandre Marco da Silva

Agosto/2019

B739s

Bortoleto, Ludmila Araujo

Seleção e diretrizes para o design de conectores ecológicos: uma abordagem metodológica / Ludmila Araujo Bortoleto. -- Sorocaba, 2019

152 p.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp),
Instituto de Ciência e Tecnologia, Sorocaba

Orientador: Alexandre Marco Silva

1. conectividade ecológica. 2. métodos de seleção de corredores. 3.
design de conectores. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Instituto de
Ciência e Tecnologia, Sorocaba. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA TESE DE DOUTORADO DE LUDMILA ARAUJO BORTOLETO, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL, DA FACULDADE DE ENGENHARIA - CÂMPUS DE BAURU.

Aos 25 dias do mês de julho do ano de 2019, às 08:30 horas, no(a) ICTS - UNESP - Campus Sorocaba, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Prof. Dr. ALEXANDRE MARCO DA SILVA - Orientador(a) do(a) Engenharia Ambiental / Unesp - ICT Sorocaba, Prof. Dr. CASSIO JOSE MONTAGNANI FIGUEIRA do(a) Departamento de Ciências Ambientais / Universidade Federal de São Carlos - UFSCar Sorocaba, Prof. Dr. DARLLAN COLLINS DA CUNHA E SILVA do(a) Departamento de Engenharia de Pesca / Unesp - Câmpus de Registro, Prof. Dr. FABRÍCIO DE FRANCISCO LINARDI do(a) Curso de Arquitetura e Urbanismo / Universidade de Sorocaba - UNISO, Profa. Dra. SANDRA YUKARI SHIRATA LANÇAS do(a) Curso de Arquitetura e Urbanismo / Escola Superior de Administração, Marketing e Comunicação - Esamc, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da TESE DE DOUTORADO de LUDMILA ARAUJO BORTOLETO, intitulada **SELEÇÃO E DESIGN DE CONECTORES ECOLÓGICOS: UMA ABORDAGEM METODOLÓGICA**. Após a exposição, a discente foi arguida oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo recebido o conceito final: Aprovada _____. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.

Prof. Dr. ALEXANDRE MARCO DA SILVA

Alexandre Marco da Silva

Prof. Dr. CASSIO JOSE MONTAGNANI FIGUEIRA

Cassio Jose Montagnani Figueira

Prof. Dr. DARLLAN COLLINS DA CUNHA E SILVA

Darllan Collins

Prof. Dr. FABRÍCIO DE FRANCISCO LINARDI

Fabricao Linardi

Profa. Dra. SANDRA YUKARI SHIRATA LANÇAS

Sandra Yukari Shirata Lancas

PROPOSTA DE ALTERAÇÃO DO TÍTULO

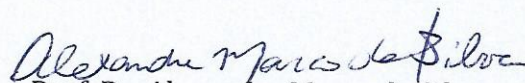
A BANCA EXAMINADORA PROPÕE A ALTERAÇÃO DO TÍTULO DO TRABALHO DA ALUNA:
LUDMILA ARAUJO BORTOLETO

DE: "SELEÇÃO E DESIGN DE CONECTORES ECOLÓGICOS: UMA ABORDAGEM METODOLÓGICA"

PARA:

Seleção e diretrizes para o design de conectores ecológicos:
uma abordagem metodológica

Bauru, 25 de julho de 2019


Prof. Dr. Alexandre Marco da Silva
Orientador

“Aqueles que olham para as leis da Natureza
como um apoio para os seus novos trabalhos
colaboram com o Criador”

(Antoni Gaudí)

AGRADECIMENTOS

A Deus pela espiritualidade, saúde e persistência;

À instituição (Unesp), funcionários e professores e em especial o Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, pelos ensinamentos nesta trajetória;

Ao Professor Associado Alexandre Marco da Silva pela confiança, contribuição e dedicação constante na orientação deste trabalho e obtenção de mais um título nessa jornada;

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela bolsa que permitiu dedicar-me quatro anos à pesquisa e ao desenvolvimento científico;

Aos colegas do grupo de pesquisa, Karen Castelli, Kristiane Primo, Pablo Bettio Mendes e Rosiane Argenton, pela colaboração em publicações científicas e na participação em congressos;

Aos Professores Dr. Welber Senteio Smith e Dr. Marcos Roberto Martines pela participação no exame de qualificação e, ainda, pelas contribuições com sugestões para a continuidade da pesquisa;

Aos membros da banca de defesa Professores: Dr. Cassio José Montagnani Figueira, Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva, Dr. Fabrício de Francisco Linardi e Dra. Sandra Yukari Shirata Lanças, que contribuíram para a aprovação da Tese;

Ao meu marido José Roberto R. Bortoleto que tem me apoiado e incentivado ao longo desses anos;

Aos meus filhos, Vitor pela compreensão de minha ausência em certos momentos e Lorenzo, que nasceu durante esse período, e veio para me fortalecer e mostrar que sou capaz de persistir e ultrapassar todas as barreiras;

Aos meus pais Luiz e Ivone e ao meu irmão Pablo que sempre me apoiaram e me ajudaram com meus filhos, para minha dedicação aos estudos;

Por fim, agradeço a todos que de certa forma colaboraram para a finalização desta importante formação acadêmica.

RESUMO

A necessidade de estratégias adequadas para identificar regiões prioritárias em uma paisagem fragmentada e indicar propostas de adequação ao planejamento urbano é uma questão fundamental para a conservação da biodiversidade e desenvolvimento sustentável. As ações humanas geram paisagens cada vez mais fragmentadas, que necessitam de intervenção por meio de projetos de conexão ecológica para o reestabelecimento de ligações às unidades de conservação. No entanto, há pouco foco na identificação de barreiras, que causam resistência à matriz de percolação. Neste trabalho, um procedimento inovador, que utiliza métodos de avaliação da matriz quanto à percolação junto à seleção de áreas de vacância para favorecer a ligação de um grupo de fragmentos, foi proposto e aplicado em um cenário de habitat constituído pelo município de Sorocaba-SP. O modelo SIR (*suitable index restoration*) que fornece dados sobre a permeabilidade ou resistência foi aplicado para avaliação da matriz. Como amostragem, foram selecionados fragmentos com área maior do que 50ha. Para a seleção de pontos de conexão foi desenvolvido o método *multi-buffer*. A fusão de dados entre o modelo (SIR) e os padrões que ocorrem na matriz apontou regiões prioritárias para restauração, sendo 42,5% para restauração assistida. Os 25 maiores fragmentos foram precedentes para atribuir distâncias de ligações ente 60-120m. Com isso, foram identificados 9 pontos para aplicação do plano de restauração. Os vazios que fragmentam o corredor da biodiversidade foram determinantes para o design dos conectores ecológicos propostos para cada um dos diferentes cenários. Sendo que, 5 pontos apresentaram barreiras físicas e foram solucionados com a elaboração de passagens dos tipos subterrâneas ou aéreas. Em um dos casos foi utilizado um pequeno fragmento como trampolim para auxílio da conexão. Houve ainda, mudança na cobertura da terra e restauração passiva em um dos pontos ao longo de dois anos. A metodologia demonstrou efetividade na escolha de áreas que necessitam de restauração assistida para recomposição da paisagem. E o design de conectores pode contribuir para a literatura ampliando o campo de pesquisa e aplicação de projetos que visem conexões ecológicas.

Palavras Chave: conectividade ecológica; métodos de seleção de corredores; design de conectores.

ABSTRACT

The appropriate strategy to identify priority areas in a fragmented landscape and indicate proposals for adequacy to urban planning is an issue for biodiversity conservation and sustainable development. Human actions generate landscapes that are increasingly fragmented, requiring intervention through ecological connection projects to reestablish links to protected areas. However, there is little focus on the identification of barriers, which cause resistance to the percolation matrix. In this work, an innovative procedure, using matrix evaluation methods for percolation along with the selection of vacancy areas to define the attachment of a group of fragments, was proposed and applied in a habitat scenario constituted by the municipality of Sorocaba-SP. The SIR (suitable index restoration) model that provides permeability or resistance data was applied for matrix evaluation. As sampling, fragments with an area larger than 50ha were selected. For the selection of connection points, the multi-buffer method was developed. The data fusion between the model (SIR) and the patterns that occur in the matrix pointed to priority regions for restoration, with 42.5% for assisted restoration. The 25 largest fragments were precedent to assign distances of bonds between 60-120m. With this, 9 points were identified for the implementation of the restoration plan. The voids that fragment the biodiversity corridor were determinant for the design of the ecological connectors proposed for each of the different scenarios. In fact, 5 points presented physical barriers and were solved with the elaboration of subterranean or aerial types. In one case a small fragment was used as a trampoline to aid the connection. There was also, change in land cover and passive restoration at one of the points over two years. The methodology demonstrated effectiveness in the selection of areas that need assisted restoration to recompose the landscape. And the design of connectors can contribute to the literature by broadening the field of research and application of projects aimed at ecological connections.

Keywords: ecological connectivity; corridor selection methods; connector design; ecological corridor

APRESENTAÇÃO

A Tese aqui apresentada é resultante da aplicação da modelagem para seleção de áreas prioritárias de menor distância e com resistência à percolação na matriz e, ainda, a proposta de design dos conectores ecológicos localizados em seis pontos inseridos no Corredor da Biodiversidade existente para o município de Sorocaba-SP.

O tema do trabalho é inédito, pois não há na literatura trabalhos que apresentem seleção e design de conectores ecológicos. Além disso, o modelo pode ser considerado original, visto que engloba métricas da paisagem para análise de resistência à percolação da matriz (modelo *Suitable Index for Restoration* - SIR) junto do método Multi-buffer que indica pontos de conexão com menor distância.

Esta pesquisa surgiu do interesse em testar o modelo SIR elaborado em minha dissertação de mestrado, defendida e aprovada em 2014 neste mesmo programa de pós-graduação, cujo foco principal foi a análise dos fragmentos florestais no município de Sorocaba-SP.

Em resumo, o SIR, é produto de um algoritmo que relaciona dados quantitativos e qualitativos na análise de percolação ou resistência na matriz. A metodologia foi publicada em 2016 no *“Ecological Indicators Journal”* sob o título *“Suitability index for restoration in landscapes: An alternative proposal for restoration projects”* (Bortoleto et al., 2016).

O ingresso no doutorado se deu em meados de 2015 e, após uma análise abrangente de revisão da literatura, notou-se que a conectividade da paisagem é essencial para viabilizar os processos ecológicos. Contudo notou-se, nos estudos encontrados, que há maior interesse em mapear visando à conservação de áreas para facilitar o movimento das espécies e, por outro lado, pouco vem sendo estudado com relação às regiões que restringem a conexão, ou seja, onde há matriz de resistência à percolação.

O assunto é considerado amplo, pois abrange questões de ecologia de paisagem, conservação, urbanismo, e, ainda, de aplicação quanto à arquitetura urbanística de paisagens. Sendo a pesquisadora Arquiteta e Urbanista por formação, o planejamento urbano e a proposta de conectores ecológicos, passou a ser mais um fator de interesse e foco deste trabalho.

É importante destacar aqui que o trabalho foi realizado em duas escalas, a macro escala (escala municipal) que engloba os 44,9 mil ha, e a escala fina, ou seja, escala pontual que circunscreve aproximadamente. 50 ha de cada ponto selecionado, do qual o município de Sorocaba-SP foi cenário para o estudo de caso.

Em Agosto de 2017, o presente trabalho foi aprovado pela banca de qualificação. Os membros da banca colaboraram com críticas construtivas para a continuação e o progresso do referente estudo.

Após o exame de qualificação, a pesquisa teve continuidade com foco no desenvolvimento do design dos conectores ecológicos. Ao seguir com a proposta de conexão, percebeu-se que havia necessidade do levantamento de referências teóricas com relação à proposta de conexão, como dimensionar e produzir, de fato, o design dos conectores.

Como resultados, foram encontrados 09 pontos de conexão em áreas de resistência da matriz e que se encontram correlacionados a grandes fragmentos (habitats com área > 50 ha). Cada um dos cenários foi analisado e averiguado na paisagem real (local). Os resultados corroboram a eficácia da metodologia na seleção de áreas que realmente precisam de projetos para recuperação da paisagem.

Ao longo do desenvolvimento, houve duas novas visitas a campo, com a intenção de adquirir novas imagens aéreas. Essas imagens foram tiradas com o uso de drone (Vant¹). Nessas imagens, com melhor resolução, aferiram-se dados mais precisos e pontuais, em escala fina, para o planejamento do design de conectores.

Efetou, ainda, uma averiguação junto aos mapeamentos existentes de Macrozoneamento e Zoneamento, ambos, documentos do Plano Diretor existente e em vigor no município. Dessa forma, por meio da análise da situação local e o proposto pelo plano diretor, gerou-se discussões de questões sobre políticas ambientais do município, produzindo assim o tópico “Perfil Político Ambiental”.

Outro fato importante para citar aqui, é a transformação da cobertura da terra, em uma propriedade particular onde pudemos conhecer o dono, e, após abordar o assunto, explicar a importância da ligação de áreas de habitat, o senhor Alexandre, proprietário, passou a deixar a área de plantação agrícola familiar revegetar naturalmente. Esse fato foi muito curioso, e

¹ Vant, nome usado na literatura para veículo aéreo não tripulado.

comprovou a transformação da cobertura da terra de agrícola para vegetação rasteira após um ano, foi considerada área restauração passiva e a eficácia desse tipo de recurso ao longo de dois anos (2017-2019).

Com relação ao design, para cada ponto fez-se uma correlação entre imagem aérea, desenho urbano e grade celular de ligação². O resultado foi o caminho de ligação proposto pela aplicação do método (escala ampla). Em contraponto, para eficiência na proposta de design foram levados em consideração fatores pontuais (sendo vistos apenas em escala fina). Em seguida, fez-se o corte transversal de cada ponto, analisando cada área a ser conectada. Os cortes são de grande valia, pois apresentam detalhes, como por exemplo, desníveis e barreiras físicas que são essenciais ao projeto arquitetônico de paisagem.

Por fim, o presente trabalho visa beneficiar áreas como estas, estudadas aqui, e buscar oportunidades para aplicação do método na recuperação da paisagem, ao menos na região do município de Sorocaba-SP.

BREVE HISTÓRICO DO GRUPO DE PESQUISA

Ao longo dos anos, 2015-2019, foi criado, pelo Prof. Dr. Alexandre Marco da Silva (orientador), um grupo de pesquisa com foco em estudos de ecologia da paisagem, conservação e recuperação de áreas degradadas, com projeto financiado pela FAPESP (processo 2015/20560-6).

O grupo de pesquisa era composto por 04 alunos de doutorado (no qual me incluía), um aluno de mestrado e seis alunos de graduação em Engenharia Ambiental. Em geral, as pesquisas vão desde macro escala até projetos pontuais de reestabelecimento da paisagem com foco em ecologia e conservação.

As pesquisas foram produtivas e geraram as seguintes publicações, em grupo:

² Grade celular de ligação, grade desenvolvida para transposição do caminho de ligação para o desenho urbano.

da Silva, A.M.; Castelli, K.R.; Bortoleto, L.A.; Mendes, P.B; Primo, K.R; Silva, R.A.E. Successes and failures reported in a multiscaled framework constituted by biophilic projects engineered toward environmental recovery. **Land degradation & development**, v. 29, n. 11, p. 4146-4157, 2018.

da Silva, A.M.; Bortoleto, L.A.; Castelli, K.R., e Silva, R.A.; Mendes, P. B. Prospecting the potential of ecosystem restoration: A proposed framework and a case study. **Ecological engineering**, v. 108, p. 505-513, 2017.

Cabe lembrar, ainda, que o aluno Lucas Ribeiro³, graduado em Engenharia Ambiental em 2016, auxiliou no levantamento de campo e a geração do mapa de cobertura da terra usado neste estudo e também em sua monografia.

³ Lucas F. C. Ribeiro, cujo título do TCC foi “Análise da dinâmica da cobertura da terra no município de Sorocaba em cinco períodos: ênfase em áreas de preservação permanente ao longo dos rios”.

LISTA DE FIGURAS

Figura 3-1. Degradação e Restauração do Ecossistema. Adaptado de Keenelyside et al. (2012).	35
Figura 3-2. Diagrama com fatores para escolha do método de restauração. Adaptado de Holl e Aide (2011).	36
Figura 3-3. Relação das dimensões do corredor ecológico com fatores importantes para sua implantação. Adaptado de (Bentrup, 2008).	40
Figura 3-4. Largura efetiva do corredor ecológico com base nas espécies. Adaptado de (Bentrup, 2008).	41
Figura 3-5. Formação de corredores ecológicos. Adaptado de Hellmund e Smith (2013).	43
Figura 4-1. Localização da área de estudo (Autoria Pessoal). Coordenadas em sistema UTM, zona 23S, Datum: SAD69.	46
Figura 4-2. Proposta de Corredor Ecológico Municipal, conexão de UCs, APA de Itupararanga e FLONA de Ipanema, (Mello, 2012).	48
Figura 5-1. Fluxograma mostrando as etapas de elaboração do Mapa de Cobertura da Terra.	57
Figura 5-2. Fluxograma das etapas de execução da pesquisa. Autoria Pessoal.	60
Figura 5-3. Fluxograma representativo do processo de obtenção do índice de restauração da paisagem (SIR). A parte colorida corresponde ao método utilizado em SIR. Autoria Pessoal.	62
Figura 5-4. Exemplo de <i>gaps</i> em um conjunto de manchas “ <i>cluster</i> ”.	64
Figura 5-5. Esquema do método Multi-Buffer para determinar <i>gaps</i> em <i>cluster</i>	64
Figura 5-6. Etapas do processo de seleção de pontos de conexão. Autoria Pessoal.	66
Figura 5-7. Grade de células para experimento.	67
Figura 5-8. Método de sobreposição de imagens para extração de dados em escala fina. (a) grade contendo as células 8x8, (b) desenho urbano, (c) foto aérea, (d) imagem raster gerada pelo software de geoprocessamento, (e) resultado contendo os dados de conexão entre os fragmentos projetado na grade.	68
Figura 5-9. Método de amostragem em campo (pontos de 1 a 6). a) Trajetória percorrida pelo carro para acesso aos pontos de coleta (linha de cor laranja); Posição de decolagem do Vant (quadrado amarelo); abrangência de vôo para captura das imagens (círculos amarelos). A cada ponto de subida do Vant pode-se observar uma área com raio de aproximadamente 500m em torno do cenário. Autoria Pessoal.	70

Figura 5-10. Método de amostragem em campo (pontos 7,8 e 9). a) Trajetória percorrida pelo carro para acesso aos pontos de coleta (linha de cor laranja); Posição de decolagem do Vant (quadrado amarelo); abrangência de vôo para captura das imagens (círculos amarelos). Autoria Pessoal.....	71
Figura 5-11. Comparação da Resolução entre imagem de satélite e Vant. (a) Imagem obtida pelo Landsat 8. (b) Imagem de Vant. Mesmo nível de zoom. Autoria Pessoal.	71
Figura 6-1. Espacialização das áreas de habitat, 2016.	75
Figura 6-2. Divisão das áreas de habitat por tamanho em hectares, 2016.....	75
Figura 6-3. Dinâmica da Cobertura da terra em Sorocaba-SP. (a) Gráfico e (b) Dados tabulares. Ano de 1988 a 2016. Autoria Pessoal.....	77
Figura 6-4. Resultados encontrados com a aplicação de métricas da paisagem para o município de Sorocaba em 2016. Datum: SAD 69 (a) Cobertura da Terra, (b) Distância entre fragmentos, (c) Qualidade da terra – intensidade de uso humano, (d) Áreas com potencial para restauração da paisagem “SIR”. Autoria Pessoal.....	78
Figura 6-5. Mapa de reclassificação do SIR, restauração passiva e assistida. Autoria Pessoal.	80
Figura 6-6. Exemplos de Identificação dos Pontos de Conexão em Matriz de Restauração Passiva e Assistida. (a) PC_R_P (Matriz de Restauração Passiva), (b) PC_R_AS (Matriz de Restauração Assistida). Autoria Pessoal.	81
Figura 6-7. Fotos aéreas de correspondência dos Pontos de Conexão em Matriz de Restauração Passiva e Assistida. (a) PC_R_P (Matriz de Restauração Passiva), (b) PC_R_AS (Matriz de Restauração Assistida). Autoria Pessoal.....	81
Figura 6-8. Mapa com ponto de conexão em área de restauração assistida para 60m de distância entre os fragmentos.	84
Figura 6-9. Mapa com ponto de conexão em área de restauração assistida para 90m de distância entre os fragmentos.	84
Figura 6-10. Mapa com ponto de conexão em área de restauração assistida para 120m de distância entre os fragmentos.	84
Figura 6-11. Dados de mapeamento do ponto 1. (a) Ponto de conexão sob classificação de restauração assistida e passiva, (b) Ponto de conexão sob uso da terra, (c) Ponto de conexão em imagem de satélite, (d) Diagnóstico ambiental no ponto 1. Autoria Pessoal.	87
Figura 6-12. Dados de mapeamento dos pontos 2 e 3. (a) Ponto de conexão sob classificação de restauração assistida e passiva, (b) Ponto de conexão sob uso da terra, (c) Ponto de	

conexão em imagem de satélite, (d) Diagnóstico ambiental nos pontos 2 e 3. Autoria Pessoal.	88
Figura 6-13. Dados de mapeamento do ponto 4. (a) Ponto de conexão sob classificação de restauração assistida e passiva, (b) Ponto de conexão sob uso da terra, (c) Ponto de conexão em imagem de satélite, (d) Diagnóstico ambiental no ponto 4. Autoria Pessoal.	89
Figura 6-14. Dados de mapeamento dos pontos 5 e 6. (a) Ponto de conexão sob classificação de restauração assistida e passiva, (b) Ponto de conexão sob uso da terra, (c) Ponto de conexão em imagem de satélite, (d) Diagnóstico ambiental nos pontos 5 e 6. Autoria Pessoal.	90
Figura 6-15. Dados de mapeamento dos pontos 7, 8 e 9. (a) Ponto de conexão sob classificação de restauração assistida e passiva, (b) Ponto de conexão sob uso da terra, (c) Ponto de conexão em imagem de satélite, (d) Diagnóstico ambiental nos pontos 7, 8 e 9. Autoria Pessoal.	91
Figura 6-16. Grade celular de possibilidades de ligações. Amarelo 120m, Vermelho 90m e Azul 60m. Sendo (A) ponto 1; (B) ponto 2; (C) ponto 3; (D) ponto 4; (E) ponto 5; (F) ponto 6; (G) ponto 7; (H) ponto 8 e (I) ponto 9. Autoria Pessoal.	93
Figura 6-17. Conexões em diferentes escalas. (a) Escala do Município; (b) Escala Pontual e seu entorno e (C) Escala Celular promovendo a ligação do Corredor da Biodiversidade.	95
Figura 6-18. Ponto1 - Grade celular de caminhos de ligações sobre desenho urbano local. Autoria pessoal.	97
Figura 6-19. Imagem de sobrevoo do ponto 1 (fevereiro/2018). Autoria Pessoal	98
Figura 6-20. Vista do Túnel (fevereiro/2019) Autoria Pessoal.	98
Figura 6-21. Planta baixa do Cenário 1. Proposta de Conector Ecológico. Autoria Pessoal. ..	99
Figura 6-22. Corte Transversal 1, situação atual do Cenário 1. Autoria Pessoal	100
Figura 6-23. Corte Transversal 1.1, Intervenção no Cenário 1. Autoria Pessoal	100
Figura 6-24. Ponto 2 - Grade celular de caminhos de ligações sobre desenho urbano local. Autoria pessoal.	101
Figura 6-25. Imagem de sobrevoo do ponto 2. Autoria Pessoal.	102
Figura 6-26. Planta baixa do Cenário 2. Proposta de Conector Ecológico. Autoria Pessoal.	103
Figura 6-27. Corte Transversal 2, situação atual do Cenário 2. Autoria Pessoal	104
Figura 6-28. Corte Transversal 2.2, intervenção no Cenário 2. Autoria Pessoal	104
Figura 6-29. Ponto3 - Grade celular de caminhos de ligações sobre desenho urbano local. Autoria pessoal.	105
Figura 6-30. Imagem de sobrevoo do ponto 3. Autoria Pessoal.	106

Figura 6-31. Planta baixa do Cenário 3. Proposta de Conector Ecológico. Autoria Pessoal.	107
Figura 6-32. Cortes Transversais, 3.1, 3.2 e 3.3, situação atual do Cenário 3. Autoria Pessoal	108
.....	
Figura 6-33. Cortes Transversais, 3.1, 3.2 e 3.3 intervenção no Cenário 3. Autoria Pessoal .	109
Figura 6-34. Ponto4 - Grade celular de caminhos de ligações sobre desenho urbano local. Autoria pessoal.	110
Figura 6-35. Imagem de sobrevoo do ponto 4. Autoria Pessoal.....	111
Figura 6-36. Planta baixa do Cenário 4. Proposta de Conector Ecológico. Autoria Pessoal.	112
Figura 6-37. Cortes Transversais 4.1 e 4.2, situação atual do Cenário 4. Autoria Pessoal	113
Figura 6-38. Cortes Transversais 4.1 e 4.2, intervenção no Cenário 4. Autoria Pessoal	114
Figura 6-39. Ponto5 - Grade celular de caminhos de ligações sobre desenho urbano local. Autoria pessoal.	115
Figura 6-40. Foto aérea do ponto 5 em duas épocas, (a) em 8/4/2016 e (b) em 23/7/2017. Google Earth.....	116
Figura 6-41. Imagem de sobrevoo do ponto 5. Data 17/2/2018. Autoria Pessoal.....	116
Figura 6-42. Planta baixa do Cenário 5. Proposta de Conector Ecológico. Autoria Pessoal.	117
Figura 6-43. Corte Transversal 5.1, situação atual do Cenário 6. Autoria Pessoal	118
Figura 6-44. Corte Transversal 5.1, intervenção no Cenário 6. Autoria Pessoal	118
Figura 6-45. Ponto 6 - Grade celular de caminhos de ligações sobre desenho urbano local. Autoria pessoal.	119
Figura 6-46. Imagem de sobrevoo do ponto 6. Autoria Pessoal.....	120
Figura 6-47. Planta baixa do Cenário 6. Proposta de Conector Ecológico. Autoria Pessoal.	121
Figura 6-48. Corte Transversal 6.1, situação atual do Cenário 6. Autoria Pessoal	122
Figura 6-49. Corte Transversal 6.1, situação atual do Cenário 6. Autoria Pessoal	122
Figura 7-1. Macrozoneamento (acima) e Zoneamento (abaixo) do ponto 1, adaptado de PMS (2014).	128
Figura 7-2. Macrozoneamento (acima) e Zoneamento (abaixo) dos pontos 2 e 3, adaptado de PMS (2014).	130
Figura 7-3. Macrozoneamento (acima) e Zoneamento (abaixo) do ponto 4, adaptado de PMS (2014).	132
Figura 7-4. Macrozoneamento (acima) e Zoneamento (abaixo) dos pontos 5 e 6, adaptado de PMS(2014).	133

LISTA DE QUADROS

Quadro 1-1. Aplicações de conectividade da paisagem encontradas na literatura. Classificação cronológica e alfabética.	24
Quadro 3-1. Tipos de conexões ecológicas encontradas na literatura.	28
Quadro 3-2. Comparativo entre os métodos utilizados para obtenção de corredores ecológicos.	30
Quadro 3-3. Lista de revisão de estudos encontrados na literatura. Classificação cronológica reversa e alfabética.	32
Quadro 4-1. Classificação do Macrozoneamento e suas Restrições.	51
Quadro 4-2. Zoneamento e atributos de cada classe.	52
Quadro 5-1. Classificação do uso da terra.	56
Quadro 5-2. Especificações do Veículo Aéreo não-tripulado (Vant).	69
Quadro 6-1. Características locais de avaliação ambiental nos pontos selecionados para conexão ecológica.	86
Quadro 6-2. Proposta de Design dos Conectores Ecológicos.	96

LISTA DE TABELAS

Tabela 3-1. Tamanho de Fragmentos de vegetação por espécie.	42
Tabela 5-1. Classificação do uso da terra de acordo com a intensidade de uso humano.	61
Tabela 6-1. Tamanho de Fragmentos de Vegetação no Município de Sorocaba, ano de 2016.	76
Tabela 6-2. Parâmetros dos pontos de conexão em áreas de restauração assistida.	83
Tabela 6-3. Quantidade de células referente as possibilidade de caminhos de ligações entre habitats.	92

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 6-1. Relação de índice de borda (IB) sobre a área dos fragmentos de vegetação. Autoria pessoal.	76
Gráfico 6-2. Dinâmica da qualidade da terra em Sorocaba-SP.	79
Gráfico 6-3. Dinâmica do SIR. Autoria Pessoal.....	79
Gráfico 6-4. Pontos de Conexão relacionados às distâncias entre os fragmentos de vegetação.	82

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APA	Área de Proteção Ambiental
CCI	Corredor de Comércio e Indústria
CCR	Corredor de Circulação Rápida
CCS	Corredor de Comércio e Serviço
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FAPESP	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo
FLONA	Floresta Nacional
Gd	Componente da Distância entre os Fragmentos
GIS	Geographic Information System
GPS	Global Position System
IB	Índice de Borda
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
LE	Leste
LQ	Componente da Qualidade da Matriz Circundante dos Fragmentos
MCA	Macrozona de Conservação Ambiental
MGRO	Macrozona com Grandes Restrições à Ocupação
MMRO	Macrozona com Médias Restrições à Ocupação
MPRO	Macrozona com Pequenas Restrições à Ocupação
N	Norte
NE	Nordeste

NO	Noroeste
PC_R_AS	Ponto de Conexão em Restauração Assistida
PC_R_P	Ponto de Conexão em Restauração Passiva
PMS	Prefeitura Municipal de Sorocaba
Ref	Reflorestamento
RPPN	Reserva Particular do Patrimônio Natural
SE	Sudeste
SEADE	Sistema Estadual de Análise de Dados
SEMA	Secretaria do Meio Ambiente (Sorocaba)
SER	Society for Ecological Restoration
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SIR	Suitable Index Restoration
SMA	Secretaria de Meio Ambiente
SP	Estado de São Paulo
UC	Unidade de Conservação
UGRHI	Unidade de Gerenciamento dos Recursos Hídricos
UNESP	Universidade Estadual Paulista
UTM	Universal Transversa de Mercator
VANT	Veículo aéreo não tripulado
VNR	Vegetação Natural Remanescente
ZC	Zona Central
ZCA	Zona de Conservação Ambiental
ZCH	Zona de Chácaras Urbanas
ZI	Zona Industrial
ZPI	Zona Predominantemente Institucional
ZR	Zona Residencial

SUMÁRIO

RESUMO	vii
ABSTRACT	viii
APRESENTAÇÃO.....	ix
Breve histórico do grupo de pesquisa	xi
LISTA DE FIGURAS	xiii
LISTA DE QUADROS	xvii
LISTA DE TABELAS	xvii
LISTA DE GRÁFICOS.....	xviii
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	xviii
SUMÁRIO.....	xx
1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA	22
2 OBJETIVOS.....	25
3 REFERÊNCIAS TEÓRICAS E CONCEITUAIS.....	26
3.1 Corredores Ecológicos como Estratégia de Conservação	26
3.2 Métodos de Seleção de áreas para Corredores Ecológicos	29
3.3 Restauração Ecológica – Conceito e Principais Modalidades.....	34
3.4 Uso de Vants para obtenção de Imagem Aerofotogramétrica.....	37
3.5 Design de Conectores Ecológicos	38
3.5.1 Dimensões de Corredores.....	38
3.5.2 Tipos Estruturais de Corredores	42
3.5.3 Conectores e Barreiras Físicas.....	44
4 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	46
4.1 Perfil Político Ambiental do município.....	49
4.1.2 Plano Diretor Municipal de Sorocaba: Macrozoneamento e Zoneamento.....	50
5 MATERIAIS E MÉTODOS.....	54
5.1 Mapeamento da Cobertura da Terra.....	55
5.2 Indicação das Áreas de Habitat	57
5.3 Modelagem de Conectores Ecológicos	58
5.4 Critérios para Seleção de Áreas a receberem Conectores	61
5.4.1 Aplicação do SIR para seleção de áreas com potencial para restauração	61

5.4.2	Método Multi-buffer como ferramenta para identificação de pontos de conexão	63
5.4.3	Relação entre Patch, SIR e Multi-buffer	65
5.5	Perfil Pontual e Análise da Matriz	67
5.6	Coleta de Imagens Aéreas com o uso de Vants.....	69
5.7	Diretrizes para Design de Conectores Ecológicos	72
6	RESULTADOS	74
6.1	Distribuição Espacial e Aspecto dos Remanescentes Florestais	74
6.2	Características e Padrões da Matriz e do Mosaico	77
6.3	Conexões e Perfil Pontual	81
6.4	Design de Conectores Ecológicos	94
6.4.1	Cenário 1	97
6.4.2	Cenário 2	101
6.4.3	Cenário 3	105
6.4.4	Cenário 4	110
6.4.5	Cenário 5	115
6.4.6	Cenário 6	119
7	DISCUSSÕES	123
7.1	Distribuição espacial e aspectos dos remanescentes	123
7.2	Característica e padrões da matriz e do mosaico.....	124
7.3	Conexão e perfil pontual	126
7.4	Planejamento urbano Municipal e Design de Conectores Ecológicos	127
7.4.1	Cenário 1	127
7.4.2	Cenários 2 e 3	129
7.4.4	Cenário 4	131
7.4.5	Cenários 5 e 6	133
8	CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	135
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	138
	APÊNDICES	146
	ANEXOS	151

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

A conectividade da paisagem é uma das fundamentais características ecológicas de interação entre o meio e os organismos que a compõe (Wu, 2014). As paisagens mais resistentes às ações antrópicas são aquelas que possuem conectividade íntegra, garantindo estabilidade dos serviços ecossistêmicos (De Montis et al., 2016; Zurlini et al., 2013).

Os habitats florestais urbanos têm influência direta nas relações entre população e natureza dentro de um contexto mais amplo da paisagem local. No entanto, a infraestrutura causada pela expansão urbana acarreta transformação de paisagens urbanas, usualmente suprimindo os remanescentes florestais (Pirnat e Hladnik, 2016; Forman, 2014; De Groot, et al., 2010).

A alteração dos remanescentes florestais é caracterizada pela diminuição da área e mudanças na forma dos remanescentes vegetais e causada pela fragmentação de ecossistemas. Tais alterações modificam as características ecológicas, estruturais e funcionais, diminuindo as chances de autopropetuação das espécies, tornando-os frágeis e de grande importância para a conservação da biodiversidade (Martensen et al., 2012; Viana e Pinheiro, 1998).

Muitos fatores antrópicos influenciam a mudança da paisagem, principalmente a intensa urbanização conhecida atualmente, com mais de 50% da população mundial vivendo em área urbana (Wu, 2008). Com isso, experimentam forças motrizes de um município adensado, como: forças socioeconômicas, iniciativas políticas, tecnologia, forças naturais e forças culturais (Bürgi et al., 2004).

Entretanto, o desenvolvimento urbano é necessário devido ao crescente número populacional. Portanto, o uso da terra demanda planejamento para que a expansão urbana não cause grandes impactos (Tannier et al., 2012).

Sendo assim, as espécies passam a viver isoladas devido à perda de áreas favoráveis ao habitat (Tannier et al., 2012). Esses fragmentos isolados são de extrema importância para pesquisas científicas, pois podem ser novamente ligados a outros por meio de conectores ecológicos, tendo em vista que a conexão é uma estratégia para reduzir os efeitos da fragmentação de áreas habitat (Saura et al., 2011).

Mais especificamente, estabelecer a conectividade ecológica pode minimizar ou evitar os efeitos de fragmentação da paisagem e, além disso, serve de base para o planejamento da infraestrutura urbana (Loro et al., 2015). A conectividade da paisagem reflete o grau em que

uma paisagem facilita ou restringe o movimento das espécies, entre manchas de habitat (Hilty et al., 2006; Taylor et al., 1993). Alguns aspectos, tais como a disposição dos elementos da paisagem como "trampolins" ou "corredores", e também aspectos funcionais, como o movimento de espécies entre fragmentos, são afetados pela estrutura da paisagem (Taylor et al., 2007). Técnicas e abordagens eficientes de recuperação e conservação, por meio de incremento na conectividade da paisagem (Quadro 1-1), constituem um dos principais focos encontrados na literatura ligada ao planejamento de uso da terra atualmente (Lechner et al., 2015; Lindenmayer e Fischer, 2013). As métricas de paisagem são frequentemente usadas na modelagem como preditores de biodiversidade, onde as características ambientais são usadas para estimar os indicadores ecológicos (Schindler et al., 2013; Banks-Leite et al., 2011).

Dessa forma, experimentos que analisam tipos de ligações e seus efeitos estimados em um ecossistema tornam-se essenciais na ecologia da paisagem. Com isso, as relações entre ações e resultados podem ser estabelecidas e depois incorporadas nas práticas de gestão (Geneletti et al., 2017; La Rosa et al., 2016).

Apesar de haver inúmeros estudos aplicados à fragmentação da paisagem, ainda, são poucas as pesquisas que evidenciam relação entre a conectividade de habitat e os padrões urbanos (Zhang et al., 2019; MCRae et al., 2012; Tannier et al., 2012; De Groot et al., 2010).

No entanto, escolher e instalar estruturas que estabeleçam conexão entre fragmentos é um trabalho difícil, pois envolve ocupação de espaço ora usado para outras finalidades econômicas (urbanização, agricultura, estradas) e nem sempre é de fácil aceitação pela comunidade, pois as interpretações variam de pessoa para pessoa. Envolve também aspectos de eficiência ecológica, ou seja, não é apenas restabelecer a conectividade estrutural. Esta conectividade também precisa ser eficiente em termos funcionais (Pelorosso et al., 2016; Adriaensen et al., 2003).

Dessa forma, a pesquisa sobre o assunto e também as aplicações correspondente à conectividade de fragmentos de vegetação como forma de recuperação e preservação da paisagem vem ganhando espaço. Neste trabalho apresenta-se a aplicação de um método inovador para avaliar a matriz entre habitats. O método aqui apresentado propõe selecionar pontos de conexão entre remanescentes florestais onde precisa de intervenção para recuperação da paisagem fragmentada. O município de Sorocaba-SP foi cenário para aplicação da metodologia. Além disso, desenvolveu-se o design dos conectores ecológicos em escala pontual. Trata-se de um assunto importante e que visa auxiliar projetos futuros em conservação da paisagem.

Quadro 1-1. Aplicações de conectividade da paisagem encontradas na literatura. Classificação cronológica e alfabética.

No.	Revisão da Literatura	Título original em inglês	Observações
1	Zhang, et al. (2019)	Enhancing landscape connectivity through multifunctional green infrastructure corridor modeling and design	Avaliação da conectividade da paisagem urbana e desenvolvimento de tipologias de corredores.
2	Hou et al. (2017)	A simplified econet model for mapping and evaluating structural connectivity with particular attention of ecotones, small habitats, and barriers	Mapeamento de redes ecológicas; Habitats e ecótonos são reconhecidos como estruturas chave na preservação da biodiversidade.
3	Qi et al. (2017)	Functional analysis of landscape connectivity at the landscape, component, and patch levels: A case study of Minqing County, Fuzhou City, China	Métodos para calcular distância limiar ótima; Proposta de 2 tipos funcionais de componentes e fragmentos; Discutida a relação de tamanho e função do fragmento.
4	Silva et al. (2017)	Análise da Conectividade Estrutural frente às Atividades Econômicas na Mata Atlântica	Proposta de rede de corredores para conexão estrutural da paisagem; Fragmentação devido à atividade antrópica em unidades de conservação em Minas Gerais; Método: métricas da paisagem e proximidade entre os fragmentos; Restringir atividades antrópicas em importantes fragmentos localizados em áreas privadas.
5	Pirnat e Hladnik (2016)	Connectivity as a tool in the prioritization and protection of sub-urban forest patches in landscape conservation planning	Importância das ligações entre fragmentos de vegetação; Fragmentação devido à construção de anel viário; Florestas urbanas são favoráveis; Conectividade entre núcleos florestais índice de condições de habitat.
6	Pierik et al. (2016)	Designing ecological corridors in a fragmented landscape: a fuzzy approach to circuit connectivity analysis	Combinação de análise de permeabilidade e fragmentação; Teoria de circuitos na identificação de corredores de conexão.
7	Tannier et al. (2012)	Assessing the capacity of different urban forms to preserve the connectivity of ecological habitats	Fragmentação do Habitat da floresta antropogênica; Metodologia de conectividade aplicada em região de habitat florestal urbano; Habitat genérico, várias espécies de animais.
8	De Groot et al. (2010)	Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making	Abordagem sobre integração dos serviços ecossistêmicos no planejamento urbano, junto à gestão e design da paisagem.

Autoria Pessoal

2 OBJETIVOS

Geral

Selecionar áreas prioritárias para proposta de conexão dos fragmentos vegetais e conceber o projeto de design dos conectores ecológicos nos diferentes cenários. Para isso, foi testado o método Suitable Index Restoration (SIR) como preditor de restauração assistida, relacionado ao Multi-buffer para a seleção dos pontos de ligações entre habitats. Sendo assim, espera-se que o trabalho possa contribuir com a pesquisa tanto em escala regional quanto global na recuperação de paisagens fragmentadas.

Específicos

1. Determinar a distribuição espacial dos remanescentes florestais tomando como área o município de Sorocaba-SP;
2. Aplicar a metodologia SIR+Multi-buffer a fim de avaliar as características matriz (áreas inter-fragmentos) quanto ao potencial de restauração;
3. Efetuar avaliação temporal da variação das métricas de paisagem para análise do mosaico (área total incluindo fragmentos);
4. Avaliar em escala fina o potencial de restauração assistida dos pontos identificados pelo método SIR+Multi-buffer;
5. Apontar diretrizes de projeto para conectores em cada um dos pontos prospectados pela aplicação modelo.

3 REFERÊNCIAS TEÓRICAS E CONCEITUAIS

3.1 CORREDORES ECOLÓGICOS COMO ESTRATÉGIA DE CONSERVAÇÃO

Estudar a conectividade por meio de corredores ecológicos para o planejamento ambiental é promover cenário para viabilizar os fluxos de espécies da fauna e flora. Frequentemente, os corredores e trampolins são usados como ligação da paisagem fragmentada, unindo habitats como estratégia de conservação do ecossistema (Baum et al., 2004).

Estudos realizados sobre a verdadeira eficácia dos corredores em fornecer conectividade foram feitos por Gregory e Beier (2014), Gilbert-Norton et al. (2010), Beier e Noss (1998), onde eles questionaram e avaliaram a efetividade dos corredores medindo a presença das espécies através de corredores estruturais. Os estudos validaram a conservação por meio de corredores, pois estes promovem um resgate demográfico e a recolonização de habitats isolados uns dos outros pela matriz. Resultados também mostraram que a dispersão entre manchas de habitat foram validadas em pesquisas feitas por meta-análise e concluíram que a presença do corredor causou um aumento de 50% das migrações entre manchas de habitat. No entanto, o valor biológico dos corredores depende da espécie focal e da paisagem específica, mas em sua maioria, os estudos sugerem benefícios no uso dos corredores como ferramenta de conservação.

Está claro que o uso de corredores⁴ e trampolins⁵ aumentam a conectividade e a conservação das espécies. Contudo, há uma relação da composição da matriz para que não haja alta resistência⁶ entre as áreas de habitat a serem conectadas (Baum et al., 2004).

⁴ Corredor ecológico, segundo Hilty et al. (2006), pode abranger áreas de vegetação alteradas ou naturais e proporcionar conectividade que permite que a biota se espalhe ou se mova entre os fragmentos de habitat.

⁵ Trampolim ou “*stepping-stone*”, segundo Hilty et al. (2006), pequenos fragmentos de habitat que promovem a conectividade entre grandes fragmentos.

⁶ Resistência da paisagem, segundo Forman (1995), como o efeito do padrão espacial impedindo a taxa de fluxo de espécies.

Tendo em vista que a conectividade da paisagem é a ligação dos processos ecológicos que ocorre em diferentes escalas espaciais, pode-se dizer que os estudos das interações de fluxos entre manchas⁷ e matriz⁸ podem ser analisados de diversas maneiras, como, por exemplo, pelas ligações físicas e padrões existentes no mosaico⁹ (Salviano, 2011; Hilty et al. 2006).

Em geral, existem dois tipos clássicos de promover a conexão ecológica, (i) a que envolve as espécies e seus comportamentos, chamada de conectividade funcional, e (ii) aquelas que são previstas por meio dos padrões espaciais, conectividade estrutural (Saura et al., 2014; Rouget et al., 2006; Tischendorf e Fahrig, 2000; Keitt et al., 1997).

O estabelecimento de conectores ecológicos tem sido atualmente uma das alternativas em termos de conservação e/ou restauração da biodiversidade. Contudo, o foco das pesquisas está em mapear e conservar áreas que facilitam o movimento das espécies e pouco vem sendo estudado com relação às regiões que restringem a conexão, ou seja, onde há matriz de resistência à percolação (MCRae, et al., 2012).

Mas, a princípio, pode-se dizer que existem diferentes tipos de elementos de ligação da paisagem (Quadro 3-1), com intuito de promover a conectividade de fragmentos ecológicos.

Muitos desses elementos vêm sendo utilizados como corredores, em sua forma original e não explicitamente concebidos para tal efeito, como por exemplo, a mata ciliar e as vias verdes, formadas pela vegetação ao longo de um circuito. Em outros casos, os corredores são, propositalmente, implantados ou mantidos para facilitar a conectividade da paisagem por espécies, grupos de espécies ou comunidades ecológicas inteiras (Hilty et al., 2006; Bennett, 1999).

⁷ Mancha, segundo Metzger (2001): originada por fragmentação do habitat, i.e. por subdivisão, promovida pelo homem, de uma unidade que inicialmente apresentava-se sob forma contínua, como uma matriz.

⁸ Matriz, segundo Metzger (2001): usada em estudos de fragmentação, é o conjunto de unidades de não habitat para uma determinada comunidade ou espécie estudada.

⁹ Mosaico, segundo Metzger (2001): apresenta uma estrutura contendo ao menos dois dos seguintes elementos: mancha, corredores e matriz.

Quadro 3-1. Tipos de conexões ecológicas encontradas na literatura.

Tipo	Conotação	Função	Aplicação
Via verde “Greenway”	A paisagem linear possui múltiplas funções, como funções ecológicas, culturais, recreativas e estéticas.	Paisagem recreativa, função estética e otimização de padrões espaciais.	Planejamento de paisagem.
Cinturão verde “Green belt”	Espaço aberto verde configurado em periferia urbana, usado para segmentação urbana e rural.	Limite e expansão urbana, e função recreativa.	Planejamento urbano.
Corredor Ecológico “Ecological Corridor”	Paisagem linear com funções ecológicas, sociais, culturais e outras.	Função ecológica, recreativa e estética e controle de limites de crescimento urbano.	Proteção natural e planejamento ecológico.
Habitat de Rede Ecológica “Ecological network”	Paisagem reticular consistindo em área ecológica de nó, corredor, reserva e reserva natural.	Biodiversidade e conservação.	Planejamento Ecológico.
Infra-estrutura Ecológica “Ecological infrastructure”	Paisagem reticular ou espaço aberto, com serviços básicos do ecossistema consistindo em ponto, linha e superfície.	Conservação e prestação de serviços ecossistêmicos.	Planejamento ecológico.

Adaptado de Peng et al. (2017).

Contudo, conhecer o tipo do conector e aplicá-lo de acordo com a necessidade local, através de um diagnóstico com foco no planejamento urbano e ambiental, torna-se essencial para um efetivo design de conexão, que pode partir de pequenas escalas de ligações, favorecendo as ligações para tornar um grande corredor ecológico.

O desenho do corredor deve ser proposto de forma efetiva, ou seja, eficiente para a fauna/flora local, tendo como base para o estudo, métricas funcionais estabelecidas pela ecologia de paisagem. Para que isso se torne possível, o tomador de decisões deve investigar trechos a serem preservados e/ou manejados, havendo uma recomposição da paisagem. Além

disso, a tomada de decisão deve ser formada por uma análise de dados através de medida de probabilidade e capacidade de conexão nos diferentes cenários (Salviano, 2011).

A conexão e modelagem das ligações entre os fragmentos de vegetação consistem em algoritmos matemáticos dos softwares que trabalham na plataforma SIG - sistema de Informação geográfica (Lang e Blakschke, 2009). A modelagem por SIG está sendo utilizada no desenvolvimento desse projeto, por permitir avaliar os padrões espaciais morfológicos da paisagem através de imagens de satélite e devido a sua ampla capacidade de gerar dados em diferentes escalas e resolução espacial.

3.2 MÉTODOS DE SELEÇÃO DE ÁREAS PARA CORREDORES ECOLÓGICOS

O desenvolvimento do corredor ecológico e a ampla aplicação como meio de conservação biológica passaram por transformações dos métodos de análise e construção de efetivas ligações ecológicas. Os métodos (Quadro 3-2) utilizados na busca pelo corredor ecológico ideal passaram de qualitativos (métodos de julgamento empírico) para quantitativos, com o uso de análise espacial, análise de rede e resistência cumulativa mínima (Peng et al., 2017).

