

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS

INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOLOGIA

EDSON RODRIGUES COSTA

ATROPELAMENTOS DE MARSUPIAIS (DIDELPHIMORPHIA: DIDELPHIDAE)
NA BR-174, NA TERRA INDÍGENA WAIMIRI ATROARI, AMAZÔNIA CENTRAL,
BRASIL

MANAUS

2018

EDSON RODRIGUES COSTA

**ATROPELAMENTOS DE MARSUPIAIS (DIDELPHIMORPHIA: DIDELPHIDAE)
NA BR-174, NA TERRA INDÍGENA WAIMIRI ATROARI, AMAZÔNIA CENTRAL,
BRASIL**

Dissertação apresentado à Coordenação do
Programa de Pós-Graduação em Zoologia, da
Universidade Federal do Amazonas, como
requisito para obtenção de título de Mestre em
Zoologia.

Orientador: Prof. DR. MARCELO GORDO

MANAUS

2018



Poder Executivo
Ministério da Educação
Universidade Federal do Amazonas
Instituto de Ciências Biológicas
Programa de Pós-Graduação em Zoologia



ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

No dia cinco de junho de dois mil e dezoito, às quatorze horas, na sala de aula do PPG-Zoologia, Prédio das Pós-Graduações FCA-ICB da Universidade Federal do Amazonas, Setor Sul, Manaus, Amazonas, **Edson Rodrigues Costa** realizou a Defesa Pública de Mestrado intitulada “**Atropelamentos de marsupiais (Didelphimorphia: Didelphidae) na Terra Indígena Waimiri Atroari, BR-174**”.

Banca Examinadora:

Membros	Parecer	Assinatura
Prof. Dr. Marcelo Gordo	Aprovado (X) Reprovado ()	
Prof. Dr. Fabricio Beggiato Baccaro	Aprovado (X) Reprovado ()	
Dra. Maria Nazareth Ferreira da Silva	Aprovado (X) Reprovado ()	

Parecer:

Resultado Final: Aprovado (X)

Reprovado ()

Local e data: Manaus . 05 de junho de 2018

Prof. Dr. Marcelo Menin
Vice-Coordenador do PPG Zoologia
Portaria 2148/2017 – GR/UFAM

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

C837a Costa, Edson Rodrigues
Atropelamentos de Marsupiais (Didelphimorphia: Didelphidae) na
BR-174, na Terra Indígena Waimiri Atroari, Amazônia Central,
Brasil / Edson Rodrigues Costa. 2018
95 f.: 31 cm.

Orientador: Marcelo Gordo
Dissertação (Mestrado em Zoologia) - Universidade Federal do
Amazonas.

1. Rodovia. 2. Atropelamentos de marsupiais. 3. Pluviosidade. 4.
Fluxo de veículos. 5. Hotspots de atropelamentos. I. Gordo,
Marcelo II. Universidade Federal do Amazonas III. Título

RESUMO GERAL

A construção de rodovias é importante para o desenvolvimento econômico, social e político de uma região, porém, ameaçam a biodiversidade com diferentes impactos, como os atropelamentos. Com a fragmentação dos habitats, os animais arborícolas estão entre os vertebrados mais atropelados, dentre estes estão os marsupiais neotropicais, principalmente nas rodovias que cortam a floresta amazônica. Os atropelamentos são atribuídos a vários fatores e as colisões podem ocorrer de forma não-aleatória. Nossos objetivos foram investigar o efeito da pluviosidade e do fluxo de veículos para os atropelamentos de marsupiais e identificar locais com *hotspots* de atropelamentos num trecho da BR-174, na Terra Indígena Waimiri Atroari, entre os estados de Amazonas e Roraima. Foram usados dados georreferenciados coletados em seis anos de monitoramento. Estes foram usados nas análises de regressão múltipla confrontando-os com dados de pluviosidade local e de fluxo de veículos do período noturno, assim como nas análises espaciais dos atropelamentos. Foram identificados os indivíduos coletados no último ano de coleta. A análise de regressão múltipla mostrou que os atropelamentos tendem a aumentar em período com menos chuvas e em período com mais veículos trafegando à noite. Foram identificados os *hotspots* de atropelamentos, sendo que esses surgiram em locais diferentes entre os anos analisados. Como medidas que mitiguem atropelamentos de animais arborícolas na área de estudo, em ambas as margens da rodovia é necessário a manutenção e plantação de árvores nativas com potencial para formação de passarelas naturais. Além disso, sugerimos a instalação de pontes artificiais e redutores de velocidade em locais específicos enquanto as passagens naturais se formem. Contudo, estudos de paisagem e de populações de marsupiais e de outros grupos são necessários, para melhor compreensão das causas dos atropelamentos, para que possam auxiliar nas tomadas de decisões e de conservação da biodiversidade local.

Palavras-chave: Rodovia, atropelamentos de marsupiais, pluviosidade, fluxo de veículos, *hotspots* de atropelamentos.

ABSTRACT

The construction of highways is important for the economic, social and political development of a region, but they threaten biodiversity in promoting impacts, such as roadkills. With the fragmentation of the habitats, the arboreal animals are among the most hit vertebrates, among them are the Neotropical marsupials, mainly on highways that cut the Amazon forest. Roadkills are attributed to several factors, and such collisions may occur in a non-random manner. Our objectives were to investigate the effects of rainfall and vehicle flow on marsupial roadkills and to identify sites with roadkills hotspots on a stretch of the road BR-174 in the Waimiri Atroari Indigenous Land, between Amazonas and Roraima. Data collected over six years of monitoring were used. These were used in multiple regression analyzes to see the possible relation of roadkills with local rainfall data and overnight vehicle flows, as well as spatial analysis of roadkills. The individuals collected in the last year were identified. The multiple regression analysis showed that roadkills tended to increase in the period with less rainfall and in the period with more vehicles traveling at night. The locations where the hotspots of roadkills occurred, were identified, and these appeared in different places between the analyzed years. As measures that may mitigate roadkills of arboreal animals in the study area, on both sides of the highway it is necessary the maintenance and plantations of native trees with potential for forming natural walkways with their canopy. In addition, the installation of artificial bridges and speed reducers in specific locations as the natural passages form. However, landscape studies and populations of marsupials and other groups, are needed to better understand the causes and to assist in decision-making and conservation of local biodiversity.

Keywords: Highway, roadkill marsupial, rainfall, traffic flow, roadkill hotspot.

Dedico esta conquista aos meus pais
Astrogildo e Dionísia, aos meus
familiares, ao meu orientador Marcelo
Gordo e aos índios Waimiri-Atroari.

AGRADECIMENTOS

À Deus

Ao meu Orientador Prof. Dr. Marcelo Gordo, por acreditar em mim, pela atenção e compreensão, bem como pelos esclarecimentos quanto à coleta de dados, que foram tão importantes para se atingir os resultados aqui apresentados.

À minha família pelo apoio em todos os momentos, principalmente a meus pais Astrogildo Ferreira Costa e Dionísia Rodrigues Costa pelos ensinamentos, conselhos, palavras de conforto e incentivo.

Ao saudoso e falecido, José Porfírio F. de Carvalho, pela credibilidade e pela vida dedicada aos indígenas.

Aos Índios Waimiri Atroari (ou Kinja, como se autodenominam) pela receptividade e confiança, com os quais tive oportunidade de conviver e compartilhar experiências e conhecimentos.

Ao Sr Antônio Carlos, à Denice Lima, aos motoristas Luiz Ferreira, Euler Lima, Faustos Atroari, Alexsandro Muralha, bem como aos demais funcionários do PWA com quem tive oportunidade de conviver e compartilhar momentos de alegria.

À Prof^a Dra Maria Nazareth F. da Silva e ao MSc. Ivan Junqueira pelas contribuições na identificação dos marsupiais.

À curadoria da Coleção de Mamíferos do INPA por permitir o acesso, manipulação e registros fotográficos dos exemplares que serviram de auxílio para identificação dos indivíduos coletados nessa pesquisa.

Aos professores MSc. Dilcindo Trindade, MSc. Fiorella Chalco, Dr. Fabiano Taddei e Dr. Adailton Silva e aos demais que contribuíram de alguma forma para minha formação.

Aos amigos (as) e colegas do laboratório do Projeto Sauim-de coleira pelas contribuições, momentos e conhecimentos compartilhados. Em especial ao Leandro Fernandes e Leandro Vidal, Aline Medeiros e Tainara Sobroza.

À Aline pelas contribuições nas análises dos dados e

À Tainara e Vaneza pelas correções e sugestões de melhoria na escrita deste trabalho.

Aos colegas de curso (Leandro Fernandes e Leandro Vidal, Jonailson, Lizane, Deigo, Rafael, Andréia Douglas, Maseo, Amanda, Alexandre e Igor) pelos momentos em aflição, diversão e pelas contribuições durante esta jornada.

Aos amigos (as) Leandro Nogueira, Juan (“Boto”), Stefane, Alíria, Danielle,

Ao Raimundo Jurema e Francisco Dantas pelos momentos de convivência e diversão.

Ao André Luiz pela confecção do Mapa da Área de Estudo.

À Universidade Federal do Amazonas pela oportunidade de conquista desta qualificação profissional, possibilitando assim, tornar realidade mais um de meus grandes sonhos.

Aos coordenadores do Programa de Pós-Graduação em Zoologia da UFAM e aos demais professores do PPG-ZOO pelo conhecimento e momentos compartilhados.

Por último, mas não menos importante, à FAPEAM pela concessão da bolsa de estudo.

*Se hoje vejo mais longe, é por estar de pé
sobre ombros de gigantes.*

Isaac Newton

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

CAPÍTULO I: Atropelamentos de marsupiais e fatores associados às colisões em uma rodovia na Florestal Tropical, Amazônia Central.

Figura 1 - Mapas da TIWA e do trecho da rodovia BR-174, entre os estados do Amazonas e Roraima.....34

Figura 2 - Exemplos de algumas das espécies de didelfídeos atropelados na TIWA (à esquerda) e exemplares da Coleção de Mamíferos do INPA (à direita) usados para identificação; (a1 e a2) *Didelphis marsupialis*; (b1 e b2) *Philander opossum*; (c1 e c2) *Caluromys philander*; (d1 e d2) *Caluromys lanatus*; (e1 e e2) *Marmosa demerarae*.....39

Figura 3 - Marsupiais atropelados entre 2012 e 2017 no trecho da BR-174, na TIWA. As médias mensais foram obtidas somando os atropelamentos mensais e dividindo-os pelos seis anos monitorados. Barras de cor cinza = as Médias Mensais de Atropelamentos e M.M.T.A = as Médias Mensais da Taxa de Atropelamento. As linhas ligam os símbolos que se referem aos valores mensais de atropelamentos e da M.M.T.A (linha tracejada com pontos e círculo vazio) para os anos de 2012 (linha sólida e círculos azuis), 2013 (linha tracejada e triângulos verdes), 2014 (linha sólida e quadrados pretos), 2015 (linha tracejada com pontos e losângulos vermelhos), 2016 (linha tracejada e asterístico) e 2017 (linha tracejada e triângulos vazios).....40

CAPÍTULO II: Identificação de hotspots de atropelamentos de marsupiais neotropicais: importância da frequência do monitoramento em estudos de caso

Figura 1 - Mapas da TIWA e do trecho da rodovia BR-174, entre os estados do Amazonas e Roraima.....65

Figura 2 - Distribuição espacial dos atropelamentos de marsupiais no trecho da BR-174, na TIWA. (a) = 2012; (b) = 2013; (c) = 2014; (d) = 2015; (e) = 2016 e (f) = 2017. As linhas pretas representam os limites de confiança superior e inferior de 95%. A linha azul representa a função $L(r)$, sendo que acima do limite de confiança superior indica agregação significativa dos atropelamentos e abaixo do limite de confiança inferior indica dispersão significativa.....70

Figura 3 - Distribuição espacial dos atropelamentos de marsupiais registrados entre 2012 e 2017 no trecho da BR-174, na TIWA. As linhas pretas representam os limites de confiança superior e inferior de 95%. A linha azul representa a função $L(r)$, sendo que acima do limite de confiança superior indica agregação significativa dos atropelamentos e abaixo do limite de confiança inferior indica dispersão significativa.71

