



RAPHAEL HIPÓLITO DOS SANTOS

**A UTILIZAÇÃO DE MÉTODOS DE CONECTIVIDADE DA PAISAGEM
PARA PREVER A ALOCAÇÃO DE MEDIDAS MITIGATÓRIAS AOS
ATROPELAMENTOS DE FAUNA**

BAMBUÍ – MG

2021

RAPHAEL HIPÓLITO DOS SANTOS

**A UTILIZAÇÃO DE MÉTODOS DE CONECTIVIDADE DA PAISAGEM
PARA PREVER A ALOCAÇÃO DE MEDIDAS MITIGATÓRIAS AOS
ATROPELAMENTOS DE FAUNA**

Dissertação apresentada ao Instituto Federal de Minas Gerais – Campus Bambuí, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental.

Linha de Pesquisa: Ecologia Aplicada.

Orientador (a): Prof. Dra. Ludimilla Portela Zambaldi Lima Suzuki

Coorientador (a): Prof. Dra. Paula Ribeiro Prist

BAMBUÍ – MG

2021



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS GERAIS
 Campus Bambuí
 Diretoria Geral
 Diretoria de Pesquisa, Inovação e Pós-graduação
 Seção de Pós-Graduação
 Av. Professor Mário Werneck, 2590 - Bairro Buritis - CEP 30575-180 - Belo Horizonte - MG
 31 3431 4900 - www.ifmg.edu.br

PARECER Nº 10

FICHA DE APROVAÇÃO

Dissertação de Mestrado, intitulada “UTILIZAÇÃO DE MÉTODOS DE CONECTIVIDADE DA PAISAGEM PARA PREVER A ALOCAÇÃO DE MEDIDAS MITIGATÓRIAS AOS ATROPELAMENTOS DE FAUNA”, de autoria do mestrando em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental, **Raphael Hipólito dos Santos**, aprovado pela Banca Examinadora de Defesa, em 08/10/2021, com a média de **92,67 pontos**.

A análise das correções finais da dissertação sugeridas pela Banca Examinadora será feita somente pela professora orientadora.

A Defesa Pública contou com a presença de público interno do MPSTA (**discentes Mariana Gontijo Clementino; Tainara Silveira Leal Chieri e Viterbo Santos Laurindo**), que após a divulgação da defesa pela Secretaria do MPSTA manifestaram interesse em assisti-la, dessa forma houve o cadastro e a liberação do link de acesso por parte da presidente da banca.

Bambuí (MG), 08 de outubro de 2021.



Documento assinado eletronicamente por **Clarissa Alves da Rosa, Usuário Externo**, em 10/10/2021, às 12:06, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **BRUNO SENNA CORREA, Usuário Externo**, em 11/10/2021, às 05:42, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Ludimilla Portela Zambaldi Lima Suzuki, Professora**, em 11/10/2021, às 10:16, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Paula Ribeiro Prist, Usuário Externo**, em 14/10/2021, às 18:23, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Jairo Rodrigues Silva, Professor**, em 20/10/2021, às 10:25, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.

A autenticidade do documento pode ser conferida no site <https://sei.ifmg.edu.br/consultadocs> informando o código verificador **0976973** e o código CRC **74A3D885**.

https://sei.ifmg.edu.br/sei/controlador.php?acao=procedimento_trabalhar&acao_origem=procedimento_controlar&acao_retorno=procedimento_c... 1/2



S237u Santos, Raphael Hipólito dos.
A utilização de métodos de conectividade da paisagem para prever a alocação de medidas mitigatórias aos atropelamentos de fauna. / Raphael Hipólito dos Santos. – Bambuí, 2021.
110 f.: il.; color.

Orientadora: Prof^a Dra Ludimilla Portela Zambaldi Lima Suzuki.
Dissertação (Mestrado) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus Bambuí, MG, Curso Mestrado Profissional em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental, 2021.

1. Conservação. 2. Fragmentação de habitat. 3. Teoria dos circuitos. I. Suzuki, Ludimilla Portela Zambaldi Lim V. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus Bambuí, MG. III. Título.

CDD 502

AGRADECIMENTOS

Superar obstáculos é parte do cotidiano do ser humano. Citando C.S Lewis “você nunca é tão velho para ter uma nova meta ou para sonhar um novo sonho...”.Agradeço a Deus pela cruz, pela graça e por ter me sustentado nesta jornada. Tudo que conquistei são dádivas inimagináveis em minha vida.

Agradeço a Alliny, meu amor, pelo carinho, companheirismo, amizade, por me ajudar a acreditar que seria possível realizar este sonho e nunca desistir, mesmo quando o planejamento dava errado. Só tenho a agradecer por ter você em minha vida. Agradeço aos meus pais, Levi e Marta, que me ensinaram o caminho que deveria trilhar, pelo apoio e incentivo. Ao meu irmão, Marcus Vinícius, pelas risadas, companheirismo e por “quebrar o galho” sempre que necessário.

Agradeço a Dra. Paula Ribeiro Prist, por ser um exemplo de profissional, pela disponibilidade, paciência, incentivo e pelos ensinamentos e contribuição significativa no meu desenvolvimento profissional. À minha orientadora, Dra. Ludimilla Portela Zambaldi Lima Suzuki pelas revisões, incentivo e contribuições que foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho e meu desenvolvimento profissional/acadêmico.

Agradeço aos meus amigos e colegas de trabalho que contribuíram diretamente na minha pesquisa, em especial ao Rafa Liberal, por quebrar todos os galhos possíveis no ArcGis. Agradeço aos meus amigos Henrique Arsênio e Tiago Saimon pelas risadas, churrascos e incentivo incondicional. Ao meu colega de turma, Rafael Sander, pelas risadas, parceria e desabafos.

A todos que contribuíram direta ou indiretamente na elaboração deste trabalho, meus mais sinceros agradecimentos.

BIOGRAFIA

Discente: Raphael Hipólito dos Santos

Data de nascimento: 02/03/1986

Filiação: Levi Lima dos Santos

Marta Cecília Hipólito dos Santos

Naturalidade: Belo Horizonte

Estado: Minas Gerais

Informações Escolares:

Ensino Médio: Colégio Tiradentes PMMG – Unidade Contagem

Curso Superior:

- Bacharelado e Licenciatura em Ciências Biológicas – Ênfase em Gestão Ambiental, pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais – PUC (2004-2008).

Experiência Profissional: Consultor ambiental do tema mastofauna entre os anos de 2008 e 2014, sendo o responsável técnico em diversos projetos relacionados a implantação e operação de empreendimentos rodoviários, ferroviários e minerários, nos estados de Minas Gerais, Maranhão, Pará, Mato Grosso, Goiás, São Paulo, Rio de Janeiro, Pernambuco e Alagoas. A partir de 2014, assume a gerência e coordenação de equipes, além do planejamento e desenvolvimento de projetos na temática do licenciamento ambiental, desempenhando a gestão financeira e de pessoal, relacionamento com cliente, revisão de estudos e produtos e atendimento as condicionantes de órgãos ambientais.

RESUMO

A conectividade é uma das principais estratégias para conservação da biodiversidade em paisagens fragmentadas, pois auxilia na dinâmica do habitat e na movimentação das espécies pela paisagem. A conectividade tem um papel essencial na mitigação do atropelamento da fauna, uma vez que o maior objetivo é reconectar as populações através do incremento da conectividade estrutural e diminuir o risco de mortalidade por atropelamentos nas rodovias. Neste sentido, testamos a eficácia de diferentes metodologias na alocação de medidas de mitigação para fauna, usando como modelo um trecho da BR-101, no estado do Rio de Janeiro. Modelos de conectividade da paisagem foram comparados com o método de análise de agregação de atropelamentos, usando um conjunto de dados de 525 atropelamentos no período de 2010-2016. Nossos resultados indicaram que o método de conectividade da paisagem consegue prever um número maior de pontos de alocação de medidas de mitigação para todos os grupos da fauna, uma vez que indicou 190 potenciais pontos para alocação de medidas de mitigação, enquanto o método de análise de agregação de atropelamentos indicou 59 pontos. Os resultados encontrados demonstram a importância de se considerar outras variáveis, como o uso do solo e conectividade do habitat para implantação de medidas de mitigação. O método de conectividade pode ser considerado uma ferramenta eficaz, visto que pode trazer resultados mais acurados sobre os diversos potenciais pontos de deslocamento das espécies pelas rodovias e se classifica como uma metodologia menos onerosa financeiramente. Com base na ampla base de dados e utilizando a teoria dos circuitos, é possível propor cenários e locais de implantação de medidas mitigatórias segundo as características dos grupos de espécies, sendo estas mais efetivas para conservação da biodiversidade em paisagens fragmentadas e com menor custo para a iniciativa pública/privada.

Palavras-Chave: conservação, fragmentação de habitat, teoria dos circuitos, ecologia da paisagem, efeitos das rodovias.

ABSTRACT

Connectivity is one of the main strategies for biodiversity conservation of fragmented landscapes because it helps habitat dynamics and species movement through the landscape. Connectivity has an essential role in fauna running over mitigation due to its principal objective, which is to reconnect the population increasing structural connectivity and minimizing running over mortality risk on the roads. In this regard, we tested the efficacy of different methodologies in the allocation of mitigation measures of fauna, using as a model a stretch of BR-101, in Rio de Janeiro state. Connectivity models of the landscape were compared with the aggregation analysis method of running overs, using a data group of 525 running overs in the years from 2010 to 2016. Our results indicated that the connectivity method of the landscape is able to predict a superior number of allocation points for mitigation measures for all fauna groups, since it indicates 190 potential points for allocation of mitigation measures, while the aggregation analysis method of running overs indicates 59 points. The results achieved showed the necessity to consider other variables, such as soil usage and habitat connectivity, for mitigation measures implementation. The connectivity method can be considered to be an efficient tool because it can inform more accurate results about several potential points of animal displacement over the roads, and it is a less costly methodology. Based on the great database and using circuit theory, it is possible to propound scenarios and places for mitigation measures implementation, according to characteristics of each group of species. This is more effective for biodiversity conservation in fragmented landscapes, and it is a lower cost for public and private enterprises.

Keywords: conservation, habitat fragmentation, circuit theory, landscape ecology, roads effect.

Lista de Figuras

Figura 1. Localização da área de estudo da rodovia BR-101 entre os municípios de Niterói e Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro.....	24
Figura 2. Uso e ocupação do solo na área de estudo BR – 101 e áreas do entorno (Buffer de 15 km).	25
Figura 3. <i>Buffer</i> de 100 metros, 1 km e 5 km ao longo da área de amostragem da BR-101 para seleção dos fragmentos florestais e elaboração das matrizes de resistência.	31
Figura 4. Uso e cobertura do solo ao longo da rodovia e <i>Hotspots</i> de atropelamentos registrados ao longo da BR-101, Trecho de Niterói a Campos dos Goytacazes.	35
Figura 5. <i>Hotspots</i> de atropelamentos das espécies arbóricolas associadas aos resultados de conectividade registrados ao longo da BR-101, Trecho de Niterói a Campos dos Goytacazes.....	38
Figura 6. <i>Hotspots</i> de atropelamentos das espécies especialistas de baixa capacidade de deslocamento, associadas aos resultados de conectividade registrados ao longo da BR-101, Trecho de Niterói a Campos dos Goytacazes.....	39
Figura 7. <i>Hotspots</i> de atropelamentos das espécies especialistas de média capacidade de deslocamento, associadas aos resultados de conectividade registrados ao longo da BR-101, Trecho de Niterói a Campos dos Goytacazes.....	41
Figura 8. <i>Hotspots</i> de atropelamentos das espécies especialistas de alta capacidade de deslocamento, associadas aos resultados de conectividade registrados ao longo da BR-101, Trecho de Niterói a Campos dos Goytacazes.....	42
Figura 9. <i>Hotspots</i> de atropelamentos das espécies generalistas de baixa capacidade de deslocamento, associadas aos resultados de conectividade registrados ao longo da BR-101, Trecho de Niterói a Campos dos Goytacazes.....	44
Figura 10. <i>Hotspots</i> de atropelamentos das espécies generalistas de média capacidade de deslocamento, associadas aos resultados de conectividade registrados ao longo da BR-101, Trecho de Niterói a Campos dos Goytacazes.....	46
Figura 11. <i>Hotspots</i> de atropelamentos das espécies generalistas de alta capacidade de deslocamento, associadas aos resultados de conectividade registrados ao longo da BR-101, Trecho de Niterói a Campos dos Goytacazes.....	47

Lista de Tabelas

Tabela 1. Matrizes de resistência elaboradas a partir do mapeamento de uso e ocupação do solo da BR-101, Trecho Niterói-Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro. Valores foram definidos com base em conhecimento especializado.	28
Tabela 2. Lista de espécies, nome popular, número de atropelamentos e status de conservação de Mamíferos, Répteis e Anfíbios atropelados registrados entre os anos de 2010-2016 na BR-101, Trecho Niterói-Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro. Status de conservação seguem ICMBIO (2018) e IUCN (2020).	33
Tabela 3. Número de <i>Hotspots</i> de agregação de atropelamento indicados pela análise do KDE e pontos das análises de conectividade do <i>Circuitscape</i> registrados na área de estudo da BR-101, Trecho Niterói-Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, incluindo sua localização (Km) na rodovia.	36

Sumário

1. INTRODUÇÃO	12
2. REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1. Atropelamentos da Fauna	14
2.2. Influência da Paisagem Sobre as Espécies	15
2.3. Conectividade de Habitat	18
2.4. Teoria dos Circuitos	20
2.5. Utilização de <i>hotspots</i> para Alocação de Medidas Mitigatórias	21
3. METODOLOGIA	22
3.1. Área de Estudo	22
3.2. Base de Dados	23
3.3. Agregações de Atropelamentos	25
3.4. Matrizes de Resistências	26
3.5. Análise de Conectividade da Paisagem	32
3.6. Análise de Dados	32
4. RESULTADOS	33
4.1. <i>Agregações (hotspots)</i> de Atropelamentos e Análise de Conectividade	35
5. DISCUSSÃO	48
6. CONCLUSÃO	52
7. REFERÊNCIAS	53
APÊNDICE	61

1. INTRODUÇÃO

A implantação e operação de estradas e rodovias, embora sejam fundamentais para o desenvolvimento do país, resultam na perda e fragmentação de habitats, e representam um risco potencial para o meio ambiente circundante, gerando impactos ambientais significativos (FORMAN & ALEXANDER, 1998), alterando tanto seus componentes bióticos quanto os abióticos. Dentre os componentes abióticos, as estruturas de transporte afetam a hidrologia, os níveis de ruído, vento e luz, o depósito de sedimentos e a química do ar e da água (COFFIN, 2007). Já no caso dos componentes bióticos, o maior impacto é a mortalidade de exemplares da fauna durante a construção das vias e, após a construção, por atropelamento resultando em mudanças nas dinâmicas de suas populações em consequência do efeito barreira (TROMBULAK & FRISSELL, 2000).

Esses impactos, quando frequentes, podem resultar em alterações nas taxas de movimento de indivíduos dentro de suas áreas de vida (MCGREGOR et al., 2008), criando subpopulações isoladas e geneticamente distintas, afetando sua viabilidade e persistência (MADER, 1984). Deste modo, a mortalidade de indivíduos por atropelamento, associada aos efeitos de fragmentação e diminuição de conectividade, são os principais problemas para a fauna com consequente risco de extinção local de espécies (MADER, 1984; FORMAN, 2000; MCGREGOR et al., 2008).

Geralmente, a localização dos atropelamentos de fauna em rodovias é determinada por diversos fatores, como o tráfego de veículos, características da estrada e, principalmente, a estrutura da paisagem. As ações de mitigação dos impactos das rodovias na fauna silvestre, principalmente para os mamíferos de médio e grande porte, que possuem grande capacidade de deslocamento, são extremamente dispendiosas. Além disso, questões sobre qual o método mais eficaz para se determinar a correta localização geográfica para alocação dessas medidas ainda permanecem em aberto. Sabe-se que a identificação e contagem de espécimes atropelados não é a melhor estratégia para alocação de medidas de mitigação, principalmente por ter uma alta variação no tempo e espaço (CRAWFORD et al. 2013; CLEVINGER et al. 2003; RAMP et al. 2005). Deste modo, testar outras metodologias para a melhor alocação de medidas de mitigação é crucial para o desenvolvimento de estratégias mais efetivas que minimizem as taxas de mortalidade de animais silvestres nas estradas e propiciem a

conectividade estrutural e funcional da paisagem, perdida com a alocação das rodovias (MALO et al. 2004).

Sabe-se que diferenças na geometria e uso das rodovias podem influenciar a fauna de distintas formas e que os atropelamentos de animais são concentrados em pontos específicos nas rodovias (SEILER, 2001; MALO et al. 2004; RAMP et al. 2005). Um dos padrões observados é que a fauna evita rodovias largas e com maior número de pistas (SEILER, 2001), enquanto um maior número de mortes por atropelamentos ocorre em rodovias estreitas e com menor número de pistas. Em adição, o fluxo de veículos é um fator determinante. Rodovias com tráfego médio (5000 veículos por dia), tendem a provocar um maior número de mortes por atropelamento quando comparado à rodovias com tráfego inferior ou superior (MALO et al. 2004).

Além disso, os aspectos ecológicos e comportamentais de cada espécie influenciam nos padrões observados pelo impacto das estradas. A estrutura da paisagem lindeira nas rodovias têm papel fundamental em determinar e prever os atropelamentos das espécies. *Hotspots* de atropelamento têm sido relacionados com características da paisagem como: fragmentos similares dos dois lados da rodovia (LANGEN et al. 2012) e a presença de vegetação ao longo das rodovias, que, alberga elevado número de espécies aptas a atravessarem as vias (CARR et al., 2002).

Decisões sobre iniciativas de conservação (mitigações dos impactos das rodovias) devem otimizar os custos e minimizar os recursos consumidos (MCDONALD-MADDEN et al. 2008). Fundos limitados podem resultar em estudos pouco acurados e incompletos, realizados em um curto espaço de tempo, levando a decisões errôneas sobre a localização de medidas de mitigação. Portanto, é imprescindível, que novas ferramentas e metodologias sejam testadas e estejam prontas para uso, somando o baixo custo à melhor eficácia de resultados do que as que são geralmente utilizadas.

Com isso, nosso objetivo foi avaliar a eficácia de diferentes metodologias na alocação de medidas de mitigação do atropelamento da fauna com diferentes requerimentos ecológicos. Para isso, modelos de conectividade da paisagem e teoria dos circuitos foram associados à diferentes padrões de deslocamentos de anfíbios, répteis e mamíferos, e comparados com dados de atropelamentos para esses grupos. O objetivo principal desse trabalho foi avaliar se métodos de conectividade da paisagem podem identificar corretamente a alocação de medidas

de mitigação para diferentes grupos de fauna, usando a BR-101, trecho de Niterói a Campos dos Goytacazes, no estado do Rio de Janeiro, como objeto de estudo. Nossa hipótese é de que o método de conectividade da paisagem consegue prever um número maior de pontos de alocação de medidas de mitigação do que o método usual de atropelamento utilizado, e que pode ser um método eficaz para os grupos que possuem hábitos especialistas, independente da sua capacidade de deslocamento.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Atropelamentos da Fauna

Diversos estudos têm abordado a temática de ecologia de estradas, que relaciona a influência e impacto das estradas sobre a biodiversidade. Os impactos incluem alterações negativas na dispersão de plantas, atração da fauna e consequente atropelamento, emissão de ruídos e alteração nos níveis de luminosidade. Estradas e rodovias podem ainda causar isolamento e fragmentação de ambientes e, por ser a única forma de acesso à área de vida das espécies, forçar populações de animais a cruzá-las, o que aumenta a probabilidade de colisão com automóveis (TROMBULAK & FRISSELL, 2000).

Jaeger e colaboradores (2005) têm mostrado que a atratividade dos animais às estradas é bastante diversa, muitos grupos são repelidos pelas rodovias. Estes sofrem impacto em suas áreas de vida, mas dificilmente são atropelados. Há também aqueles grupos animais que são atropelados em proporções relativamente baixas e por isso não parecem responder diretamente à presença de rodovias. Mas há um grupo vasto de vertebrados (diversas espécies e, por vezes, grande quantidade de indivíduos de algumas espécies) que são atraídos para a estrada pela disponibilidade de alimento, para realização da termorregulação ou locomoção na paisagem. Estes últimos grupos estão sujeitos à colisão em proporções mais significativas.

Diversos estudos (BENCKE & BENCKE, 1999; LIMA & OBARA, 2004; ROSA & MAHUS, 2004) apontam que os atropelamentos de animais estão relacionados ao tipo de uso do solo lindeiro à rodovia (fragmentos florestais, silvicultura), sazonalidade e comportamento das espécies (PINOWSKI, 2005). Mamíferos de grande e médio porte, por exemplo, movem-se à noite ao longo de estradas com pouco tráfego, enquanto animais carniceiros deslocam-se por estradas procurando por carcaças (FORMAN & ALEXANDER, 1998). Os anfíbios possuem baixa mobilidade e pequena área de vida e, devido às alterações no microclima a

composição de espécies varia ao se comparar o interior de áreas florestais a áreas próximas à estrada, mesmo que estejam na mesma região, (VARGAS-SALINAS et al., 2011). Para este grupo, portanto deve-se considerar essa composição quando se verifica o impacto dos atropelamentos sobre esses animais. Geralmente, o atropelamento de répteis e anfíbios é positivamente relacionado com o fluxo de veículos diários (CÁCERES et al., 2010; COELHO et al., 2008, ATTADEMO et al., 2011), enquanto, para aves essa relação é inversa, com as maiores taxas de atropelamentos relacionadas às áreas de menor fluxo de veículos (ATTADEMO et al., 2011). Ainda para aves, áreas com maior oferta de alimentos representam atrativo, como rodovias imersas em matrizes agrícolas, por exemplo em plantio de arroz ou áreas alagadas, registrando altas taxas de atropelamentos (ROSA & BAGER, 2012).

Porém, os dados de atropelamentos não são homogêneos entre os diferentes grupos de vertebrados. As metodologias adotadas muitas vezes favorecerem a inclusão de dados relativos a determinados grupos, em detrimento de outros, resultando em uma maior incidência de registro para determinadas espécies (TROMBULAK & FRISSEL, 2000; FAHRIG & RYTWINSK, 2009). Isso faz com que os impactos gerados não sejam mensurados corretamente. Consequentemente, as medidas de alocação baseadas nesses dados terão um viés e serão ineficientes na mitigação o impacto gerado.

2.2. Influência da Paisagem Sobre as Espécies

A infraestrutura ligada ao transporte rodoviário e ferroviário interfere na rotina de quase todo ser humano, seja por motivos diretos, como viagens de lazer e trabalho, ou indiretos, como é o caso do transporte de produtos e matérias primas, garantindo nossa subsistência e manutenção de modelos de organização estrutural e social (FORMAN et al., 2003). As redes de transporte desenvolvem um papel importante no desenvolvimento social e econômico, interagindo com a paisagem circundante, determinando o nível e o tipo de uso e ocupação do solo ligado as atividades antrópicas em diferentes regiões (FORMAN et al., 2003). Portanto, ela é um dos principais determinantes da paisagem de uma região.

De acordo com Metzger (2001), paisagem pode ser definida como áreas espacialmente heterogêneas, constituídas de mosaicos de manchas de habitat. A estrutura da paisagem é geralmente definida em termos de composição e configuração (DUNNING et al., 1992). Estes são respectivamente, o tipo e quantidade de cada mancha presente na paisagem, e a relação

espacial entre eles (LANGLOIS et al. 2001). Alguns aspectos da configuração utilizados para distinguir diferentes paisagens incluem: o número de fragmentos, a agregação do habitat e a complexidade do formato dos fragmentos (BENNETT & SAUNDERS, 2010). A fragmentação de habitat é diferente da perda de habitat, pois fragmentação reflete aspectos de configuração (e.g. número de fragmentos de habitat, densidade de borda, formato da mancha), e não apenas a quantidade total de habitat disponível em uma paisagem (SWIFT & HANNON, 2010). Assim, a fragmentação de habitat é um componente da configuração da paisagem (LANGLOIS et al. 2001; MCGARIGAL & CUSHMAN, 2002), sendo geralmente definida como um processo em que uma grande extensão de habitat é transformada em uma série de pequenas manchas de menor área, isoladas umas das outras por uma matriz de habitat diferente da original (WILCOVE et al. 1986; VAN DEN BERG et al. 2001; EWERS & DIDHAM, 2006).

Os efeitos negativos das estradas podem ser observados no meio abiótico e na perda de biodiversidade (COFFIN, 2007). Dos componentes abióticos da paisagem, são afetados negativamente: hidrologia, a sedimentação e transporte de detritos, composição química do ar e da água, nível de ruídos, luminosidade e microclima da área entorno. Já os efeitos bióticos podem ser classificados como diretos ou indiretos. Nos efeitos diretos estão inclusas as mudanças e os impactos causados pelo contato humano e pelas atividades humanas de uso da paisagem, inclusive a retirada de vegetação para a construção da estrada e a fragmentação do habitat natural. Ocorre ainda a mortalidade de animais silvestres em movimento quando ocorrem colisões com veículos durante o fluxo de trânsito. Indiretamente ocorre efeito de borda resultando na alteração do microclima e luminosidade, podendo reter os indivíduos de interior de mata em uma área de vida reduzida, alterando as populações de flora e fauna, e ainda facilitando a instalação de espécies exóticas oportunistas (FORMAN et al., 2003; COFFIN, 2007; LAURANCE et al., 2009).

Os efeitos da fragmentação de habitat na riqueza de espécies vêm sendo estudados utilizando-se as teorias de biogeografia de ilhas (MACARTHUR & WILSON, 1967) e de metapopulação (LEVINS, 1969). A teoria de biogeografia de ilhas considera que ilhas maiores possuem um maior número de espécies do que ilhas menores (MACARTHUR & WILSON, 1967) e que o declínio no número de espécies em ilhas menores se deve a estas ilhas serem amostras aleatórias das áreas fontes; e o conceito de metapopulação considera que a persistência das espécies depende da colonização e extinção das populações locais

(LEVINS, 1969). Estas duas teorias estão relacionadas, pois trabalham com o mesmo processo fundamental de ecologia populacional, a colonização e extinção de populações em habitats fragmentados ou em ilhas (ANDRÉN, 1994). A partir disso, espera-se que pedaços de habitat menores e mais isolados em uma paisagem tenham uma riqueza de espécies relativamente menor, assim como uma menor abundância e maior risco de extinção das populações (BENDER et al. 2003).

Mas a área do fragmento e o isolamento, sozinhos, nem sempre são responsáveis pelas mudanças observadas na composição das espécies em habitats fragmentados. Outras características estruturais da paisagem como o formato dos remanescentes de habitat, sua distribuição na paisagem (FAHRIG & MERRIAM, 1994), a extensão da borda, a matriz circundante e as perturbações passadas podem influenciar fortemente a resposta das espécies (LAURANCE, 1997). Algumas mudanças na estrutura da paisagem, como a redução na proporção de um tipo de habitat ou o aumento do isolamento do fragmento, podem, por exemplo, alterar a habilidade de dispersão dos organismos (FAHRIG & MERRIAM, 1994).

Como a estrutura da paisagem determina a presença e deslocamento das espécies, ela consequentemente acaba determinando a ocorrência dos atropelamentos: há uma variedade de associações entre a estrutura da paisagem e os atropelamentos, e essas associações são influenciadas pelas características dos taxa atropelados. Fisher (1997) relaciona rios e outras áreas úmidas no entorno da estrada à concentração de atropelamentos, enquanto Grilo et. al. (2009) afirmam que a presença de reservatórios de água no entorno de rodovias é relevante especialmente para o atropelamento de anfíbios e mamíferos com hábitos aquáticos. Entre os aspectos relacionados à distribuição espacial dos atropelamentos, merecem destaque a densidade populacional dos animais (LEE et. al., 2004), a distribuição espacial dos habitats, a estrutura da paisagem, às características inerentes aos animais (GOMES et. al., 2009; GRILO et. al. 2009) e as características das estradas e do tráfego que cruza a rodovia (CLEVENGER et. al., 2003).

É comum, em rodovias que cruzam áreas de predominância de banhados, alagados, lagoas e outros ecossistemas úmidos, uma elevada proporção de atropelamento de anfíbios, que são, frequentemente, considerados como um grupo altamente vulnerável ao atropelamento entre os vertebrados terrestres (TROMBULAK & FRISSEL, 2000). Esta condição de vulnerabilidade dos anfíbios parece estar associada ao fato desses animais

praticamente não evitarem estradas, pois seu desenvolvimento depende, frequentemente, do deslocamento entre habitats; terem locomoção lenta (são pouco eficientes para desviar dos veículos); além de serem pequenos e de difícil visualização pelos motoristas (GUIMARÃES et al., 2018).

Utilizando a análise de componentes principais Rezini (2010) em paisagens majoritárias na região sudeste do Brasil, identificou uma relação significativa direta entre a presença de agricultura e os atropelamentos de fauna e uma relação inversa entre as variáveis de métrica da paisagem relacionadas à vegetação (proporção de florestas, área média dos fragmentos florestais, índice de proximidade média entre fragmentos florestais) em cada trecho da rodovia. O autor explica isso pelo fato de as três espécies mais atropeladas representarem 77% dos registros e incluírem animais generalistas que podem se beneficiar de áreas agrícolas (REZINI, 2010).

Forman (1995) ressalta que a composição de uma paisagem é parte fundamental para a compreensão de diversos processos ecológicos no ambiente, dentre eles destaca-se o processo de fragmentação. Dessa forma, a proposta da ecologia da paisagem não é apenas descrever a paisagem, mas promover integração da heterogeneidade espacial dos ambientes e analisar, explicar e compreender as alterações que ocorrem nela (LANG; BLASCHKE, 2009), tornando os estudos dessa ciência ainda mais aplicados para a resolução de problemas ambientais.

2.3. Conectividade de Habitat

A habilidade dos animais de mover-se entre os fragmentos é um dos fatores mais importantes para a dinâmica populacional das paisagens fragmentadas. Durante o processo de fragmentação, a dispersão e colonização de uma espécie pode ser limitada, devido às criações de barreiras acarretando graves consequências, podendo resultar na extinção local da espécie. Dessa forma, a conectividade entre fragmentos colabora para a manutenção da dinâmica populacional, sendo uma função oposta ao da fragmentação (FORMAN e GODRON, 1986). A conectividade é o grau no qual uma paisagem facilita ou restringe a mobilidade das espécies entre os fragmentos (TAYLOR et al. 1993). Segundo BENNETT e MULONGOY (2006), a conectividade de habitat está cada vez mais em foco, trazendo um patamar de maior significância dentro das políticas de conservação da natureza.

A conectividade pode ser classificada em estrutural e funcional (METZGER & DÉCAMPS, 1997; UEZU et al. 2005). A conectividade estrutural está relacionada ao padrão da paisagem e a densidade, largura, qualidade e complexidade dos corredores, a distância entre as manchas, a estrutura da matriz e a densidade dos trampolins ecológicos (METZGER & DÉCAMPS, 1997; BEIER & NOSS, 1998). Já a conectividade funcional é medida pela intensidade dos fluxos biológicos, sendo uma interação entre os aspectos estruturais da paisagem e a capacidade de uma espécie de interesse se movimentar através dela (SIEVING et al., 1996). Uma maior conectividade pode ser resultante de fluxos através dos corredores, trampolins ecológicos ou mesmo da matriz, caso esta seja mais permeável, com estrutura similar à da vegetação nativa (BEIER & NOSS, 1998).

Algumas estratégias para aumentar a conectividade da paisagem, ou promover incremento estrutural e funcional da mesma, é a alocação de corredores florestais e trampolins ecológicos (METZGER, 1999). Os trampolins ecológicos são pequenas manchas florestais, ou até mesmo árvores isoladas disseminadas pela matriz, que possuem a finalidade de aumentar a permeabilidade do habitat, reduzindo o efeito do isolamento e da distância entre fragmentos (METZGER, 1999). A conectividade depende não somente da estrutura da paisagem, dada por suas características físicas, como: isolamento, tamanho dos fragmentos, densidade e qualidade de corredores, quantidade de trampolins ecológicos, mas também da estrutura da matriz circundante (METZGER e DÉCAMPS, 1997).

Um dos principais efeitos das matrizes é a redução da conectividade, função essencial na paisagem, que representa a interação entre os organismos e a paisagem (D'EON et al., 2002) e determina o grau em que a paisagem facilita ou impede o movimento dos organismos entre as áreas de recurso (TISCHENDORF & FAHRIG, 2000). Além disso, a conectividade também é uma função da resposta comportamental dos organismos aos elementos da paisagem, como a habilidade de movimentação na paisagem, o risco de mortalidade nos elementos da paisagem e a taxa de movimentação entre as manchas de habitat na paisagem (TISCHENDORF e FAHRIG, 2000). Portanto, assim como a paisagem é percebida de forma distinta por diferentes espécies, o grau de conectividade também varia entre espécies diferentes (BENNETT, 2003). Neste contexto, as rodovias além de provocarem alterações na paisagem, ainda causam alterações comportamentais, dificultando ou até mesmo impedindo o deslocamento das espécies (ZIONI; FREITAS, 2015).

2.4. Teoria dos Circuitos

A manutenção da conectividade consiste em uma das principais estratégias de conservação da biodiversidade em paisagens fragmentadas, pois interfere na ocupação de manchas, na persistência da população e (re)colonização de manchas após perturbação, assim como sobre a troca de indivíduos e de genes em uma população (LINDENMAYER et al., 2006; GUARENGHI, 2018).

A estrutura da paisagem é composta por suas características físicas e topográficas, tamanho e isolamento dos fragmentos florestais, estrutura da matriz, quantidade e qualidade dos trampolins ecológicos (GUARENGHI, 2018), fatores estes que determinam a conectividade da paisagem (METZGER e DECAMPS, 1997). A habilidade de um organismo de se movimentar através dos elementos da paisagem é uma reação comportamental à estrutura da paisagem, associado ao risco de mortalidade destes pelo deslocamento nos elementos da paisagem, como as rodovias (TISCHENDORF e FAHRIG, 2000; GUARENGHI, 2018). Portanto, a paisagem é percebida de forma distinta por diferentes espécies, variando também o grau de conectividade entre espécies diferentes (BENNETT, 2003).