Cada uma dessas modalidades aplicadas na busca por melhores caminhos de corredores ecológicos tem sua colaboração em diferentes aspectos. Por exemplo, o julgamento empírico, qualitativo, geralmente é usado para identificar um corredor em escala regional ou urbana. Por ter como base a qualificação do contexto ambiental natural da área de estudo, tem um foco especial na distribuição espacial dos elementos da paisagem. É um método de aplicação simples sem requisitos de dados quantitativos (não determina largura ou posição dos corredores) ou dados espaciais complexos (Kong et al., 2010). Com o auxílio do sensoriamento remoto tem sido amplamente usado através de interpretação de imagens de satélite.

Quadro 3-2. Comparativo entre os métodos utilizados para obtenção de corredores ecológicos.

Métodos	Conteúdo	Vantagens	Desvantagens / Limitações
a. Julgamento empírico	Bases em experiências de especialistas auxiliam na tomada de decisão subjetiva.	Simple, claro e fácil de operar.	Difícil determinar o número, a largura e a localização dos corredores.
b. Análise de adequação e sensibilidade	Selecionar indicadores representativos para avaliar aptidão de áreas para corredores ecológicos	Complementa o julgamento subjetivo	Não existe índice de avaliação aceito. Definido subjetivamente
c. Análise de rede.	Usa métricas da paisagem para quantificar a rede de conexão	Medição simples e quantitativa de acordo com as características dos corredores ecológicos, evitando a subjetividade.	Apenas os atributos espaciais da paisagem são considerados, há falta de funções ecológicas, em particular dos serviços ecossistêmicos.
d. Análise de resistência cumulativa mínima.	Identificar o caminho de resistência cumulativa mínimo entre a fonte e o alvo como potencial corredor ecológico.	Considera plenamente as características geográficas e os comportamentos biológicos, com alta operacionalidade.	Incertezas na seleção de fatores e na configuração do coeficiente de resistência.

Adaptado de Peng et al. (2017).

Já a análise de adequação “*Suitability analysis*” se constitui principalmente de características ecológicas da área de estudo para selecionar fatores qualitativos representativos e também identifica de modo quantitativo a localização dos corredores ecológicos (Liu et al., 2012).

Análise de rede é composta pela teoria dos grafos, onde a paisagem é reconhecida por meio de uma estrutura de rede composta de nós (pontos), linhas e superfície. Também conhecido como método das métricas da paisagem. Atualmente, é um dos métodos mais usados na seleção de conectividade, onde a conectividade de rede é quantificada usando métricas da paisagem, como número, tamanho, densidade dos fragmentos, entre outras métricas. Nesse tipo de estudo, geralmente, considera-se áreas de alta conectividade como melhor função na rede de corredores ecológicos. A cautela de deduções subjetivas e a validação da construção de corredores ecológicos são vantagens encontradas no método de

rede. Além disso, a análise quantitativa e junto da tecnologia SIG demonstram, de forma efetiva, as ligações entre fragmentos de vegetação. Nesse caso, são levados em conta apenas comportamentos espaciais, onde a conectividade é feita de forma estrutural e não funcional, devido à ausência de informações sobre a percepção das espécies.

Existe ainda, na literatura, análise de resistência mínima cumulativa, também chamada de “*least cost*” ou menor caminho. Esse método tem como base a resistência cumulativa mínima entre habitats, ou seja, a resistência encontrada pela vida selvagem em seu movimento através de diferentes componentes da paisagem. Dessa forma, a localização e demais características de um corredor ecológico são determinadas com auxílio de tecnologias SIG, calculando o percurso de custo mínimo, levando em consideração características geográficas e comportamento biológico, priorizando trajetos onde pode haver maior facilidade de migração espacial. É um método bastante utilizado atualmente. Contudo, a determinação do coeficiente de resistência ainda não atingiu um consenso, sendo que, a maioria dos estudos utilizam apenas métricas espaciais geográficas como barreira para as espécies biológicas e não consideram fatores ligados às atividades humanas, como densidade populacional, existência de terrenos privados ao longo do trajeto, rodovias, entre outras ações antrópicas (Peng et al., 2017).

Todavia, a integração entre métodos qualitativos, quantitativos e análise espacial (SIG) é primordial para um resultado efetivo na busca pelo corredor ecológico ideal para cada uma das diferentes paisagens.

Com intuito de demonstrar atualidade no assunto e o que vem sendo feito a respeito, foi elaborada uma revisão de publicações internacionais que apresentaram questões sobre a conectividade da paisagem e os métodos mais recentes aplicados no desenvolvimento de tais projetos. Na busca dos trabalhos, foram utilizados os meios de pesquisa, *Web of Science* e *Science Direct*, usando as seguintes palavras-chave, em várias combinações: *ecological connectivity, landscape, path functional connectivity, habitat connectivity, actual connectivity, stepping stones, movement routs, linear habitat, landscape routs, spacial ecology, ecological corridor*. Os 10 estudos contemporâneos mais relevantes foram selecionados por cronologia como segue descrito no Quadro 3-3.

Quadro 3-3. Lista de revisão de estudos encontrados na literatura. Classificação cronológica reversa e alfabética.

No.	Revisão da Literatura	Título original em inglês	Método utilizado no estudo
1	Ribeiro et al. (2017)	Landscape Corridors (Iscorridors): a new software package for modelling ecological corridors based on landscape patterns and species requirements	Método de resistência cumulativa mínima.
2	Hong et al. (2017)	Sensitivity evaluation and land-use control of urban ecological corridors: A case study of Shenzhen, China	Método Qualitativo.
3	De Montis et al. (2016)	Urban-rural ecological networks for landscape planning	Conexões de Rede ecológica.
4	Li et al. (2015b)	Planning of Green Space Ecological Network in Urban Areas: An Example of Nanchang, China	Conexões de Rede ecológica.
5	Loro et al. (2015)	Ecological connectivity analysis to reduce the barrier effect of roads. An innovative graph-theory approach to define wildlife corridors with multiple paths and without bottlenecks	Conectividade ecológica por meio do estudo de redes.
6	Bortoleto et al. (2016)	Suitability index for restoration in landscapes: an alternative proposal for restoration projects	Método de modelagem qualitativo e quantitativo em SIG.
7	Fortin et al. (2012)	Spatial statistics, spatial regression, and graph theory in ecology	Teoria dos Grafos (rede)
8	Galpern et al. (2011)	Patch-based graphs of landscape connectivity: A guide to construction, analysis and application for conservation	Conectividade da paisagem a partir de fragmentos.
9	Gurrutxaga et al. (2010)	GIS-based approach for incorporating the connectivity of ecological networks into regional planning	Método de resistência cumulativa mínima.
10	Saura e Rubio (2010)	A common currency for the different ways in which patches and links can contribute to habitat availability and connectivity in the landscape	Estudo de diferentes caminhos para ligação de fragmentos ecológicos (rede ecológica).

Alguns estudos (Ribeiro et al., 2017; Hong et al., 2017; De Montis et al., 2016; Li et al., 2015b; Fortin et al., 2012; Galpern et al., 2011; Gurrutxaga et al., 2010; Saura e Rubio, 2010), mostraram que modelos para a identificação de área fragmentada vêm sendo desenvolvidos, pois são adequados para promover a ligação entre os fragmentos de vegetação. Dentre estes, a grande maioria utiliza métodos baseados em estudos de redes de ligações ecológicas (baseado na teoria dos grafos) para definir caminhos entre as áreas de habitat, sendo que outros aplicam métodos qualitativos baseados em julgamento empírico. Há também aqueles que determinam os locais para estabelecimento de corredores por meio da resistência ao movimento da espécie. Nesse contexto, pode-se dizer que todos os métodos são efetivos e podem ser aplicados às regiões com relação às suas características.

Contudo, há apenas um método híbrido que leve em consideração os pontos fortes qualitativos, como conhecimentos e diagnósticos ecológicos do local, adicionados aos quantitativos, ou seja, fatores de suma importância como o potencial da matriz com base nas ações antrópicas, em relação à permeabilidade ou resistência do movimento às espécies, levando em consideração ainda a menor distância efetiva entre os fragmentos de vegetação.

Um exemplo é o “*Suitability Index for Restoration*” (SIR), ou índice de adequação para restauração, desenvolvido por Bortoleto (2016). Este método identifica padrões matriciais que ocorrem na cobertura da terra quanto à adequação para restauração, ou seja, seleciona regiões com potencial para aplicações em projetos de corredores ecológicos e ainda permite ao usuário identificar áreas com potencial para restauração da paisagem, tendo como base a relação entre a permeabilidade ou resistência da paisagem e, ainda, a distância efetiva entre fragmentos. Logo, o *SIR* será utilizado neste trabalho como pré-seletor de áreas para a implantação de corredores ecológicos.

3.3 RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA – CONCEITO E PRINCIPAIS MODALIDADES

A degradação do ecossistema é causada pela divergência entre Sociedade-Natureza. Assim, a sociedade contribuiu para mudanças no ecossistema que afetam o uso da terra quanto ao habitat e também à biodiversidade. Tendo em vista a integridade dos serviços ecossistêmicos e qualidade de vida, é preciso proporcionar um novo equilíbrio de necessidades da sociedade com os sistemas naturais da Terra (Weinstein e Day, 2014).

A restauração ecológica é o processo de assistência à recuperação dos danos causados pelos seres humanos, visando orientar a trajetória e velocidade do processo de sucessão ecológica como forma de incrementar a dinâmica e diversidade dos ecossistemas naturais (Keenelyside et al., 2012; Jackson et al., 1995). Outro conceito relevante sobre restauração ecológica foi obtido no “*International Standards for the Practice of Ecological Restoration*”, e relata o processo de auxiliar a recuperação de um ecossistema degradado, danificado ou destruído (SER, 2004).

Além disso, a restauração ecológica exerce uma função fundamental na reconstrução do equilíbrio ecológico (Ma et al., 2013). É, ainda, uma intervenção aplicada à recuperação de um ecossistema em relação à sua estrutura e propriedades funcionais, incluindo permutas com outras paisagens. O termo "restauração ecológica" é também sinônimo de "restauração do ecossistema" (Török e Helm, 2017).

A restauração ecológica pode se limitar somente a recuperação natural (restauração passiva) por meio da redução das pressões de agentes externos ou, por outro lado, envolver intervenções significativas (restauração assistida), inclusive com o restabelecimento de espécies extintas localmente (Keenelyside et al., 2012).

Visando ilustrar graficamente o processo, apresenta-se a Figura 3-1 onde observa-se que as bolas numeradas representam estados alternativos do ecossistema, sendo a resiliência entre eles representada pela largura e profundidade dos vales da curva contínua. Perturbações por agentes externos causam transições para estados cada vez mais degradados, sendo o estado # 6 aquele que possui o maior grau de degradação. Barreiras ou limiares também podem existir entre alguns estados do ecossistema, conforme esquematizado pelas faixas verticais. Estes fatores impedem o ecossistema de retornar para um estado menos degradado.

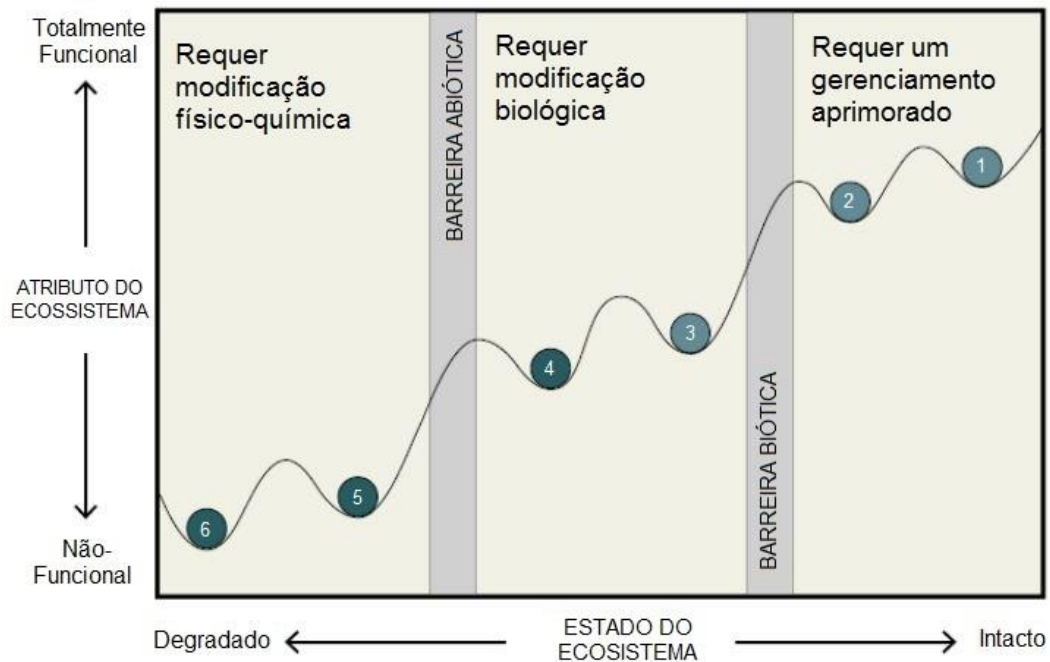


Figura 3-1. Degradação e Restauração do Ecossistema. Adaptado de Keenleyside et al. (2012).

Já a restauração (passiva ou assistida) tenta mover o ecossistema de volta para um estado o mais próximo possível daquele considerado estruturalmente "intacto". No entanto, para estados com maior grau de degradação, a pressão causada pelos agentes externos inibe a recuperação natural do ambiente. Dessa forma, pode-se dizer que em áreas gravemente degradadas que apresentam baixa resiliência, a restauração assistida é a abordagem mais indicada para reverter à degradação da terra e recompor o funcionamento e a sustentabilidade dos ecossistemas (SER, 2004).

Muitos exemplos nos trópicos e em outros lugares, no entanto, mostram que alguns ecossistemas se recuperam rapidamente, mesmo sem a intervenção humana (Holl e Aide, 2011). Isso indica que a escolha do método a ser empregado na restauração ecológica é uma questão bastante complexa que deve levar em conta diversos fatores simultaneamente. No estudo de Holl e Aide (2011), os autores identificaram fatores a serem considerados para planejamento na aplicação e gerenciamento para restauração de áreas degradadas. Tais fatores são apresentados no diagrama da Figura 3-2.

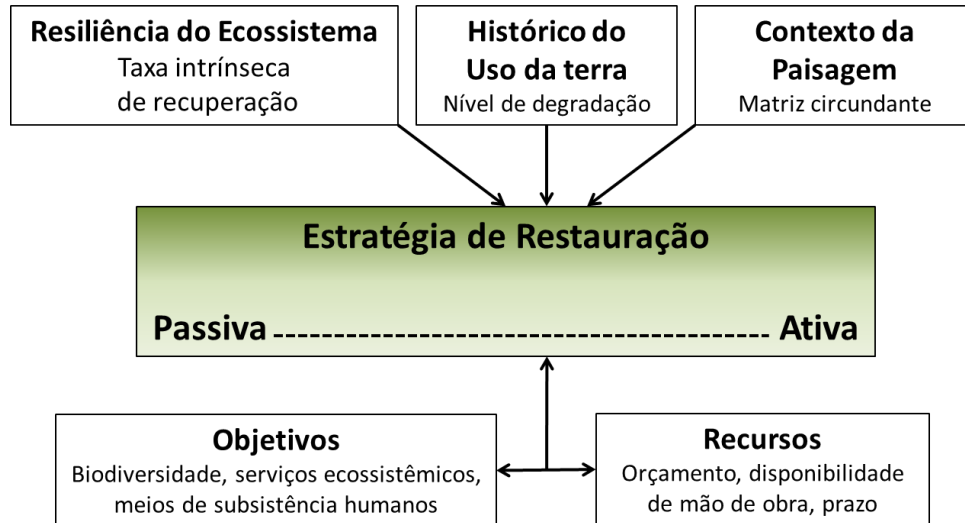


Figura 3-2. Diagrama com fatores para escolha do método de restauração. Adaptado de Holl e Aide (2011).

As informações sobre esses fatores ajudarão a decidir sobre o tipo e o grau de intervenção que serão necessários. A estratégia de restauração aplicada na tomada de decisão a ser empregada em um sistema degradado depende da taxa de recuperação natural e do ponto final desejado para o ecossistema. A taxa de recuperação é afetada pela resiliência do ecossistema (definido como o grau e o ritmo com que um ecossistema recupera a estrutura inicial e a função após o distúrbio, o nível de degradação humana e as características da paisagem ao redor da área focal). Igualmente importantes são os objetivos e os recursos disponíveis para um projeto, o que ajudará a determinar a escala e o prazo do projeto.

Embora a restauração ecológica seja uma atividade necessária e prevista em lei (veja, por exemplo, a Resolução SMA 32/14 da Secretaria Estadual de Meio Ambiente de São Paulo que estabelece as orientações, diretrizes e critérios sobre restauração ecológica no Estado de São Paulo) (SMA, 2014), a elaboração e execução de projetos de restauração ecológica compreende um conjunto de trabalho normalmente complexo e oneroso, no qual o poder público, especialmente em países de terceiro mundo, usualmente toma providências apenas em casos de grande repercussão na mídia. Para tornar projetos atraentes politicamente, viáveis economicamente e eficientes ecologicamente, há sempre a necessidade da escolha do local a ser restaurado, bem como o método de restauração a ser empregado, pois projetos de restauração envolvem entre outros aspectos, mudanças na cobertura da terra e no uso do solo, fato nem sempre aceitável pelos donos das terras.

3.4 USO DE VANTS PARA OBTENÇÃO DE IMAGEM AEROFOTOGRAFÉTRICA

Atualmente, os veículos aéreos não tripulados (VANTs) têm atraído atenção, por serem equipamentos amplamente versáteis e com capacidade de realizar medições e mapeamentos. O VANT popularmente conhecido como drone, possui o Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS) e permite aquisição de imagens aerofotogramétricas.

O levantamento aerofotogramétrico realizado por meio de VANTs tem se tornando uma técnica importante e econômica para registrar imagens, com aplicações inovadoras no registro de informações onde o acesso humano é restrito (Mantelli, et al., 2019; Zeybek e Şanlıoğlu, 2019). Além da escala fina de avaliação do local, no entanto, também há aplicativos que realizam eficazmente análise de características da paisagem, com coleta de imagens baseada em drones, permitindo a pesquisa em grande escala. Essa combinação de tecnologia pode ser usada para capturar fotografias com resolução espacial muito alta. Além disso, o hardware é altamente portátil, permitindo ao usuário acessar uma ampla área de estudo.

Com isso, as pesquisas tornaram-se totalmente automatizadas e a estrutura moderna do software de movimento permite ao usuário criar fotografias aéreas ortorretificadas com o clique de um botão. No entanto, apesar disso, poucos utilizam essa técnica para estudos em ecologia de paisagem (Huilin et al., 2017).

Outro estudo que pode ser destacado aqui é o de Reis et al. (2019), cujo trabalho avalia a viabilidade desta tecnologia para o mapeamento e monitoramento da restauração de áreas florestais em grande escala.

Nos últimos anos, o rápido desenvolvimento de drones, bem como a diminuição substancial de seu custo, tornou-os uma opção viável para aplicação nos diversos campos da ciência. Embora estes equipamentos tenham se tornado rapidamente a plataforma de acesso para tirar fotografias, a capacidade dessa tecnologia de aprimorar ainda mais as aquisições de informações e monitoramento ambiental ainda não foi totalmente introduzida na pesquisa de ecologia de paisagem.

O uso de Vant neste trabalho permitiu avaliar em escala fina, por meio de imagens aéreas, as áreas contidas em cada um dos pontos identificados para proposta de design de conectores ecológicos.

3.5 DESIGN DE CONECTORES ECOLÓGICOS

O projeto cauteloso de indicação do local a ser instalado corredor pode aumentar a chance de que as metas de conectividade sejam alcançadas. Pesquisas recentes revelam considerações importantes de aplicabilidade geral para estabelecer e manter a conectividade. Os fatores importantes na definição do planejamento de corredor são as escalas espaciais e temporais e as espécies ou comunidades que o corredor deve abordar. Aliado a isso, leva-se em consideração, ainda, o contexto da paisagem, o contexto social, os objetivos e a escala do projeto: escala espacial ampla ou mais fina, sendo que a escala espacial está relacionada à resolução espacial. Por exemplo, onde a meta é estabelecer corredor para viabilizar a mobilidade das espécies, continuamente em toda a sua distribuição, a conectividade é abordada em uma escala ampla. Onde o objetivo é permitir que uma espécie se mova diariamente entre manchas de habitat, um corredor específico pode ser projetado em uma escala mais detalhada. Embora as propostas gerais sobre o design sejam difíceis devido à imensa variedade das situações em que os corredores são implementados. (Hilty et al., 2006).

O termo corredor pode ser encontrado em diferentes contextos e definições (Hess e Fischer, 2001; Rosenberg et al., 1997; Saunders e Hobbs, 1991). De forma geral, os corredores são considerados faixas de terra com duas dimensões espaciais (comprimento e largura) e, além disso, apresentam funções ecológicas, por isso a denominação “corredor ecológico”. Como o termo evidencia, muitos corredores devem funcionar principalmente como condutores de movimento de espécies de fauna e flora. Entretanto, alguns corredores são usados também como habitat, o que pesquisadores como Hess e Fischer (2001) e Rosenberg et al. (1997) consideram como outra função importante. Portanto, se um corredor deve abrigar uma espécie alvo mesmo que temporariamente, este, deve ter dimensões necessárias para tal. Já um conector ecológico, tem a função de ligação entre fragmentos vegetais em curtas distâncias, estabelecendo conexões ao longo do corredor ecológico.

3.5.1 *Dimensões de Corredores*

As dimensões dos corredores representam um papel importante na estrutura da paisagem para facilitar o movimento (Hilty et al., 2006). Contudo, corredores mais estreitos tendem a ter menos habitat interno e mais habitat de borda (Rosenberg et al., 1997; Hobbs, 1992).

Estudos experimentais por meio de simulações computacionais (Shirabe, 2018; Emaresi et al., 2011; Tischendorf e Wissel, 1997; Andreassen et al., 1996; La Polla e Barrett, 1993; Soulé e Gilpin, 1991) sugerem que a largura do corredor é uma variável chave que afeta a dispersão de organismos. Logo, a eficácia dos corredores no movimento entre as manchas aumenta com o aumento da largura do corredor (Bentrup, 2008; Haddad, 1999; Tischendorf e Wissel, 1997).

Consequentemente, é possível dizer que alguns parâmetros são determinantes para o projeto de corredor ecológico. Sendo que, os principais fatores a serem considerados, são as dimensões que o corredor terá, em termos de largura e comprimento, e a relação dessas medidas a outros critérios, como, tamanho do fragmento, o tempo de uso, e a intensidade de uso humano na matriz.

A Figura 3-3 apresenta essa correlação de forma clara e objetiva através dos gráficos, sendo que em A quanto maior o fragmento, maior deverá ser o corredor necessário para facilitar o movimento e fornecer habitat potencial. Em, B à medida que o comprimento do corredor aumenta, a largura também deve aumentar. Lembrando que, corredores mais curtos são mais propensos a fornecer maior conectividade do que corredores longos. Já em C um corredor geralmente precisará ser mais amplo em paisagens que fornecem habitat limitado ou que são dominadas pelo uso humano. Logo, em D, corredores que precisam funcionar por décadas ou séculos devem ser mais amplos.

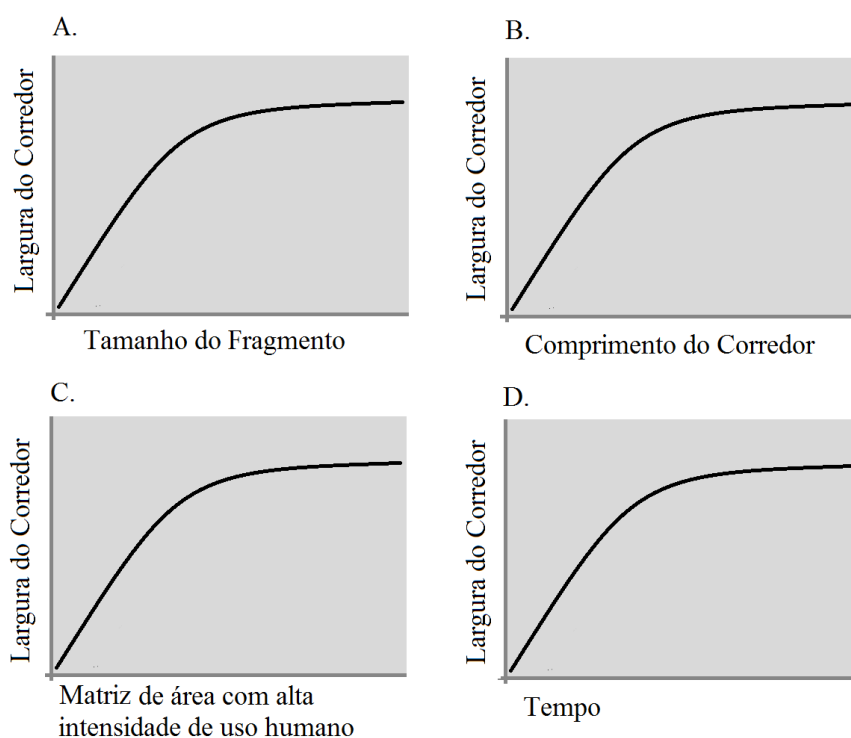


Figura 3-3. Relação das dimensões do corredor ecológico com fatores importantes para sua implantação. Adaptado de (Bentrup, 2008).

Algumas funções que requerem um tempo significativo incluem a dispersão de organismos de movimento lento, o fluxo gênico e as alterações na distribuição de alcance devido à mudança climática. Além disso, em todos os casos a largura do corredor atinge um limite máximo e depois se mantém constante.

Como visto anteriormente, pesquisadores sugerem que comprimento e largura interagem de tal forma que corredores mais longos exigem larguras maiores. Por exemplo, Beier (1995) sugeriu que dimensões de pelo menos 100 metros de largura e menos de 800 metros de comprimento seriam adequadas para pumas (*Puma concolor*). No entanto, se o comprimento exceder 1km, recomenda-se que a largura seja maior que 400m (Beier, 1995). Uma abordagem promissora e mais generalizada baseia a dimensão mínima do corredor viável no tamanho das manchas remanescentes de habitat (Kubeš, 1996). O referido autor estima que os fragmentos de habitat de 0,5 a 5ha exigem corredores que não excedam 1.000-2.000m de comprimento e sejam de pelo menos 10-20m de largura. Fragmentos maiores, entre 5 a 50ha, precisariam de corredores não mais longos equivalentes a 400-1.000 metros de comprimento e pelo menos 20-50m de largura para manter conectividade.

A escolha de áreas que minimizem o comprimento e maximizem a largura é ideal para corredores contínuos. No caso de espécies sensíveis a efeitos de borda, é importante manter

corredores que sejam largos o suficiente para permanecer no habitat não afetado pela borda. O mesmo conceito se aplica aos corredores onde cada patch deve ser grande o suficiente para manter sua integridade (Hilty et al., 2006).

Desse modo, a dimensão dos corredores afeta, ainda, na determinação de espécies existentes no corredor (Bentrup, 2008), como mostra a Figura 3-4.

Nesse caso, para que um corredor seja abrangente com relação às espécies, e consequentemente funcional, sua largura deve variar. Um corredor com largura mínima de 30m engloba plantas, invertebrados, répteis, anfíbios e pássaros, majoritariamente terrestres, mas podendo haver espécies aquáticas também, caso seja um corredor “úmido”, referente à mata ciliar de cursos d’água. Para conter também pequenos mamíferos, a largura mínima do corredor deverá ser de 60m. Bem como, para atingir todas as espécies de fauna e flora, inclusive grandes mamíferos e predadores, a largura do corredor deverá estar entre 150m e aproximadamente 5 km.

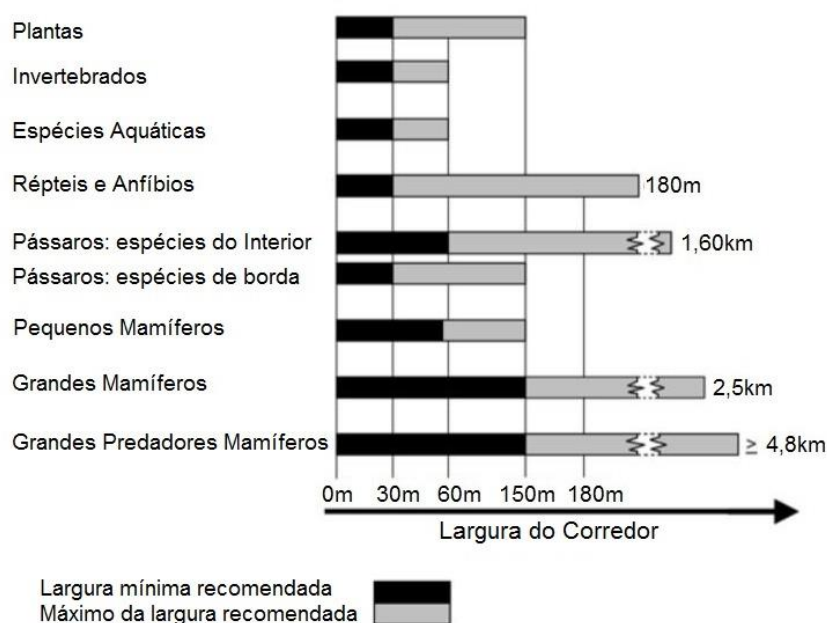


Figura 3-4. Largura efetiva do corredor ecológico com base nas espécies. Adaptado de (Bentrup, 2008).

Entretanto a área do fragmento é também um fator importante para determinar as espécies que podem estar contidas em seu interior. Além do mais, grandes fragmentos conservam uma grande variedade de espécies em um habitat, devido principalmente à alta porcentagem de área interior que as contém. Dessa forma, a área mínima requerida por habitat

está relacionada a cada espécie, a qualidade do habitat e da paisagem, mas de maneira geral pode variar entre 1 a 220 mil ha, conforme Tabela 3-1. Aliás, as considerações de escala espacial são imprescindíveis no processo de projetar uma rede ecológica (Bentrup, 2008; Rouget et al., 2006).

Tabela 3-1. Tamanho de Fragmentos de vegetação por espécie.

Espécie	Área do fragmento de vegetação (ha)	
	de	até
Plantas	2	102
Invertebrados	0,0005	1
Répteis e Anfíbios	1	14
Pássaros do campo	5	55
Aves aquáticas	≥ 5	-
Pássaros de floresta	2	39
Pequenos mamíferos	1	10
Grandes mamíferos	16	517
Grandes mamíferos predadores	906	220 mil

Adaptado de Bentrup, 2008.

3.5.2 Tipos Estruturais de Corredores

A conectividade é promovida por diferentes tipos de elementos da paisagem. Muitos elementos são naturais, como vegetação à beira de cursos d'água, estradas e vias verdes, estas ocorrem ali naturalmente, ou seja, não foram projetadas para tal ocasião, mas se formaram com as intervenções feitas ao seu redor. Esses elementos naturais de vegetação precisam ser mantidos e restaurados, quando necessário, para facilitar a conectividade da paisagem, seja por espécies individuais, em grupo ou até comunidades ecológicas inteiras (Hilty et al., 2006).

Há uma variedade de modelos de ligações para conectar áreas de habitat. Os corredores podem ser vegetados ou abertos, dependendo do tipo de matriz ao redor. Porém, em geral, são estreitas e contínuas faixas de vegetação (habitat) que, estruturalmente, conectam dois fragmentos de habitat que não são adjacentes (Kindlmann e Burel, 2008). Segundo Hellmund e Smith (2013), os corredores podem ser formados por vegetação em linha, compostos completamente por habitat de borda; ou corredores de faixa, que abrange ambos os habitats de borda e interior (Figura 3-5).

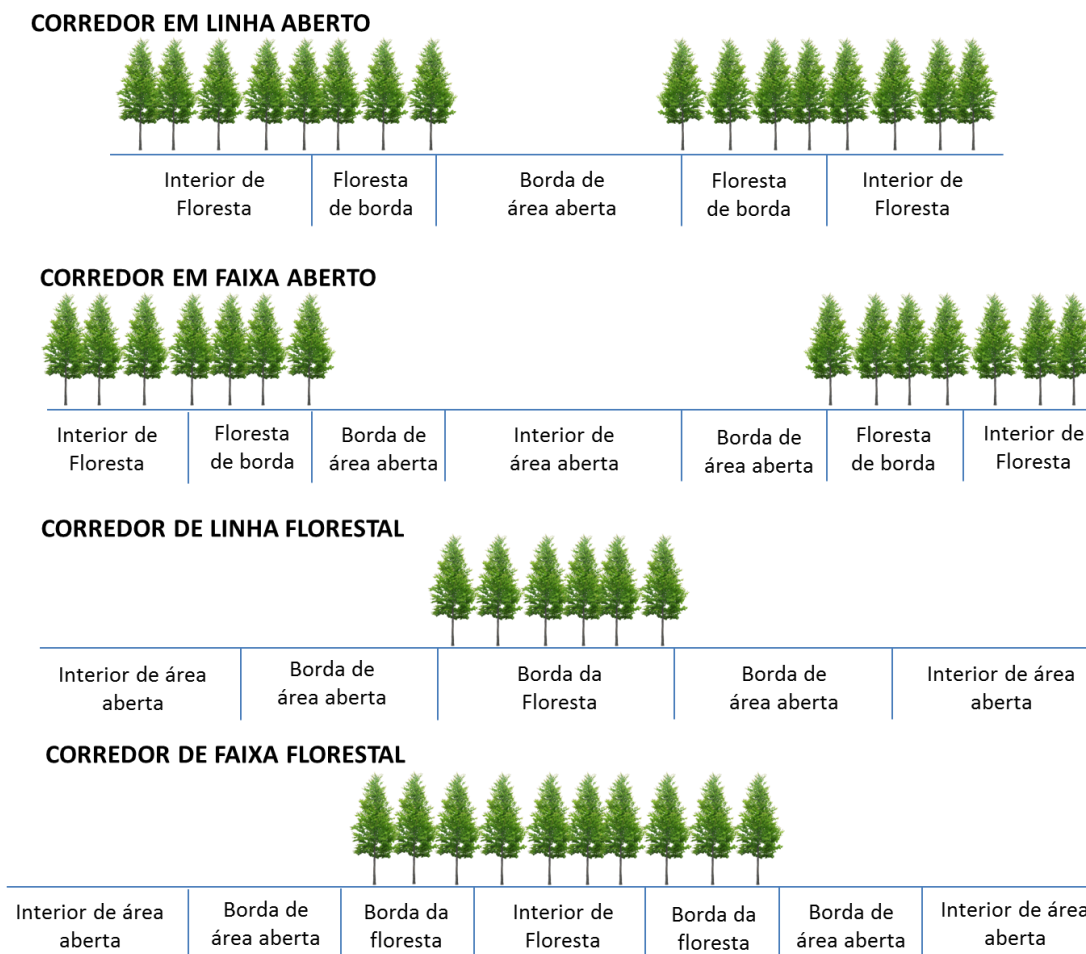


Figura 3-5. Formação de corredores ecológicos. Adaptado de Hellmund e Smith (2013).

Estudos constataram que, em paisagens fragmentadas, corredores de faixa são mais significativos do que corredores de linha com relação à conservação da maioria das espécies nativas de interesse (Hellmund e Smith, 2013).

Pesquisas comprovam que espécies de interior de habitat, ocorrem apenas em corredores de pelo menos 50 m de largura (Harris, 1988). Nesse caso, pode-se constatar que corredores mais largos são necessários para conectar eficientemente habitats bem definidos, ou invés de plantações em linha, onde os efeitos de borda se tornam maiores com o aumento do contraste da paisagem adjacente. No entanto, os mesmos estudos apontam para o valor dos habitats lineares em paisagens muito fragmentadas e com alta densidade urbana, apesar dos problemas relacionados à limitação do corredor e efeitos de borda associados a ele, os corredores lineares são muito utilizados com vias verdes urbanas (Hellmund e Smith, 2013; Bennett, 1999).

Corredores que fornecem conectividade entre fragmentos de habitat podem mitigar os efeitos da fragmentação na biodiversidade, permitindo a dispersão de espécies em toda a

matriz da paisagem. O contexto da paisagem (incluindo a composição do conjunto regional de espécies, a matriz do habitat circundante e a qualidade do habitat dos fragmentos) é considerado de extrema importância para a implantação e design de corredores ecológicos (Carlier e Moran, 2019).

Embora exista uma grande diversidade inerente aos corredores ecológicos em termos de conceito entre outros parâmetros, como: escala, contexto de paisagem, estratégias de planejamento, tipologias de corredores. O design pode ser definido de acordo com o valor e a utilidade desses parâmetros. Sendo que, o potencial do projeto para estabelecer conexão entre os fragmentos de vegetação está em viabilizar o planejamento e projeto de corredores ecológicos.

3.5.3 Conectores e Barreiras Físicas

As estradas podem ser o elemento mais destrutivo do uso do solo pelos humanos, causando um grande efeito de alteração do ambiente físico e, conseqüentemente, fragmentando a paisagem. Uma grande barreira, como no caso de uma rodovia, é uma interferência no ecossistema local (Assis, et al., 2019; Trombulak e Frissell, 2000; Forman e Alexander, 1998). Estudos mostram que estradas, especialmente estradas largas e pavimentadas, mas também trilhas estreitas e não pavimentadas são barreiras ao movimento de espécies.

Esforços públicos e privados, ao longo do mundo, vêm sendo colocado em prática na proteção e restauração de passagens naturais ou semi-naturais para manter a conectividade (Hilty et al., 2006). Os projetos variam em propósito e escala, desde a construção de passagens subterrâneas (*underpasses*) até pontes verdes (*overpasses*).

As dimensões das estruturas variam de acordo com considerações específicas do local e das espécies. Na França, foram considerados bem sucedidos projetos de *overpasses* com alturas que vão de 3 a 5 m. Assim como, passagens subterrâneas, para mamíferos de médio a grande porte, com 3 m de altura e 6 m de largura (Bank et al., 2002).

Outras dimensões de conectores foram observadas nos estudos de Beckmann et al. (2010), o estudo indica a estrutura de acordo com as espécies e os usos. Como, por exemplo, estabelece dimensões de viadutos (*overpasses*) para a vida selvagem entre 40 a 70m de largura, dos mais largos aos mais estreitos. Embora os mamíferos de pequeno e médio porte

tendem a utilizar estruturas menores, particularmente espécies generalistas comuns em ambientes dominados por seres humanos, essas estruturas têm geralmente entre 10 a 25 m de largura. Já, as passagens subterrâneas (*underpasses*) não são tão grandes quanto os viadutos (*overpasses*). Essas estruturas subterrâneas são projetadas especificamente para o movimento de vida selvagem desde mamíferos de grande porte até de pequeno e médio porte, também podem ser adaptadas para anfíbios e semiaquáticos. As dimensões para as passagens subterrâneas variam entre 10-7m de largura e 4 m de altura (incluindo grandes mamíferos e carnívoros), sendo as menores estruturas (pequenos e médios mamíferos) entre 7-5m de largura e 3,5-2,5m de altura (Beckmann et al., 2010).

Algumas passagens subterrâneas servem também para necessidades duplas de água corrente e de vida selvagem. Geralmente se localizam em corredores de movimento urbano. Estas estruturas de passagem subterrânea mistas podem ser usadas por pequenos e médios mamíferos, com dimensões entre 3-2m de largura e 4-3 m de altura (Beckmann et al., 2010).

Os cruzamentos de dossel (copa das árvores) também são estruturas de travessia (tipo *overpass*) projetados para conectar habitats separados por estradas. Eles podem ser implantados em espécies arbustivas e arbóreas. Esses tipo de conexão pode ser adotado em muitos tipos e larguras de estradas. Os projetos devem ser específicos para atender às necessidades das espécies, assim como o design e os materiais utilizados (Beckmann et al., 2010). Relativamente poucas passagens de dossel foram construídas até hoje, principalmente na Europa e na Austrália (Goosem, 2004).

4 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo compreende o município de Sorocaba que está localizado na parte sudeste do Estado de São Paulo, entre as coordenadas 23°21' e 23°35' de latitude sul e 47°17' e 47°36' de longitude oeste (Figura 4-1).

O município de Sorocaba possui uma área de 449 km² e uma população de 651.434 habitantes em 2019, sendo cerca de 98% considerada urbana, sua densidade demográfica é de 1.446,41 hab./km² (Seade, 2019).

O clima do município de Sorocaba é considerado, segundo a classificação climática de Köppen, como temperado úmido com inverno seco e verão quente (Cwa), onde: a letra “C” representa a existência de um mês com temperatura média mensal menor que 18°C e todos os meses com temperatura média mensal superior a -3°C; a letra “w” representa ocorrência de chuvas de verão, e a letra “a” representa temperatura média mensal inferior a 22°C (Embrapa, 2018).

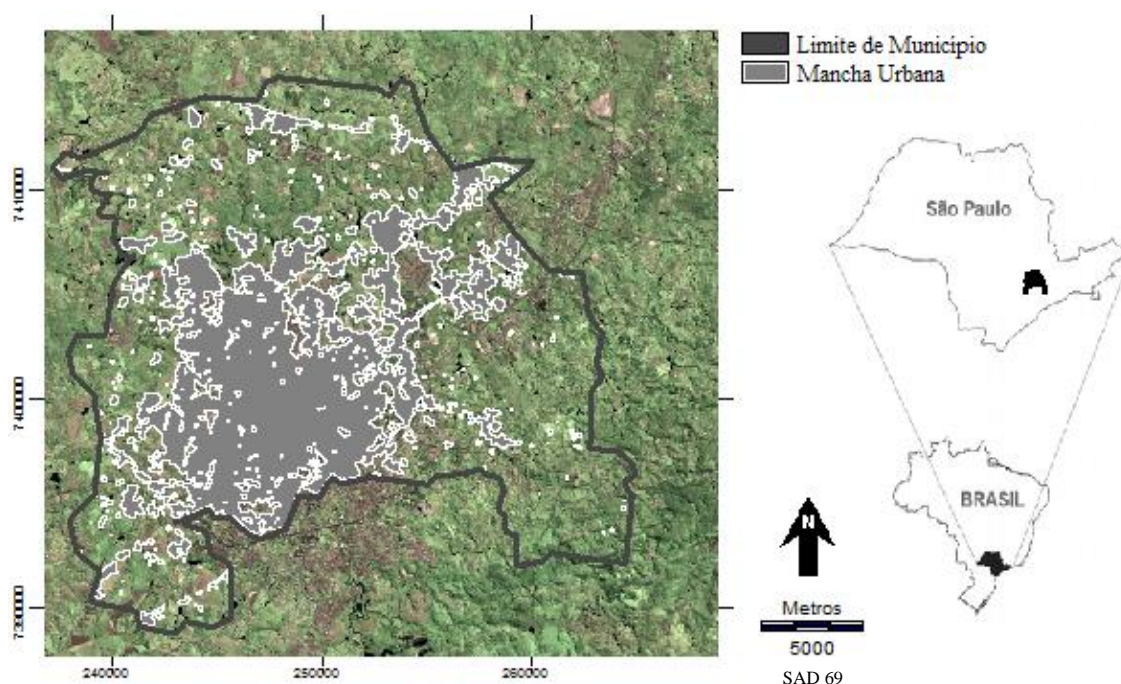


Figura 4-1. Localização da área de estudo (Autoria Pessoal). Coordenadas em sistema UTM, zona 23S, Datum: SAD69.

A altitude média da região é de 580m. Com exceção da porção sudeste do território, o restante do município é predominantemente atravessado pela classe de elevação que vai de 530 a 600 metros. As demais classes de elevação, que podem variar entre 700 e 1.025 metros,

são identificadas de forma muito mais restrita no município de Sorocaba, de forma que juntas não chegam a totalizar 7% do território. As maiores altitudes, principalmente as que estão acima de 800 metros, situam-se na porção sudeste do município, onde se localiza a Serra de São Francisco, na divisa com o município de Votorantim. A declividade na maior parte do município está entre 0° e 15°, com uma porção na região sudeste onde há maior variação de declividade (SEMA, 2013).

Com relação à hidrografia, o município está inserido na UGRHI 10 - Sorocaba/ Médio Tietê (Unidade de Gerenciamento de Recurso Hídricos do Estado de SP). Esta região engloba 33 municípios, mas tem Sorocaba como Macro MetrÓpole Paulista. O Rio Sorocaba percorre 180 km, até atingir o trecho do médio Tietê, sendo o seu principal afluente do lado esquerdo (SMA, 2018). A bacia hidrográfrica do Rio Sorocaba possui uma área de drenagem de 5.269km², tem os rios Sorocamirim e Sorocabuçu como formadores do rio Sorocaba.

O município de Sorocaba possui vegetação típica de ecótono, ou seja, região de transição entre os biomas Mata Atlântica e Cerrado. Com predominância de Mata Atlântica. Porém, ocorrem também algumas manchas importantes de vegetação pertencente ao bioma Cerrado. A formação vegetacional é constituída por Floresta Estacional Semidecidual (predominante), Floresta Ombrófila densa, Floresta Ombrófila mista, Vegetação Ciliar e Savanas (SEMA, 2013; IBGE, 2012). No município ocorrem mais de quatrocentas espécies de plantas vasculares, além de 53 espécies de peixes, 23 espécies de anfíbios, 49 de répteis, 48 espécies de mamíferos e 280 espécies de aves e uma grande quantidade de espécies de invertebrados aquáticos e terrestres (Smith et al., 2014).

Sorocaba é notória por apresentar uma das maiores concentrações de fragmentos florestais do Estado de São Paulo. A Vegetação Natural Remanescente (VNR) representa, atualmente, 22,0%, da área do município, de remanescentes vegetais. O cenário de ecótono torna-se estratégico para a promoção de conexões entre os remanescentes florestais e proporciona a conservação da biodiversidade (Smith e Ribeiro, 2015). Contudo, possui apenas uma Unidade de Conservação (UC) em seu limite territorial, o denominado Parque Natural Municipal, com 63 ha e que constitui a maior área natural protegida do município. Esse fato aumenta a importância do estabelecimento de estratégias de conservação para o município. Há ainda na região duas UCs vizinhas do limite de município de Sorocaba, são elas a Floresta Nacional de Ipanema, com área de 5.078ha, e a Área de Proteção Ambiental de Itupararanga com aproximadamente 93 mil ha de vegetação natural (São Paulo, 2017; Mello, 2012). No entanto, a Secretaria de Meio Ambiente do município tem uma proposta de criação de um

corredor ecológico municipal conectando essas unidades de conservação da região (Figura 4-2).

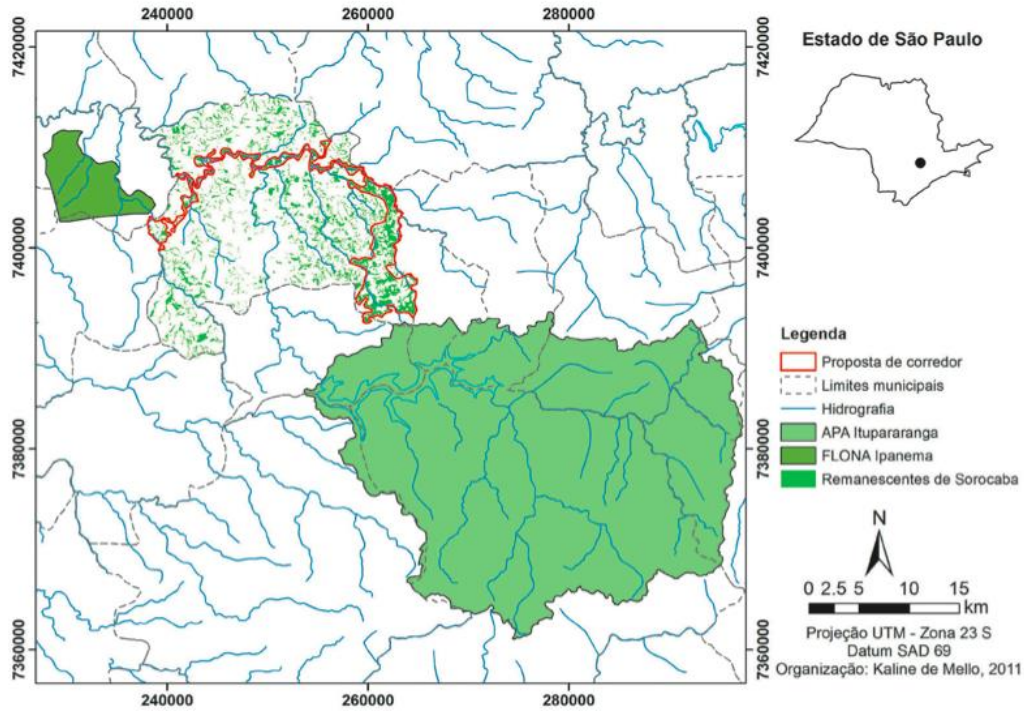


Figura 4-2. Proposta de Corredor Ecológico Municipal, conexão de UCs, APA de Itupararanga e FLONA de Ipanema, (Mello, 2012).