Figura 4 a-f - *Hotspots* de atropelamentos de marsupiais no trecho da BR-174, na TIWA. As linhas pretas representam os limites de confiança superior e inferior de 95%. A linha azul representa intensidade de agregação (função $N \text{ eventos} - N \text{ simulado}$), sendo que acima do limite de confiança superior indica *hotspots* significativos72

Figura 5 - *Hotspots* de atropelamentos de marsupiais entre 2012 e 2017 no trecho da BR-174, na TIWA. As linhas pretas representam os limites de confiança superior e inferior de 95%. A linha azul representa intensidade de agregação (função $N \text{ eventos} - N \text{ simulado}$), sendo que acima do limite de confiança superior indica *hotspots* significativos.....73

Figura 6 - Comparação dos *hotspots* de marsupiais atropelados entre 2012 e 2017. No centro dos círculos vermelhos estão os *hotspots* com agregação superior ao limiar 2.5 para 2013 e limiar 3 para os outros anos.....74

LISTA DE TABELA

CAPÍTULO I: Atropelamentos de marsupiais e fatores associados às colisões em uma rodovia na Florestal Tropical, Amazônia Central

Tabela 1 Descrição sobre os horários de tráfego e tipos de veículos que podem trafegar após as 18:30h no trecho da BR-174, na TIWA, entre os estados do Amazonas e Roraima.34

Tabela 2 Marsupiais atropelados entre dezembro de 2016 e novembro de 2017 no trecho da BR-174, na TIWA.....41

Tabela 3 Resultado da regressão linear múltipla confrontando dados de pluviosidade referentes a um mês anterior aos dados de veículos e atropelamentos.42

CAPITULO II: Identificação de hotspots de atropelamentos de marsupiais neotropicais: importância da frequência do monitoramento em estudos de caso

Tabela 1 Descrição sobre os horários de tráfego e tipos de veículos que podem trafegar após as 18:30h no trecho da BR-174, na TIWA entre os estados do Amazonas e Roraima.....65

Tabela 2 Indicação dos *hotspots* de atropelamentos de marsupiais entre 2012 e 2017, nos 121 km do trecho da BR-174 na TIWA. O raio usado na análise de *Hotspots – 2D* foi de 50 m, o trecho foi dividido em 1210 segmentos de 100 m e 1000 simulações. HS = valores da função *N eventos - N simulado*. As células em cinza indicam os valores dos *hotspots* de atropelamentos significativos (Fig. 4 a-f, 5 e 6)78

LISTA DE SIGLAS E ABREVIACÕES

AM	Amazonas
ANA	Agencia Nacional de Água
FUNAI	Fundação Nacional do Índio
GPS	Global Positioning System
INPA	Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia
PWA	Programa Waimiri Atroari
CPRM	Serviço Geológico do Brasil
RR	Roraima
SISBIO	Sistema de Autorização e Informação em Biodiversidade
TIWA	Terra Indígena Waimiri Atroari
TA	Taxa de Atropelamento
UFAM	Universidade Federal do Amazonas

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	18
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	21
CAPÍTULO 1	28
Atropelamentos de marsupiais e fatores associados às colisões em uma rodovia na Florestal Tropical, Amazônia Central.	28
RESUMO	29
ABSTRAT	30
INTRODUÇÃO.....	31
MATERIAL E MÉTODOS.....	32
Área de Estudo	32
Coleta de Dados.....	35
Dados de marsupiais atropelados	35
Dados do Fluxo de Veículos	36
Dados de Pluviosidade	36
Análise dos Dados	37
Taxa de Atropelamentos.....	37
Identificação das Espécies.....	37
Análise da Relação entre Variáveis Preditoras e Atropelamentos.	38
RESULTADOS	38
Taxa de Atropelamento	38
Espécies de Marsupiais Atropelados	41

Efeitos das variáveis preditoras para os Atropelamentos	43
DISCUSSÃO	43
Taxa de Atropelamentos	43
As espécies afetadas	46
Efeito das Variáveis Preditoras nos Atropelamento de Marsupiais	47
AGRADECIMENTOS	49
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49
CAPÍTULO 2	61
Identificação de <i>Hotspots</i> de atropelamentos de marsupiais neotropicais: importância da frequência do monitoramento em estudos de caso.	61
RESUMO	62
ABSTRAT	63
INTRODUÇÃO.....	64
MATERIAL E MÉTODOS.....	65
Área de Estudo	66
Coleta de dados.....	68
Análise dos Dados	69
Análises Espaciais dos Atropelamentos.....	69
RESULTADOS	71
Espécies Identificadas.....	71
Distribuição Espacial dos Atropelamentos.....	71
Análise de <i>Hotspots</i> – 2D	73
DISCUSSÃO	77

AGRADECIMENTOS	81
APÊNDICE A: Locais dos <i>Hotspots</i> de atropelamentos com intensidade de agregação significativa	81
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	87
CONCLUSÃO GERAL	95

INTRODUÇÃO GERAL

No Brasil, as primeiras estradas foram construídas para interligar territórios e permitir o escoamento da produção interna (Galvão, 1996; Neto & Nogueira, 2015). Na região norte várias foram as rodovias planejadas e construídas, principalmente durante o período militar (1964-1985) usando-se o discurso de “integrar para não entregar” para ocupar os espaços conhecidos como “vazios demográficos” (Neto, 2015). Dentre as rodovias construídas na região norte, a BR-174 é o principal meio de ligação entre Manaus/AM e Boa Vista/RR (Diniz & Santos, 2005; Nogueira & Neto, 2016).

As construções de rodovias, assim como outras infraestruturas lineares (e.g., ferrovia, linhas de energia e ductos para gás e óleo) causam impactos vem causando sérios danos à biodiversidade (Laurance et al., 2009; 2015a; 2017a). A retirada da cobertura vegetal e a fragmentação, por exemplo, colabora para perdas e alterações da flora e fauna local. Associado a isso, há alterações físicas e químicas do ambiente, o possível aumento nas atividades de caça, facilitação de invasão de espécies exóticas, alterações comportamentais de animais e mortalidade de animais por colisão de veículos (Forman & Alexander, 1998; Trombulak & Frissell, 2000; Propper et al., 2016, Laurance et al., 2017a).

As rodovias impactam as populações de animais, sobretudo através do efeito barreira, do efeito borda e por atropelamentos (Forman & Alexander, 1998; Rosa et al., 2012). Tais mecanismos são responsáveis por alterações comportamentais que interferem no movimento natural dos indivíduos (Rosa et al., 2012, van der Ree et al., 2015). Com o efeito borda alguns os animais do interior da floresta não se aproximam das rodovias, enquanto que outras são atraídas para estes ambientes (Andrews, 1990). Os animais que evitam cruzar as rodovias

podem ser em decorrência do efeito barreira (Andrews, 1990; Goosem, 2007; Laurance et al., 2009; Bager et al., 2016). A dinâmica entre populações de espécies que não sofrem o efeito barreira também pode ser alterada em decorrência de atropelamentos (Andrews, 1990; Forman & Alexander 1998; Rosa et al., 2012; Bager et al., 2016). Entre os impactos gerados pelas estradas aos animais, o atropelamento é o mais visível por implicar na morte instantânea dos espécimes (Forman & Alexander, 1998). Principalmente espécies que usam as rodovias como corredores e saem à procura de recursos disponíveis em sua superfície ou em outros fragmentos como os animais carnívoros e granívoros que forrageiam grãos que caem dos veículos (Forman & Alexander, 1998; Bager et al., 2016).

Vários estudos têm investigado possíveis relações entre fatores que podem estar associados às colisões, como o tráfego de veículos (e.g., Fahrig et al., 1995; Gagnon et al., 2007; Sadleir & Linklater, 2016), a sazonalidade (e.g., Sadleir & Linklater, 2016) e/ou da pluviosidade (e.g., Lee et al., 2004). Além disso, se existe pontos críticos de atropelamentos (*hotspots*) e quais suas escalas (Clevenger et al., 2003; Teixeira et al., 2013; Teixeira et al., 2017; Gonçalves et al., 2018; Ramos & Meza-Joya, 2018). Nesse sentido, os impactos dos atropelamentos vem sendo objeto de estudo em muitos países com extensa malha rodoviária e elevado fluxo de veículos, principalmente na Europa, América do Norte e Austrália (Forman & Alexander, 1998; Coffin, 2007; Bennett, 2017).

Embora o Brasil seja interligado por grande malha rodoviária, estudos voltados para atropelamentos de fauna tiveram início no país somente a partir de 1988 (Fischer, 1997). A maioria dos estudos foram realizados nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste, pois nessas regiões os Biomas e ecossistemas são fragmentados por várias rodovias. Contudo, na floresta Amazônica ainda são poucos os estudos desenvolvidos com foco em atropelamento de fauna

silvestre, por exemplo, no Pará (Martins-Hatano et al., 2012), em Rondônia (Zandonadi et al., 2014), no Acre (Pinheiro & Turci, 2013) e no Amazonas (Omena Junior et al., 2012; Maschio et al., 2016; Sá, 2016; Freitas et. al., 2017). Em alguns estudos e em diferentes regiões os marsupiais tem sido os mais os registrados (Rosa & Mauhs, 2004; Santana, 2012, Omena Junior et al., 2012; SÁ, 2016).

Os marsupiais neotropicais pertencem às ordens Microbiotheria, Paucituberculata e Didelphimorphia (Gardner, 2008), porém, a última é a única existente no Brasil (Rossi et al., 2012). Esta é composta pela família Didelphidae que, por sua vez, é constituída por quatro subfamílias (Glironiinae, Calurominae, Hiladelphinae e Didelphinae), quatro tribos (Marmosini, Metachirini, Didelphini e Thylamyini) e 18 gêneros, sendo que, as tribos pertencem à subfamília Didelphinae (Voss & Jansa, 2009). Atualmente 15 gêneros e 56 espécies de didelfídeos são encontrados no Brasil (Rossi et al., 2012), a maioria vive na Mata Atlântica e Floresta Amazônica (Melo e Sponchiado, 2012).

A fragmentação de habitat é uma das principais ameaças aos didelfídeos, sobretudo para espécies especialistas devido à inabilidade em se movimentar entre fragmentos ou ocupar bordas de áreas antropizadas (Püttker et al., 2012). Devido ao tamanho pequeno e médio do corpo, de hábitos noturnos e deslocarem-se ativamente entre fragmentos florestais, estes são menos perceptíveis pelos condutores, tornando-se alvos de atropelamentos (Orlandin et al., 2015). Nesse sentido, com a construção da BR-174, além do massacre da população indígena Waimiri Atroari causada por militares devido à resistência e não-desocupação em defesa de seu território por onde previa-se a construção dessa rodovia (Carvalho, 1982; Baines, 1993b), outros impactos são gerados atualmente, dentre estes, os impactos dos veículos à fauna silvestre, sobretudo, para o grupo de marsupiais (Sá, 2016; Medeiros, 2017).