Neste contexto, a conectividade da paisagem tem sido abordada exponencialmente por meio da teoria dos circuitos (McRAE et al., 2008), que é utilizada na ecologia para simular fluxos genéticos de plantas, dispersão de animais, para identificar corredores e auxiliar na obtenção de métricas de conectividade e isolamento. Por meio da teoria de circuitos, as distâncias funcionais (denominadas distâncias de resistência) são obtidas considerando todas as possíveis alternativas de dispersão do animal na paisagem (McRAE et al., 2008). A partir de um mapa de superfície de resistência, a teoria de circuitos descreve a facilidade de movimentação dos organismos na paisagem (RAYFIELD et al., 2010).

A principal vantagem da utilização da teoria dos circuitos está na forma de obtenção das distâncias funcionais das espécies ou grupos. As distâncias funcionais (distâncias de resistência) são obtidas considerando simultaneamente todas as possíveis alternativas de dispersão do animal na paisagem, não se limitando apenas a um único caminho (McRAE et al., 2008; GUARENGHI, 2018). Ou seja, a distância de resistência engloba tanto a distância de mínimo custo quanto a disponibilidade de manchas alternativas, contabilizando

movimentos aleatórios entre as manchas e caminhos de dispersão redundantes (McRAE et al., 2008).

2.5. Utilização de *hotspots* para Alocação de Medidas Mitigatórias

A ecologia de estradas é uma área de pesquisa muito relacionada à ecologia, sendo majoritariamente formada por biólogos e ecólogos. Porém, a interação da temática com as características das paisagens onde estão inseridas as rodovias tem submetido os pesquisadores a buscar análises espaciais para entender os fenômenos observados. Dessa forma, é possível realizar o cruzamento dos registros de atropelamentos com uso do solo e análise da paisagem local, inferindo assim alternativas para mitigar os impactos de rodovias.

Através de dados da localização geográfica dos atropelamentos, é possível avaliar a distribuição espacial e detectar a existência e localização de zonas de agregação (*hotspots*), uma vez que os padrões de atropelamentos normalmente não são aleatórios (MALO et al., 2004). Conhecendo estes padrões de atropelamento, é possível implementar medidas de mitigação que visem reduzir esse impacto. Contudo, a intensa dinâmica da paisagem pode afetar a distribuição, abundância e movimentação da fauna, o que poderá resultar na alteração da distribuição espacial dos atropelamentos (COELHO et al., 2008).

O principal objetivo dos estudos sobre atropelamento de fauna é reduzir os acidentes e o prejuízo não somente à biodiversidade, mas também econômico e humano (CARVALHO, 2014). No Brasil, são poucos os estudos que abordam a espacialização e agregação de atropelamentos da fauna silvestres, assim como os que correlacionam estes locais a outras variáveis ambientais (COELHO et al., 2008; ESPERANDIO, 2011; CÁCERES et al., 2012; TEIXEIRA et al., 2013a), que avaliem os *hotspots* de atropelamentos de espécies domésticas (ESPERANDIO, 2011), a dinâmica dos atropelamentos frente a paisagem local (GUIMARÃES, 2018), ou ainda os estudos de dinâmica da paisagem.

A contagem de indivíduos atropelados e criação de *hotspots* não é a melhor estratégia para alocação de medidas de mitigação, principalmente porque eles variam temporal e espacialmente (CRAWFORD et al. 2013; CLEVINGER et al. 2003; RAMP et al. 2005). Neste contexto, a criação de medidas mitigatórias para o atropelamento animal não deveria levar em consideração apenas os critérios de *hotspots* de atropelamento, principalmente pela ausência de cruzamento com outras variáveis, como tipo de uso do solo. A correlação de

outras variáveis em relação aos atropelamentos, como uso e ocupação solo, fragmentação e conectividade do habitat devem ser ponderadas, visto que são elementos essenciais para o deslocamento das espécies que eventualmente, venham a ser atropeladas. Assim, a utilização de outros métodos analíticos, como a teoria dos circuitos, conjugado a informações sobre a paisagem circundante, podem trazer diretrizes mais acuradas quanto à alocação das medidas mitigatórias e que sejam menos dispendiosos financeiramente.

3. METODOLOGIA

3.1. Área de Estudo

A BR-101 é uma rodovia federal que cruza doze estados no Brasil, tendo uma importante função na malha rodoviária brasileira por conectar o sul, sudeste e nordeste brasileiro. No estado do Rio de Janeiro, a BR-101/RJ Norte liga as cidades de Niterói a Campos dos Goytacazes (Figura 1), possuindo um papel relevante sob o ponto de vista econômico, conectando a região norte da costa litorânea do estado do Rio de Janeiro e suas bacias petrolíferas, permitindo também acesso aos polos turísticos da região dos lagos e litoral sul Capixaba (ARTERIS, 2020). O volume diário médio (VDM) da rodovia é de 74 mil veículos, sendo 20% de veículos comerciais. A maior movimentação é registrada em Niterói, com cerca de 100 mil veículos. Na região Macaé, o volume diário médio de tráfego é de 15 mil veículos. No trecho próximo à divisa com o Estado do Espírito Santo, o volume diário médio de tráfego é de seis mil veículos (ARTERIS, 2020).

A área de estudo está inserida no domínio do bioma Mata Atlântica e o clima da região é do tipo Aw, de acordo com a classificação de Köppen, com estações climáticas bem definidas. A precipitação anual varia em torno de 2.230 mm e a temperatura média é de aproximadamente 24°C (CARVALHO et al., 2009). Atualmente, o estado do Rio de Janeiro possui 30,6% (cerca de 1,3 milhão de hectares) de cobertura vegetal nativa (PROBIO, 2004), em diferentes estágios sucessionais. Segundo a Fundação SOS Mata Atlântica (SOS MATA ATLÂNTICA, 2015) a cobertura florestal atual representa 435.530 hectares (10%) da Mata Atlântica original no estado do Rio de Janeiro e 28% de cobertura florestal a nível nacional (REZENDE et al., 2018).

3.2. Base de Dados

A base de dados utilizada de atropelamentos de vertebrados para a BR-101 (Figura 1) no estado do Rio de Janeiro é proveniente do Data Paper de Grilo et al., (2018), contendo dados compilados por diversos autores e coletados no período de 2010-2016. Para a área de estudo foram encontrados 525 eventos de atropelamentos pertencentes a quarenta e seis espécies distintas, que se dividem em três classes (Amphibia, Mammalia e Reptilia) e nove ordens distintas. A base de dados para mapeamento de uso do solo é proveniente da Fundação Brasileira da Biodiversidade Sustentável (<https://www.fbds.org.br/>). O mapeamento do uso e cobertura do solo foi obtido pela classificação supervisionada de imagens do sensor RapidEye, ano base 2013, realizado na escala de 1:10.000. Foram utilizadas imagens de 2013 devido à necessidade de uso de uma escala com maior detalhamento, sendo a de 2013 a única disponível para a área de estudo. Além disso, não houve alterações significativas na paisagem desde o ano de 2013 até o ano de registro dos atropelamentos, em 2016 (GARCIA et al., 2016; COSTA et al., 2016). As classes de uso do solo identificadas foram descritas como formação florestal, formação não florestal, água, área edificada, área antropizada, silvicultura e oceano (Figura 2). Considerando que a análise foi feita para a rodovia e paisagem circundante, foi extraído da classificação um *Buffer* de 15 km a partir do centro da rodovia BR-101 (Figura 2).

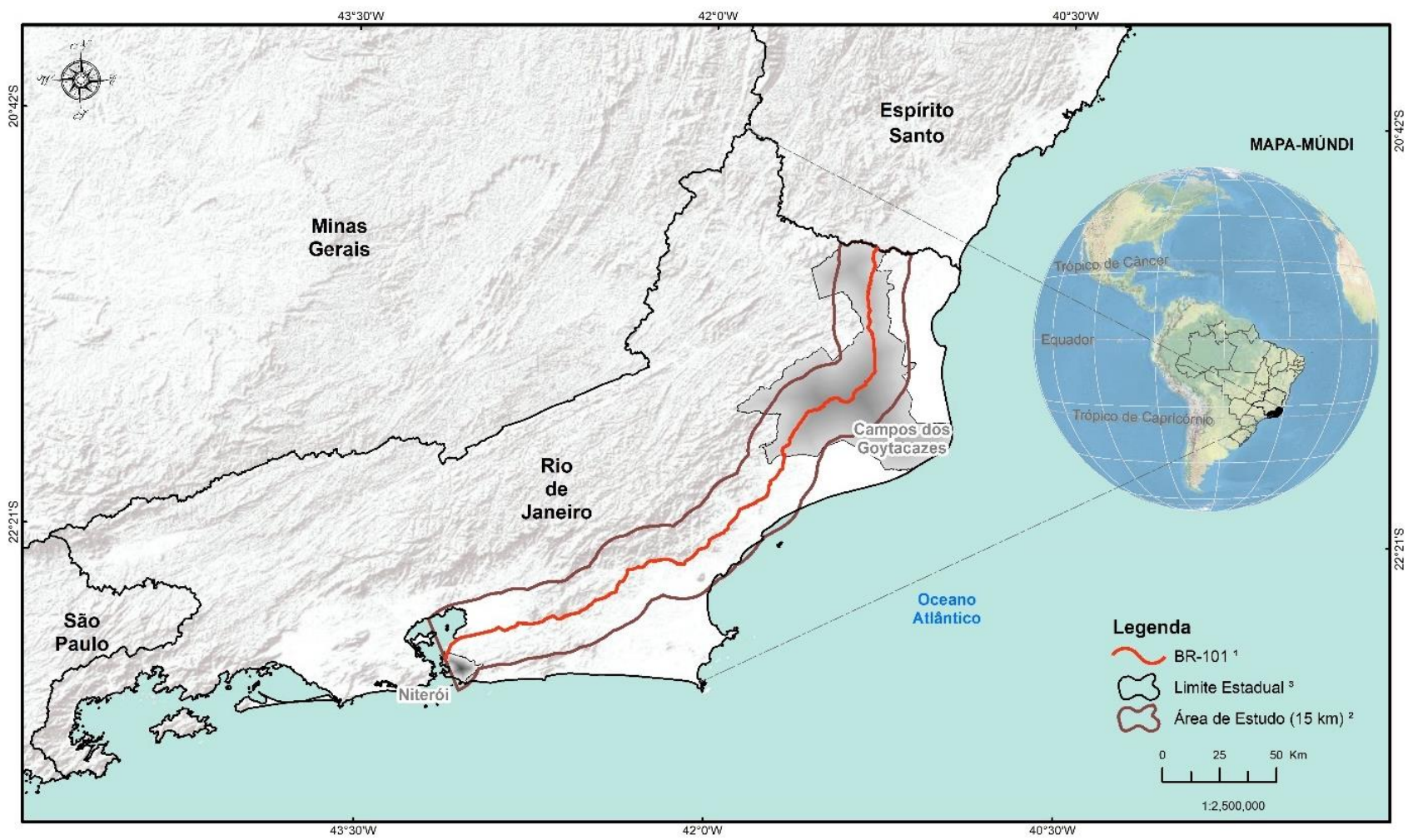


Figura 1. Localização da área de estudo da rodovia BR-101 entre os municípios de Niterói e Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro.

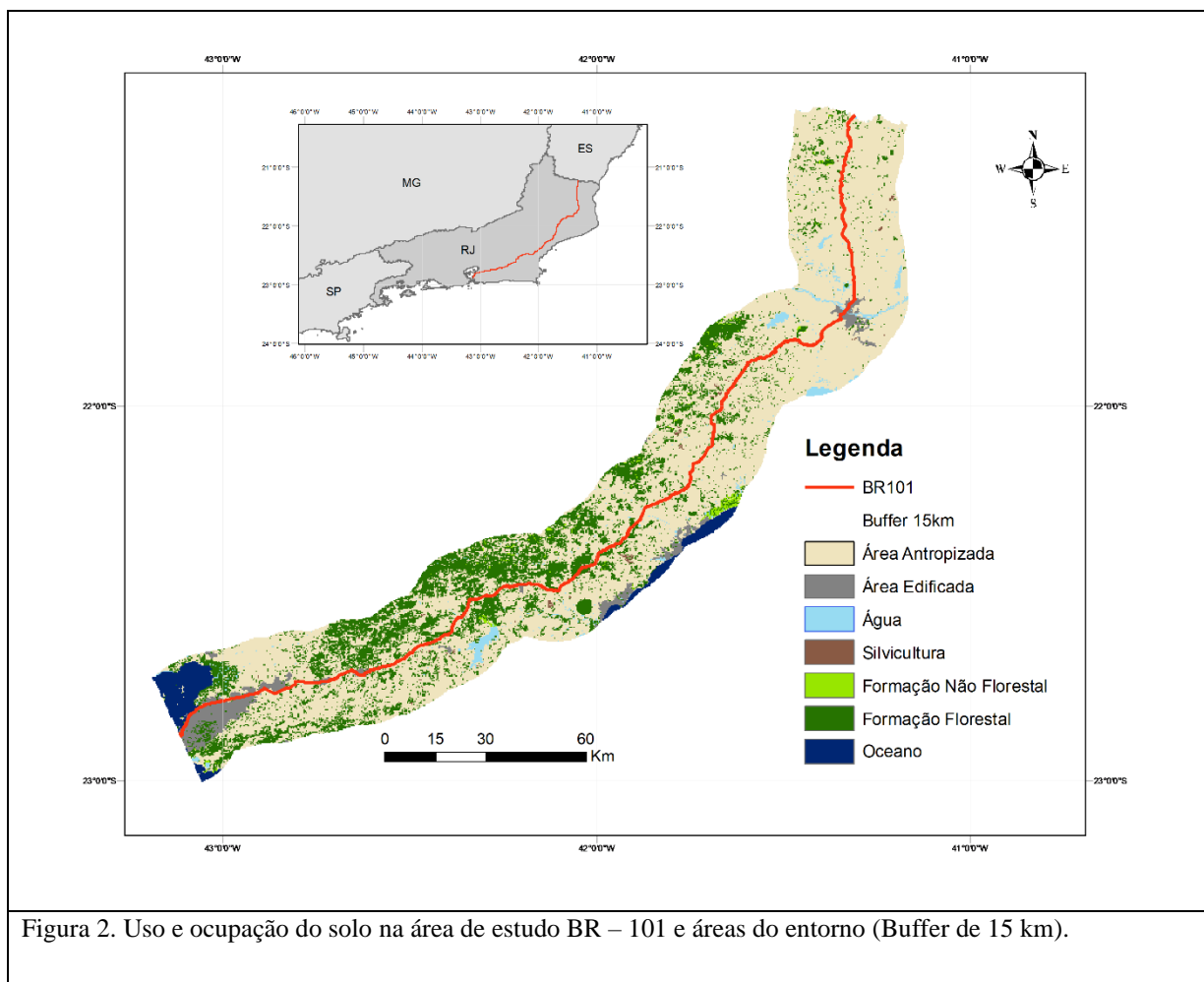


Figura 2. Uso e ocupação do solo na área de estudo BR – 101 e áreas do entorno (Buffer de 15 km).

3.3. Agregações de Atropelamentos

Cada registro de atropelamento foi categorizado segundo a classe da espécie atingida (anfíbios, mamíferos e répteis), de acordo com seu hábito locomotor (arborícola ou terrestre), segundo sua capacidade de deslocamento (baixa, média ou alta), e quanto à seletividade de habitat florestal (especialistas e/ou generalistas), segundo literatura específica. Dessa forma, os registros encontrados para BR-101 foram agrupados em: a) espécies arborícolas; b) espécies generalistas de baixa capacidade de deslocamento; c) espécies generalistas de média capacidade de deslocamento; d) espécies generalistas de alta capacidade de deslocamento; e) espécies especialistas de baixa capacidade de deslocamento; f) espécies especialistas de média capacidade de deslocamento; g) espécies especialistas de alta capacidade de deslocamento;

A classificação quanto à capacidade de deslocamento de mamíferos voadores e não voadores segue Reis et al., (2007; 2011), anfíbios seguem Tozetti e Toledo (2005) e consultas a especialistas do grupo. Para definição quanto a capacidade de deslocamento dos répteis,

foram utilizadas as informações disponíveis em Silva (2013; 2015), além de consultas a especialistas em répteis. Para a divisão das capacidades foi considerado: a) deslocamento baixo: espécies que possuem deslocamento médio de cerca de 250 metros por dia; b) deslocamento médio: espécies que se deslocam em média cerca de 1 km por dia; c) deslocamento alto: espécies que se deslocam > 1 km por dia. Esses cortes foram feitos de acordo com o deslocamento médio das espécies existentes no banco de dados da BR-101.

Para avaliar a presença de agregações de atropelamentos (*hotspots*), utilizou-se a estatística de densidade de Kernel, com o uso do programa KDE+ (BIL, et al., 2019). Nesta análise, o método de estimativa da densidade de Kernel é usado para avaliar a intensidade de agregações de atropelamentos em um raio de 100 metros da rodovia. O Estimador de Densidade de Kernel é uma ferramenta que produz uma estimativa da variação de intensidade de eventos pontuais de atropelamento ao longo da rodovia e caracteriza-se por criar uma superfície suave de densidade de pontos (TSUDA, 2017). Neste contexto, foram utilizados os registros de atropelamentos ao longo de 323,65 quilômetros da BR-101, separando os eventos de atropelamentos de acordo com a classificação descrita acima.

3.4. Matrizes de Resistências

A partir do mapeamento de uso do solo para a área de estudo, foram geradas quatro simulações de matrizes de resistências ao movimento, para cada grupo da fauna. Cada matriz contém uma hipótese sobre como cada grupo de fauna se desloca pela paisagem. As matrizes foram montadas com base no uso e ocupação do solo disponível para a BR-101 no estado do Rio de Janeiro.

Para simulação A, que foi considerada como hipótese esperada, as matrizes foram elaboradas considerando que as espécies de hábito arborícola e especialistas em habitat florestal teriam deslocamento facilitado em habitats florestais, seguido dos ambientes de silvicultura, e de ambientes abertos. Para essas espécies as áreas antropizadas possuem alta resistência ao movimento – uma vez que as espécies evitam esse tipo de ambiente ao se deslocar; os ambientes de formação natural não florestal (arbustiva) também seriam resistentes ao movimento, uma vez que representam ambientes abertos. Nas outras duas simulações, os valores de cada classe de resistência foram alterados, e em uma quarta foi criada uma hipótese nula (simulação C) – nesse caso o oposto do que esperamos é o que de

fato acontece e as áreas abertas seriam mais permeáveis ao movimento e áreas florestais mais resistentes.

Assim, as simulações das matrizes de resistência para as espécies arborícolas e espécies especialistas em habitat florestal foram elaboradas com as seguintes resistências: (A) formações florestais e não florestais (arbustiva) são mais permeáveis para o deslocamento da fauna, enquanto silvicultura, água, áreas antropizadas e edificadas apresentam resistência ao deslocamento das espécies pela paisagem; (B) a silvicultura e a formação florestal apresentam alta permeabilidade para deslocamento da fauna, enquanto as formações não-florestais, água, área antropizada e área edificadas apresentam resistência ao deslocamento da fauna; (C) área antropizada e área edificadas representam alta permeabilidade para as espécies especialistas e arborícolas, enquanto a formação florestal, água, silvicultura e formação não florestal apresentam resistência ao deslocamento da fauna; (D) a formação não florestal (arbustiva), formação florestal e área antropizada são mais permeáveis ao deslocamento da fauna em contraponto a silvicultura, água e área edificadas que são menos permeáveis.

No que tange as espécies de hábito generalista em relação à seletividade de habitat, a matriz de resposta esperada foi elaborada de acordo com o seguinte modelo: (a) áreas antropizadas e formação não florestal (arbustiva) são mais permeáveis para deslocamento destas espécies, uma vez que esses animais são generalistas e se tornam mais abundantes em áreas antropizadas; b) a água e áreas edificadas são mais resistentes para o movimento; c) a silvicultura é mais permeável para o deslocamento. Em duas outras simulações os valores de cada classe de resistência foram alterados e em uma quarta hipótese foi criada (hipótese nula) – onde o que ocorre é o oposto do que esperamos – áreas abertas seriam mais resistentes ao movimento e áreas edificadas mais permeáveis.

Neste contexto, as simulações para as espécies de hábito generalista foram elaboradas com a seguinte disposição: (A) área antropizada e formação não florestal (arbustiva) apresentam maior permeabilidade para deslocamento das espécies generalistas em detrimento da silvicultura, formação florestal, água e área edificadas que são menos permeáveis; (B) água, áreas edificadas e áreas antropizadas apresentam maior permeabilidade para deslocamento das espécies generalistas, enquanto a silvicultura, formação florestal e não florestal são menos permeáveis para deslocamento da fauna; (C) áreas edificadas e água apresentam maior permeabilidade para as espécies generalistas se deslocarem, enquanto silvicultura, formação

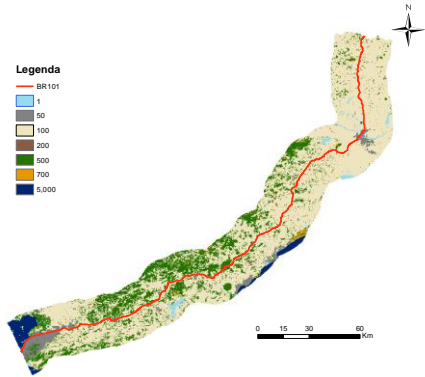
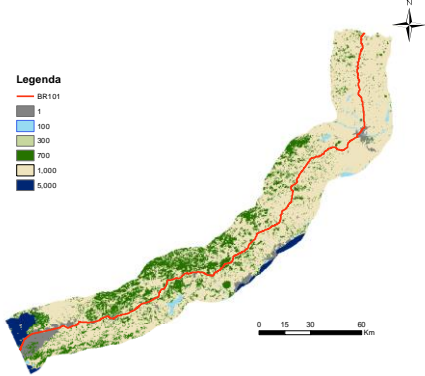
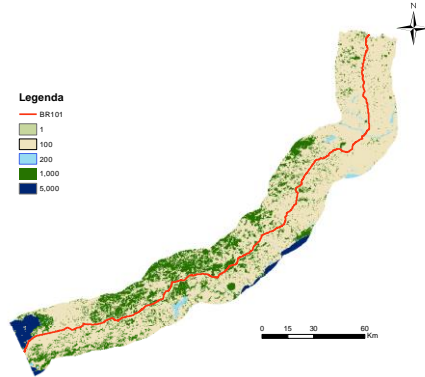
florestal e não florestal e área antropizada apresentam alta resistência ao deslocamento da fauna; (D) silvicultura, área antropizada e área edificada apresentam maior permeabilidade para deslocamento das espécies generalistas em detrimento a água, formação florestal e não florestal que apresentam maior resistência ao deslocamento das espécies.

As simulações foram dispostas conforme a Tabela 1. Em todas essas matrizes, valores próximos de um significam baixa resistência e facilidade de deslocamento pela paisagem, enquanto valores próximos de 1000, indicam resistência e barreiras ao deslocamento pela paisagem.

Tabela 1. Matrizes de resistência elaboradas a partir do mapeamento de uso e ocupação do solo da BR-101, Trecho Niterói-Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro. Valores foram definidos com base em conhecimento especializado.

Matriz de Resistência	Descrição e Hipótese	Mapa
Arborícolas/Especialistas – Simulação A	Hipótese: a formação florestal (1) e a formação não florestal (50) são mais permeáveis para deslocamento das espécies arborícolas e especialistas em habitat florestal do que áreas não florestais, como: silvicultura (200), água (1000), área edificada (1000), área antropizada (800) e oceano (5000).	
Arborícolas/Especialistas – Simulação B	Hipótese: silvicultura (1) e a formação florestal (100) são mais permeáveis para deslocamento das espécies arborícolas e especialistas em habitat florestal do que as formações com menor complexidade de ambientes como: água (200); formação não-florestal (300); área edificada (1000); área antropizada (1000) e oceano (5000).	

Matriz de Resistência	Descrição e Hipótese	Mapa
<p>Arborícolas/Especialistas – Simulação C</p>	<p>Hipótese: áreas abertas, como a área antropizada (1) e a área edificada (100) são mais permeáveis para deslocamento das espécies de hábito arborícola e especialistas em habitat florestal do que as outras tipologias existentes, como: formação florestal (1000), formação não florestal (800), água (500), silvicultura (700) e oceano (5000). Essa hipótese representa o oposto do esperado, e seria similar a uma hipótese nula.</p>	
<p>Arborícolas/Especialistas – Simulação D</p>	<p>Hipótese: a formação não florestal (1), a formação florestal (100) e a área antropizada (100) são mais permeáveis para deslocamento das espécies arborícolas e especialistas em habitat florestal do que as outras classes de uso do solo, como: silvicultura (1000), água (200), área edificada (500) e oceano (5000).</p>	
<p>Generalistas – Simulação A</p>	<p>Hipótese: áreas abertas, como a área antropizada (1) e formações mais arbustivas, como a formação não florestal (50) são mais permeáveis para deslocamento das espécies generalistas quanto à seleção do habitat, em detrimento das outras classes, como: formação florestal (200), água (1000), área edificada (1000), silvicultura (1000) e oceano (5000).</p>	

Matriz de Resistência	Descrição e Hipótese	Mapa
Generalistas – Simulação B	<p>Hipótese: a classe de água (1), áreas edificadas (50) e áreas antropizadas (100) são mais permeáveis para deslocamento das espécies generalistas da fauna, enquanto as áreas com cobertura florestal ter menor permeabilidade, a saber: silvicultura (200), formação florestal (500), formação não florestal (700) e oceano (5000).</p>	
Generalistas – Simulação C	<p>Hipótese: áreas edificadas (1) e água (100) são mais permeáveis para deslocamento das espécies generalistas da fauna, enquanto as outras classes de uso do solo apresentam menor permeabilidade. Silvicultura (300), formação florestal (700), formação não florestal (1000), área antropizada (1000) e oceano (5000). Essa hipótese representa o oposto do esperado, e seria similar a uma hipótese nula</p>	
Generalistas – Simulação D	<p>Hipótese: as áreas de silvicultura (1), área antropizada (100) e área edificada (100) são mais permeáveis para deslocamento das espécies generalistas de habitat da fauna, enquanto as áreas com menor permeabilidade são as classes de água (200), formação florestal (1000), formação não florestal (1000) e oceano (5000).</p>	

Foram selecionados todos os fragmentos florestais acima de 10 hectares nas duas margens da rodovia, e que estivessem a uma distância máxima que permitisse o deslocamento dos diferentes grupos de fauna. Esses fragmentos florestais foram considerados como nós, e o

deslocamento entre esses fragmentos foram considerados como *links*. Assim, cada nó representou fragmentos potenciais na paisagem cujas espécies alvo tinham propensão para se deslocar. As diferentes matrizes de resistência foram associadas aos nós (fragmentos florestais próximos a rodovia) – no programa *Circuitscape*, para estimar a probabilidade de deslocamento de cada grupo da fauna. Para a seleção desses fragmentos, foram criados buffers de diferentes tamanhos ao redor da rodovia. Um buffer de 100 metros de raio foi criado para a seleção dos fragmentos alvo das espécies de baixo deslocamento. Considerou-se que como essas espécies possuem baixo deslocamento, se próximas a rodovia, elas apenas poderiam atingir os fragmentos até essa distância (i.e., 200 metros de distância um do outro). Para as espécies de médio deslocamento o buffer criado tinha 1 km de raio, e para as de alto deslocamento, 5 km de raio. Os valores de distância baixo, médio e alto foram selecionados de acordo com a capacidade de deslocamento dos grupos (Figura 3).

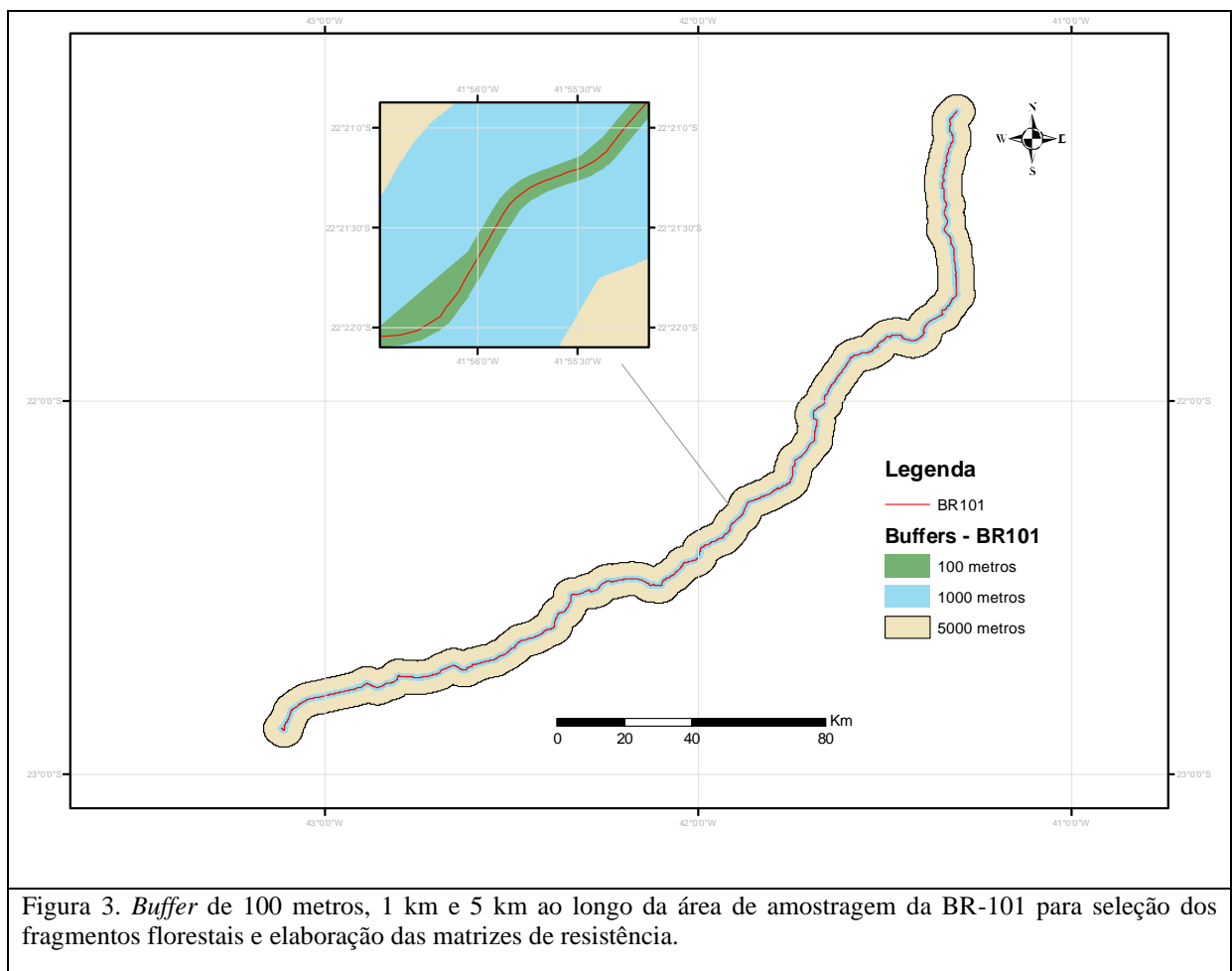


Figura 3. *Buffer* de 100 metros, 1 km e 5 km ao longo da área de amostragem da BR-101 para seleção dos fragmentos florestais e elaboração das matrizes de resistência.

3.5. Análise de Conectividade da Paisagem

Uma rede em sua forma mais elementar é uma matriz de adjacência, onde linhas e colunas representam os indivíduos na rede, e as células restantes representam as associações de pares entre os indivíduos na rede. No presente estudo, a presença de elementos da paisagem importantes para conectividade (e.g., grandes fragmentos florestais, áreas protegidas, etc.) da fauna foi representada por um nó (node), e uma ligação entre dois pontos positivos representa conectividade funcional da paisagem (link). Se dois nós estão conectados, isso significa que as espécies são capazes de se movimentar pela paisagem (conectividade funcional), implicando em um potencial fluxo de organismos.

Para o mapa de uso e ocupação do solo, para cada pixel, foi designado um valor para indicar um contraste entre áreas de alta e baixa probabilidade de ocorrência. Áreas mais permeáveis tiveram valores de resistência iguais ou próximos a um, enquanto áreas menos permeáveis tiveram valores iguais ou próximos a 1000.

Assim, utilizando a teoria dos circuitos, o grau de conectividade da paisagem foi estimado usando o programa CircuitScape 4.0 (MCRAE et al., 2013). Esta teoria associa os movimentos dos animais às correntes elétricas através de um circuito com diferentes resistências (MCRAE et al., 2008). As matrizes de resistência elaboradas para cada grupo de espécies foram associadas à rede de presença de elementos da paisagem. Os mapas de corrente gerados nas diferentes simulações foram então exportados para ambiente SIG e comparados com os pontos de *hotspots* gerados pelo programa KDE+.

3.6. Análise de Dados

As simulações geradas pela análise de conectividade utilizando os mapas de corrente foram comparados aos resultados da simulação de *hotspots* através da análise do coeficiente de Kappa (COHEN, 1960). Dessa forma, procurou-se verificar a concordância entre as duas metodologias e qual seria mais precisa na indicação de locais para implantação de medidas de mitigação aos impactos gerados pelas rodovias. Foi utilizado o software R Core Team (2021) através do pacote estatístico “irr” para análise dos dados de presença ou ausência de pontos de *hotspots* e pontos de conectividade ao longo de toda a extensão da rodovia.

4. RESULTADOS

Foram registrados um total 525 eventos de atropelamentos pertencentes a 46 espécies da fauna terrestre ao longo da rodovia BR-101 (323,65 km), entre os anos de 2010 e 2016 (Tabela 2). Estas espécies se dividem nas classes dos mamíferos (33 espécies), anfíbios (uma espécie) e répteis (12 espécies). Foram 399 registros para mamíferos (76%), 39 para os anfíbios (7,43%) e 87 eventos de atropelamentos para os répteis (16,57%). De 2010 a 2016 foram registrados 1,62 indivíduos animais/km ou 0,23 indivíduos animais/km/ano.

Tabela 2. Lista de espécies, nome popular, número de atropelamentos e status de conservação de Mamíferos, Répteis e Anfíbios atropelados registrados entre os anos de 2010-2016 na BR-101, Trecho Niterói-Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro. Status de conservação seguem ICMBIO (2018) e IUCN (2020).