Devido (1) às características ambientais do meio biofísico e do histórico de uso do solo; (2) ao fato de o município ser notório em termos demográficos e econômicos nos cenários, paulista e brasileiro; e (3) possuir ainda poucos estudos sobre ecologia e restauração da paisagem, concluiu-se que Sorocaba apresenta características ideais para o desenvolvimento do presente estudo.

4.1 PERFIL POLÍTICO AMBIENTAL DO MUNICÍPIO

No Brasil, os municípios dispõem de diversos instrumentos de proteção do meio ambiente e da biodiversidade. A política do desenvolvimento urbano brasileira passou a ser efetiva após a aprovação da Lei Federal n.10.257, de 10 de Junho de 2001, que institui o Estatuto da Cidade, regulamentando os artigos da Constituição Federal (Art.182 e Art.183), do qual passa a responsabilidade da política de desenvolvimento urbano ao município (BRASIL, 2001).

Em sua execução, o município dispõe de diversos instrumentos legais que tangem o ordenamento da ocupação do solo, como por exemplo, a Lei Orgânica Municipal, a Política do Meio Ambiente ou o Plano Diretor de Desenvolvimento Físico Territorial. Cada um desses instrumentos têm sua colaboração na organização estrutural, funcionamento e planejamento municipal com enfoque ambiental.

Sendo o Plano Diretor Municipal instrumento da política urbana exigido para cidades com população maior que 20 mil habitantes, quando aprovado pela Câmara Municipal, dispõe sobre a função essencial de estabelecer critérios para a ocupação racional do solo e proteção ambiental.

No município de Sorocaba, o Plano Diretor vigente foi regulamentado pela Lei n. 11.022, de 16 de dezembro de 2014. Esta legislação municipal estabelece regras para a ocupação do solo considerando fatores como as áreas de preservação ambiental, o sistema viário, os diferentes tipos de edificações (residenciais, industriais, comerciais, institucionais, etc.) e, ainda, acompanha a ampliação da zona urbana (PMS, 2014).

Dentre as principais funções sociais do ordenamento de desenvolvimento urbano de Sorocaba, são metas importantes: (a) conservação da qualidade ambiental paisagística, proteção do patrimônio natural de espécies; (b) ordenamento e controle de expansão de áreas urbanizadas de forma a preservar recursos hídricos e demais recursos ambientais, minimizar impactos sobre o meio ambiente (PMS, 2014).

4.1.2 Plano Diretor Municipal de Sorocaba: Macrozoneamento e Zoneamento

O Macrozoneamento ambiental é uma das exigências fundamentais na ordenação da ocupação do solo de um município. Este deve definir e/ou orientar alterações do desenvolvimento físico-territorial de: (I) perímetro urbano; (II) perímetro de zonas de proteção ambiental, especialmente as mananciais; (III) dimensionamento de faixas não-edificáveis ao longo de corpos hídricos; (IV) definição de critérios para elaboração de legislação específica na ocupação de áreas antropizadas; dentre outros fatores relacionados aos parâmetros de edificações.

As classes estabelecidas no Macrozoneamento Ambiental de Sorocaba são: Macrozona com Grandes Restrições à Ocupação – MGRO, Macrozona com Médias Restrições à Ocupação – MMRO, Macrozona com Pequenas Restrições à Ocupação – MPRO, Macrozona de Conservação Ambiental – MCA. Há restrições pertinentes a cada classe descritos no Quadro 4-1. (PMS, 2014).

O Plano também prevê uma subseção relacionada às áreas de interesse paisagístico e ambiental. Esta seção torna-se elementar com relação a este estudo, pois o Art. 51 informa que “*poderão ser instituídas áreas de especial interesse paisagístico e ambiental, onde os perímetros e atributos a serem preservados poderão ser delimitados e medidas de proteção deverão ser adotadas pelos agentes responsáveis às mesmas*” (PMS, 2014). Além disso, o município poderá propor operações urbanas consorciadas com o objetivo de conservar áreas prioritárias e de interesse ambiental tornando-as unidades de conservação (SEMA, 2013).

Seguindo esta instrução prevista pelo Plano Diretor, faz-se necessário apontar a situação atual, com relação ao macrozoneamento e zoneamento, para cada um dos pontos encontrados nesta pesquisa e correlacionar com a proposta de conexão ambiental para a obtenção do corredor ecológico previsto pelo município.

Quadro 4-1. Classificação do Macrozoneamento e suas Restrições.

Macrozoneamento Classes	Sigla	Restrições
Macrozona com Grandes Restrições Ocupação	MGRO	<p>Áreas territoriais destinadas a: i) conservação ambiental, que corresponde às várzeas ou planícies aluviais marcadas por processos de enchentes sazonais, cujas regras de ocupação devem obedecer às diretrizes vigentes no plano diretor; ii) áreas de proteção a mananciais que correspondem às bacias que contribuem para captações de água existentes e que correspondem à porção da bacia do Rio Pirajibu a montante da bacia do Córrego Pirajibu-Mirim, considerada como manancial estratégico;</p> <p>As edificações ficam restritas a baixíssimas taxas de ocupação e impermeabilização, e que não impliquem assentamento permanente de população, nem tráfego intenso e permanente de veículos.</p>
Macrozona com Moderadas Restrições à Ocupação	MMRO	Regiões que incluem sub-bacias de cursos d'água não utilizáveis como manancial, onde a intensificação da urbanização pode acarretar erosão e, conseqüentemente, assoreamento de cursos d'água e aumento dos riscos de inundação
Macrozona com Pequenas Restrições à Ocupação	MPRO	Porções do território do Município cujas características físicas se apresentam favoráveis à urbanização.
Macrozona de Conservação Ambiental	MCA	<p>Áreas de várzeas ou planícies aluviais marcadas por processos de enchentes sazonais ao longo do Rio Sorocaba, Rio Pirajibu, Córrego Pirajibu Mirim, cujas características físicas se apresentem favoráveis à urbanização e implantação de usos que garantam a ampla manutenção de superfícies permeáveis recobertas por vegetação, tais como parques públicos e recreativos, com baixíssimos índices de ocupação, desde que resguardem as Áreas de Preservação Permanente e, em caráter permanente, o patrimônio natural.</p>

Adaptado de Plano Diretor Municipal de Sorocaba (PMS, 2014).

O zoneamento onde os diversos usos urbanos são classificados segundo seus atributos de localização, nas diversas zonas urbanas e seu potencial de gerar conflitos de vizinhança, sendo instituídas diferentes categorias, dispostas no Quadro 4-2.

Quadro 4-2. Zoneamento e atributos de cada classe.

Classes do Zoneamento	Sigla	Atributos
Zona Central	ZC	Compreende o centro histórico da cidade e áreas adjacentes; Há edificações térreas e verticalizadas, comércio, serviços diversificados e indústrias de portes variados, destacando equipamentos e edifícios de valor histórico e arquitetônico.
Zona Predominante Institucional	ZPI	Caracterizada por excelente acessibilidade, tanto no âmbito regional como no local, e pela presença de usos institucionais de grande porte.
Zona Residencial 1	ZR1	Inclui áreas destinadas à ocupação predominantemente Residencial em padrões de baixa densidade e baixas taxas de ocupação;
Zona Residencial 2	ZR2	Inclui em sua maior parte bairros já consolidados e utilizados preferencialmente por uso residencial de média densidade, com edificações térreas e verticalizadas.
Zona Residencial 3	ZR3	Compreendem áreas localizadas nos principais vetores de expansão da cidade, destinadas predominantemente ao uso residencial de alta densidade;
Zona Residencial 3 exp.	ZR3-exp	Permite comércio, serviços e indústria de pequeno porte, visando à proximidade entre habitação e local de trabalho; Índices urbanísticos de padrão popular.
Zona Industrial 1	ZI1	Composta por áreas com concentração industrial já estabelecida e áreas a serem destinadas para expansão destas atividades.
Zona Industrial 2	ZI2	Compostas por unidades industriais de ocupação histórica e já estabelecida, situada em áreas de urbanização mista e consolidada, poderão ter seu zoneamento, uso e índices urbanísticos alterados para a zona limdeira menos restritiva, caso ocorra à desativação da unidade fabril nela localizada.

Quadro 4-2. Zoneamento e atributos de cada classe (Continuação)

Classes do Zoneamento	Sigla	Atributos
Zona de Chácaras Urbanas	ZCH	Limita a variedade e intensidade de ocupação, de forma a minimizar os riscos de poluição aos mananciais; Garante altas taxas de permeabilidade dos terrenos e de índices de áreas vegetadas.
Zona de Conservação Ambiental	ZCA	Destinadas à implantação exclusiva de usos que garantam a ampla manutenção de superfícies permeáveis recobertas por vegetação com baixos índices de ocupação, preservando em caráter permanente o atributo natural a ser protegido.
Corredor de Comércio e Serviços 1	CCS1	Constituídos pelos lotes lindeiros à via que constitui o corredor, onde predomina o tráfego interbairros e que atravessam ou margeiam Zonas Residenciais 1 - ZR1.
Corredor de Comércio e Serviços 2	CCS2	Constituídos pelos lotes lindeiros a vias onde predomina o tráfego interbairros e que atravessam ou margeiam as zonas ZR2, ZR3, ZR3-exp, ZC, ZPI, ZR1, ZCH.
Corredor de Comércio e Serviços 3	CCS3	Formados pelos imóveis lindeiros a vias de trânsito rápido ou caracterizadas como eixos estruturadores do transporte coletivo, a ocupação deve ser feita de modo a minimizar interferências com o fluxo de veículos.
Corredor de Comércio e Indústria	CCI	Atravessam ou margeiam a Zona Industrial 1 - ZI 1.
Corredor de Circulação Rápida	CCR	Formados pelos terrenos lindeiros às vias de trânsito rápido, a ocupação deve ser feita de modo a minimizar interferências com o fluxo de veículos; Privilegia os empreendimentos em terrenos com dimensões suficientes para dispor de estacionamentos internos e acessos projetados de acordo com o padrão de desempenho da via.

Adaptado de Plano Diretor Municipal de Sorocaba (PMS, 2014).

5 MATERIAIS E MÉTODOS

Este é um estudo multi-escalar, desenvolvido em dois componentes centrais. Primeiro avaliou-se a cobertura da terra e foram selecionadas áreas prioritárias para conexão, em macro escala (escala municipal), que engloba os 44,9 mil ha, aplicação do método SIR+Multi-buffer.

Em sequência, para melhor compreensão de cada cenário, utilizou-se a escala fina, que circunscreve aprox. 50ha para cada um dos pontos resultantes. Nesta escala, identificamos corredores viáveis para conectar os fragmentos de habitat em diferentes cenários. Esses cenários foram propostos visando à contribuição para uma conectividade geral do corredor da biodiversidade.

O trabalho foi realizado por meio de uma série de etapas sequenciais que envolveram:

- i. Levantamento de campo (item 5.1);
- ii. Emprego de técnicas de geoprocessamento em laboratório (itens 5.1, 5.2, 5.3 e 5.4), aplicação do modelo SIR (item 5.4.1);
- iii. Desenvolvimento do método multi-buffer (item 5.4.2) para seleção áreas prioritárias para conexão;
- iv. Relação entre Patch, SIR e Multi-buffer (item 5.4.3);
- v. Perfil Pontual e Análise da Matriz (item 5.5);
- vi. Coleta de imagens com o uso de Vant (item 5.6);
- vii. Diretrizes para design de conectores ecológicos (item 5.7).

Essas etapas estão descritas ao longo deste capítulo. Fluxogramas foram elaborados e incluídos ao texto visando aprimorar o acompanhamento do desenvolvimento e raciocínio utilizados neste trabalho.

5.1 MAPEAMENTO DA COBERTURA DA TERRA

Com o intuito de atingir a meta desta pesquisa, o trabalho passou por várias etapas e a primeira delas foi a elaboração do mapa de cobertura da terra, por meio de técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto, utilizando como principal recurso o software Idrisi (Eastman, 2012), versão Selva. Ainda que todo processamento desenvolvido neste trabalho pudesse ser realizado na maioria das plataformas grandes SIG (ArcGis e Quantum GIS, são alguns exemplos). As razões de ter-se escolhido o Idrisi para o desenvolvimento do trabalho foram:

a) É um software bastante versátil e bastante adequado para trabalhos deste perfil (análise de cobertura da terra, ecologia da paisagem e assuntos correlatos).

b) A autora do presente trabalho já possui plena capacitação e conhecimentos acurados sobre esta plataforma, assim, houve maior velocidade de trabalho e precisão nos resultados.

c) Na época do desenvolvimento do trabalho havia versão oficial da plataforma com licença disponível para uso nos computadores do Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba - UNESP.

A seleção de imagens e resoluções das mesmas tem sido uma das críticas etapas de estudos que envolvem cobertura da terra (Kabisch et al., 2019; Yu et al., 2012; Townsend et al., 2009). Considerando que as análises de paisagem se caracterizam por diferentes padrões na cobertura da terra, seus limites e métricas variam de acordo com o cenário de estudo. Contudo, dados de sensores múltiplos, assim como imagens de alta resolução espacial, podem fornecer uma resolução fina, mas são apropriadas para objetivos pontuais e de menor escala.

Segundo Townsend et al. (2009), através de um estudo comparativo entre diferentes imagens de satélite, resoluções e sensores (Landsat, SPOT e Ikonos), constatou-se que para estudos pontuais menores que 1ha, são necessárias imagens de alta resolução espacial (exemplo, SPOT e Ikonos). No entanto, para análise de fragmentos florestais usualmente maiores que 1ha as imagens de Landsat 30m são suficientes. Além disso, as imagens de Landsat oferecem benefícios, como disponibilidade de dados por longos períodos de registro (desde 1982) e baixo custo.

No presente estudo, de maneira similar à maioria das aplicações de paisagem, as quais envolvem grandes áreas de monitoramento ambiental e objetivam analisar a conectividade de

grandes fragmentos de vegetação com mais de 50ha, fez-se uso das imagens com 30m de resolução (satélite Landsat). Com isso, foi possível ainda, comparar dados com mapeamentos feitos em anos anteriores, pois foram obtidos com a mesma metodologia.

Com base no contexto e objetivo do trabalho, o mapa de cobertura foi elaborado usando uma cena do satélite LandSat 8, órbita / ponto 220/076 de abril de 2016. Dentre as diversas imagens disponíveis no sistema DGI-INPE a data da imagem aqui utilizada foi escolhida pela ausência de nuvens, que podem interferir na qualidade da imagem para análise da cobertura da terra. Tal cena foi obtida gratuitamente junto ao banco de imagens do sistema do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

Devido à boa qualidade do material obtido, este não precisou passar por nenhum tipo de tratamento prévio antes dos trabalhos de classificação. Sendo assim, a imagem passou diretamente por um processo de classificação da cobertura da terra. Para isso, levantamentos preliminares de campo foram realizados para subsidiar os trabalhos computacionais no laboratório. Em campo foram coletadas as coordenadas geográficas utilizando um equipamento receptor de posicionamento global “GPS” (Garmin, modelo Geko 301). Também foram executados registros fotográficos e anotações complementares de pontos selecionados ao longo de todo o município para auxiliar na elaboração do mapa.

Ao todo foram coletadas informações de 176 pontos e desses utilizados 31 para o processo de verdade de campo. Em laboratório, foram estabelecidas as assinaturas espectrais de acordo com o comportamento espectral das diferentes categorias de cobertura da terra. Para a classificação, a cobertura da terra foi dividida em 6 classes (Quadro 5-1), conforme já utilizado anteriormente em outros estudos (Bortoleto, 2014; Silva, 2005):

Quadro 5-1. Classificação do uso da terra.

CLASSES DE USO DA TERRA	DESCRIÇÃO
VNR/Ref	Áreas de vegetação natural e com plano de restauração (reflorestamento)
Hidrografia	Áreas com presença de corpos d’água.
Pastagem	Áreas verdes com vegetação rasteira
Cultura	Alta intensidade de uso para agricultura
Solo exposto	Grandes áreas com pouca ou sem vegetação
Área urbana	Alta intensidade de uso humano por edificação

Fonte: Autoria Pessoal.

Através do método de Máxima Verossimilhança “*Maxlike*” (Lillesand et al., 2004) foi extraída a classificação supervisionada, conforme mostra o fluxograma da Figura 5-1.

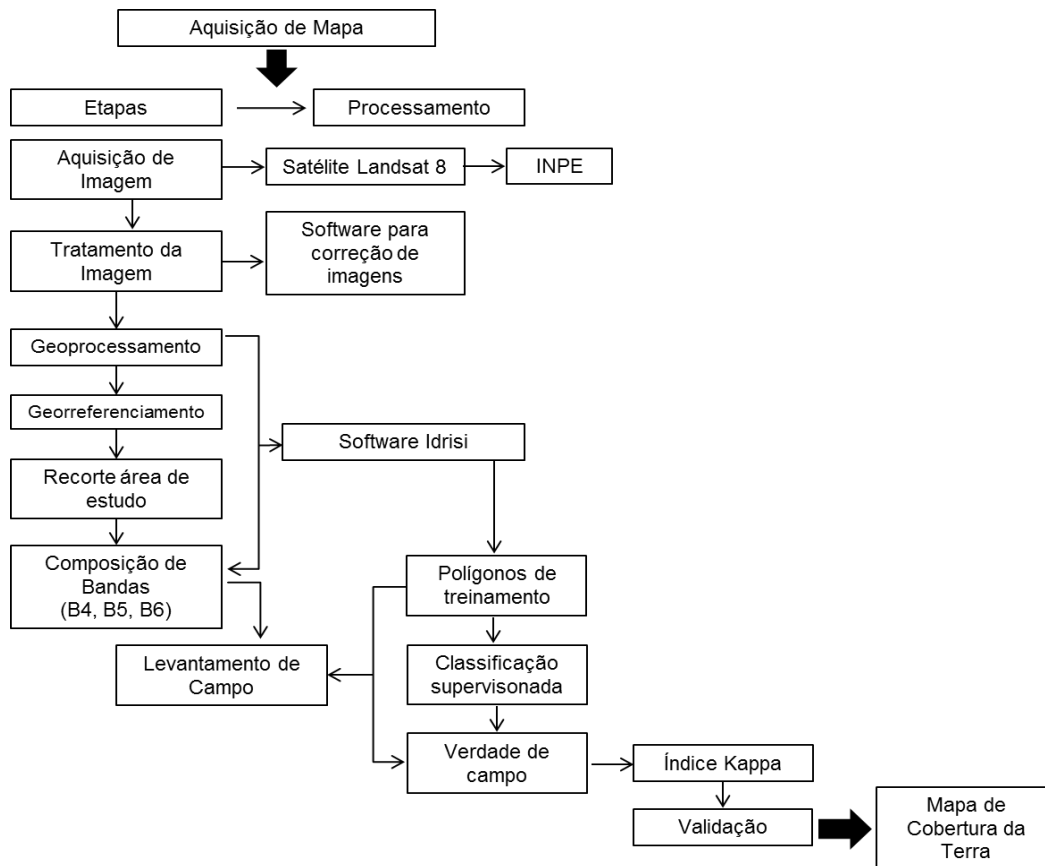


Figura 5-1. Fluxograma mostrando as etapas de elaboração do Mapa de Cobertura da Terra.

Houve ainda a verificação do índice kappa, o qual é um índice comumente usado para validação de trabalhos de mapeamento usando técnicas supervisionadas ou não supervisionadas com imagens digitais de satélites (Lillesand et al., 2004). O valor obtido para índice Kappa foi de 0,93, considerado excelente, segundo classificação proposta por Latorre et al. (2007). Após a validação, o mapa de cobertura da terra, foi usado como base para aplicação de outras ferramentas de geoprocessamento utilizados neste estudo.

5.2 INDICAÇÃO DAS ÁREAS DE HABITAT

Os fragmentos de vegetação natural foram aqui considerados como áreas de habitat e, portanto, em condições mínimas de abrigar ao menos parte da fauna local, dependendo da área e da forma do fragmento. O mapeamento desses fragmentos permite especializar e identificar a localização dos remanescentes florestais com intuito de analisar a potencialidade para movimentos de espécies entre os fragmentos. Todos os pixels classificados com qualquer

categoria de cobertura que não fosse vegetação natural foram classificados como não habitat e foi discutido a seguir.

Para a extração dessas áreas foi gerado um mapa bimodal a partir da cobertura da terra, reclassificado em habitat e não habitat, ou seja, as áreas de remanescentes de vegetação foram destacadas e denominadas fragmentos de vegetação remanescente. Indicadores da paisagem foram aplicados ao mosaico para obtenção do tamanho, área e perímetros dos fragmentos vegetais. Os indicadores avaliados nas áreas de habitat foram importantes parâmetros para análise da proposta de estudos dos conectores ecológicos. O tamanho do fragmento (área de habitat) é um dos fatores importante a ser considerado na conexão.

Com base na literatura, estudos geralmente são feitos em fragmentos maiores que 100ha (dos Santos et al., 2016; Peres, 2001), mas outros estudos indicam que pequenos fragmentos já podem ser ocupados por alguns tipos de populações (Bentrup, 2008). Nesse contexto, foram considerados fragmentos com valores a partir de 50ha, pois ao menos para os biomas que ocorrem na área de estudo (Floresta Estacional Semidecidual e Cerrado), estes têm maior potencial para autoperpetuação (Smith et al., 2014). Sendo assim, os fragmentos de vegetação remanescentes foram mapeados para demonstrar as possibilidades de conexão, ou seja, a capacidade de movimento entre as espécies na matriz. Esta informação poderá ser visualizada no item 6.1 deste trabalho.

5.3 MODELAGEM DE CONECTORES ECOLÓGICOS

As técnicas de geoprocessamento e análise espacial foram utilizadas para o mapeamento e a caracterização dos mapas em busca de conexões de fragmentos para a proposta dos corredores ecológicos.

Todas as etapas que envolveram o uso de uma plataforma SIG tiveram como base o mapa de cobertura da terra de Sorocaba realizado no ano de 2016. Deste mapa inicial foram derivados os demais mapas necessários para o estudo. A modelagem cartográfica gerada em SIG foi resultado de uma combinação dos mapas:

- mapa de cobertura da terra;
- mapa bimodal com destaque para as áreas de hábitat (fragmentos de vegetação);
- mapa de quantificação de fragmentos;
- mapa de tamanho de fragmentos;
- mapa de distância entre os fragmentos;
- mapa de qualidade da cobertura da terra de potencial quanto à restauração da paisagem (SIR).

O encadeamento do raciocínio para obtenção do processamento em SIG foi demonstrado por meio do fluxograma (Figura 5-2). Neste método o produto final é resultante de um procedimento com estudos em quatro divisões:

- (a) estudo e análise dos mapas em macro escala, envolvendo métricas da paisagem até a obtenção de SIR;
- (b) Métodos aplicados à obtenção da conexão entre os fragmentos de vegetação;
- (c) Proposta de metodologia para aquisição da seleção de pontos para conexão;
- (d) Produtos e aplicação do design de conectores ecológicos em escala fina.

Os dados quantitativos foram extraídos de mapas com base em métricas da paisagem. O tamanho dos fragmentos foi obtido como imagem (mapa) e dados tabulares. Para a aquisição do mapa foi empregado o mapa bimodal e aplicado o comando “*group*” com a intenção de agrupar os fragmentos, considerando a opção “incluir diagonais”. Em seguida, aplicou-se o comando “*area*” para extração da imagem e dos dados tabulares (valores da área dos fragmentos). Para alcançar as porcentagens, foi necessário reclassificar considerando valores de <1 a >1000 ha. Com a tabulação dos dados extraiu-se também o número de fragmentos de vegetação existente no município.

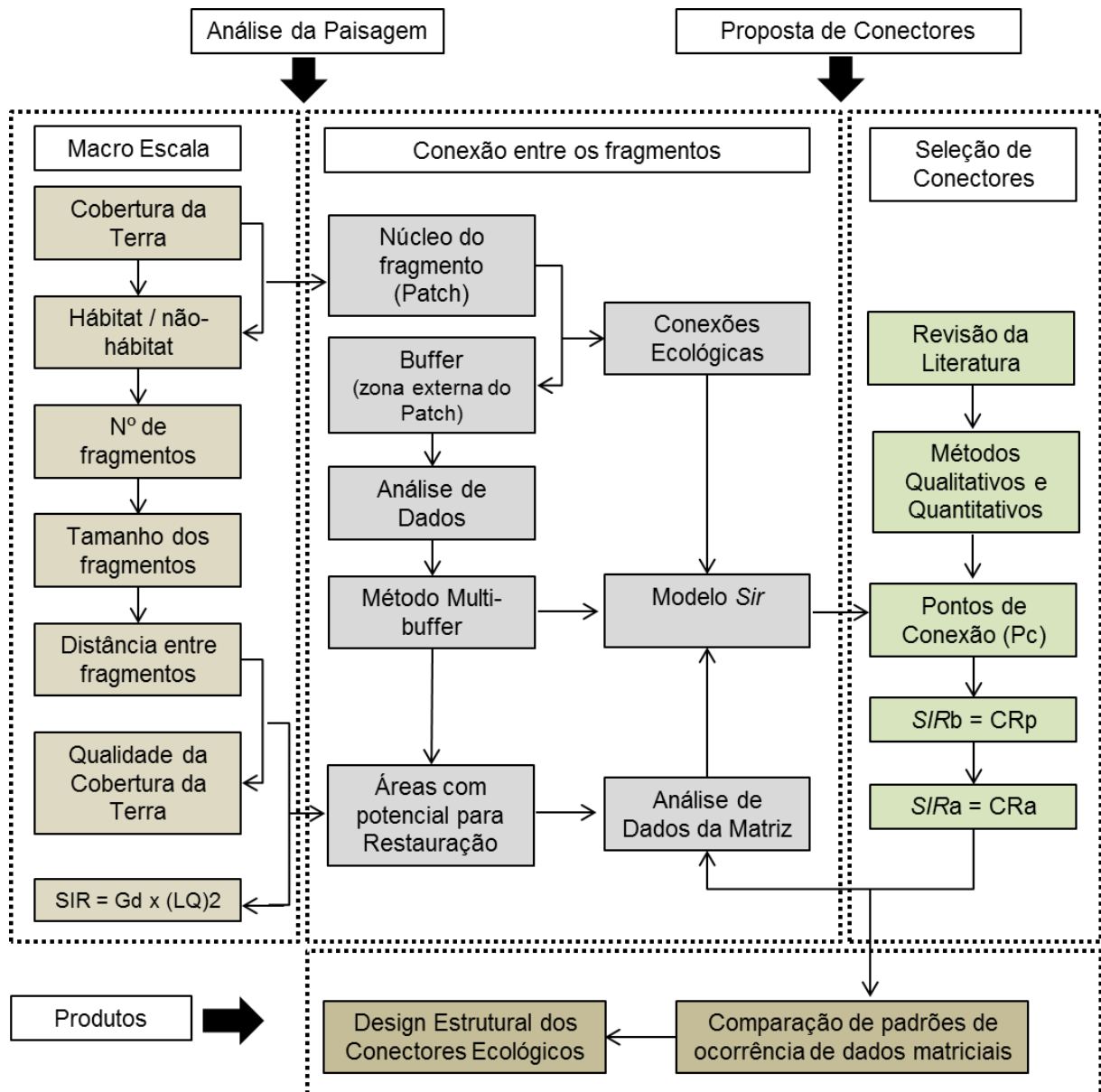


Figura 5-2. Fluxograma das etapas de execução da pesquisa. Autoria Pessoal.

Com o intuito de aplicar o modelo SIR, foi mapeada a distância e a qualidade da terra quanto às ações antrópicas, elementos do mosaico, ou seja, que estão entre os fragmentos de vegetação. Para o mapa de distância, que também se originou do mapa bimodal, aplicou-se o comando “*distance*” no mosaico, dessa forma obteve-se a espacialização dos dados, que posteriormente foram reclassificados em cinco categorias de distâncias que variam entre <100 a 2000m. Esses resultados foram cruzados com os de qualidade da terra para obter uma resposta sobre a permeabilidade da matriz.

Nesse caso, para a aplicação de SIR, fez-se necessária, ainda, a elaboração do mapa de qualidade associada a cada categoria de cobertura da terra quanto às atividades antrópicas. O

mapa de qualidade utiliza métodos qualitativos e quantitativos em seu desenvolvimento, onde são estabelecidos pesos à cada classe de cobertura da terra (Tabela 5-1). Os valores variam entre 1 a 6, sendo que valores próximos de 6 indicam zonas com maior intensidade de uso humano, ou seja, maior atividade antrópica, conseqüentemente cobertura da terra de baixa qualidade.

Tabela 5-1. Classificação do uso da terra de acordo com a intensidade de uso humano.

CLASSIFICAÇÃO DE ACORDO COM A INTENSIDADE DE USO	ÍNDICE DE INTENSIDADE DE COBERTURA (Qt)	CLASSES DE COBERTURA DA TERRA
Áreas de vegetação natural e com plano de restauração (reflorestamento)	1	VNR/Ref
Áreas de preservação ambiental com baixa intensidade de uso humano.	2	Hidrografia
Áreas verdes com vegetação rasteira	3	Pastagem
Alta intensidade de uso para agricultura	4	Cultura
Grandes áreas com pouca ou sem vegetação	5	Solo exposto
Alta intensidade de uso humano por edificação	6	Área urbana

Fonte dos valores de cada classe (índice): Bortoleto (2014).

Com a intenção de selecionar pontos de conexão onde haja resistência na matriz, extraíram-se as zonas de restauração assistida com a aplicação de SIR.

5.4 CRITÉRIOS PARA SELEÇÃO DE ÁREAS A RECEBEREM CONECTORES

5.4.1 Aplicação do SIR para seleção de áreas com potencial para restauração

O modelo *SIR* foi aplicado neste trabalho como parte da avaliação de conectividade em escala de paisagem. O índice de adequação para restauração (*SIR*) relaciona dados qualitativos aos quantitativos, ambos relacionados à matriz. Essa relação caracteriza a cobertura da terra quanto à potencialidade ou resistência a permeabilidade/movimento da espécie entre os fragmentos de vegetação. A álgebra de mapas foi resultante do algoritmo (Equação 1), atribuindo correspondência entre os gradientes de distância e a qualidade referente ao uso antrópico que ocorrem na matriz. A geração do mapa ocorre por meio de geoprocessamento (Figura 5-3).

$$SIR = Gd \times (LQ)^2$$

(Equação 1)

Onde: SIR – Índice de adequação para restauração; Gd – componente da distância entre os fragmentos; LQ – componente da qualidade da matriz circundante dos fragmentos.

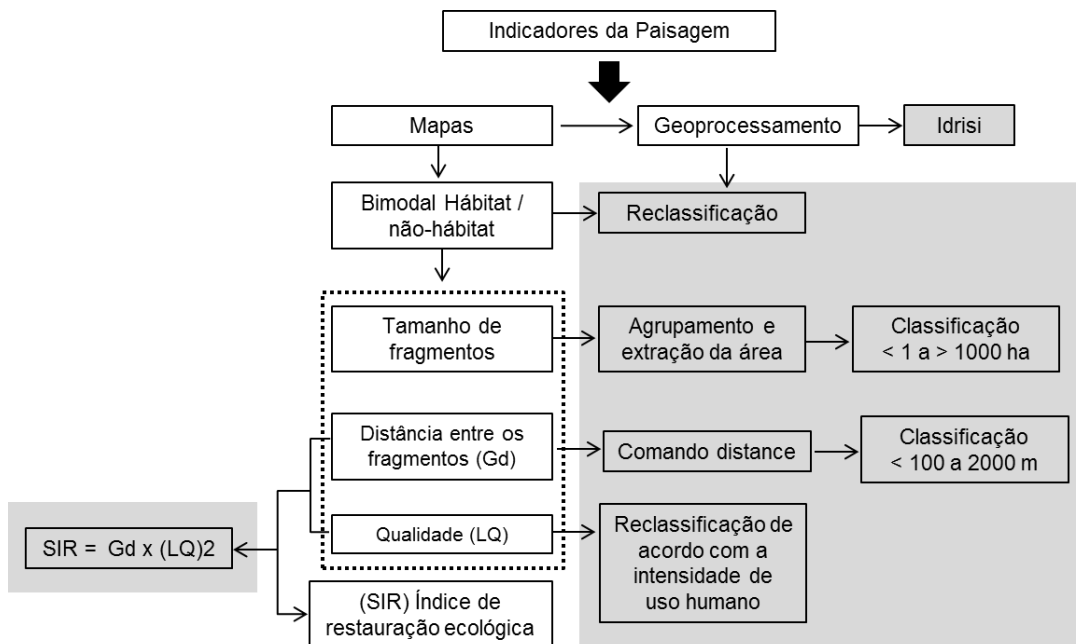


Figura 5-3. Fluxograma representativo do processo de obtenção do índice de restauração da paisagem (SIR). A parte colorida corresponde ao método utilizado em SIR. Autoria Pessoal.

Os índices de SIR demonstram regiões no mapa com potencialidades à permeabilidade da matriz, cujos valores variam entre <10 e >100, sendo que quanto mais altos esses valores, menor será o potencial de permeabilidade e maior será a resistência ao movimento. Sendo assim, o objetivo de utilizar este modelo como etapa de seleção foi exatamente para extrair regiões onde ocorre maior resistência na matriz. Nesse caso, a resistência, ou seja, os valores altos de SIR ocorrem devido à intensidade de uso antrópico congruentes às grandes distâncias entre os fragmentos.

O modelo SIR possibilitou, ainda, a extração de zonas aptas à restauração assistida e áreas com tendência à restauração passiva, esses dados foram alcançados com a reclassificação de seus valores em apenas duas categorias (Restauração Passiva e Restauração Assistida).

No entanto, o modelo aponta regiões aptas à restauração, mas não identifica pontos de conexão para implementação de conectores. Diante disso, foi desenvolvido um método para localizar pontos de conexão de habitat, denominado multi-buffer.

5.4.2 Método Multi-buffer como ferramenta para identificação de pontos de conexão

O método multi-buffer foi desenvolvido como etapa complementar ao estabelecimento de pontos de conexão na paisagem fragmentada. Nesse método, as conexões entre os fragmentos de vegetação são determinadas de acordo com os intervalos definidos para “buffer”. O buffer é formado por uma faixa de vegetação de borda do fragmento.

Na busca por conexão de rede ecológica, mais especificamente no mapa de bimodal, as manchas de habitat aparecem fundidas como se formassem grandes grupos de fragmentos. Esse grupo denomina-se “cluster”. No entanto, há pequenos espaços vazios que desconectam a rede e tornam a paisagem fragmentada. A estes espaços vazios dá-se o nome de “gaps”, ou seja, espaços vazios entre manchas (Figura 5-4).

No processo, as manchas foram vetorizadas em polígonos unitários (Figura 5-5), onde se atribuiu o buffer com valores que variaram entre 30 e 120m. Os valores de buffer foram designados com base no valor do pixel. Dessa forma, a medida inicial foi de 30m (dimensões de um pixel) e os valores foram estabelecidos sempre em múltiplos de 30, ou seja, em 60m, 90m e 120 metros. O valor do pixel foi tomado como base, pois a aplicação do método retorna uma resposta de um pixel como distância mínima entre os fragmentos. Já o maior valor (120m), foi escolhido visando obter conexões mais curtas possíveis em termos de distâncias, devido às implicações de ordem econômica (para que não haja grandes investimentos de valores e obras de grande porte em conexões extensas) e ecológica (considerando que para a fauna, em termos comportamentais, quanto mais longo o corredor, menos atraente ele é).

O comprimento é uma consideração importante na ligação entre habitats. Hilty et al. (2006) destacam que os corredores mais curtos são mais propensos a fornecer uma maior conectividade do que os corredores mais longos. Além disso, corredores muito longos podem não conter algumas espécies devido ao aumento da distância da área central do habitat. Em outro estudo sobre florestas plantadas Forman (1995 *apud* Hilty et al., 2006) identificou que

mais da metade das espécies plantadas não foram encontradas a mais de 200m de distância da área de habitat.

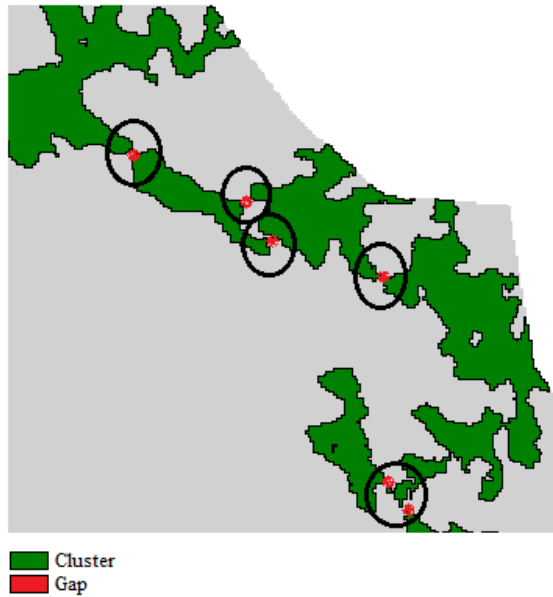


Figura 5-4. Exemplo de *gaps* em um conjunto de manchas “*cluster*”.

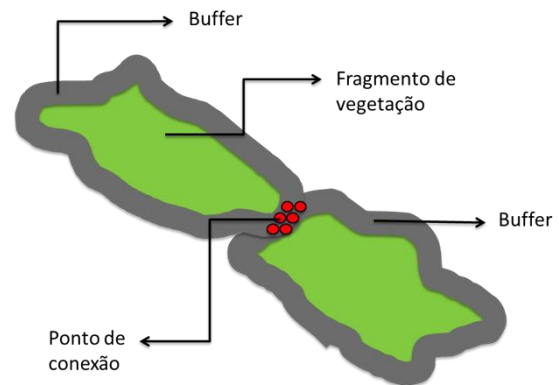


Figura 5-5. Esquema do método Multi-Buffer para determinar *gaps* em *cluster*.

O mapa com os *gaps* foi obtido por geoprocessamento. As manchas e os buffers foram adicionados todos a uma única cena (sobreposição de mapas) e por meio da equação (2) resultaram pontos onde haveria possíveis conexões na matriz.

$$pc_{ij} = Ab_i \cap Ab_j \quad (2)$$

Onde:

pc_{ij} = Ponto de conexão entre os fragmentos i e j ;

Ab_i = Área do buffer do fragmento i ;

Ab_j = Área do buffer do fragmento j .

Como há uma relação entre o tamanho do pixel aos valores estabelecidos entre as manchas, pode-se obter o Npc , aplicando a equação (3).

$$Npc_{ij} = \frac{Ab_i \cap Ab_j}{Ap} \quad (3)$$

Onde:

Npc_{ij} = Número de pontos de conexão entre os fragmentos i e j;

Ab_i, Ab_j = Área do buffer dos fragmentos i e j;

A_p = Área do pixel.

O resultado é um mapa que revela onde estão os pontos de conexão com vacância de vegetação em uma paisagem fragmentada e que, portanto, tornam o grande corredor, que deveria ser contínuo, segmentado. No entanto, para haver uma efetiva seleção de áreas prioritárias para restauração necessita-se de estabelecer uma relação mais ampla, a qual envolve elementos como o tamanho dos fragmentos e a correlação dos *gaps* com os padrões de permeabilidade ou resistência ao movimento.

5.4.3 Relação entre Patch, SIR e Multi-buffer

A seleção das áreas prioritárias para a proposta de design de conectores ecológicos, foi gerada a partir da relação entre, o tamanho da mancha (*patch*), o índice de adequação para restauração e as áreas vazias (*gaps*) de possíveis ligações entre os fragmentos de vegetação. O método aplicado pode ser visto na Figura 5-6.

Com base na literatura, considera-se que, em termos de funcionalidade ecológica, fragmentos de área igual ou maiores que 50 ha contribuem para a subsistência das populações (Smith et al., 2014; Peres, 2001). Devido a isto, antecipadamente informa-se que, dentre os 661 fragmentos florestais existentes em Sorocaba, contabilizados para o cenário captado e apresentado pela imagem de 2016, foram selecionados aqueles com área igual ou superior a 50 ha para aplicação dos testes desenvolvidos neste estudo.

Nesse caso, os critérios para eleger as áreas para propostas de conectores ecológicos relacionaram fragmentos (> 50ha) e multi-buffer com valores de 30, 60, 90 e 120 metros e SIR de alto valor, áreas de restauração assistida. Alto valor do SIR foi o critério escolhido como fator representativo na seleção de pontos, por apresentar padrões na matriz com maior resistência ao movimento ecológico.

Sendo assim, entende-se que as áreas indicadas pela aplicação do modelo precisam de algum tipo de intervenção humana em projetos de restauração, ou seja, nestes locais os fragmentos florestais não conseguiriam estabelecer um padrão de recuperação a contento caso

apenas as ações degradadoras fossem cessadas, necessitando, portanto, de alguma intervenção humana que oriente e/ou acelere o processo de recuperação. Ao contrário das regiões onde ocorrem SIR baixo, ou restauração passiva, zonas que tendem a recuperação espontânea. As etapas deste processo podem ser observadas na Figura 5-6.

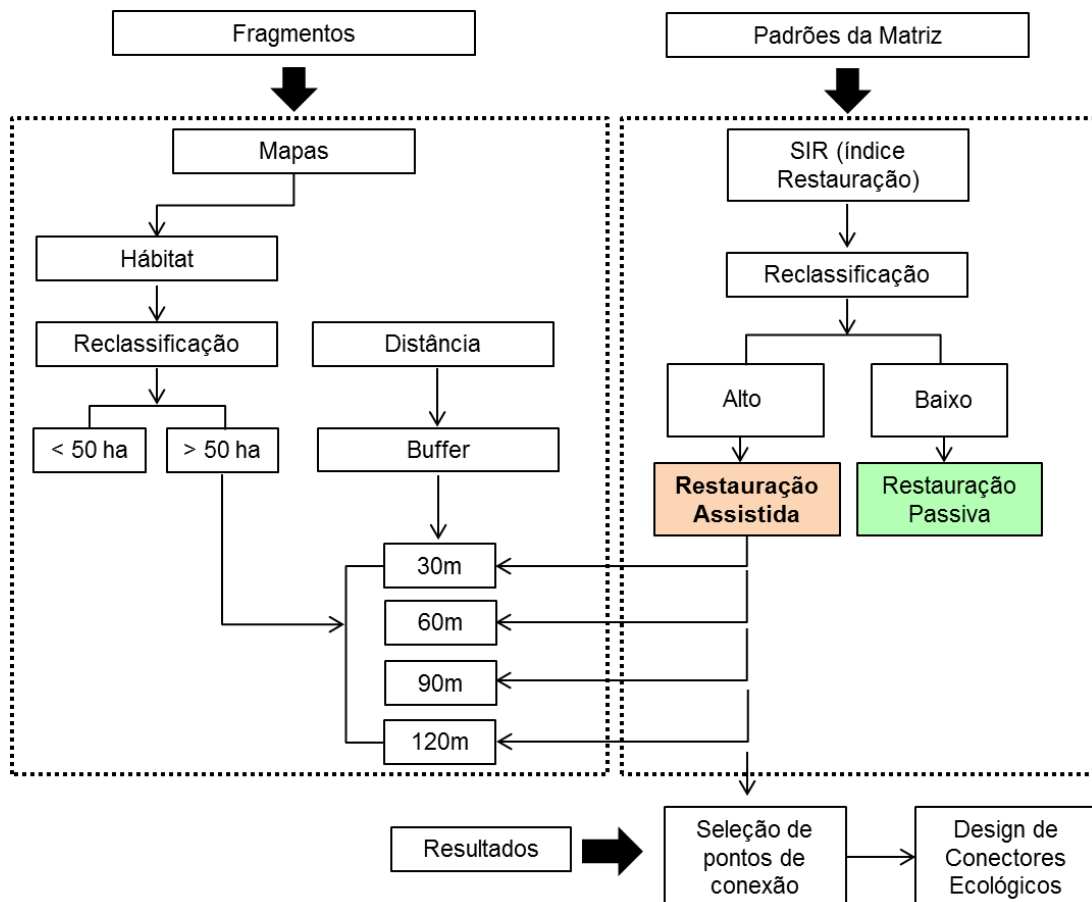


Figura 5-6. Etapas do processo de seleção de pontos de conexão. Autoria Pessoal.

Os processos de modelagem cartográfica realizados até esta etapa foram executados em macro escala, ou seja, considerando o município de Sorocaba como um todo. É importante destacar isso, pois a partir da seleção dos pontos, os mapas foram desempenhados em escalas pontuais, favorecendo detalhes da área de conexão.

Os cenários contendo as informações em escalas pontuais das áreas selecionadas para conexão foram elaborados por meio de recorte de imagem utilizando o software Idrisi versão Selva. Cada ponto foi detalhado em quatro aspectos diferentes, (a) ponto de conexão sobre base de restauração passiva e assistida; (b) ponto de conexão sobre a cobertura da terra; (c) imagem de satélite do local contendo o ponto de conexão; (d) representação cartográfica do

ponto em meio ao planejamento urbano, elaborado no software AutoCAD versão 2012 (AutoDesk Inc., 2012).

5.5 PERFIL PONTUAL E ANÁLISE DA MATRIZ

Após o levantamento “*in situ*” para observação mais aprofundada da situação em que se encontram cada um dos locais apontados pelo modelo, obteve-se o desenho urbano do município de Sorocaba. Em seguida, o desenho urbano foi reeditado. Um eixo principal, envolvendo os pontos selecionados de 1 a 6, definiu o recorte a ser trabalhado em escala fina. Para isso, utilizou-se o software Autocad, versão 2012. Neste trabalho complementar de reedição e refinamento, manteve-se a vegetação existente, as edificações, o sistema viário, a malha hidrográfica, a topografia (curvas de nível), dentre outros detalhes necessários para a representação correta do desenho.

Com a intenção de avaliar os resultados gerados pelo modelo e comparar com informações obtidas “*in loco*”, duas técnicas foram aplicadas. Uma delas foi executada em computador, feito por meio de Autocad e a outra executada “*in loco*” com uso de Vant (Veículo Aéreo não-tripulado).

Para aplicação da técnica de desenho em computador gerou-se uma grade de células 8x8, ao todo 64 células, numeradas conforme a Figura 5-7. Com dimensão igual a do pixel, 30x30m, a partir da imagem gerada no ambiente SIG e com base na resolução espacial da imagem de satélite (Landsat8).

01	02	03	04	05	06	07	08
09	10	11	12	13	14	15	16
17	18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30	31	32
33	34	35	36	37	38	39	40
41	42	43	44	45	46	47	48
49	50	51	52	53	54	55	56
57	58	59	60	61	62	63	64

Figura 5-7. Grade de células para experimento.

Em escala mais detalhada (escala pontual, aprox. 50 ha para cada cenário), fez-se a sobreposição de imagens e arquivos de desenho, Figura 5-8. Arquivos: (a) grade contendo as células 8x8, (b) desenho urbano, (c) foto aérea, (d) imagem *raster* gerada pelo software de geoprocessamento, (e) resultado contendo os dados de conexão entre os fragmentos projetado na grade.

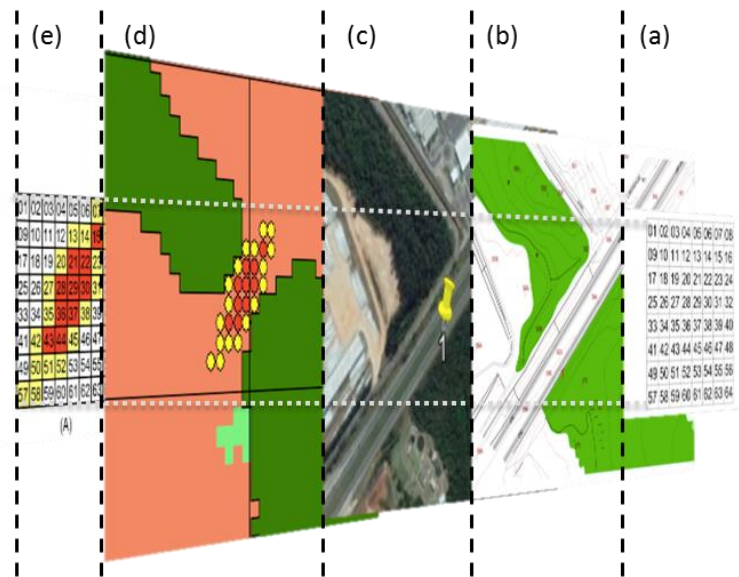


Figura 5-8. Método de sobreposição de imagens para extração de dados em escala fina. (a) grade contendo as células 8x8, (b) desenho urbano, (c) foto aérea, (d) imagem *raster* gerada pelo software de geoprocessamento, (e) resultado contendo os dados de conexão entre os fragmentos projetado na grade.

A sobreposição das imagens permitiu transpor os dados de conexão para o desenho urbano. Dessa forma, extraiu-se, a posição exata dos pontos de ligação para a grade e posteriormente para o desenho urbano. Essa prática foi repetida em cada 1 dos 9 pontos selecionados para conexão. Posteriormente as células foram pintadas usando diferentes cores de acordo com as distâncias de conexão. Assim, as células amarelas estabelecem distâncias de 120m, as vermelhas de 90m e as azuis de 60m.