Diante do exposto, este trabalho encontra-se dividido em dois capítulos. O primeiro refere-se os efeitos da relação entre a pluviosidade e fluxo de veículos nos atropelamentos de Marsupiais no trecho da BR-174, na Terra Indígena Waimiri-Atroari. O segundo mostra a distribuição espacial e os pontos críticos (*Hotspots*) dos atropelamentos de marsupiais neste trecho da BR-174.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrews A, (1990) Fragmentation of habitat by roads and utility corridors: a review. *Australian Zoologist* 26, 130–141.
- Bager A, Lucas OS, Bourscheit A, Kuczach A, Maia B (2016) Os Caminhos da Conservação da Biodiversidade Brasileira frente aos Impactos da Infraestrutura Viária. *Biodiversidade Brasileira* 6(1): 75-86
- Bager A, Rosa CA (2012) Impacto da rodovia BR -392 sobre comunidades de aves no extremo Sul do Brasil. *Revista Brasileira de Ornitologia* 20(1):30-39
- Baines SGO (1993b) Território dos Waimiri-Atroari e o Indigenismo Empresarial. *Ciências Sociais Hoje*, São Paulo: Editora HUCITEC e ANPOCS, pp.219-243.
- Bennett VJ (2017) Effects of Road Density and Pattern on the Conservation of Species and Biodiversity. *Curr Ecol Landscape* 2: 1–11. <https://doi.org/10.1007/s40823-017-0020-6>.
- Bininda-Emonds ORP, Cardillo M, Jones KE, Macphee RDE, Beck RMD, Grenyer R, Price SA, Vos RA, Gittleman JL, Purvis A (2007) The delayed rise of present-day mammals. *Nature* 446(29)

- Bueno C, Almeida PJAL (2010) Sazonalidade de atropelamentos e os padrões de movimentos em mamíferos na BR-040 (Rio de Janeiro-Juiz de Fora). *Revista Brasileira de Zoociências* 12 (3): 219-226
- Clevenger AP, Chruszcz B, Gunson KE (2003) Spatial patterns and factors influencing small vertebrate fauna road-kill aggregations. *Biological Conservation* 109: 15e26.
- Coelho IP, Kindel A, Coelho AVP (2008) Roadkills of vertebrate species on two highways through the Atlantic Forest Biosphere Reserve, southern Brazil. *European Journal of Wildlife Research* 54: 689-699
- Coffin AW (2007) From roadkill to road ecology: A review of the ecological effects of roads. *Journal of Transport Geography* 15: 396-406.
- Diniz, AMA, Santos RO (2005) O vertiginoso crescimento populacional de Roraima e seus impactos socioambientais. *Caderno de Geografia* 15 (25): 23-44
- Fahrig L, Pedlar JH, Pope SE, Taylor PD, Wegner JF (1995) Effect of road traffic on amphibian density. *Biological Conservation* 73: 177-182
- Fischer WA (1997) Efeitos da rodovia BR-262 na mortalidade de vertebrados silvestres: síntese naturalística para a conservação da região do Pantanal, MS. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Conservação) - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande
- Forman RTT, Alexander LE (1998) Roads and their major ecological effects. *Annual Review of Ecology and Systematics* 29: 207-231

Freitas MA, Prinfites RC, Moftoyama EK, Fucks AE, Veríssfimo D (2017) Roadkill records of Lowland Tapir *Tapirus terrestris* (Mammalia: Perfissodactyla: Tapiridae) between kilometers 06 and 76 of highway BR-163, state of Pará, Brazil. *Journal of Threatened Taxa* 9(11): 10948–10952. OI: <http://dofi.org/10.11609/joft.3227.9.11.10948-10952>.

Gagnon JW, Theimer TC, Dodd NL, Boe S, Schweinsburg RE (2007) Crossings in Arizona Traffic Volume Alters Elk Distribution and Highway Crossings in Arizona. *The Journal of Wildlife Management* 71(7): 2318-2323

Galvão OJA (1996) Desenvolvimento dos transportes e integração regional no Brasil - uma perspectiva histórica. *Planejamento e políticas públicas* 13

Gardner AL (2008) *Mammals of South America: Marsupials, Xenarthrans, Shrews and Bats*. Vol.1, Chicago: University of Chicago Press

Goosem M (2007) Impactos de fragmentação causados por estradas através de florestas tropicais. *Current Science* 93 (11): 1587-1596

Gonçalves LO, Alvares DJ, Teixeira FZ, Schuck G, Coelho IP, Esperandio IB, Anza J, Beduschi J, Bastazini VAG, Kindel A (2018) Reptile road-kills in Southern Brazil: Composition, hot moments and hotspots. *Science of the Total Environment* 615: 1438–1445

Laurance WF, Goosem M, Laurance SGW (2009) Impacts of roads and linear clearings on tropical forests. *Trends Ecol. Evol. (Amst)* 24, 659–669. doi: 10.1016/j.tree.2009.06.009

Laurance WF, Peletier-Jellema A, Geenen B, Koster H, Verweij P, Van Dijck P, Lovejoy TE, Schleicher J, Van Kuijk M (2015a) Reducing the global environmental impacts of rapid infrastructure expansion. *Curr. Biol.* 25: R259–R262

Laurance WF, Campbell, MJ, Alamgir M, Mahmoud MI (2017a) Road Expansion and the Fate of Africa's Tropical Forests. *Front. Ecol. Evol* 5, 75

Leite RMS, Boçon R, Belão M, Silva JC (2012) Atropelamento de mamíferos silvestres de médio e grande porte nas Rodovias PR-407 e PR-508, Planície Costeira do estado do Paraná, Brasil. In: Bager A (Ed) Ecologia de estradas. Editora da UFLA. Cap.3, pp.193-206.

Martins-Hatano F, Monteiro PSD, Alves AG, Dutra FM, Oliveira MC, Miranda-Silva R, Castro RB, Ueoka PYB, Hatano FH (2012) Estudos dos atropelamentos dos animais silvestres na Floresta Nacional de Carajás, Pará, Brasil. In: Bager A (Ed) Ecologia de estradas. Editora da UFLA. Cap.3, pp.223-236.

Maschio GF, Santos-Costa MC, Prudente ALC (2016) Road-Kills of Snakes in a Tropical Rainforest in the Central Amazon Basin, Brazil. *South American Journal of Herpetology* 11(1): 46–53. doi: 10.2994/SAJH-D-15-00026.1

Neto TO, Nogueira RJB (2015) Geopolítica e rodovias na Amazônia: Um debate necessário. *Revista de Geopolítica* 6(2): 166-186

Neto TO (2015) A geopolítica rodoviária na Amazônia: BR-210 ou Grande Perimetral Norte. *Revista de Geopolítica* 6(1): 123-142

Nogueira RJB, Neto TO (2016) Geopolítica e rodovias na Amazônia brasileira. *Revista da Associação Nacional de Pós-graduação e Pesquisa em Geografia (Anpege)* 12(17): 55-83

- Omena Junior R, Pantoja-Lima J, Santos ALW, Ribeiro GAA, Aride PHR (2012) Caracterização da fauna de vertebrados atropelada na rodovia BR – 174, Amazonas, Brasil. *Rev. Colombiana cienc. Anim* 4 (2): 291-307
- Orlandin E, Piovesan M, Favretto MA, D'agostini FM (2015) Mamíferos de médio e grande porte atropelados no Oeste de Santa Catarina, Brasil. *Biota Amazônia* 5(4): 125-130
- Pinheiro BF, Turci LCB (2013) Vertebrados atropelados na estrada da variante (BR-307), Cruzeiro do Sul, Acre, Brasil. *Brasi. Natureza on line* 11(2): 68-78
- Proppe DS, Mcmillan N, Congdon JV, Sturdy CB (2016) Mitigating road impacts on animals through learning principles. *Anim Cogn.* DOI 10.1007/s10071-016-0989-y
- Püttker T, Martins TK, Bueno AA, Rossi NF, Pardini R (2012) Perda e Fragmentação do Habitat – um Índice de Vulnerabilidade Baseado em Padrões de Ocupação. In: Cáceres NC (Ed) *Os marsupiais do Brasil: biologia, ecologia e conservação*. Campo Grande: Ed. UFMS, Cap.22, pp.455-470.
- Ramos E, Meza-Joya FL (2018) Reptile road mortality in a fragmented landscape of the middle Magdalena Valley, Colombia. *Herpetology Notes* 11: 81-91
- Rocha TL, Banhos A, Peloso PLV, Deolindo RP, Moreno MR (2014) Atropelamento de Herpetofauna na Reserva Biológica de Sooretama, Espírito Santo, Brasil. In: III Simpósio Sobre A Biodiversidade Da Mata Atlântica
- Rosa CA, Cardoso TR, Teixeira FZ, Bager A (2012) Atropelamento de fauna selvagem: Amostragem e análise de dados em ecologia de estradas. In: Bager A (Ed) *Ecologia de estradas*. Editora da UFLA. Cap.2, pp.79-100

Rossi R, Carmignotto AP, Oliveira MVB, Miranda CL, Cherem J (2012) Diversidade e diagnose de espécies de marsupiais brasileiros. IN: In: Cáceres NC (Ed) Os marsupiais do Brasil: biologia, ecologia e conservação. Campo Grande: Ed. UFMS. Cap.1, pp.23-74.

Sá FCN (2016) Análise dos padrões temporais e espaciais dos atropelamentos de vertebrados silvestres na BR-174, floresta Amazônica. Dissertação (Mestrado em Ecologia) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Biologia, Recife

Sadleir RMFS, Linklater WL (2016) Annual and seasonal patterns in wildlife road-kill and their relationship with traffic density. *New Zealand Journal of Zoology* 43(3): 275-291

Santana GS (2012) Fatores influentes sobre atropelamentos de vertebrados na região central do Rio Grande do Sul, Brasil. *Neotropical Biology and Conservation* 7(1): 26-40

Silva MO, Oliveira IS, Cardoso MW, Graf V (2007) Road kills impact over the herpetofauna of Atlantic Forest (PR-340, Antonina, Paraná). *Acta Biológica Paranaense* 36 (1-2): 103-112

Teixeira FZ, Coelho IP, Esperandio IB, Oliveira NR, Peter FP, Dornelles SS, Delazeri NR, Tavares M, Martins MB, Kindel A (2013) Are road-kill hotspots coincident among different vertebrate groups? *Oecologia Australis* 17(1): 36-47

Teixeira FZ, Kindel A, Hartz SM, Mitchell S, Fahrig L (2017) When road-kill hotspots do not indicate the best sites for road-kill mitigation. *Journal of Applied Ecology* 54: 1544–1551. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12870>.

Trombulak SC, Frissell CA (2000) Review of ecological effects of roads on terrestrial and aquatic communities. *Conservation Biology* 14(1): 18-30

van der Ree R, Smith DJ, Grilo C (2015) The ecological Effects of Linear Infrastructure and Traffic: Challenges and Opportunities of Rapid Global Growth

Voss RS, Jansa SA (2009) Phylogenetic relationships and classification of Didelphid Marsupials, an extant radiation of new world metatherian mammals. Bulletin of the American Museum of Natural History 322

Zandonadi AP, Brunaldi FG, Meneguelli AZ, Araújo RMG (2014) Vertebrados atropelados na BR-429 eixo Alvorada D'Oeste - São Miguel do Guaporé, Rondônia, Brasil. Revista Científica da UNESC 12(15)

CAPÍTULO 1

Atropelamentos de marsupiais e fatores associados às colisões em uma rodovia na Florestal Tropical, Amazônia Central.

Edson R. Costa^{1,2*}; Aline S. M. Medeiros^{2,3}; Antônio C. Nascimento⁴; Maria Nazareth F. da Silva⁵; Marcelo Gordo^{1, 2}

Manuscrito em preparação para submissão no periódico *Biodiversity and Conservation*.

- 1 Programa de Pós-Graduação em Zoologia, Universidade Federal do Amazonas, Avenida General Rodrigo Otávio Jordão Ramos 6200, 69077-000, Manaus, Amazonas, Brasil (edsonzoo@hotmail.com)
- 2 Projeto Sauim-de-Coleira, Universidade Federal do Amazonas (UFAM), Manaus, Amazonas, Brasil (projetosauim@gmail.com)
- 3 Programa de Pós-graduação em Ecologia, Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia, Manaus, Amazonas, Brasil ([alinesouza mm@hotmail.com](mailto:alinesouza_mm@hotmail.com))
- 4 Técnico Indigenista, Programa Waimiri Atroari, Rua Recife, 2305 - Parque Dez de Novembro, 69050-030 Manaus, Amazonas, Brasil (ancam@hotmail.com)
- 5 Coordenação de Pesquisas em Biodiversidade e Coleções Zoológicas, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Av. André Araújo, 2936, 69067-375 Manaus, Amazonas, Brasil (marianazareth.inpa@gmail.com)

(*) Autor para correspondência

RESUMO

As estradas são importantes para o desenvolvimento das regiões, porém provocam impactos direto e indireto às populações de fauna e flora. Entre esses, os efeitos de borda e de barreira e os atropelamentos interferem, sobretudo, no fluxo gênico das populações, sendo o atropelamento o impacto mais visível. Os atropelamentos podem estar relacionados a vários fatores, como o fluxo de veículos e a pluviosidade local. Em muitos estudos desenvolvidos em estradas brasileiras, os marsupiais lideram os registros entre os vertebrados atropelados, sobretudo na Amazônia. Este estudo foi desenvolvido em um trecho de 121 km da BR-174, situado na Terra Indígena Waimiri Atroari, entre os estados de Roraima e Amazonas. Em seis anos de coleta de dados foram registrados 797 marsupiais atropelados, cuja taxa de atropelamento foi 0.005 marsupiais/km/dia. Entre as espécies identificadas, *Didelphis marsupialis* foi a mais registrada, seguida por *Philander opossum*. Em período menos chuvoso os atropelamentos tendem a aumentar na área de estudo, assim como, quando o fluxo de veículos aumenta durante a noite. Com menos ocorrências de chuvas, possivelmente a escassez de recursos, como alimento por exemplo, contribui para a maior movimentação dos animais, que atravessam as estradas e acabam sendo atropelados. Sendo assim, é fundamental identificar os locais de maior incidência de atropelamentos e permitir a formação de passarelas naturais nesses locais, como também instalar passarelas artificiais e redutores de velocidade para que se mantenha a conectividade entre as populações de animais arborícolas.