Classe Ordem Espécie	Nome Popular	Quantitativo de Atropelamentos	Status de Conservação	
			ICMBIO (2018)	IUCN (2020)
Amphibia				
Anura				
<i>Leptodactylus latrans</i>	rã-manteiga	39	-	-
Mammalia				
Carnivora				
<i>Cerdocyon thous</i>	cachorro-do-mato	11	-	-
<i>Chrysocyon brachyurus</i>	lobo-guará	5	VU	-
<i>Galictis cuja</i>	Furão	6	-	-
<i>Herpailurus yagouaroundi</i>	Jaguarundi	1	VU	-
<i>Leopardus wiedii</i>	gato-maracajá	2	VU	-
<i>Lontra longicaudis</i>	Lontra	3	-	-
<i>Nasua nasua</i>	Quati	1	-	-
<i>Procyon cancrivorus</i>	mão-pelada	4	-	-
<i>Puma concolor</i>	onça-parda	3	VU	-
Chiroptera				
<i>Artibeus lituratus</i>	Morcego	24	-	-
<i>Artibeus obscurus</i>	Morcego	1	-	-
<i>Carollia perspicillata</i>	Morcego	11	-	-
<i>Lasiurus ega</i>	Morcego	1	-	-
<i>Molossus molossus</i>	Morcego	8	-	-
<i>Molossus rufus</i>	Morcego	1	-	-
<i>Phyllostomus hastatus</i>	Morcego	4	-	-
<i>Platyrrhinus lineatus</i>	Morcego	1	-	-
<i>Platyrrhinus recifinus</i>	Morcego	1	-	-

Classe Ordem Espécie	Nome Popular	Quantitativo de Atropelamentos	Status de Conservação	
			ICMBIO (2018)	IUCN (2020)
<i>Sturnira lilium</i>	Morcego	1	-	-
Cingulata				
<i>Cabassous unicinctus</i>	tatu-de-rabo-mole	1	-	-
<i>Dasylops novemcinctus</i>	tatu-galinha	13	-	-
<i>Euphractus sexcinctus</i>	tatu-peba	1	-	-
Didelphimorphia				
<i>Didelphis aurita</i>	gambá-de-orelha-preta	174	-	-
<i>Marmosa paraguayana</i>	Cuíca	5	-	-
<i>Philander frenatus</i>	cuíca-de-quatro-olhos	2	-	-
Pilosa				
<i>Bradypus torquatus</i>	Preguiça	2	-	-
<i>Tamandua tetradactyla</i>	tamanduá-mirim	18	-	-
Primates				
<i>Alouatta guariba</i>	Bugio	4	VU	VU
<i>Sapajus nigritus</i>	macaco-prego	4	-	-
Rodentia				
<i>Cavia fulgida</i>	Preá	15	-	-
<i>Coendou spinosus</i>	ouriço-cacheiro	60	-	-
<i>Hydrochoerus hydrochaeris</i>	Capivara	10	-	-
<i>Necomys lasiurus</i>	rato-do-mato	1	-	-
Reptilia				
Squamata				
<i>Amphisbaena alba</i>	cobra-de-duas-cabeças	12	-	-
<i>Boa constrictor</i>	jibóia	28	-	-
<i>Bothrops moojeni</i>	Jararaca	1	-	-
<i>Corallus hortulanus</i>	cobra-veadeira	1	-	-
<i>Erythrolamprus miliaris</i>	falsa-coral	8	-	-
<i>Helicops carinicaudus</i>	cobra-d'água	11	-	-
<i>Micrurus corallinus</i>	coral-verdadeira	1	-	-
<i>Philodryas patagoniensis</i>	corre-campo	16	-	-
<i>Polychrus marmoratus</i>	papa-vento-verde	1	-	-
<i>Pseudoboa nigra</i>	cobra-preta	4	-	-
<i>Salvator merianae</i>	Teiú	2	-	-
<i>Sordellina punctata</i>	cobra-d'água	2	-	-

4.1. Agregações (*hotspots*) de Atropelamentos e Análise de Conectividade

A análise de densidade de Kernel resultou em 59 pontos de agregação de atropelamentos para a fauna terrestre ao longo dos 323,65 quilômetros da BR-101. Desses, sete pertencem às espécies de hábito arborícola, um às espécies especialistas de habitat com baixa capacidade de deslocamento, cinco aos especialistas com média capacidade de deslocamento e um aos especialistas com alta capacidade de deslocamento (Figura 4). Em relação as espécies generalistas quanto a seletividade do habitat, foram registrados 15 *hotspots* para as espécies com baixa capacidade de deslocamento; 23 *hotspots* para os com média capacidade de deslocamento e sete *hotspots* para as espécies com alta capacidade de deslocamento. A Tabela 3 indica o grupo, quantitativo de *hotspots* e o quilômetro associado ao longo da BR-101, Trecho de Niterói e Campos dos Goytacazes. Em propostas de mitigação para o atropelamento de fauna, esses 59 pontos seriam indicados como locais prioritários para alocação de medidas de mitigação.

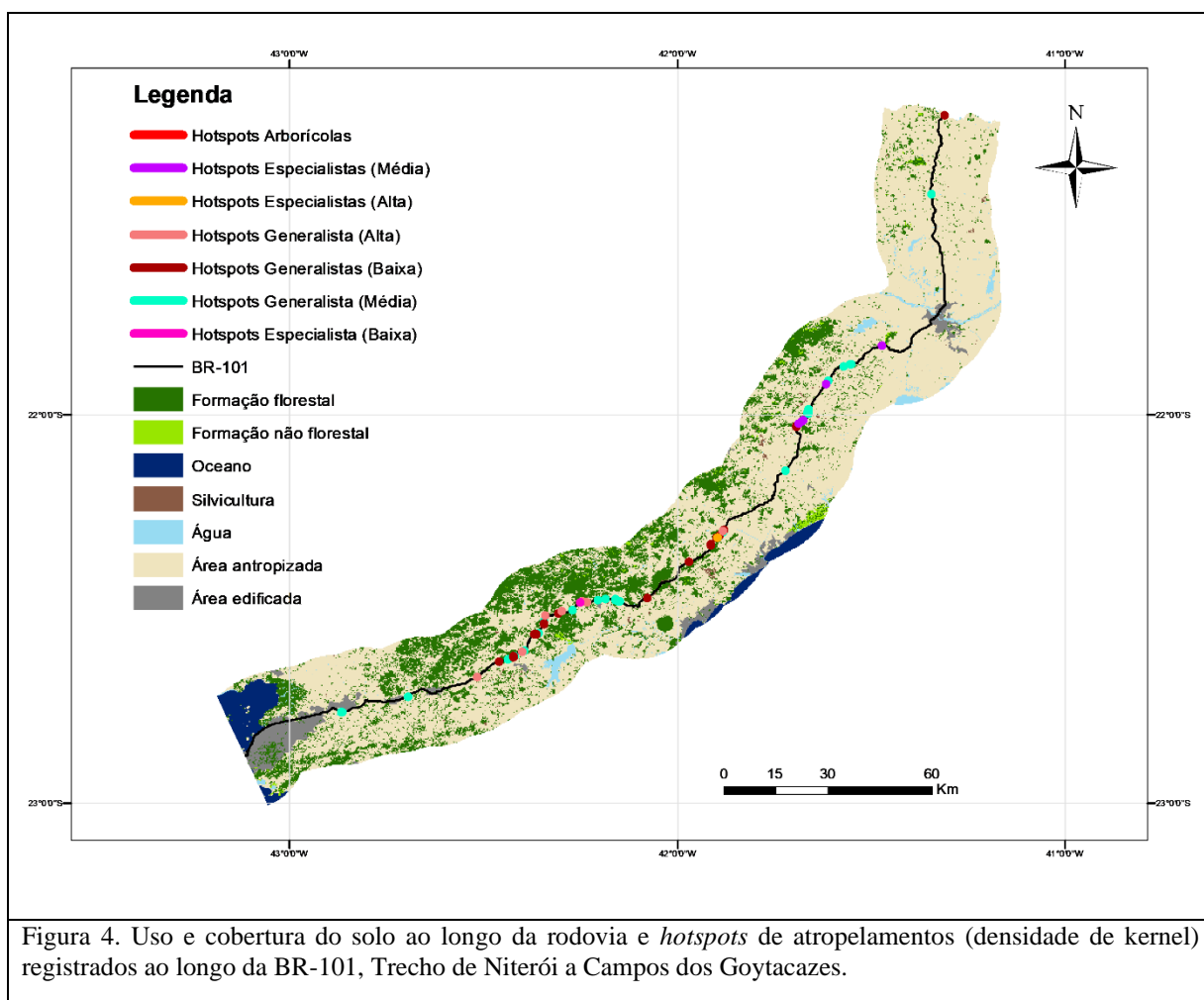


Figura 4. Uso e cobertura do solo ao longo da rodovia e *hotspots* de atropelamentos (densidade de kernel) registrados ao longo da BR-101, Trecho de Niterói a Campos dos Goytacazes.

Tabela 3. Número de *hotspots* de agregação de atropelamento indicados pela análise do KDE e pontos das análises de conectividade do *Circuitscape* registrados na área de estudo da BR-101, Trecho Niterói-Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, incluindo sua localização (Km) na rodovia.

Grupo	Número de Hotspots (KDE)	Localização dos hotspots (KDE) (Km)	Número de Pontos (Análise de Conectividade)	Localização dos Pontos (Análise Conectividade)
Arborícolas	7	85; 106; 119; 119; 120; 165; 213	32	119; 165; 172; 174-175; 184; 186; 189; 197; 204; 210; 212; 213; 215; 216; 218; 220; 224; 225-226; 228; 229; 234-235; 236; 237; 238; 240; 241; 244; 247; 261; 262; 268; 286
Especialista - baixa capacidade de deslocamento	1	213	37	101; 118; 119; 166; 172; 174-175; 183; 184-186; 189; 190-191; 196; 197; 198-199; 203-204; 210; 212; 213-214; 215; 216; 218; 220-221; 222; 224; 226-229; 234-238; 239; 240-241; 242; 244; 247; 248; 261; 262; 268; 286; 304; 315;
Especialista - média capacidade de deslocamento	5	85; 106; 119; 119; 120	13	119; 175; 204; 210; 213; 224; 228; 229; 235; 236; 261; 263; 268
Especialista - alta capacidade de deslocamento	1	165	11	119; 172; 174-175; 204; 224; 228; 235; 236; 261; 262; 268
Generalista - baixa capacidade de deslocamento	15	01; 121; 162; 164; 165; 168; 176; 192-193; 212; 220; 226; 230; 239; 243	43	9; 99; 101; 102; 118; 119; 122; 128; 141; 147; 151; 153; 165; 169; 174; 178-179; 182-185; 187; 189; 191; 193; 196-200; 204; 208; 209-216; 236-240; 241; 243-244; 247; 250-251; 261; 263; 268; 284; 285; 286; 289; 291; 301; 304; 308; 312; 315
Generalista - média capacidade de deslocamento	23	26; 96; 98-99; 105; 115; 116; 121; 136; 163; 202; 203; 206; 208; 216; 225; 226; 229; 236; 239; 241; 272; 292	32	165; 172; 174; 175; 176; 177-179; 181-183; 184; 186; 187; 190; 191; 192; 193-204; 208-216; 217; 218-233; 234; 235; 236; 237; 238; 239; 240; 241; 251-253; 256; 257-260; 261; 267; 268; 297
Generalista - alta capacidade de deslocamento	7	162; 211; 212; 219; 223; 237; 251	22	165; 172; 175-179; 181-183; 193; 195; 196; 197-201; 208-216; 217; 218-233; 235-236; 237; 240; 241; 243; 244; 245; 247; 249-253; 297

O resultado da aplicação da metodologia de conectividade indicou 190 pontos para alocação de medidas de mitigação, sendo 32 pontos para os arborícolas, 37 para os especialistas de baixa capacidade de deslocamento, 13 pontos para os especialistas de média capacidade e 11 pontos para os especialistas de alta capacidade de deslocamento (Tabela 3). Para o grupo dos generalistas, foram registrados 43 pontos para os generalistas de baixa capacidade de deslocamento, 32 pontos de conectividade para os de média capacidade de deslocamento e 22 pontos de conectividade para os generalistas de alta capacidade de deslocamento.

A congruência entre as duas metodologias foi de 47% (sensibilidade), entretanto a análise de Kappa ($k=0$) indica que não houve concordância entre os pontos de *hotspots* e

conectividade. Para o grupo dos generalistas de média capacidade de deslocamento, as duas metodologias tiveram maior sensibilidade, com 71,8% de congruência, enquanto para o grupo dos especialistas de baixa capacidade de deslocamento a menor congruência, com 2,7%. Para as espécies arborícolas (Figura 5), o método de conectividade foi o que mais estimou pontos de alocação de medidas de mitigação, com 32 pontos. A análise de Kappa ($k= 0,11$) indicou fraca a associação entre os pontos registrados para os *hotspots* e pontos de conectividade. Cinco pontos são congruentes à ambas as metodologias - nos quilômetros 119 (2 pontos), 120, 165 e 213, apresentando 71,4% de associação espacial para alocação de medidas de mitigação. Esses pontos tiveram registros de 04 espécies, dentre as quais *Leopardus wiedii* (gato-maracajá), *Alouatta guariba* (bugio) e *Bradypus torquatus* (bicho-preguiça), sendo a paisagem lindeira a rodovia formada majoritariamente por formações florestais. Já os *hotspots* registrados nos quilômetros 85 e 106 não coincidem os dados de conectividade, devido aos registros das espécies *Sapajus nigritus* (macaco-prego) e *Coendou spinosus* (ouriço). Comparando os métodos, observa-se maior efetividade para alocação de medidas pelo método de conectividade, visto que ele registrou um percentual de 457% (32 pontos) superior ao método de *hotspots*. Com base nos resultados das análises de *hotspots* e de conectividade, a implantação de medidas de mitigação seria indicada nos quilômetros 119-120, 165, 174, 213 e 234-235, visto que estas localidades apresentaram pontos prioritários em ambas as metodologias.

Para as espécies especialistas de habitat com baixa capacidade de deslocamento (< 250 metros) o método de conectividade foi o que mais estimou pontos de alocação de medidas de mitigação, com 37 pontos (Figura 6). O único ponto indicado pela análise de *hotspot* também foi indicado pela análise de conectividade, indicando que o método de conectividade é mais eficaz para indicação de locais para mitigação de atropelamentos deste grupo. A análise de Kappa ($k= 0,03$) indicou fraca concordância, com 2,7% de congruência entre os métodos. Foram registrados atropelamentos de quatro indivíduos das espécies *Bradypus torquatus*, *Micrurus corallinus* e *Polychrus marmoratus*, sendo que esses registros estão majoritariamente em áreas de formação florestal.

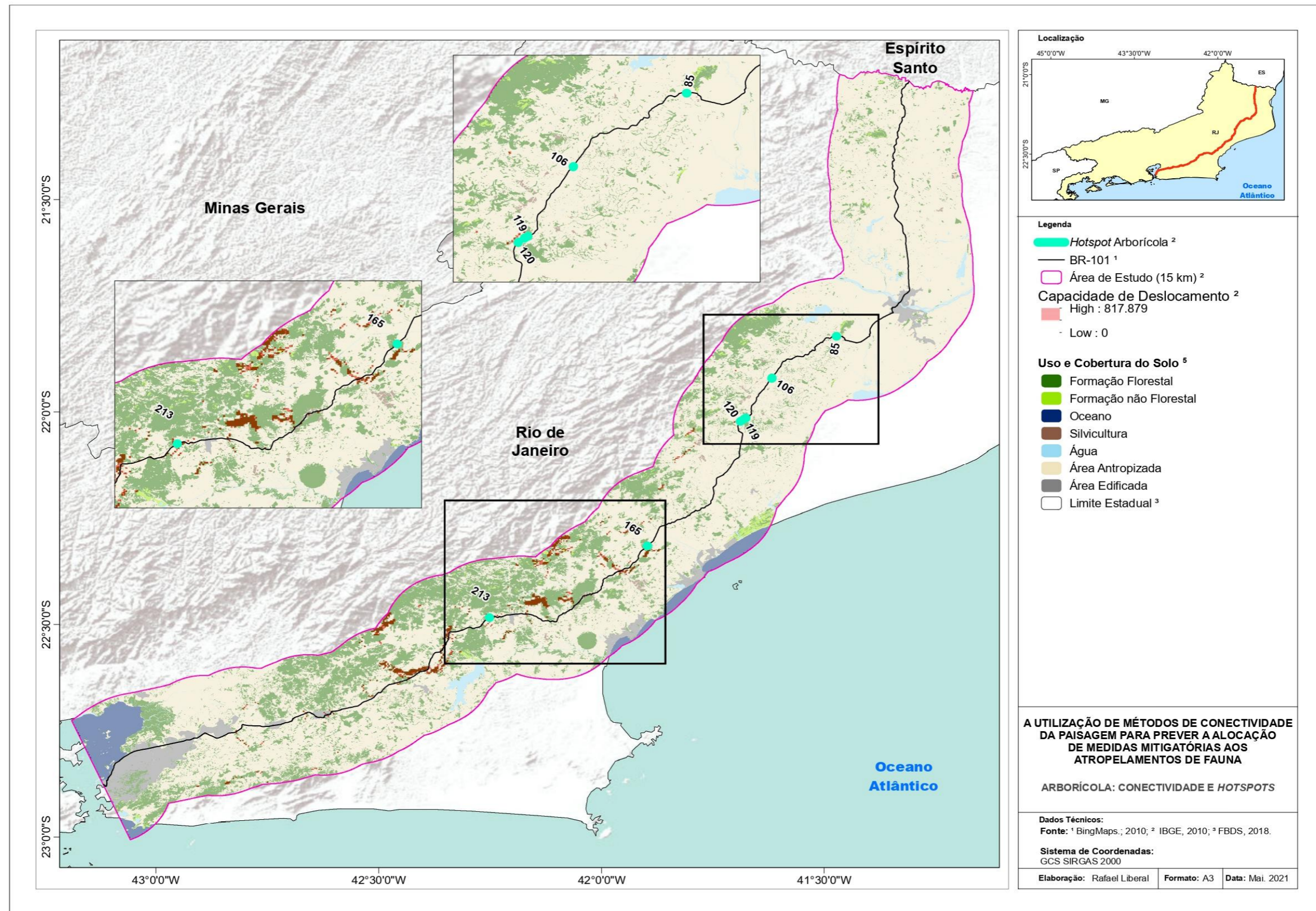


Figura 5. Hotspots de atropelamentos das espécies arborícolas associadas aos resultados de conectividade registrados ao longo da BR-101, Trecho de Niterói a Campos dos Goytacazes.

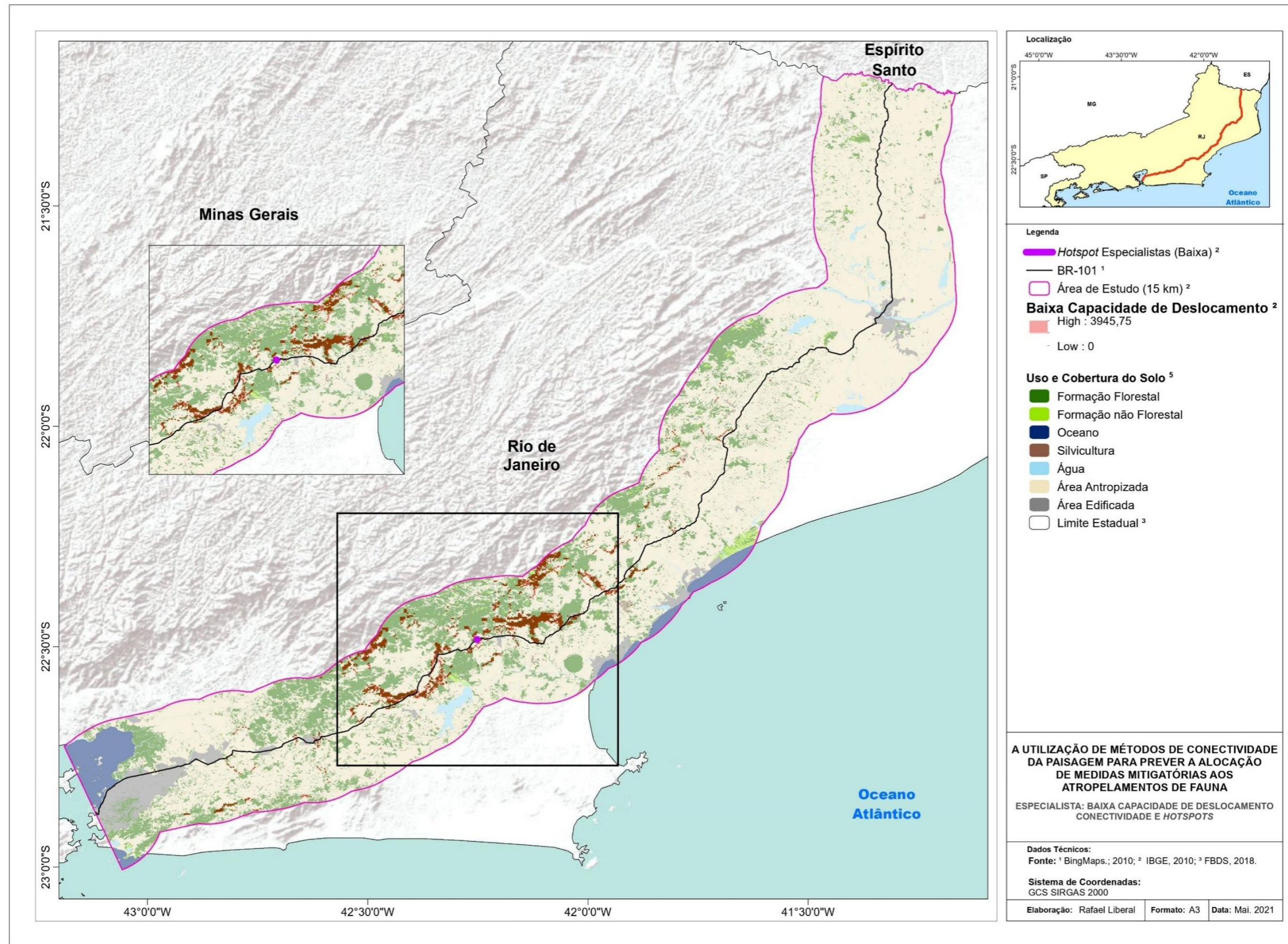


Figura 6. Hotspots de atropelamentos das espécies especialistas de baixa capacidade de deslocamento, associadas aos resultados de conectividade registrados ao longo da BR-101, Trecho de Niterói a Campos dos Goytacazes.

Para as espécies especialistas com média capacidade de deslocamento (Figura 7), o método de conectividade foi o que mais estimou pontos de alocação de medidas de mitigação, com 13 pontos, enquanto a análise de *hotspots* indicou apenas 5 pontos. Os métodos apresentaram 60% de associação espacial entre os pontos indicados para alocação de medidas mitigatórias. A análise de Kappa ($k= 0,10$) indicou fraca concordância entre os pontos indicados por ambas as metodologias, sendo que os métodos apresentaram 38,4% de congruência (sensibilidade). Foram registrados 67 eventos de atropelamentos das espécies *Coendou spinosus*, *Marmosa paraguayanus* e *Leopardus wiedii*, sendo que os atropelamentos se concentraram em diferentes tipos de uso do solo, variando em formações florestais e áreas antropizadas, principalmente por conta de *Coendou spinosus* que é uma espécie que permeia por diferentes tipologias de habitat. Com base nos dados das análises de *hotspots* e conectividade, a implantação de medidas de mitigação seria indicada nos quilômetros 119-120, visto que estas localidades apresentaram congruência entre os pontos de conectividade e *hotspots*.

Para as espécies especialistas com alta capacidade de deslocamento (Figura 8), o método de conectividade estimou 11 pontos de alocação de medidas de mitigação, sugerindo que esta metodologia pode ser um método de maior eficácia para mitigação de atropelamentos desse grupo de fauna, visto que a análise de *hotspots* indicou apenas um ponto de agregação no quilômetro 165, com 100% de associação espacial com os pontos indicados pelo método de conectividade. A análise de Kappa ($k < 0$) indicou concordância insignificante entre os pontos de *hotspots* e conectividade, sendo que os métodos apresentaram baixa sensibilidade (9%). Foram registrados 14 eventos de atropelamentos para os especialistas de alta capacidade de deslocamento, se destacando os registros dos mamíferos ameaçados *Puma concolor*, *Herpailurus yagouaroundi* e *Alouatta guariba*. Os atropelamentos se concentraram em ambientes florestais no quilômetro 165, sugerindo que para este grupo de espécies, a conexão de ambientes florestais é um fator significativo, visto que outras em localidades passíveis de implantação de medidas de mitigação, como os quilômetros 174, 175, 235 e 236 indicados pela análise de conectividade, são associados a ambientes florestais e importantes para deslocamento da fauna.

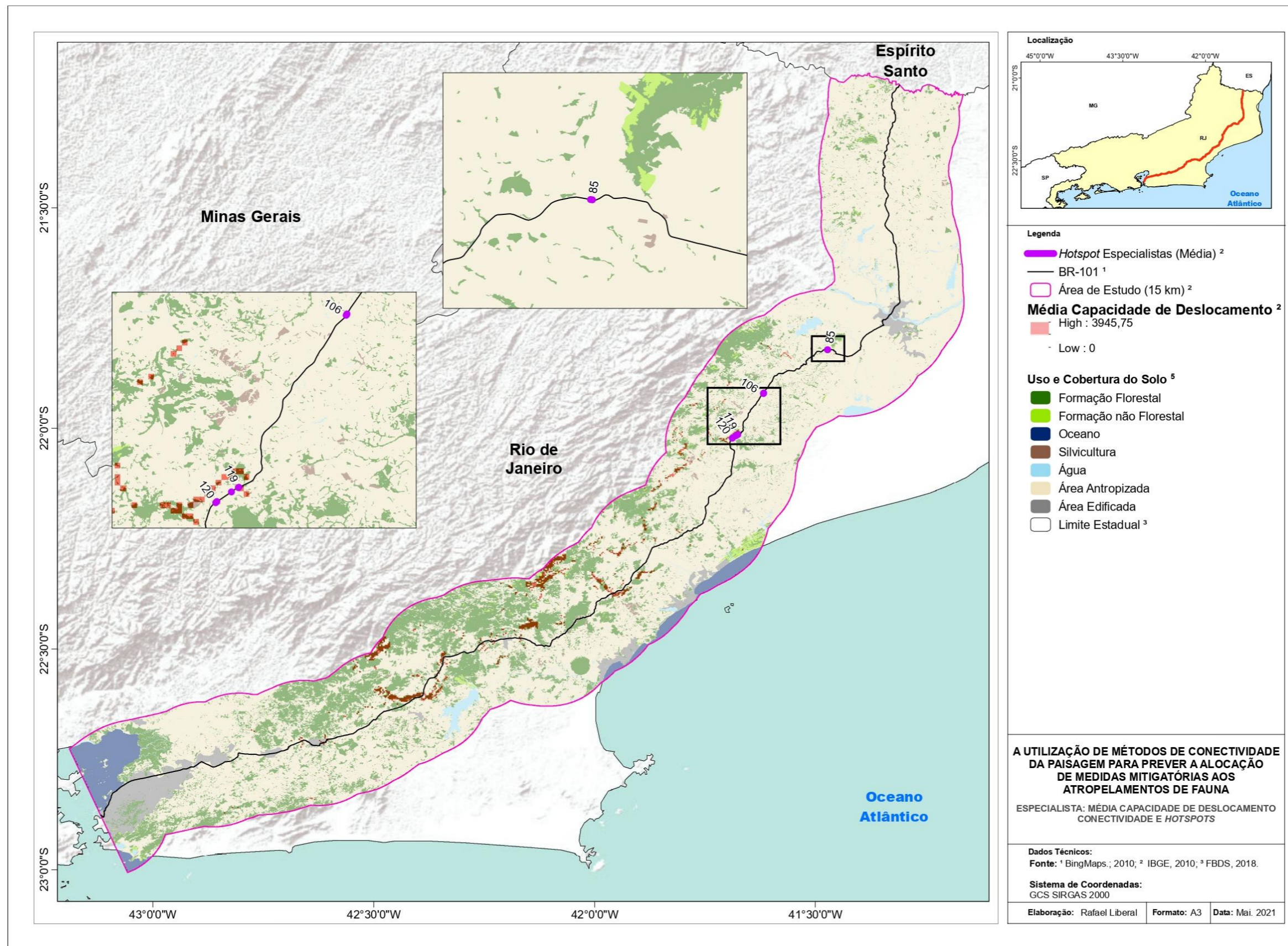


Figura 7. Hotspots de atropelamentos das espécies especialistas de média capacidade de deslocamento, associadas aos resultados de conectividade registrados ao longo da BR-101, Trecho de Niterói a Campos dos Goytacazes.

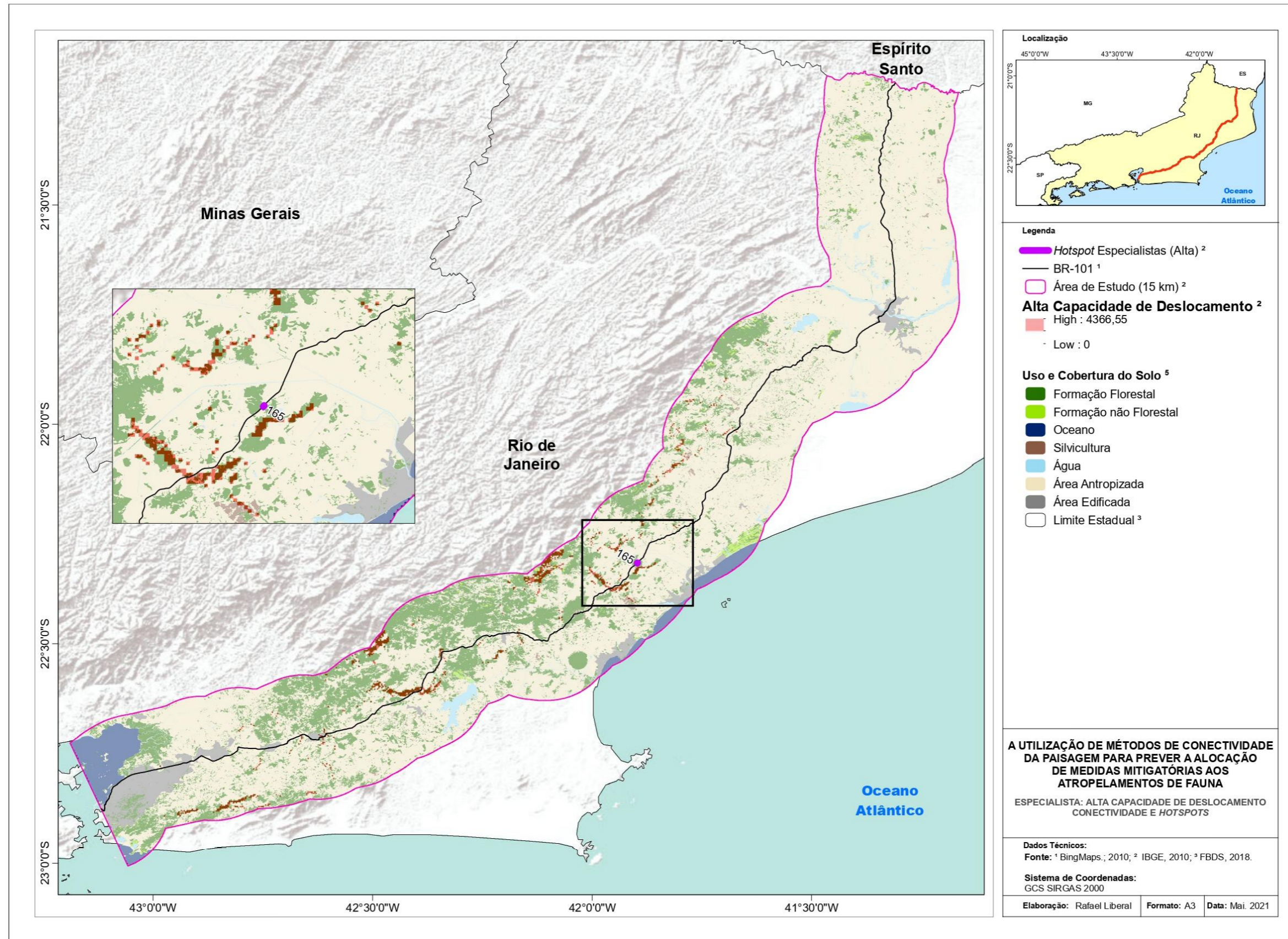


Figura 8. Hotspots de atropelamentos das espécies especialistas de alta capacidade de deslocamento, associadas aos resultados de conectividade registrados ao longo da BR-101, Trecho de Niterói a Campos dos Goytacazes.

Para o grupo das espécies generalistas com baixa capacidade de deslocamento (Figura 9) estimou 43 pontos de alocação de medidas de mitigação, enquanto a análise de *hotspots* indicou 15 pontos de agregação de atropelamentos, com 75% de associação espacial entre os pontos. A análise de Kappa ($k = 0.05$) indicou fraca concordância e baixa congruência (34%) entre os métodos. Foram registrados 138 eventos de atropelamentos para o grupo dos generalistas de baixa capacidade de deslocamento, sendo este grupo formado predominantemente por anfíbios e répteis, se destacando as espécies *Leptodactylus latrans* (rã-manteiga) e *Boa constrictor* (jiboia) que apresentaram as maiores taxas de atropelamentos, respectivamente 39 e 28 indivíduos atropelados. Os atropelamentos de *L. latrans* se concentraram principalmente entre os quilômetros 162 e 164, devido as características do uso do solo que apresentavam cursos d'água e lagoas próximas a rodovia, favorecendo o deslocamento destas populações. Os atropelamentos de *Boa constrictor* se distribuem ao longo de toda a rodovia em diferentes tipologias de uso do solo, se concentrando principalmente entre os quilômetros 212 e 216 e 236-240, coincidindo com os pontos de conectividade.