A outra técnica aplicada para análise local e proposta do design de conectores, foi o levantamento dos 9 pontos, com uso de Vant, para a coleta de fotos aéreas. Destaca-se aqui que fotos foram tomadas também onde o acesso era restrito e dificultado por terra, caracterizando uma enorme vantagem do uso desta tecnologia. Essas informações coletadas *in loco* durante a visita e armazenada por meio de anotações, fotos e uso de GPS para posicionamento exato da localização e Vant para a coleta das imagens.

5.6 COLETA DE IMAGENS AÉREAS COM O USO DE VANTS

Com o intuito de obter imagens com melhor resolução, ou seja, em escala mais fina, fez-se uso do veículo aéreo não tripulado (Vant), mais conhecido como drone. Desta forma, obteve-se imagens dos 9 pontos selecionados para conexão. A altitude média de voo variou entre 400 e 600m para as fotos ortogonais. Aferiu-se ainda, por meio do equipamento, a posição e as características do túnel existente no ponto 1. Neste local (ponto 1) há uma conexão já existente, túnel localizado abaixo da rodovia que cruza o riacho e passa pelo túnel.

Para este estudo foi utilizado o Vant DJI Mavic Pro. Este drone é portátil e suas especificações encontram-se resumidas no Quadro 5-2.

Quadro 5-2. Especificações do Veículo Aéreo não-tripulado (Vant).

Aeronave	Descrição
Dimensões (aeronave dobrada)	83 mm (altura) x 83 mm (largura) x 198 mm (comprimento)
Peso (incluindo bateria e hélices)	734 g
Duração máx. de voo	27 minutos (sem vento, a uma velocidade constante de 25 km/h)
Distância máx. de voo (bateria completa, sem vento)	13 km (8 min, sem vento)
Sistemas de posicionamento por satélite	GPS/GLONASS
Câmera	Descrição
Sensor	1/2.3" (CMOS), Píxeis efetivos: 12.35 M (Píxeis totais: 12.71 M)
Lente	FOV 78.8° 26 mm (formato equivalente a 35 mm) f/2.2 Distorção <1,5% de foco de 0,5 m a ∞
Velocidade do obturador eletrônico	8s -1/8000 s
Dimensões da imagem	4000 × 3000

Fonte: DJI, 2019

Usando o aplicativo gratuito DJI Go 4 para download em um celular, o software se conecta ao Mavic Pro através de um cabo USB ligado ao controlador. Após a conexão automática do aplicativo ao drone, o usuário atribuiu a altura do drone, que determina a resolução do modelo e o número de pontos de dados por metro quadrado. Isso permite que o aparelho sobrevoe a área de forma livre (sem obstáculos).

A direção, a movimentação do drone a captura de imagens é feita por meio do aplicativo no celular e permite visualização a partir da câmera. Os métodos de amostragem de campo com Vant podem ser observados nas Figura 5-9 e Figura 5-10.

Foi criado um projeto exibindo a área de interesse em um mapa de satélite. Com isso determinou-se o caminho a ser percorrido com o carro e os pontos de parada para decolagem do Vant. As coletas foram feitas em duas regiões devido a distância de 31 km entre elas. Os pontos de 1 a 6 estão localizados na porção nordeste (NE) do município (Figura 5-9), e os pontos 7, 8 e 9 pertencem à região sudoeste (SO) Figura 5-10.

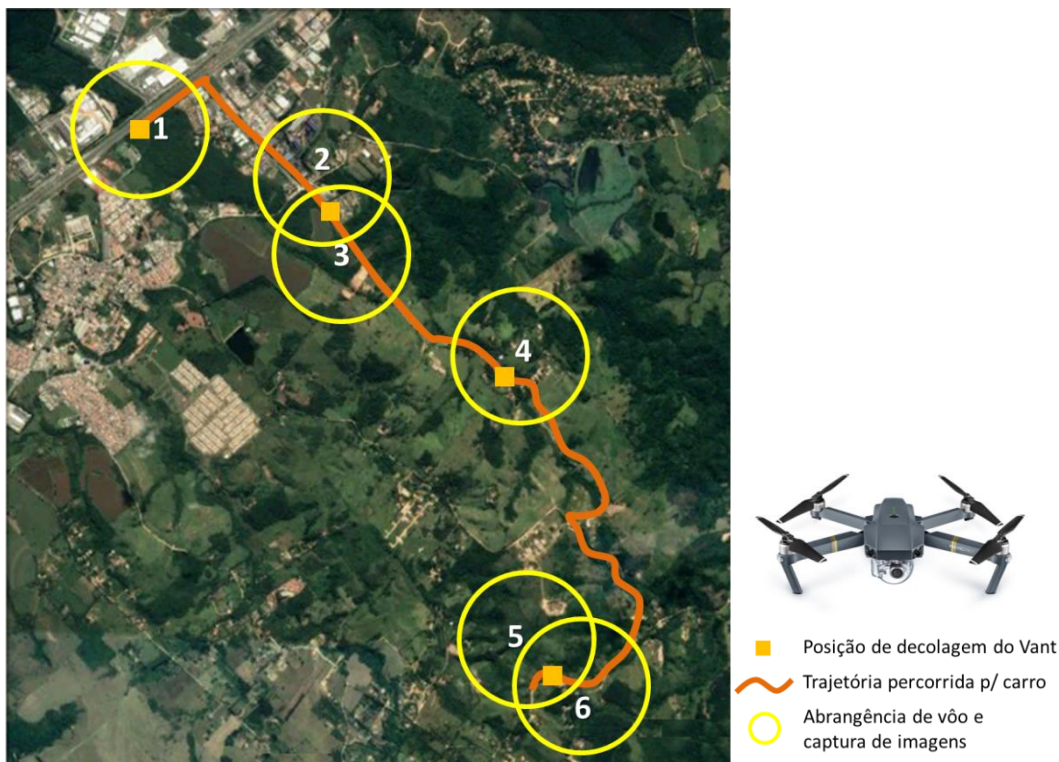


Figura 5-9. Método de amostragem em campo (pontos de 1 a 6). a) Trajetória percorrida pelo carro para acesso aos pontos de coleta (linha de cor laranja); Posição de decolagem do Vant (quadrado amarelo); abrangência de voo para captura das imagens (círculos amarelos). A cada ponto de subida do Vant pode-se observar uma área com raio de aproximadamente 500m em torno do cenário. Autoria Pessoal

O caminho percorrido com o carro foi de 8,5 km entre os pontos 1 e 6. A partir do ponto 2, o caminho percorreu majoritariamente ruas simples, sinuosas e sem pavimentação (de terra). A cada ponto de subida do Vant pode-se observar uma área com raio de aproximadamente 500 m em torno do cenário.

Em geral, as imagens foram obtidas a 400m de altitude, de onde é possível visualizar a área do entorno do ponto com detalhamento para o estudo.

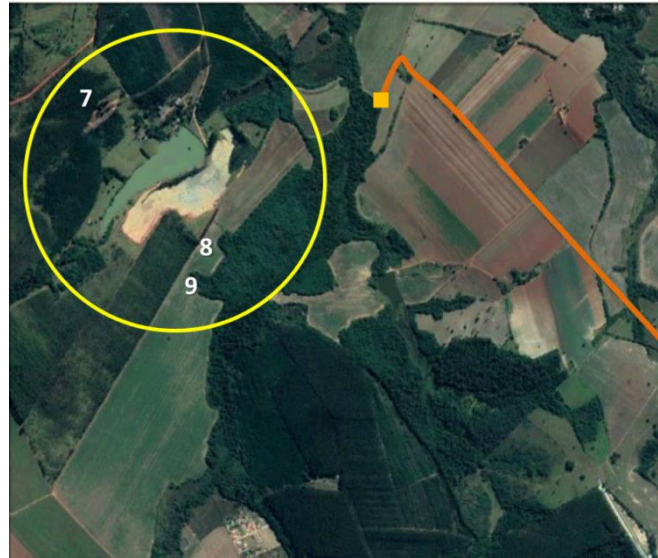


Figura 5-10. Método de amostragem em campo (pontos 7,8 e 9). a) Trajetória percorrida pelo carro para acesso aos pontos de coleta (linha de cor laranja); Posição de decolagem do Vant (quadrado amarelo); abrangência de voo para captura das imagens (círculos amarelos). Autoria Pessoal

O modo de cruzeiro de baixa altitude (aprox. 400m) do Vant permitiu capturar dados com recursos detalhados, ou seja, imagens com maior resolução comparada à de satélite. Com tantas vantagens apropriadas para o mapeamento em escala fina (aprox. um raio de 500m). Foi possível comparar ainda a resolução das imagens Satélite x Vant. A resolução das imagens obtidas com o Vant, neste trabalho, foi de 0,15m. Enquanto que na imagem de Satélite (Landsat 8) é de 30m. Essa diferença pode ser observada nas imagens da Figura 5-11a e b.



Figura 5-11. Comparação da Resolução entre imagem de satélite e Vant. (a) Imagem obtida pelo Landsat 8. (b) Imagem de Vant. Mesmo nível de zoom. Autoria Pessoal.

O uso de Vant, neste trabalho, foi de extrema importância, pois permitiu adquirir dados em escala fina de regiões onde o acesso humano é restrito ou inviável. Além disso, complementou o banco de dados com imagens de alta resolução e que foram utilizadas para o projeto de design de conectores de cada ponto.

5.7 DIRETRIZES PARA DESIGN DE CONECTORES ECOLÓGICOS

O Projeto de Design de Conectores Ecológicos, o qual constituiu a etapa final desta tese, levou em consideração fatores além daqueles utilizados na seleção de pontos de conexão. Essas diretrizes foram de extrema importância para a análise em escala mais fina de detalhamento de projeto. São eles: (1) fator ecológico (dimensão do corredor, comprimento x largura); (2) menor distância de ligação; (3) barreiras físicas; (4) topografia; (5) escala de projeto; (6) proposta de conectores visando o grande corredor ecológico.

Reestabelecer as conexões ao longo do corredor da biodiversidade é uma proposta que precisa ser desenvolvida em escala mais detalhada para que os resultados tenham a utilidade desejada. Neste trabalho o design para cada cenário foi desenvolvido a nível local, considerando os fatores físicos existentes, o estado de preservação da área vegetada e o melhor local para conexão com base na grade celular (resultado das possibilidades de ligações).

O projeto de design teve como objetivo principal identificar locais onde, uma vez instalados conectores, proporcionaria facilidade ao movimento de diferentes espécies, diminuindo o efeito das barreiras físicas urbanas, além de melhorar a qualidade ambiental local. As dimensões estabelecidas no design dos conectores levaram em conta as espécies relatadas pelos moradores locais, como: algumas tipos de aves, répteis e mamíferos de pequeno à médio porte.

A proposta foi apresentada em planta baixa e cortes transversais. A planta baixa está em escala gráfica conforme a necessidade de detalhes acrescentados ao desenho. A mesma, contempla o projeto em vista ortogonal da área de intervenção e entorno próximo, cada uma dessas regiões, chamamos de cenário. Ao todo, seis cenários foram projetados para a proposta de conexão ecológica, uma vez que através da aplicação dos modelos ora apresentados elegeu-se seis pontos estratégicos para instalação dos conectores, conforme explicado nas seções a seguir.

A fim de complementar o projeto, fez-se os corte transversais do terreno em uma ou mais regiões para cada cenário. Os cortes são obtidos por planos verticais que interceptam as regiões do desenho por onde passa o plano secante de corte. Tem como finalidade, permitir esclarecimentos de detalhes que facilitem a compreensão do projeto em sua elaboração e execução.

Os cortes foram feitos pelo menos duas vezes para cada cenário, compreendendo a situação atual do local e, ainda, a proposta de intervenção com a inserção de conectores ecológicos.

6 RESULTADOS

Apresentam-se aqui os resultados obtidos com esta pesquisa. As etapas foram desenvolvidas, como conforme os itens a seguir:

- i. Distribuição Espacial dos Remanescentes Florestais;
- ii. Características da Matriz e do Mosaico;
- iii. Conexões e Perfil Pontual;
- iv. Design de Conectores Ecológicos (Cenários 1, 2, 3, 4, 5 e 6)

6.1 DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL E ASPECTO DOS REMANESCENTES FLORESTAIS

O município de Sorocaba-SP foi o cenário de execução de um levantamento de dados e análises sobre a cobertura da terra com relação às métricas da paisagem para posterior teste dos modelos ora apresentados. As análises foram feitas para as manchas, a matriz e também o mosaico. As informações apresentadas a seguir caracterizam o local onde os modelos foram testados. Estes resultados explicam aspectos observados e que conduziram as propostas em escala fina.

O mapeamento das manchas (habitat) apresentou 22% de área vegetada no município. No entanto, considera-se que a vegetação natural remanescente está atualmente bastante fragmentada. Estimou-se a existência de 9.890 ha de remanescentes de vegetação. Deste total, 14% são formados pelos grandes fragmentos (maior 50ha). O mapa apresentado pela Figura 6-1 mostra de fato essas proporções. Já a resultante da divisão das manchas de habitat em áreas, demonstra que a paisagem está segmentada, ocorrendo 96% entre os menores fragmentos com valores de <1 até 50ha (Figura 6-2 e Tabela 6-1). Os resultados obtidos com relação aos fragmentos de vegetação são de extrema importância para tal análise, pois, com o mapa de tamanho dos fragmentos foram encontrados 661 remanescentes, sendo que 25 unidades (grandes fragmentos) equivalem dois terços do total em área com vegetação natural.

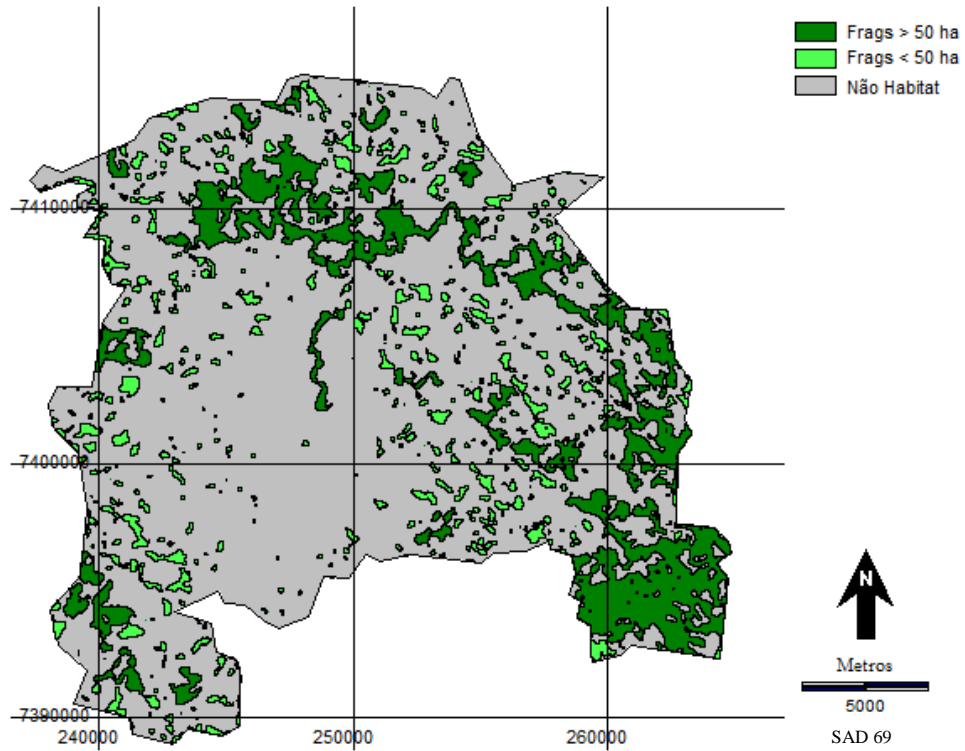


Figura 6-1. Espacialização das áreas de habitat, 2016.

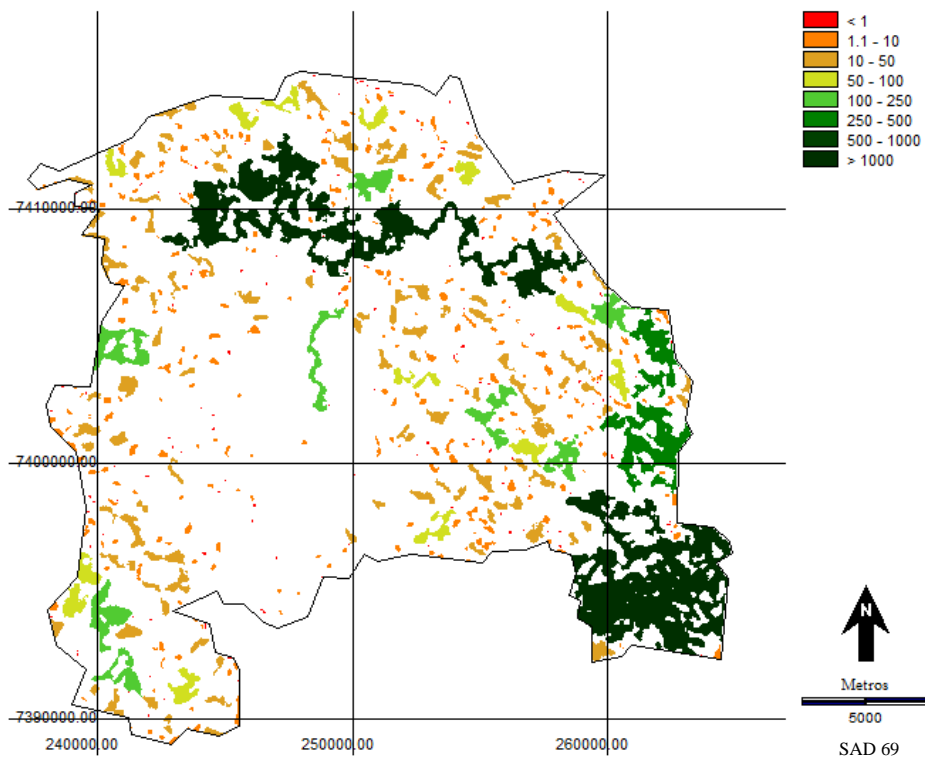


Figura 6-2. Divisão das áreas de habitat por tamanho em hectares, 2016.

Tabela 6-1. Tamanho de Fragmentos de Vegetação no Município de Sorocaba, ano de 2016.

TAMANHO DE FRAGMENTOS VEGETAIS	NÚMERO DE FRAGS	% OCORRÊNCIA 2016
< 1	255	38.58
1.1 a 10	284	42.97
10 a 50	97	14.67
50 a 100	13	1.97
100 a 250	8	1.21
250 a 500	2	0.30
500 a 1000	1	0.15
> 1000	1	0.15
TOTAL DE FRAGMENTOS	661	100.00

Autoria Pessoal

O mapa de classificação dos fragmentos também demonstra a relação dos menores fragmentos com os maiores, visando à possibilidade de utilizá-los como trampolins ou “*stepping stones*”, que são muito úteis para promover a ligação entre dois fragmentos maiores, principalmente quando ocorrem em zonas de restauração passiva.

No que se refere à qualidade das manchas, infere-se que os maiores fragmentos apresentam áreas de *core* (regiões internas dos fragmentos) bastante reduzidas, com formatos lineares que, segundo a literatura, estão sob efeito de borda (Gráfico 6-1).

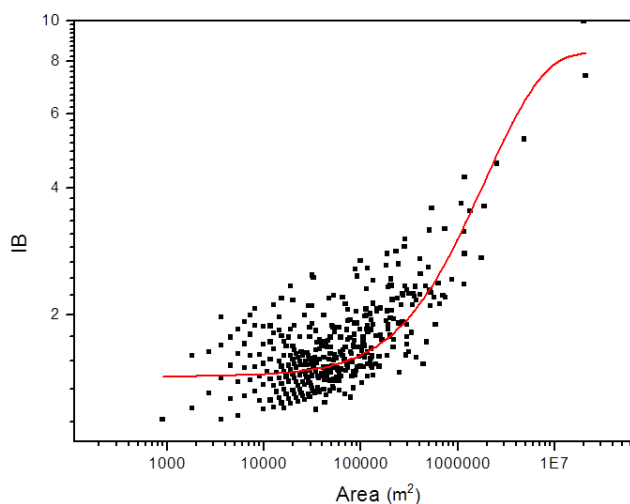
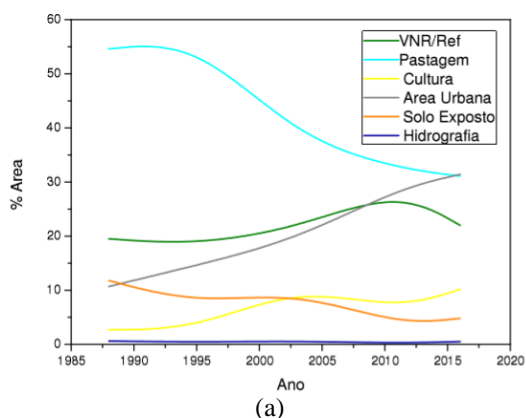


Gráfico 6-1. Relação de índice de borda (IB) sobre a área dos fragmentos de vegetação. Autoria pessoal.

6.2 CARACTERÍSTICAS E PADRÕES DA MATRIZ E DO MOSAICO

Os resultados observados nas relações entre as proporções entre cada categoria de cobertura da terra, distância entre os fragmentos florestais e qualidade da terra e *SIR* (potencial para restauração), apontam áreas com padrões de permeabilidade ou resistência da matriz. No entanto, os dados mostrados na Figura 6-4(a), denotam constante crescimento da área urbana e também aumento de áreas com pretensão à urbanização (classe solo exposto), ver na Figura 6-3(a). A classe VNR/Ref atingiu o maior percentual de ocorrência em 2011 e vem novamente diminuindo em 2016 (Figura 6-3 a, b). Esse padrão de cobertura da terra geralmente ocorre em municípios com tendência à urbanização e com isso ocorre supressão da vegetação para dar lugar a novos bairros e/ou condomínios.



Classes de Cobertura da Terra	1988	1995	2003	2011	2016
VNR/Ref	19.5	18.4	21.5	28.6	22.0
Pastagem	54.6	56.1	38.1	32.5	31.1
Cultura	2.7	2.8	10.7	6.4	10.2
Área Urbana	10.7	14.6	19.4	28.8	31.4
Solo Exposto	11.8	7.5	9.8	3.6	4.8
Hidrografia	0.6	0.4	0.6	0.2	0.5

(a)

(b)

Figura 6-3. Dinâmica da Cobertura da terra em Sorocaba-SP. (a) Gráfico e (b) Dados tabulares. Ano de 1988 a 2016. Autoria Pessoal

Comparando os mapas “a” e “b” da Figura 6.4, é possível observar que, para o caso de Sorocaba, em 2016 os fragmentos de vegetação inseridos na zona centro-sul, região mais urbanizada, apresentavam-se mais distantes entre si. As distâncias atingem 2000 metros em um ponto localizado na zona de maior intensidade urbana Figura 6-4(b). Entretanto, ainda prevalecem as menores distâncias (<500m) em regiões próximas aos grandes fragmentos vegetais (localizados a NO, N, NE, LE, SE).

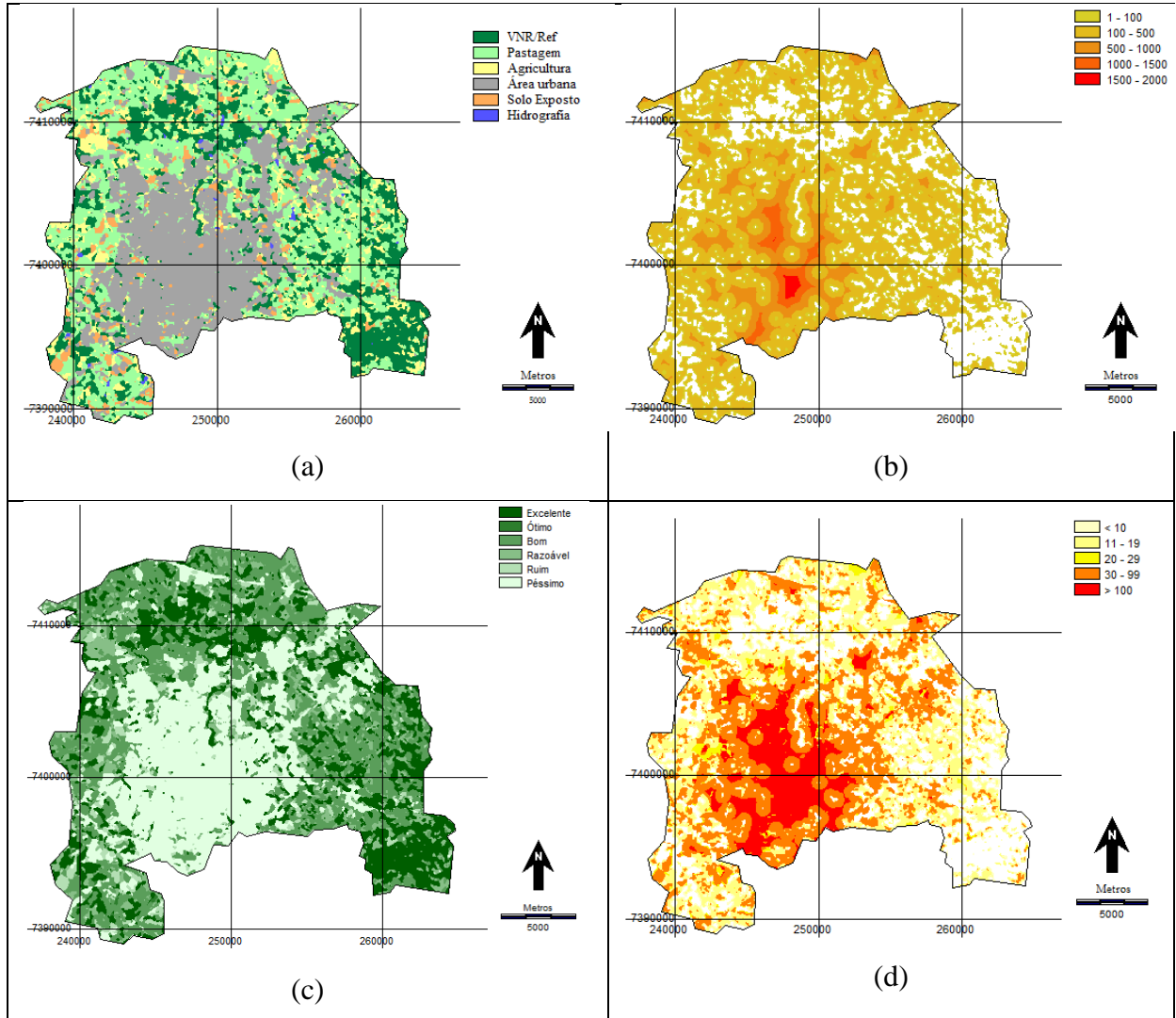


Figura 6-4. Resultados encontrados com a aplicação de métricas da paisagem para o município de Sorocaba em 2016. Datum: SAD 69 (a) Cobertura da Terra, (b) Distância entre fragmentos, (c) Qualidade da terra – intensidade de uso humano, (d) Áreas com potencial para restauração da paisagem “SIR”. Autoria Pessoal.

Esse padrão de ocorrência é um indicador importante para estabelecer ligações entre os remanescentes de vegetação. Além disso, esse grupo indicador dos grandes fragmentos forma o *cluster* com proposta de Corredor Ecológico em Sorocaba. O Corredor Ecológico ou da Biodiversidade é constituído por uma extensa faixa de vegetação com largura e grau de conservação, variáveis. Por este corredor há a intenção de promover uma ligação em extensões ainda maiores, conectando duas grandes Áreas de Proteção Ambiental (APAs): Floresta Nacional (FLONA) de Ipanema e arredores próximos à represa de Itupararanga (Mello, 2012).

Outro aspecto bem marcante é a qualidade da matriz/ da terra (*área inter patch*), característica que retrata as consequências da intensidade de uso humano sobre o terreno ao

longo do tempo. Esse quesito, portanto, apresentou diminuição da qualidade denominada excelente em 6,5% da área total (Figura 6-4(c) e Gráfico 6-2).

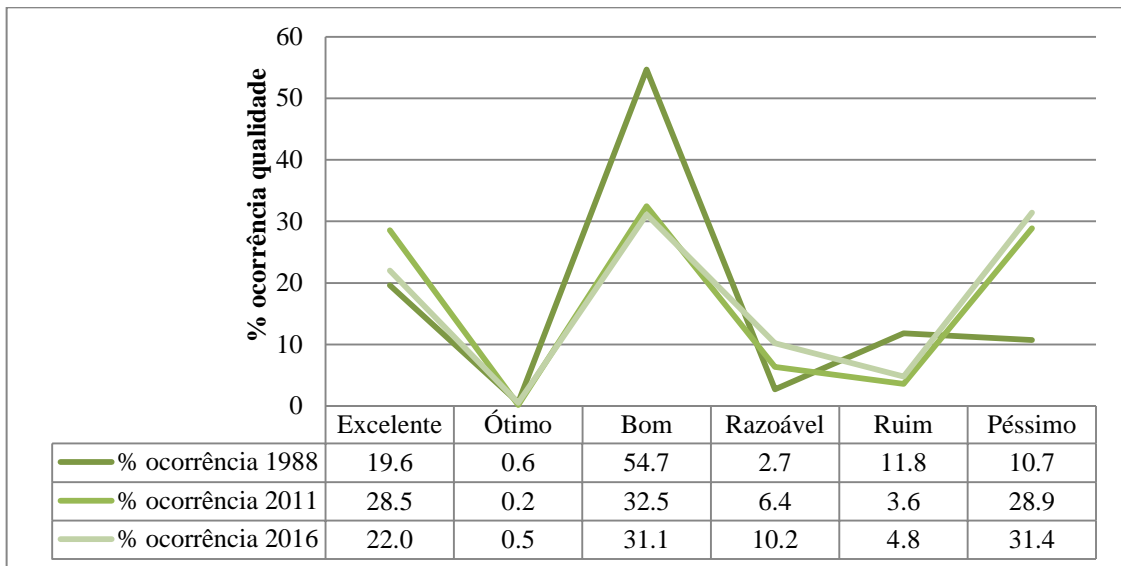


Gráfico 6-2. Dinâmica da qualidade da terra em Sorocaba-SP.

Os resultados encontrados com a análise efetuada utilizando-se o modelo SIR ao longo do tempo mostram que as áreas com alto potencial para restauração (SIR baixo: classes <10 – 29) tiveram uma diminuição de 23,4% no período estudado. Por outro lado, o SIR que demonstra maior resistência na matriz (SIR alto: classes 30>100) aumentou consideravelmente (Figura 6-4(d) e Gráfico 6-3). Verificam-se ali áreas que necessitam de intervenção humana para que haja algum tipo de ligação entre os fragmentos e assim proporcionar a recomposição da paisagem.

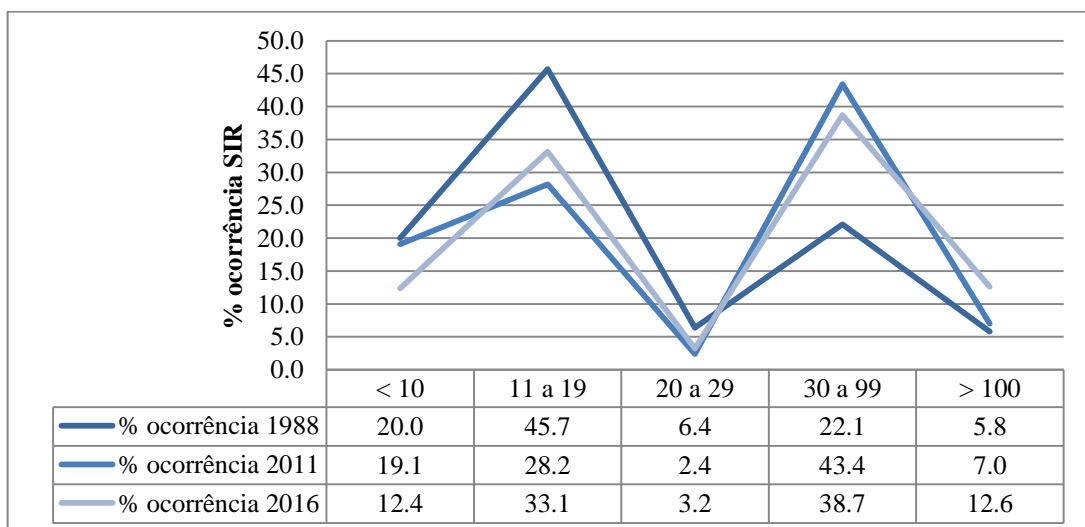


Gráfico 6-3. Dinâmica do SIR. Autoria Pessoal

Logo, assume-se que o SIR baixo destaca regiões de restauração passiva e o SIR alto aponta áreas susceptíveis à restauração assistida (Figura 6-5). Em 2016, a área de estudo apresentou 42,5% de zonas aptas à restauração assistida. A partir desse resultado o estudo correlacionou novamente remanescentes vegetais maiores que 50ha com proximidades entre si em zonas de SIR alto.

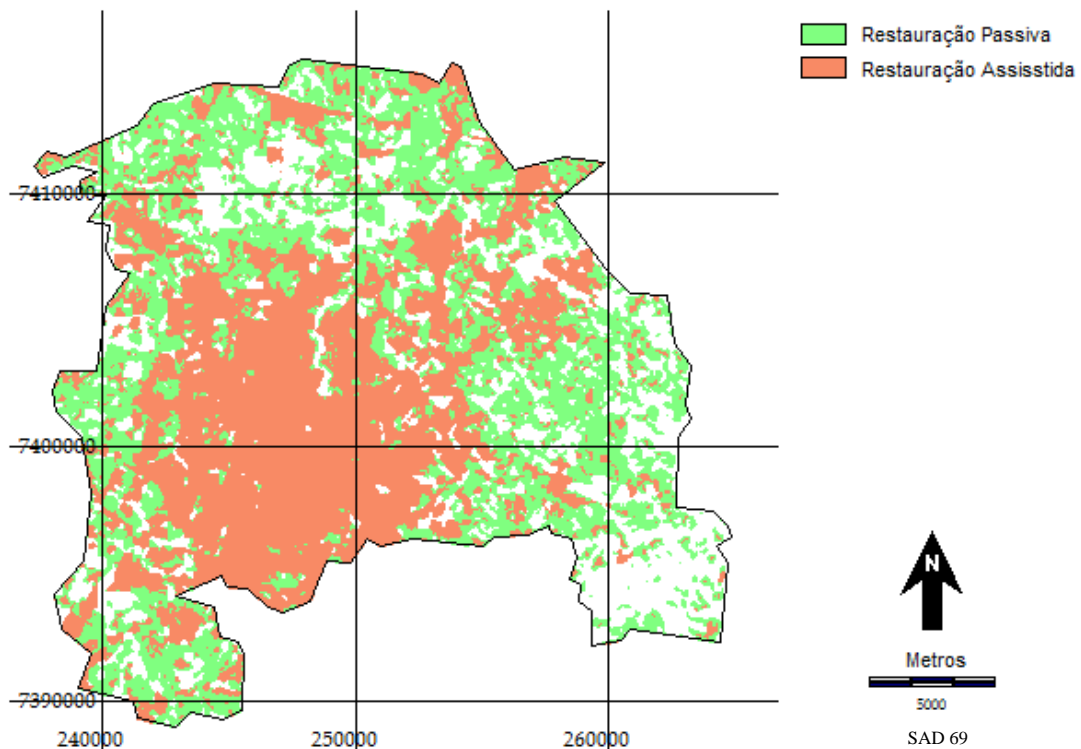


Figura 6-5. Mapa de reclassificação do SIR, restauração passiva e assistida. Autoria Pessoal.

A composição da união dos fragmentos e o padrão espacial determinado pelo mosaico são características importantes neste estudo. Os índices da paisagem foram calculados para estimar e quantificar a conectividade dos fragmentos. Os índices mais utilizados atualmente são baseados na estimativa de distância mais curta entre os habitats. Contudo, não consideram o efeito dos padrões da matriz como resistência ao movimento. Porém, a intenção foi correlacionar às distâncias curtas e os padrões da matriz.

Dessa forma, o ponto de conexão foi designado com base nos valores de resistência da superfície entre os fragmentos, correlacionado a interseção dos valores de buffers e as regiões de maior resistência ao movimento, áreas que necessitam de restauração assistida. A aplicação desse método identificou pontos de conectividade entre os remanescentes de vegetação com alta prioridade para implementação de projetos de recuperação da paisagem.

6.3 CONEXÕES E PERFIL PONTUAL

A aplicação do método Multi-buffer, entre os grandes fragmentos, revelou 12 pontos de conexão com distâncias de 30m, 60m, 90m e 120 m. A sobreposição dos mapas, dos pontos de conexão ao SIR, representa as possíveis ligações em áreas de restauração passiva (Figura 6-6- mapa) e assistida (Figura 6-7 - foto aérea).

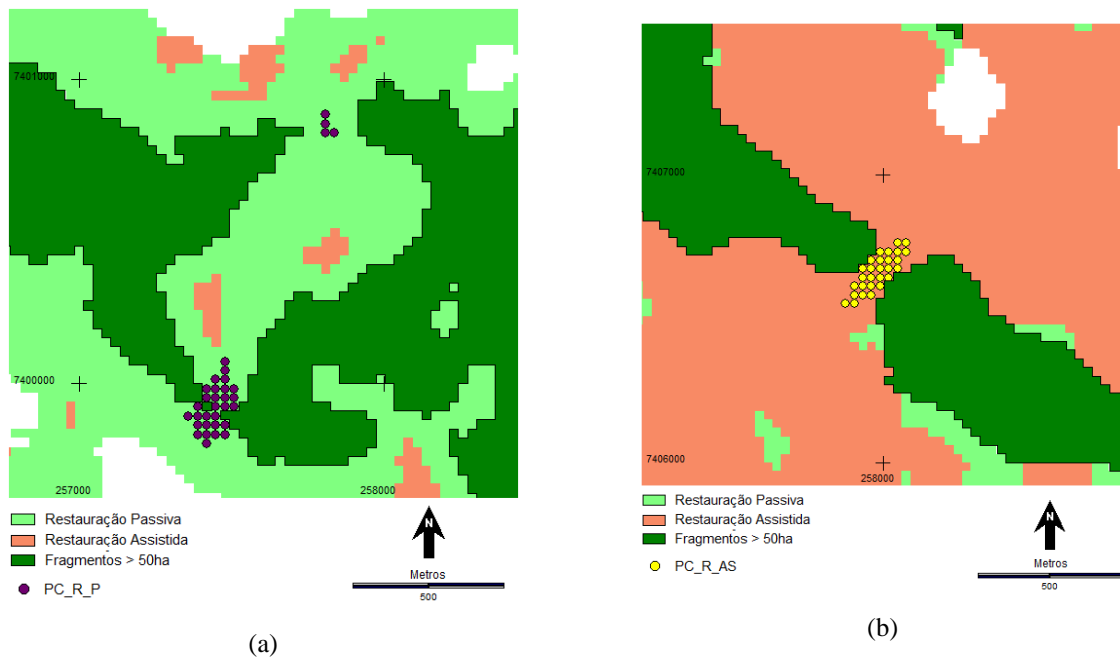


Figura 6-6. Exemplos de Identificação dos Pontos de Conexão em Matriz de Restauração Passiva e Assistida. (a) PC_R_P (Matriz de Restauração Passiva), (b) PC_R_AS (Matriz de Restauração Assistida). Autoria Pessoal.



Figura 6-7. Fotos aéreas de correspondência dos Pontos de Conexão em Matriz de Restauração Passiva e Assistida. (a) PC_R_P (Matriz de Restauração Passiva), (b) PC_R_AS (Matriz de Restauração Assistida). Autoria Pessoal.

Ao correlacionar o SIR alto (resistência na matriz) ou Multi-buffer obteve-se apenas 9 pontos de ligação (Gráfico 6-4). Com isso, nota-se que três pontos deixaram de ser considerados. Tais pontos pertenciam a região onde ocorre restauração passiva. Assim, a escolha de pontos com necessidade de recuperação assistida fica condicionada à aplicação de SIR.

Além disso, os ensaios retornaram um aumento exponencial de pontos de conexão associados às distâncias estabelecidas.

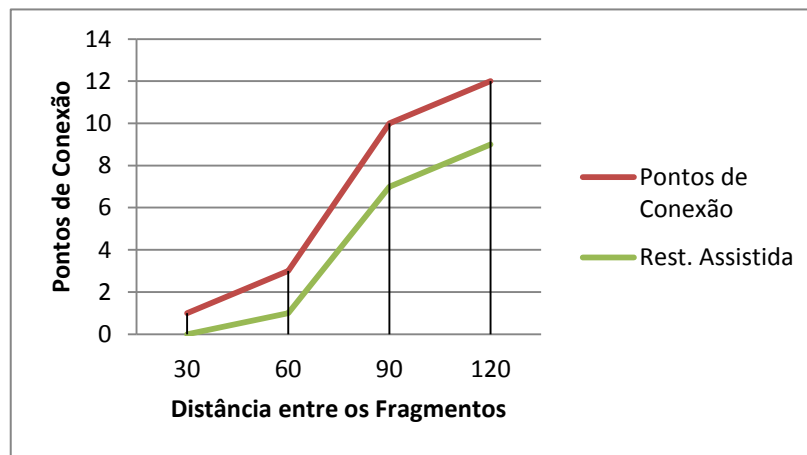


Gráfico 6-4. Pontos de Conexão relacionados às distâncias entre os fragmentos de vegetação.

As informações sobre os 9 pontos indicados pelo modelo são apresentadas na Tabela 6-2. No cálculo para 30m de distância não houve nenhum ponto de conexão como resultado, aplicando 60m de buffer ocorreu apenas 1 ponto de conexão, com 90m e 120m, apresentaram 7 e 9 pontos respectivamente. É possível observar ainda que os pontos com menor distância de buffer se sobrepõem aos mais distantes entre si.

Tabela 6-2. Parâmetros dos pontos de conexão em áreas de restauração assistida.

N. Ponto	Distâncias de Conexão	Coordenada X	Coordenada Y	Localização
1	90/120	257979	7406641	LE
2	90/120	259293	7406125	LE
3	60/90/120	259491	7405668	LE
4	90/120	260976	7402853	LE
5	120	260776	7405078	SE
6	120	261258	7402586	SE
7	90/120	239237	7395433	SO
8	90/120	239748	7394793	SO
9	90/120	239695	7394591	SO

Autoria Pessoal.

A distribuição espacial dos pontos de conexão também foi analisada conforme os mapas das Figura 6-8 para 60m, Figura 6-9 para 90m, e Figura 6-10 para 120m. O ponto encontrado na distância de 60m está localizado na região leste do município. Já os pontos localizados com distâncias entre 90 e 120m encontram-se nas regiões leste, sudeste e sudoeste, sendo que 6 dos 9 pontos estão localizados entre leste e sudeste, coincidindo com o corredor da biodiversidade proposto para o município. Entretanto, há 3 pontos de conexão na porção sudoeste que também indicam necessidade de estabelecimento de ligações entre fragmentos de vegetação.

Foram examinados 25 fragmentos de vegetação com áreas maiores que 50 ha. Então, para que houvesse conexão de todos estes, o número de pontos de ligação seria de pelo menos 24 unidades. Contudo foram encontrados somente 9 regiões de conexão. Tal diferença deve-se às distâncias testadas terem sido limitadas em até 120m.

De fato, pode-se observar que algumas áreas fragmentadas encontradas na porção sudeste do município não foram selecionadas para conexão. As mesmas estão entre os grandes fragmentos de vegetação que contribuem para a consolidação do grande corredor ecológico. Dessa forma, visando ampliar a contribuição com as conexões de *gaps* entre o *cluster* que liga as grandes áreas de APAs dos municípios vizinhos, os testes precisariam ampliar as distâncias de buffer até abranger todas as conexões restantes.

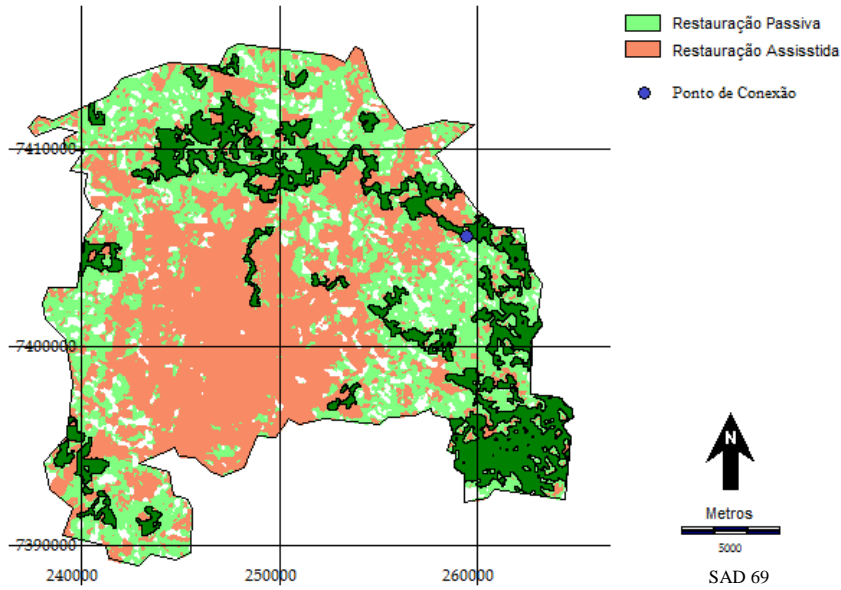


Figura 6-8. Mapa com ponto de conexão em área de restauração assistida para 60m de distância entre os fragmentos.

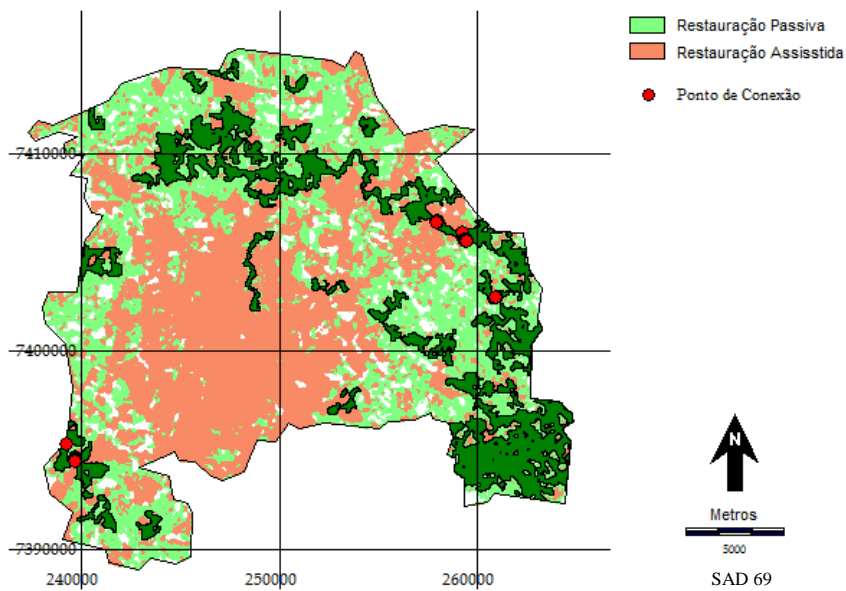


Figura 6-9. Mapa com ponto de conexão em área de restauração assistida para 90m de distância entre os fragmentos.

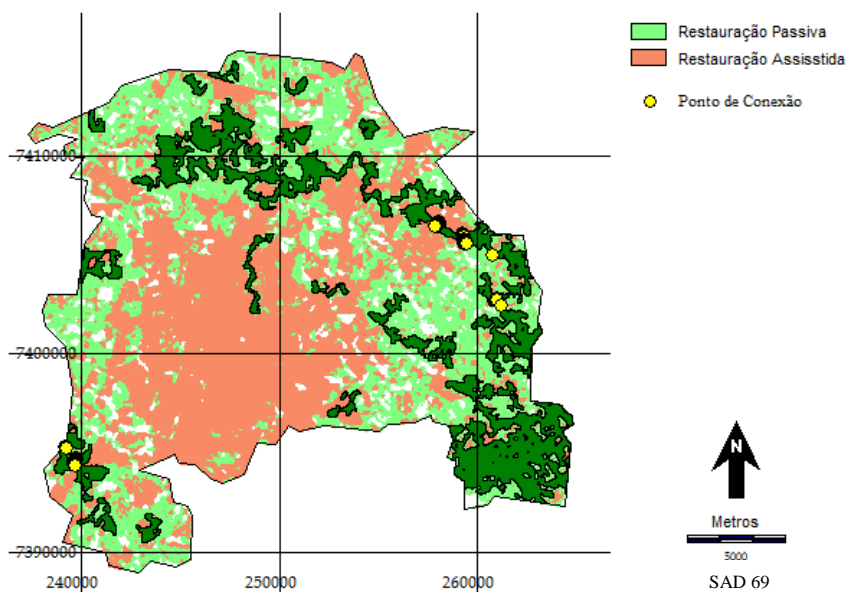


Figura 6-10. Mapa com ponto de conexão em área de restauração assistida para 120m de distância entre os fragmentos.