Palavras-chave: Ecologia de estrada, atropelamento de marsupiais, taxa de atropelamentos, precipitação, fluxo de tráfego, conservação da Amazônia

ABSTRAT

Roads are important for the development of a region, but they have a direct and indirect impact on the populations of fauna and flora. Among these, the edge and barrier effects and roadkills may affect the gene flow of the population, with roadkill as the most visible impact. Road accidents may be related to several factors, such as vehicle flow and local rainfall. In many studies developed on Brazilian roads the marsupials lead the records among the vertebrates hits, mainly in the Amazon. This study was developed in a 121 km stretch of the road BR-174, located in the Waimiri Atroari Indigenous Land, between Roraima and Amazonas states. During six years of data collection 797 marsupials were recorded, with a roadkill rate of 0.005 marsupials/km/day. Among the species identified, *Didelphis marsupialis* was the most recorded, followed by *Philander opossum*. In a less rainy period, roadkills tend to increase in the study area, as well as when the flow of vehicles increases during the night. With fewer occurrences of rainfall, resource scarcity, for example, may contribute to more movements of the animals looking for food, crossing the road more times. Therefore, it is fundamental to identify the most important sites and allow the formation of natural walkways in these places, as well as to install artificial walkways and speed reducers in order to maintain connectivity among the populations of arboreal animals.

Keywords: Road ecology, roadkill of marsupials, roadkill rate, rainfall, traffic flow, Amazon conservation

INTRODUÇÃO

As estradas são importantes para o desenvolvimento econômico, social e político de uma região, pois possibilitam às pessoas acesso à educação, saúde e emprego, bem como, o escoamento da produção local (Becker, 2005). Em contrapartida, aberturas de estradas provocam impactos direto e indireto à fauna silvestre (Forman & Alexander, 1998; Arroyave et al., 2006; Goosem, 2007), promovendo ainda mais o desmatamento, a caça ilegal (Laurance et al., 2009, 2014a, 2015a, 2017a), entre outros, como a poluição e ruídos (Fahrig et al., 1995).

Nas últimas décadas os efeitos das rodovias à fauna silvestre como efeito barreira, efeito borda e atropelamentos vem sendo alvo de estudos em vários países, principalmente naqueles com ampla malha viária (Forman & Alexander, 1998; Coffin, 2007; Bennett, 2017). Contudo, o atropelamento é considerando o impacto mais visível entre todos (Forman & Alexander, 1998; Goosem, 2007; Bennett, 2017), pois além do risco causado aos motoristas (Bennett, 2017; Freitas et al., 2017), provoca a defaunação e interfere no fluxo gênico das populações (Forman & Alexander, 1998, Coffin, 2007), principalmente às plantas cujas sementes possuem dispersão zoocórica (Alves-Costa, 2004).

Entre diferentes fatores, a pluviosidade e o fluxo de veículos podem estar fortemente relacionados à frequência e intensidade dos atropelamentos de animais em determinada época do ano (Lee et al., 2004; Soza & Schalk, 2016; Freitas et al., 2017; Ramos & Meza-Joya, 2018). Sendo que para algumas espécies, estudos mostram que no período seco os atropelamentos tendem a aumentar (Turci & Bernarde, 2009), haja vista que os animais cruzam as pistas em busca de recursos em áreas mais distantes (Bauni et al., 2017). Alguns dos estudos desenvolvidos na América do Sul, sobretudo no Brasil, mostram que os marsupiais estão entre

os mamíferos mais afetados pelos atropelamentos (Turci & Bernarde, 2009; Omena Junior et al., 2012; Monroy et al., 2015).

Apesar das longas rodovias que cortam a floresta amazônica (Silva Junior, 2002), poucos estudos mostram os impactos de algumas delas à fauna silvestre (e.g., Guimer-Costa & Sperber, 2009; Turci & Bernarde, 2009; Omena Junior et al., 2012; Pinheiro & Turci, 2013; Maschio et al., 2016; Sá, 2016; Freitas et. al., 2017). Entre estas rodovias, vale ressaltar a BR-174, construída na década de 70 e que liga Manaus (AM) à cidade de Boa Vista (RR), sendo que um trecho de 125 km dessa rodovia corta a Terra Indígena Waimiri Atroari (Carvalho, 1982; Baines, 1993b). Apesar do fluxo de veículo ser reduzido durante a noite nesse trecho, muitas espécies de animais de hábito noturno são atropeladas. Dentre estas estão os marsupiais, os quais são os mais afetados entre os mamíferos (Sá, 2016, Medeiros, 2017). Mesmo assim, até o momento não conhecemos estudos que mostrem os efeitos dos atropelamentos de forma exclusiva para o grupo dos marsupiais neotropicais. Sendo assim, nosso objetivo foi avaliar efeito da pluviosidade e do fluxo de veículos nos atropelamentos de marsupiais no trecho da BR-174, na Terra Indígena Waimiri-Atroari.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de Estudo

O estudo foi desenvolvido em um trecho de 121 km da BR-174, na Terra Indígena Waimiri Atroari (TIWA) (Lat: -1.257796°, -0.226420°; Lon: -60.407078°, -60.691821°). Esta é uma rodovia simples de mão dupla, construída entre 1968 e 1977 que liga Manaus à Boa vista e chegando até a fronteira com a Venezuela (Carvalho, 1982). O trecho que corta a TIWA está localizado entre os municípios de Presidente Figueiredo (AM) e Rorainópolis (RR) (Fig. 1) e

foi asfaltado entre os anos de 1996 e 1997. A vegetação na área é preservada e em alguns locais desse trecho já existem passarelas naturais em formação acima da rodovia, os quais já são usados por primatas (observação pessoal). Com 2.585,911 hectares, a TIWA é banhada pelos rios Alalaú, Camanaú, Curiaú e Igarapé Santo Antônio do Abonari (Baines, 1993b; Rodrigues & Pinheiro, 2011; Carvalho, 1982). Na região predomina a floresta ombrófila aberta submontana (Veloso et al., 1991, IBGE, 2012) e clima do tipo Am (tropical chuvoso, úmido e quente) de acordo com a classificação de Köppen (Bastos, 1982). Sendo que a temperatura média anual na região é de 27 °C, com as médias mínima e máxima de 23 °C e 28 °C, com a temperatura mais elevada entre agosto e novembro (Luzardo, 2012). A precipitação anual pode variar entre 2.000 mm e 2.300 mm, com maior precipitação nos meses de janeiro a abril (Barbosa, 1997). Dentro da Terra Indígena, os veículos podem trafegar livremente durante o dia, porém, durante a noite, a partir das 18:30 às 5:30 horas, há restrições (Tabela 1). A velocidade permitida na rodovia é de 80 km/h, sendo assim, para percorrer os 121 km, veículos que entram demoram cerca de uma hora e meia para cruzar a Terra Indígena. Para registrar e controlar a entrada dos veículos, em cada uma das entradas do trecho da rodovia ficam fiscais indígenas monitorando e registrando o tipo de veículo e em qual sentido está seguindo viagem (AM ou RR). Correntes suspensas sobre a rodovia permitem o controle das entradas dos veículos durante a noite.

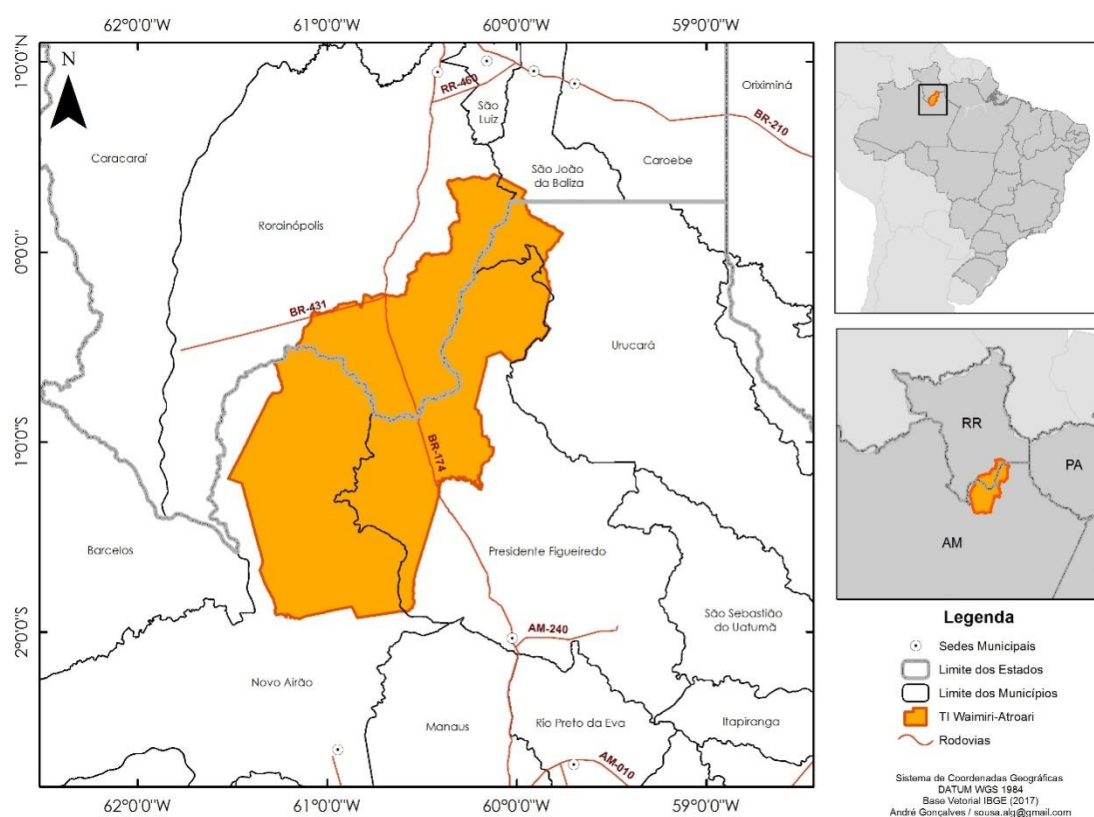


Tabela 1 Horários de tráfego, tipos de veículos e condições para tráfego após as 18:30 h no trecho da BR-174, na Terra Indígena Waimiri Atroari, entre Amazonas e Roraima.

Hora	Tipos de veículos e condições para tráfego
18h30min – 22:00min	Veículos com crianças, idosos, gestantes, pessoas com deficiência e/ou com produtos perecíveis.
18h30min – 5h30min	O tráfego é liberado para ônibus, ambulâncias e veículos oficiais.
5h30min – 18h30min	O tráfego é livre para qualquer veículo.

Coleta de Dados

A coleta de dados da fauna atropelada no trecho da BR-174 que corta a TIWA, teve início em agosto de 1997 por iniciativa dos próprios índios Waimiri-Atroari, ao perceberem que vários animais silvestres estavam morrendo atropelados após o asfaltamento desse trecho. Desde então, uma equipe de fiscais do Programa Waimiri Atroari (PWA) composta por um funcionário (motorista) e um ou dois indígenas monitoram esse trecho da estrada de segunda a sábado durante o ano todo, com início a partir das 6:30h da manhã, exceto em caso de imprevistos, mantendo assim um registro de animais encontrados mortos na pista.

Dados de marsupiais atropelados

Os dados usados neste estudo foram coletados entre 2012 e 2017, sendo que, de 2012 a novembro de 2016 estes foram coletados pelos fiscais do PWA. A partir de dezembro de 2016 até novembro de 2017, atuamos junto à equipe do PWA na coleta dos dados *in loco*. Para coleta dos dados antes e durante esse estudo, foi usado um carro com velocidade média de 60 a 70 Km/h. A procura por animais atropelados foi realizada somente por um observador para padronização do monitoramento. Quando encontrados, os indivíduos eram fotografados ao lado de uma placa contendo informações de data, número de etiqueta e nome em menor nível taxonômico possível (Fig. 2). Com um GPS modelo Garmin foram anotadas as coordenadas geográficas do local. Para indivíduos com filhotes, foram contabilizados como um registro apenas.