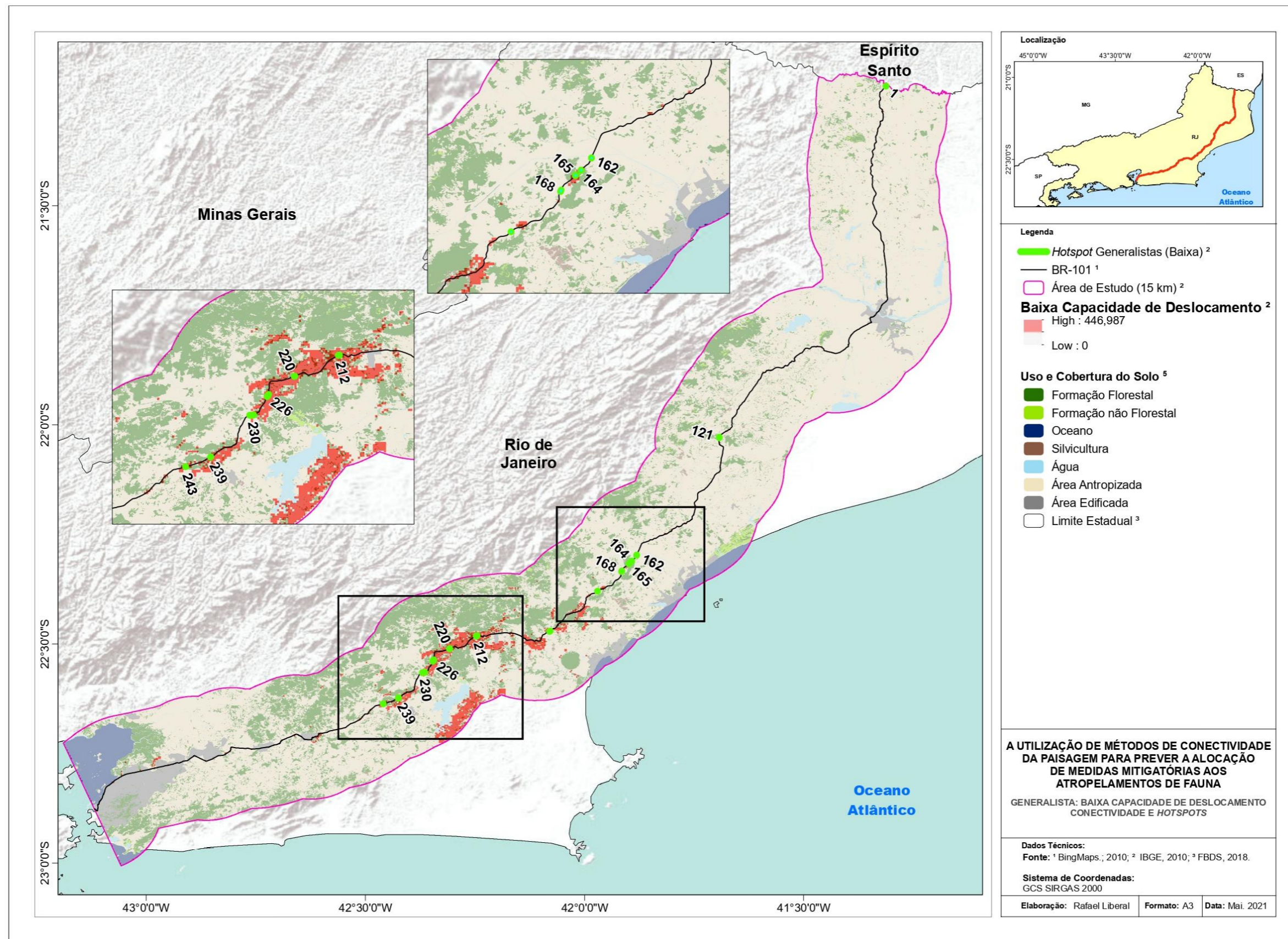


Figura 9. Hotspots de atropelamentos das espécies generalistas de baixa capacidade de deslocamento, associadas aos resultados de conectividade registrados ao longo da BR-101, Trecho de Niterói a Campos dos Goytacazes.

Para o grupo das espécies generalistas com média capacidade de deslocamento (Figura 10), o método de conectividade estimou 32 pontos enquanto o método de *hotspots* indicou 23 pontos para alocação de medidas de mitigação. A análise de Kappa ($k = 0,10$) indicou fraca associação entre os *hotspots* e a análise de conectividade, entretanto os métodos apresentaram alta sensibilidade (71,8%). Com base nos resultados registrados, o método de conectividade aparenta ser mais efetivo para este grupo de fauna, visto que o mesmo apresentou um quantitativo de pontos 139% superior ao método de *hotspots* e 60% de associação espacial entre eles. Foram registrados 215 eventos de atropelamentos para o grupo das espécies generalistas de média capacidade de deslocamento, se destacando a espécie *Didelphis aurita* (gambá-de-orelha-preta) com 174 eventos de atropelamentos e os tatus (*Euphractus sexcinctus*, *Dasytus novemcinctus* e *Cabassous unicinctus*), como espécies que permeiam por diferentes fitofisionomias, com predileção por áreas abertas. Grande parte dos atropelamentos se concentram entre os quilômetros 202 e 241, coincidindo com as análises de conectividade.

Para o grupo das espécies generalistas com alta capacidade de deslocamento (Figura 11), o método de conectividade estimou 22 pontos, enquanto o método de *hotspots* indicou sete pontos, com 85% de associação espacial entre os pontos. A análise de Kappa ($k = 0,14$) indicou fraca concordância entre os *hotspots* e a análise de conectividade, sendo que os métodos apresentaram 31,8% de congruência (sensibilidade). Foram registrados um total de 87 atropelamentos de 14 espécies distintas, destacando-se os registros de *Chrysocyon brachyurus* (lobo-guará), *Cerdocyon thous* (cachorro-do-mato) e *Hydrochoerus hydrochaeris* (capivara). Os registros de atropelamentos de *H. hydrochaeris* estão diretamente associados a presença de cursos d'água no quilômetro 162 da rodovia. Para as demais espécies deste grupo, os atropelamentos se concentram principalmente entre os quilômetros 211 e 237, coincidindo com os pontos de conectividade, que estimou um maior número de pontos nestas localidades devido as características do uso do solo, formando majoritariamente por áreas antropizadas (áreas abertas), sendo um dos principais ambientes para locomoção das espécies generalistas.

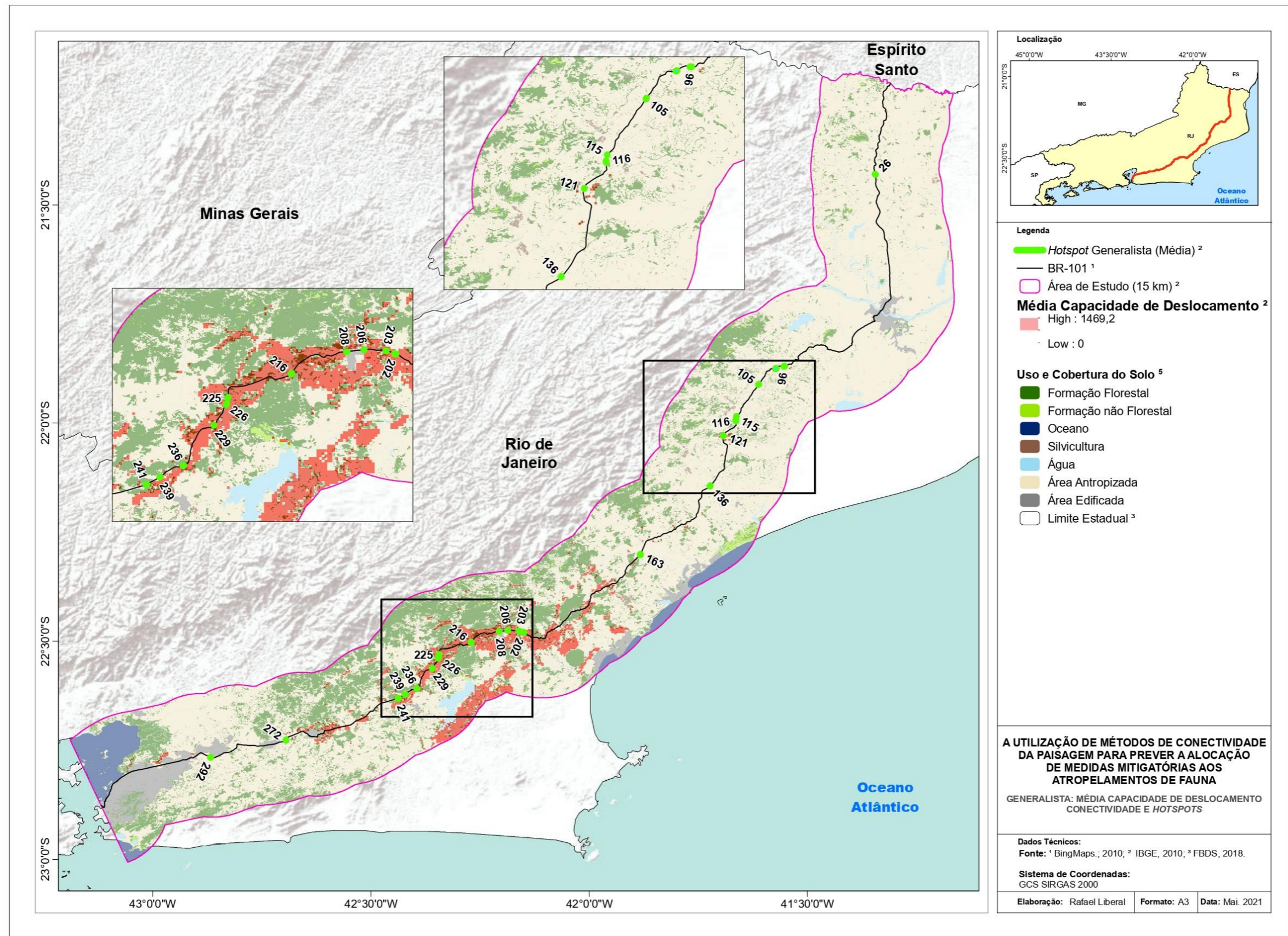


Figura 10. Hotspots de atropelamentos das espécies generalistas de média capacidade de deslocamento, associadas aos resultados de conectividade registrados ao longo da BR-101, Trecho de Niterói a Campos dos Goytacazes.

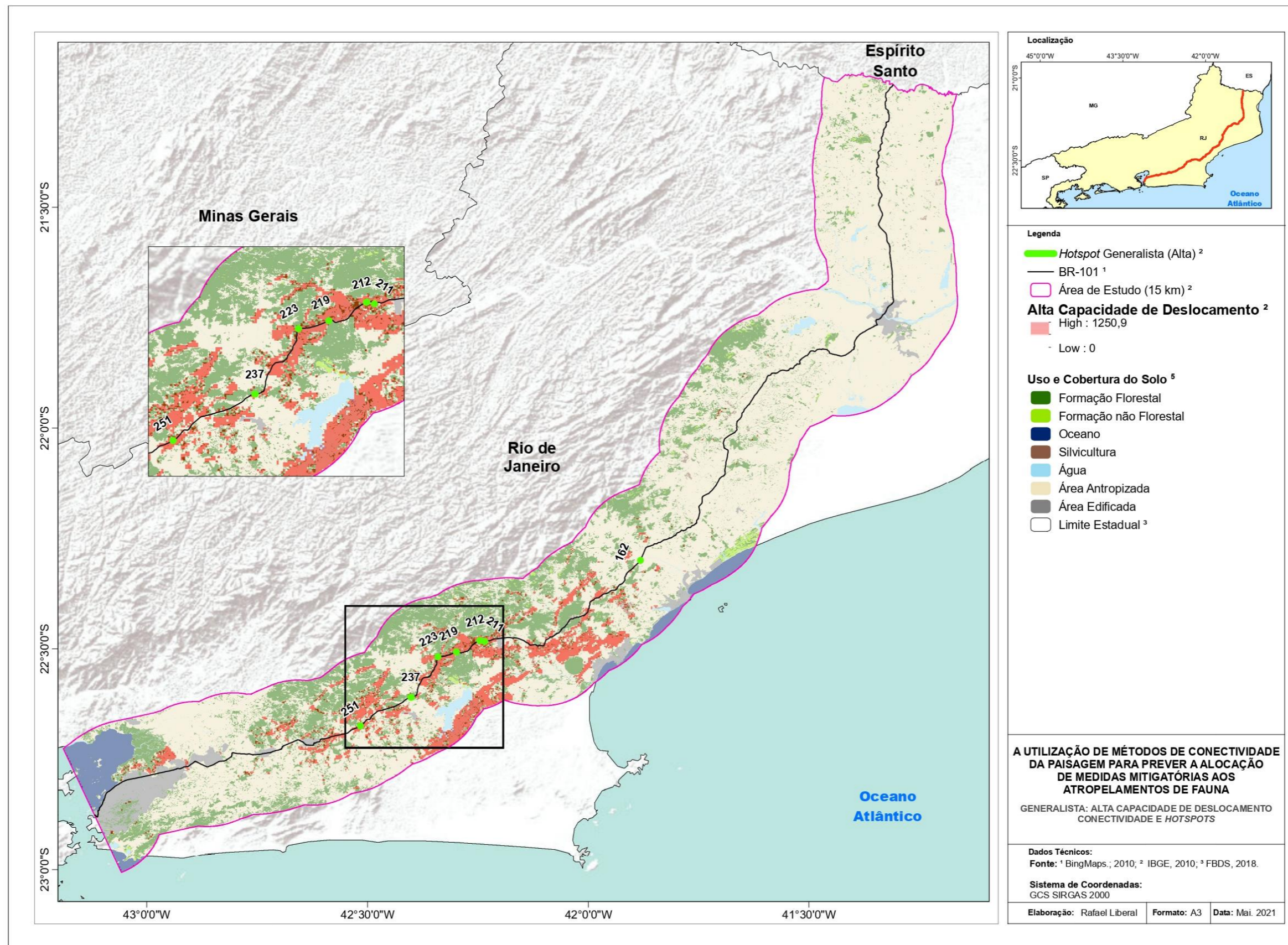


Figura 11. Hotspots de atropelamentos das espécies generalistas de alta capacidade de deslocamento, associadas aos resultados de conectividade registrados ao longo da BR-101, Trecho de Niterói a Campos dos Goytacazes.

5. DISCUSSÃO

Esse é um dos primeiros estudos que compara o uso de duas metodologias distintas, para diversos grupos de fauna, para propor a alocação de medidas de mitigação ao atropelamento da fauna silvestre. Nossos resultados mostram que o método de conectividade pode ser mais efetivo na indicação de pontos de alocação de medidas de mitigação para todos os grupos de fauna estudados, uma vez que estima quatro vezes mais locais do que o método usualmente utilizado - o método de *hotspots* por densidade de kernell. Isso indica que as medidas de mitigação implementadas a partir do uso dessa metodologia podem ser insuficientes em promover a mitigação do atropelamento da fauna. Adicionalmente, os resultados indicados pela análise de conectividade demonstram a importância de se considerar outras variáveis, como o uso do solo e conectividade do habitat para implantação de medidas de mitigação, visto que são elementos essenciais e determinantes para a presença e o deslocamento das espécies que eventualmente venham a ser atropeladas (CLEVENGER et al., 2003). A utilização do método conectividade, além de trazer resultados mais acurados sobre os diversos potenciais pontos de deslocamento das espécies pela rodovia, se classifica como uma metodologia menos onerosa financeiramente, uma vez que não depende de coleta de dados no espaço-tempo.

Para as espécies arborícolas, o método de conectividade indicou 32 potenciais pontos para alocação de medidas de mitigação, enquanto o método de *hotspots* indicou sete, com uma congruência espacial em 71,4% deles. Os únicos pontos que são dissimilares foram influenciados pela presença de *Sapajus nigritus* (macaco-prego), visto que não é uma espécie que se limita apenas a áreas com cobertura florestal (DOTTA e VERDADE, 2011), capaz de se deslocarem ambientes alterados (REALE, et al., 2014), inclusive ambientes não-florestais, possuindo alta capacidade de adaptação ao meio (BICCA-MARQUES et al., 2006).

Para o grupo de espécies arborícolas, que acaba sendo subestimado em amostragens de fauna atropelada, o método de *hotspots* provavelmente subestima o número de locais propostos para implementação de medidas de mitigação. Além do método utilizar apenas o número de animais atropelados, ele também desconsidera as variáveis ambientais, como a conectividade florestal, fator essencial para travessia e presença de espécies arborícolas em rodovias (WILSON et al. 2007). Espécies arborícolas evitam ao máximo descer ao nível do solo e se deslocar por áreas abertas, e quando o fazem, ficam diretamente expostas ao risco de

atropelamento (GOOSEM, 2007). Neste contexto, o método de conectividade torna-se atrativo para propor medidas de mitigação para esse grupo, por considerar a conectividade do habitat e a permeabilidade das espécies arborícolas pela paisagem além de ser um grupo subamostrado em estudos de fauna atropelada. Portanto, essa metodologia provavelmente tem um resultado mais acurado e pode promover uma maior mitigação do que o método comumente utilizado.

Para as espécies especialistas, houve associação espacial em 100% dos pontos indicados para as espécies de baixa capacidade de deslocamento, 60% de associação para as com média capacidade de deslocamento e 100% para as de alta capacidade de deslocamento. Essa alta associação indica que, para esse grupo, a metodologia de conectividade da paisagem é um método acurado para proposição de medidas de mitigação, inclusive propondo um número maior de pontos - 61 pontos quando comparado ao método de *hotspots* – sete pontos. Isso ocorre, pois, espécies especialistas são menos abundantes em áreas fragmentadas (SILVEIRA et al., 2010) e, ao serem amostradas, o método de contagem de *hotspots* é limitado por conta da ineficiência na detecção das carcaças e por desconsiderar os atributos da paisagem (TEIXEIRA et al., 2013b; SANTOS et al., 2016). Considerando este cenário, sugere-se que o método de conectividade é mais eficaz para alocação de medidas mitigadoras para este grupo, visto que o modelo considera as localidades por onde as espécies permeiam pela paisagem e a conectividade facilita a mobilidade das espécies entre os fragmentos (TAYLOR et al., 1993). Ainda, espécies de baixa capacidade de deslocamento constituem espécies de pequeno porte, como anfíbios e pequenos mamíferos, devido à massa corpórea e problemas no método para detecção das carcaças, acabam subestimando os atropelamentos sobre este grupo (TEIXEIRA et al., 2013b). Por isso, a análise de conectividade será mais efetiva para indicação de medidas mitigatórias para este grupo.

Para as espécies generalistas, houve associação espacial em 75% entre os *hotspots* e os pontos de conectividade indicados para as espécies de baixa capacidade de deslocamento, 60% para as espécies de média capacidade de deslocamento e 85% para as de alta capacidade de deslocamento. Essa alta associação sugere que o método de conectividade também é efetivo para proposição de medidas mitigatórias aos atropelamentos deste grupo, visto que a análise de conectividade indicou 97 potenciais pontos em detrimento dos 45 pontos indicados pelo método de *hotspots*. O elevado número de pontos de *hotspots* se deve ao caráter generalista das espécies que ocupam diferentes fisionomias da paisagem (LYRAJORGE et al.,

2008; MAGIOLI et al., 2016) e se locomovem por diferentes tipos de usos do solo na matriz. Assim, o método de conectividade é um preditor de alocação de medidas apropriado para o grupo dos generalistas, visto que os resultados indicaram alta associação espacial com os *hotspots* e os modelos consideram a maior disponibilidade de habitat preferencial (áreas abertas) para deslocamento pela paisagem, corroborando com o uso do solo encontrado nos locais sugeridos para implantação de medidas mitigatórias.

Estudos que associam a paisagem a dados de atropelamentos vem sendo abordado por diversos autores (CLEVENGER et. al., 2003; BEAUDRY et. al., 2008; GRILO et. al., 2009) que mostram os padrões espaciais de atropelamentos associados especialmente à vegetação. Os atropelamentos de espécies silvestres não são aleatórios (COELHO et al., 2008) e estão diretamente associados as características da paisagem (FORMAN et. al., 2003), além da estrutura da paisagem correlacionar os atropelamentos as características ecológicas e/ou biológicas das espécies (GRILO et al., 2010). Belão et al., (2011) relaciona diretamente o atropelamento de espécies generalistas ao uso do solo, associando o comportamento oportunista deste grupo de espécies aos eventos de atropelamentos. Pereira & Carvalho (2011) registraram 80% dos atropelamentos de espécies silvestres em áreas da rodovia margeadas por florestas. Outros autores (ABRA et al., 2011; CARVALHO & MIRA, 2011) estabelecem relação direta entre os atropelamentos e os fragmentos florestais no entorno de rodovias, além de indicarem que os ambientes florestais são os mais propensos a ocorrência de atropelamentos e relevantes para implantação de medidas mitigatórias. Assim, o método de conectividade torna-se significativo para auxiliar na mitigação dos atropelamentos de fauna, visto que os modelos gerados podem ser validados com os dados de atropelamentos espacializados e as características da paisagem no entorno da rodovia.

De acordo com os resultados encontrados neste estudo, é sugestivo que o método de conectividade é mais efetivo para indicação de locais prioritários para instalação de medidas de mitigação para as espécies arborícolas, especialistas e generalistas. Isto porque, os modelos de conectividade fornecem informações de outros pontos potenciais de deslocamento da fauna, subsidiando informações sobre a conectividade do habitat e reduzindo mortalidades em rodovias (CERQUEIRA et al., 2021). O mesmo autor sugere que duas estratégias podem auxiliar na escolha de áreas prioritárias para redução de impactos de mortalidade de indivíduos. Nos locais em que os modelos de conectividade da fauna cruzam a rodovia, devem ser considerados como áreas potenciais para instalação de medidas para mitigação dos

impactos; adicionalmente, os *hotspots* que são congruentes com os pontos de conectividade devem ser tratados como prioritários, visto que os atropelamentos já registrados são preditivos para alocação das medidas de mitigação por possuírem alta probabilidade de novos eventos de atropelamentos (BARBOSA et al., 2020).

O estudo proposto por Cerqueira et al., (2021) é pioneiro na avaliação de corredores de movimentação da fauna e mortalidade rodoviária para identificação de trechos prioritários para mitigação. Contudo, seus resultados não encontraram associação espacial entre os atropelamentos de fauna e os modelos de conectividade, visto que as variáveis da paisagem não foram fatores preponderantes para mortalidade das espécies. Nossos resultados diferem dos apresentados por estes autores, onde encontramos similaridade com outros estudos (BUENO et al. 2013) que associam espacialmente os atropelamentos aos atributos do uso do solo, sendo que nossos modelos de conectividade apresentaram alta associação espacial com os *hotspots* de atropelamentos das espécies arborícolas, generalistas e especialistas.

O método proposto de conectividade por meio dos corredores de deslocamento da fauna pode servir como uma ferramenta mais eficaz para indicação de pontos de alocação de medidas de mitigação, ou como metodologia complementar para priorização desses pontos. Além disso, representar espacialmente as informações em forma de mapas facilita a comunicação entre os diversos atores e pode ser utilizado como como uma ferramenta de diálogo para processos de decisão, apresentando as localidades com base no uso do solo para instalação das medidas de mitigação, indicando os locais mais relevantes para a conectividade da paisagem e para a manutenção de populações em uma determinada região (GUARENGHI, 2018).

6. CONCLUSÃO

Nossos resultados mostram que os modelos de deslocamento da fauna pela paisagem para todos os grupos (i.e. arborícolas, especialistas e generalistas), através do método de conectividade podem ser eficazes para indicação de locais de mitigação dos impactos de rodovias sobre a fauna. O método proposto neste estudo se baseia na teoria dos circuitos e nos atributos do uso do solo, obtendo modelos que abrangem a conectividade funcional da paisagem, visando à seleção de locais para implantação de medidas mitigadoras e consequente redução de mortalidades de espécimes em rodovias. A partir da ampla base de dados de atropelamentos disponíveis para a malha rodoviária brasileira e utilizando a teoria dos circuitos, é possível propor cenários e locais de implantação de medidas mitigatórias com base nas características dos grupos de espécies, sendo estas mais efetivas para conservação da biodiversidade em paisagens fragmentadas e com menor custo para a iniciativa pública/privada.

Considerando o planejamento das ações relativas à conservação e mitigação dos impactos, estas são especialmente dependentes da estrutura da paisagem, devendo-se priorizar a manutenção dos fragmentos e a restauração florestal de áreas pouco conectadas. Adicionalmente, a implantação de passagens de fauna nos locais onde os modelos indicaram como mais permeáveis para deslocamento da fauna, aumentaria a conectividade e disponibilidade de habitat, reduzindo a probabilidade de atropelamentos, auxiliando a manutenção das populações e conservação da biodiversidade.

Ademais, a implementação de tecnologias de rastreamento de atropelamentos de indivíduos da fauna por meio de aplicativos de aparelhos celular, consolida uma importante base de dados para a comunidade científica. A disponibilização das bases de dados e utilização do método complementar da teoria dos circuitos pode promover condições essenciais de baixo custo operacional que auxiliem na implantação de medidas efetivas para aumento da conectividade funcional e redução dos atropelamentos de fauna.

7. REFERÊNCIAS

- ABRA, F.D.; PRIST, P.R.; CIOCHETI, G.; RIBEIRO, M.C.; METZGER, J.P.; PIVELLO, V.R. 2011. Review of the underpass allocation on the highway SP-225, Brotas--SP, Brazil, and the relationship with wild animals roadkills and landscape structure. *Anais do Road Ecology Brasil*, pp. 109.
- ARTERIS. 2020. Br-101, Rodovia Norte Fluminense. Disponível em: <https://www.arteris.com.br/rodovias/fluminense/.html>> Acesso em: 28 ago. 2020.
- ATTADEMO, M. A.; PELTZER, P. M.; LAJMANOVICH, R. C.; ELBERG, G.; JUNGES, C.; SANCHEZ, L. & BASSO, A. 2011. Wildlife vertebrate mortality in roads from Santa Fe Province, Argentina. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 82:915-925.
- BARBOSA, P.; SCHUMAKER, N.H.; BRANDON, K.R.; BAGER, A.; GRILO, C. 2020. Simulating the consequences of roads for wildlife population dynamics. *Landsc Urban Plan* 193:103672.
- BEAUDRY, F.; DEMAYNADIER, P. G.; HUNTER JR., D M. L. 2008. Identifying road mortality threat at multiple spatial scales for semi-aquatic turtles. *Biological Conservation* 141:2550–2563.
- BELÃO, M.; BÓÇON, R.; CHRISTO, S.W.; SOUZA, M.A.M.2011. Levantamento de mamíferos atropelados na rodovia br-277, Paraná-Brasil. *Anais do Road Ecology Brasil*, pp. 189-190.
- BEIER, P.; NOSS, R. F. 1998. Do Habitat Corridors Provide Connectivity? *Conservation Biology*, local da revista, Ano 12, n.6, p. 241-1252.
- BENCKE, G.A.; BENCKE, C.S.C. 1999. The potential importance of road deaths as cause of mortality for large forest owls in southern Brazil. *Cotinga*, 11: 79-80.
- BENDER, D.J., TISCHENDORF, L. & FAHRIG, L. 2003. Using patch isolation metrics to predict animal movement in binary landscapes. *Landscape Ecology*, 18, 17–39.
- BENNETT, A. F. & SAUNDERS, D. A. 2010. Habitat fragmentation and landscape change. In: Sodhi, N. S. & Ehrlich, P. R. (eds.). *Conservation biology for all*. Oxford University Press, Oxford. Pp. 88–106.
- BENNETT, A.F. 2003. *Linkages in the landscape: the role of corridors and connectivity in wildlife conservation*. IUCN-The World Conservation Union, Gland, Cambridge.
- BENNETT, G.; MULONGOY, K. J. 2006. Review of experience with Ecological Networks, Corridors and Buffer Zones. Montreal: Secretariat of the Convention on Biological Diversity. Technical Series, n. 23.
- BICCA-MARQUES, J.C.; SILVA, V.M.; GOMES, D.F. 2006. Ordem Primates. In: REIS, N.R.; PERACCHI, A.L.; PEDRO, W.A.; LIMA, I.P (Org.). *Mamíferos do Brasil*. Londrina: Universidade Estadual de Londrina, p.107-109.

BÍL, M., ANDRÁŠIK, R., SVOBODA, T., SEDONÍK, J. KDE+. Computer software. Vers. X.X. Olomouc: CDV - Transport Research Centre, 2020. Web. <www.kdeplus.cz>.

BUENO, C.; FAUSTINO, M.T.; FREITAS, S.R. 2013. Influence of landscape characteristics on capybara road-kill on highway br-040, southeastern Brazil. *Oecol Aust* 17(2):130–137.

CÁCERES, N. C.; CASELLA, J.; GOULART, C.S. 2012. Variação Espacial e Sazonal de Atropelamentos de Mamíferos no Bioma Cerrado, Rodovia BR 262, Sudoeste no Brasil. *Mastozoologia Neotropical*, 19 (1): 21-33, Mendoza.

CÁCERES, N. et al. 2010. Mammal occurrence and roadkill in two adjacent ecoregions (Atlantic Forest and Cerrado) in south-western Brazil. *Zoologia, Curitiba*, v. 27, n. 5, p. 709-717. Oct. 2010.

CARR, L. W.; POPE, S. E.; FAHRIG, L. 2002. Impacts of landscape transformation by roads. In: Gutswiller, K. J. (ed.) *Applying Landscape Ecology in Biological Conservation*. New York: Springer Verlag, Cap. 13, p. 225-243.

CARVALHO, F & MIRA, A. 2011. Comparing Annual Vertebrate Road Kills Over Two Time Periods, 9 Years Apart: A Case Study in Mediterranean Farmland. *EuropeanJournalofWildlifeResearch*57:157–174.

CARVALHO, C.F. 2014. Atropelamento de vertebrados, Hotspots de atropelamentos e parâmetros associados, BR-050, Trecho Uberlândia-Uberaba. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Conservação de Recursos Naturais). Universidade Federal de Uberlândia. 99 pgs.

CARVALHO, F.A; BRAGA, J.M.A; NASCIMENTO, M.T. 2009. Estrutura da comunidade arbórea de fragmentos de floresta atlântica ombrófila submontana na região de Imbaú, município de Silva Jardim, Rio de Janeiro, Brasil. *Rodriguésia, Rio de Janeiro*, v. 60, n. 3, p. 695-710.

CERQUEIRA, R.C.; LEONARD, P.B.; DA SILVA, L.G.; BAGER, A.; CLEVINGER, A.P.; JAEGER, J.A.G.; GRILO, C. 2021. Potential Movement Corridors and High Road-Kill Likelihood do not Spatially Coincide for Felids in Brazil: Implications for Road Mitigation. *Environmental Management*. 67:412–423.

CLEVINGER, A. P.; CHRUSZCZ, B.; GUNSON, K. 2003. Spatial patterns and factors influencing small vertebrate fauna road-kill aggregations. *Biological Conservation*, 109: 15-26.

COELHO, I. P.; KINDEL, A.; COELHO, A. V. P. 2008. Roadkills of vertebrate species on two highways through the Atlantic Forest Biosphere Reserve, southern Brazil. *European Journal Wildlife Research*, Berlin, v. 54, p. 689–699, outubro.

COELHO, I. P.; TEIXEIRA, F. Z.; COLOMBO, P.; COELHO, A. V. P.; KINDEL, A. 2012. Anuran road-kills neighboring a peri-urban reserve in the Atlantic Forest, Brazil. *Journal of Environmental Management*, 112, 17-26.

COFFIN, A. W. 2007. From roadkill to road ecology: a review of the ecological effects of roads. *Journal of Transport Geography*, 15: 396-406.