A fim de comparar (i) os dados computados em laboratório com a paisagem real, (ii) imagens dos pontos sobrepostas a cobertura da terra e também (iii) a matriz de resistência (restauração passiva e ativa), realizou-se uma visita “in loco” no dia 17 de abril de 2017. Neste dia, ao observar a paisagem natural ao redor dos pontos, pode-se verificar ao vivo que, de fato, a vegetação natural está presente e há barreiras, tornando-a fragmentada.

Uma sintetização de dados coletados nos pontos selecionados pode ser observada no Quadro 6-1. Em campo, confirmou-se que tais pontos estão localizados em áreas que precisam de restauração assistida. No entanto, alguns estão próximos de regiões onde a paisagem pode ser restaurada com mais facilidade. Apenas um dos pontos está localizado em área de adensamento urbano, sendo que a maioria ainda se encontra na região periurbana de chácaras particulares.

Verificou-se ainda proximidade a pequenos fragmentos que podem ser usados como trampolins no design de conectores.

Quadro 6-1. Características locais de avaliação ambiental nos pontos selecionados para conexão ecológica.

N. do ponto	Coord. X	Coord. Y	Distância (metros)	Propriedade	Uso da terra	Prox. à Restauração Passiva	Barreira	Vegetação	Intervenção para conexão
1	257979	7406641	90/120	Público	Predominância de área urbana, com presença de solo exposto pouca pastagem e cultura	Praticamente não há	Rodovia Estadual, intermunicipal SP-75. Pavimentada com 4 pistas de fluxo intenso de carros.	Vegetação Densa com hidrografia presente. Apesar de suprimida pela densa urbanização e presença de indústrias ao seu redor	Presença de túnel abaixo da rodovia para fluxo do córrego Pirajibu. Pode ser usado para conexão de fauna e flora.
2	259293	7406125	90/120	Privado	Predominância de área urbana com pequenas regiões de pastagem	Sim, pouco	Propriedade particular (indústria) e rua municipal pavimentada	Vegetação densa preservada ao redor	Conexão por meio de RPPN.
3	259491	7405668	60/90/120	Privado	Área urbana e pastagem	Sim	Propriedade particular (cultura ou solo exposto) estrada não pavimentada	Vegetação densa ao redor	Conscientização por parte privada para RPPN.
4	260976	7402853	90/120	Privado	Predominância de pastagem e cultura	Sim	Chácaras Urbanas	Natural e Densa ao redor	Conscientização por parte privada para RPPN. Possibilidade de ligação com pequeno fragmento.
5	260776	7405078	120	Privado	Cultura, pastagem e urbana	Sim	Pequenas plantações para uso privado	Natural densa ao redor	Conscientização por parte privada para RPPN. Incentivo na recomposição de espécies nativas
6	261258	7402586	120	Público/ Privado	Cultura e pastagem	Sim	Estrada vicinal não pavimentada e culturas	Reflorestamento próximo a vegetação natural densa.	Conscientização por parte privada para RPPN. Presença de pequenos fragmentos que podem ser usados como trampolins
7	239237	7395433	90/120	Privado	Solo exposto/ cultura, hidrografia e pastagem	Sim pouco	Propriedade particular de mineração e indústria de cerâmica	Vegetação densa de reflorestamento	Conscientização por parte privada para RPPN
8	239748	7394793	90/120	Privado	Solo exposto/ cultura, hidrografia e pastagem	Sim pouco	Propriedade particular de mineração e indústria de cerâmica	Vegetação densa de reflorestamento	Conscientização por parte privada para RPPN
9	239695	7394591	90/120	Privado	Cultura/ urbana, hidrografia e pastagem	Sim pouco	Propriedade particular de mineração e indústria de cerâmica	Vegetação densa de reflorestamento	Conscientização por parte privada para RPPN

Autoria Pessoal

No ponto 1, as imagens (Figura 6-11 a, b), identificam zonas com perfil de urbanização e que necessitam de restauração assistida. Além disso, verificou-se presença de rodovia como barreira de ligação e proximidade às grandes indústrias (Figura 6-11 c). A vegetação natural é densa e possui características originais, como árvores altas e presença de curso d'água, ou seja, trata-se de uma região ripária e a rodovia cruza por cima do córrego.

Ao menos no momento da visita, não foi notada presença de fauna. Verificou-se que a água estava turva e afirmativamente com odor característico de esgoto não tratado. Uma sobreposição ao desenho urbano do município foi desenvolvida (Figura 6-11d) onde está representado um túnel, existente no local, abaixo da rodovia para escoamento do córrego que passa por ali. Em visita ao local as características relatadas foram evidenciadas.

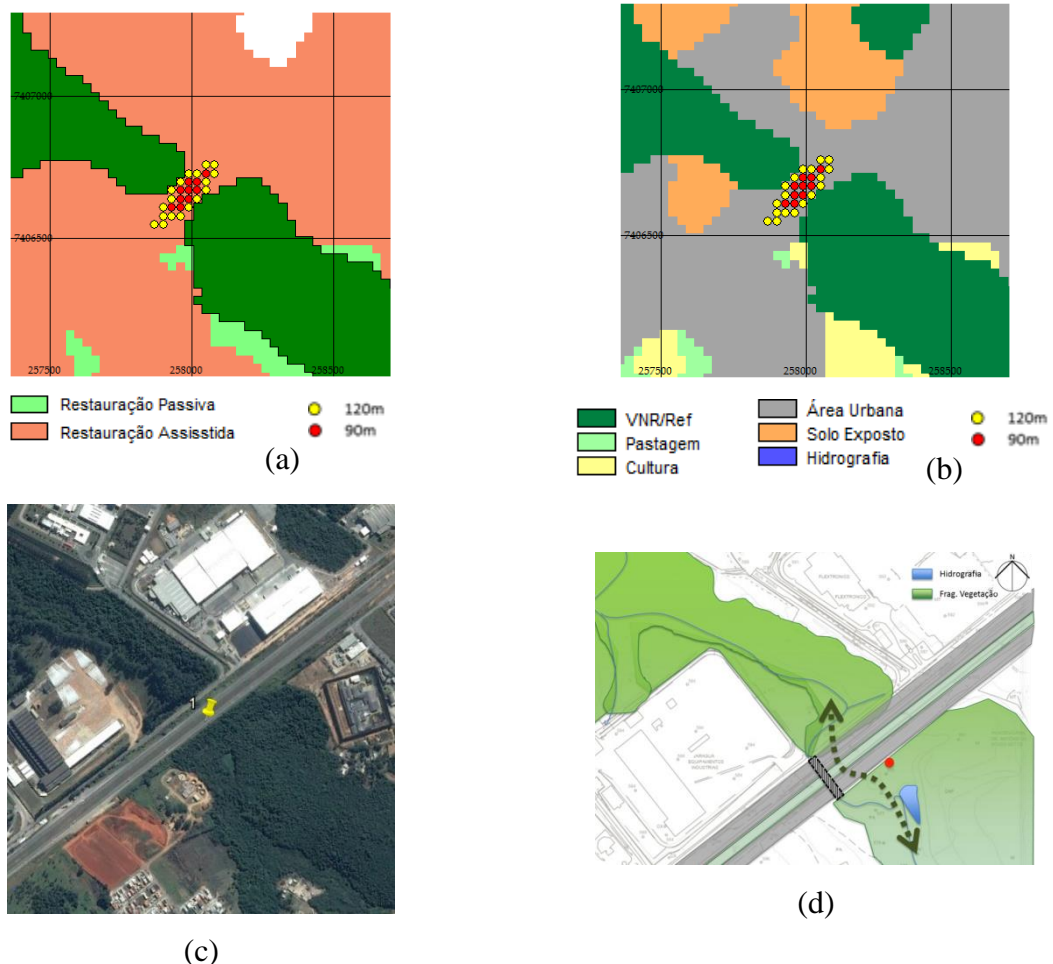


Figura 6-11. Dados de mapeamento do ponto 1. (a) Ponto de conexão sob classifica o de restaura o assistida e passiva, (b) Ponto de conexão sob uso da terra, (c) Ponto de conexão em imagem de satélite, (d) Diagnóstico ambiental no ponto 1. Autoria Pessoal.

Através das imagens (Figura 6-12 a, b), que constituem os pontos 2 e 3, constata-se a sequencialidade causada pela barreira antrópica, interferindo a conexão das áreas de habitat. Confirmou-se ali a ocorrência de áreas que necessitam de restauração assistida ocorrem em ambos os pontos. Contudo, o ponto número 3 apresenta possibilidade de conexão com menor distância (pixel azul = 60m). O uso do solo para fins urbanos é localmente predominante. Foi constatado também rua pavimentada no ponto 2 e não-pavimentada no 3. A imagem de satélite (Figura 6-12c) indica que há uma área vazia com vegetação bastante escassa que, segundo informações fornecidas por uma pessoa presente no local, tem intenção de transformá-la em condomínio residencial. Através da visita *in loco*, percebeu-se que a vegetação ao redor parece ser constituída, predominantemente, por espécies nativas. Na sobreposição ao desenho urbano do município (Figura 6-12d) é possível ver que há possibilidade de intervenção com mais de uma conexão.

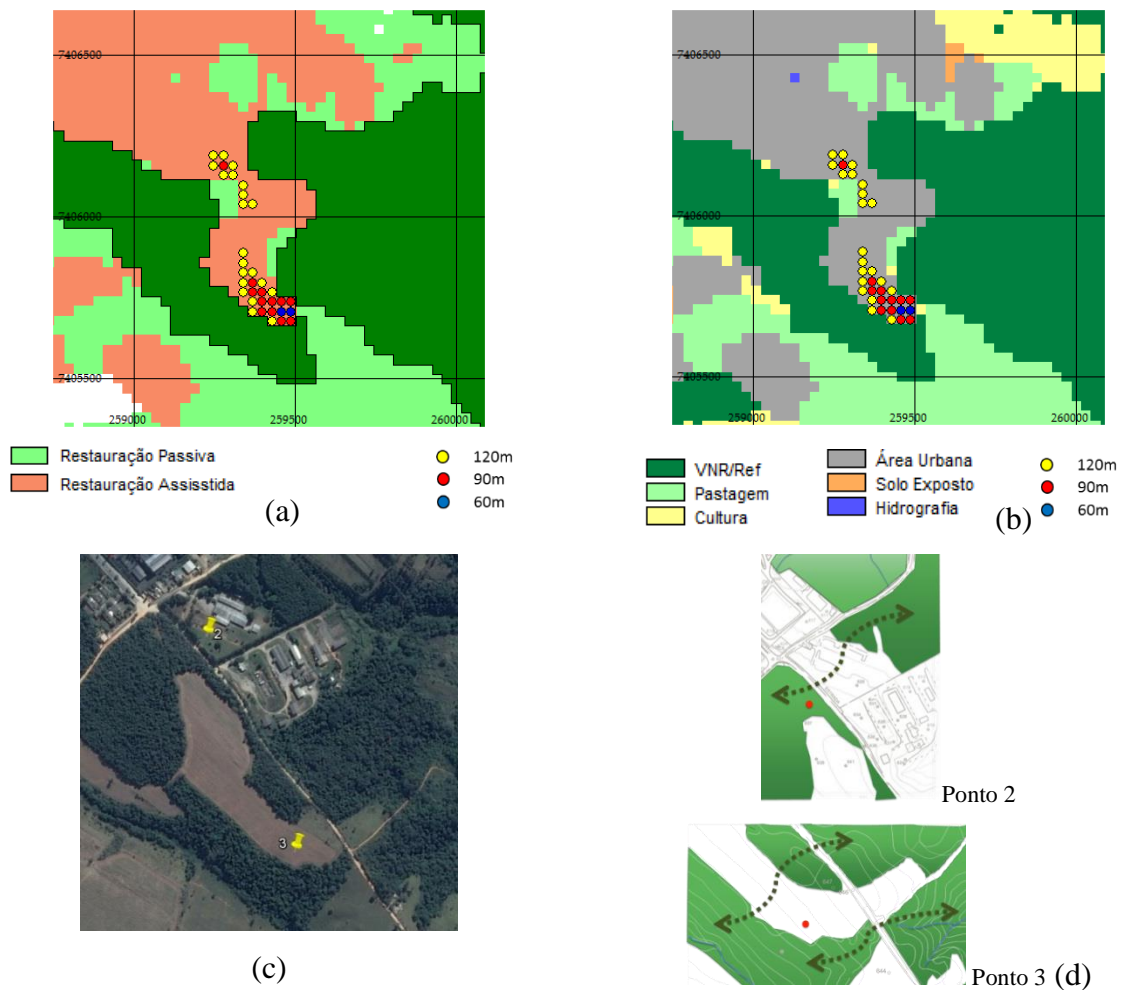


Figura 6-12. Dados de mapeamento dos pontos 2 e 3. (a) Ponto de conexão sob classificação de restauração assistida e passiva, (b) Ponto de conexão sob uso da terra, (c) Ponto de conexão em imagem de satélite, (d) Diagnóstico ambiental nos pontos 2 e 3. Autoria Pessoal.

O ponto 4, evidenciado por um único pixel amarelo (Figura 6-13 a, b), aparece mais distante (120m) das áreas de habitat. Esse ponto exigiu bastante atenção para análise. Ao observar apenas a imagem da Figura 6-13-a, infere-se que pode haver conexão entre os fragmentos de forma passiva (natural), como nos métodos de análise empírica (qualitativo), mas que de fato isso não ocorre no local. Ao visitar este ponto, observou-se que o solo está muito parcelado em termos de loteamento e este parcelamento é evidenciado pelo grande número de chácaras (Figura 6-13c e d). Há algumas casas com cercas de alambrado nas divisas, tornando uma forte barreira. A vegetação é densa e natural ao redor, mas não parece tão simples de conectar. Nesse caso, a metodologia aplicada demonstrou efetividade na escolha da paisagem a ser recuperada, pois é uma região onde há necessidade de projeto de intervenção para conexão entre os fragmentos tendo em vista a conservação ecológica.

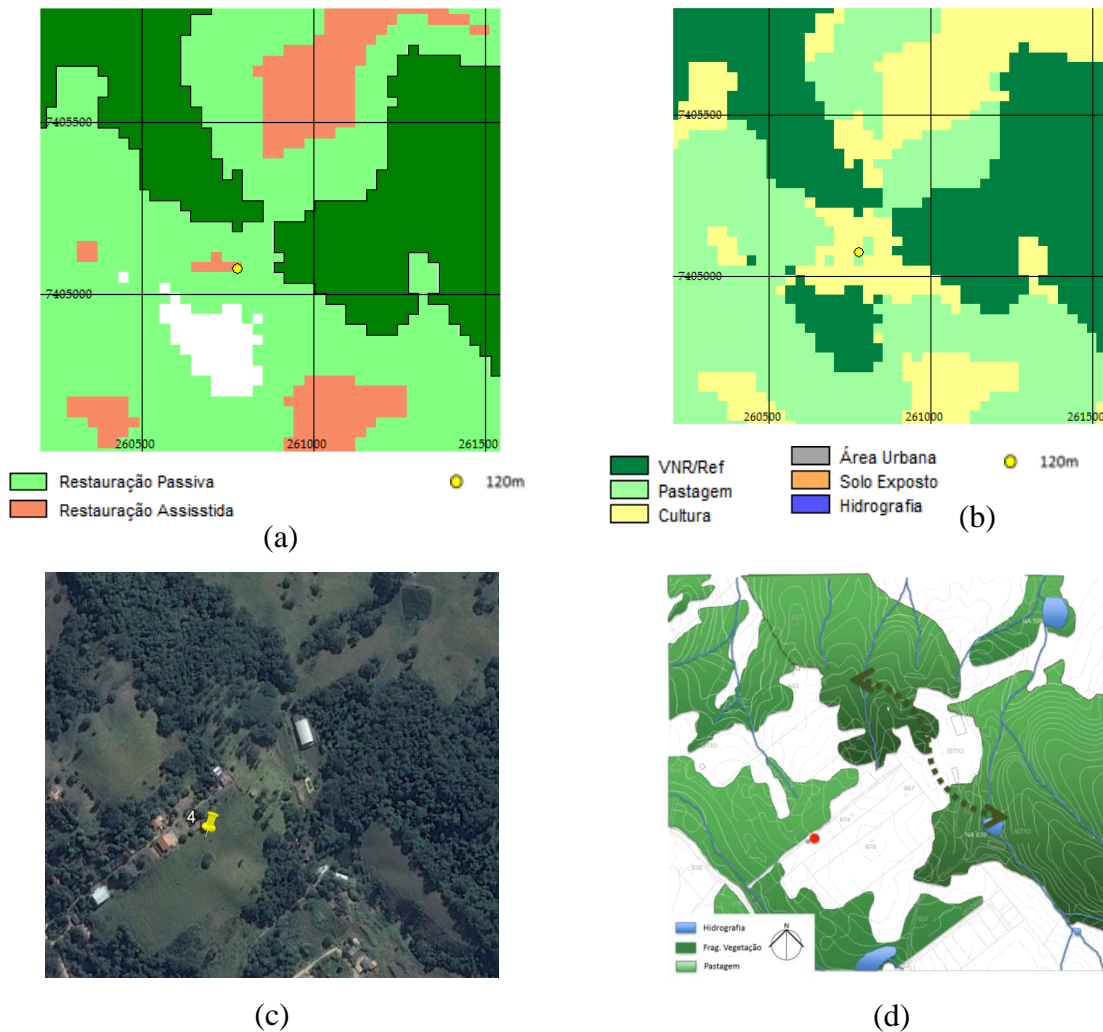


Figura 6-13. Dados de mapeamento do ponto 4. (a) Ponto de conexão sob classificação de restauração assistida e passiva, (b) Ponto de conexão sob uso da terra, (c) Ponto de conexão em imagem de satélite, (d) Diagnóstico ambiental no ponto 4. Autoria Pessoal.

Já os pontos 5 e 6 estão próximo entre si, mas possuem características diferentes. O ponto 5 apresentou distância de ligação a partir de 90m, já no 6 o conector deve ter no mínimo 120m de extensão (Figura 6-14 a, b). Ambos estão alocados em áreas onde há barreira de ligação. O elemento que constitui barreira no ponto 5 é uma grande área de solo exposto que é utilizada para plantações de uso próprio da família que ali vive. A mancha identificada como área urbana na imagem (Figura 6-14 b) é ocupada por uma residência. No entanto a conexão poderia ser feita por meio das áreas de cultivo.

Já o ponto 6 está localizado entre uma estrada não pavimentada e uma área privada com vegetação densa de reflorestamento (Figura 6-14 c). Entretanto constatou-se que ambos precisam de projeto de conexão. A sobreposição dos pontos ao desenho urbano (Figura 6-14 d) mostra possibilidade de uma conexão ainda maior, usando pequenos fragmentos como trampolins para ligação de uma grande área de habitat.

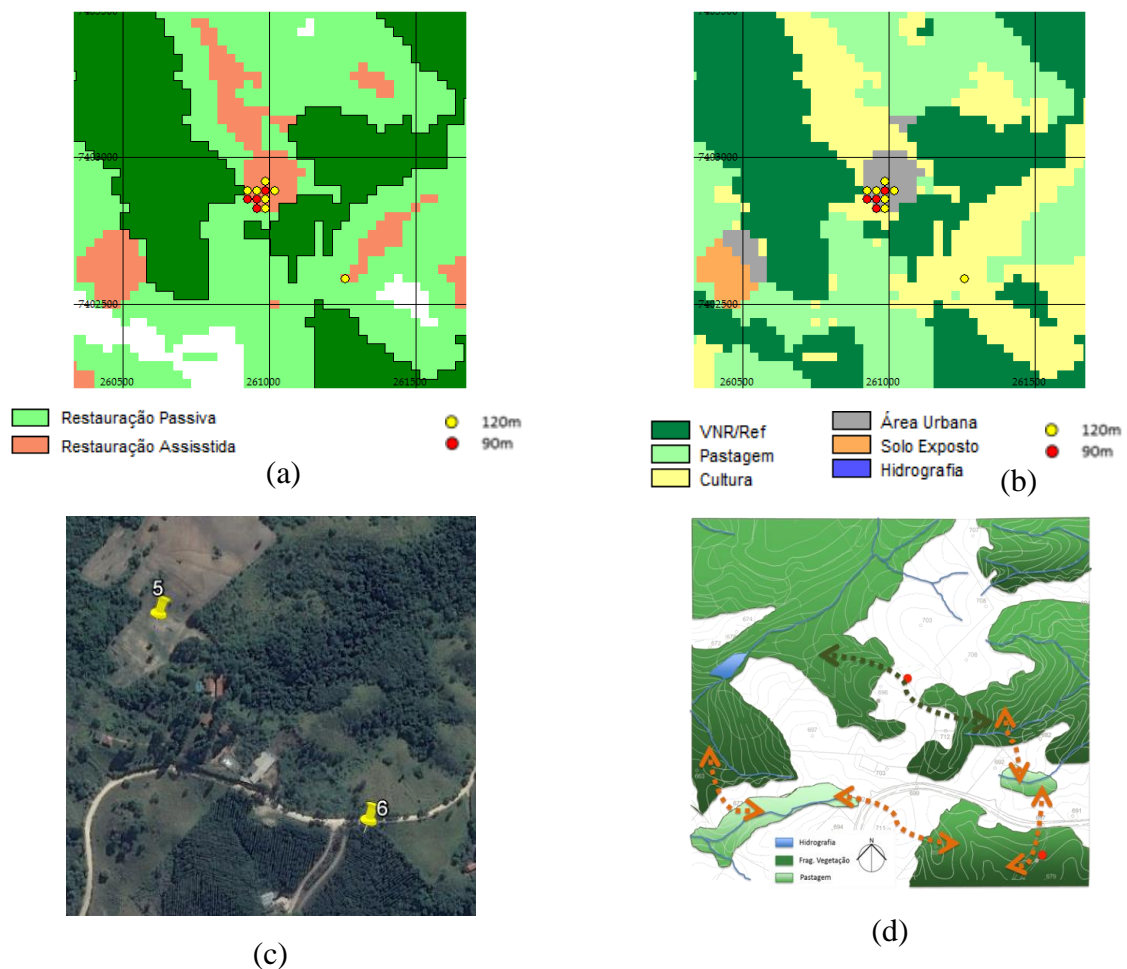


Figura 6-14. Dados de mapeamento dos pontos 5 e 6. (a) Ponto de conexão sob classificação de restauração assistida e passiva, (b) Ponto de conexão sob uso da terra, (c) Ponto de conexão em imagem de satélite, (d) Diagnóstico ambiental nos pontos 5 e 6. Autoria Pessoal.

O conjunto de pontos 7, 8 e 9 (Figura 6-15), localizados na região sudoeste do município, foge da sequencia de ligações que consolidam o grande corredor ecológico identificado pelos trabalhos da SEMA. Apesar disso, eles estão inseridos em uma das poucas regiões com densa vegetação de reflorestamento no município. Além disso, a área é particular e pertencente a um único proprietário (empresa do ramo de fabricação de tijolos e cerâmicas). A área é utilizada para mineração de argila e produção de cerâmica, o que reforça a atenção em termos de conservação dos fragmentos existentes e restauração da sua conexão. Através de algumas perguntas feitas ao técnico que recebeu a equipe no dia da visita, este afirmou que o negócio é regularizado, possui licença junto à CETESB e projeto de recuperação ambiental também aprovado pela referida agência. A conexão desses fragmentos poderia facilmente ser elaborada por meio de plantio das mesmas espécies nos espaços ausentes de vegetação.

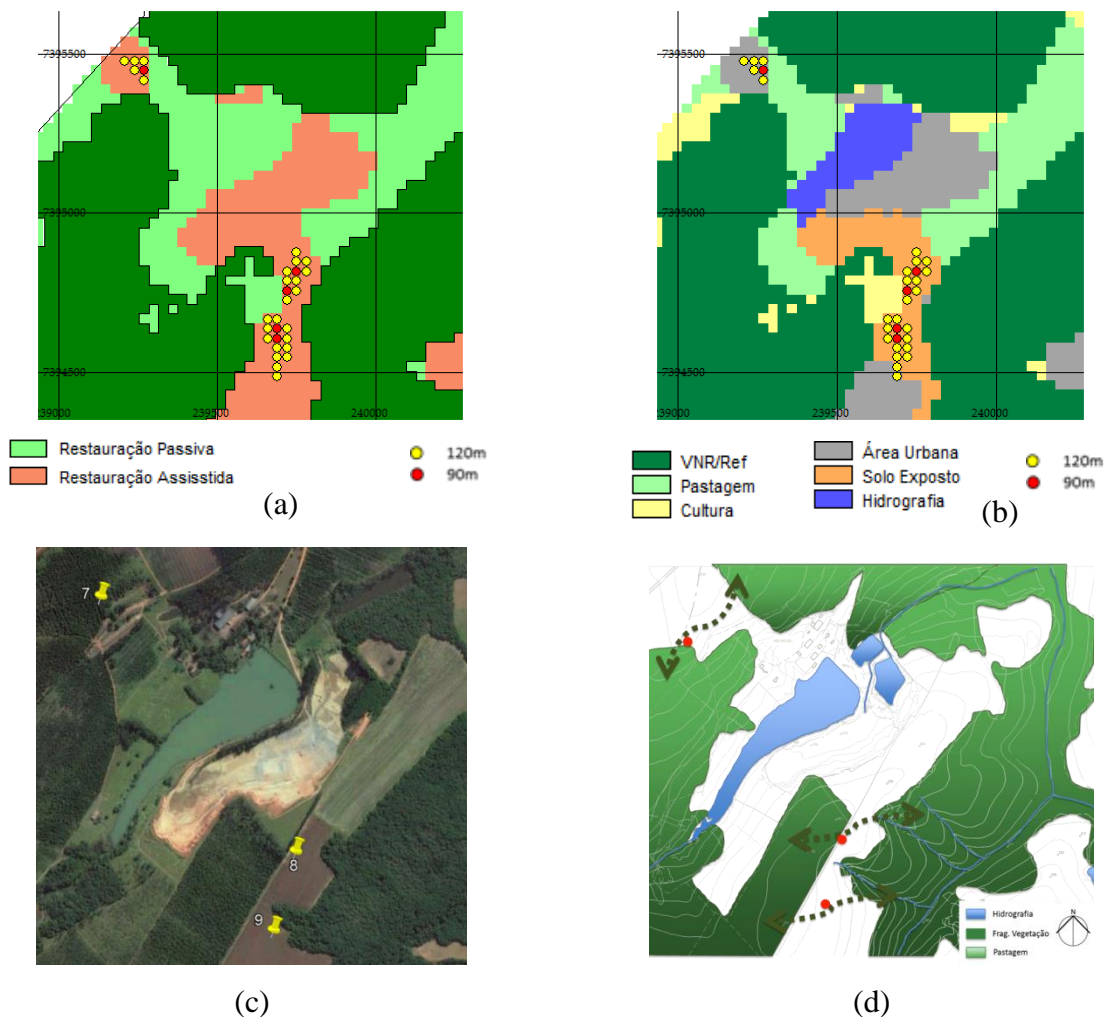


Figura 6-15. Dados de mapeamento dos pontos 7, 8 e 9. (a) Ponto de conexão sob classificação de restauração assistida e passiva, (b) Ponto de conexão sob uso da terra, (c) Ponto de conexão em imagem de satélite, (d) Diagnóstico ambiental nos pontos 7, 8 e 9. Autoria Pessoal.

Os resultados extraídos da sobreposição de imagens e desenhos, citadas no item 5-7, deste trabalho, apresentou possibilidades de caminhos para promover a conexão entre os fragmentos de vegetação (habitats). O número de células referente às possibilidades de ligações entre os habitats foram quantificados e apresentados na Tabela 6-3.

Tabela 6-3. Quantidade de células referente as possibilidade de caminhos de ligações entre habitats.

N. Ponto	Correspondência da Figura	Número de células Conexão 120 metros (amarelas)	Número de células Conexão 90 metros (vermelhas)	Número de células Conexão 60 metros (azuis)
1	(A)	28	10	0
2	(B)	11	1	0
3	(C)	24	13	2
4	(D)	1	0	0
5	(E)	10	4	0
6	(F)	1	0	0
7	(G)	6	1	0
8	(H)	11	2	0
9	(I)	14	2	0

Autoria Pessoal

A grade com as possibilidades de ligações para cada um dos 9 pontos selecionados pode ser vista na Figura 6-16.

As possibilidades de ligações, com aplicação do método SIR+Multi-buffer, demonstra que alguns pontos exibem maior número de ligações enquanto outros são mais restritos. Sendo os pontos 1 e 3 com mais células de ligação, 28 e 24 respectivamente. No entanto, as possibilidades mais restritas apresentam uma célula que dista 120 metros dos fragmentos adjacentes.

6.4 DESIGN DE CONECTORES ECOLÓGICOS

Apresentamos aqui, seis propostas de conectores ecológicos como potenciais estratégias de recomposição da paisagem correspondente aos diferentes cenários e condições locais.

Cada proposta tem como objetivo principal indicar a melhor maneira de promover a ligação das áreas de habitat vizinhos, promovendo a formação de um grande corredor ecológico (Figura 6-17a).

Os pontos de conexão selecionados, em escala pontual com o entorno, são apresentados na Figura 6-17b.

Os cenários estão localizados nas regiões leste, sudeste e sudoeste, sendo que seis situam-se entre leste e sudeste, coincidindo com o corredor da biodiversidade proposto para o município Figura 6-17c.

De forma geral, encontraram-se muitas barreiras físicas causando a fragmentação da paisagem. Logo, o design dos conectores foi desenvolvido para promover a conexão respeitando propriedades privadas existentes, vias e rodovias e até projetos futuros de urbanização. Os resultados para cada um dos cenários estão sintetizados no Quadro 6-2.

Nos itens de 6.4.1 a 6.4.6 são mostrados os resultados da proposta de design para cada cenário, especificamente.

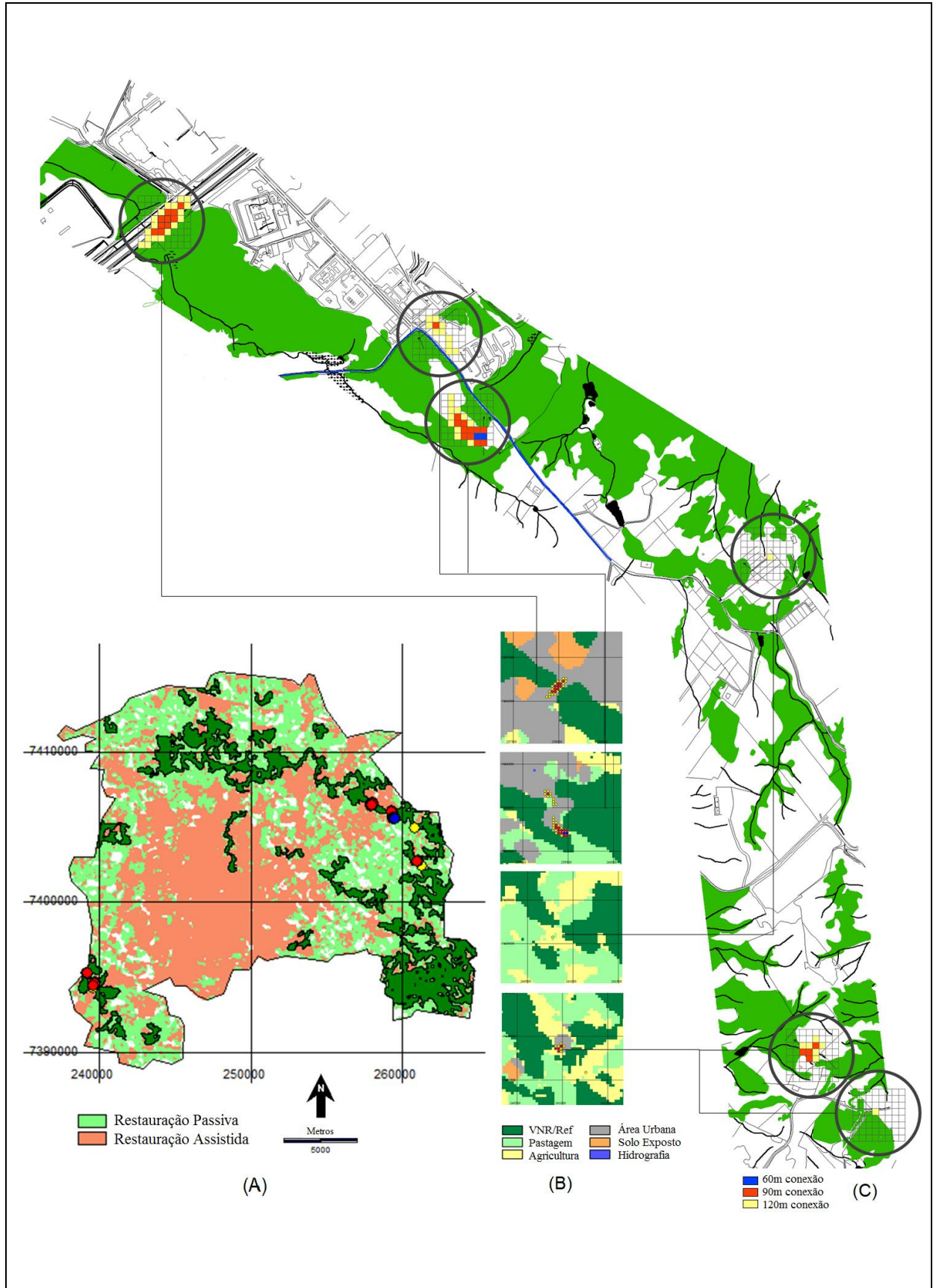


Figura 6-17. Conexões em diferentes escalas. (a) Escala do Município; (b) Escala Pontual e seu entorno e (C) Escala Celular promovendo a ligação do Corredor da Biodiversidade.

Quadro 6-2. Proposta de Design dos Conectores Ecológicos.

Local	Barreiras físicas	Proposta	Benefícios
Ponto 1	Rodovia e área urbanizada intensa	Conexão do tipo <i>underpass</i> (abaixo da rodovia) por meio de túnel existente.	Facilitar o movimento das espécies em área extremamente urbanizada.
Ponto 2	Área Industrial com cerca de alambrado e via urbana não-pavimentada	Conector do tipo <i>overpass</i> (acima da via) ligando dois grandes habitats; Proposta de revegetação na área industrial, promovendo conexão também pela copa das árvores.	Facilitar o movimento das espécies preservando a construção local.
Ponto 3	Área com proposta de loteamento urbano e via urbana não pavimentada	Conector do tipo <i>overpass</i> (acima da via) ligando as áreas de habitat; Plantio de mudas arbóreas na área do loteamento.	Facilitar o movimento das espécies mantendo o projeto futuro de loteamento, onde as árvores poderão se tornar a área- verde do empreendimento.
Ponto 4	Área de chácaras urbanas com várias propriedades particulares delimitadas por cercas de arame farpado/alambrado	Conector por meio de plantio de espécies arbóreas que permitirá o movimento de espécies pela copa das árvores.	Facilitar o movimento das espécies, respeitando os limites físicos e as propriedades.
Ponto 5	Área privada, delimitada por cerca de arame farpado.	Conexão de forma passiva por meio da alteração da cobertura da terra de agricultura p/ vegetação rasteira. Proposta de plantação de árvores de espécies locais para composição e ligação da paisagem.	
Ponto 6	Os remanescentes encontram-se em áreas privadas cercadas por arame farpado	Três tipos de conexão: (1) uso de áreas de restauração passiva adjacente, (2) uso de pequeno fragmento de vegetação como trampolim; (3) plantio de mudas arbóreas para reestabelecer a paisagem.	

Fonte: Autoria Pessoal

6.4.1 Cenário 1

O cenário do ponto 1 apresentou 28 células como possibilidade de ligação. Sendo 10 para ligação com 90m e 18 com 120m de distância. A sobreposição da grade celular ao desenho urbano permitiu encontrar a posição dos caminhos de ligação, sugerida pelo modelo, Figura 6-18.

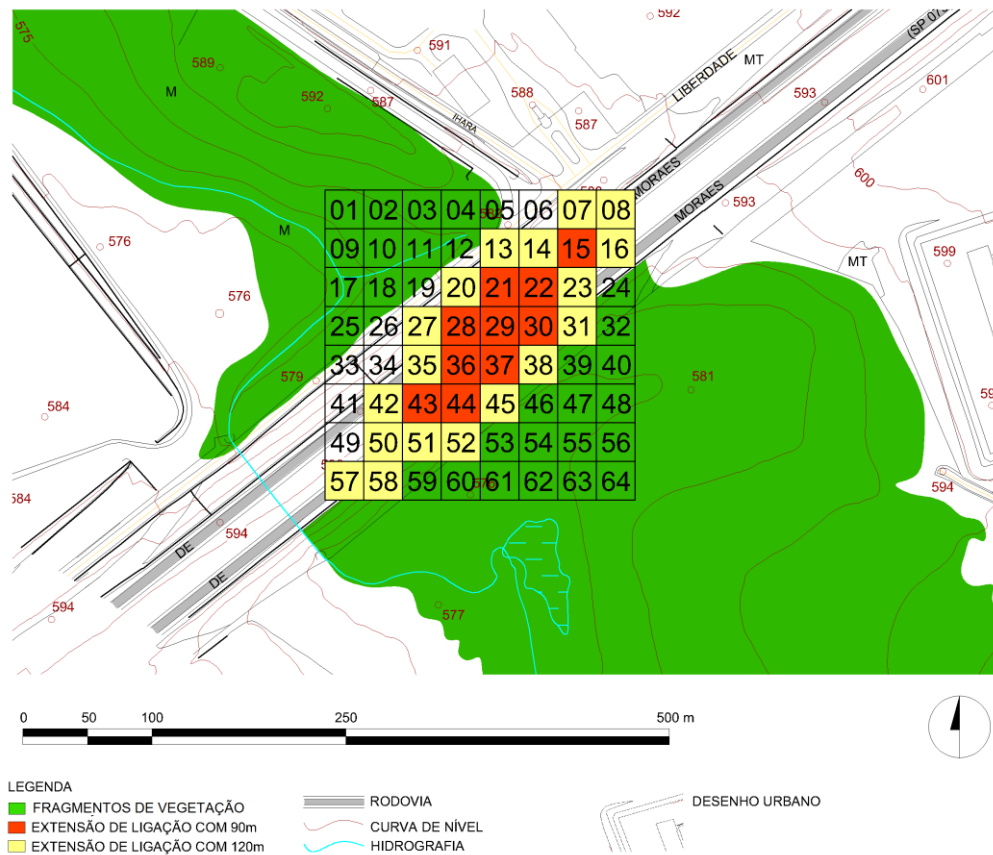


Figura 6-18. Ponto1 - Grade celular de caminhos de ligações sobre desenho urbano local. Autoria pessoal.

O desenho urbano auxiliou, ainda, no reconhecimento da posição do túnel de ligação. Porém, a proposta de conexão se deu fora da grade de ligação. Na extremidade inferior esquerda do fragmento, próximo a célula n.57 há um túnel que foi utilizado como conector, Figura 6-18 e Figura 6-19.

Com a foto obtida por Vant no mesmo local, pode-se ver que o túnel, é usado para escoamento de águas fluviais. Tem a forma de arco com altura e largura de 6,00m. Seu comprimento é de aproximadamente 100m (Figura 6-20). Ao longo do túnel nota-se a presença de uma claraboia (abertura) para iluminação e ventilação.



Figura 6-19. Imagem de sobrevoo do ponto 1 (fevereiro/2018). Autoria Pessoal



Figura 6-20. Vista do Túnel (fevereiro/2019) Autoria Pessoal.

O projeto de conexão entre os fragmentos de habitat, cenário 1, foi proposto aproveitando o túnel existente como passagem do tipo “*underpass*”, abaixo da rodovia. Essa é uma região bastante urbanizada, com indústrias de grande porte e o remanescente de vegetação encontra-se suprimido pela rodovia e seus arredores adensados. Nesse contexto, a solução menos onerosa encontrada, foi aproveitar a galeria existente como passagem de fauna.

A apresentação do projeto se deu em uma planta baixa (Figura 6-21) e dois cortes transversais. O corte 1 (Figura 6-22) mostra a situação atual deste cenário. Este foi feito na área de posicionamento da grade celular. Já o corte 1.1 passa pela área do túnel de ligação (Figura 6-23).



Figura 6-21. Planta baixa do Cenário 1. Proposta de Conector Ecológico. Autoria Pessoal.

Nos cortes (Figura 6-22 e Figura 6-23) é possível ver que do ponto mais alto da rodovia ao mais baixo na vegetação, possui 20 metros de desnível. Esse perfil de terreno desfavorece estruturas que passe acima da rodovia, *overpass*, pois suas bases laterais teriam que ser muito altas e bem reforçadas para suportar, por exemplo, uma ponte verde, além de muito oneroso.

A via local que dá acesso às indústrias, lado esquerdo inferior do desenho (Figura 6-22), possui vegetação em ambos os lados. Apenas o canteiro central da rodovia é desprovido de árvores e coberto por grama.

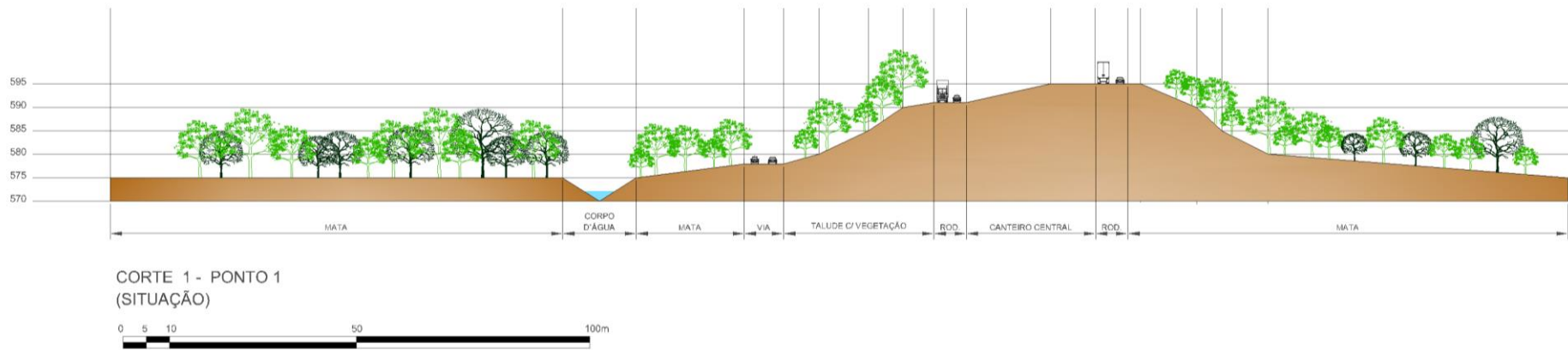


Figura 6-22. Corte Transversal 1, situação atual do Cenário 1. Autoria Pessoal

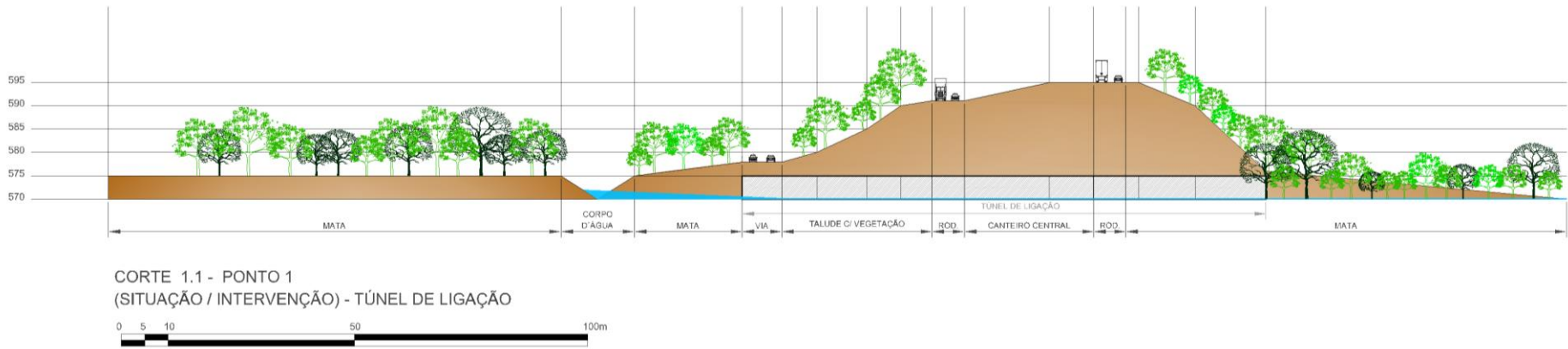


Figura 6-23. Corte Transversal 1.1, Intervenção no Cenário 1. Autoria Pessoal

6.4.2 Cenário 2

O cenário 2 apresentou 11 células como possibilidade de ligação. Sendo 10 para ligação com 120m e apenas 1 com 90m de distância. A sobreposição da grade celular ao desenho urbano permitiu encontrar a posição dos caminhos de ligação, sugerida pelo modelo, Figura 6-24. No entanto, com a verificação das barreiras físicas existentes no local, a proposta de conexão foi desenvolvida nas células n. 11, 12, 18 e 19.



Figura 6-24. Ponto 2 - Grade celular de caminhos de ligações sobre desenho urbano local. Autoria pessoal.

A área da indústria passou por uma intervenção voltada para a revegetação das áreas permeáveis, ou seja, com vegetação rasteira (grama).

A foto aérea do local permitiu ver que é possível recompor a paisagem por meio do plantio intenso de árvores. Além do mais, a união formada pelas copas das árvores é também usada como habitat ou trampolim para muitas espécies. A região a ser revegetada equivale a aprox. 23mil m² e pertence à indústria que pode ser vista na área central da Figura 6-25.



Figura 6-25. Imagem de sobrevoo do ponto 2. Autoria Pessoal.

No cenário 2, o conector ecológico entre os fragmentos de habitat foi do tipo *overpass*¹⁰, acima da via local. A área industrial privada é cercada por alambrado. Nesse caso, a proposta foi criar um *green overpass*¹¹, ou seja, uma estrutura metálica elevada com vegetação que servirá de corredor para que espécies atravessem a área delimitada chegando à vegetação densa que se encontra ao fundo do terreno da indústria.

O conector tem entre 10 e 12 metros de largura e nesse caso 120m de comprimento. O projeto respeitou as barreiras físicas da indústria, assim como, as passagem de veículo. A altura do conector nas vias é de 7m. Isso permite tranquilamente a passagem de veículos de pequeno à grande porte, inclusive caminhões e ônibus.

A planta baixa (Figura 6-26) destaca a posição do *green overpass* na lateral superior do terreno industrial. Apresenta ainda, uma proposta de paisagismo visando recomposição da vegetação e ao fundo, plantação de espécies arbóreas na divisa com a borda do fragmento.

¹⁰ Overpass. Conector aéreo, conceito existente na literatura.

¹¹ Green Overpass. Conector aéreo coberto por vegetação, denominação dada pela autora deste trabalho.



Figura 6-26. Planta baixa do Cenário 2. Proposta de Conector Ecológico. Autoria Pessoal.

O corte transversal 2 aponta desnível de 20m no total. Na situação atual (Figura 6-27) é importante observar o posicionamento da cerca e da entrada de veículos na indústria. Observa-se ainda que a área da indústria constitui uma forte barreira física que impede a ligação entre os fragmentos de vegetação. Já o corte 2 intervenção (Figura 6-28) mostra, em vista lateral, o conector proposto em estrutura metálica, com piso vazado coberto por vegetação, para travessia de fauna. O conector foi projetado levando em consideração os desníveis do terreno, a estrutura em rampas com 15 a 20% de inclinação permite a passagem das espécies de forma natural e acima das barreiras físicas. A altura da estrutura varia entre 5 a 7 metros.