Após as anotações, animais mortos e catalogados foram retirados da pista para evitar a replicação dos dados e o atropelamento de animais carniceros. Os marsupiais encontrados ainda em bom estado de conservação e/ou não identificados *in loco* foram etiquetados,

colocados em sacos plásticos e mantidos congelados em freezers. Estes foram transportados para a Universidade Federal do Amazonas (UFAM) para serem identificados (Licença SISBIO nº 56276-1).

Dados do Fluxo de Veículos

No trecho da BR-174 dentro da Terra Indígena os veículos podem trafegar livremente durante o dia, porém, entre as 18:30h até as 5:30h da manhã, a passagem dos veículos é limitada e controlada pelos fiscais indígenas por meio do uso de correntes (Tabela 1). Em cada uma das entradas do trecho da rodovia, os fiscais indígenas ficam monitorando e registrando o tipo de veículo e em qual sentido está trafegando (AM ou RR). Desse modo, os dados do fluxo de veículos são coletados pelos fiscais indígenas e com esses dados são elaborados relatórios mensais e anuais pelo PWA. Portanto, neste estudo, as planilhas de controle dos fiscais e os relatórios mensais e anuais de atividade do PWA foram as fontes dos dados dos veículos.

Os veículos que entram na TIWA demoram cerca de uma hora e meia para cruzar todo o trecho de 121 km. Sendo assim, somamos os registros dos veículos que entraram entre 17:30h e 18:30h com os demais registros dos veículos que entraram após às 18:30h (ônibus e veículos com produtos perecíveis). Visto que em algum momento esses veículos podem ter contribuído para os casos de atropelamentos.

Dados de Pluviosidade

Na área de estudo a pluviosidade é monitorada pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM) em três estações pluviométricas (Base Abonari - FUNAI, Base Alalaú e Base Fazenda São Lucas), sendo uma em cada extremo da TIWA na estrada BR 174, e outra cerca de 50 km ao norte da Base Abonari. Esses dados estão disponíveis na plataforma online (Series

Históricas) da Agência Nacional de Água (ANA) de onde foram adquiridos. Porém, como os dados de 2017 ainda não estavam disponíveis nesta plataforma, estes foram disponibilizados pelo CPRM regional de Manaus. Para representar a pluviosidade daquela região, somamos os dados das três estações e obtivemos então a média mensal de pluviosidade para a região.

Análise dos Dados

Taxa de Atropelamentos

Para estimar a taxa de atropelamento foi usada análise descritiva dos registros de marsupiais atropelados entre 2012 a novembro de 2017. Sendo que este total de indivíduos foi dividido pelo total de quilômetros percorridos durante o monitoramento (157.395 km).

Identificação das Espécies

Os didelfídeos de maior porte (*e.g.*, *Didelphis* e *Philander*) são conhecidos na área de estudo com o nome comum de mucura. Além disso, os fiscais não são especialistas, portanto, não conhecem as principais características que distinguem os pequenos didelfídeos (*e.g.*, *Marmosa*, *Marmosops*) dos roedores, registrando-os também como rato. Sendo assim, para responder nosso segundo objetivo, usamos análise descritiva dos indivíduos coletados durante as campanhas realizadas entre dezembro de 2016 e novembro de 2017.

Para identificação, dos indivíduos contamos com a ajuda de especialistas, como também, fizemos comparações de imagens e de literatura científica especializada (*e.g.* Gardiner, 2008; Voss & Janza; Reis et al., 2010; Mendes-Oliveira & Miranda, 2015). Além disso, comparamos os indivíduos coletados com exemplares do acervo da Coleção de Mamíferos do Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia (INPA).

Dentre as características observadas estão: o comprimento do pelo no dorso; coloração dos pelos do dorso e do ventre; presença de listra escura na fronte; coloração da cauda; presença de pelos na cauda; forma, tamanho e/ou coloração das orelhas; manchas no entorno e sobre os olhos; tamanho e forma dos dentes; tamanho e forma das mãos e pés, presença de marsúpio, entre outras (Fig. 2).

Análise da Relação entre Variáveis Preditoras e Atropelamentos.

Para verificar a normalidade dos dados, foi usado o teste kolmogorov-Smirnov. Para verificar o quanto as variáveis preditoras (pluviosidade e veículos) estão relacionadas com os atropelamentos dos didelfídeos na área de estudo, fizemos análises de regressão linear múltipla. Primeiro analisamos os dados de pluviosidade, veículos e atropelamentos correspondentes aos mesmos meses. Considerando que o efeito das chuvas não incide de imediato na disponibilidade de alimento, fizemos uma segunda análise usando dados de pluviosidade referentes a um mês anterior aos dados de fluxo de veículos e de atropelamentos (e.g., pluviosidade de janeiro foi analisada com dados de fluxo de veículos e de atropelamentos do mês de fevereiro, e assim por diante).

RESULTADOS

Taxa de Atropelamento

No trecho de 121 km da BR-174 na TIWA, entre janeiro de 2012 a novembro de 2017 foram percorridos 157.395 km em 1301 dias de monitoramento, sendo registrados 797 marsupiais atropelados, cuja Taxa de Atropelamento (TA) foi de 0.005 ind/km/dia. Sendo assim, ao percorrer em média 200 km nesse trecho, é provável que se encontre um marsupial

atropelado. Os meses com menor incidência de animais atropelados foram entre março e junho, com as menores médias mensais se concentrando nos meses de abril e maio (Fig. 3). Em dezembro a média mensal de atropelamentos é maior, bem como a média mensal da taxa de atropelamentos (Fig. 3).



Fig. 2 Exemplares de algumas das espécies de didelfídeos atropelados na TIWA (à esquerda) e exemplares da coleção do INPA (à direita) usados para identificação. a1 e a2 = *Didelphis marsupialis*; b1 e b2 = *Philander opossum*; c1 e c2 = *Caluromys philander*; d1 e d2 *Caluromys lanatus*; e1 e e2 = *Marmosa demerarae*

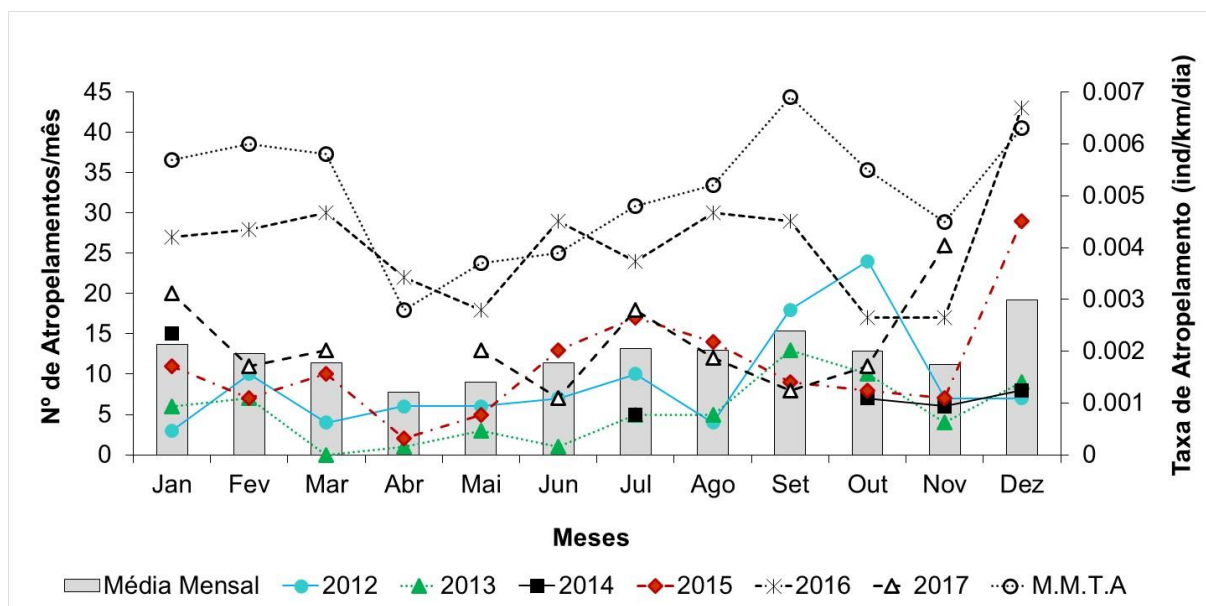


Fig. 3 Marsupiais atropelados entre 2012 e 2017 no trecho da BR-174, na TIWA. As médias mensais foram obtidas somando os atropelamentos mensais e dividindo-os pelos seis anos monitorados. Barras de cor cinza = as Médias Mensais de Atropelamentos e M.M.T.A = as Médias Mensais da Taxa de Atropelamento. As linhas ligam os símbolos que se referem aos valores mensais de atropelamentos e da M.M.T.A (linha tracejada com pontos e círculo vazio) para os anos de 2012 (linha sólida e círculos azuis), 2013 (linha tracejada e triângulos verdes), 2014 (linha sólida e quadrados pretos), 2015 (linha tracejada com pontos e losângulos vermelhos), 2016 (linha tracejada e asterístico) e 2017 (linha tracejada e triângulos vazios)

Espécies de Marsupiais Atropelados

Em um ano de pesquisa (dezembro de 2016 a novembro de 2017) foram registrados 183 didelfídeos atropelados, os quais correspondem a 23% de 797 indivíduos registrados durante seis anos. Desses 183 indivíduos, 95 (51.91%) foram encontrados e coletados durante as campanhas realizadas em nossa pesquisa conjuntamente com a equipe de fiscais indígenas. Desses 95 identificados, a espécie mais afetada foi *Didelphis marsupialis* com 64 registros (67.4%), seguida por *Philander opossum* e *Marmosa demerarae* com nove registros cada

(9.5%). As outras espécies registradas variaram entre 1 a 5 indivíduos (Tabela 2). Entre os 64 indivíduos de *D. marsupialis* atropelados, cinco foram fêmeas com filhotes, registradas nos meses de janeiro, março, julho, agosto e outubro.

Tabela 2 Marsupiais atropelados entre dezembro de 2016 e novembro de 2017 no trecho da BR-174, na TIWA.

Espécies	N*	%*	Hábito
<i>Didelphis marsupialis</i> (Linnaeus, 1758)	64	67.4	Ocupa todos os estratos florestais (solo, sub-bosques e dossel)
<i>Philander opossum</i> (Linnaeus, 1758)	9	9.5	Terrícola; escansorial (sub-bosque)
<i>Marmosa demerarae</i> (Thomas, 1905)	9	9.5	Arborícola
<i>Caluromys philander</i> (Linnaeus, 1758)	5	5.3	Arborícola
<i>Marmosa murina</i> (Linnaeus, 1758)	4	4.2	Terrícola e Arborícola (sub-bosque e arbóreos)
<i>Metachirus nudicaudatus</i> (E. Geoffroy, 1803)	1	1.1	Terrícola
<i>Caluromys lanatus</i> (Olfers, 1818)	1	1.1	Arborícola (sub-bosque e dossel)
<i>Marmosops parvidens</i> (Goldman, 1912;)	1	1.1	Terrícola; escansorial (sub-bosque)
<i>Marmosops sp.</i>	1	1.1	Terrícola; escansorial
Mucuras*	88	--	-----
Total	183	100	

* N = Número total de indivíduos de marsupiais didelfídeos encontrados atropelados, incluindo os identificados e os não identificados;

*% = porcentagem do total de indivíduos identificados (N = 95).

*Mucuras = indivíduos registrados pelos fiscais do PWA entre uma campanha e outra, mas não identificados.