- COHEN, J. A. 1960. Coefficient of Agreement Ffr Nominal Scales. *Educational and Psychological Measurement*, V. 20, P. 37-46.
- COSTA, E.M; ANTUNES, M.A.H.; DEBIASI, P.; ANJOS, L.H.C. Processamento de imagens RapidEye no mapeamento de uso do solo em ambiente de Mar de Morros. *Pesq. agropec. bras.* [online]. 2016, vol.51, n.9, pp.1417-1427.
- CRAWFORD, B.A.; MAERZ, J.C.; NIBBELINK, N.P. 2013. Hot spots and hot moments of diamondback terrapin road-crossing activity. *J Appl Ecol* 51:367–375
- DOTTA, G.; VERDADE, L. M. 2011. Medium to large-sized mammals in agricultural landscapes of south-eastern Brazil. *Mammalia*, v. 75, n. 4, p. 345–352.
- DUNNING, J. B., B. J. DANIELSON, AND H. R. PULLIAM. 1992. Ecological processes that affect populations in complex landscapes. *Oikos* 65:169-175.
- ESPERANDIO, I.B. 2011. Padrões espaciais de mortalidade de mamíferos silvestres e domésticos na rota do sol. Monografia – Instituto de Biociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul.
- EWERS, R.M. & DIDHAM, R.K. 2006. Confounding factors in the detection of species responses to habitat fragmentation. *Biol. Rev.*, 81, 117– 142.
- FAHRIG, L. & MERRIAM, G. 1994. Conservation of fragmented populations. *Conservation Biology*, 8, 50–59.
- FAHRIG, L. & PALOHEIMO, J. 1988. Determinants of local population size in patchy habitats. *Theoretical Population Biology*, 34: 194-213.
- FAHRIG, L.; RYTWINSKI, T. 2009. Effects of roads on animal abundance: an empirical review and synthesis. *Ecology and Society*, Wolfville, v. 14, n. 1, p. 1-19, Dez.
- FISCHER, W. A. 1997. Efeitos da BR-262 na mortalidade de vertebrados silvestres: síntese naturalística para conservação da região do Pantanal, MS. Tese (Doutorado). Instituto de Ciências Biológicas da Universidade Federal do Mato Grosso do Sul. Campo Grande. 44 p.
- FORMAN, R. T. T. & ALEXANDER, L. E. 1998. Roads and their major ecological effects. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 29: 207-231.
- FORMAN, R. T. T. & GORDON, M. 1986. *Landscape Ecology*. New York: John Wiley and Sons.
- FORMAN, R. T. T. 2000. Estimate of the area affected ecologically by the road system in the United States. *Conservation Biology*, 14(1): 31-35.
- FORMAN, R. T. T. SPERLING, D. BISSONETTE, J. A. CLEVINGER, A. P. CUTSHALL, C. D. DALE, V. H. FAHRIG, L. FRANCE, R. GOLDMAN, C. R. HEANUE, K. JONES, J. A. SWANSON,

- F. J. TURRENTINE, T. WINTER, T. C. 2003. *Road Ecology: Science and Solutions*. Island Press, Washington, D. C.
- FORMAN, R.T.T. 1995. *Land mosaics: the ecology of landscapes and regions*. Cambridge: Cambridge University Press. 632p.
- FORMAN, R.T.T. 1998. Horizontal processes, roads, suburbs, societal objectives, and landscape ecology. In *Landscape Ecological Analysis: Issues and Applications*, ed. JM Klopatek, RH Gardner. New York: Springer-Verlag.
- GARCIA, M. I. M., JARA, S. D. M., SCHLEE, M. B., SILVA JÚNIOR, O. P. DA, & COELHO NETTO, A. L. 2016. Uso do Solo e Vulnerabilidade Socioambiental na Sub-Bacia do Alto Rio das Pedras (Rio de Janeiro/RJ): Subsídios para Regeneração de Rios Neotropicais. *Revista Do Departamento De Geografia*, 32, 29-38.
- GOMES, L., GRILO, C., SILVA C., MIRA A. 2009. Identification methods and deterministic factors of owl roadkill hotspot locations in Mediterranean landscapes. *Ecological Research*, 24, pp. 355-370.
- GOOSEM, M. 2007. Fragmentation impacts caused by roads through rainforests. *Current Science*, 93: 1587–1595.
- GRILO, C.; BISSONETTE. J.A.; SANTOS-REIS, M. 2009. Spatial–temporal patterns in Mediterranean carnivore road casualties: consequences for mitigation. *Biological Conservation*, vol. 142. pp. 301–313.
- GRILO, C.; BISSONETTE. J.A.; CRAMER, P. 2010. Mitigation measures to reduce impacts on biodiversity. In: *Highways: Construction, Management and Maintenance*. JONES, S. R. (org.) pp. 73-114.
- GRILO C.; ASCENSÃO, F.; SANTOS-REIS, M.; BISSONETTE, J.A. 2011. Do well connected landscapes promote road-related mortality? *Eur J Wildl Res* 57:707–716.
- GRILO, C., et al. 2018. BRAZIL ROAD-KILL: a data set of wildlife terrestrial vertebrate road-kills. *Ecology* 99: 2625–2625.
- GUARENGHI, M.M. 2018. Avaliação dos potenciais impactos da expansão canavieira sobre a conectividade da paisagem. Tese de Doutorado (Faculdade de Engenharia Mecânica). Universidade Estadual de Campinas. 142 pags.
- JAEGER, J. A. G. et al. 2005. Predicting when animal populations are at risk from roads: an interactive model of road avoidance behavior. *Ecological Modelling*, Amsterdam, v. 185, p. 329-348, Jan.
- LANDIS, J.R.; KOCH, G.G. 1977. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*. Vol. 33, pp. 159–174.

- LANG, S. & T. BLASCHKE. 2009. Análise da Paisagem com SIG. Tradução Hermann Kux. São Paulo. Oficina de Textos, p.423.
- LANGEN, T.A.; GUNSON, K.E.; SCHEINER, C.A.; BOULERICE, J.T. 2012. Road mortality in freshwater turtles: identifying causes of spatial patterns to optimize road planning and mitigation. *Biodivers Conserv* 21:3017–3034
- LANGLOIS J.P., FAHRIG L., MERRIAM G. & ARTSOB H. 2001. Landscape structure influences continental distribution of hantavirus in deer mice. *Landscape Ecology*, 16, 255-266.
- LAURANCE, W. F., 1997, Hyper-disturbed parks: edge effects and the ecology of isolated rainforest reserves in tropical Australia. In: W. F. Laurance & R. O. Bierregaard (eds.), *Tropical forest remnants: ecology, management and conservation of fragmented communities*, University of Chicago Press, Chicago, pp. 71-83.
- LAURANCE, W.F., GOOSEM, M., LAURANCE, S.G.W. 2009. Impacts of roads and linear clearings on tropical forests *Trends Ecol Evol* 24:659-669 doi:10.1016/j.tree.2009.06.009.
- LEE, E.; KLÖCKER, U.; CROFT, D.B.; RAMP, D. 2004. Kangaroo-vehicle collisions in Australia's sheep rangelands, during and following drought periods. *Australian Mammalogy* 26: 215-226.
- LEVINS, R. 1969. Some demographic and genetic consequences of environmental heterogeneity for biological control, *Bulletin of the Entomological Society of America*, 15: 237–240.
- LIMA, S.F.; OBARA, A.T. 2004. Levantamento de Animais silvestres atropelados na BR-277 às margens do Parque Nacional do Iguaçu: Subsídios ao programa multidisciplinar de proteção à fauna. VII Semana de Artes da Universidade Estadual de Maringá.
- LINDENMAYER, D.B.; FRANKLIN, J.F.; FISCHER, J. 2006. General management principles and a checklist of strategies to guide forest biodiversity conservation. *Biological conservation*, v. 131, n. 3, p. 433-445.
- LYRA-JORGE, M. C.; CIOCHETI, G.; PIVELLO, V.R. 2008. Carnivore mammals in a fragmented landscape in northeast of São Paulo State, Brazil. *Biodiversity and Conservation*, Springer, v. 17, n. 7, p. 1573–1580.
- MACARTHUR, R. H. AND WILSON, E. O. 1967. *The Theory of Island Biogeography*. Princeton, N.J.: Princeton University Press.
- MADER, H. J. 1984. Animal habitat isolation by roads and agricultural fields. *Biological Conservation*, 29: 81-96.
- MAGIOLI, M.; de BARROS, K.M.P.M.; SETZ, E.Z.F.; PERCEQUILLO, A.R.; RONDON, M.V.D.S.S.; KUHNEN, V.V; DO PRADO, H.A. 2016. Connectivity maintain mammal assemblages functional diversity within agricultural and fragmented landscapes. *European journal of wildlife research*, v. 62, n. 4, p. 431-446.

- MALO, J.E.; SUÁREZ, F.; DÍEZ, A. 2004. Can we mitigate animal–vehicle accidents using predictive models? *Journal of Applied Ecology* 41:701–710.
- MCDONALD-MADDEN E.; BAXTER, P.W.J.; POSSINGHAM, H.P. 2008. Making robust decisions for conservation with restricted money and knowledge. *J Appl Ecol* 45:1630–1638
- MCGARIGAL, K.; CUSHMAN, S. A. 2002. Comparative evaluation of experimental approaches to the study of habitat fragmentation effects. *Ecological Applications*, v. 12, n. 2, 2002, p. 335–345.
- MCGREGOR, R. L.; BENDER, D. J.; FAHRIG, L. 2008. Do small mammals avoid roads because of the traffic? *Journal of Applied Ecology*, 45: 117-123
- MCRAE, B.; SHAH V.B.; MOHAPATRA T.K. 2013. Circuitscape 4 user guide. The Nature Conservancy, Arlington. <http://www.circuitscape.org>
- MCRAE, B.H.; DICKSON, B.G.; KEITT, T.H.; SHAH, V.B. 2008. Using circuit theory to model connectivity in ecology, evolution, and conservation. *Ecology* 89:2712–2724
- METZGER J.P. & DÉCAMPS H. 1997. The structural connectivity threshold: An hypothesis in conservation biology at the landscape scale. *Acta Oecologica International Journal of Ecology*, 18, 1-12.
- METZGER, J. P. 1999. Estrutura da paisagem e fragmentação: análise bibliográfica. *Anais da Academia Brasileira de Ciência*, v. 71, n. 3 (1), p. 445 - 463.
- METZGER, J. P. O que é ecologia de paisagens? 2001. *Biota Neotropica*, São Paulo, v. 1, n. 1/2, p. 1-9
- PEREIRA, L.G. & CARVALHO, A.S. 2011. Registros de atropelamentos de répteis em uma estrada do sudoeste do Pará. *Anais do Road Ecology Brasil*, pp. 199-201.
- PROBIO / MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. 2004. Levantamento da Cobertura Vegetal Nativa do Bioma Mata Atlântica. In: Relatório Final do Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira, 84p.
- R CORE TEAM. 2021. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>. Acesso em 15 de maio de 2021.
- RAMP, D.; CALDWELL, J.; EDWARDS, K.A. 2005. Modelling of wildlife fatality hotspots along the Snowy Mountain Highway in New South Wales, Australia. *Biological Conservation* 126: 474-490.
- RAYFIELD, B., FORTIN, M-J., FALL, A. 2010. The sensitivity of least-cost habitat graphs to relative cost surface values. *Landscape Ecology* 25: 519–532.
- REIS, N. R.; PERACCHI, A. L.; PEDRO, W. A.; LIMA, I. P. *Mamíferos do Brasil*. 2 ed., Londrina: N. R. Reis, 2011. 439 p.

REIS, N.R., PERACCHI, A.L., PEDRO, W.A. & LIMA, I.P. 2007. Morcegos do Brasil. Universidade de Londrina, Londrina, 253p.

REZINI, J.A. 2010. Atropelamento de mamíferos em rodovias do leste dos Estados do Paraná e Santa Catarina, Sul do Brasil. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Conservação). Universidade Federal do Paraná. 50 pgs.

REZENDE, C.L.; SCARANO, F.R.; ASSAD, E.D.; JOLY, C.A.; METZGER, J.P.; STRASSBURG, B.N.B.; TABARELLI, M.; FONSECA, G.A.; MITTERMEIER, R.A. 2018. From hotspot to hopespot: an opportunity for the Brazilian Atlantic Forest. *Perspectives in Ecology and Conservation*, 16, 208-214.

ROSA, A. O., MAHUS, J. 2004. Atropelamentos de animais silvestres na rodovia RS-040. *Caderno de Pesquisa – Série Biologia*, Santa Cruz do Sul, v. 16, n. 1, p. 35-42, jan./jun. 2004.

ROSA, C.A. & BAGER, A. 2013. Review of the factors underlying the mechanisms and effects of roads on vertebrates. *Oecologia Australis*, 17(1): 6-19.

SANTOS R.A.L., S.M. SANTOS, M. SANTOS-REIS, A. PIKANÇO DE FIGUEIREDO, A. BAGER, L.M.S. AGUIAR & F. ASCENSÃO. 2016. Carcass persistence and detectability: Reducing the uncertainty surrounding wildlife-vehicle collision surveys. *PLoS One* 11: 1–15.

SEILER, A. 2001. Ecological effects of roads: a review. Uppsala: Department of Conservation Biology, Swedish University of Agricultural Sciences (Introductory Research Essay 9).

SIEVING, K.E., WILLSON, M.F. & SANTO, T.L.D. 1996. Habitat barriers to movement of understory birds in fragmented south-temperate rainforest. *The Auk*, 113, 944– 949.

SILVA, M.F.V. 2013. Influência de fatores externos e internos sobre o deslocamento de guildas da herpetofauna. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Tecnologia Ambiental). Universidade Federal de Alfenas, 54 pags.

SILVA, R. A. 2015. Avaliação da cobertura florestal na paisagem de Mata Atlântica no Ano De 2010, Na Região De Ouro Preto - MG. *Cerne*, v. 21, n. 2, p. 301–309.

SILVEIRA, L.F.; BEISIEGEL, B.M.; CURCIO, F.F.; VALDUJO, P.H.; DIXO, M.; VERDADE, V.K.; MATTOX, G.M.T.; & CUNNINGHAM, P.T.M. 2010. Para que servem os inventários de fauna?. *Estudos Avançados*, 24(68), 173-207. <https://dx.doi.org/10.1590/S0103-40142010000100015>

SOS MATA ATLÂNTICA. 2015. Mapeamento da Mata Atlântica do Rio de Janeiro. Seminário do Viva a Mata – Encontro Nacional da Mata Atlântica. Disponível em: <https://www.sosma.org.br/noticias/levantamento-inedito-mata-atlantica-rio/.html>> Acesso em: 06 nov. 2020.

SWIFT, T.L. & HANNON, S.J. 2010. Critical thresholds associated with habitat loss: a review of the concepts, evidence, and applications. *Biological Reviews*. 85: 35-53.

TAYLOR, P.D.; FAHRIG, L.; HENEIN, K. & MERRIAM, G. 1993. Connectivity is a vital element of landscape structure. *Oikos*, 68: 571-573.

TEIXEIRA F.Z., A.V.P. COELHO, I.B. ESPERANDIO & A. KINDEL. 2013a. Vertebrate road mortality estimates: Effects of sampling methods and carcass removal. *Biological Conservation* 157: 317–323.

TEIXEIRA, F. Z.; PRINTES, R. C.; FAGUNDES, J. C. G.; ALONSO, A. C.; KINDEL, A. 2013b. Canopy bridges as road overpasses for wildlife in urban fragmented landscapes. *Biota Neotropica*. Campinas, v. 13, n.1, Mar. 2013.

TISCHENDORF, L. & FAHRIG, L. 2000. How should we measure landscape connectivity? *Landscape Ecology*, 15: 633-641.

TOZETTI, A.M. & TOLEDO, L.F. 2005. Short-term movement and retreat sites of *Leptodactylus labyrinthicus* (Anura: Leptodactylidae) during the breeding season: a spool-and-line tracking study. *Journal of herpetology*, 39, 640-644.

TROMBULAK, C. S. & FRISSEL, A. C. 2000. Review of ecological effects of roads on terrestrial and aquatic communities. *Conservation Biology*, 14(1): 18-30.

TSUDA, L.S. 2017. Análise dos atropelamentos de mamíferos em uma rodovia no estado de São Paulo utilizando Self-Organizing Maps. Dissertação (Mestrado em Ciências). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 125 p.

UEZU, A.; METZGER, J. P.; VIELLIARD, J. M. E. 2005. Effects of structural and functional connectivity and patch size on the abundance of seven Atlantic Forest bird species. *Biological Conservation*, v. 123, n. 4, p. 507–519.

VAN DEN BERG, L.J.L., BULLOCK, J.M., CLARKE, R.T., LANGSTON, R.H.W., ROSE, R.J. 2001. Territory selection by the Dartford warbler (*Sylvia undata*) in Dorset, England: the role of vegetation type, habitat fragmentation and population size. *Biol. Conserv.* 101:217–28.

VARGAS-SALINAS, F.; DELGADO-OSPINA, I.; LÓPEZ-ARANDA, F. 2011. Mortalidad por atropelo vehicular y distribución de anfibios y reptiles en un bosque subandino en el occidente de Colombia. *Caldasia*: 33(1), p. 121-138.

WILCOVE, D.S.; MCLELLAN, C.H. & DOBSON, A.P. 1986. Habitat fragmentation in the temperate zone. Pp. 237-256. In: Soulé, M. E. (ed.), *Conservation Biology The Science of Scarcity and Diversity*. Sinauer Associates Inc., Sunderland

ZIONI, S.; FREITAS, S. R. 2015. Aspectos ambientais no Plano Nacional de Logística e Transporte do Brasil. *Desenvolvimento. Meio Ambiente*, Curitiba, v. 35, p. 195-208, Dezembro.

WILSON, R. F., MARSH, H. & WINTER, J. 2007. Importance of canopy connectivity for home range and movements of the rainforest arboreal ringtail possum (*Hemibelideus lemuroides*). *Wildlife Research*, 34: 177–18.

APÊNDICE



INSTITUTO FEDERAL DE MINAS GERAIS

MESTRADO PROFISSIONAL EM SUSTENTABILIDADE E TECNOLOGIA AMBIENTAL (MPSTA)

PRODUTO TÉCNICO

Relatório Técnico Conclusivo Sobre a Utilização de Métodos de Conectividade
da Paisagem Para Prever a Alocação de Medidas Mitigatórias aos
Atropelamentos de Fauna

Raphael Hipólito dos Santos

Orientador (a): Prof. Dra. Ludimilla Portela Zambaldi Lima Suzuki

Coorientador (a): Prof. Dra. Paula Ribeiro Prist

BAMBUÍ – MG

2021

Sumário

1. INTRODUÇÃO	5
2. OBJETIVOS.....	6
2.1. Objetivos Específicos.....	6
3. METODOLOGIA	7
3.1. Área de Estudo	7
3.2. Base de Dados	7
3.3. Agregações de Atropelamentos.....	8
3.4. Matrizes de Resistências	9
3.5. Análise de Conectividade da Paisagem.....	12
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	13
4.1. <i>Hotspots</i> de Atropelamentos e Análises de Conectividade	17
4.2. Indicação de Medidas de Mitigação.....	33
4.2.1. Passagem de Fauna Suspensa.....	37
4.2.2. Passagem de Fauna Inferior	38
4.2.3. Passagem de Fauna Inferior Multiuso	39
4.2.4. Tuneis Para Anfíbios e Répteis	40
4.2.5. Redutores de Velocidade.....	41
4.2.6. Campanhas Educativas.....	43
4.2.7. Sinalização Viária	44
5. CONCLUSÃO	46
6. REFERÊNCIAS	48

Lista de Figuras

Figura 1. Matriz de uso e ocupação do solo em um Buffer de 15 km na área de estudo da BR-101, Rio de Janeiro.	8
Figura 2. <i>Buffer</i> de 100 metros, 1 km e 5 km ao longo da área de amostragem da BR-101 para elaboração das matrizes de resistência.	12
Figura 3. <i>Hotspots</i> de atropelamentos registrados ao longo da BR-101, Trecho de Niterói a Campos dos Goytacazes.	17
Figura 4. <i>Hotspots</i> de atropelamentos das espécies arborícolas associadas aos resultados de conectividade registrados ao longo da BR-101, Trecho de Niterói a Campos dos Goytacazes.	20
Figura 5. <i>Hotspots</i> de atropelamentos das espécies especialistas de baixa capacidade de deslocamento, associadas aos resultados de conectividade registrados ao longo da BR-101, Trecho de Niterói a Campos dos Goytacazes.	21
Figura 6. <i>Hotspots</i> de atropelamentos das espécies especialistas de média capacidade de deslocamento, associadas aos resultados de conectividade registrados ao longo da BR-101, Trecho de Niterói a Campos dos Goytacazes.	23
Figura 7. <i>Hotspots</i> de atropelamentos das espécies especialistas de alta capacidade de deslocamento, associadas aos resultados de conectividade registrados ao longo da BR-101, Trecho de Niterói a Campos dos Goytacazes.	24
Figura 8. <i>Hotspots</i> de atropelamentos das espécies generalistas de baixa capacidade de deslocamento, associadas aos resultados de conectividade registrados ao longo da BR-101, Trecho de Niterói a Campos dos Goytacazes.	27
Figura 9. <i>Hotspots</i> de atropelamentos das espécies generalistas de média capacidade de deslocamento, associadas aos resultados de conectividade registrados ao longo da BR-101, Trecho de Niterói a Campos dos Goytacazes.	28
Figura 10. <i>Hotspots</i> de atropelamentos das espécies generalistas de alta capacidade de deslocamento, associadas aos resultados de conectividade registrados ao longo da BR-101, Trecho de Niterói a Campos dos Goytacazes.	29
Figura 11. Esquema de passagem de fauna suspensa. Fonte: O Eco (2016).	37
Figura 12. Esquema de passagem de fauna suspensa. Fonte: O Eco (2016).	37
Figura 13. Passagem de fauna suspensa em construção. Fonte: O Eco (2016).	38
Figura 14. Passagem de fauna inferior. Fonte: Google Imagens (2021).	39
Figura 15. Passagem de fauna inferior. Fonte: Google Imagens (2021).	39
Figura 16. Passagem de fauna inferior multiuso. Fonte: Google Imagens (2021).	40
Figura 17. Construção de passagem de fauna inferior multiuso. Fonte: Google Imagens (2021).	40
Figura 18. Túnel para deslocamento de anfíbios e répteis. Fonte: Google Imagens (2021).	41
Figura 19. Bueiro utilizado para deslocamento de anfíbios e répteis. Fonte: Google Imagens (2021).	41

Figura 20. Radar redutor de velocidade. Fonte: Google Imagens (2021).	42
Figura 21. Sonorizador redutor de velocidade. Fonte: Google Imagens (2021).	42
Figura 22. Proposta de Folder educativo. Fonte: Klabin (2021).	43
Figura 23. Proposta de Folder educativo. Fonte: Google Imagens (2021).	43
Figura 24. Indicação de placa de sinalização. Fonte: Google Imagens (2021).	45
Figura 25. Indicação de placa de sinalização. Fonte: Google Imagens (2021).	45
Figura 26. Indicação de placa de sinalização. Fonte: Google Imagens (2021).	45
Figura 27. Indicação de placa de sinalização. Fonte: Google Imagens (2021).	45

Lista de Tabelas

Tabela 1. Matrizes de resistência elaboradas a partir do mapeamento de uso e ocupação do solo da BR-101, Trecho Niterói-Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro.	11
Tabela 2. Lista de espécies de Mamíferos, Répteis e Anfíbios Atropelados entre os anos de 2010-2016 na BR-101, Trecho Niterói-Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro. Status de conservação seguem ICMBIO (2018) e IUCN (2020).	13
Tabela 3. Quilômetro de Registro dos pontos de <i>Hotspots</i> e pontos de análise de conectividade na área de estudo da BR-101, Trecho Niterói-Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro.	18
Tabela 4. Indicação de medidas mitigadoras associadas ao quilômetro de Registro dos <i>Hotspots</i> de agregação de atropelamentos na área de estudo da BR-101, Trecho Niterói-Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro.	34

1. INTRODUÇÃO

A implantação e operação de estradas e rodovias, embora sejam fundamentais para o desenvolvimento do país, resultam na perda e fragmentação de habitats, e representam um risco potencial para o meio ambiente circundante, gerando impactos ambientais significativos (FORMAN & ALEXANDER, 1998), alterando tanto seus componentes bióticos quanto os abióticos. Já no caso dos componentes bióticos, o maior impacto é a mortalidade de exemplares da fauna durante a construção das vias e por atropelamento e, posteriormente, as mudanças nas dinâmicas de suas populações em consequência do efeito barreira (TROMBULAK & FRISSELL, 2000).

Esses impactos, quando frequentes, podem resultar em mudanças nas taxas de movimento de indivíduos dentro de suas áreas de vida, o que pode subdividir populações e criar subpopulações geneticamente distintas, afetando sua viabilidade e persistência (MADER, 1984). Deste modo, a mortalidade de indivíduos por atropelamento, associada aos efeitos de fragmentação e diminuição de conectividade, são os principais problemas para a fauna com consequente risco de extinção local de espécies (MADER, 1984; FORMAN, 2000; MCGREGOR et al., 2008).

Geralmente a localização dos atropelamentos de fauna em rodovias é determinada por diversos fatores, como o tráfego de veículos, características da estrada e principalmente a estrutura da paisagem. A mitigação dos impactos das rodovias na fauna silvestre, principalmente nos mamíferos de médio e grande porte, que possuem grande capacidade de deslocamento, são extremamente dispendiosos. Além disso, questões sobre qual o método mais eficaz para se determinar a correta localização geográfica para alocação dessas medidas ainda permanecem em aberto. Sabe-se que a identificação e contagem de espécimes atropelados não é a melhor estratégia para se utilizar para alocação de medidas de mitigação, principalmente porque eles variam no tempo e no espaço (CRAWFORD et al. 2013; CLEVINGER et al. 2003). Deste modo, testar outras metodologias para a melhor alocação de medidas de mitigação é crucial para o desenvolvimento de estratégias que realmente minimizem as taxas de mortalidade de animais silvestres nas estradas e propiciem a conectividade estrutural e funcional da paisagem, perdida com a alocação das rodovias (MALO et al. 2004).

Decisões sobre iniciativas de conservação (mitigações dos impactos das rodovias) devem otimizar os custos e minimizar os recursos consumidos (MCDONALD-MADDEN et al. 2008). Fundos limitados podem levar a estudos com resultados pouco acurados, coletados em curto espaço de tempo, levando a decisões errôneas sobre onde medidas de mitigação devem ser adotadas. Portanto, é imprescindível, que novas ferramentas e metodologias sejam testadas e estejam prontas para uso, sendo de menor custo e que possam gerar um resultado melhor do que as que são geralmente utilizadas nesse tipo de estudo.

Com isso, esse estudo busca testar a eficácia de diferentes metodologias na alocação de medidas de mitigação, para fauna com diferentes requerimentos ecológicos que ocorrem no entorno da BR-101, estado do Rio de Janeiro. Para isso modelos de conectividade da paisagem e teoria dos circuitos serão associados à diferentes padrões de deslocamentos de anfíbios, reptéis e mamíferos, e serão comparados com dados de atropelamentos para esses grupos.

2. OBJETIVOS

O objetivo principal desse trabalho é avaliar se métodos de conectividade da paisagem podem identificar corretamente a alocação de medidas de mitigação para diferentes grupos de fauna, usando a BR-101, trecho de Niterói a Campos dos Goytacazes, no estado do Rio de Janeiro, como objeto de estudo.

2.1. Objetivos Específicos

- Avaliar se o método de conectividade da paisagem consegue prever um número maior de pontos para alocação de medidas de mitigação;
- Indicar se o método de conectividade da paisagem pode ser complementar ou mais eficaz do que o método usual de atropelamento utilizado (*hotspots* – agregação de atropelamentos) para alocação das medidas de mitigação;
- Indicar possíveis locais e tipo da estrutura a ser implantada para mitigação dos atropelamentos de fauna na BR-101, trecho de Niterói a Campos dos Goytacazes.

3. METODOLOGIA

3.1. Área de Estudo

A BR-101 é uma rodovia federal que cruza doze estados no Brasil, tendo uma importante função na malha rodoviária brasileira por conectar o sul, sudeste e nordeste brasileiro. No estado do Rio de Janeiro, a BR-101/RJ Norte liga as cidades de Niterói a Campos dos Goytacazes, possuindo um papel relevante sob o ponto de vista econômico, conectando a região norte da costa litorânea do estado do Rio de Janeiro e suas bacias petrolíferas, permitindo também acesso aos polos turísticos da região dos lagos e litoral sul Capixaba (ARTERIS, 2020).

O volume diário médio (VDM) da rodovia é de 74 mil veículos, sendo 20% de veículos comerciais. A maior movimentação é registrada em Niterói, com cerca de 100 mil veículos. Na região Macaé, o volume diário médio de tráfego é de 15 mil veículos. No trecho próximo à divisa com o Estado do Espírito Santo, o volume diário médio de tráfego é de seis mil veículos (ARTERIS, 2020).

A área de estudo está inserida no domínio do bioma Mata Atlântica e o clima da região é do tipo Aw, de acordo com a classificação de Köppen, com estações climáticas bem definidas. A precipitação anual varia em torno de 2.230 mm e a temperatura média é de aproximadamente 24° C (CARVALHO et al., 2009). Atualmente, o estado do Rio de Janeiro possui 30,6% (cerca de 1,3 milhão de hectares) de cobertura vegetal nativa (PROBIO, 2004), em diferentes estágios sucessionais. Segundo a Fundação SOS Mata Atlântica (SOS MATA ATLÂNTICA, 2015) a cobertura florestal atual representa 435.530 hectares (10%) da Mata Atlântica original. Já os remanescentes florestais respondem por 18,6% (814.563 ha), com o restante dividido em mangues (0,3%), restinga (1,2%) e formações naturais não florestais (0,6%).

3.2. Base de Dados

A base de dados de atropelamentos de vertebrados para a BR-101 no estado do Rio de Janeiro utilizada segue o Data Paper de Grilo et al., (2018). A base de dados para mapeamento de uso do solo segue a Fundação Brasileira da Biodiversidade Sustentável (<https://www.fbds.org.br/>). O mapeamento do uso e cobertura do solo foi realizado por meio da classificação supervisionada de imagens RapidEye, ano base 2013. A conferência e edição

vetorial foi realizada na escala de 1:10.000. As classes de uso do solo foram descritas como formação florestal, formação não florestal, água, área edificada, área antropizada, silvicultura e oceano. Foi gerado um Buffer de 15 km ao redor da BR-101 para montagem das matrizes de resistência (Figura 1).

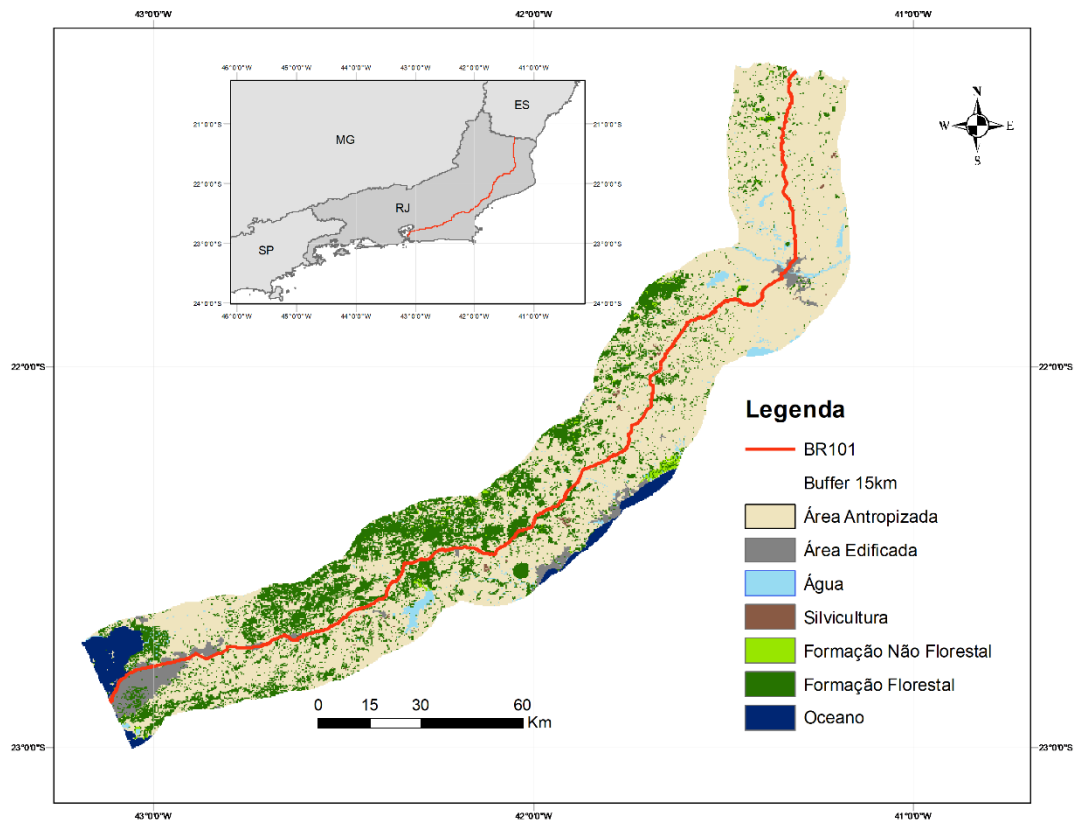


Figura 1. Matriz de uso e ocupação do solo em um Buffer de 15 km na área de estudo da BR-101, Rio de Janeiro.

3.3. Agregações de Atropelamentos

Cada registro de atropelamento foi classificado segundo a classe da espécie atingida (anfíbios, mamíferos e répteis), de acordo com seu hábito locomotor (arborícola ou terrestre), segundo sua capacidade de deslocamento (baixa, média ou alta), e quanto à seletividade de habitat florestal (especialistas e/ou generalistas), segundo literatura específica. Dessa forma, os registros encontrados para BR-101 foram agrupados em: a) espécies arborícolas; b) espécies generalistas de baixa capacidade de deslocamento; c) espécies generalistas de média capacidade de deslocamento; d) espécies generalistas de alta capacidade de deslocamento; e) espécies especialistas de baixa capacidade de deslocamento; f) espécies especialistas de média capacidade de deslocamento; g) espécies especialistas de alta capacidade de deslocamento;

A classificação quanto a capacidade de deslocamento de mamíferos voadores e não voadores segue Reis et al., (2007; 2011), anfíbios seguem Tozetti e Toledo (2005) e consultas a especialistas do grupo. Para definição quanto a capacidade de deslocamento dos répteis, foram utilizadas as informações disponíveis em Silva (2013; 2015), além de consultas a especialistas em répteis. Para a divisão das capacidades foi considerado: a) deslocamento baixo: espécies que possuem deslocamento médio de cerca de 250 metros por dia; b) deslocamento médio: espécies que se deslocam em média cerca de 1 km por dia; c) deslocamento alto: espécies que se deslocam em média acima de 5 km por dia. Esses cortes foram feitos de acordo com o deslocamento médio das espécies existentes no banco de dados da BR-101.

Para avaliar a presença de agregações de atropelamentos, utilizou-se a estatística de densidade de Kernel, com o uso do programa KDE+ (BIL, et al., 2019). Nesta análise, o método de estimativa da densidade de Kernel é usado para avaliar a intensidade de agregações de atropelamentos em um raio de 100 metros da rodovia. O Estimador de Densidade de Kernel é uma ferramenta que produz uma estimativa da variação de intensidade de eventos pontuais de atropelamento ao longo da rodovia e caracteriza-se por criar uma superfície suave de densidade de pontos. Neste contexto, foram utilizados os registros de atropelamentos ao longo de 323,65 quilômetros da BR-101, separando os eventos de atropelamentos de acordo com a classificação descrita acima.

3.4. Matrizes de Resistências

A partir do mapeamento de uso do solo do estado do Rio de Janeiro, foram geradas quatro simulações de matrizes de resistências ao movimento, para cada grupo da fauna. Cada matriz contém uma hipótese sobre como cada grupo de fauna se desloca pela paisagem. As matrizes foram montadas com base no uso e ocupação do solo disponível para a BR-101 no estado do Rio de Janeiro.

Em uma simulação, considerada esperada (simulação A), para as espécies de hábito arborícola e espécies especialistas em habitat florestal, as matrizes foram elaboradas segundo o modelo: formações florestais são mais permeáveis para deslocamento da fauna – portanto essas espécies deslocam-se preferencialmente por esse tipo de ambiente; a silvicultura teria uma permeabilidade média ao movimento, sendo mais usada do que ambientes abertos porém menos do que ambientes florestais; áreas antropizadas possuem alta resistência ao movimento

– espécies evitam esse tipo de ambiente ao se deslocar; formação natural não florestal (arbustiva) também seria mais resistente ao movimento, por representar uma área aberta. Em duas outras simulações os valores de cada classe de resistência foram alterados e em uma quarta foi criada uma hipótese nula (simulação C) – onde o que ocorre é o oposto do que esperamos – nesse caso áreas abertas seriam mais permeáveis ao movimento e áreas florestais mais resistentes.