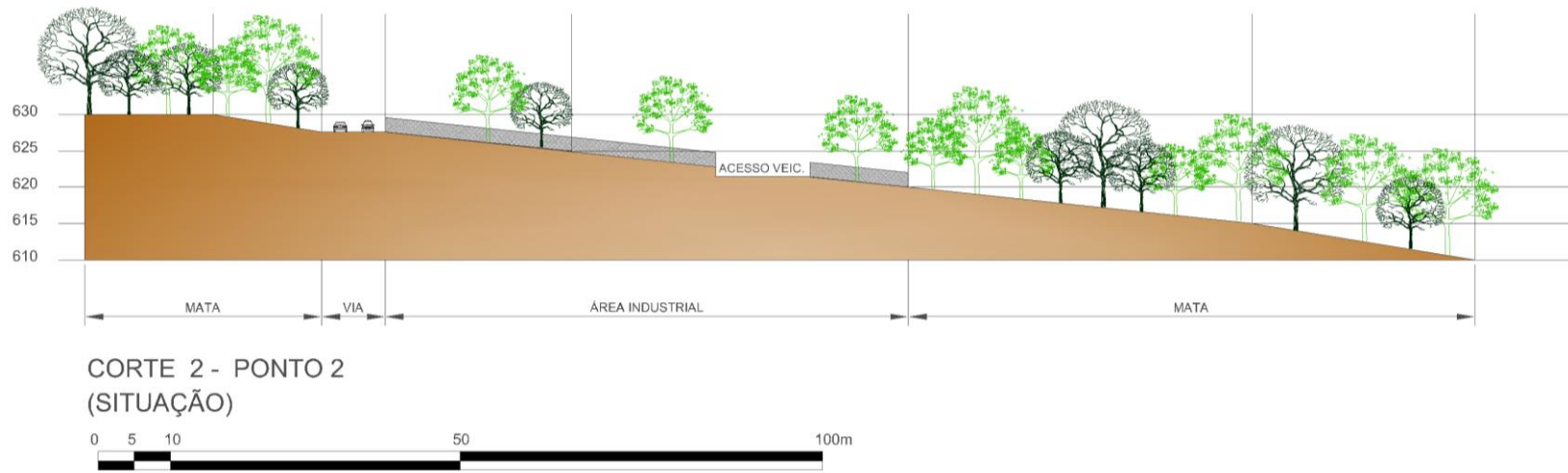


Figura 6-27. Corte Transversal 2, situação atual do Cenário 2. Autoria Pessoal

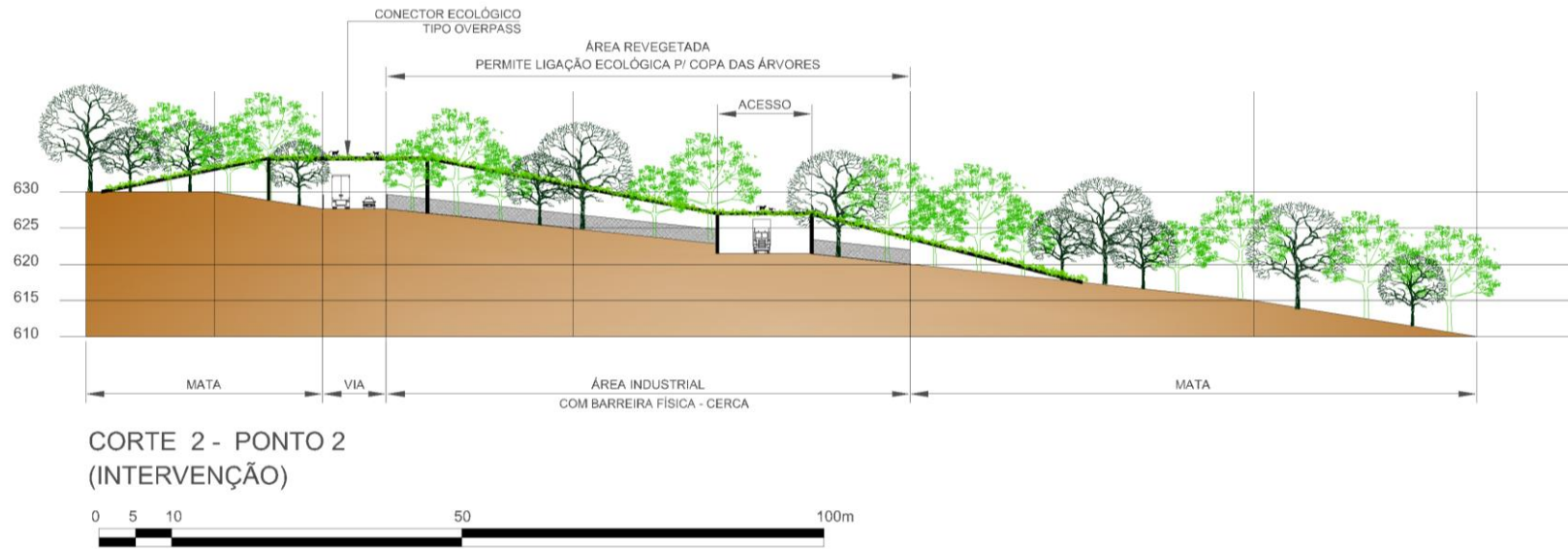


Figura 6-28. Corte Transversal 2.2, intervenção no Cenário 2. Autoria Pessoal

6.4.3 Cenário 3

O cenário 3 (Figura 6-29) foi o que apresentou maior número de células como possibilidades de ligações, depois do cenário 1. No entanto, o cenário 3 se destaca em relação ao cenário 1, pois é o único com possibilidade de conexão curta (60 m). Ao todo são 24 células de ligação, sendo 11 para ligação com 120m, 11 com 90m de distância e 2 para conexões curtas igual a 60m. Com a grade celular sobreposta ao desenho urbano, é possível notar que as células de números 54 e 55 (menor distância de ligação), encontram-se na área central do local de futuro loteamento residencial. Contudo, a proposta de intervenção foi estabelecida em três regiões, nas células n.47,55 e 63, ligando os fragmentos de vegetação, mas notou-se que a via local também é uma barreira física a ser considerada. Nesse caso, o conector, de fato, foi estabelecido fora da grade celular.

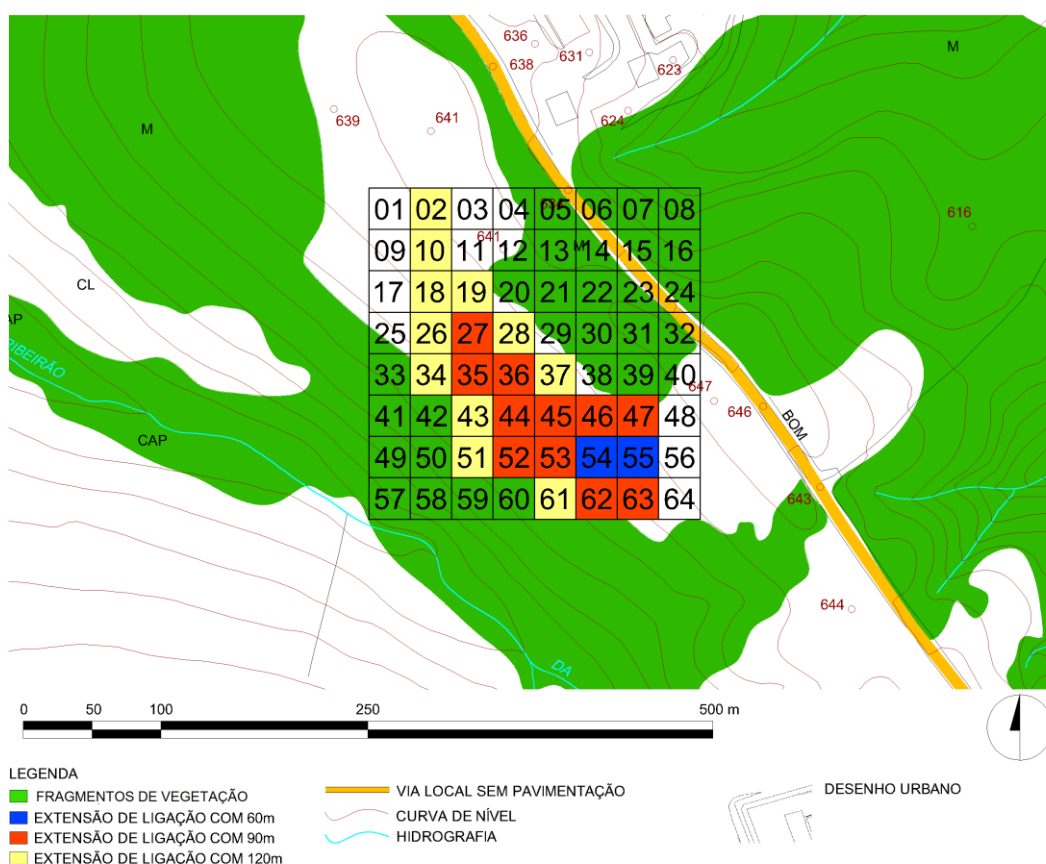


Figura 6-29. Ponto3 - Grade celular de caminhos de ligações sobre desenho urbano local. Autoria pessoal.

Na foto aérea (Figura 6-30) nota-se que a área, atualmente, é composta de vegetação rasteira do tipo grama, mas a delimitação da região por cerca acentua o efeito de barreira física na ligação dos fragmentos de vegetação.



Figura 6-30. Imagem de sobrevoo do ponto 3. Autoria Pessoal

Na proposta, a área do futuro loteamento foi respeitada, sendo recomendado apenas plantio de espécies arbóreas na região das células n. 47, 55, e 63.

O conexão ecológica, no cenário 3, foi projetada em três partes. Sendo 2 como revegetação de arbóreas na área interna do loteamento e outra como conector do tipo *overpass*, acima da via local, fora dos limites do loteamento e porção de mata adjacente, onde a rua se tornou barreira para travessia das espécies animais.

A planta baixa (Figura 6-31) mostra a posição das três conexões projetadas para tal cenário. O uso do *green overpass*, estrutura de ligação acima da via local, conecta as áreas de habitat. A estrutura é metálica com vegetação do tipo trepadeira, assim como no cenário 2.

O conector tem 10m de largura e 76m de comprimento. Na via local, a altura do conector é de 7m.

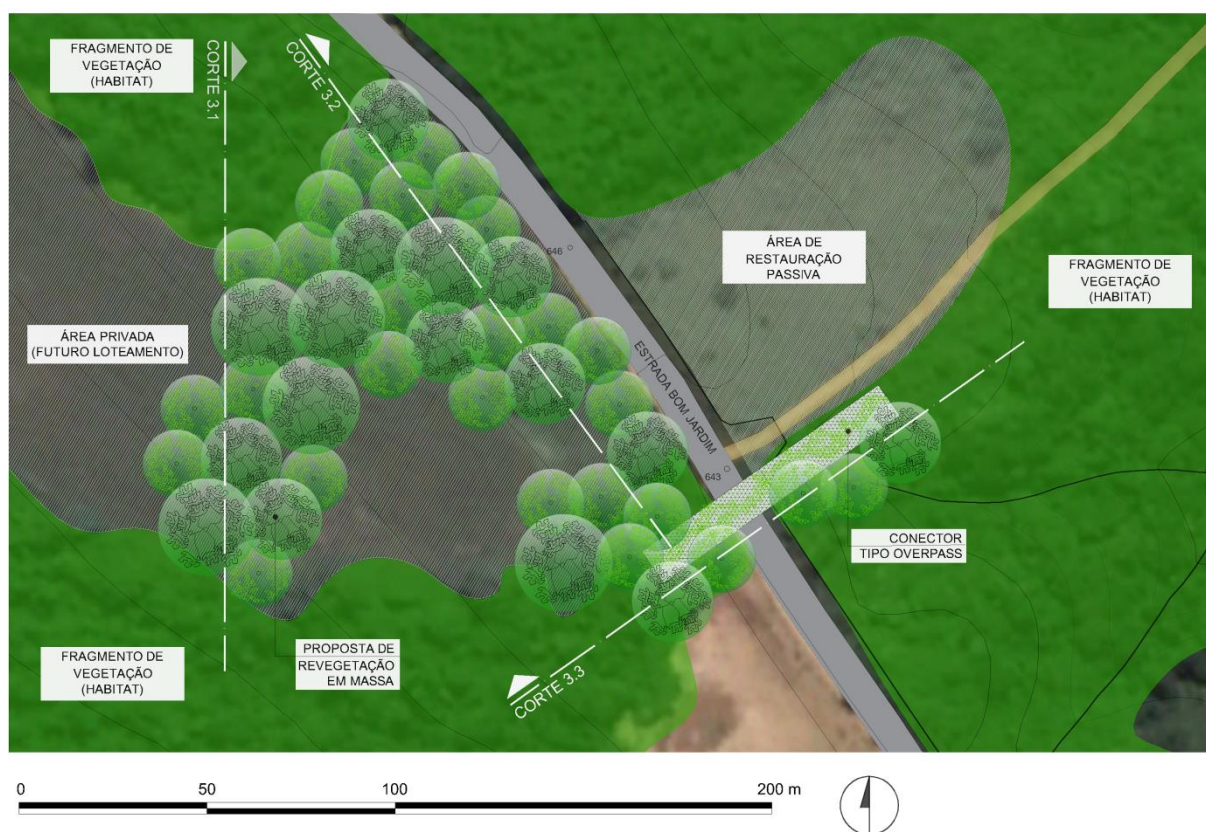


Figura 6-31. Planta baixa do Cenário 3. Proposta de Conector Ecológico. Autoria Pessoal.

Os cortes transversais, 3.1, 3.2 e 3.3, foram feitos para situação atual (Figura 6-32) e Intervenção (Figura 6-33). Na Figura 6-32 o corte 3.1 aponta desnível de 15m e ao fundo uma área plana. O corte 3.2 passa pela superfície plana. Já o corte 3.3 passa pela via local e tem apenas 10 metros de desnível. Portanto, pode-se dizer que essa é uma extensão de terra com pouca variação de níveis no relevo.

Na situação atual observa-se que a porção vazia, sem vegetação encontra-se na área central dos cortes 3.1 e 3.2. O posicionamento da cerca limite do terreno privado, não foi possível definir.

A proposta de intervenção pode ser vista, também, nos cortes (Figura 6-33), onde a revegetação com uso de espécies arbóreas como forma de ligação e o conector, são evidenciados.

As rampas do conector atingem 35% de inclinação devido ao comprimento da estrutura e pouco desnível do terreno.

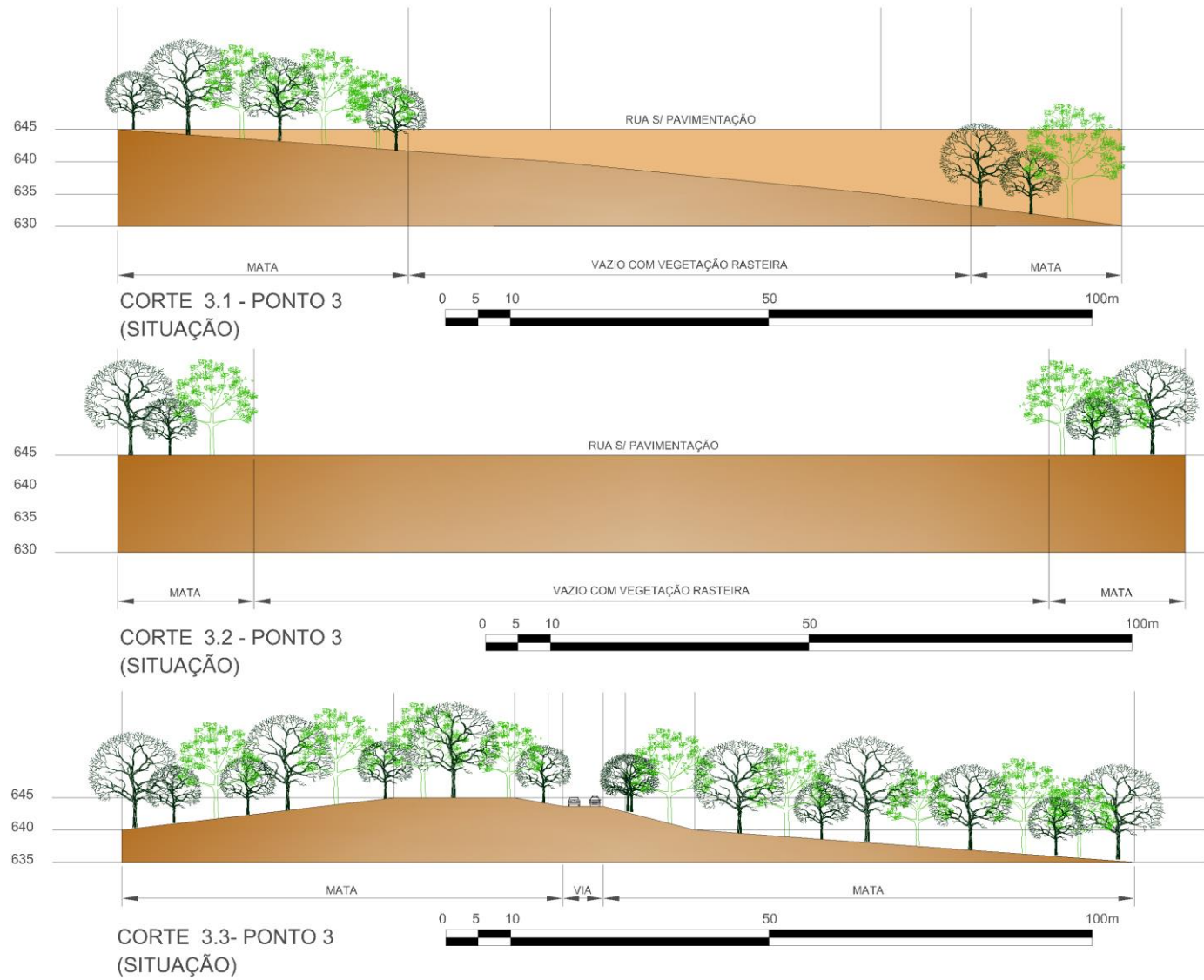


Figura 6-32. Cortes Transversais, 3.1, 3.2 e 3.3, situação atual do Cenário 3. Autoria Pessoal

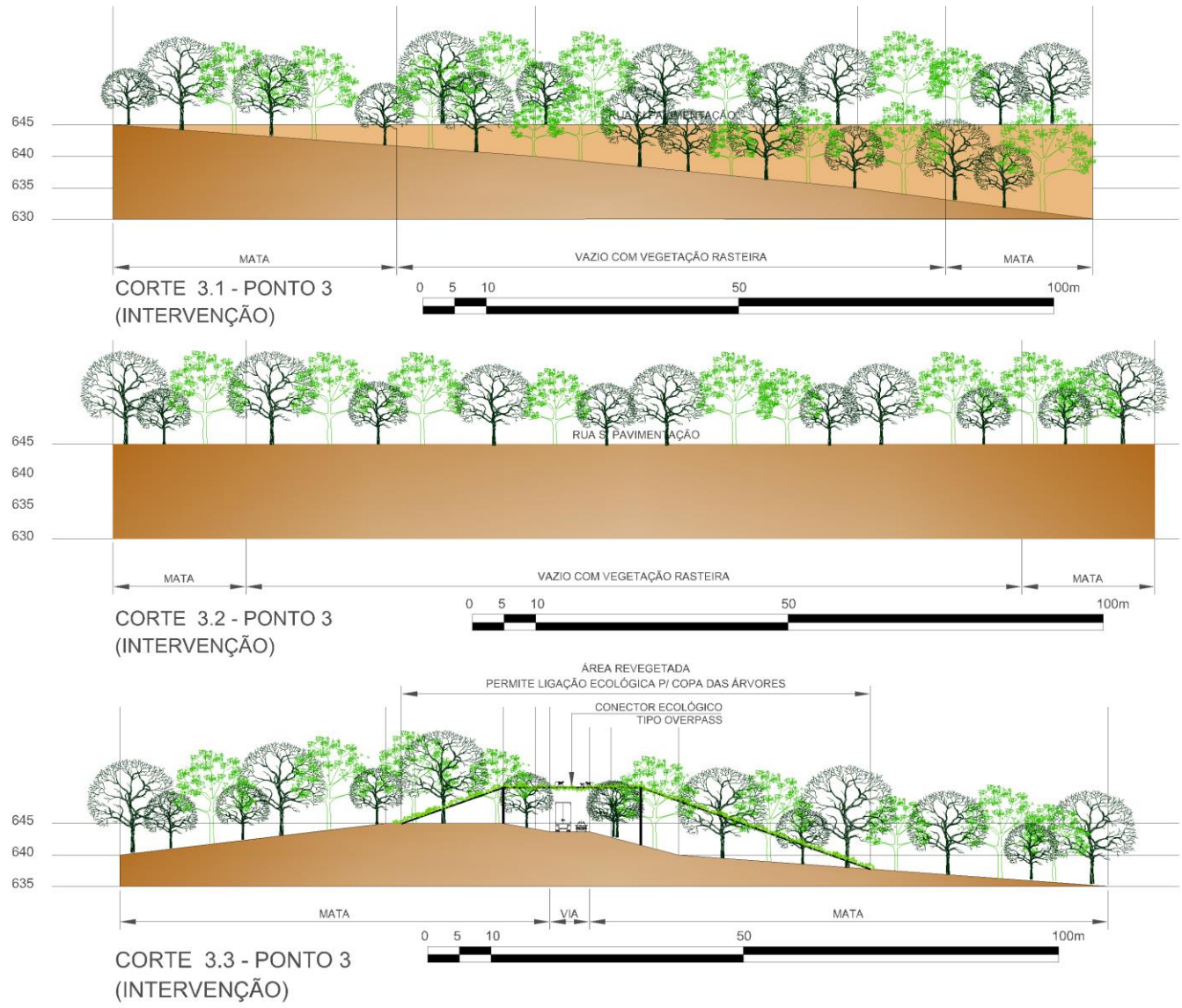


Figura 6-33. Cortes Transversais, 3.1, 3.2 e 3.3 intervenção no Cenário 3. Autoria Pessoal

6.4.4 Cenário 4

O cenário 4 apresentou apenas 1 célula como possibilidade de ligação. Estando esta distante 120m de cada fragmento. No entanto, vemos três possibilidades de ligações (A-B; A-C e B-C) que passam pela célula n.37 (grade celular, vide Figura 6-34). Com as curvas de nível no desenho urbano percebeu-se que esta é uma região com bastante desnível. Nesse caso, os cortes transversais foram essenciais na busca pelo melhor caminho de conexão.

Apesar do método ter apontado apenas uma célula de ligação. Para a proposta de conexão foram usadas as células números 12,19, 20, 27, 33, 34, 35, 42, 43, 51, 52, 60, 61, 62, formando dois eixos de ligações.

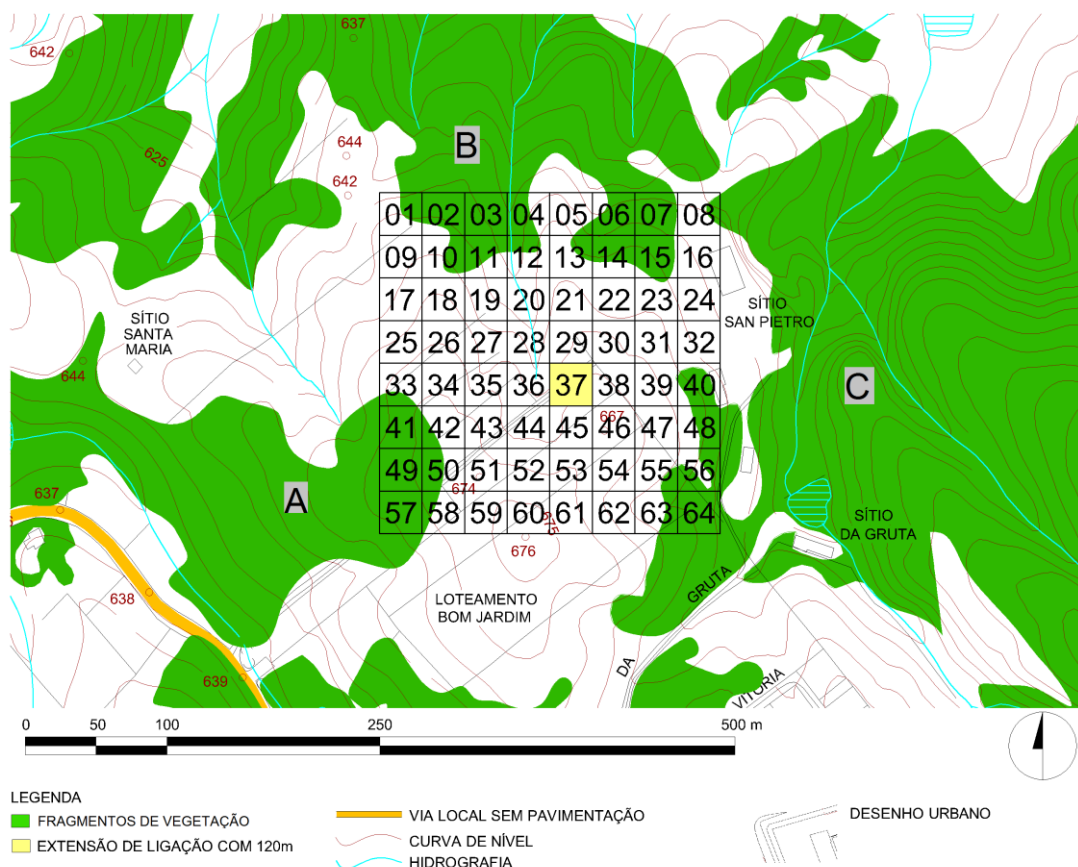


Figura 6-34. Ponto4 - Grade celular de caminhos de ligações sobre desenho urbano local. Autoria pessoal.

Além do relevo, é possível notar, pelos desenhos, que essa é uma área com muitas delimitações físicas, pois contém chácaras de diferentes proprietários. Tais chácaras não tem uma função de produção agrícola no sentido *sensu stricto* (específico), mas sim função de proporcionar lazer (fins de semana, por exemplo) para moradores da área urbana.

A visita ao local e a foto aérea (Figura 6-35) constatou, de fato, esse perfil de loteamento de chácaras. As barreiras físicas tornam a conexão ainda mais difícil.



Figura 6-35. Imagem de sobrevoo do ponto 4. Autoria Pessoal

No cenário 4, a solução encontrada para o conector ecológico foi propor dois eixos de ligações. Os conectores estão representados em planta baixa pelas seções 4.1 e 4.2, Figura 6-36. O eixo da seção 4.1 conecta por meio de plantio de espécies arbustivas e arbóreas. Já o eixo representado pela seção 4.2 foi desenvolvido visando aproveitar as cercas de alambrado como estrutura base de um *green overpass*. Para fechamento superior foi proposta uma cobertura também metálica e vazada, com vegetação, formando assim o *overpass* que atravessa todas as propriedades e liga dois grandes fragmentos.

O conector tem 12 metros de largura aproximadamente 200m de comprimento, dimensão necessária para percorrer toda a área delimitada pelas cercas. O projeto respeitou as barreiras físicas existentes, assim como, as utilizou como estrutura para o conector. A altura máxima do conector é de 5m, e foi projetado no terreno com menos desníveis, ou seja, mais plano possível, evitando assim gastos com estruturas mais robustas.

Notam-se, ainda, dois setores de restauração passiva, que se monitorado e revegetado de vem auxiliar na recomposição da paisagem. Lembrando, que a união das copas das árvores permite travessia de inúmeras espécies.

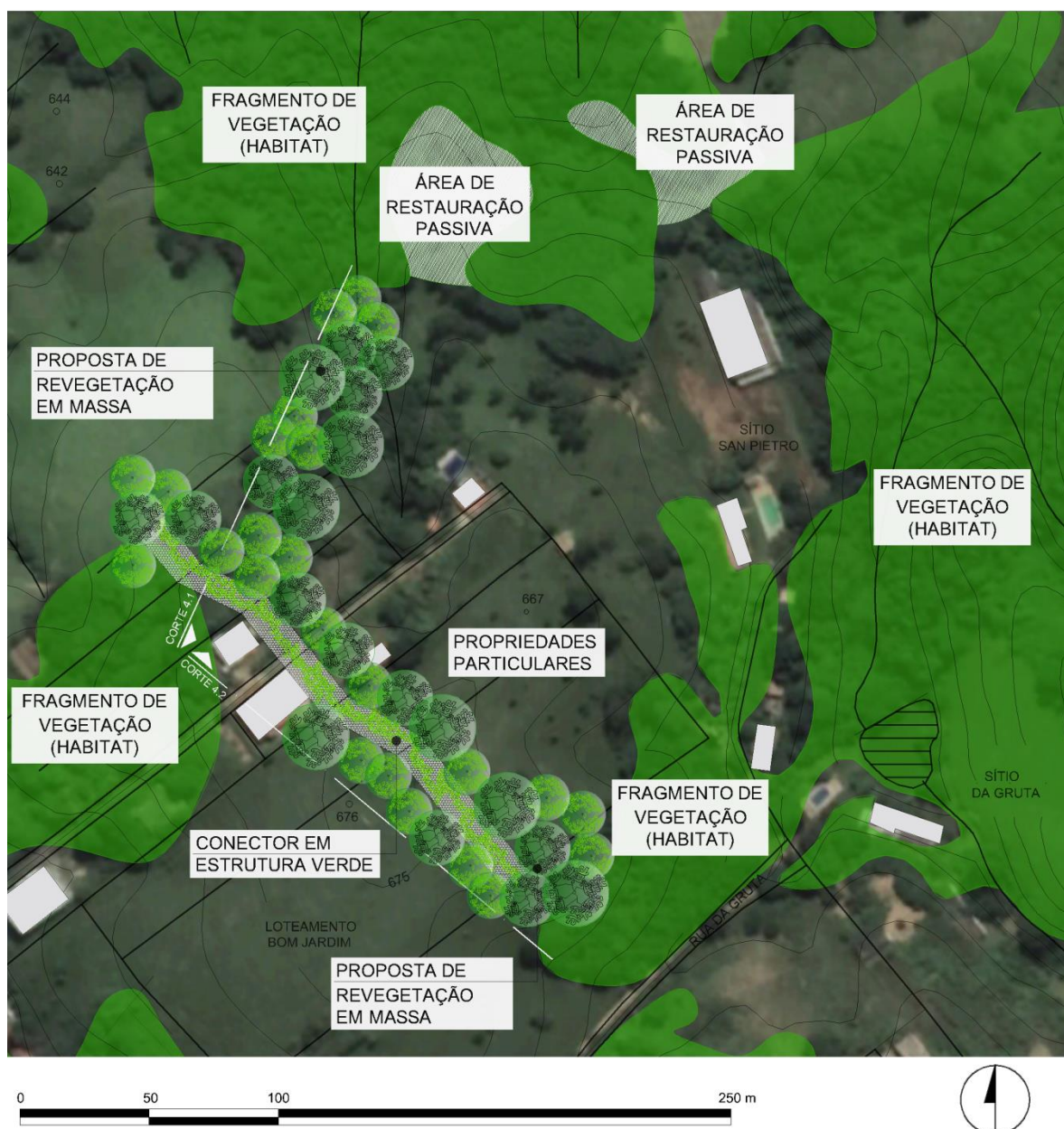


Figura 6-36. Planta baixa do Cenário 4. Proposta de Conector Ecológico. Autoria Pessoal.

Neste cenário, os cortes transversais foram imprescindíveis para a posição e o design dos conectores. O corte 4.1 (Figura 6-37 – situação atual) apontou um grande desnível de 30m ao longo do percurso. Na situação atual observa-se que a cerca avança em mais da metade da área projetada. No entanto, o corte 4.2 denota barreiras ainda mais limitantes, pois além das cercas de alambrado existem as edificações.

A intervenção ilustrada nos cortes da Figura 6-38, exhibe o conector proposto em estrutura metálica, todo em alambrado para composição da paisagem e possível travessia de fauna. Para este caso, não foram usadas rampas de acesso, dessa forma a estrutura faz ângulo de 90 graus perpendicular ao solo.

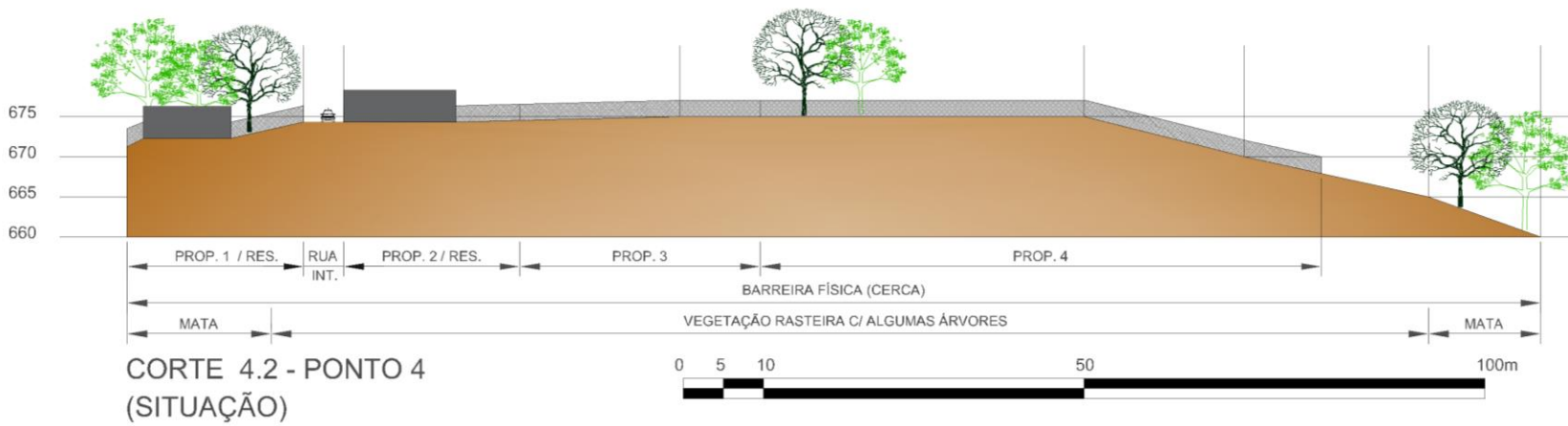
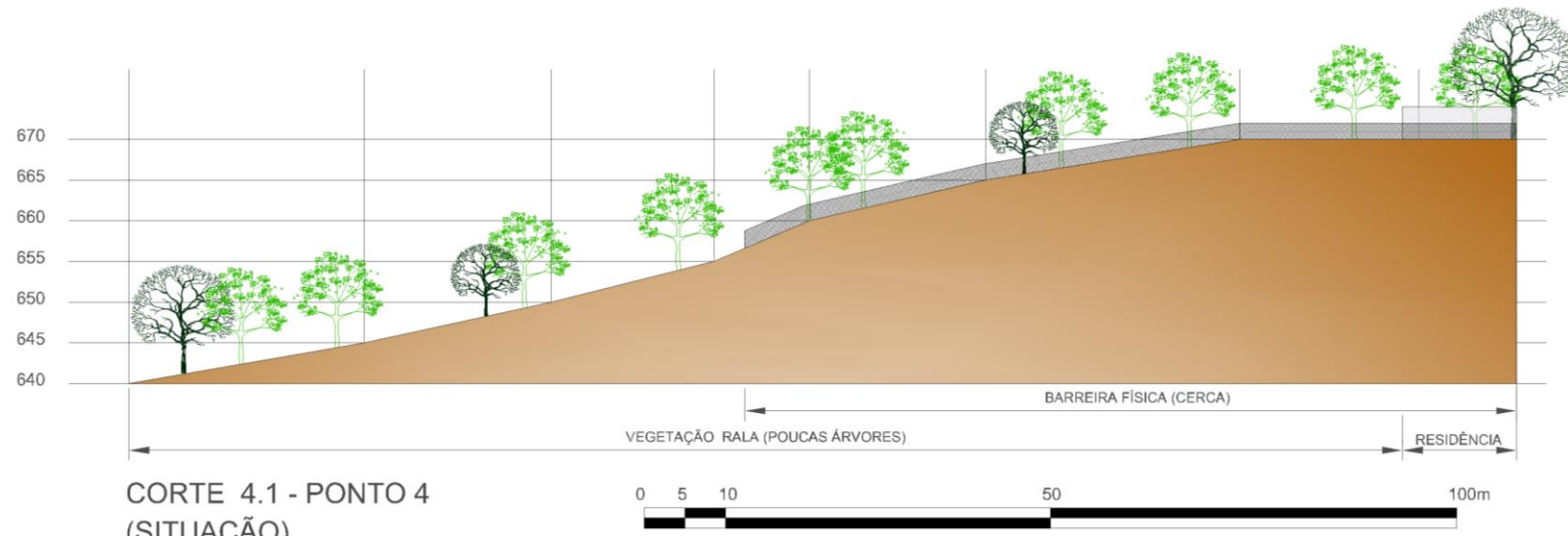


Figura 6-37. Cortes Transversais 4.1 e 4.2, situação atual do Cenário 4. Autoria Pessoal

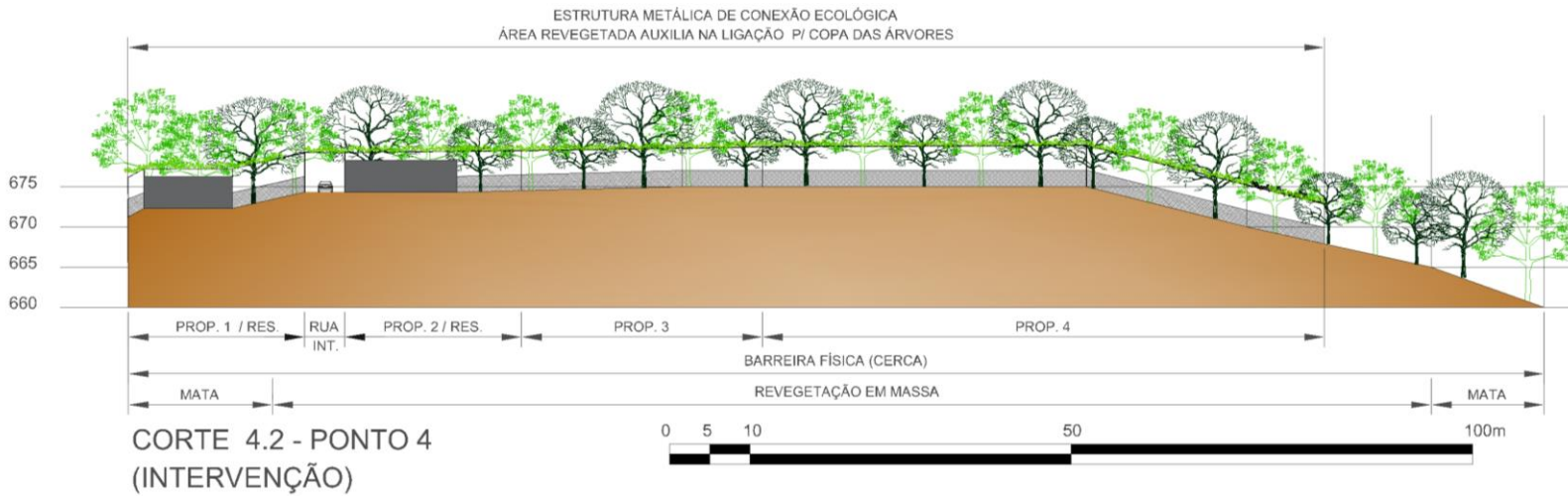
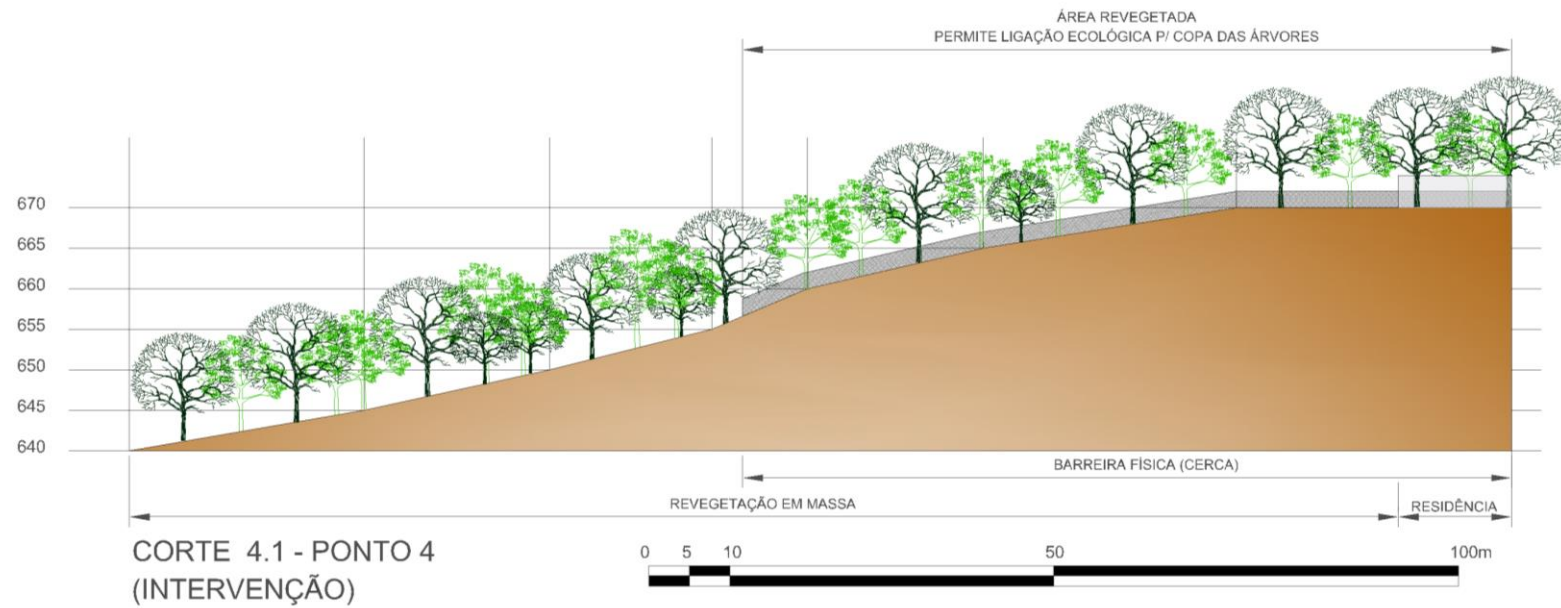


Figura 6-38. Cortes Transversais 4.1 e 4.2, intervenção no Cenário 4. Autoria Pessoal

6.4.5 Cenário 5

O cenário 5, apontou no total, 10 células como possibilidades de ligações, sendo 6 para 120m e 4 para 90m de distância (Figura 6-39). Este cenário se distingue dos outros, pois a cobertura da terra foi modificada ao longo dos anos de estudo, passando de solo exposto (pós-agricultura) para vegetação arbustiva. A área era usada para agricultura da família, porém, não foi alterada pelo período de 2 anos. Portanto, a área foi revegetada de forma passiva e atualmente encontra-se com pequenos arbustos. As imagens aéreas de épocas diferentes mostram o resultado da recomposição vegetal (Figura 6-40 e Figura 6-41).

Mesmo assim, o local foi avaliado e recebeu a proposta para instalação de um conector, assim como os outros. Mas nesse caso, a proposta de conexão foi feita apenas como revegetação de espécies nativas. O Projeto de conector, estabelecido nas células n.27, 28, 36 e 37, liga dois grandes fragmentos de vegetação.

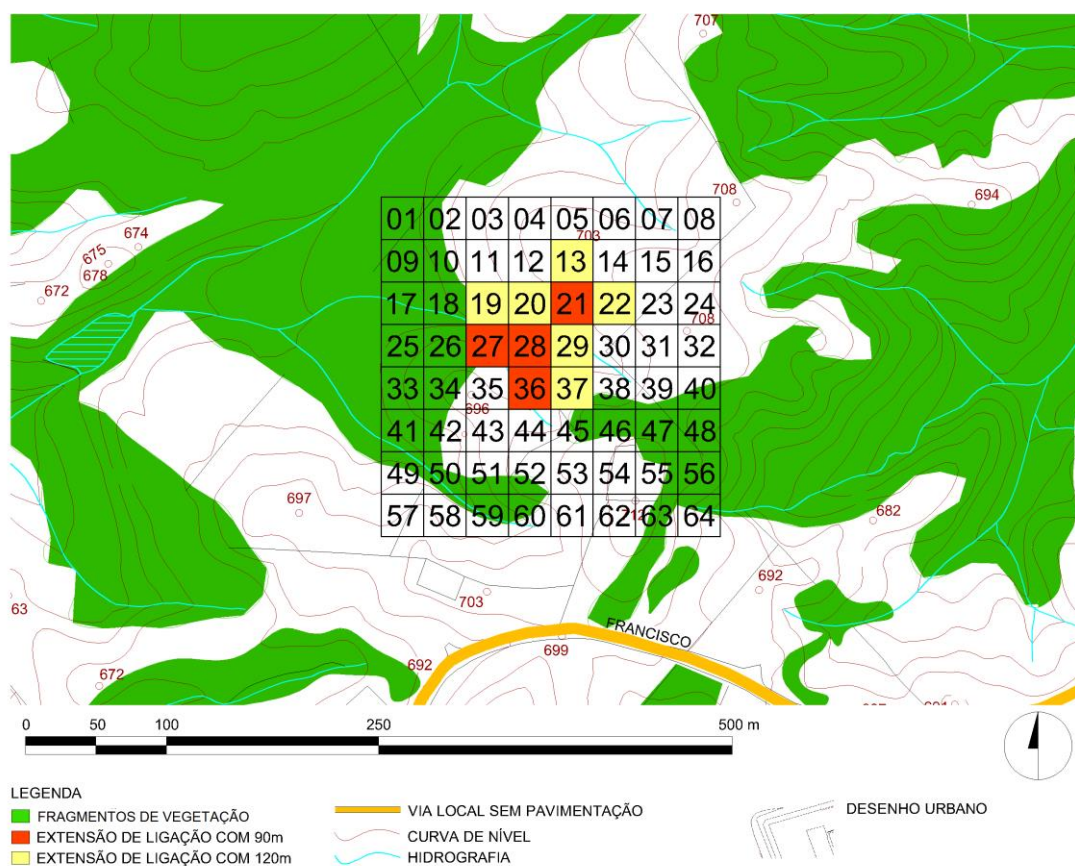


Figura 6-39. Ponto5 - Grade celular de caminhos de ligações sobre desenho urbano local. Autoria pessoal.

Diferentemente dos outros cenários, este está inserido por completo em uma propriedade particular de único dono e não tem barreiras físicas ou delimitações na região entre os fragmentos de habitat.

Na foto aérea (Figura 6-40 e Figura 6-41) observa-se que a vegetação está, de fato, se recompondo e o plantio árvores de espécies nativas poderia restaurar a paisagem local de forma efetiva para conexão dos fragmentos.



Figura 6-40. Foto aérea do ponto 5 em duas épocas, (a) em 8/4/2016 e (b) em 23/7/2017. Google Earth.

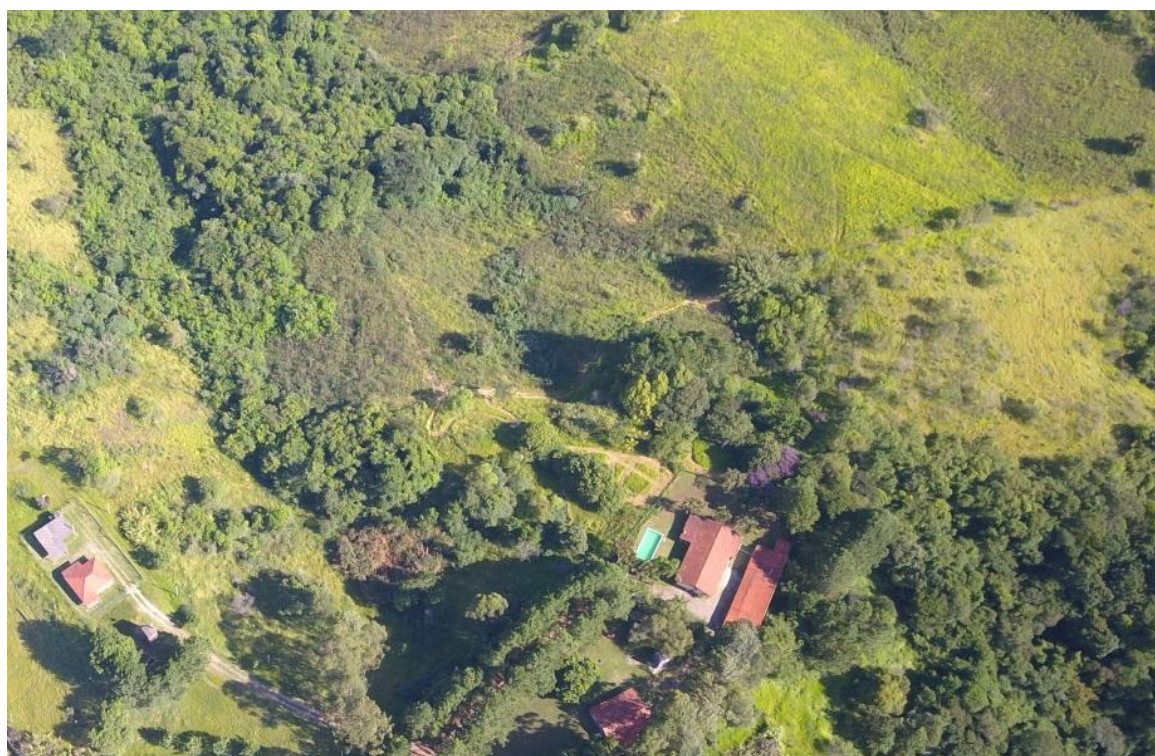


Figura 6-41. Imagem de sobrevoo do ponto 5. Data 17/2/2018. Autoria Pessoal

O eixo, de espécies arbóreas proposto para o cenário 5, pode ser visto na seção 5.1 representada em planta baixa (Figura 6-42) e em vista, no corte transversal de mesmo número (Figura 6-43- situação atual, Figura 6-44 – intervenção).

O conector tem por volta de 90m de comprimento. O desnível do terreno, neste trecho, é de 18 metros.