Efeitos das variáveis preditoras para os Atropelamentos

A análise de regressão linear múltipla envolvendo os dados das variáveis preditoras (pluviosidade e fluxo de veículos) referentes ao mesmo mês, apresentou relação significativa apenas para os veículos, sendo esta positiva ($F = 5.999$; $R^2 = 0.169$; $p = 0.004249$). Para o segundo modelo, no qual foi analisado os dados de chuva de um mês anterior em relação aos dados de veículos e de atropelamentos, o resultado foi significativo para ambas as variáveis preditoras ($F = 8.85$; $R^2 = 0.2308$; $p = 0.000435$) (tabela 4). No entanto, a relação da pluviosidade foi negativa, enquanto que para o fluxo de veículos a relação foi positiva, cuja equação é $y = 8.072023 - 0.024627 * \text{pluviosidade} + 0.006201 * \text{veículos}$.

Tabela 3 Resultado da regressão linear múltipla confrontando dados de pluviosidade referentes a um mês anterior aos dados de veículos e atropelamentos.

Variáveis	Coeficientes	<i>t</i>	<i>p</i>	N
Intercepto (a)	8.072023	1.978	0.05266	
Pluviosidade	-0.024627	-2.209	0.03110	
Veículos	0.006201	3.211	0.00214	
Total				63

DISCUSSÃO

Taxa de Atropelamentos

No trecho da BR-174 que cruza a TIWA, os marsupiais foram os mamíferos de hábito noturno mais atropelados entre janeiro de 2012 e novembro 2017 (Relatórios mensais e anuais

de Atividades do PWA, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016) apesar do fluxo de veículos ser reduzido durante a noite. Neste trabalho encontramos uma taxa de atropelamento de 0.005 marsupiais/km/dia. Entre os estudos que avaliaram a taxa de atropelamentos de vertebrados, apenas dois abordaram a taxa para os didelfídeos (Santos et al. 2012; Bager & Fontoura, 2013). No entanto, até o momento não conhecemos estudos que avaliaram os impactos dos atropelamentos de forma exclusiva ao grupo dos didelfídeos.

Dentre os estudos sobre atropelamentos de fauna silvestre, há aqueles em que os autores avaliaram os impactos para todos os grupos de vertebrados (Coulson, 1997; Lee et al., 2004; Klöcker et al., 2006; Rodríguez-Morales et al., 2013), enquanto que em outros estudos os autores investigaram os impactos para grupos específicos (Ascensão et al., 2017; Gonçalves et al., 2018) ou para determinadas espécies (McLennan & Asiimwe, 2016; Freitas et al., 2017). Em alguns dos estudos desenvolvidos no Brasil, o grupo dos marsupiais tem sido o mais afetado em algumas das rodovias de diferentes regiões. Entre as quais, vale ressaltar os trechos monitorados na região sul, na rodovia RS-040 (Rosa & Maush, 2004), nas rodovias RS-389 e BR-101 (Coelho et al., 2008), nas rodovias BR-158, BR-287 e BR-392 (Santana, 2012), nas rodovias BR-282, SC-355, SC-465, SC-303 e SC-150 (Orlandin et al., 2015). Na região norte, no trecho da BR-307 (Pinheiro & Turci, 2013) e nos trechos da BR-174 (Omena-Junior et al., 2012; Sá, 2016). Apesar disso, não há estudos mostrando os efeitos dos atropelamentos exclusivamente para o grupo dos marsupiais neotropicais, como tem sido mostrado para marsupiais australianos, sobretudo para espécies de cangurus (Macropodidae) (Coulson, 1997; Lee et al., 2004; Klöcker et al., 2006; Lee et al., 2010; Visintin et al., 2018).

Em nosso estudo o monitoramento ocorreu diariamente, com exceção dos domingos ou devido a algum motivo excepcional durante a semana. Enquanto que em outros estudos,

geralmente os monitoramentos foram realizados em dias alternados, por exemplo, três vezes por semana (Martinelli & Volpi, 2011), duas vezes por semana (Cunha et al., 2015), uma vez por semana (Costa, 2011; Carvalho et al., 2014), três vezes por mês (Rosa & Bager, 2009; Santos et al., 2012), quinzenalmente (Hengemühle & Cademartori, 2008) ou uma vez por mês (Santana, 2012; Souza et al., 2015). Esse tipo de coleta de dados resulta em uma taxa seriamente subestimada (Santos et al., 2011), devido à remoção de carcaças dos animais de pequeno porte, bem como pelo acúmulo de carcaças na pista dos animais de médio e grande porte atropelados a vários dias. Porém, é importante considerar que limitações econômicas interferem na realização de estudos dessa natureza (Santos et al., 2011).

Visto que a persistência das carcaças na pista pode ser influenciada por vários fatores (Santos et al., 2016), vale ressaltar que mesmo com o monitoramento diário em nosso estudo consideramos que o número de indivíduos pode estar subestimado, devido à remoção de carcaças por animais carniceiros (Sater, 2002; Bueno & Almeida, 2010; Pinheiro & Turci, 2013). Na área de estudo os pequenos didelfídeos são removidos principalmente por gaviões (*e.g.*, *Caracara sp.*) (observação pessoal). Além disso, com a colisão os indivíduos podem ser lançados para fora da pista ou ficarem com sequelas, com isso, podem morrer fora da pista depois de algum tempo. De ambas as formas os indivíduos podem não ser detectados pelos observadores (Turci & Bernarde, 2009; Santos et al., 2016). Portanto, é importante que o trecho seja monitorado de forma sistemática para que não acumule carcaças na pista e para diminuir a chance de ter as carcaças de pequeno porte removidas ou não detectadas.

As espécies afetadas

Na Floresta Amazônica encontra-se uma grande diversidade de didelfídeos (Melo & Sponchiado, 2012). Entre as espécies, *D. marsupialis* lidera os registros em estudos sobre atropelamentos de vertebrados na região (Gumier-Costa & Sperber, 2009; Turci & Bernarde, 2009; Pinheiro & Turci, 2013). No entanto, além de *D. marsupialis*, registramos ao menos 8 espécies (Tabela 2). Enquanto que para mesma área de estudo a única espécie identificada por, Sá (2016), foi a *D. marsupialis*.

Em nosso estudo a *D. marsupialis* liderou os registros (67.4%) (Tabela 2). No trecho dessa mesma rodovia (entre Manaus e Presidente Figueiredo), onde o fluxo de veículo é mais elevado e de forma contínua, esta espécie também foi a mais encontrada por Omena-Junior et al. (2012), bem como em outras rodovias na Amazônia brasileira (Gumier-Costa & Sperber, 2009; Turci & Bernarde, 2009). Esta é uma espécie onívora e oportunista (Gardner, 2008), que pode ser encontrada em vários habitats, como outras espécies do mesmo gênero (Cruz-Salazar et al., 2014; Krause & Krause, 2006; Tardieu et al., 2017). Nesse sentido, espécies com dieta variada tornam-se mais vulneráveis aos atropelamentos (Cook & Blumstein et al., 2013; Monroy et al., 2015). No caso de *D. marsupialis*, a abundância e hábito de pode estar relacionado aos atropelamentos (Monroy et al., 2015; Bauni et al., 2017). Além disso, o fato de ter maior porte, também pode ter aumentado sua detectabilidade nos levantamentos em relação às espécies menores.

Depois de *D. marsupialis*, as espécies *P. opossum* e *M. demerarae* foram as mais encontradas nesse estudo, com nove registro cada (9.5%). No caso da *P. opossum*, embora indivíduos desta espécie apresente hábito terrícola e escansorial (Gardner, 2008; Reis et al.,

2010), poucos são os registros desta espécie em estudos sobre atropelamentos de vertebrados (Costa, 2011). Outra espécie de hábito terrícola encontrada em nosso estudo foi *M. nudicaudatus*, porém, houve apenas um registro de indivíduo atropelado. Um dos fatores que pode estar relacionado para nosso único registro pode ser a baixa densidade populacional dessa espécie (Gardner, 2008).

Espécies de hábitos arborícolas também foram encontradas atropeladas em nosso estudo (*M. demerarae*, *M. murina*, *C. philander*, *C. lanatus* e *M. parvidens*). Possivelmente a falta de conectividade das copas das árvores sobre a rodovia tem sido a principal razão para tais mortes. Sendo necessário que os indivíduos cruzem a pista pelo solo, com isso, ficam encadeados com as luzes dos veículos e, principalmente, tornam-se alvos dos atropelamentos (Goosem, 2007). Passagens aéreas como pontes suspensas (Weston et al., 2011; Soanes et al., 2015; Goldingay & Taylor, 2017b) e conexões entre as copas das árvores podem ser alternativas que beneficiem tanto os marsupiais quanto outros animais arborícolas.

Efeito das Variáveis Preditoras nos Atropelamento de Marsupiais

Atropelamentos de fauna silvestre podem estar relacionado a vários fatores, dentre estes, a largura da pista, o fluxo e a velocidade dos veículos (Forman & Alexander, 1998), como também, alteração de habitat e ocorrência de chuva (Chambers & Bencini, 2010). Em nosso estudo detectamos que os marsupiais são mais atropelados quando precedidos por meses com menos chuva, assim como são mais atropelados nos meses com mais veículos trafegando no trecho durante a noite. Essa mesma relação também foi encontrada para algumas espécies de marsupiais australianos (Lee et al., 2004; Klöcker et al., 2006). No Brasil, tanto na região norte como em outras regiões, alguns estudos também encontraram mais animais atropelados em

períodos com menos pluviosidade (Prado et al., 2006; Turci & Bernarde, 2009; Bueno & Almeida, 2010).

Alguns estudos realizados na Amazônia Central mostram que a disponibilidade de frutos maduros ocorre, principalmente, alguns meses após o início do período chuvoso (Smythe, 1970; Cardoso, 2011; Gordo, 2012). Desse modo, para nosso modelo acreditamos que o efeito das chuvas não incide de imediato na disponibilidade de alimento (fruto e invertebrados), mas sim a partir do mês seguinte em diante. Porém, acreditamos que outros fatores também podem estar interferindo e contribuindo para os atropelamentos dos didelfídeos na TIWA.

Para muitas espécies de didelfídeos, o investimento reprodutivo ocorre principalmente durante o período chuvoso, coincidindo com a maior oferta de alimento (Bergallo & Magnusson, 1999; Cárceres, 2000; Cárceres, 2003; Gentile et al., 2012), exceto espécies sem período reprodutivo definido (Barros et al., 2008; Crouzeilles et al., 2010). Com isso, machos de algumas espécies podem se deslocar mais longe em período reprodutivo em busca de parceiras receptivas, enquanto que as fêmeas adultas ficam mais ativas durante a seca ou após o desmame dos filhotes (Loretto & Vieira, 2005). Mesmo assim tornam-se vulneráveis aos atropelamentos durante a amamentação devido ao movimento lento em decorrência do peso dos filhotes, resultando também na morte da prole.

Com exceção de alguns locais com passagens naturais sobre a rodovia e que já estão em uso por outros animais arborícolas, por exemplo os primatas (obs. pessoal), a falta de conectividade das copas das árvores nas margens da rodovia faz com que os marsupiais cruzem a pista pelo solo e tornam-se alvos de colisões (Wilson et al., 2007; Goldingay et al., 2013), sendo estes mais afetados nesse trecho da BR-174. Portanto, considerando o hábito semi-

arborícola e arborícola da maioria das espécies de marsupiais encontrados nesse estudo, como medida de mitigação é fundamental identificar os locais de maior importância ao longo do trecho e permitir a formação de passarelas naturais nesses locais, como também implantação de passarelas artificiais e redutores de velocidade em pontos específicos, para que se mantenha a conexão entre as populações de animais arborícolas.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à UFAM e ao Programa de Pós-Graduação em Zoologia pela oportunidade. Ao Programa Waimiri Atroari e aos Índios Waimiri Atroari pela disponibilidade tanto dos dados coletados quanto de sua infraestrutura para realização desta pesquisa. À FAPEAM pela concessão da bolsa de estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alves-Costa CP (2004) Efeitos da defaunação de mamíferos herbívoros na comunidade vegetal. Tese (Doutorado em Ecologia) - Instituto de Biologia da Universidade Estadual de Campinas, Campinas
- Arroyave MP, Gómez C, Gutiérrez ME, Múnera DP, Zapata PA, Vergara IC, Andrade LM, Ramos KC (2006) Impactos de las carreteras sobre la fauna silvestre y sus principales medidas de manejo. *Revista EIA* 5: 45-57
- Ascensão F, Desbiez AL, Medici EP, Bager A (2017) Spatial patterns of road mortality of medium-large mammals in Mato Grosso do Sul, Brazil. *Wildlife Research* 44: 135–146. <http://dx.doi.org/10.1071/WR16108>.