Assim, as simulações das matrizes de resistência para as espécies arborícolas e espécies especialistas em habitat florestal foram elaboradas com a seguinte disposição: a) formações florestais e não florestais (arbustiva) são mais permeáveis para o deslocamento da fauna, enquanto silvicultura, água, áreas antropizadas e edificadas apresentam resistência ao deslocamento das espécies pela paisagem; b) a silvicultura e a formação florestal apresentam alta permeabilidade para deslocamento da fauna, enquanto as formações não-florestais, água, área antropizada e área edificadas apresentam resistência ao deslocamento da fauna; c) área antropizada e área edificadas representam alta permeabilidade para as espécies especialistas e arborícolas, enquanto a formação florestal, água, silvicultura e formação não florestal apresentam resistência ao deslocamento da fauna; d) a formação não florestal (arbustiva), formação florestal e área antropizada são mais permeáveis ao deslocamento da fauna em contraponto a silvicultura, água e área edificadas que são menos permeáveis.

No que tange as espécies de hábito generalista em relação a seletividade de habitat, a matriz de resposta esperada foi elaborada de acordo com o seguinte modelo: a) áreas antropizadas e formação não florestal (arbustiva) são mais permeáveis para deslocamento destas espécies, uma vez que esses animais são generalistas e se tornam mais abundantes em áreas antropizadas; b) a água e áreas edificadas são mais resistentes para o movimento; c) a silvicultura é mais permeável para deslocamento das espécies de hábito generalista. Em duas outras simulações os valores de cada classe de resistência foram alterados e em uma quarta foi criada uma hipótese nula – onde o que ocorre é o oposto do que esperamos – nesse caso áreas abertas seriam mais resistentes ao movimento e áreas edificadas mais permeáveis.

Neste contexto, as simulações para as espécies de hábito generalista foram elaboradas com a seguinte disposição: a) área antropizada e formação não florestal (arbustiva) apresentam maior permeabilidade para deslocamento das espécies generalistas em detrimento da silvicultura, formação florestal, água e área edificadas que são menos permeáveis; b) água, áreas edificadas e áreas antropizadas apresentam maior permeabilidade para deslocamento das

espécies generalistas, enquanto a silvicultura, formação florestal e não florestal são menos permeáveis para deslocamento da fauna; c) áreas edificadas e água apresentam maior permeabilidade para as espécies generalistas se deslocarem, enquanto silvicultura, formação florestal e não florestal e área antropizada apresentam alta resistência ao deslocamento da fauna; d) silvicultura, área antropizada e área edificada apresentam maior permeabilidade para deslocamento das espécies generalistas em detrimento a água, formação florestal e não florestal que apresentam maior resistência ao deslocamento das espécies.

As simulações foram dispostas conforme a Tabela 1. Em todas essas matrizes, valores próximos de um significam baixa resistência e facilidade de deslocamento pela paisagem, enquanto valores próximos de 1000, indicam resistência e barreiras ao deslocamento pela paisagem.

Tabela 1. Matrizes de resistência elaboradas a partir do mapeamento de uso e ocupação do solo da BR-101, Trecho Niterói-Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro.

Tipologia	Matriz de Resistência - Arborícolas/Especialistas			
	Simulação A	Simulação B	Simulação C	Simulação D
Formação Florestal	1	100	1000	100
Formação Não Florestal	50	300	800	1
Água	1000	200	500	200
Área Edificada	1000	1000	100	500
Área Antropizada	800	1000	1	100
Silvicultura	200	1	700	1000
Oceano	5000	5000	5000	5000
Tipologia	Matriz de Resistência - Generalistas			
	Simulação A	Simulação B	Simulação C	Simulação D
Formação Florestal	200	500	700	1000
Formação Não Florestal	50	700	1000	1000
Água	1000	1	100	200
Área Edificada	1000	50	1	100
Área Antropizada	1	100	1000	100
Silvicultura	1000	200	300	1
Oceano	5000	5000	5000	5000

Essas matrizes foram então associadas aos nós (fragmentos florestais próximos a rodovia) – no programa *Circuit scape*, para se estimar a probabilidade de deslocamento de cada grupo de fauna. Cada nó representou fragmentos potenciais na paisagem cujas espécies alvo tinham propensão para se deslocar. Para a seleção desses fragmentos, foram criados buffer de diferentes tamanhos ao redor da rodovia. Um buffer de 100 metros de raio foi criado para a seleção dos fragmentos alvo das espécies de baixo deslocamento. Considerou-se que

como essas espécies possuem baixo deslocamento, se próximas a rodovia, elas apenas poderiam atingir os fragmentos até essa distância. Para as espécies de médio deslocamento o buffer criado tinha 1 km de raio, e para as de alto deslocamento, 5 km de raio, conforme (Figura 2).

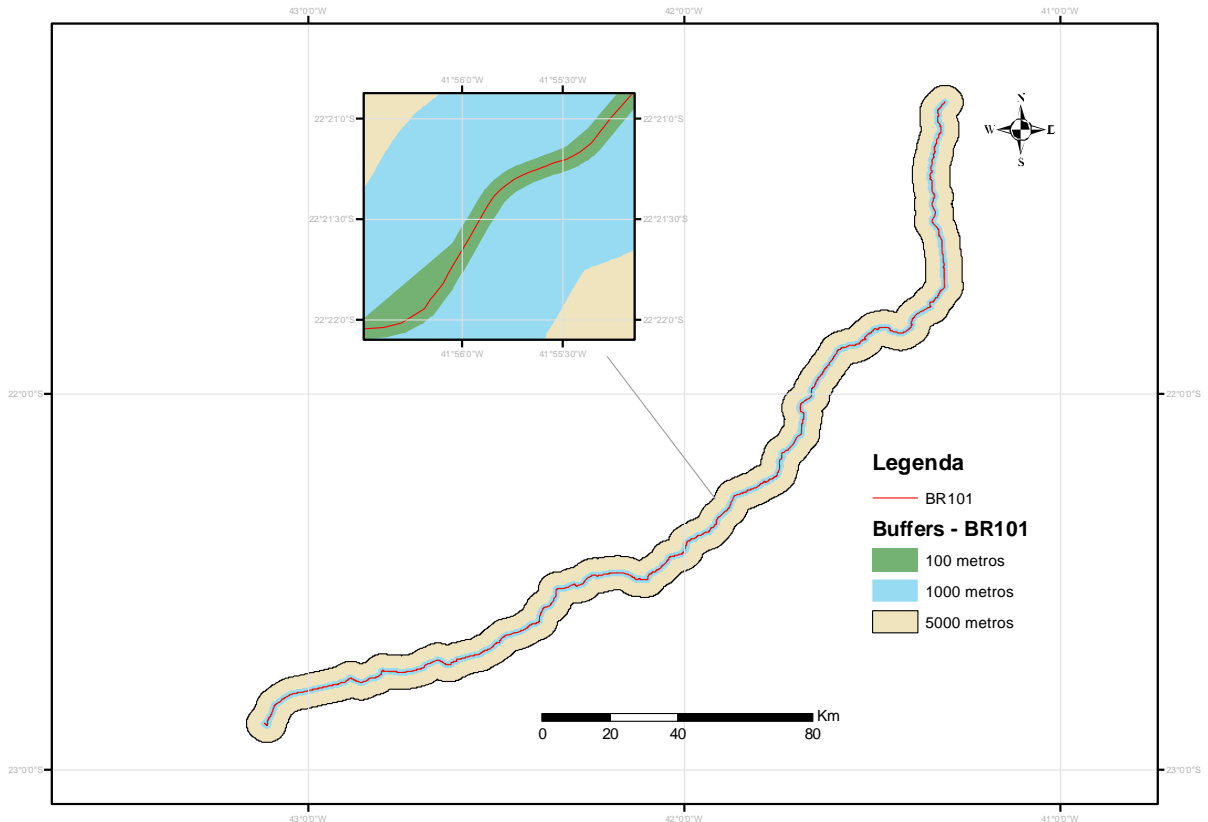


Figura 2. Buffer de 100 metros, 1 km e 5 km ao longo da área de amostragem da BR-101 para elaboração das matrizes de resistência.

3.5. Análise de Conectividade da Paisagem

Uma rede em sua forma mais elementar é uma matriz de adjacência, onde linhas e colunas representam os indivíduos na rede, e as células restantes representam as associações de pares entre os indivíduos na rede. No presente estudo, a presença de elementos da paisagem importantes para conectividade da fauna foi representada por um nó (node), e uma ligação entre dois pontos positivos representa conectividade funcional da paisagem (link). Se dois nós estão conectados, isso significa que as espécies são capazes de se movimentar pela paisagem, implicando em um potencial fluxo de organismos. Para a análise de conectividade a presença desses elementos da paisagem (e.g., grandes fragmentos florestais, áreas protegidas,

etc), foi considerada como nós e o mapa de uso do solo foi utilizado como base para elaboração das matrizes de resistência. Para cada pixel, foi designado um valor diferente, de forma a criar um contraste entre áreas de alta e baixa probabilidade de ocorrência. Áreas mais permeáveis tiveram valores de resistência iguais ou próximos a um, enquanto áreas menos permeáveis tiveram valores iguais ou próximos a 1000.

Assim, o grau de conectividade da paisagem foi estimado usando o programa CircuitScape 4.0 (MCRAE et al., 2013), através o uso da teoria dos circuitos, que trata os movimentos como correntes elétricas através de um circuito de diferentes resistências (MCRAE et al., 2008). Foram utilizadas as matrizes de resistência elaboradas para cada grupo de espécies, baseada no mapa de uso do solo, combinado com a rede de presença de elementos da paisagem.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No presente estudo, foram registrados um total 525 eventos de atropelamentos pertencentes a 46 espécies da fauna terrestre ao longo da rodovia BR-101, entre os anos de 2010 e 2016 (Tabela 2). Estas se dividem nas classes dos mamíferos (33 espécies), anfíbios (uma espécie) e répteis (12 espécies). Os registros de atropelamentos se dividem em 399 para os mamíferos (76%), 39 para os anfíbios (7,43%) e 87 eventos de atropelamentos para os répteis (16,57%). Considerando os 323,65 quilômetros de rodovia, registrou-se o atropelamento de 1,62 indivíduos animais/km ou 0,23 indivíduos animais/km/ano.

Tabela 2. Lista de espécies de Mamíferos, Répteis e Anfíbios Atropelados entre os anos de 2010-2016 na BR-101, Trecho Niterói-Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro. Status de conservação seguem ICMBIO (2018) e IUCN (2020).

Classe Ordem Espécie	Nome Popular	Quantitativo de Atropelamentos	Status de Conservação	
			ICMBIO (2018)	IUCN (2020)
Amphibia				
Anura				
<i>Leptodactylus latrans</i>	rã-manteiga	39	-	-
Mammalia				
Carnivora				
<i>Cerdocyon thous</i>	cachorro-do-mato	11	-	-
<i>Chrysocyon brachyurus</i>	lobo-guará	5	VU	-

Classe Ordem Espécie	Nome Popular	Quantitativo de Atropelamentos	Status de Conservação	
			ICMBIO (2018)	IUCN (2020)
<i>Galictis cuja</i>	furão	6	-	-
<i>Herpailurus yagouaroundi</i>	jaguarundi	1	VU	-
<i>Leopardus wiedii</i>	gato-maracajá	2	VU	-
<i>Lontra longicaudis</i>	lontra	3	-	-
<i>Nasua nasua</i>	quati	1	-	-
<i>Procyon cancrivorus</i>	mão-pelada	4	-	-
<i>Puma concolor</i>	onça-parda	3	VU	-
Chiroptera				
<i>Artibeus lituratus</i>	morcego	24	-	-
<i>Artibeus obscurus</i>	morcego	1	-	-
<i>Carollia perspicillata</i>	morcego	11	-	-
<i>Lasiurus ega</i>	morcego	1	-	-
<i>Molossus molossus</i>	morcego	8	-	-
<i>Molossus rufus</i>	morcego	1	-	-
<i>Phyllostomus hastatus</i>	morcego	4	-	-
<i>Platyrrhinus lineatus</i>	morcego	1	-	-
<i>Platyrrhinus recifinus</i>	morcego	1	-	-
<i>Sturnira lilium</i>	morcego	1	-	-
Cingulata				
<i>Cabassous unicinctus</i>	tatu-de-rabo-mole	1	-	-
<i>Dasybus novemcinctus</i>	tatu-galinha	13	-	-
<i>Euphractus sexcinctus</i>	tatu-peba	1	-	-
Didelphimorphia				
<i>Didelphis aurita</i>	gambá-de-orelha-preta	174	-	-
<i>Marmosa paraguayanus</i>	cuíca	5	-	-
<i>Philander frenatus</i>	cuíca-de-quatro-olhos	2	-	-
Pilosa				
<i>Bradypus torquatus</i>	preguiça	2	-	-
<i>Tamandua tetradactyla</i>	tamanduá-mirim	18	-	-
Primates				
<i>Alouatta guariba</i>	bugio	4	VU	VU
<i>Sapajus nigritus</i>	macaco-prego	4	-	-
Rodentia				
<i>Cavia fulgida</i>	preá	15	-	-
<i>Coendou spinosus</i>	ouriço-cacheiro	60	-	-
<i>Hydrochoerus hydrochaeris</i>	capivara	10	-	-
<i>Necomys lasiurus</i>	rato-do-mato	1	-	-
Reptilia				
Squamata				

Classe Ordem Espécie	Nome Popular	Quantitativo de Atropelamentos	Status de Conservação	
			ICMBIO (2018)	IUCN (2020)
<i>Amphisbaena alba</i>	cobra-de-duas-cabeças	12	-	-
<i>Boa constrictor</i>	jiboia	28	-	-
<i>Bothrops moojeni</i>	jararaca	1	-	-
<i>Corallus hortulanus</i>	cobra-veadeira	1	-	-
<i>Erythrolamprus miliaris</i>	falsa-coral	8	-	-
<i>Helicops carinicaudus</i>	cobra-d'água	11	-	-
<i>Micrurus corallinus</i>	coral-verdadeira	1	-	-
<i>Philodryas patagoniensis</i>	corre-campo	16	-	-
<i>Polychrus marmoratus</i>	papa-vento-verde	1	-	-
<i>Pseudoboa nigra</i>	cobra-preta	4	-	-
<i>Salvator merianae</i>	teiú	2	-	-
<i>Sordellina punctata</i>	cobra-dágua	2	-	-

A classe dos mamíferos foi a mais registrada ao longo da rodovia, com 399 eventos de atropelamento distribuídos em 33 espécies. Foram registradas cinco espécies de mamíferos elencadas como “vulnerável” nas categorias de ameaça a extinção, a nível nacional (ICMBIO, 2018) e global (IUCN, 2020). *Alouatta guariba* (bugio) e *Leopardus wiedii* (gato-maracajá) são espécies arborícolas, associadas aos fragmentos florestais próximos a BR-101, enquanto *Puma concolor* (onça-parda), *Herpailurus yagouraoundi* (jaguarundi) e *Chrysocyon brachyurus* (lobo-guará) são espécies que possuem grandes áreas de vida e alta capacidade de deslocamento (REIS et al., 2011). Foram registradas 33 espécies de mamíferos, valor considerado alto se comparado ao estudo de Bueno & Almeida (2010) que registraram 21 espécies de mamíferos atropelados na BR-040, entre Duque de Caxias e a Serra de Petrópolis no Rio de Janeiro.

A Ordem com maior número de indivíduos atropelados dentre os mamíferos foi *Didelphimorphia*, com 181 atropelamentos, que representam 45,36% dos atropelamentos entre os mamíferos e 34,47% do total de atropelamentos entre todas as classes. *Didelphis aurita* (gambá-de-orelha-preta) foi a espécie mais abundante com 174 indivíduos atropelados. O gênero *Didelphis* também foi a espécie com maior número de indivíduos atropelados em outros estudos (MANTOVANI, 2001; RODRIGUES et al., 2002; BUENO & ALMEIDA, 2010). A maior abundância do gênero *Didelphis* em estudos de atropelamento de fauna pode estar atrelada a sua abundância (BUENO & ALMEIDA, 2010) e hábitos generalistas em relação ao habitat (REIS et al., 2011).

Dentre os carnívoros, *Cerdocyon thous* (cachorro-do-mato) é a que apresenta o maior número de indivíduos atropelados (n=11). Ainda que os carnívoros sejam menos abundantes que pequenos mamíferos, a susceptibilidade desse grupo aos atropelamentos ocorre, provavelmente, por terem maior tamanho corporal e, portanto, maiores áreas de vida se comparados com mamíferos menores (MCNAB, 1963). Eventualmente, os carnívoros também se alimentam das carcaças de outros animais atropelados, ficando assim mais expostos ao atropelamento (REIS et al., 2011).

Os mamíferos são especialmente vulneráveis a construção e operação de rodovias, devido, entre outros fatores, ao seu tamanho corporal, já que maiores tamanhos corporais se relacionam a maiores áreas de vida (MACNAB, 1963). Além disso, alguns mamíferos, quando pressionados pela escassez de recursos, podem se movimentar por áreas ainda maiores, devido, por exemplo, a sazonalidade climática (ALMEIDA, 2007), aumentando dessa forma a vulnerabilidade aos atropelamentos.

Em relação aos quirópteros, *Artibeus lituratus* (morcego) foi a espécie com o maior número de registros de atropelamentos, com 24 indivíduos encontrados no período. *A. lituratus* é um morcego frugívoro e generalista em relação ao habitat (REIS et al., 2007), habitando desde áreas urbanas à fragmentos florestais. Por ser tratar de uma espécie generalista em relação ao habitat, é sugestivo que o maior número de atropelamentos esteja atrelado a disponibilidade de frutos nas beiras da rodovia.

Dentre os anfíbios, foi registrado o atropelamento de 39 indivíduos de *Leptodactylus latrans* (rã-manteiga), estando os atropelamentos associados na paisagem a áreas úmidas e cursos hídricos as margens da rodovia. O grupo dos anuros é o menos documentado em estudos de monitoramento de atropelamentos de fauna (GLISTA et al., 2007), podendo este fato estar relacionado à dificuldade de detecção destes animais e a sua rápida remoção (TEIXEIRA, 2010; COELHO et al., 2012). Torres et al., (2015) indicam que carcaças de anfíbios são mais rapidamente removidas às carcaças de répteis e mamíferos, o que pode levar a subestimativas da magnitude dos atropelamentos deste grupo de vertebrados (BEEBEE, 2013).

Entre os répteis, a espécie que apresentou o maior número de indivíduos atropelados foi *Boa constrictor* (jiboia; n = 28). Sullivan (1981) explica que a presença de répteis nas

rodovias, especialmente serpentes, está associada, sobretudo, à utilização das estradas para termorregulação, já que elas são abertas e o asfalto é mais quente que o restante do ambiente.

4.1. *Hotspots* de Atropelamentos e Análises de Conectividade

A análise de densidade de Kernel resultou em 59 pontos de agregação de atropelamentos para a fauna terrestre ao longo dos 323,65 quilômetros da BR-101. Desses, sete pertencem às espécies de hábito arborícola, um às espécies especialistas de habitat com baixa capacidade de deslocamento, cinco aos especialistas com média capacidade de deslocamento e um aos especialistas com alta capacidade de deslocamento (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). Em relação as espécies generalistas quanto a seletividade do habitat, foram registrados 15 *Hotspots* para as espécies generalistas com baixa capacidade de deslocamento; 23 *Hotspots* para os generalistas com média capacidade de deslocamento e sete *Hotspots* para as espécies generalistas com alta capacidade de deslocamento. A Tabela 3 indica o grupo, quantitativo de *hotspots* e o quilômetro associado ao longo da BR-101, Trecho de Niterói e Campos dos Goytacazes. Em propostas de mitigação para o atropelamento de fauna, esses 60 pontos seriam indicados como locais para alocação de medidas de mitigação.

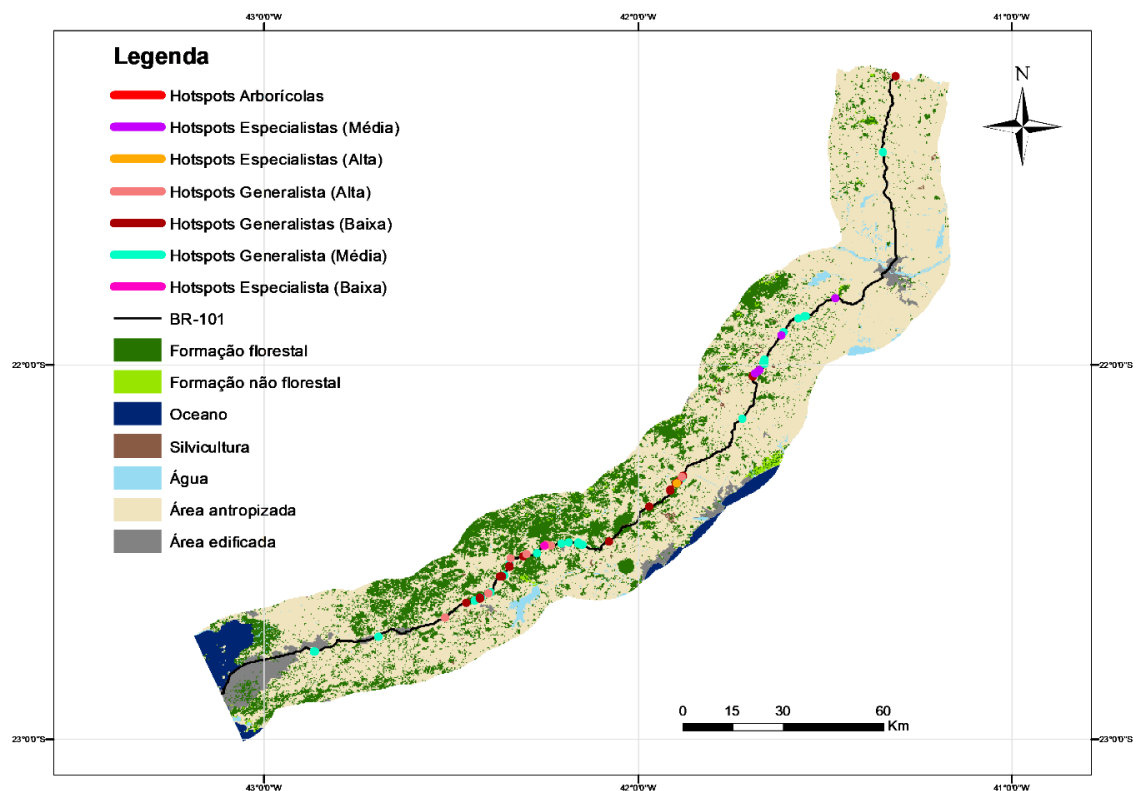


Figura 3. *Hotspots* de atropelamentos registrados ao longo da BR-101, Trecho de Niterói a Campos dos Goytacazes.

Tabela 3. Quilômetro de Registro dos pontos de *Hotspots* e pontos de análise de conectividade na área de estudo da BR-101, Trecho Niterói-Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro.

Grupo	Número de <i>Hotspots</i> (KDE)	Localização dos <i>hotspots</i> (KDE) (Km + m)	Número de Pontos (Análise de Conectividade)	Localização dos Pontos (Análise Conectividade)
Arborícolas	7	85; 106; 119; 119; 120; 165; 213	32	119; 165; 172; 174-175; 184; 186; 189; 197; 204; 210; 212; 213; 215; 216; 218; 220; 224; 225-226; 228; 229; 234-235; 236; 237; 238; 240; 241; 244; 247; 261; 262; 268; 286
Especialista - baixa capacidade de deslocamento	1	213	37	101; 118; 119; 166; 172; 174-175; 183; 184-186; 189; 190-191; 196; 197; 198-199; 203-204; 210; 212; 213-214; 215; 216; 218; 220-221; 222; 224; 226-229; 234-238; 239; 240-241; 242; 244; 247; 248; 261; 262; 268; 286; 304; 315;
Especialista - média capacidade de deslocamento	5	85; 106; 119; 119; 120	13	119; 175; 204; 210; 213; 224; 228; 229; 235; 236; 261; 263; 268
Especialista - alta capacidade de deslocamento	1	165	11	119; 172; 174-175; 204; 224; 228; 235; 236; 261; 262; 268
Generalista - baixa capacidade de deslocamento	15	01; 121; 162; 164; 165; 168; 176; 192-193; 212; 220; 226; 230; 239; 243	43	9; 99; 101; 102; 118; 119; 122; 128; 141; 147; 151; 153; 165; 169; 174; 178-179; 182-185; 187; 189; 191; 193; 196-200; 204; 208; 209-216; 236-240; 241; 243-244; 247; 250-251; 261; 263; 268; 284; 285; 286; 289; 291; 301; 304; 308; 312; 315
Generalista - média capacidade de deslocamento	23	26; 96; 98-99; 105; 115; 116; 121; 136; 163; 202; 203; 206; 208; 216; 225; 226; 229; 236; 239; 241; 272; 292	32	165; 172; 174; 175; 176; 177-179; 181-183; 184; 186; 187; 190; 191; 192; 193-204; 208-216; 217; 218-233; 234; 235; 236; 237; 238; 239; 240; 241; 251-253; 256; 257-260; 261; 267; 268; 297
Generalista - alta capacidade de deslocamento	7	162; 211; 212; 219; 223; 237; 251	22	165; 172; 175-179; 181-183; 193; 195; 196; 197-201; 208-216; 217; 218-233; 235-236; 237; 240; 241; 243; 244; 245; 247; 249-253; 297

O uso da metodologia de conectividade resultou em 190 pontos de indicação para alocação de medidas de mitigação, sendo 32 pontos para os arborícolas, 37 para os especialistas de baixa capacidade de deslocamento, 13 pontos para os especialistas de média capacidade e 11 pontos para os especialistas de alta capacidade de deslocamento (Tabela 3). Para o grupo dos generalistas, foram registrados 43 pontos para os generalistas de baixa capacidade de deslocamento, 32 pontos de conectividade para os de média capacidade de deslocamento e 22 pontos de conectividade para os generalistas de alta capacidade de deslocamento. As duas metodologias tiveram uma congruência de 47% (sensibilidade), entretanto a análise de Kappa ($k=0$) indica que não houve concordância entre os pontos de *hotspots* e conectividade. Para o grupo dos generalistas de média capacidade de deslocamento, as duas metodologias tiveram maior sensibilidade, com 71,8% de congruência, enquanto para o grupo dos especialistas de baixa capacidade de deslocamento a menor congruência, com 2,7%.

Para as espécies arborícolas (Figura 4), o método de conectividade foi o que mais estimou pontos de alocação de medidas de mitigação, com 32 pontos. Cinco pontos são congruentes à ambas as metodologias - nos quilômetros 119 (2 pontos), 120, 165 e 213, apresentando 71,4% de associação espacial para alocação de medidas de mitigação. Esses pontos tiveram registros de 04 espécies, dentre as quais *Leopardus wiedii* (gato-maracajá), *Alouatta guariba* (bugio) e *Bradypus torquatus* (bicho-preguiça), sendo a paisagem lindeira a rodovia formada majoritariamente por formações florestais. Já os *Hotspots* registrados nos quilômetros 85 e 106 não coincidem os dados de conectividade, devido aos registros das espécies *Sapajus nigritus* (macaco-prego) e *Coendou spinosus* (ouriço). Comparando os métodos, observa-se maior efetividade para alocação de medidas pelo método de conectividade, visto que ele registrou um percentual de 457% (32 pontos) superior ao método de *hotspots*. Com base nos dados das análises de *hotspots*, conectividade e o uso do solo, a implantação de medidas de mitigação seria indicada nos quilômetros 119-120, 165, 174, 213 e 234-235, visto que estas localidades apresentaram pontos de conectividade e *hotspots* de atropelamentos.

Para as espécies especialistas de habitat com baixa capacidade de deslocamento (< 250 metros) o método de conectividade foi o que mais estimou pontos de alocação de medidas de mitigação, com 37 pontos (Figura 5). O único ponto indicado pela análise de *Hotspot* também foi indicado pela análise de conectividade, indicando que o método de conectividade é mais eficaz para indicação de locais para mitigação de atropelamentos deste grupo. Foram registrados atropelamentos de quatro indivíduos das espécies *Bradypus torquatus*, *Micrurus corallinus* e *Polychrus marmoratus*, sendo que as formações florestais compõem as localidades de registro dos atropelamentos, conforme os atributos do uso do solo.

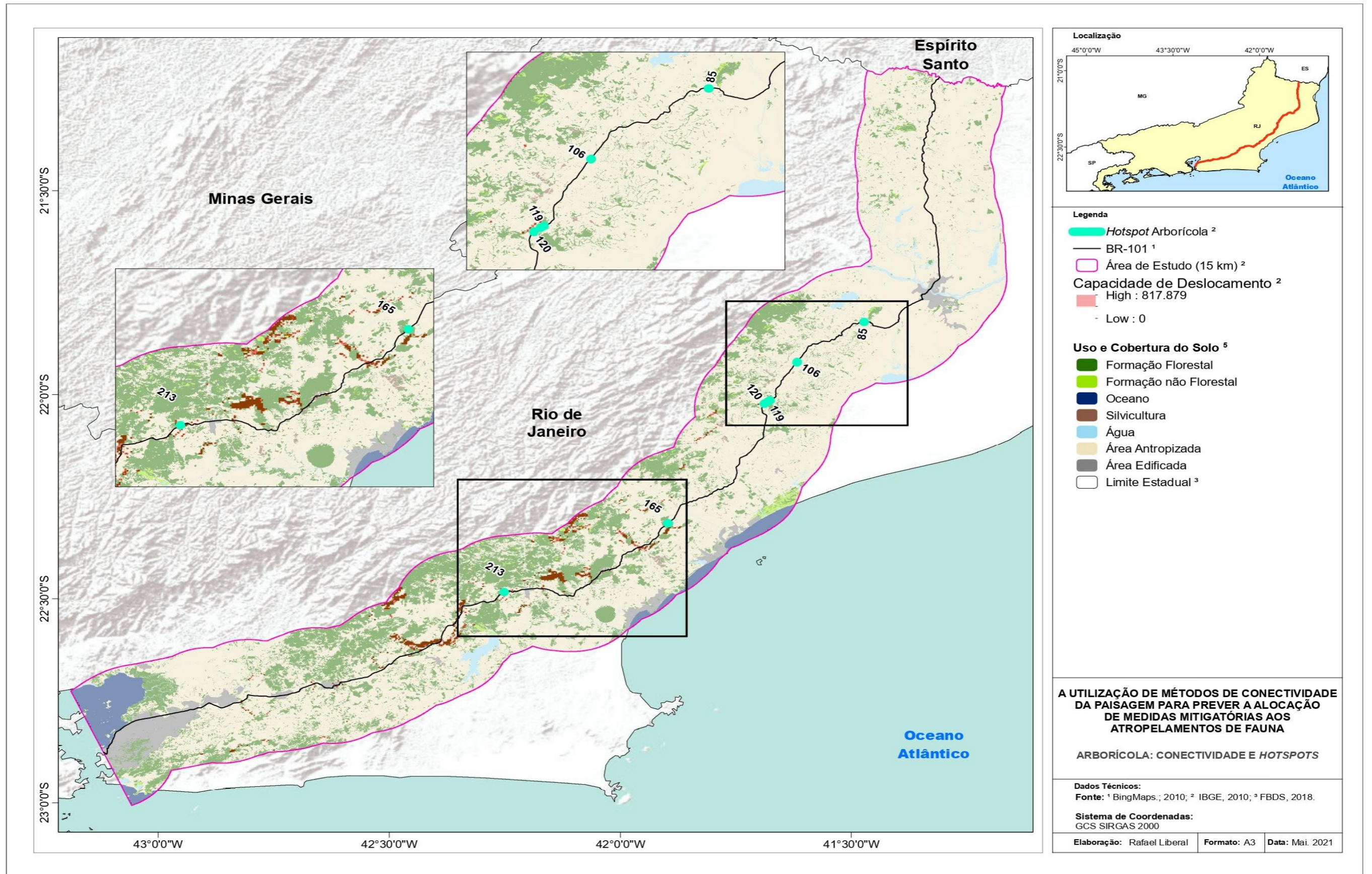


Figura 4. Hotspots de atropelamentos das espécies arborícolas associadas aos resultados de conectividade registrados ao longo da BR-101, Trecho de Niterói a Campos dos Goytacazes.