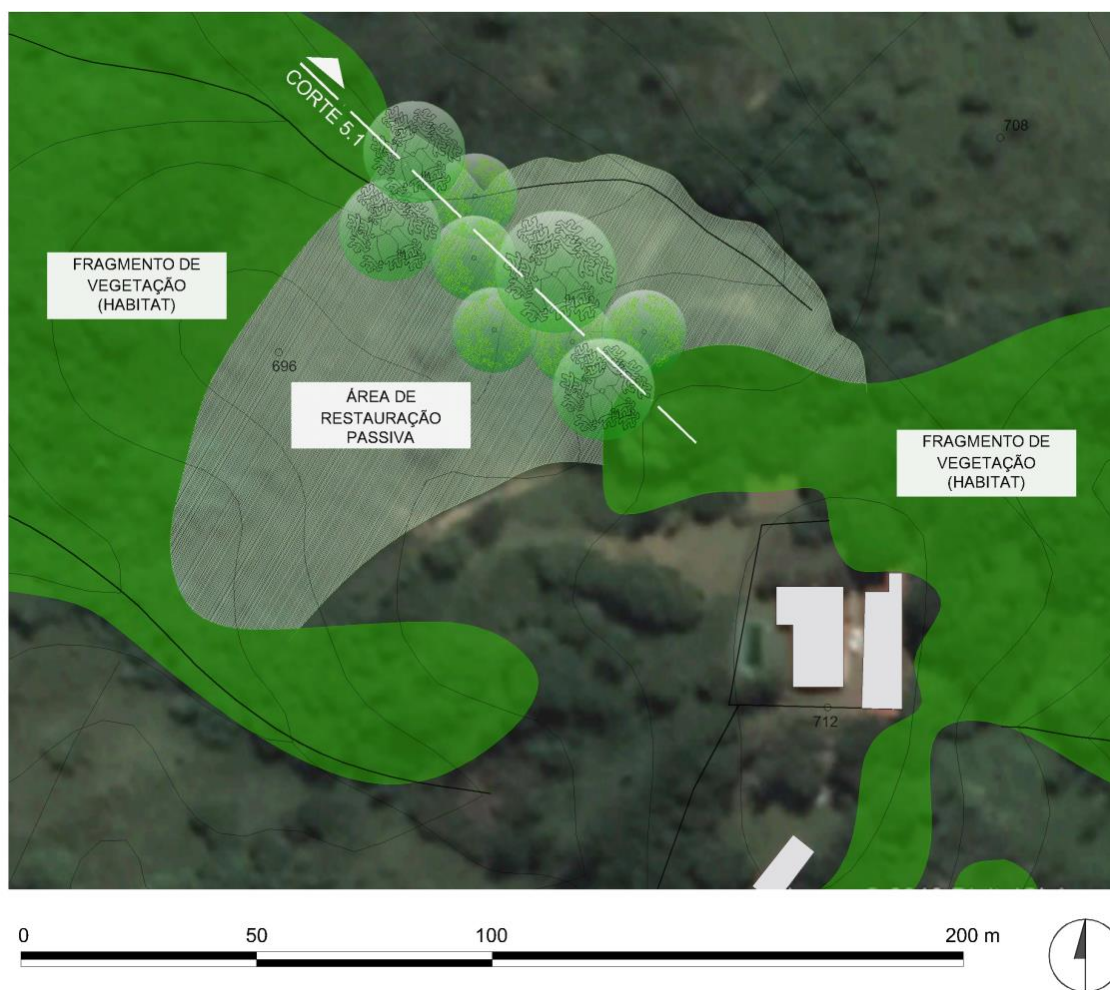


Figura 6-42. Planta baixa do Cenário 5. Proposta de Conector Ecológico. Autoria Pessoal.

Verifica-se que a restauração passiva deve ser monitorada e preservada para a formação do conector. Os cortes (5.1) ilustram a vegetação arbustiva atual e como a paisagem estará recomposta no futuro.

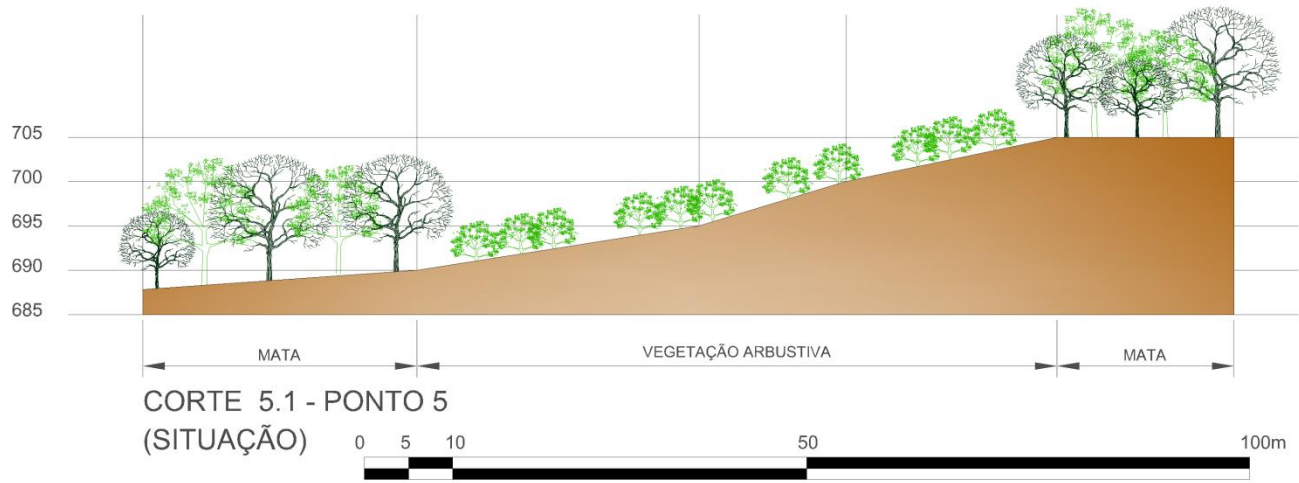


Figura 6-43. Corte Transversal 5.1, situação atual do Cenário 6. Autoria Pessoal

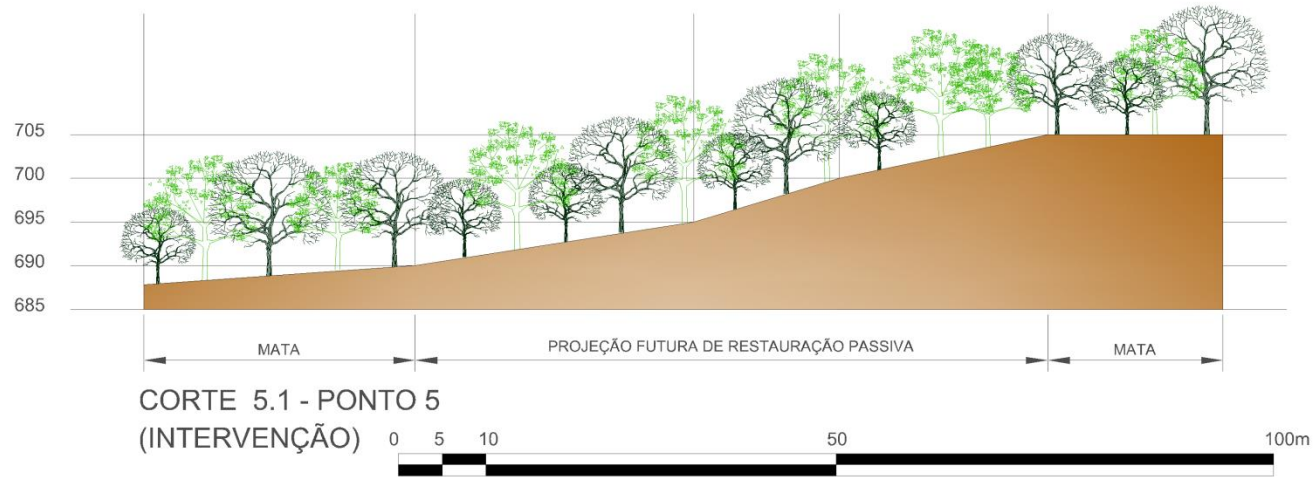


Figura 6-44. Corte Transversal 5.1, intervenção no Cenário 6. Autoria Pessoal

6.4.6 Cenário 6

O cenário 6 apresentou uma única célula como caminho de ligação, distante 120m do fragmento mais próximo. A célula número 46 (Figura 6-45) representa o trajeto. Entretanto, com a análise local e por foto aérea, observou-se que a conexão pode ser feita incluindo um pequeno fragmento. Este será de grande valia para a recomposição da paisagem. Para a proposta de conexão foram usadas as células n. 01,10, 13, 20, 28, 29, 37 e 45, além disso, utilizou-se o pequeno fragmento próximo como trampolim para compor o eixo de conexão.

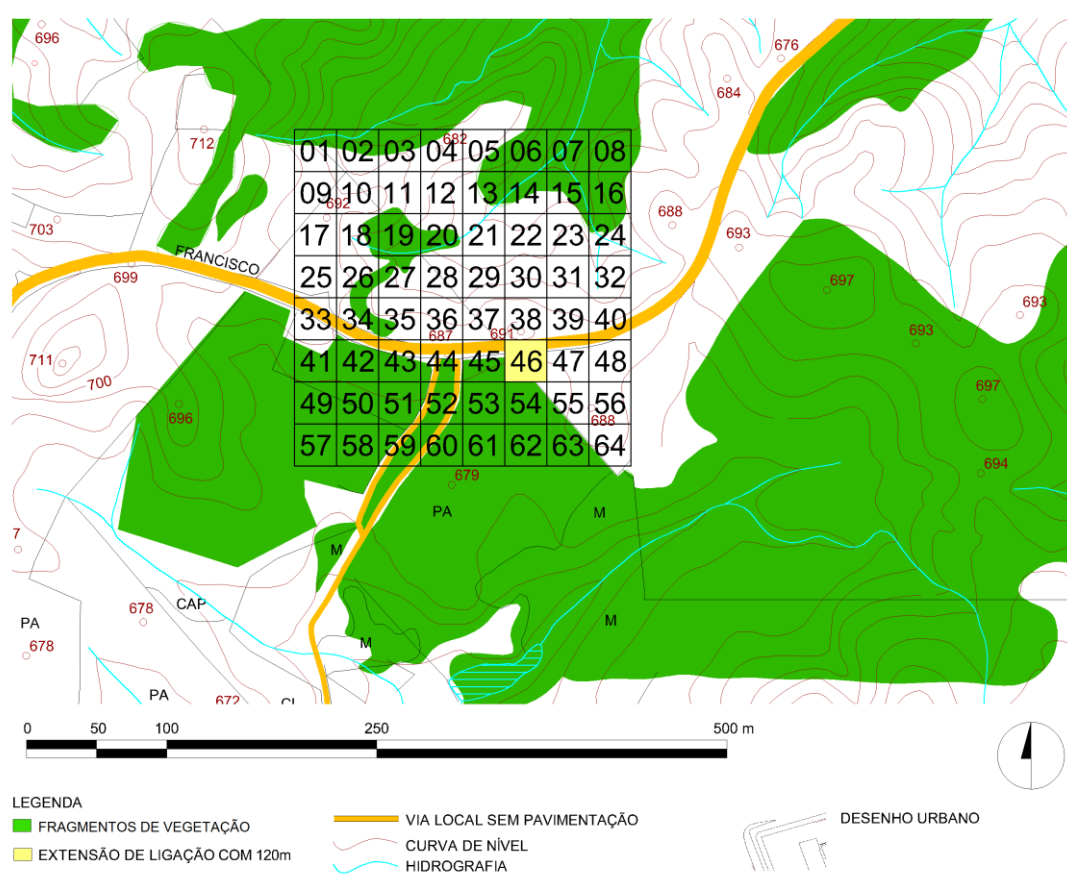


Figura 6-45. Ponto 6 - Grade celular de caminhos de ligações sobre desenho urbano local. Autoria pessoal.

Este cenário é adjacente ao cenário 5, inclusive parte da área pertence ao mesmo dono. No entanto há cercas e uma via local não pavimentada como barreiras físicas no local.

Na foto aérea (Figura 6-46) nota-se que uma área de reflorestamento compõe o fragmento vizinho. Observa-se, ainda, que há resquícios de vegetação no local por onde passa a cerca limite, esse aglomerado de árvores foi identificado como um pequeno fragmento de vegetação e deve ser levado em consideração no projeto de conexão.



Figura 6-46. Imagem de sobrevoo do ponto 6. Autoria Pessoal

Na proposta (Figura 6-47), as áreas privadas foram respeitadas e mantidas. Contudo, este foi o cenário com maior quantidade de diferentes elementos de conexão. Existe no local, (1) área de vegetação passiva, da qual deve ser mantida e monitorada ao longo do tempo; (2) um pequeno fragmento de vegetação entre dois grandes fragmentos, sendo este usado como trampolim na proposta; (3) um conector do tipo *green overpass* foi adotado acima da via e das cercas possibilitando travessia de espécies. Ao longo do eixo conector propôs-se plantio de espécies nativas, arbustivas e arbóreas.

O conector (*overpass*) foi projetado no mesmo padrão que os anteriores, com estrutura metálica vazada e vegetação em sua superfície. As dimensões foram adaptadas a cada cenário. Nesse caso, a largura é de 10m e o comprimento de 76 metros. Na via local, o conector também segue o padrão de 7 metros de altura.

O eixo de conexão do cenário 6 pode ser visto na seção 6.1 representada em planta baixa (Figura 6-47).

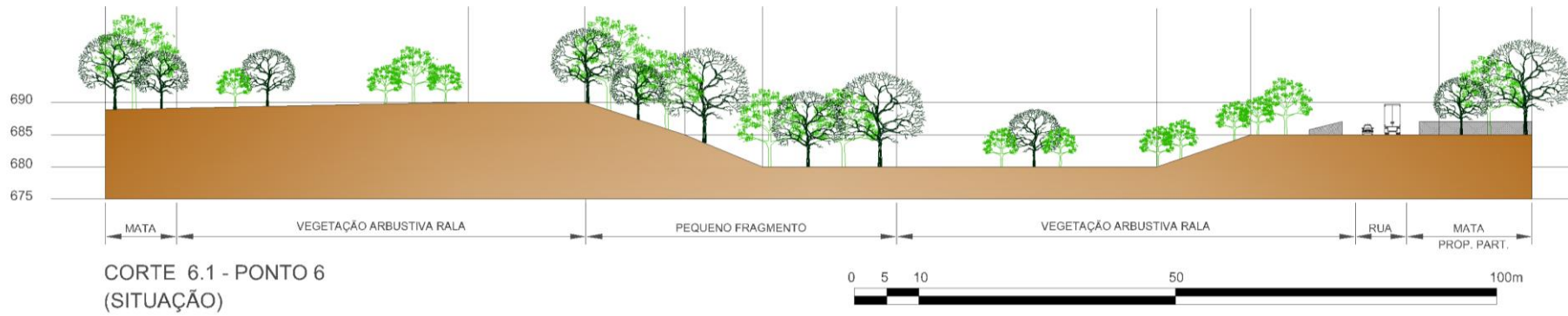


Figura 6-48. Corte Transversal 6.1, situação atual do Cenário 6. Autoria Pessoal

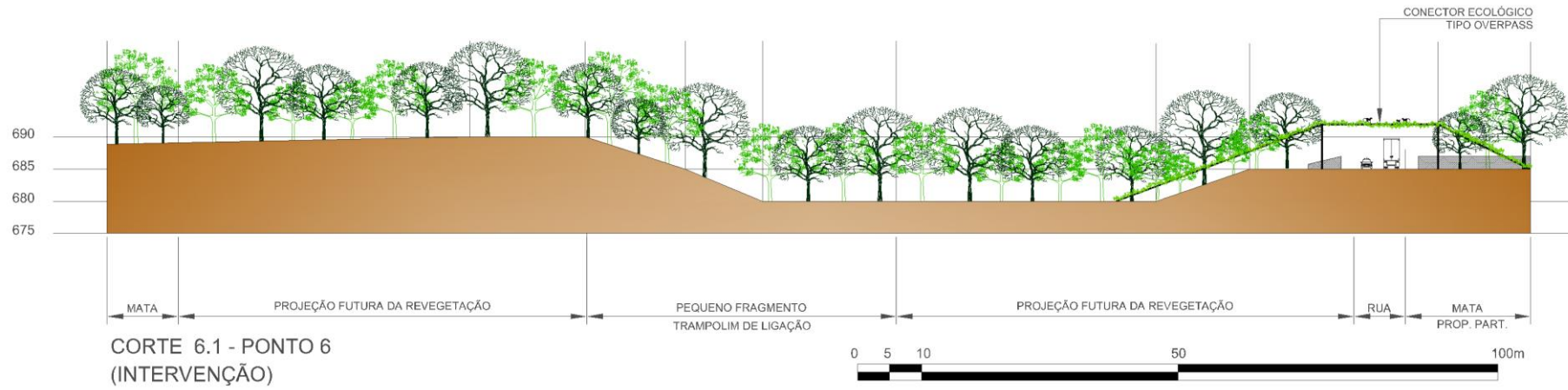


Figura 6-49. Corte Transversal 6.1, situação atual do Cenário 6. Autoria Pessoal

7 DISCUSSÕES

Este item está dividido em subitens, assim como nas seções anteriores. As discussões estão relacionadas aos subitens descritos nos resultados.

7.1 DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL E ASPECTOS DOS REMANESCENTES

Os remanescentes de vegetação natural, no estado de São Paulo, caracterizam-se num total de 17,5% da cobertura da terra. Desses remanescentes 13,2% encontra-se na UGRH-10 – Sorocaba Médio Tietê, da qual pertence o município de Sorocaba (SMA, 2012). Isso mostra que a preservação das áreas de habitat bem como a conexão das mesmas é um tema importante para a conservação desta paisagem. Em particular, o município de Sorocaba exhibe um padrão de vegetação de (22% de sua área em vegetação natural) intermediário comparado com os municípios do estado de São Paulo (SMA, 2018). Por outro lado, a área remanescente encontra-se bastante fragmentada, constituindo uma região ideal para a aplicação da metodologia desenvolvida nesta tese.

Outro aspecto que torna a região relevante é o fato de contemplar duas unidades de conservação, sendo uma Estadual (APA de Itupararanga) e outra Federal (FLONA de Ipanema) (SMA, 2018). Além do que, a secretaria do meio ambiente do município, baseada em estudos acadêmicos, propõe um corredor ecológico entre estas unidades de conservação (de Oliveira et al., 2016; SEMA, 2013; Mello, 2012).

Estudos mostram que o município de Sorocaba vem passando por constante crescimento e com isso a paisagem torna-se dinâmica em termos funcionais e fragmentada em termos estruturais (Bortoleto, 2014; Silva, 2009), padrão que ocorre em cidades urbanizadas (Damame et al., 2019; Yin et al., 2015). Então, estratégias são necessárias para promover restauração ecológica e a conservação da biodiversidade, alcançando o desenvolvimento sustentável (Weinstein e Day, 2014).

O padrão espacial de Sorocaba da estrutura de remanescentes florestais foi quantificado usando métricas da paisagem. As métricas de paisagem (como, área de manchas, índice de borda e conectividade) foram aplicadas como ferramenta adequada para identificação de áreas com alto valor de conservação da biodiversidade. O uso de métricas paisagísticas como fator na priorização de áreas para conservação continua sendo muito usado

(Silva et al. 2017; Schindler et al., 2013; Banks-Leite et al., 2011), pois as medidas paisagísticas podem ser adquiridas com relativa facilidade em grande escala espacial, por meio de imagens de satélite.

A análise da distribuição de classes de tamanho de fragmentos definiu os fragmentos maiores que 50ha como elementos de análise, além disso, o potencial de auto subsistência dos grandes fragmentos é maior em relação aos pequenos (dos Santos et al., 2016; Smith et al., 2014; Peres, 2001).

Apesar de existirem 25 grandes fragmentos de vegetação no município, parte-se do princípio de que eles estão sob efeito de borda, pois apresentam áreas de *core* (regiões internas dos fragmentos) bastante reduzidas, com formatos lineares e a vizinhança, em termos de cobertura da terra, constitui categorias de cobertura que sabidamente exercem pressão e alterações nas faixas de bordas dos fragmentos. Tal estrutura da paisagem aponta setores com maior grau de fragilidade ambiental. Isso traz uma série de implicações para fauna e flora desses locais, com os quais, se não forem tomadas as devidas precauções, em longo prazo, as espécies desses fragmentos tenderão a desaparecer (Haddad et al., 2015).

7.2 CARACTERÍSTICA E PADRÕES DA MATRIZ E DO MOSAICO

Mundialmente, as áreas urbanas vêm ganhando espaço sobre as rurais, causando degradação ambiental e desencadeando outros problemas gerados pelo rápido crescimento das metrópoles em países em desenvolvimento (Zhang, 2016).

Em Sorocaba, a dinâmica da cobertura da terra, decorrente da diferentes formas de ocupação humana, foi relatada com aumento em 9,1% de sua área vegetada, no período de 1988 a 2013 (Bortoleto, 2014). Porém, em 2016 os dados sugeriram diminuição das áreas de habitat em 6,5% da área total. Isto torna-se um fato preocupante, pois acredita-se que o que levou mais de 20 anos para se reconstituir, perdeu-se quase que totalmente em 5 anos. Entretanto, pode-se dizer que a qualidade na área de estudo ainda é considerada boa para investimentos em projetos de recomposição da paisagem, pois possui mais de 50% da área entre as classes boa-excelente, considerando a qualidade da cobertura da terra.

A permeabilidade ou resistência na matriz foi gerada por meio de SIR e a tendência observada é de diminuição de áreas com alto potencial para restauração e aumento de

resistência. Dessa forma, a resistência à dispersão das espécies em áreas de não-habitat é determinada, também, pelas características da cobertura da terra e representam a dificuldade da movimentação através dessas áreas (Sawyer et al. 2011; Adriaensen et al., 2003). Nesse caso, como a matriz de resistência aumentou em 42,5%, constata-se que essas áreas requerem intervenção humana para conectar manchas de habitat, proporcionando a recomposição da paisagem. Além disso, a expansão de áreas destinadas a fins urbanos é um processo de controle competitivo que precisa superar a resistência da paisagem para alcançar o controle da paisagem (Li et al., 2015a).

Um método frequentemente usado seleção de áreas prioritárias para conservação ou projetos de recuperação é baseado na estimativa de distância mais curta entre os habitats “*least cost*” (Ribeiro et al., 2017; Gurrutxaga et al., 2010; Adriaensen et al., 2003). Contudo, não considera o efeito dos padrões da matriz como resistência ao movimento. Já a aplicação do modelo SIR junto ao Multi-buffer, apresentou vantagens na seleção de pontos de conexão, pois considerou os efeitos de resiliência na matriz.

Novas pesquisas para avaliar modelos de paisagens estão sendo introduzidas em paisagens fragmentadas (Shirabe, 2018). Este método, embora tenha sido concebido para testar um modelo conceitual na matriz fragmentada, também se mostrou útil como método híbrido. De modo geral, os modelos híbridos que envolvem dados quantitativos junto aos parâmetros atribuídos por julgamento empíricos (qualitativos), tem se tornado notável e necessário em análises para implementação de corredores ecológicos.

Ao realizar uma análise de adequação e a identificação de pontos críticos para restauração, a resultante torna-se relevante devido à combinação de parâmetros que possam ser averiguados de forma prática no local. Logo, a integração da análise qualitativa à quantitativa junto da análise espacial forma um conjunto integrante de métodos que se complementam e fornecem uma base importante para o estudo da conectividade da paisagem. A estrutura sistemática propõe uma abordagem de modelagem espacial para avaliar conectividade de paisagem. Apenas recentemente a modelagem de paisagem correlaciona a fragmentação às medidas de conectividade de habitat para fins de planejamento e conservação de biodiversidade (Ng et al., 2013).

7.3 CONEXÃO E PERFIL PONTUAL

Uma abordagem multi-escalar para o planejamento urbano é apresentada nesta pesquisa. Dos pontos prioritários selecionados em escala municipal, ao design em escala fina/pontual de cada cenário. Essa é outra característica distintiva da metodologia, pois se trata de uma abordagem replicável, que pode ser usada por planejadores urbanos para projetar conectores e corredores ecológicos, desempenhando um papel fundamental na conservação estratégica dos fragmentos de habitat remanescentes e promovendo a conectividade.

Apenas um trabalho apresenta o enfoque multi-escalar na busca por conectividade (Zhang et al., 2019). No entanto, a aplicação é voltada apenas para áreas densamente urbanizadas, o que difere do proposto aqui. Contudo, nota-se a relevância e atualidade do tema, além do interesse em contribuir para promover conexões em diferentes escalas e contextos, como estratégia de aplicação ao planejamento urbano.

O diagnóstico local, em escala detalhada demonstrou correlação com as áreas importantes para conexão. Assim, os pontos selecionados estão de fato em regiões onde há demanda por projetos de intervenção imediata para recomposição da paisagem. Portanto, pode-se dizer que os resultados aqui obtidos mostraram-se consistentes com o padrão real da vegetação e a metodologia foi efetiva na seleção de pontos de conexão para restauração ecológica. Isto é, sobretudo, benéfico para a conservação da natureza e o planejamento espacial. Além disso, o modelo pode ser aplicado a qualquer ambiente que necessite de recomposição da paisagem por meio de conectores ecológicos.

O uso de Vants tem se tornado significativo para os levantamentos de campo em pesquisas que envolvam imagens aéreas (Mantelli, et al., 2019; Zeybek e Şanlıoğlu, 2019). Neste trabalho, o equipamento foi imprescindível para a coleta de dados, pois permitiu alcance a locais inacessíveis. Desse modo, a análise de minudências sobre as barreiras físicas ou possibilidades de conexão contribuiu para a indicação do melhor caminho de ligação entre os remanescentes e, ainda, o design dos conectores.

7.4 PLANEJAMENTO URBANO MUNICIPAL E DESIGN DE CONECTORES ECOLÓGICOS

Estudos sobre a dinâmica espacial urbana estão sendo cada vez mais aplicados para explorar e avaliar as consequências sociais e ambientais do crescimento urbano (YIN et al., 2018; WANG et al., 2017). No entanto, o zoneamento e o gerenciamento de crescimento urbano podem resultar em baixa precisão na correspondência espacial.

A simulação dos cenários desenvolvidos nesta Tese direciona a gestão de planejamento urbano, sugerindo ajustes oportunos aos instrumentos normativos por parte das políticas públicas.

A correlação entre as áreas selecionadas para conexão da paisagem e as características mapeadas pelo plano diretor, através do macrozoneamento e zoneamento urbano, são apresentadas com intuito de indicar as condições encontradas e suas relações com o design de conectores por meio do recorte de imagens dos referidos mapeamentos, Figura 7-1, Figura 7-2, Figura 7-3 e Figura 7-4.

Em geral, há barreiras físicas que estão causando a dinâmica fragmentação da vegetação e acentuando o isolamento dos fragmentos que constituem o corredor. Alguns fatores são comuns nessa região, como a presença de rodovia, propriedades particulares delimitadas por cercas, vias locais pavimentadas ou não.

7.4.1 *Cenário 1*

O ponto 1 encontra-se localizado em uma região de várzea e planícies aluviais com grandes restrições a ocupação (MGRO), como pode ser visto no macrozoneamento da Figura 7-1. Já o zoneamento apresenta a área, de forma geral, como zona industrial (ZI). Isso pode induzir ou viabilizar maior supressão nos remanescentes vegetais. Nota-se ainda que, se a área de planície aluvial não for preservada, mas mantida como zona industrial como propõe o zoneamento, a tendência da vegetação é se tornar urbanizada causando uma fragmentação ainda maior.

Além disso, constatou-se odor e turbidez da água neste ponto, apesar de não terem sido feitas análises laboratoriais de qualidade da água. Um estudo indica que planícies aluviais, inseridas em zoneamento industrial são vulneráveis à contaminação (Xu et al., 2018). Nesse caso, sugere-se uma alteração no zoneamento para que esses fragmentos de vegetação sejam áreas preservadas.

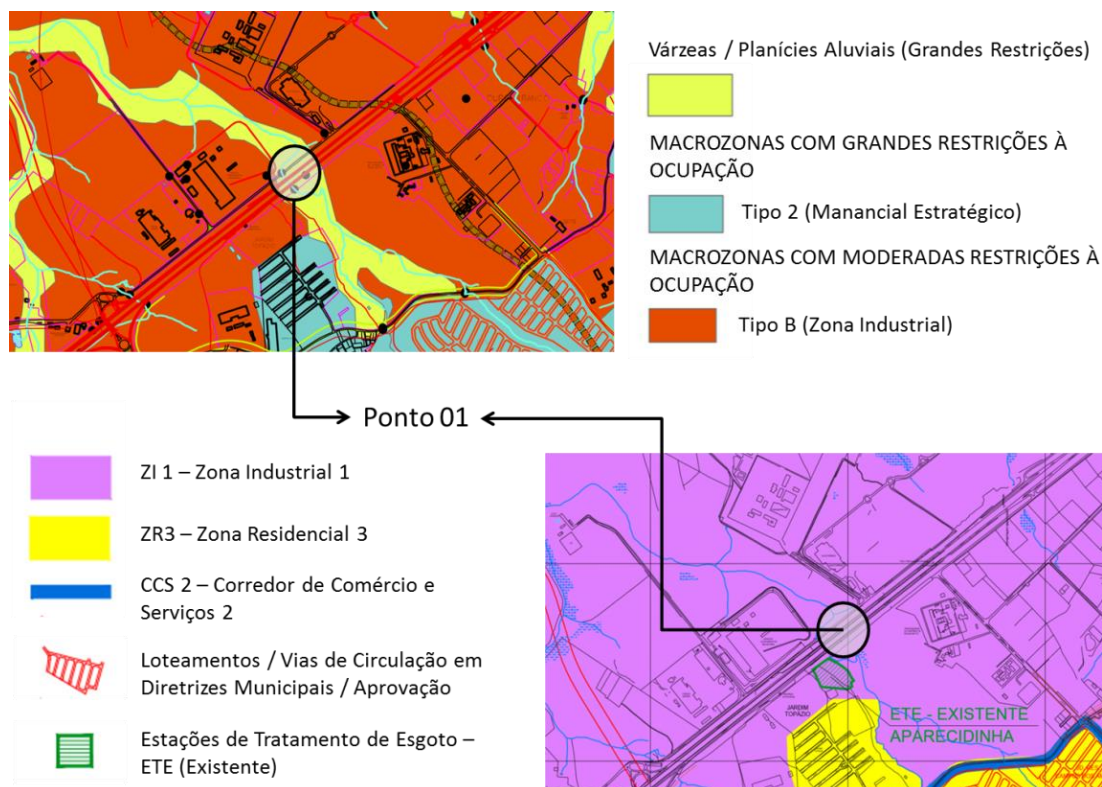


Figura 7-1. Macrozoneamento (acima) e Zoneamento (abaixo) do ponto 1, adaptado de PMS (2014).

Os métodos de seleção aplicados ao estudo apresentaram este cenário com maior número de células de ligação entre os fragmentos. Entretanto, fatores físicos como rodovias e passagens subterrâneas foram considerados apenas no design. Isso mostra que o método de seleção foi eficiente na escolha das áreas de conexão entre os fragmentos, mas é imprescindível uma avaliação complementar, em escala detalhada que aponte barreiras locais que possam interferir na implantação do projeto.

Nesse ponto em particular, encontra-se uma rodovia de alto fluxo de veículos. Estudos apontam que as estradas impedem os fluxos ecológicos através das paisagens, agindo como barreira ao movimento de fauna reduzindo a conectividade do habitat (Beier et al., 2008), além de causarem declínio em populações devido aos atropelamentos (Assis et al., 2019; Van der Ree et al., 2011). No entanto, as rodovias fazem parte do planejamento de transporte. Os resultados das parcerias entre órgãos públicos e pesquisadores ambientais minimizam os impactos à vida silvestre e promovem a capacidade de atravessar paisagens (Beckmann et al., 2010)

Com base nesse contexto, o cenário 1 teve como proposta o uso da passagem subterrânea existente no local. De acordo com Beckmann et al. (2010) e Bentrup (2008), o

uso de galerias existentes são eficazes na conectividade da paisagem e as dimensões do túnel existente (6m largura e altura) são condizentes com a literatura (7-5m de largura e 3,5-2,5m de altura) (Beckmann et al., 2010; Bank et al., 2002) para passagens de uso múltiplo, considerando pequenos mamíferos, e ainda, com fluxo de água.

7.4.2 Cenários 2 e 3

Discutindo os instrumentos públicos, isto é, Macrozoneamento e zoneamento nos pontos 2 e 3 (Figura 7-2), nota-se que o ponto 2 pertence a zona industrial e faz parte das macrozonas com moderadas restrições à ocupação (MMRO). Já o ponto 3 está inserido em uma área de manancial com grandes restrições a ocupação (MGRO - macrozoneamento). Nesse sentido, pode-se dizer que há uma incongruência no previsto pelo mapa de zoneamento, pois, enquanto o macrozoneamento prevê uma região com grandes restrições à ocupação, o zoneamento indica a mesma região como residencial (ZR3) e há ainda uma proposta de loteamento.

É previsto pelo Plano Diretor Art.8 (PMS, 2014) que as macrozonas com grandes restrições a ocupação, sejam regiões que correspondem à várzea ou planícies aluviais, marcadas por processos de enchentes sazonais. Além disso, os terrenos que se encontram desocupados devem ter atividades restritas a baixíssima taxa de ocupação e que não impliquem assentamento permanente de população, nem tráfego intenso e permanente de veículos. Como discussão, pode-se garantir que há uma inadequação na proposta do estabelecimento de um loteamento na área onde está situado o ponto 3 referente a este estudo. Isso evidencia que o presente trabalho pode contribuir com o planejamento urbano apontando, ainda, áreas que são de extrema importância para conservação ambiental.

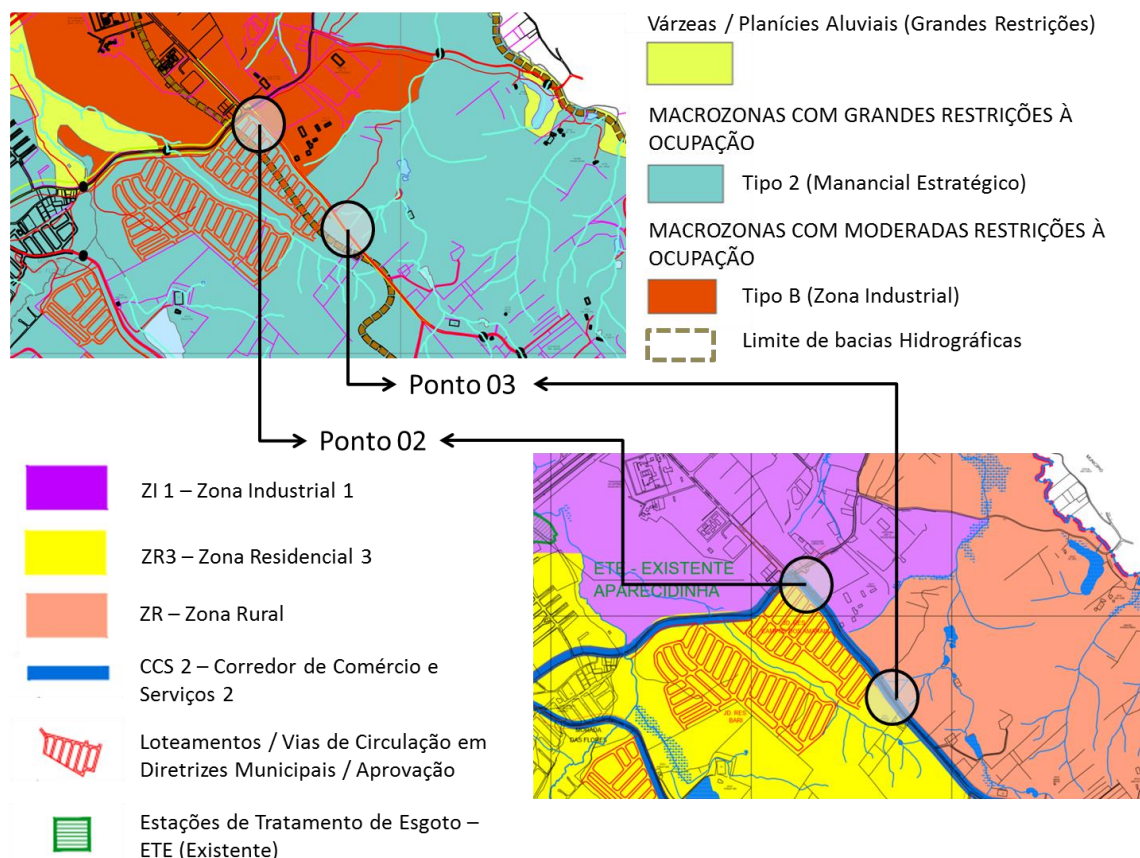


Figura 7-2. Macrozoneamento (acima) e Zoneamento (abaixo) dos pontos 2 e 3, adaptado de PMS (2014).

Com relação ao design no ponto 2, a intervenção preservou os limites da indústria e a via local, mas sugere a instalação de um *overpass* (passagem elevada) e ainda um projeto paisagístico com revegetação densa de árvores nativas. Neste caso, a copa das árvores serviria de habitat para algumas espécies e como trampolim para outras que transitam entre os grandes fragmentos de vegetação. Em uma paisagem urbana bastante fragmentada, Zhang et al. (2019) recomendam que a busca de conectividade por meio das copas das árvores seja priorizada sobre às superfícies impermeáveis. Isso mostra que a revegetação seria uma alternativa eficaz junto ao conector. Além do mais, a estrutura de dossel, formada pelas copas das árvores, são travessias que conectam habitats separados por vias ou estradas locais (Beckmann et al., 2010).

O conector *overpass* tem dimensões apropriadas para a função (10-12m de largura) e condiz com a literatura para passagem elevada (25-10m de largura para mamíferos de pequeno e médio porte) (Beckmann et al., 2010). O comprimento do conector depende da distância para ultrapassar as barreiras físicas e segue o perfil de cada cenário, especificamente.

Outro aspecto relevante considerado no design dos conectores foi a posição da ligação baseada nas células propostas pela aplicação do método. No ponto 2 as células indicaram um

caminho de ligação entre 90-120m, o qual foi serviu como premissa para o projeto. E no ponto 3, destacou duas células com ligação mais curta (60m) entre os fragmentos. Essa asserção foi levada em conta para a tal proposta. Porém, constatou-se que outras conexões envolvendo a via local e o desnível do terreno seriam importantes arranjos na inserção do conector ecológico.

Para o projeto de conexão foi considerado o loteamento proposto pelo plano diretor nesta área, não interferindo diretamente no local, além da proposta de plantações de árvores nativas que poderiam fazer parte da área verde, exigida por lei, do empreendimento. Contudo, caso haja uma preocupação maior por parte das políticas públicas na formação do corredor da biodiversidade, essa área (futuro loteamento) deveria ser revegetada por completo e transformada em área de proteção ambiental. Na imagem de sobrevoo do ponto 3 (Figura 6-30) nota-se que se a vegetação fosse reparada nessa região, parte do corredor seria estabelecido na paisagem.

7.4.4 *Cenário 4*

O ponto 4 situa-se em área de manancial estratégico, segundo o macrozoneamento, e corresponde a Zona Rural (ZR) mapeada no zoneamento (Figura 7-3). No entanto, o corredor de comércio e serviços está bem próximo do local e “in situ” notou-se que atualmente a urbanização está contígua. Provavelmente, em um futuro bem próximo, se não houver ações para recuperação da vegetação, a viabilidade de conexão da paisagem será perdida neste ponto, pois atingirá uma relação custo/benefício muito alta economicamente e com perspectivas duvidosas em termos de eficiência ecológica. Atualmente, há presença de cercas limítrofes de chácaras particulares que impedem o eventual crescimento da vegetação natural, havendo a conveniência em intervir de forma projetual.

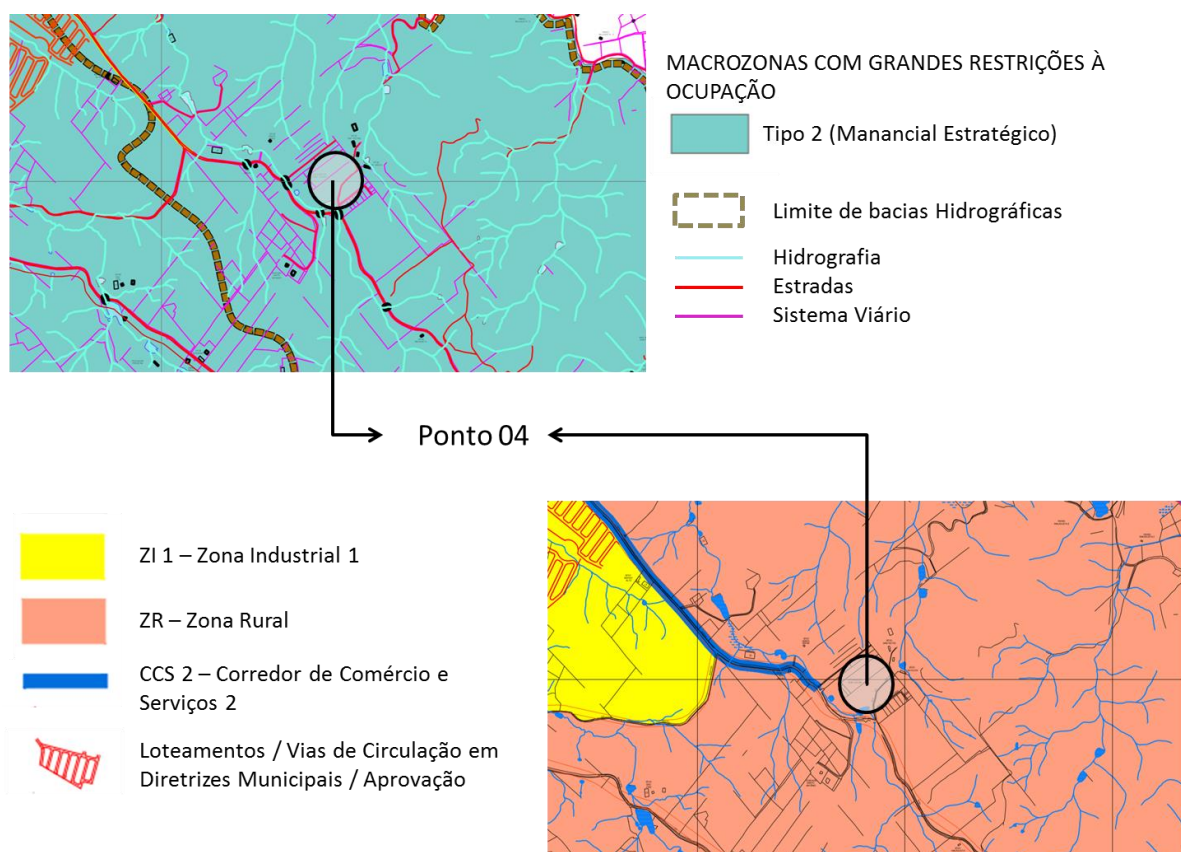


Figura 7-3. Macrozoneamento (acima) e Zoneamento (abaixo) do ponto 4, adaptado de PMS (2014).

Apesar de haver uma célula que evidencia alto potencial de conexão, o cenário foi avaliado e encontraram-se três eixos de ligação, dois de restauração assistida e um de restauração passiva.

Para o ponto detectado houve uma proposta de ligação subdividida em dois eixos. Em um deles (ligação entre fragmentos A e B), prioriza-se o desnível do relevo e o curso d'água presentes no desenho, nesse ponto foi sugerido apenas vegetação densa ao longo do eixo, pois devido à inclinação, acredita-se não haverá edificações. Já no segundo eixo (ligação entre fragmentos A e C), além da revegetação, foi proposto um conector elevado, com estrutura simples e aproveitando as cercas de alambrado que separam as propriedades. No entanto, é possível fazer a conexão entre os fragmentos A e C, também por meio de restauração passiva, como pode ser visto na (Figura 6-34), reduzindo os custos de conectividade.

Visto que a área se encontra integralmente na macrozona com grandes restrições à ocupação, sugere-se que haja preocupação com o local, pois as propriedades estão intensificando-se e suprimindo a vegetação. Atenção, principalmente com a área de vegetação passiva que se monitorada e preservada pode reconstituir a paisagem.

7.4.5 Cenários 5 e 6

Ambos os pontos 5 e 6 estão contidos na zona rural e na Macrozona com Grandes Restrições à Ocupação (MGRO) (Figura 7-4). Curiosamente, estão inseridos no alinhamento do limite de bacias hidrográficas, conforme indicado no mapa de macrozoneamento (Figura 7-4). Outro aspecto, que engloba os pontos, é o fato de pertencerem às propriedades privadas. Essa é uma área indicada ao parcelamento do solo e imóveis destinados às atividades rurais (Zona Rural - ZR) e de limitada edificação (PMS, 2014).

Pode-se dizer que os instrumentos públicos, normativos ao uso e ocupação do solo no município (PMS, 2014; SEMA, 2013), preveem operações urbanas consorciadas com o objetivo de conservar áreas prioritárias e de interesse ambiental tornando-as unidades de conservação. Além disso, esta Tese aponta regiões que necessitam de intervenção para recuperação e posterior conservação, mas a maioria encontra-se inserida em áreas particulares. Portanto, fomentar o estabelecimento de Reserva Particular de Patrimônio Natural (RPPN) é uma estratégia de conservação recomendada para cada um dos cenários (Wolfhard e Raedig, 2019).

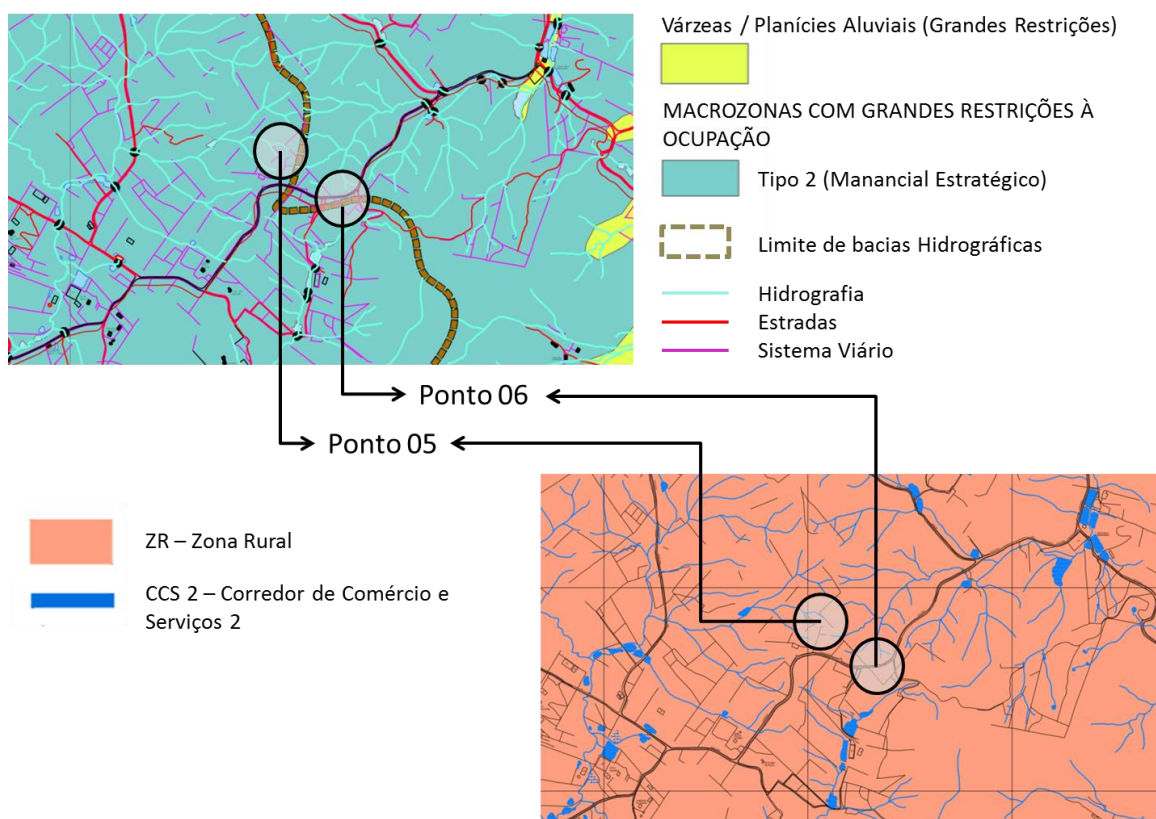


Figura 7-4. Macrozoneamento (acima) e Zoneamento (abaixo) dos pontos 5 e 6, adaptado de PMS(2014).

No cenário 5, constata-se que a conscientização do proprietário, sobre a fragmentação de grandes remanescentes que ocorrem no local, é de extrema importância para garantir a revegetação e recomposição da paisagem. Além do mais, a intervenção de forma passiva ou assistida garante a conexão dos fragmentos e favorece o corredor da biodiversidade.

O design no ponto 5 seguiu as células de ligação indicadas pelo método e apontou a plantação de árvores nativas, ao longo de aproximadamente 90 metros conectando os grandes remanescentes além da vegetação rasteira e arbustiva que estão desenvolvendo-se espontaneamente.

Em contraponto, no cenário 6, apesar de haver espaços onde a restauração pode ocorrer de forma espontânea (passiva), foi preciso intervir combinando diferentes propostas de conexão, sendo este o único cenário que possibilitou o uso de um pequeno fragmento como trampolim na conexão da paisagem.