- Bager A, Fontoura V (2013) Evaluation of the effectiveness of a wildlife roadkill mitigation system in wetland habitat. *Ecological Engineering* 53: 31– 38
- Baines SGO (1993b) Território dos Waimiri-Atroari e o Indigenismo Empresarial. *Ciências Sociais Hoje*, São Paulo: Editora HUCITEC e ANPOCS, pp.219-243.
- Barbosa RI (1997) Distribuição Das Chuvas Em Roraima. In: Barbosa RI, Ferreira EJG, Castellón EG (Eds) *Homem, Ambiente e Ecologia no Estado de Roraima*. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, Amazonas, pp 325-336.
- Barros CS, Crouzeilles R, Fernandez FAS (2008) Reproduction of the opossums *Micoureus paraguayanus* and *Philander frenata* in a fragmented Atlantic Forest landscape in Brazil: is seasonal reproduction a general rule for Neotropical marsupials? *Mammalian Biology* 73: 463-467
- Bastos TX (1982) O clima da Amazônia brasileira segundo Koppen. EMBRAPA-CPATU: Belém, Brasil, pp 4
- Bauni V, Anfuso J, Schivo F (2017) Mortalidad de fauna silvestre por atropellamientos en el bosque atlántico del Alto Paraná, Argentina. *Ecosistemas* 26 (3): 54-66. Doi: 10.7818/ECOS.2017.26-3.08.
- Becker BK (2005) Geopolítica da Amazônia. *Estudos Avançados* 19(53): 71–86
- Bennett VJ (2017) Effects of Road Density and Pattern on the Conservation of Species and Biodiversity. *Curr Ecol Landscape* 2: 1–11. <https://doi.org/10.1007/s40823-017-0020-6>.

- Bergallo HG, Magnusson WE (1999) Effects of climate and food availability on four rodent species in Southeastern Brazil. *Journal of Mammalogy* 80(2): 472-486
- Braz VS, França FGR (2016) Wild vertebrate roadkill in the Chapada dos Veadeiros National Park, Central Brazil. *Biota Neotropica* 16(1): e0182
- Bueno C, Almeida PJAL (2010) Sazonalidade de atropelamentos e os padrões de movimentos em mamíferos na BR-040 (Rio de Janeiro-Juiz de Fora). *Revista Brasileira de Zoociências* 12 (3): 219-226
- Cáceres NC (2000) Population ecology and reproduction of the white-eared opossum *Didelphis albiventris* (Mammalia, Marsupialia) in an urban environment of Brazil. *Ciência e Cultura* 52(3): 171-174
- Cáceres NC (2003) Use of space by the opossum *Didelphis aurita* Wied-Neuwied (Mammalia, Marsupialia) in a mixed forest fragment of southern Brazil. *Revista Brasileira de Zoologia* 20:315–322
- Cardoso GL (2011) Composição florística e fenologia de quatro áreas de floresta de terra firme com diferentes históricos de alteração antrópica no município de Manaus. Dissertação (Doutorado em Diversidade Biológica) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus
- Carvalho JPF (1982) Waimiri-Atroari: A história que ainda não foi contada. Brasília, 1ª ed.
- Carvalho NC, Bordignon MO, Shapiro JT (2014) Fast and furious: a look at the death of animals on the highway MS-080, Southwestern Brazil. *Iheringia, Série Zoologia* 104(1): 43-49. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4766201410414349>.

- Coelho IP, Kindel A, Coelho AVP (2008) Roadkills of vertebrate species on two highways through the Atlantic Forest Biosphere Reserve, southern Brazil. *European Journal of Wildlife Research* 54: 689-699
- Coffin AW (2007) From roadkill to road ecology: A review of the ecological effects of roads. *Journal of Transport Geography* 15: 396-406.
- Chambers B, Bencini R (2010) Road mortality reduces survival and population growth rates of tammar wallabies on Garden Island, Western Australia. *Wildlife Research* 37: 588–596
- Chen HL, Koprowski JL (2016) Barrier effects of roads on an endangered forest obligate: influences of traffic, road edges, and gaps. *Biological Conservation* 199: 33–40
- Cook TC, Blumstein DT (2013) The omnivore's dilemma: Diet explains variation in vulnerability to vehicle collision mortality. *Biological Conservation* 167: 310–315
- Costa LS (2011) Levantamento de mamíferos silvestres de pequeno e médio porte atropelados na BR 101, entre os municípios de Joinville e Piçarras, Santa Catarina. *Biosci. J* 27(3): 666-672
- Coulson G (1997) Male bias in road-kills of macropods. *Wildie Research* 24: 21-25. Doi: 10.1071/WR96004.
- Crouzeilles R, Barros CS, Fernandez FAS (2010) *Philander frenatus* E *Metachirus nudicaudatus*: competição ou necessidades ecológicas diferentes na floresta atlântica? *Mastozoología Neotropical* 17(1): 135-140
- Cruz-Salazar B, Ruiz-Montoya L, Navarrete-Gutiérrez D, Espinoza-Medinilla EE, Vázquez-Domínguez E, Vázquez LB (2014) Genetic Diversity and Relative Abundance of *Didelphis*

Marsupialis and Didelphis Virginiana in Chiapas, Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85(1): 251-261. DOI: 10.7550/rmb.36116.

Cunha GG, Hartmann MT, Hartmann PA (2015) Atropelamentos de vertebrados em uma área de Pampa no sul do Brasil. *Ambiência* 11(2): 307-320

Fahrig L, Pedlar JH, Pope SE, Taylor PD, Wegner JF (1995) Effect of road traffic on amphibian density. *Biological Conservation* 73: 177-182

Forman RTT, Alexander LE (1998) Roads and their major ecological effects. *Annual Review of Ecology and Systematics* 29: 207-231

Freitas MA, Prfinftes RC, Moftoyama EK, Fucks AE, Veríssfimo D (2017) Roadkill records of Lowland Tapir *Tapirus terrestris* (Mammalia: Perfissodactyla: Tapiridae) between kilometers 06 and 76 of highway BR-163, state of Pará, Brazil. *Journal of Threatened Taxa* 9(11): 10948–10952. OI: <http://dofi.org/10.11609/joft.3227.9.11.10948-10952>.

Gardner AL (2008) *Mammals of South America: Marsupials, Xenarthrans, Shrews and Bats*. Vol.1, Chicago: University of Chicago Press

Gentile R, Teixeira BR, Bergallo HG (2012) Dinâmica Populacional de Marsupiais Brasileiros. In: Cáceres NC (Ed) *Os marsupiais do Brasil: biologia, ecologia e conservação*. Campo Grande: Ed. UFMS. Cap.14 pp.311-326

Goldingay RL, Taylor BD (2017b) Can field trials improve the design of road-crossing structures for gliding mammals? *Ecol Res* 32: 743. <https://doi.org/10.1007/s11284-017-1492-x>.

Goosem M (2007) Impactos de fragmentação causados por estradas através de florestas tropicais. *Current Science* 93 (11): 1587-1596

Gordo M (2012) Ecologia e conservação do sauí-de-coleira, *Saguinus bicolor* (Primates; Callitrichidae). Tese (Doutorado em Zoologia) - Museu paraense Emilio Goeldi/Universidade Federal do Pará, Pará

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE 2012 Manual Técnico da Vegetação Brasileira: Sistema fitogeográfico, Inventário das formações florestais e campestres, Técnicas e manejo de coleções botânicas, Procedimentos para mapeamentos. 2ªed, Vol. 1, Rio de Janeiro, pp 271. <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv63011.pdf>. Acesso em 12 de setembro de 2017

Klöcker U, Croft D, Ramp D (2006) Frequency and of kangaroo-vehicle collision on an Australian outback highway. *Wildlife Research* 33: 5-15

Krause WJ, Krause WA (2006) The Opossum: It's Amazing Story. Department of Pathology and Anatomical Sciences, School of Medicine, University of Missouri, Columbia, pp87

Kušta T, Keken Z, Barták V, Holá M, Ježek M, Hart V, Hanzal V (2014) The mortality patterns of wildlife-vehicle collisions in the Czech Republic. *North-Western Journal of Zoology* 10 (2): 393-399

Laurance WF, Goosem M, Laurance SGW (2009) Impacts of roads and linear clearings on tropical forests. *Trends Ecol. Evol. (Amst)* 24, 659–669. doi: 10.1016/j.tree.2009.06.009

Laurance WF, Clements GR, Sloan S, O'Connell C, Mueller ND, Goosem M, Venter O, Edwards DP, Phalan B, Balmford A, Van Der Ree R, Arrea IB (2014a) A global strategy for road building. *Nature* 513, 229–232. doi: 10.1038/nature13717.

Laurance WF, Peletier-Jellema A, Geenen B, Koster H, Verweij P, Van Dijck P, Lovejoy TE, Schleicher J, Van Kuijk M (2015a) Reducing the global environmental impacts of rapid infrastructure expansion. *Curr. Biol.* 25: R259–R262

Laurance WF, Campbell, MJ, Alamgir M, Mahmoud MI (2017a) Road Expansion and the Fate of Africa's Tropical Forests. *Front. Ecol. Evol* 5, 75

Lee E, Croft DB, Ramp D (2010) Flight response as a causative factor in kangaroo-vehicle collisions. Coulson G, Eldridge M (Eds) *Macropods: The Biology of Kangaroos, Wallabies and Rat-Kangaroos*. CSIRO Publishing, Clayton, VIC, Australia, pp.301-311

Lee E, Klöcker U, Croft DB, Ramp D (2004) Kangaroo-vehicle collisions in Australia's sheep rangelands, during and following drought periods. *Australian Mammalogy* 26: 215-226

Loretto D, Vieira MV (2005) The Effects of Reproductive and Climatic Seasons on Movements in the Black-Eared Opossum (*Didelphis aurita* Wied-Neuwied, 1826). *Journal of Mammalogy* 86(2): 287–293. <https://doi.org/10.1644/BEH-117.1>

Luzardo R (2017) Geoparque cachoeiras do Amazonas (Am): Proposta. CPRM - Serviço Geológico do Brasil. 2012. <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/17166>. Acesso em 13 de dezembro de 2017

Martinelli MM, Volpi TA (2011) Mamíferos atropelados na rodovia Armando Martinelli (ES-080), Espírito Santo, Brasil. *Natureza on line* 9(3): 113-116

Maschio GF, Santos-Costa MC, Prudente ALC (2016) Road-Kills of Snakes in a Tropical Rainforest in the Central Amazon Basin, Brazil. *South American Journal of Herpetology* 11(1): 46–53. doi: 10.2994/SAJH-D-15-00026.1

Mclennan MR, Asiimwe C (2016) Cars kill chimpanzees: case report of a wild chimpanzee killed on a road at Bulindi, Uganda. *Primates* 57: 377–388. DOI 10.1007/s10329-016-0528-0.

Medeiros ASM (2017) Vertebrados silvestres atropelados na BR-174, trecho da Terra Indígena Waimiri Atroari (Amazonas-Roraima). Monografia (Bacharel em Ciências Biológicas) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus

Melo G, Sponchiado J (2012) Distribuição Geográfica dos Marsupiais no Brasil. In: Cáceres NC (Ed) *Os marsupiais do Brasil: biologia, ecologia e conservação*. Campo Grande: Ed. UFMS. Cap.3, pp.95-112.