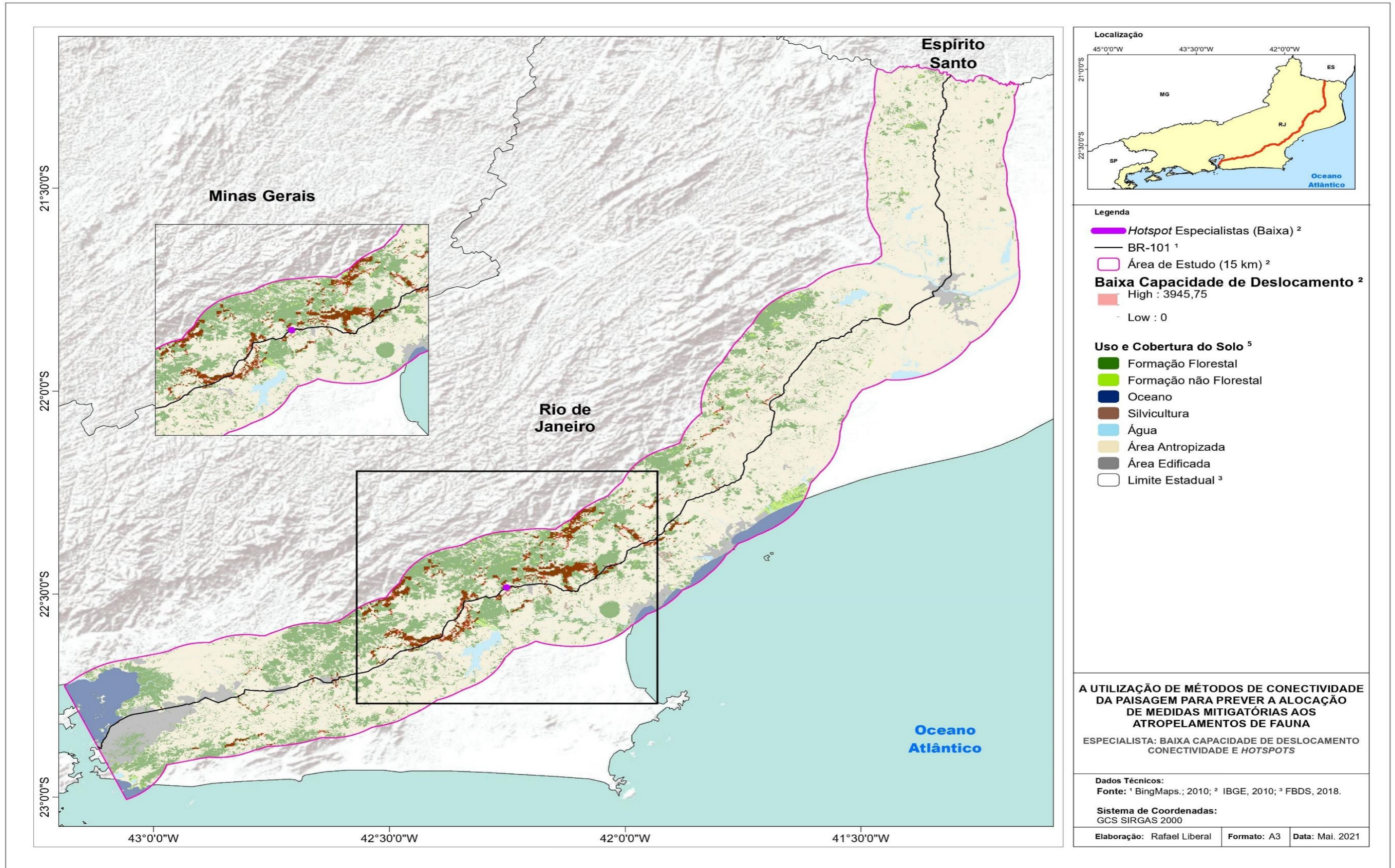


Figura 5. Hotspots de atropelamentos das espécies especialistas de baixa capacidade de deslocamento, associadas aos resultados de conectividade registrados ao longo da BR-101, Trecho de Niterói a Campos dos Goytacazes.

Para as espécies especialistas com média capacidade de deslocamento (Figura 6), o método de conectividade foi o que mais estimou pontos de alocação de medidas de mitigação, com 13 pontos, indicando que essa metodologia pode ser um método mais eficaz para mitigação de atropelamentos desse grupo de fauna, visto que a análise de *Hotspots* indicou 5 pontos. Os métodos apresentaram 60% de associação espacial entre os pontos indicados para alocação de medidas mitigatórias. Foram registrados 67 eventos de atropelamentos das espécies *Coendou spinosus*, *Marmosa paraguayanus* e *Leopardus wiedii*, sendo que os atropelamentos se concentraram em diferentes tipos de uso do solo, variando em formações florestais e áreas antropizadas, principalmente por conta de *Coendou spinosus* que uma espécie que permeia por diferentes tipologias de habitat. Com base nos dados das análises de *hotspots* e conectividade, a implantação de medidas de mitigação seria indicada nos quilômetros 119-120, visto que estas localidades apresentaram congruência entre os pontos de conectividade e *hotspots*.

Para as espécies especialistas com alta capacidade de deslocamento (Figura 7), o método de conectividade estimou 11 pontos de alocação de medidas de mitigação, sugerindo que esta metodologia pode ser um método mais eficaz para mitigação de atropelamentos desse grupo de fauna, visto que a análise de *Hotspots* indicou apenas um ponto de agregação no quilometro 165, com 100% de associação espacial com os pontos indicados pelo método de conectividade. Foram registrados 14 eventos de atropelamentos para os especialistas de alta capacidade de deslocamento, se destacando os registros dos mamíferos ameaçados *Puma concolor*, *Herpailurus yagouaroundi* e *Alouatta guariba*. Os atropelamentos se concentraram em ambientes florestais no quilometro 165, sugerindo que para este grupo de espécies, a conexão de ambientes florestais é um fator significativo, visto que outras em localidades passíveis de implantação de medidas de mitigação, como os quilômetros 174, 175, 235 e 236 indicados pela análise de conectividade, são associados a ambientes florestais e importantes para deslocamento da fauna.

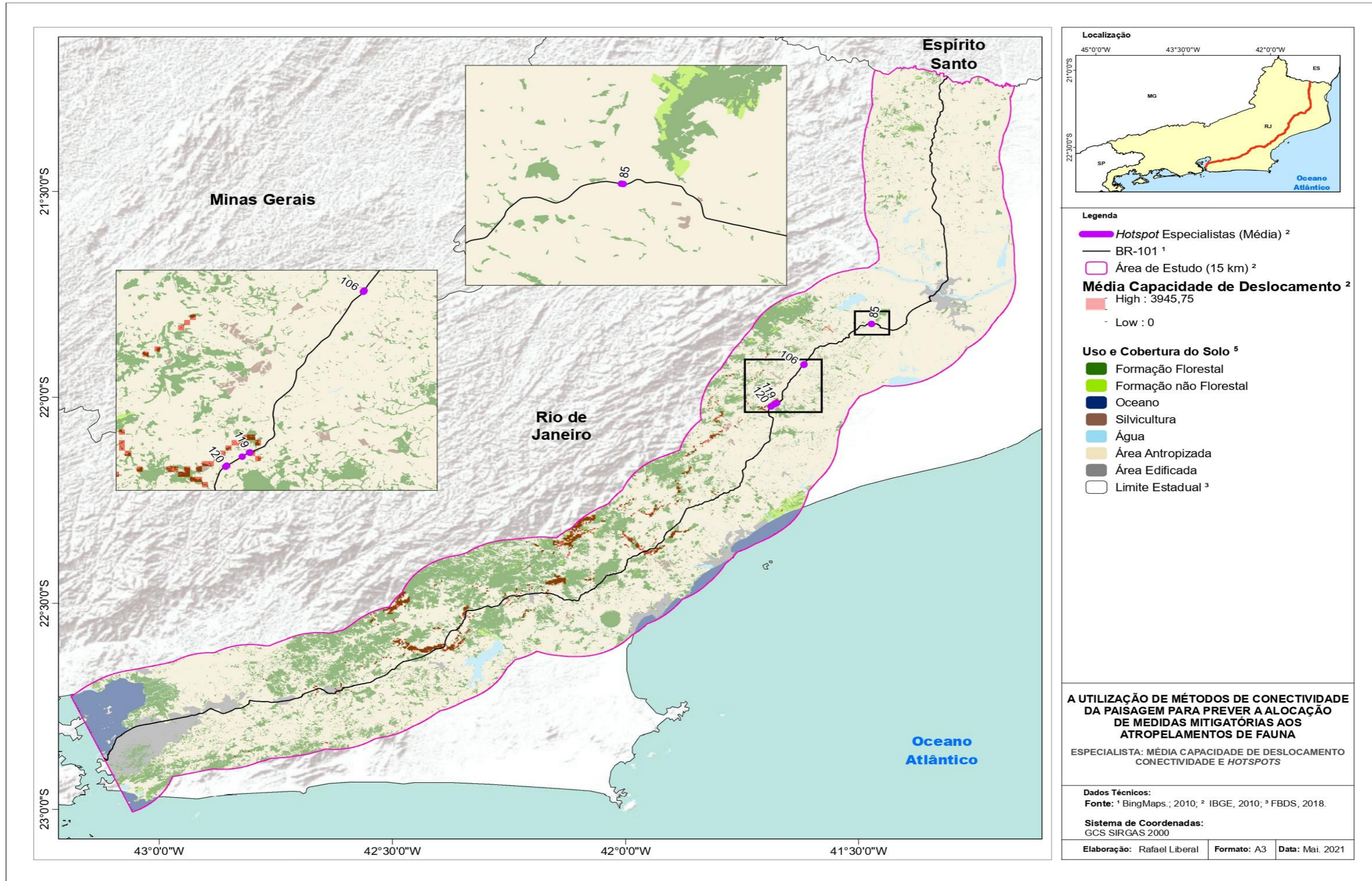


Figura 6. Hotspots de atropelamentos das espécies especialistas de média capacidade de deslocamento, associadas aos resultados de conectividade registrados ao longo da BR-101, Trecho de Niterói a Campos dos Goytacazes.

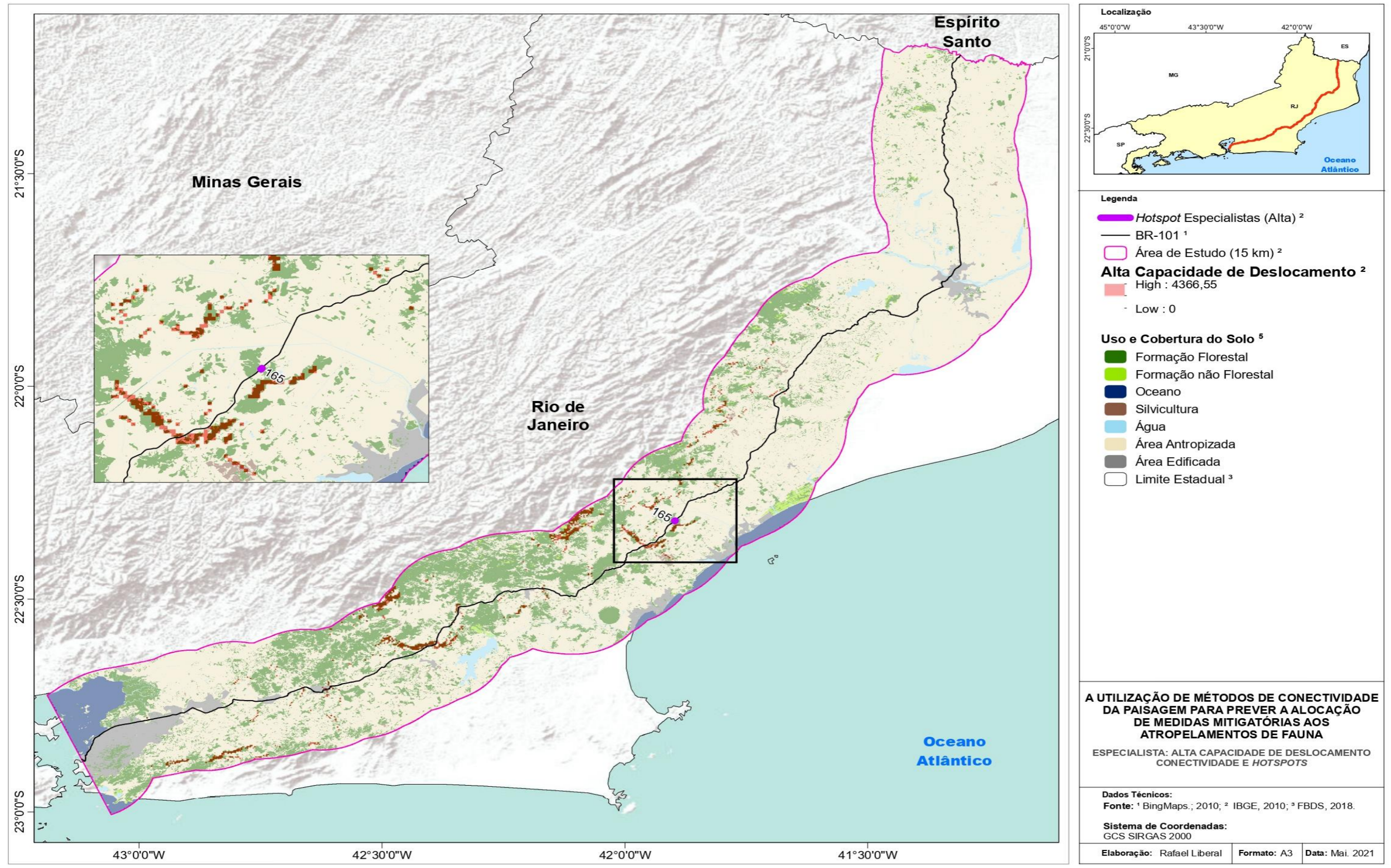


Figura 7. Hotspots de atropelamentos das espécies especialistas de alta capacidade de deslocamento, associadas aos resultados de conectividade registrados ao longo da BR-101, Trecho de Niterói a Campos dos Goytacazes.

Para o grupo das espécies generalistas com baixa capacidade de deslocamento (Figura 8), é sugestivo que o método de conectividade seja mais efetivo para mitigação de atropelamentos, visto que estimou 43 pontos de alocação de medidas de mitigação, enquanto a análise de *Hotspots* indicou 15 pontos de agregação de atropelamentos, com 75% de associação espacial entre os pontos. Foram registrados 138 eventos de atropelamentos para o grupo dos generalistas de baixa capacidade de deslocamento, sendo este grupo formado predominantemente por anfíbios e répteis, se destacando as espécies *Leptodactylus latrans* (rã-manteiga) e *Boa constrictor* (jiboia) que apresentaram as maiores taxas de atropelamentos, respectivamente 39 e 28 indivíduos atropelados. Os atropelamentos de *L. latrans* se concentraram principalmente entre os quilômetros 162 e 164, devido as características do uso do solo que apresentavam cursos d'água e lagoas próximas a rodovia, favorecendo o deslocamento destas populações. Os atropelamentos de *Boa constrictor* se distribuem ao longo de toda a rodovia em diferentes tipologias de uso do solo, se concentrando principalmente entre os quilômetros 212 e 216 e 236-240, coincidindo com os pontos de conectividade.

Para o grupo das espécies generalistas com média capacidade de deslocamento (Figura 9), o método de conectividade estimou 32 pontos enquanto o método de *hotspots* indicou 23 pontos para alocação de medidas de mitigação. Com base nos resultados registrados, o método de conectividade aparenta ser mais efetivo para este grupo de fauna, visto que o mesmo apresentou um quantitativo de pontos 139% superior ao método de *hotspots* e 60% de associação espacial entre eles. Foram registrados 215 eventos de atropelamentos para o grupo das espécies generalistas de média capacidade de deslocamento, se destacando a espécie *Didelphis aurita* (gambá-de-orelha-preta) com 174 eventos de atropelamentos e os tatus (*Euphractus sexcinctus*, *Dasyopus novemcinctus* e *Cabassous unicinctus*), como espécies que permeiam por diferentes fitofisionomias, com predileção por áreas abertas. Grande parte dos atropelamentos se concentram entre os quilômetros 202 e 241, coincidindo com as análises de conectividade e indicando que as agregações de atropelamentos aliado ao método de conectividade são importantes preditores para alocação de medidas de mitigação neste trecho da rodovia.

Para o grupo das espécies generalistas com alta capacidade de deslocamento (Figura 10), o método de conectividade estimou 22 pontos, enquanto o método de *hotspots* indicou

sete pontos, com 85% de associação espacial entre os pontos. Sugere-se que o método de conectividade é mais efetivo para alocação de medidas mitigatórias para este grupo. Foram registrados um total de 87 atropelamentos de 14 espécies distintas, destacando-se os registros de *Chrysocyon brachyurus* (lobo-guará), *Cerdocyon thous* (cachorro-do-mato) e *Hydrochoerus hydrochaeris* (capivara). Os registros de atropelamentos de *H. hydrochaeris* estão diretamente associados a presença de cursos d'água no quilômetro 162 da rodovia. Para as demais espécies deste grupo, os atropelamentos se concentram principalmente entre os quilômetros 211 e 237, coincidindo com os pontos de conectividade, que estimou um maior número de pontos nestas localidades devido as características do uso do solo, formando majoritariamente por áreas antropizadas (áreas abertas), sendo um dos principais ambientes para locomoção das espécies generalistas.

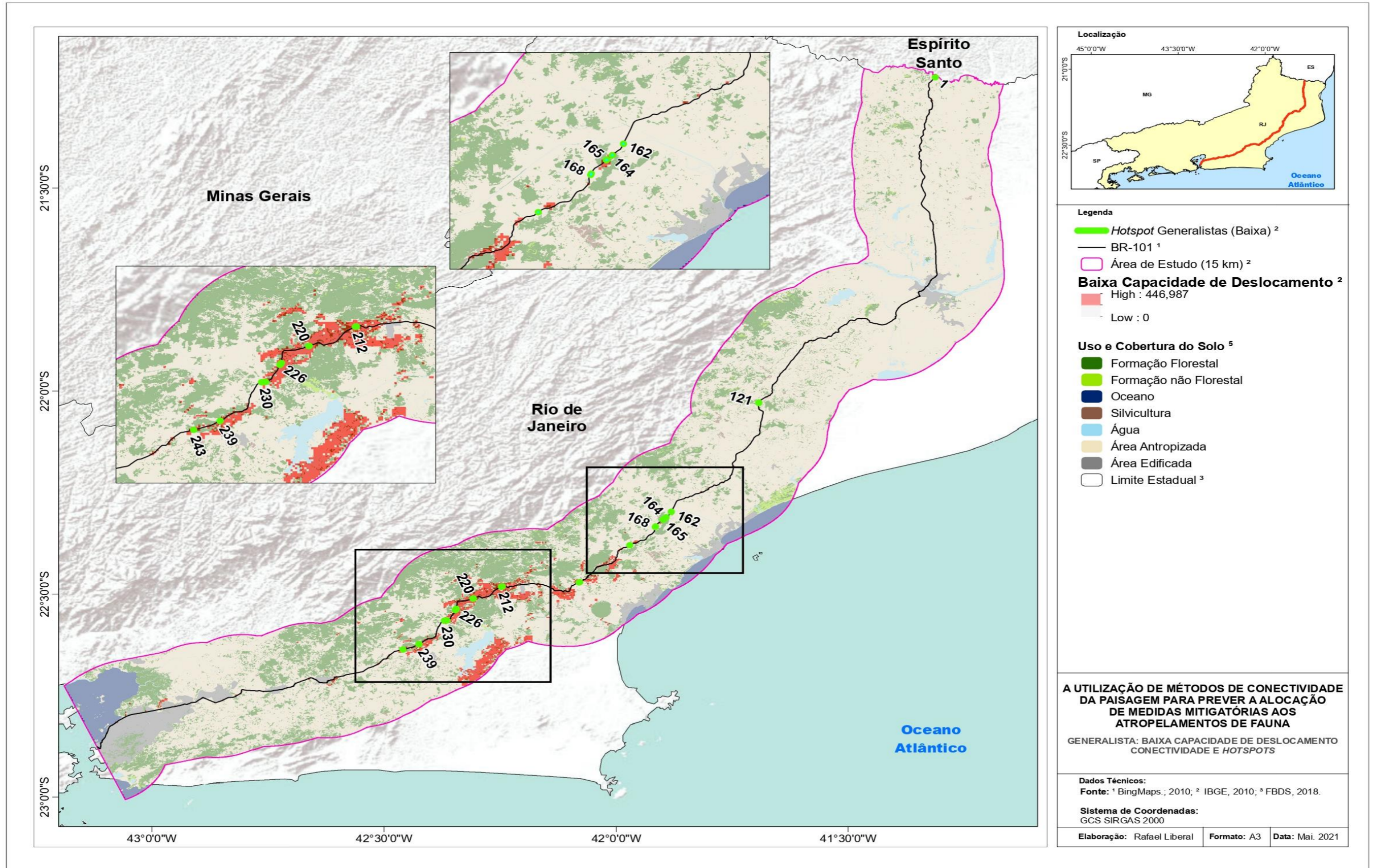


Figura 8. Hotspots de atropelamentos das espécies generalistas de baixa capacidade de deslocamento, associadas aos resultados de conectividade registrados ao longo da BR-101, Trecho de Niterói a Campos dos Goytacazes.

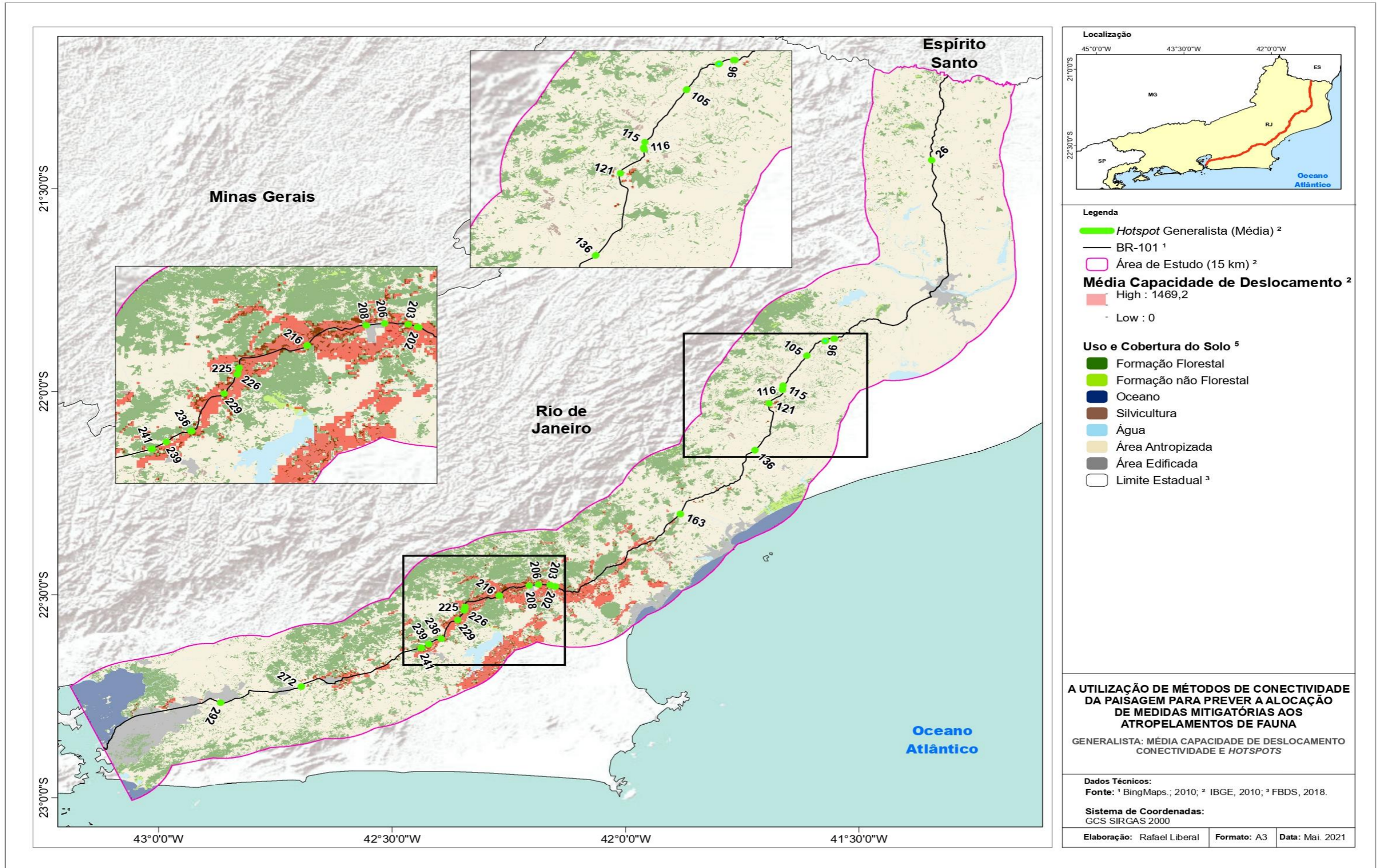


Figura 9. Hotspots de atropelamentos das espécies generalistas de média capacidade de deslocamento, associadas aos resultados de conectividade registrados ao longo da BR-101, Trecho de Niterói a Campos dos Goytacazes

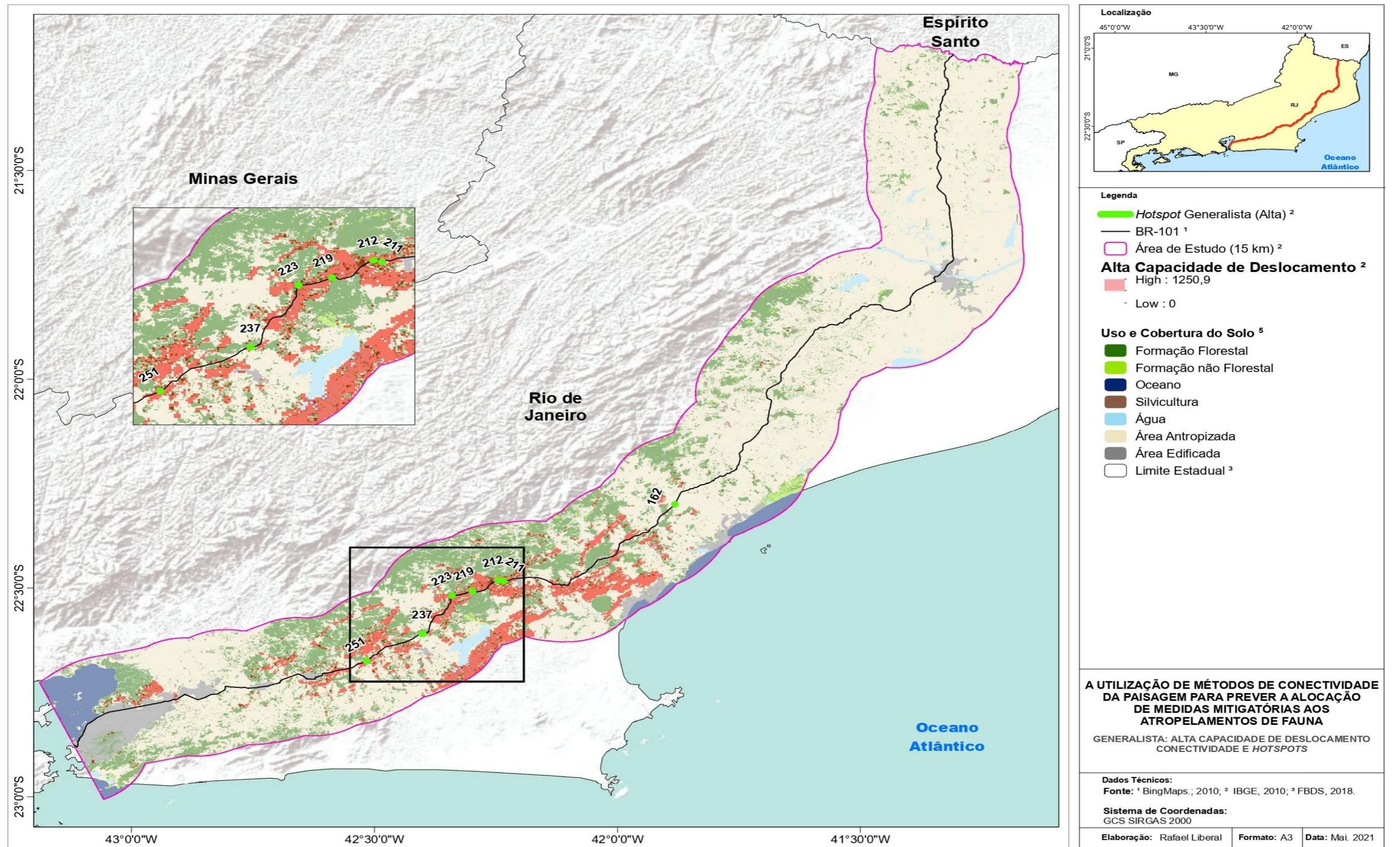


Figura 10. Hotspots de atropelamentos das espécies generalistas de alta capacidade de deslocamento, associadas aos resultados de conectividade registrados ao longo da BR-101, Trecho de Niterói a Campos dos Goytacazes.

A expansão e operação de rodovias gera impactos diretos ao meio, ocasionando alterações na configuração da paisagem e no uso do solo, que incluem a remoção de cobertura vegetal, alteamento das localidades e cortes nos taludes, alterações das drenagens (CASELLA, 2010; FOGLIATI et al., 2004), enquanto em sua fase de operação, geralmente são permanentes e tornam-se expressivos com ao longo do tempo (FOGLIATI et al., 2004).

Estudos que avaliem os impactos de rodovias em operação ainda são embrionários no Brasil (FLORIANO, 2004; CASELLA, 2010), visto que a legislação ambiental válida não considera a realização de estudos ambientais de longo prazo em empreendimentos cuja operação se dê por tempo indeterminado (GUIMARÃES, 2015). Assim, a identificação, controle e mitigação dos impactos são fatores cruciais para a conservação das espécies a longo prazo.

Esse é um dos primeiros estudos que comparam o uso de duas metodologias distintas, para diversos grupos de fauna, para propor a alocação de medidas de mitigação ao atropelamento da fauna silvestre. Nossos resultados mostram que o método de conectividade é mais efetivo para todos os grupos de fauna citados neste estudo, visto que indicou um total de 190 pontos, enquanto o método de *hotspots* indicou 59 pontos. Adicionalmente, os resultados indicados pela análise de conectividade demonstram a importância de se considerar outras variáveis, como o uso do solo e conectividade do habitat para implantar medidas de mitigação, visto que são elementos essenciais para o deslocamento das espécies que eventualmente, venham a ser atropeladas (CLEVENGER et al., 2003). A utilização do método conectividade, além de trazer resultados mais acurados sobre os pontos de deslocamento das espécies pela paisagem, traz diretrizes sobre os principais locais para implantação das medidas mitigatórias e que sejam menos dispendiosas no espaço-tempo para coleta de dados e financeiramente menos onerosas.

Para as espécies arborícolas, o método de conectividade indicou 32 potenciais pontos para alocação de medidas de mitigação, enquanto o método de *hotspots* indicou sete pontos. Houve uma associação espacial em 71,4% dos pontos indicados para alocação de medidas de mitigação em ambas as metodologias. Os únicos pontos que são dissimilares foram influenciados pela presença de *Sapajus nigritus* (macaco-prego), visto que não é uma espécie que se limita apenas a áreas com cobertura florestal (DOTTA e VERDADE, 2011), e é capaz

de se deslocar em ambientes alterados (REALE, et al., 2014), inclusive ambientes não-florestais, possuindo alta capacidade de adaptação ao meio (BICCA-MARQUES et al., 2006).

Para as espécies especialistas, houve associação espacial em 100% dos pontos indicados para as espécies de baixa capacidade de deslocamento, 60% de associação para as com média capacidade de deslocamento e 100% para as de alta capacidade de deslocamento. Essa alta associação indica que para esse grupo, a metodologia de conectividade da paisagem é um método acurado para proposição de medidas de mitigação, inclusive propondo um número maior de pontos, porquanto apresentou um total de 61 pontos de conectividade, enquanto o método de *hotspots* indicou um total de sete pontos. Isso ocorre, pois, espécies especialistas são menos abundantes em áreas fragmentadas (SILVEIRA et al., 2010), e ao serem amostradas, o método de contagem de *hotspots* é limitado por conta da ineficiência na detecção das carcaças e desconsidera os atributos da paisagem (TEIXEIRA et al., 2013b; SANTOS et al., 2016). Considerando este cenário, sugere-se que o método de conectividade é mais eficaz para alocação de medidas mitigadoras para este grupo, visto que o modelo considera as localidades por onde as espécies permeiam pela paisagem e a conectividade facilita a mobilidade das espécies entre os fragmentos (TAYLOR et al., 1993).

Para as espécies generalistas, houve associação espacial em 75% entre os *hotspots* e os pontos de conectividade indicados para as espécies de baixa capacidade de deslocamento, 60% para as espécies de média capacidade de deslocamento e 85% para as de alta capacidade de deslocamento. Essa alta associação sugere que o método de conectividade também é efetivo para proposição de medidas mitigatórias aos atropelamentos deste grupo, visto que a análise de conectividade indicou 97 potenciais pontos em detrimento dos 45 pontos indicados pelo método de *hotspots*. O método de conectividade é um preditor de alocação de medidas mais apropriado para o grupo dos generalistas, visto que os modelos consideram a maior disponibilidade de habitat preferencial (áreas abertas) para deslocamento pela paisagem, conforme outros estudos realizados em algumas paisagens antropizadas (LYRAJORGE et al., 2008; MAGIOLI et al., 2016), que indicam que espécies generalistas ocupam diferentes fisionomias da paisagem (LYRAJORGE et al., 2008) e se locomovem por diferentes tipos de usos do solo na matriz.

A relação entre os *hotspots* de atropelamentos e os pontos de permeabilidade para as espécies arbóricolas e especialistas sugere que os locais indicados como conectores florestais

e mais permeáveis pela paisagem são menos resistentes ao deslocamento das espécies e consequentemente são potenciais rotas de locomoção pela paisagem, sendo que as espécies dependem primariamente da disponibilidade de recursos. Chiarello (1999) ressalta a importância da conectividade ao relacionar a falta de corredores à extinção local de populações. Da mesma forma, Chiarello e Melo (2001) salientam que os corredores aumentariam o deslocamento dos animais entre os fragmentos, o que evitaria extinções locais e perda de diversidade pelo aumento do fluxo gênico de populações isoladas.

De acordo com os resultados encontrados pelo método de *hotspots* de atropelamentos associado ao modelo de conectividade, é sugestivo que o uso complementar de ambos os métodos aparenta ser efetivo, visto que os resultados encontraram associação espacial entre os pontos de agregação de atropelamentos e os locais mais propícios para deslocamento da fauna, indicando que estas localidades devem possuir prioridade para instalação de medidas mitigatórias. Adicionalmente, os modelos de conectividade fornecem uma base de outros locais de maior probabilidade de deslocamento da fauna, subsidiando informações sobre a conectividade do habitat e reduzindo mortalidades em rodovias (CERQUEIRA et al., 2021).

Seguindo a interpretação de Vilela et al., (2020) e Cerqueira et al., (2021), duas estratégias podem auxiliar na escolha de áreas prioritárias para redução de impactos de mortalidade de indivíduos: nos locais em que os modelos de corredores de movimentação da fauna cruzam a rodovia, devem ser considerados como áreas potenciais para instalação de medidas para mitigação dos impactos; os *hotspots* de atropelamentos que coincidem com os corredores de movimentação da fauna onde cruza a rodovia devem ser tratados como prioritários, visto que os atropelamentos já registrados são preditivos para alocação das medidas de mitigação por possuírem alta probabilidade de novos eventos de atropelamentos (BARBOSA et al., 2020).