O método demonstrou eficiência na escolha de apenas uma célula de ligação com 120 metros de distância entre os grandes fragmentos. Isso se deve ao fato de pequenos fragmentos não estarem sendo considerados na escolha por áreas prioritárias para conexão, mas poderiam ser incluídos ao método. No entanto, acredita-se que o número de pontos selecionados aumentaria em demasia, devido ao grande número de pequenos remanescentes (aprox. 80% entre (<10ha) que ocorrem no município. Dessa forma, os pequenos fragmentos foram considerados apenas na análise pontual, em escala mais detalhada, e incorporado ao design conforme proximidade local.

De forma geral, nota-se que as barreiras físicas vêm acentuando o isolamento da vegetação ao longo da paisagem e com tendência a impedir ou limitar a funcionalidade do corredor da biodiversidade. Sendo assim, a intervenção mediante projetos de recuperação da paisagem, em cenários prioritários de curtas distâncias de conexão entre remanescentes de vegetação, torna-se um elemento tecnicamente importante no contexto do planejamento do uso do solo do município. Portanto, este trabalho sugere uma modelagem que se mostrou eficiente na seleção de pontos prioritários de conexão, por meio de um método híbrido e multi-escalar, além de propor o design de conectores para cada cenário. Entretanto espera-se que o trabalho possa contribuir com a pesquisa tanto em escala regional quanto global na recuperação de paisagem fragmentada.

8 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

As áreas prioritárias para proposta de conexão dos fragmentos vegetais foram selecionadas de forma eficiente com a aplicação da metodologia proposta.

O modelo SIR foi válido na predição quanto à restauração assistida.

O método multi-buffer apresentou eficácia na busca por células de ligações à curtas distâncias (até 120m).

A análise da dinâmica dos fragmentos, por meio de métricas da paisagem, possibilitou a escolha dos fragmentos conforme a quantidade (número de fragmentos) e o seu tamanho. Além disso, a qualidade e a distância da matriz (região entre os fragmentos) foram precedentes para os modelos SIR e Multi-buffer.

A correlação entre tamanho dos fragmentos de vegetação (Patch) e a metodologia (SIR+Multi-buffer) permitiu encontrar os vazios (gaps) que causam a fragmentação entre os grandes remanescentes com mais de 50 ha.

Verificou-se, ainda, uma correspondência dos resultados da modelagem com a averiguação *in situ* dos cenários.

Com isso, pode-se dizer que o teste da hipótese foi validado. Portanto, o SIR determina a seleção de áreas com necessidade de intervenção para reestruturação da paisagem.

O design dos conectores, para os diferentes cenários, estabeleceu um padrão de conexão entre as áreas de habitat. As estruturas propostas, sob as modalidades *underpass* e *overpass*, foram atribuídas com base no perfil pontual.

De forma geral, o aumento da fragmentação da paisagem, como resultado da dinâmica do uso da terra e da intensificação de barreiras físicas, significa que muitos habitats em Sorocaba estão se tornando ameaçados.

Enquanto a urbanização continua a se expandir, existem oportunidades significativas para implementar medidas e projetos complementares de conectividade do ecossistema em pontos estratégicos no município.

Sendo assim, esta pesquisa pode ajudar a informar as diretrizes de melhores práticas e proporcionar o desenvolvimento socioeconômico aliado à conservação ambiental. Além disso, contribuir para a literatura de conexões ecológicas, explorando novas metodologias de aplicação em um cenário fragmentado, sendo este o primeiro estudo que se trata de diferentes áreas do conhecimento, incluindo ecologia, biologia, sensoriamento remoto, arquitetura, urbanismo e engenharia aplicada a projetos ambientais.

As referências gerais podem ser consideradas durante o projeto de implantação da conectividade de habitats fragmentados, por meio de ligações de *gaps* pontuais que ocorrem ao longo da paisagem e inibem a formação do grande corredor ecológico.

A metodologia de caracterização da paisagem apresentada neste estudo inclui fatores de conectividade de paisagem e matriz de habitat e permite determinação de pontos na paisagem dentro de uma área proposta para o desenvolvimento do corredor ecológico.

Quando os cenários foram identificados, a interpretação da importante conectividade das áreas verdes dentro de uma região permitiu que recomendações detalhadas fossem feitas para manter e aprimorar a ligação estrutural dos habitats.

Os resultados deste estudo determinaram 9 pontos de diferentes paisagens que requerem diferentes ações para promover a conectividade dos habitats.

Os métodos utilizados neste estudo podem ajudar os Conectores Ecológicos a se tornarem verdadeiros projetos de infraestrutura sustentável, informando melhorias, quando necessário, para promover a integridade da paisagem.

Os dados qualitativos e quantitativos envolvidos na modelagem podem ser aplicados em inúmeras implicações práticas no campo da paisagem.

Para acadêmicos que estudam paisagem e planejamento urbano, a combinação do SIR com o método multi-buffer proporciona uma nova compreensão do suporte de modelagem para a paisagem fragmentada.

Esta abordagem pode contribuir para melhorar as condições da paisagem no município de Sorocaba, mitigando os efeitos da fragmentação e estimulando os benefícios ecológicos do grande Corredor Ecológico.

Os cenários futuros de paisagens fragmentadas podem ser ainda mais complexos se não forem tomadas iniciativas em curto prazo. Portanto, acredita-se que os estudos relacionados a este tema devem incluir métodos para aperfeiçoar a futura conservação ecológica sob diferentes cenários de mudanças ambientais futuras. Com isso, o presente trabalho deve contribuir como um importante passo na pesquisa e no processo de elaboração de políticas efetivas de conservação ecológica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADRIAENSEN, F.; CHARDON, J.P.; DE BLUST, G.; SWINNEN, E.; VILLALBA, S.; GULINCK, H.; MATTHYSEN, E. The application of 'least-cost' modelling as a functional landscape model. **Landscape and Urban Planning**, v. 64, n. 4, p. 233-247, 2003.
- ANDREASSEN, H.P., HALLE, S.; IMS, R.A. Optimal width of movement corridors for root voles: not too narrow and not too wide. **Journal of applied ecology**, p.63-70, 1996.
- ASSIS, J.C.; GIACOMINI, H.C.; RIBEIRO, M.C. Road Permeability Index: Evaluating the heterogeneous permeability of roads for wildlife crossing. **Ecological Indicators**, v. 99, p. 365-374, 2019.
- AUTODESK, I.N.C. AutoCAD. Sausalito, CA, 2012.
- BANK, F.G.; IRWIN, C.L.; EVINK, G.L.; GRAY, M.E.; HAGOOD, S.; KINAR, J.R.; ... SAUVAJOT, R.M. **Wildlife habitat connectivity across European highways**. 2002.
- BANKS-LEITE, C.; EWERS, R. M.; KAPOS, V.; MARTENSEN, A. C.; METZGER, J. P. Comparing species and measures of landscape structure as indicators of conservation importance. **Journal of Applied Ecology**, v. 48, n. 3, p. 706-714, 2011.
- BAUM, K.A.; HAYNES, K.J., DILLEMUTH, F.P.; CRONIN, J.T. The matrix enhances the effectiveness of corridors and stepping stones. **Ecology**, v. 85, n. 10, p. 2671-2676, 2004.
- BECKMANN, J.O.; CLEVINGER, A.P.; HUIJSER, M.P.; HILTY, J.A. (Eds.). **Safe passages - Highways, wildlife, and habitat connectivity**. Island Press, 396p., 2010.
- BEIER, P. Dispersal of juvenile cougars in fragmented habitat. **The Journal of Wildlife Management**, p. 228-237, 1995.
- BEIER, P.; NOSS, R.F. Do habitat corridors provide connectivity? **Conservation Biology**, v. 12, n. 6, p. 1241-1252, 1998.
- BEIER, P; MAJKA, D.; NEWELL, S.; GARDING, E. Best management practices for wildlife corridors. **Northern Arizona University**, v. 1, n. 3, 2008.
- BENNETT, A. F. **Linkages in the landscape: the role of corridors and connectivity in wildlife conservation**. Iucn, 1999.
- BENTRUP, G. **Conservation buffers: design guidelines for buffers, corridors, and greenways**. US Department of Agriculture, Forest Service, Southern Research Station, 2008.
- BORTOLETO, L.A. **Análise da dinâmica de fragmentos florestais: estudo de caso de Sorocaba-SP**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) UNESP – Faculdade de Engenharia de Bauru, 2014, 78 p.
- BORTOLETO, L.A.; FIGUEIRA, C.J.M.; DUNNING Jr, J. B.; RODGERS, J.; da SILVA, A.M. Suitability index for restoration in landscapes: An alternative proposal for restoration projects. **Ecological Indicators**, v. 60, p. 724-735, 2016.
- BRASIL. **Lei 10.257, de 10 de julho de 2001**. Dispõe sobre o Estatuto da Cidade e Legislação Correlata. Diário Oficial da União, Brasília, 2001.
- BÜRGI, M.; HERSPERGER, A.M.; SCHNEEBERGER, N. Driving forces of landscape change-current and new directions. **Landscape Ecology**, v. 19, n. 8, p. 857-868, 2004.

- CARRIER, J.; MORAN, J. Landscape typology and ecological connectivity assessment to inform Greenway design. **Science of the Total Environment**, v. 651, p. 3241-3252, 2019.
- DAMAME, D.B.; LONGO, R.M.; DE OLIVEIRA, E.D. Impactos ambientais pelo uso e ocupação do solo em sub bacias hidrográficas de Campinas, São Paulo, Brasil. **Acta Brasiliensis**, v. 3, n. 1, p. 1-7, 2019.
- DE GROOT, R.S.; ALKEMADE, R.; BRAAT, L.; HEIN, L.; WILLEMEN, L. Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making. **Ecological Complexity**, v. 7, n. 3, p. 260-272, 2010.
- DE MONTIS, A.; CASCHILI, S.; MULAS, M.; MODICA, G.; GANCIU, A.; BARDI, A.; ...; Fichera, C. R. Urban-rural ecological networks for landscape planning. **Land Use Policy**, v. 50, p. 312-327, 2016.
- DE OLIVEIRA, R.A.; DA CUNHA, D.C.; SIMONETTI, V.C.; STROKA, E.A.B.; SABONARO, D.Z. Proposição de corredor ecológico entre duas Unidades de Conservação na Região Metropolitana de Sorocaba. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 32, p. 61-71, 2016.
- DJI. **Especificações Técnicas**. <https://www.dji.com/br/mavic/specs>. Acesso em 05 de fevereiro de 2019.
- DOS SANTOS, A.; DOS SANTOS, A.R.; RIBEIRO, C.A.A.S.; DE OLIVEIRA PELUZIO, T.M.; PELUZIO, J.B.E.; DE QUEIROZ, V.T.; BRANCO, E.R.F.; ... TEIXEIRA, T.R. Geotechnology and landscape ecology applied to the selection of potential forest fragments for seed harvesting. **Journal of Environmental Management**, v. 183, p. 1050-1063, 2016.
- EASTMAN, J.R. IDRISI selva. **Worcester, MA: Clark University**, 2012.
- EMARESI, G.; PELLET, J., DUBEY, S., HIRZEL, A.H.; FUMAGALLI, L. Landscape genetics of the Alpine newt (*Mesotriton alpestris*) inferred from a strip-based approach. **Conservation Genetics**, v. 12, n. 1, p. 41-50, 2011.
- EMBRAPA. **Banco de Dados do Brasil**. 2003. Disponível em: <<http://www.bdclima.cnpm.embrapa.br/>>. Acesso em: 27 janeiro 2018.
- FORMAN, R.T.T. Some general principles of landscape and regional ecology. **Landscape ecology**, v. 10, n. 3, p. 133-142, 1995.
- FORMAN, R.T.T.; ALEXANDER, L.E. Roads and their major ecological effects. **Annual review of ecology and systematics**, v. 29, n. 1, p. 207-231, 1998.
- FORMAN, R.T.T. Land Mosaics: **The Ecology of Landscapes and Regions**. Island Press, 2014.
- FORTIN, M.J.; JAMES, P.M.; MACKENZIE, A.; MELLES, S.J.; RAYFIELD, B. Spatial statistics, spatial regression, and graph theory in ecology. **Spatial Statistics**, v. 1, p. 100-109, 2012.
- GALPERN, P.; MANSEAU, M.; FALL, A. Patch-based graphs of landscape connectivity: a guide to construction, analysis and application for conservation. **Biological Conservation**, v. 144, n. 1, p. 44-55, 2011.
- GENELETTI, D.; LA ROSA, D.; SPYRA, M.; CORTINOVIS, C. A review of approaches and challenges for sustainable planning in urban peripheries. **Landscape and Urban Planning**, v.165, p.231-243, 2017.
- GILBERT-NORTON, L.Y.N.N.E.; WILSON, R.; STEVENS, J.R.; BEARD, K.H. A meta-analytic review of corridor effectiveness. **Conservation Biology**, v. 24, n. 3, p. 660-668, 2010.

- GOOSEM, M. Linear infrastructure in the tropical rainforests of far north Queensland: mitigating impacts on fauna of roads and powerline clearings. In **'Conservation of Australia's Forest Fauna'**. **Conservation of Australia's forest fauna. Royal Zoological Society of New South Wales, Mosman, Australia**, p. 418-434, 2004.
- GREGORY, A.J.; BEIER, P. Response variables for evaluation of the effectiveness of conservation corridors. **Conservation Biology**, v. 28, n. 3, p. 689-695, 2014.
- GURRUTXAGA, M.; LOZANO, P.J.; Del BARRIO, G. GIS-based approach for incorporating the connectivity of ecological networks into regional planning. **Journal of Nature Conservation**, 18, 318-326, 2010.
- HADDAD, N.M., Corridor use predicted from behaviors at habitat boundaries. **The American Naturalist**, 153(2), p.215-227, 1999.
- HADDAD, N.M.; BRUDVIG, L.A.; CLOBERT, J.; DAVIES, K.F.; GONZALEZ, A.; HOLT, R.D.; ... COOK, W.M. Habitat fragmentation and its lasting impact on Earth's ecosystems. **Science Advances**, 1 (2), p.94-103, 2015.
- HARRIS, L.D. Edge effects and conservation of biotic diversity. **Conservation Biology**, v. 2, n. 4, p. 330-332, 1988.
- HELLMUND, P.C.; SMITH, D. **Designing greenways: sustainable landscapes for nature and people**. Island Press, 2013.
- HESS, G.R.; FISCHER, R.A. Communicating clearly about conservation corridors. **Landscape and urban planning**, v. 55, n. 3, p. 195-208, 2001.
- HILTY, J.A.; LIDICKER Jr., W.Z.; MERENLENDER, A. **Corridor ecology: the science and practice of linking landscapes for biodiversity conservation**. Island Press, 345 p., 2006.
- HOBBS, R.J. The role of corridors in conservation: solution or bandwagon?. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 7, n. 11, p. 389-392, 1992.
- HOLL, K.D.; AIDE, T. Mitchell. When and where to actively restore ecosystems?. **Forest Ecology and Management**, v. 261, n. 10, p. 1558-1563, 2011.
- HONG, W.; GUO, R.; SU, M.; TANG, H.; CHEN, L.; HU, W. Sensitivity evaluation and land-use control of urban ecological corridors: A case study of Shenzhen, China. **Land Use Policy**, v. 62, p. 316-325, 2017.
- HOU, W.; NEUBERT, M.; WALZ, U. A simplified econet model for mapping and evaluating structural connectivity with particular attention of ecotones, small habitats, and barriers. **Landscape and Urban Planning**, v. 160, p. 28-37, 2017.
- HUILIN L.; LI, W.; ZHANG, Q.; ZHU, W.; CHEN, D.; LIU, J.; SHU, T. Using unmanned aerial vehicle data to assess the three-dimension green quantity of urban green space: A case study in Shanghai, China. **Landscape and Urban Planning**. v. 164, p. 81-90, 2017.
- IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Manual técnico da vegetação brasileira: sistema fitogeográfico, inventário das formações florestais e campestres, técnicas e manejo de coleções botânicas, procedimentos para mapeamentos**. IBGE, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. – 2ª ed., Rio de Janeiro, 276 p, 2012.
- JACKSON, L.L.; LOPOUKHINE, N.; HILLYARD, D. Ecological restoration: a definition and comments. **Restoration Ecology**, v. 3, n. 2, p. 71-75, 1995.
- KABISCH, N.; SELSAM, P.; KIRSTEN, T.; LAUSCH, A.; BUMBERGER, J. A multi-sensor and multi-temporal remote sensing approach to detect land cover change dynamics in heterogeneous urban landscapes. **Ecological Indicators**, v. 99, p. 273-282, 2019.

- KEENELYSIDE, K.; DUDLEY, N.; CAIRNS, S.; HALL, C.; STOLTON, S. **Ecological restoration for protected areas: principles, guidelines and best practices**. IUCN, 2012.
- KEITT, T. H.; URBAN, D. L.; MILNE, B. T. Detecting critical scales in fragmented landscapes. **Conservation ecology**, v. 1, n. 1, 1997.
- KINDLMANN, P.; BUREL, F. Connectivity measures: a review. **Landscape ecology**, v. 23, n. 8, p. 879-890, 2008.
- KONG, B.; DENG W.; TAO H.; YU H. Design of wetland ecological corridor based on multi-scale remote sensing image segmentation. **Chinese Journal of Ecology**, v. 2, p. 036, 2010.
- KUBEŠ, J. Biocentres and corridors in a cultural landscape. A critical assessment of the 'territorial system of ecological stability'. **Landscape and Urban Planning**, v. 35, n. 4, p. 231-240, 1996.
- LA POLLA, V.N.; BARRETT, G.W. Effects of corridor width and presence on the population dynamics of the meadow vole (*Microtus pennsylvanicus*). **Landscape Ecology**, v. 8, n. 1, p. 25-37, 1993.
- LA ROSA, D.; SPYRA, M.; INOSTROZA, L. Indicators of cultural ecosystem services for urban planning: a review. **Ecological Indicators**, v. 61, p. 74-89, 2016.
- LANG, S. e BLAKSCHKE, T. **Análise da Paisagem com SIG**. Oficina de textos. 2009, 424p.
- LATORRE, M.L.; CARVALHO JÚNIOR, O.A.D.; SANTOS, J.R.D.; SHIMABUKURO, Y.E. Integração de dados de sensoriamento remoto multi resoluções para a representação da cobertura da terra utilizando campos contínuos de vegetação e classificação por árvores de decisão. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 25, n. 1, p. 63-74, 2007.
- LECHNER, A.M.; DOERR, V.; HARRIS, R.M.; DOERR, E.; LEFROY, E.C. A framework for incorporating fine-scale dispersal behavior into biodiversity conservation planning. **Landscape and Urban Planning**, 141, p. 11-23, 2015.
- LI, F.; YE, Y.; SONG, B.; WANG, R. Evaluation of urban suitable ecological land based on the minimum cumulative resistance model: a case study from Changzhou, China. **Ecological Modelling**, v. 318, p. 194-203, 2015a.
- LI, H.; CHEN, W.; HE, W. Planning of Green Space Ecological Network in Urban Areas: An Example of Nanchang, China. **International journal of environmental research and public health**, v. 12, n. 10, p. 12889-12904, 2015b.
- LILLESAND, T.M.; KIEFER, R.W.; CHIPMAN, J.W. **Remote sensing and image interpretation**. John Wiley & Sons Ltd, 2004, 763p.
- LINDENMAYER, D.B.; FISCHER, J. **Habitat fragmentation and landscape change: an ecological and conservation synthesis**. Island Press, 2013, 352p.
- LIU, Y.; WU LI, Z.; TANG, Z.; ZHANG, Y.; REN, P. Greenway network design of Great West River Pilot Area in Changsha City, Hunan Province of South-central China based on suitability analysis and GIS. **Chinese Journal of Ecology**, v. 31, n. 2, p. 426-432, 2012.
- LORO, M.; ORTEGA, E.; ARCE, R.M.; GENELETTI, D. Ecological connectivity analysis to reduce the barrier effect of roads. An innovative graph-theory approach to define wildlife corridors with multiple paths and without bottlenecks. **Landscape and Urban Planning**, 139, 149-162, 2015.
- MA, H.; YUAN, LV; HONGXUN, LI. Complexity of ecological restoration in China. **Ecological Engineering**, v. 52, p. 75-78, 2013.
- MANTELLI, M.; PITTOL, D.; NEULAND, R.; RIBACKI, A.; MAFFEI, R.; JORGE, V.; ...; KOLBERG, M.A. novel measurement model based on a BRIEF for global localization of a UAV over satellite images. **Robotics and Autonomous Systems**, v. 112, p. 304-319, 2019.

- MARTENSEN, A.C.; RIBEIRO, M.C.; BANKS-LEITE, C.; PRADO, P.I.; METZGER, J.P. Associations of forest cover, fragment area, and connectivity with neotropical understory bird species richness and abundance. **Conservation Biology**, v. 26, n.6, p. 1100-1111, 2012.
- MCRAE, B.H.; HALL, S.A.; BEIER, P.; THEOBALD, D.M. Where to restore ecological connectivity? Detecting barriers and quantifying restoration benefits. **PloS one**, v. 7, n. 12, p. e52604, 2012.
- MELLO, K. **Análise espacial de remanescentes florestais como subsídio para o estabelecimento de unidades de conservação**. Dissertação (mestrado). Sorocaba: Universidade Federal de São Carlos, Campus de Sorocaba, 2012. 82p.
- METZGER, J. P. O que é ecologia de paisagens? **Biota Neotropica**, v. 1, n. 1, p. 1-9, 2001.
- NG, C.N.; XIE, Y.J.; YU, X.J. Integrating landscape connectivity into the evaluation of ecosystem services for biodiversity conservation and its implications for landscape planning. **Applied Geography**, v. 42, p. 1-12, 2013.
- PELOROSSO, R.; GOBATTONI, F.; GERI, F.; MONACO, R.; LEONE, A. Evaluation of Ecosystem Services related to Bio-Energy Landscape Connectivity (BELC) for land use decision making across different planning scales. **Ecological Indicators**, v. 61, p. 114-129, 2016.
- PENG, J.; ZHAO, H.; LIU, Y. Urban ecological corridors construction: A review. **Acta Ecologica Sinica**, v. 37, n. 1, p. 23-30, 2017.
- PERES, C.A. Synergistic effects of subsistence hunting and habitat fragmentation on amazonian Forest vertebrates. **Conservation Biology**, 15(6):1490-1505, 2001.
- PIERIK, M.E.; DELL'ACQUA, M.; CONFALONIERI, R.; BOCCHI, S.; GOMARASCA, S. Designing ecological corridors in a fragmented landscape: A fuzzy approach to circuit connectivity analysis. **Ecological Indicators**, v. 67, p. 807-820, 2016.
- PIRNAT, J.; HLADNIK, D. Connectivity as a tool in the prioritization and protection of sub-urban forest patches in landscape conservation planning. **Landscape and Urban Planning**, v. 153, p. 129-139, 2016.
- PMS (Prefeitura Municipal de Sorocaba). Secretaria de Edificações e Urbanismo. Divisão de Planejamento Físico e Territorial. **Plano Diretor do Município de Sorocaba**, 2014.
- PMS (Prefeitura Municipal de Sorocaba). Secretaria de Edificações e Urbanismo. Divisão de Planejamento Físico e Territorial. **Mapa de Zoneamento Municipal**, 2018.
- QI, K.; FAN, Z.; NG, C.N.; WANG, X.; XIE, Y. Functional analysis of landscape connectivity at the landscape, component, and patch levels: A case study of Minqing County, Fuzhou City, China. **Applied Geography**, v. 80, p. 64-77, 2017.
- REIS, B.P.; MARTINS, S.V.; FERNANDES FILHO, E.I.; SARCINELLI, T.S.; GLERIANI, J.M.; LEITE, H.G.; HALASSY, M. Forest restoration monitoring through digital processing of high resolution images. **Ecological Engineering**, v. 127, p. 178-186, 2019.
- RIBEIRO, J.W.; DOS SANTOS, J.S.; DODONOV, P.; MARTELLO, F.; NIEBUHR, B.B., RIBEIRO, M.C. LandScape Corridors (lscorridors): a new software package for modelling ecological corridors based on landscape patterns and species requirements. **Methods in Ecology and Evolution**, Disponível em:<<http://dx.doi.org/10.1111/2041-210X.12750>>, 2017.
- ROSENBERG, D.K.; NOON, B.R.; MESLOW, E.C. Biological corridors: form, function, and efficacy. **BioScience**, v. 47, n. 10, p. 677-687, 1997.
- ROUGET, M.; COWLING, R.M.; LOMBARD, A.T.; KNIGHT, A. T.; KERLEY, G.I. Designing Large-scale Conservation Corridors for Pattern and Process. **Conservation Biology** v20(2) p549-561. 2006

- SALVIANO, I.R. **Conectividade e a teoria dos grafos: um caminho para a conservação e manejo dos corredores ecológicos**. Campinas, 2011. 95f. Dissertação (Mestrado) Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas.
- SÃO PAULO (Estado) - Sistema Ambiental Paulista. **Área de Proteção Ambiental**. Disponível em: < <http://www3.ambiente.sp.gov.br/apa-itupararanga/>>. Acesso em: Jun. 2017.
- SAUNDERS, D.A.; HOBBS, R.J. **The role of corridors in conservation: what do we know and where do we go?** Nature conservation 2: the role of corridors. Chipping Norton (Australia): Surrey Beatty & Sons, p.421-427, 1991.
- SAURA, S.; RUBIO, L.A. A common currency for the different ways in which patches and links can contribute to habitat availability and connectivity in the landscape. **Ecography**, v. 33, n. 3, p. 523-537, 2010.
- SAURA, S.; VOGT, P.; VELÁZQUEZ, J.; HERNANDO, A.; TEJERA, R. Key structural forest connectors can be identified by combining landscape spatial pattern and network analyses. **Forest Ecology and Management**, v. 262, n. 2, p. 150-160, 2011.
- SAURA, S.; BODIN, Ö.; FORTIN, M. Stepping stones are crucial for species' long distance dispersal and range expansion through habitat networks. **Journal of Applied Ecology**, 51, 171-182, 2014.
- SAWYER, S.C.; EPPS, C.W.; BRASHARES, J.S. Placing linkages among fragmented habitats: do least-cost models reflect how animals use landscapes?. **Journal of Applied Ecology**, v. 48, n. 3, p. 668-678, 2011.
- SCHINDLER, S.; VON WEHRDEN, H.; POIRAZIDIS, K.; WRBKA, T.; KATI, V. Multiscale performance of landscape metrics as indicators of species richness of plants, insects and vertebrates. **Ecological Indicators**, v. 31, p. 41-48, 2013.
- SEADE (Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Regional). São Paulo (Estado). **Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados - SEADE Perfil Municipal**. São Paulo, 2015. Disponível em: < <http://www.perfil.seade.gov.br/#>>. Acesso em: 08 de Julho de 2019.
- SEMA (Secretaria de Meio Ambiente de Sorocaba). **Plano Diretor Ambiental de Sorocaba**. 56p, 2011. Disponível em <http://pt.scribd.com/doc/82943010/Plano-Diretor-Ambiental-de-Sorocaba>. Acesso em Abril de 2013.
- SER (Society for Ecological Restoration). International Science & Policy Working Group. **The SER International Primer on Ecological Restoration**. www.ser.org & Tucson: Society for Ecological Restoration International, 2004.
- SHIRABE, T. Buffered or bundled, least-cost paths are not least-cost corridors: Computational experiments on path-based and wide-path-based models for conservation corridor design and effective distance estimation. **Ecological Informatics**, v. 44, p. 109-116, 2018.
- SILVA, R.A.; PEREIRA, J.A.A.; DE BARROS, D.A.; DE OLIVEIRA NASCIMENTO, G.; BORGES, L.A.C. Análise da conectividade estrutural frente às atividades econômicas na mata atlântica. **Revista de Ciências Agroambientais**, v. 15, n. 1, 2017.
- SILVA, A.M. Cobertura do solo do município de Sorocaba-SP e implicações na fragmentação dos remanescentes florestais. **Revista de Estudos Ambientais**, v. 7, n. 2, p. 38-46, 2005.
- SILVA, A.M. **Ecologia da paisagem: fundamentos e aplicações**. Papel Virtual Editora, 2009.
- SMA (Secretaria Estadual de Meio Ambiente de São Paulo). Meio Ambiente Paulista: Relatório de **Qualidade Ambiental 2012**. São Paulo: SMA, 2012.

- SMA (SECRETARIA DO ESTADO DE MEIO AMBIENTE – SÃO PAULO) (2014). Resolução SMA 32/2014 - Estabelece as orientações, diretrizes e critérios sobre restauração ecológica no Estado de São Paulo e dá providências correlatas. Disponível em: <<http://arquivos.ambiente.sp.gov.br/legislacao/2016/12/Resolu%C3%A7%C3%A3o-SMA-032-2014-a.pdf>> Acesso em junho de 2017.
- SMA (Secretaria Estadual de Meio Ambiente de São Paulo). Meio Ambiente Paulista: Relatório de **Qualidade Ambiental 2018**. São Paulo: SMA, 2018.
- SMITH, W.S., MOTA Jr, V.D., CARVALHO, J.S. (organizadores) **Biodiversidade do Município de Sorocaba**. 1ª edição, Secretaria Municipal de Meio Ambiente de Sorocaba. p. 270, 2014.
- SMITH, W.S., RIBEIRO, C.A. (organizadores), **Parque Natural Municipal Corredores de Biodiversidade: pesquisas e perspectivas futuras**. Secretaria Municipal de Sorocaba, SP, Brasil. p.230, 2015.
- SOULÉ, M.E.; GILPIN, M.E. The theory of wildlife corridor capability. **Nature conservation**, v. 2, p. 3-8, 1991.
- TAYLOR, P.D.; FAHRIG, L.; HENEIN, K.; MERRIAM, G. Connectivity is a vital element of landscape structure. **Oikos**, p. 571-573, 1993.
- TAYLOR, J.J.; BROWN, D.G.; LARSEN, L. Preserving natural features: A GIS-based evaluation of a local open-space ordinance. **Landscape and Urban Planning**, 82, 1-16, 2007.
- TANNIER, C.; FOLTÊTE, J.C.; GIRARDET, X. Assessing the capacity of different urban forms to preserve the connectivity of ecological habitats. **Landscape and Urban Planning**, v. 105, n. 1, p. 128-139, 2012.
- TISCHENDORF, L.; WISSEL, C. Corridors as conduits for small animals: attainable distances depending on movement pattern, boundary reaction and corridor width. **Oikos**, 79(3), p.603-611, 1997.
- TISCHENDORF, L.; FAHRIG, L. On the usage and measurement of landscape connectivity. **Oikos**, v. 90, n. 1, p. 7-19, 2000.
- TOWNSEND, P.A.; LOOKINGBILL, T.R.; KINGDON, C.C.; GARDNER, R.H. Spatial pattern analysis for monitoring protected areas. **Remote sensing of environment**, v. 113, n. 7, p. 1410-1420, 2009.
- TROMBULAK, S.C.; FRISSELL, C.A. Review of ecological effects of roads on terrestrial and aquatic communities. **Conservation biology**, v. 14, n. 1, p. 18-30, 2000.
- TÖRÖK, P.; HELM, A. Ecological theory provides strong support for habitat restoration. **Biological Conservation**, v. 206, p. 85-91, 2017.
- VAN DER REE, R.; JAEGER, J.A.; VAN DER GRIFT, E.; CLEVINGER, A. Effects of roads and traffic on wildlife populations and landscape function: road ecology is moving toward larger scales. **Ecology and society**, v. 16, n. 1, 2011.
- VIANA, V.M.; PINHEIRO, L.A.F.V. Conservação da biodiversidade em fragmentos florestais. **Série Técnica IPEF**, v. 12, n. 32, p. 25-42, 1998.
- WANG, W.; ZHANG, X., WU, Y., ZHOU, L.; SKITMORE, M. Development priority zoning in China and its impact on urban growth management strategy. **Cities**, v. 62, p. 1-9, 2017.
- WEINSTEIN, M.P.; DAY, J.W. Restoration ecology in a sustainable world. **Ecological Engineering**, n. 65, p. 1-8, 2014.

- WOLFHARD, L.V.G; RAEDIG, C. Connectivity Conservation Management: Linking Private Protected Areas. In: **Strategies and Tools for a Sustainable Rural Rio de Janeiro**. Springer, Cham, 2019. p. 155-171.
- WU, J.J. Making the case for landscape ecology an effective approach to urban sustainability. **Landscape Journal**, v. 27, n. 1, p. 41-50, 2008.
- WU, J. Urban ecology and sustainability: The state-of-the-science and future directions. **Landscape and Urban Planning**, v. 125, p. 209-221, 2014.
- XU, B.; WANG, G.; YANG, Q.; ZHENG, Y. Hydrological buffering during groundwater acidification in rapidly industrializing alluvial plains. **Journal of contaminant hydrology**, v. 218, p. 19-33, 2018.
- YIN, H.; KONG, F.; HU, Y.; JAMES, P.; XU, F.; YU, L. Assessing growth scenarios for their landscape ecological security impact using the SLEUTH urban growth model. **Journal of Urban Planning and Development**, v. 142, n. 2, p. 05015006, 2015.
- YIN, H.; KONG, F.; YANG, X.; JAMES, P.; DRONOVA, I. Exploring zoning scenario impacts upon urban growth simulations using a dynamic spatial model. **Cities**, v. 81, p. 214-229, 2018.
- YU, D.; XUN, B.; SHI, P.; SHAO, H.; LIU, Y. Ecological restoration planning based on connectivity in an urban area. **Ecological Engineering**, v. 46, p. 24-33, 2012.
- ZEYBEK, M.; ŞANLIOĞLU, İ. Point cloud filtering on UAV based point cloud. **Measurement**, v. 133, p. 99-111, 2019.
- ZHANG, X.Q. The trends, promises and challenges of urbanization in the world. **Habitat International**, v. 54, p. 241-252, 2016.
- ZHANG, Z.; MEEROW, S.; NEWELL, J.P.; LINDQUIST, M. Enhancing landscape connectivity through multifunctional green infrastructure corridor modeling and design. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 38, p. 305-317, 2019.
- ZURLINI, G.; PETROSILLO, I.; JONES, K.B.; ZACCARELLI, N. Highlighting order and disorder in social–ecological landscapes to foster adaptive capacity and sustainability. **Landscape Ecology**, v. 28, n. 6, p. 1161-1173, 2013.

APÊNDICES

A- Apresentação das imagens obtidas na averiguação local dos pontos selecionados por meio da metodologia aplicada a este trabalho (visitas realizadas em 17/04/2017; 19/02/2018 e 02/02/2019).



Apêndice A-1. Imagens obtidas no ponto 1.



Apêndice A-2. Imagens obtidas no ponto 2.



Apêndice A-3. Imagens obtidas no ponto 3.



Apêndice A-4. Imagens obtidas no ponto 4.



Apêndice A-5. Imagens obtidas no ponto 5.

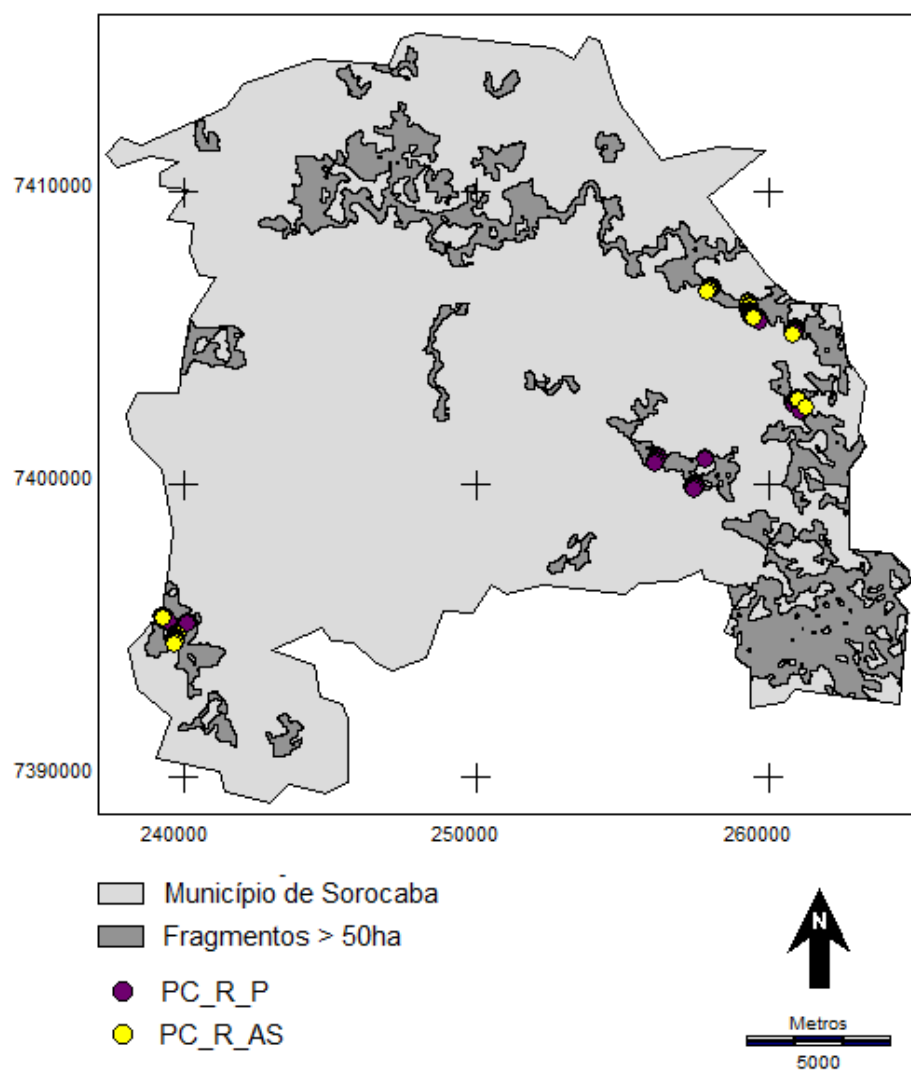


Apêndice A-6. Imagens obtidas no ponto 6.



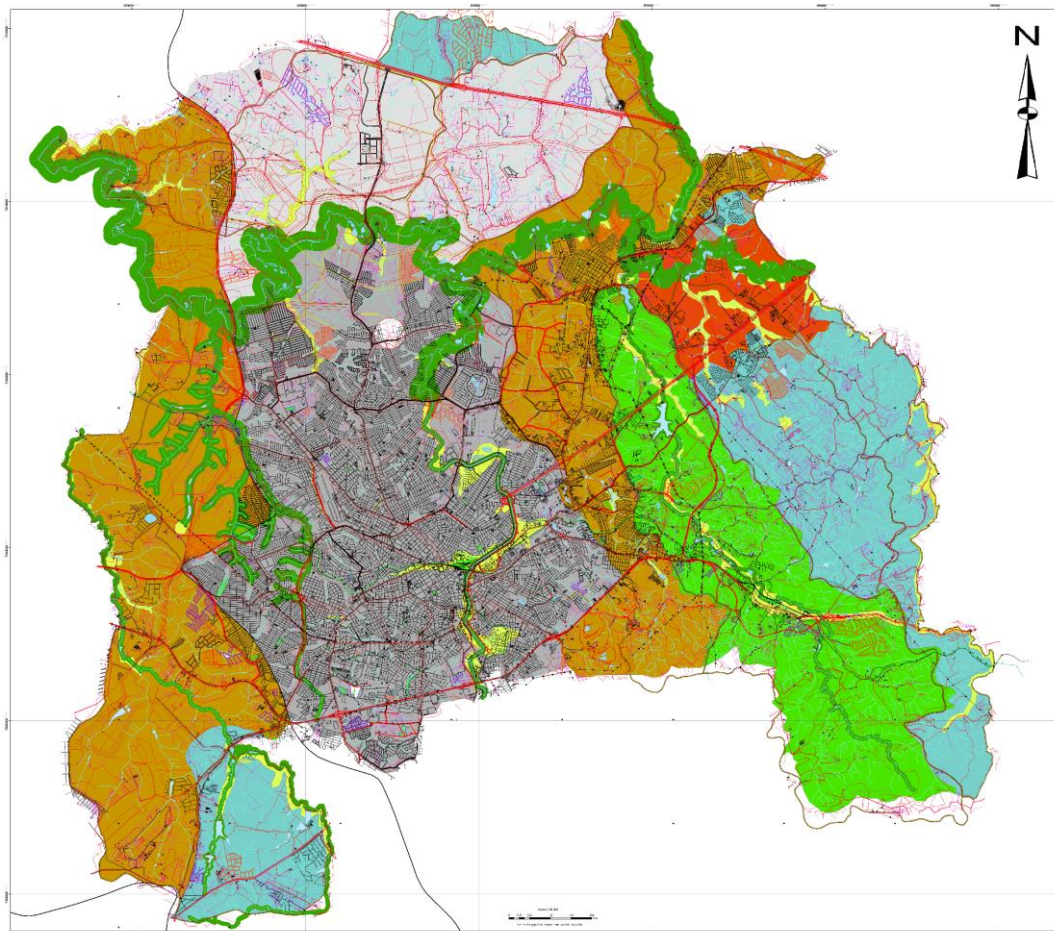
Apêndice A-7. Imagens obtidas nos pontos 7, 8 e 9.

B - Mapa representativo dos pontos de conexão encontrados em área de restauração passiva e assistida.




Apêndice B-1. Espacialização dos pontos de conexão encontrados em área de restauração passiva e assistida. Autoria Pessoal.

ANEXOS





LEGENDA

Várzeas_Planícies_Aluviais (Grandes Restrições)**MACROZONAS_COM_GRANDES_RESTRIÇÕES_À_OCUPAÇÃO****Áreas_de_Conservação_Ambiental**

 MCA - Macrozona de Conservação Ambiental

Áreas_de_Proteção_de_Mananciais

 Tipo 1 (Captação de água existente)

 Tipo 2 (Manacial estratégico)

MACROZONAS_COM_MODERADAS_RESTRIÇÕES_À_OCUPAÇÃO

 Tipo A

 Tipo B (Zona industrial)

MACROZONAS_COM_PEQUENAS_RESTRIÇÕES_À_OCUPAÇÃO

 Tipo A (Urbanização consolidada)

 Tipo B

ELABORAÇÃO:

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE - SEMA
 ÁREA DE GESTÃO AMBIENTAL
 ÁREA DE CONTROLE AMBIENTAL
Sorocaba - SP
 REVISÃO E ATUALIZAÇÃO DO PLANO DIRETOR

TÍTULO

MP 01 - Macrozoneamento Ambiental - PDA - SEMA

ESCALA
1:30000

DATA
 Abril / 2014

MAPA:

REVISÃO:
 SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE - SEMA
 DATA - 02/04/2014




HIDROGRAFIA

-  RIOS
-  RIOS_PRINCIPAIS
-  RESERVATÓRIOS
-  LAGOS_LAGOAS
-  AÇUDES_REPRESAS

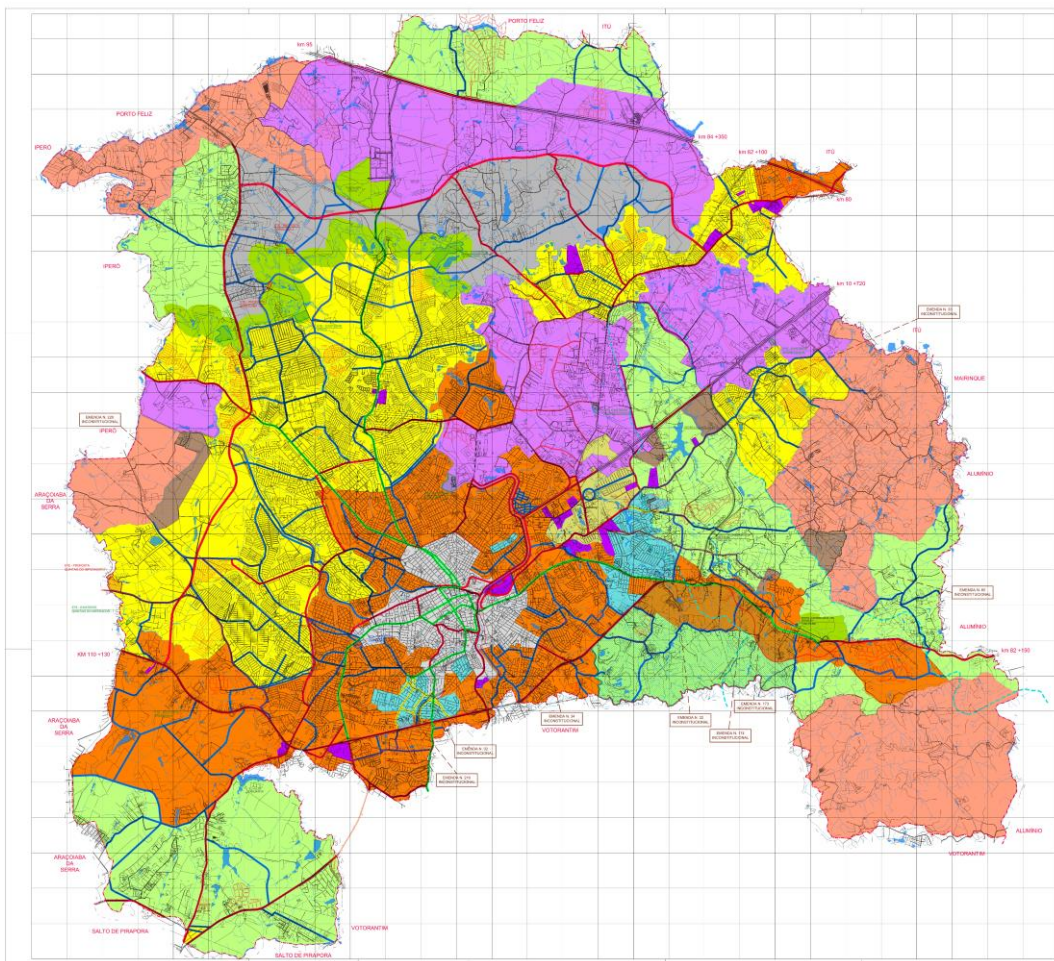
SISTEMA VIÁRIO

-  Estradas
-  Sistema_Viário
-  Ferrovias

LIMITES

-  Limites de Bacias Hidrográficas
-  Quadras
-  Limite de Zona de Amortecimento da Flona

01



LEGENDA

- CORREDORES COMERCIAIS**
- **CCR - Corredor de Circulação Rápida**
 - **CCS 1 - Corredor de Comércio e Serviços 1**
 - **CCS 2 - Corredor de Comércio e Serviços 2**
 - **CCS 3 - Corredor de Comércio e Serviços 3**
 - **CCI - Corredor de Comércio e Indústria**
- LOTEAMENTOS / VIAS DE CIRCULAÇÃO EM DIRETRIZES MUNICIPAIS / APROVAÇÃO**
 - LIMITE DE BACIA - MANANCIAL PIRAJIBU-MIRIM**
 - TRECHO CÔRREGO PIRAJIBU-MIRIM COM ÁREA DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE - APP DE 30,00metros**
 - ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA - ETA (EXISTENTE)**
 - ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO - ETE (EXISTENTE)**
 - ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO - ETE (PROPOSTA)**
 - LIMITE DE MUNICÍPIO**
 - BAIRRO CAPUTERA**

LEGENDA/ZONAS

- ZC - Zona Central**
- ZPI - Zona Predominante Institucional**
- ZI 1 - Zona Industrial 1**
- ZI 2 - Zona Industrial 2**
- ZR1 - Zona Residencial 1**
- ZR2 - Zona Residencial 2**
- ZR3 - Zona Residencial 3**
- ZCH - Zona de Chácara Urbanas**
- ZCA - Zona de Conservação Ambiental**
- ZR - Zona Rural**
- ZR3 exp - Zona Residencial 3 - expandida**

Zona objeto de disposição normativa, declarada Inconstitucional por decisão judicial proferida pelo Órgão Especial do Tribunal de Justiça de São Paulo, na Ação Direta de Inconstitucionalidade nº 2138826-16.2016.8.26.0000 de 01/02/2017

TÍTULO

ZONEAMENTO MUNICIPAL

ELABORAÇÃO

PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SOROCABA - SP
SECRETARIA DE MOBILIDADE, DESENVOLVIMENTO URBANO E OBRAS - SEMOB
ÁREA DE DESENVOLVIMENTO URBANO E LICENCIAMENTO
DIVISÃO DE PLANO DIRETOR

DATA

MARÇO/2018

MAPA

02 - A

REVISÃO

DIVISÃO DE PLANO DIRETOR - SEPLAN
DATA: 10/11/2017 - IDENTIFICAÇÃO DAS ÁREAS OBJETO DE ADI
15/01/2018 - CORREÇÃO DA EMENDA 34, CONFORME PARECER SAJ DE 18/12/2017.
12/02/2018 - CORREÇÃO DA EMENDA 174.

Anexo 2. Mapa de Zoneamento de Sorocaba-SP. Adaptado de PMS (2018). Cabe ressaltar que ao longo do texto da tese foi utilizado o mapa de zoneamento aprovado no Plano Diretor PMS (2014).