4.2. Indicação de Medidas de Mitigação

Ao longo do tempo na BR-101, diversas medidas foram propostas e implantadas, isoladas ou associadas, visando minimizar o impacto das rodovias sobre a fauna. Visam basicamente restabelecer algum grau de conectividade para minimizar o efeito de barreira e impedir os atropelamentos em pontos mais suscetíveis. A maioria delas, entretanto, carece de estudos que avaliem sua efetividade, especialmente se considerarmos respostas diferenciais por parte das comunidades ou da estrutura abordada para implantação da medida de mitigação. O monitoramento previsto no processo de licenciamento pode fornecer estas informações para avaliação das diferentes alternativas no âmbito da BR-101.

Com base nos resultados encontrados por meio das análises de *hotspots* e pontos de conectividade do habitat, é possível propor a indicação de medidas mitigatórias que visam minimizar os impactos de operação de rodovias sobre a fauna silvestre. Neste contexto, a Tabela 4 indica a rodovia, o grupo de espécies da fauna, o quilometro da rodovia e as medidas mitigadoras sugeridas para atenuar os impactos sobre as comunidades faunísticas da região.

Conforme a Tabela 4, são citados os tipos de medidas mitigadoras indicadas para atenuar os impactos sobre as comunidades faunísticas da região. Dentre estas, existem as passagens de fauna que são intervenções estruturais e se inserem no projeto rodoviário por meio de execução de obras de engenharia específicas para uso da fauna ou adaptações dos padrões construtivos com objetivo de proporcionar condições de deslocamento ou proteção da fauna. Neste contexto, elencamos a descrição e exemplos das principais medidas que poderiam ser implementadas para mitigar os impactos da operação da BR-101, Trecho Niterói-Campos dos Goytacazes.

Tabela 4. Indicação de medidas mitigadoras associadas ao quilômetro de Registro dos *Hotspots* de agregação de atropelamentos na área de estudo da BR-101, Trecho Niterói-Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro.

Rodovia	Grupo	KM de Instalação da Medida Mitigatória	Sugestão de Medida Mitigadora	Justificativa
BR-101 - Trecho Niterói-Campos dos Goytacazes	Arborícolas	119	Passagem de Fauna suspensa; Campanhas Educativas; Sinalização viária.	Devido a especificidade das espécies arbóricolas, sugerimos a implantação de passagens de fauna suspensa para as espécies deste grupo, conectando os fragmentos florestais onde houve concentrações de atropelamentos.
		120	Passagem de Fauna suspensa; sinalização viária	
		165	Passagem de Fauna suspensa; sinalização viária	
		213	Passagem de Fauna suspensa; sinalização viária	Paralelamente, sugere-se a instalação de sinalização viária (placas), orientando os motoristas que trafegavam pela região sobre a possibilidade de encontro com indivíduos da fauna silvestre. Sugere-se também que sejam implementadas campanhas educativas nas praças de pedágio, onde os motoristas poderão ser orientados sobre a importância de manter uma velocidade compatível com a via e a importância da conservação da biodiversidade.
	Especialista - baixa capacidade de deslocamento	213	Passagem de fauna inferior; sinalização viária; campanhas educativas	Para as espécies especialistas em habitat florestal, sugere-se a construção de passagens de fauna inferior, conectando os fragmentos florestais por onde estas se locomovem, com o intuito de diminuir os atropelamentos onde houve agregações.
	Especialista - média capacidade de deslocamento	119 - 120	Passagem de fauna inferior; sinalização viária; campanhas educativas	
	Especialista - alta capacidade de deslocamento	165	Passagem de fauna inferior; sinalização viária; campanhas educativas	Paralelamente, sugere-se a instalação de sinalização viária (placas), orientando os motoristas que trafegavam pela região sobre a possibilidade de encontro com indivíduos da fauna silvestre. Sugere-se também que sejam implementadas campanhas educativas nas praças de pedágio, onde os motoristas poderão ser orientados sobre a importância de manter uma velocidade compatível com a via e a importância da conservação da biodiversidade.
	Generalista - baixa capacidade de deslocamento	176	Tuneis para anfíbios e reptéis; sinalização viária, redutor de velocidade	No quilometro 176, indica-se a instalação de redutores de velocidade e de um túnel para deslocamento dos anfíbios e reptéis, com cercamento e direcionamento destas espécies para acesso ao túnel, devido as
		192	Passagem de fauna inferior multiuso; sinalização viária, redutor de velocidade	

Rodovia	Grupo	KM de Instalação da Medida Mitigatória	Sugestão de Medida Mitigadora	Justificativa
		193	Passagem de fauna inferior multiuso; sinalização viária, redutor de velocidade	características da paisagem da região. Sugere-se também para os generalistas de baixa capacidade de deslocamento, a implantação de passagens de fauna inferior e redutores de velocidade nos quilômetros 192 e 193 onde houve agregações de atropelamentos e a paisagem da região sugere que a implantação de passagens de fauna pode ser uma medida efetiva para reduzir a mortalidade do grupo. Adicionalmente, a instalação de placas orientativas sobre o deslocamento de fauna naqueles trechos da rodovia e campanhas educativas nas praças de pedágio são indicadas como métodos eficazes para controle dos atropelamentos na região.
		212	Sinalização viária; campanhas educativas	
		220	Sinalização viária; campanhas educativas	
		226	Sinalização viária; campanhas educativas	
		230	Sinalização viária; campanhas educativas	
		239	Sinalização viária; campanhas educativas	
		243	Sinalização viária; campanhas educativas	
	Generalista - média capacidade de deslocamento	121	Passagem de fauna inferior multiuso; campanhas educativas; redutor de velocidade; sinalização viária.	Devido as características da paisagem lindeira a rodovia, que apresentam várias áreas potenciais para deslocamento das espécies pertencentes a este grupo, faz-se necessário a instalação de passagens de fauna multiuso nos quilômetros 121, 225, 226 e 229 que apresentaram alta mortalidade de indivíduos, sobretudo indivíduos da espécie <i>Cerdocyon thous</i> (cachorro-do-mato). Adicionalmente, sugerimos também a implantação de redutores de velocidade, visto que estes pontos apresentaram alta taxa de atropelamento de indivíduos. Adicionalmente sugerimos a implementação de campanhas de educação ambiental, com a distribuição de folders nas praças de pedágio, conscientizando os motoristas sobre a importância da biodiversidade e o prejuízo que os atropelamentos trazem as populações da fauna. Sugerimos também a implantação de placas de sinalização em todos os pontos onde foram registradas agregações de atropelamentos, visto que é um método visual efetivo para orientar os motoristas sobre a probabilidade de presença de animais silvestres naquele trecho da rodovia.
		203	Campanhas educativas; sinalização viária.	
		206	Campanhas educativas; sinalização viária.	
		208	Campanhas educativas; sinalização viária.	
		216	Campanhas educativas; sinalização viária.	
		225	Passagem de fauna inferior multiuso; campanhas educativas; redutor de velocidade; sinalização viária.	
		226	Passagem de fauna inferior multiuso; campanhas educativas; redutor de velocidade; sinalização viária.	
		229	Passagem de fauna inferior multiuso; campanhas educativas; redutor de velocidade; sinalização viária.	
236	Campanhas educativas; sinalização viária.			
239	Campanhas educativas; sinalização viária.			

Rodovia	Grupo	KM de Instalação da Medida Mitigatória	Sugestão de Medida Mitigadora	Justificativa
		241	Campanhas educativas; sinalização viária.	
	Generalista - alta capacidade de deslocamento	211	Campanhas educativas; sinalização viária.	Devido a capacidade das espécies deste grupo de se deslocarem por longas distancias, faz-se necessário a implementação de campanhas educativas nas praças de pedágio sobre o atropelamento de fauna e ameaças a biodiversidade. Nos quilômetros selecionados onde foram registradas agregações de atropelamentos, indicamos a instalação de placas nas margens da rodovia, informando aos viajantes sobre a presença de animais silvestres na localidade.
		212	Campanhas educativas; sinalização viária.	
		219	Campanhas educativas; sinalização viária.	
		223	Campanhas educativas; sinalização viária.	
		237	Campanhas educativas; sinalização viária.	
		251	Campanhas educativas; sinalização viária.	

4.2.1. Passagem de Fauna Suspensa

Geralmente constituídas de cabos de aço ou cordas que ligam as copas das árvores, se destinam à passagem de espécies arborícolas em ambientes florestais (BECKMANN et al. 2010). Embora possam ser ancoradas em árvores, no caso de rodovias de pequena largura, preferencialmente devem ser fixas em estruturas permanentes especificamente construídas para esta finalidade. Cordas devem ter pelo menos 8 cm de diâmetro, sendo estendidas paralelamente, espaçadas por aproximadamente 20 a 30 cm e conectadas entre si por redes de nylon. Quando utilizadas plataformas de madeira, estas devem ter pelo menos 30 cm de largura (CLEVENGER & HUIJSER 2011).

O tamanho e local adequado das passagens de fauna suspensas deve ser definida pela concessionária que administra a rodovia, em consonância com o órgão ambiental licenciador e uma equipe multidisciplinar com amplo conhecimento sobre a implantação de medidas de mitigação. A Figura 11 a Figura 13 indicam os esquemas de montagem das passagens de fauna suspensas para as espécies arborícolas.



Figura 11. Esquema de passagem de fauna suspensa. Fonte: O Eco (2016).



Figura 12. Esquema de passagem de fauna suspensa. Fonte: O Eco (2016).



Figura 13. Passagem de fauna suspensa em construção. Fonte: O Eco (2016).

4.2.2. Passagem de Fauna Inferior

É a estrutura construída exclusivamente para a fauna mais utilizada nas rodovias brasileiras, destinando-se a grande número de espécies terrestres, semiaquáticas e inclusive quirópteros (CLEVENGER & HUIJSER 2011). Para que tenham maior eficácia, é essencial que estejam localizadas nos caminhos preferenciais da fauna identificados nos estudos pretéritos. As passagens inferiores apresentam temperaturas significativamente menores do que o ambiente externo, característica que funciona como atrativo para sua utilização como pontos de regulação de temperatura e consequentemente de travessia (ASCENSÃO & MIRA 2007; CAIN et al. 2003).

É importante que recebam iluminação natural, para permitir o eventual crescimento da vegetação, tornando o ambiente mais atrativo para a fauna. Isto pode ser obtido por uma maior proporção de abertura das estruturas ou por aberturas superiores (CAIN et al. 2003), à altura do canteiro central, naquelas inseridas em pistas duplicadas. A manutenção de vegetação próxima as suas entradas, servindo como guia para a fauna, também é altamente recomendada (CLEVENGER & WALTHO 2000; GRILO et al. 2008). Sua localização deve priorizar áreas com elevada permeabilidade potencial ou confirmada para a fauna, diagnosticadas como corredores e que recebam pouca interferência humana (CLEVENGER & WALTHO 2000; GRILO et al. 2008). Passagens localizadas próximas a áreas urbanas, por exemplo, são mais utilizadas por espécies antropogênicas, sendo, portanto, recomendável sua

instalação em áreas afastadas, de modo a priorizar a utilização por espécies silvestres (ASCENSÃO & MIRA 2007).

Seu dimensionamento depende do grupo animal ao qual se destina, podendo variar entre 0,3 e 7 m de largura ou diâmetro por 0,3 e 4 m de altura (CLEVENGER & HUIJSER 2011). Naquelas de maiores dimensões, podem estar associadas a drenagens, desde que seja mantida passagem seca por meio da instalação de plataformas laterais. O tamanho das passagens e elaboração do projeto de engenharia deve ser definida pela concessionária que administra a rodovia, em consonância com o órgão ambiental licenciador e uma equipe multidisciplinar com amplo conhecimento sobre a implantação de medidas de mitigação. A Figura 14 e Figura 15 indicam modelos de passagem de fauna utilizadas usualmente em rodovias brasileiras.



Figura 14. Passagem de fauna inferior. Fonte: Google Imagens (2021).



Figura 15. Passagem de fauna inferior. Fonte: Google Imagens (2021).

4.2.3. Passagem de Fauna Inferior Multiuso

Estruturas similares às grandes passagens inferiores, porém destinadas também ao uso humano e de animais domésticos. Voltadas a alguns grandes mamíferos, são também utilizadas pelos demais grupos, particularmente por espécies generalistas. Correspondem, em uma de suas formas, aos chamados passa gado, bastante comuns no Brasil. Deve-se evitar o uso por veículos motorizados. Quando largas o suficiente, pode-se confinar o trânsito humano a um dos lados da passagem, utilizando-se vegetação para segregar os diferentes usos. Devem possuir no mínimo 5 m, e preferencialmente, mais de 7 m de largura, e altura superior a 2,5 m (recomenda-se mais de 3,5 m) (BECKMANN et al. 2010; CLEVINGER & HUIJSER 2011).

O tamanho e local adequado das passagens de fauna inferior multiuso deve ser definida pela concessionária que administra a rodovia, em consonância com o órgão ambiental licenciador e uma equipe multidisciplinar com amplo conhecimento sobre a implantação de medidas de mitigação. A Figura 16 a Figura 17 indicam os esquemas de montagem das passagens de fauna inferior multiuso, principalmente voltadas as espécies de hábito generalista.



Figura 16. Passagem de fauna inferior multiuso.
Fonte: Google Imagens (2021).



Figura 17. Construção de passagem de fauna inferior multiuso.
Fonte: Google Imagens (2021).

4.2.4. Túneis Para Anfíbios e Répteis

A localização em rotas migratórias para os sítios de reprodução e o microclima (umidade, luz e temperatura) são decisivos para sua utilização (CLEVENGER & HUIJSER 2011). Aqueles mais longos e estreitos devem ser posicionados próximo à superfície da estrada e contar com aberturas para entrada de luz para serem efetivos. A superfície preferencialmente deve ser recoberta por solo, retendo mais umidade do que as estruturas nuas de concreto ou metal (LESBARRÈRES et al. 2004).

O desenho retangular dos túneis é mais recomendado, pois as paredes verticais de estruturas pré-moldadas facilitam o direcionamento do deslocamento dos indivíduos. Bueiros circulares são utilizados, mas se deve evitar aqueles de aço, pois tem alta condutividade, podem criar campos magnéticos (LESBARRÈRES et al. 2004) e apresentam temperaturas muito baixas durante os períodos migratórios de primavera. Podem também ser formados por canaletas subsuperficiais, sendo então de menores dimensões e recobertos por grades metálicas. Os túneis não devem ser inundados, pois isto impede o trânsito dos animais. Não devem apresentar degraus ou inclinação vertical, tampouco aberturas superiores quando

interceptam canteiros centrais, sendo preferencialmente contínuos (CLEVINGER & HUIJSER 2011).

Têm normalmente até 0,9 m de largura, e sua eficácia já foi verificada em distâncias de até 40 m (Lausanne, Suíça), apesar de que túneis mais curtos parecem ser mais eficientes para os anfíbios (BECKMANN et al. 2010). Recomenda-se que sejam providos diversos túneis nas áreas de sítios reprodutivos, espaçados até 45 m entre si (CLEVINGER & HUIJSER 2011). Cercas e barreiras são fundamentais para direcionar os animais para estas estruturas. Devem atingir o túnel em ângulo de 45° e ter características que dificultem a escalada pelos animais, tendo preferencialmente mais de 35 cm de altura.

O tamanho e local adequado para cercamento e construção dos túneis para deslocamento da herpetofauna deve ser definida pela concessionária que administra a rodovia, em consonância com o órgão ambiental licenciador e uma equipe multidisciplinar com amplo conhecimento sobre a implantação de medidas de mitigação, levando-se sempre em consideração os atributos da paisagem, como a presença de cursos d'água. A Figura 18 e Figura 19 são exemplos de aplicação de passagens de fauna com cercamento voltado ao grupo dos anfíbios e reptéis.



Figura 18. Túnel para deslocamento de anfíbios e reptéis. Fonte: Google Imagens (2021).



Figura 19. Bueiro utilizado para deslocamento de anfíbios e reptéis. Fonte: Google Imagens (2021).

4.2.5. Redutores de Velocidade

Existe uma relação direta entre a velocidade do tráfego e o número de atropelamentos, visto que o tempo de resposta para evitar a colisão é expressivamente aumentado em velocidades reduzidas. Entretanto, o estabelecimento de limites máximos incompatíveis com a

geometria da rodovia não gera a redução da velocidade por parte da maioria dos condutores, ocasionando diferenças de velocidade que podem ser ainda mais perigosas (BECKMANN et al. 2010). A limitação da velocidade aquém da capacidade geométrica da via deve ser acompanhada de medidas físicas ou coercitivas para que seja efetiva, tais como a implantação de controladores e redutores de velocidade, ondulações transversais e sonorizadores.

A possibilidade de adequação temporal dos limites de velocidade, com a redução nos períodos em que ocorre maior probabilidade de atropelamentos, como no período crepuscular, é uma alternativa a ser mais bem explorada, especialmente em segmentos de menor extensão, porém limitados a condições técnicas e dependentes de regulamentação às normas legais de trânsito. A dificuldade de manutenção de controladores eletrônicos de velocidade, seus altos custos, a rejeição pública e a pouca efetividade em trechos longos são aspectos que dificultam sua utilização em maior escala.

Neste contexto, uma das medidas efetivas para controle e mitigação dos atropelamentos sobre as espécies generalistas é a implantação de redutores de velocidade, como radares ou mesmo lombadas, visto que pode ser considerada uma medida efetiva nos pontos em que foram registradas agregações de atropelamentos. A Figura 20 a Figura 21 indica algumas medidas efetivas que podem ser adotadas para mitigação de atropelamentos em áreas de concentração de atropelamentos.



Figura 20. Radar redutor de velocidade. Fonte: Google Imagens (2021).



Figura 21. Sonorizador redutor de velocidade. Fonte: Google Imagens (2021).

4.2.6. Campanhas Educativas

Envolvem a divulgação de informações aos motoristas referentes ao número de colisões envolvendo animais, trechos e horários mais perigosos e procedimentos a serem adotados ao avistar um animal na pista ou próximo a ela. Sua efetividade não pode ser mensurada no que se refere à redução no número de atropelamentos, entretanto contribui diretamente na divulgação do problema e das estratégias de mitigação adotadas. No Brasil, panfletos informativos vêm sendo distribuídos em postos policiais e praças de pedágio em rodovias. Devem ser elaborados seguindo as informações disponíveis para o empreendimento com design e informações atraentes, de modo a fornecer ao leitor todos os dados relevantes, agindo como fonte de mitigação aos atropelamentos de fauna e conservação da biodiversidade.

A Figura 22 e Figura 23 indicam alguns exemplos de folders utilizados como agentes de educação ambiental e que visam reduzir o impacto da operação de rodovias sobre a fauna.

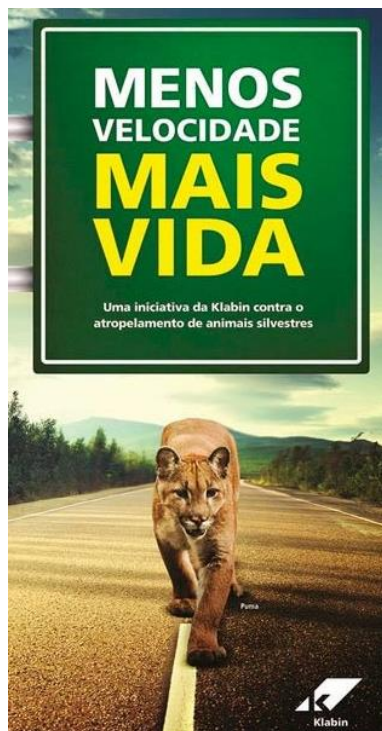


Figura 22. Proposta de Folder educativo. Fonte: Klabin (2021).



Figura 23. Proposta de Folder educativo. Fonte: Google Imagens (2021).

4.2.7. Sinalização Viária

A habituação dos motoristas à sinalização parece ser a principal causa da pouca efetividade desta medida. Estratégias tais como a combinação da sinalização referente à fauna com sinalização indicativa de velocidade máxima ou sinais luminosos intermitentes em determinados horários resultaram na redução de 3,7 a 7,4 km/h quando comparados com a sinalização estática tradicional, sem apresentar, entretanto, redução significativa no número de animais atropelados (BECKMANN et al. 2010).

Dispositivos com estas características são normalmente ativados somente durante a noite. Equipamentos móveis de sinalização luminosa (transportados sobre reboques e instalados temporariamente em segmentos diversos) demonstraram melhores efeitos na redução de velocidade, quando comparados a equipamentos estáticos (BECKMANN et al. 2010). Técnicas de sinalização horizontal utilizadas em outros contextos rodoviários visando à redução de velocidade também podem ser empregadas, tais como faixas, deflexões e sonorizadores, além do estreitamento visual com a inclusão de elementos direcionadores ou verticais (árvores ou portais, por exemplo). Apesar disto, as medidas mais efetivas tem sido a instalação de placas de advertência, visto que o alto custo de sinalizações luminosas torna-se um impeditivo para implantação em rodovias federais.

Assim, sugere-se que sejam instaladas placas de advertência, informativas e educativas, voltadas para a presença e movimentação de animais silvestres nos pontos de agregação de atropelamentos. Os materiais a serem utilizados, tanto na sinalização vertical quanto na horizontal devem estar em conformidade com as Normas da ABNT para chapas, estruturas de sustentação, tintas, películas e dispositivos auxiliares (taxas e elementos refletivos). A sinalização deverá ser constantemente avaliada quanto à sua efetividade, promovendo-se os ajustes necessários de inclusão, remoção e modificação de dispositivos. A Figura 24 a Figura 27 indicam modelos de placa a serem instalados de forma a orientar os motoristas sobre a presença e travessia de animais na pista.



Figura 24. Indicação de placa de sinalização. Fonte: Google Imagens (2021).



Figura 25. Indicação de placa de sinalização. Fonte: Google Imagens (2021).



Figura 26. Indicação de placa de sinalização. Fonte: Google Imagens (2021).

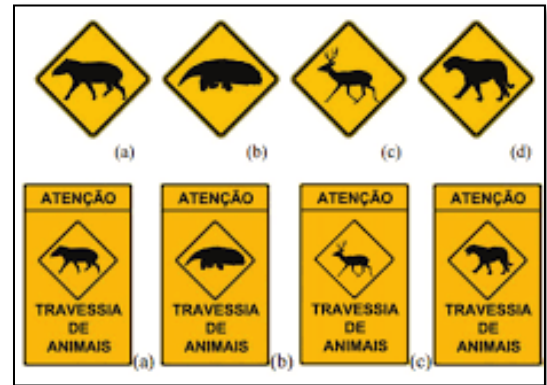


Figura 27. Indicação de placa de sinalização. Fonte: Google Imagens (2021).

5. CONCLUSÃO

Rodovias são empreendimentos de operação contínua e elementos impactantes da paisagem que alteram a biodiversidade, tanto em sua fase de implantação como operação. Dentre os impactos provocados pela operação de rodovias, a mortalidade de indivíduos da fauna, fragmentação florestal e alterações contínuas no uso do solo na paisagem lindeira a rodovia evidenciam a falta de planejamento e fiscalização durante as fases do licenciamento ambiental. Deste modo, a proposição de novas estratégias e métodos eficazes para mitigação de impactos, sobretudo a perda de espécimes pelos atropelamentos, torna-se fundamental para estabelecer a conectividade funcional em paisagens fragmentadas, assegurando a sobrevivência de populações em áreas progressivamente menores.

O método proposto neste estudo se baseia na teoria dos circuitos e nos atributos do uso do solo, a fim de se obter modelos que abranjam a conectividade funcional da paisagem, visando a redução de mortalidades de espécimes em rodovias e implantação de métodos eficazes para mitigação dos impactos. Com base na ampla base de dados de atropelamentos disponíveis para a malha rodoviária brasileira e utilizando a teoria dos circuitos, é possível propor cenários e locais de implantação de medidas mitigatórias com base nas características dos grupos de espécies, sendo estas mais efetivas para conservação da biodiversidade em paisagens fragmentadas e com menor custo para a iniciativa pública/privada.

Espécies arborícolas e especialistas dependem exclusivamente de ambientes florestais e são mais afetadas pela diminuição dos fragmentos e ausência ou diminuição de conectividade. Em contrapartida, espécies generalistas permeiam por diferentes tipologias de uso do solo, com predileção por áreas abertas e menor sensibilidade à ambientes alterados. Com base nos requisitos ecológicos de cada grupo de espécies registradas neste estudo (i.e. arborícolas, especialistas e generalistas) e nos resultados espacializados das agregações de atropelamentos, os modelos de deslocamento das espécies pela paisagem podem fornecer informações preditivas valiosas de locais passíveis de instalação de medidas mitigatórias na operação de rodovias.

Considerando o planejamento das ações relativas à conservação e mitigação dos impactos, estas são especialmente dependentes da estrutura da paisagem, devendo-se priorizar a manutenção dos fragmentos e a restauração florestal de áreas pouco conectadas. Adicionalmente, a implantação de passagens de fauna nos locais onde os modelos indicaram

como mais permeáveis para deslocamento da fauna, aumentaria a conectividade e disponibilidade de habitat, reduzindo a probabilidade de atropelamentos, auxiliando a manutenção das populações e conservação da biodiversidade.

A representação espacial dos locais mais propícios ao deslocamento da fauna, com consequente maior possibilidade de atropelamentos por cruzarem a rodovia nos pontos de conexão, pode auxiliar na tomada de decisões, levando-se em consideração a conectividade da paisagem. Os modelos de conectividade também facilitam a visualização espacial dos locais onde poderão ser implantadas medidas mitigatórias para os atropelamentos, cruzando estas informações com outras variáveis, como o uso do solo, promovendo maior sucesso e efetividade na implantação das passagens de fauna de acordo com a configuração da paisagem e a permeabilidade da matriz.

Ademais, a implementação de tecnologias de rastreamento de atropelamentos de indivíduos da fauna por meio de aplicativos de aparelhos celular, consolida uma importante base de dados para a comunidade científica. A disponibilização das bases de dados e utilização do método complementar da teoria dos circuitos pode promover condições essenciais de baixo custo operacional e técnico que auxiliem na implantação de medidas efetivas para aumento da conectividade funcional e redução dos atropelamentos de fauna.

6. REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, P.J.A.L. 2007. Dimensões Fractais nos movimentos do gambá de orelha-preta, *Didelphis aurita* (Didelphimorphia, Didelphidae). Dissertação de Mestrado. Instituto de Biologia-PPGE/UFRJ, Rio de Janeiro. 60p.
- ARTERIS. 2020. Br-101, Rodovia Norte Fluminense. Disponível em: <https://www.arteris.com.br/rodovias/fluminense/.html>> Acesso em: 28 ago. 2020.
- ASCENSÃO, F. & A. MIRA. 2007. Factors affecting culvert use by vertebrates along two stretches of road in southern Portugal. *Ecological Research* 22 (1): 57-66.
- BEEBEE, T. J. C. 2013. Effects of road mortality and mitigation measures on amphibian populations. *Conservation Biology*, 27, 657-668.
- BECKMANN, J. P., A. P. CLEVINGER, M. P. HUIJSER & J. A. HILTY. 2010. Safe passages: Highways, wildlife and habitat connectivity. Washington, USA, Island Press, 396p.
- BEIER, P.; NOSS, R. F. 1998. Do Habitat Corridors Provide Connectivity? *Conservation Biology*, local da revista, Ano 12, n.6, p. 241-1252.
- BÍL, M., ANDRÁŠIK, R., SVOBODA, T., SEDONÍK, J. KDE+. Computer software. Vers. X.X. Olomouc: CDV - Transport Research Centre, 2020. Web. <www.kdeplus.cz>.
- BUENO, C.; ALMEIDA, P.J.A.L. 2010. Sazonalidade de atropelamentos e os padrões de movimentos em mamíferos na BR-040 (Rio de Janeiro-Juiz de Fora). *Revista Brasileira de Zootecias* 12 (3): 219-226.
- CAIN, A. T., V. R. TUOVILA, D. G. HEWITT & M. E. TEWES. 2003. Effects of a highway and mitigation projects on bobcats in southern Texas. *Biological Conservation* 114 (2): 189-197.
- CARVALHO, F.A; BRAGA, J.M.A; NASCIMENTO, M.T. 2009. Estrutura da comunidade arbórea de fragmentos de floresta atlântica ombrófila submontana na região de Imbaú, município de Silva Jardim, Rio de Janeiro, Brasil. *Rodriguésia*, Rio de Janeiro, v. 60, n. 3, p. 695-710.
- CLEVINGER, A. P. & N. WALTHO. 2000. Factors influencing the effectiveness of wildlife underpasses in Banff National Park, Alberta, Canada. *Conservation Biology* 14 (1): 47-56.
- CLEVINGER, A. P.; CHRUSZCZ, B.; GUNSON, K. 2003. Spatial patterns and factors influencing small vertebrate fauna road-kill aggregations. *Biological Conservation*, 109: 15-26.
- COELHO, I. P.; TEIXEIRA, F. Z.; COLOMBO, P.; COELHO, A. V. P.; KINDEL, A. 2012. Anuran road-kills neighboring a peri-urban reserve in the Atlantic Forest, Brazil. *Journal of Environmental Management*, 112, 17-26.
- CRAWFORD, B.A.; MAERZ, J.C.; NIBBELINK, N.P. 2013. Hot spots and hot moments of diamondback terrapin road-crossing activity. *J Appl Ecol* 51:367-375

FORMAN, R. T. T. & ALEXANDER, L. E. 1998. Roads and their major ecological effects. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 29: 207-231.

FORMAN, R. T. T. 2000. Estimate of the area affected ecologically by the road system in the United States. *Conservation Biology*, 14(1): 31-35.

GLISTA, D. J.; DEVAULT, T. L.; DEWOODY, J. A. 2007. Vertebrate road mortality predominantly impacts amphibians. *Herpetological Conservation and Biology*, 3, 1, 77-87.

GRILO, C., J. BISSONETTE & M. SANTOS-REIS. 2008. Response of carnivores to existing highway culverts and underpasses: Implications for road planning and mitigation. *Biodiversity and Conservation* 17 (7): 1685-1699.

GRILO, C., et al. 2018. BRAZIL ROAD-KILL: a data set of wildlife terrestrial vertebrate road-kills. *Ecology* 99: 2625–2625.

LESBARRÈRES, D., T. LODÉ & J. MERILÄ. 2004. What type of amphibian tunnel could reduce road kills? *ORYX* 38 (2): 220-223.

LINDENMAYER, D.B.; FRANKLIN, J.F.; FISCHER, J. 2006. General management principles and a checklist of strategies to guide forest biodiversity conservation. *Biological conservation*, v. 131, n. 3, p. 433-445.

MADER, H. J. 1984. Animal habitat isolation by roads and agricultural fields. *Biological Conservation*, 29: 81-96.

MALO, J.E.; SUÁREZ, F.; DÍEZ, A. 2004. Can we mitigate animal–vehicle accidents using predictive models? *Journal of Applied Ecology* 41:701–710.

MANTOVANI, J.L. 2001. Telemetria convencional e via satélite na determinação das áreas de vida de três espécies de carnívoros da região nordeste do estado de São Paulo. 118 f. Tese (Doutorado em Ciências). Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.

MCDONALD-MADDEN E.; BAXTER, P.W.J.; POSSINGHAM, H.P. 2008. Making robust decisions for conservation with restricted money and knowledge. *J Appl Ecol* 45:1630–1638

MCNAB, B.K. 1963. Bioenergetics and Determination of Home Range Size. *American Naturalist* 97: 133-138.

MCRAE, B.; SHAH V.B.; MOHAPATRA T.K. 2013. Circuitscape 4 user guide. The Nature Conservancy, Arlington. <http://www.circuitscape.org>

MCRAE, B.H.; DICKSON, B.G.; KEITT, T.H.; SHAH, V.B. 2008. Using circuit theory to model connectivity in ecology, evolution, and conservation. *Ecology* 89:2712–2724

PROBIO / MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. 2004. Levantamento da Cobertura Vegetal Nativa do Bioma Mata Atlântica. In: Relatório Final do Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira, 84p.

REIS, N. R.; PERACCHI, A. L.; PEDRO, W. A.; LIMA, I. P. Mamíferos do Brasil. 2 ed., Londrina: N. R. Reis, 2011. 439 p.

REIS, N.R., PERACCHI, A.L., PEDRO, W.A. & LIMA, I.P. 2007. Morcegos do Brasil. Universidade de Londrina, Londrina, 253p.

RODRIGUES, F.H.G., HASS, A., REZENDE, L.M., PEREIRA, C.S., FIGUEIREDO, C.F., LEITE, B.F., FRANÇA, F.G.R. 2002. Impacto de rodovias sobre a fauna da Estação Ecológica de Águas Emendadas, DF. In: III Congresso Brasileiro de Unidades de Conservação, 2002, Fortaleza, p. 585-593.

SILVA, M.F.V. 2013. Influência de fatores externos e internos sobre o deslocamento de guildas da herpetofauna. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Tecnologia Ambiental). Universidade Federal de Alfenas, 54 pags.

SILVA, R. A. 2015. Avaliação da cobertura florestal na paisagem de Mata Atlântica no Ano De 2010, Na Região De Ouro Preto - MG. *Cerne*, v. 21, n. 2, p. 301–309.

SOS MATA ATLÂNTICA. 2015. Mapeamento da Mata Atlântica do Rio de Janeiro. Seminário do Viva a Mata – Encontro Nacional da Mata Atlântica. Disponível em: <https://www.sosma.org.br/noticias/levantamento-inedito-mata-atlantica-rio/.html>> Acesso em: 06 nov. 2020.

SULLIVAN, B. K. 1981. Observed differences in body temperature and associated behaviour of four snake species. *Journal of Herpetology* 15:245–246.

TEIXEIRA, F. Z. 2010. Detectabilidade da fauna atropelada: efeito do método de amostragem e da remoção de carcaças. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Biociências, Porto Alegre.

TORRES, R.S.; PEDRON, A.; FACIN, A.K.; FRANTZ, L.C.; MUÑOZ, C.S. 2015. Monitoramento de anfíbios atropelados no eixo da rodovia do parque BR-448 através do caminhamento. IBEAS – Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais. VI Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, 9 pags.

TOZETTI, A.M. & TOLEDO, L.F. 2005. Short-term movement and retreat sites of *Leptodactylus labyrinthicus* (Anura: Leptodactylidae) during the breeding season: a spool-and-line tracking study. *Journal of herpetology*, 39, 640-644.

TROMBULAK, C. S. & FRISSEL, A. C. 2000. Review of ecological effects of roads on terrestrial and aquatic communities. *Conservation Biology*, 14(1): 18-30.