Mendes-Oliveira AC, Miranda C (Org.) (2015) *Pequenos mamíferos não-voadores da Amazônia brasileira*. – Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Mastozoologia,(Série Livros 2). Pp. 336

Monroy MC, Ossa-Lacayo A, Ossa VJ (2015) Tasa de atropellamiento de fauna silvestre en la vía San Onofre – María La Baja, Caribe Colombiano. *Rev. Asoc. Col. Cienc. (Col)* 27: 88-95

Omena Junior R, Pantoja-Lima J, Santos ALW, Ribeiro GAA, Aride PHR (2012) Caracterização da fauna de vertebrados atropelada na rodovia BR – 174, Amazonas, Brasil. *Rev. Colombiana cienc. Anim* 4 (2): 291-307

Orlandin E, Piovesan M, Favretto MA, D'agostini FM (2015) Mamíferos de médio e grande porte atropelados no Oeste de Santa Catarina, Brasil. *Biota Amazônia* 5(4): 125-130

Patton JL, Da Silva MNF, Malcolm JR (2000) Mammals of the Rio Jurua and the evolutionary and ecological diversification of Amazonia. *Bulletin of the American Museum of Natural history*, nº 244, pp.306

Pinheiro BF, Turci LCB (2013) Vertebrados atropelados na estrada da variante (BR-307), Cruzeiro do Sul, Acre, Brasil. *Brasi. Natureza on line* 11(2): 68-78

Prado TR, Ferreira AA, Guimarães ZFS (2006) Efeito da implantação de rodovias no cerrado brasileiro sobre a fauna de vertebrados. *Acta Sci. Biol. Sci* 28(3): 237-241

Programa Waimiri Atroari: Convênio FUNAI-Eletronorte (2012) Relatório de Atividades, Manaus

Programa Waimiri Atroari: Convênio FUNAI-Eletronorte (2013) Relatório de Atividades, Manaus

Programa Waimiri Atroari: Convênio FUNAI-Eletronorte (2014) Relatório de Atividades, Manaus

Programa Waimiri Atroari: Convênio FUNAI-Eletronorte (2015) Relatório de Atividades, Manaus

Programa Waimiri Atroari: Convênio FUNAI-Eletronorte (2016) Relatório de Atividades, Manaus

- Ramos E, Meza-Joya FL (2018) Reptile road mortality in a fragmented landscape of the middle Magdalena Valley, Colombia. *Herpetology Notes* 11: 81-91
- Ramp D, Wilson VK, Croft DB (2006) Assessing the impacts of roads in peri-urban reserves: Road-based fatalities and road usage by wildlife in the Royal National Park, New South Wales, Australia. *Biological Conservation* 129: 348-359
- Reis NR, Peracchi AL, Rossaneis BK, Fregonezi MN (Orgs) (2010) *Técnicas de Estudos Aplicadas aos Mamíferos Silvestres Brasileiros*. Rio de Janeiro: Technical Books
- Rodríguez-Morales B, Díaz-Varela ER, Marey-Pérez MF (2013) Spatiotemporal analysis of vehicle collisions involving wild boar and roe deer in NW Spain. *Accident Analysis and Prevention* 60: 121– 133
- Rodrigues EP, Pinheiro ES (2011) Desflorestamento ao longo da rodovia BR-174 (Manaus/AM-Boa Vista). *Soc. & Nat* 23(3): 513-528
- Rosa O, Mauhs J (2004) Atropelamentos de animais silvestres na rodovia RS – 040. *Caderno de Pesquisa, Série Biologia* 16: 35-42
- Sá FCN (2016) Análise dos padrões temporais e espaciais dos atropelamentos de vertebrados silvestres na BR-174, floresta Amazônica. Dissertação (Mestrado em Ecologia) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Biologia, Recife
- Santana GS (2012) Fatores influentes sobre atropelamentos de vertebrados na região central do Rio Grande do Sul, Brasil. *Neotropical Biology and Conservation* 7(1): 26-40

Santos SM, Carvalho F, Mira A (2011) How long do the dead survive on the road? Carcass persistence probability and implications for road-kill monitoring surveys. *PLoS ONE* 6(9): e25383

Santos ALP, Rosa CA, Bager A (2012) Variação sazonal da fauna selvagem atropelada na rodovia MG 354, Sul de Minas Gerais – Brasil. *Biotemas* 25(1): 73-79

Santos RAL, Santos SM, Santos-Reis M, Figueiredo AP, Bager A, Aguiar LMS, Ascensão F (2016) Carcass Persistence and Detectability: Reducing the Uncertainty Surrounding Wildlife-Vehicle Collision Surveys. *PLoS ONE* 1(11). doi:10.1371/journal.pone.0165608.

Slater FM (2002) An assessment of wildlife road casualties – the potential discrepancy between number counted and numbers killed. *Web Ecol* (3): 33-42

Smythe N (1970) Relationships between fruiting seasons and seed dispersal methods in a neotropical forest. *The American Naturalist* 104: 25-35

Soanes K, Vesk PA, Van Der Ree R (2015) Monitoring the use of road-crossing structures by arboreal marsupials: insights gained from motion-triggered cameras and passive integrated transponder (PIT) tags. *Wildl Res* 42: 241–256

Sosa R, Schalk CM (2016) Seasonal activity and species habitat guilds influence road-kill patterns of neotropical snakes, *Tropical Conservation Science*, *Tropical Conservation Science* 9(4):1–12

Souza JC, Cunha VP, Markwith SH (2015) Spatiotemporal variation in human-wildlife conflicts along highway BR-262 in the Brazilian Pantanal. *Wetlands Ecol Manage* 23: 227–239

Tardieu L, Adogwa AO, Garcia GW (2017) Didelphis species, neo-tropical animals with the potential for intensive production: Part 1 Review of taxonomy, natural history, general biology, animal behaviour, and nutrition. *Trop. Agric* 94(2): 157-174

Veloso HP, Rangel Filho AL, Lima JCA (1991) Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal. Rio de Janeiro IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, pp.124

Visintin C, Golding N, Van Der Ree R, McCarthy MA (2018) Managing the timing and speed of vehicles reduces wildlife transport collision risk. *Transportation Research Part D* 59: 86–95

Voss RS, Jansa SA (2009) Phylogenetic relationships and classification of Didelphid Marsupials, an extant radiation of new world metatherian mammals. *Bulletin of the American Museum of Natural History* 322

Weston N, Goosem M, Marsh H, Cohen M, Wilson R (2011) Using canopy bridges to link habitat for arboreal mammals: successful trials in the Wet Tropics of Queensland. *Australian Mammalogy* 33: 93–105

CAPÍTULO 2

Identificação de *Hotspots* de atropelamentos de marsupiais neotropicais: importância da frequência do monitoramento em estudos de caso.

Edson R. Costa^{1,2*}; Aline S. M. Medeiros^{2,3}; Antônio Carlos Nascimento⁴; Marcelo Gordo^{1, 2}

Manuscrito em preparação para submissão no periódico *Biodiversity and Conservation*.

- 1 Programa de Pós-Graduação em Zoologia, Universidade Federal do Amazonas, Avenida General Rodrigo Otávio Jordão Ramos 6200, 69077-000, Manaus, Amazonas, Brasil (edsonzoo@hotmail.com)
- 2 Projeto Sauim-de-Coleira, Universidade Federal do Amazonas (UFAM), Manaus, Amazonas, Brasil (projetosauim@gmail.com)
- 3 Programa de Pós-graduação em Ecologia, Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia, Manaus, Amazonas, Brasil (alinesouza_mm@hotmail.com)
- 4 Técnico Indigenista, Programa Waimiri Atroari, Rua Recife, 2305 - Parque Dez de Novembro, 69050-030 Manaus, Amazonas, Brasil (ancarn@hotmail.com)

(*) Autor para correspondência

RESUMO

A retirada da cobertura vegetal para construção de rodovias é uma ameaça às populações de fauna e flora local. Além de outros impactos, atropelamentos de fauna silvestre contribuem para a defaunação local. A identificação de *hotspots* de atropelamentos é importante para auxiliar no planejamento e implantação de medidas mitigadoras eficientes. Em especial para espécies que estão entre as mais prejudicadas devido à fragmentação dos habitats, como exemplo, os marsupiais neotropicais. Nosso estudo foi desenvolvido na BR-174, em um trecho de 121 km que corta a Terra Indígena Waimiri Atroari, entre os estados de Roraima e Amazonas. Em seis anos de monitoramento foram registrados 797 didelfídeos atropelados de nove taxa, sendo *Didelphis marsupialis* a mais registrada, seguida por *Philander opossum* e *Marmosa demerarae*. Foi confirmado a não-aleatoriedade das colisões e a existência de *hotspots* de atropelamentos, sendo que a maioria destes apareceram em diferentes locais durante os seis anos. A variação entre os *hotspots* de atropelamentos também foi verificada em outros estudos. O surgimento de pontos críticos em diferentes locais pode estar relacionado a vários fatores, como redução populacional por atropelamentos de indivíduos ao longo do tempo, principalmente em rodovias com alto fluxo de veículos. A escassez ou disponibilidade de recursos nas bordas das rodovias é outro fator que pode estar relacionado ao surgimento de pontos críticos em diferentes locais. Para que os marsupiais e outros animais arborícolas sejam menos atropelados na área de estudo, é necessário que árvores com potencial para formação de passagens naturais sejam mantidas ou plantadas nas bordas da rodovia, outra medida sugerida é a instalação de pontes artificiais e redutores de velocidade.

Palavras-chave: Ecologia de estradas, atropelamentos de marsupiais, hotspots de atropelamentos, medidas mitigadoras, conservação da Amazônia

ABSTRACT

The removal of vegetation cover for road constructions is a threat to the local fauna and flora populations. In addition to other impacts, roadkills of wild animals contributes to local defaunation. The identification of hotspots of roadkill is important to assist in the planning and implementation of efficient mitigation measures. Especially for species that are among the most threatened due to the fragmentation of habitats, for example neotropical marsupials. Our study was developed in BR-174, in a stretch of 121 km that cross the Waimiri Atoari Indigenous Land, between Roraima and Amazonas states. In six years of monitoring, 797 individuals, of nine *taxa*, were affected by roadkills, with *Didelphis marsupialis* being the most recorded, followed by *Philander opossum* and *Marmosa demerarae*. It was confirmed the non-randomness of the collisions and were detected hotspots of roadkills, most of which appeared in different locations during the six years. The variation between hotspots of roadkills was also verified in other studies. The appearance of hotspots in different locations may be related to several factors, such as population reduction due to roadkill of individuals over time, especially on highways with high flow of vehicles. The scarcity or availability of resources at the edges of roads is another factor that may be related to the emergence of critical points in different locations. For marsupials and other arboreal animals to be less hit in the study area, it is necessary that trees with potential for the formation of natural passages be maintained, or planted on the edges of the roads, another suggested measure is the installation of artificial bridges as well as speed reducers.

Keywords: Ecology of roads, trampling of marsupials, trampling hotspots, mitigating measures, conservation of the Amazon

INTRODUÇÃO

A retirada da cobertura vegetal para construção de rodovias e para outras infraestruturas lineares é uma ameaça às populações de fauna e flora local (Laurance et al., 2009; 2015a; 2017a; Benítez-López et al., 2010). As redes rodoviárias veem sendo ampliadas consideravelmente nas três últimas décadas, principalmente em regiões de florestas tropicais (Laurance et al., 2009; 2015a; 2017a; Alamgir et al., 2017). Com isso as estradas impedem o movimento de muitas espécies de animais devido ao efeito barreira (Andrews, 1990; Goosem, 2007) e como consequência reduz o fluxo gênico entre as populações (van der Grift et al., 2013). O tráfego nas rodovias, além de gerar impactos à fauna silvestre através da poluição química, luminosa e sonora (Wilson et al., 2007) contribui para a defaunação local devido às colisões com veículos (Forman & Alexander, 1998).

Nas últimas décadas estudos sobre atropelamentos de fauna silvestre têm aumentado, sobretudo em países da América do Norte e Europa (Forman & Alexander, 1998; Bennett, 2017), bem como no Brasil, onde encontra-se uma das maiores redes rodoviárias do mundo (Assessão et al., 2017). Em muitos desses estudos os autores identificaram os *hotspots*, que são os pontos críticos de atropelamentos (Cureton & Deaton, 2012; Eberhardt et al., 2013; Teixeira et al., 2013; Crawford et al., 2014; Garrah et al., 2015; Santos et al., 2017; Secco et al., 2017; Teixeira et al., 2017; Ramos & Meza-Joya, 2018; Gonçalves et al., 2018), bem como os momentos críticos de atropelamentos (*hots moments*) (Beaudry et al., 2010; Crawford et al., 2014; Garrah et al., 2015; Santos et al., 2017; Gonçalves et al., 2018). Além de identificar possíveis fatores associados aos atropelamentos (Barthelmess, 2014; Shilling & Waetjen, 2015; Bartonička et al., 2018), a identificação dos *hotspots* é importante para auxiliar no planejamento de medidas de mitigação que sejam realmente eficientes (Crawford et al., 2014; Shilling &

Waetjen, 2015). No entanto, para identificação dos melhores locais para implantação de medidas de mitigação é importante que estudos sejam realizados em longos períodos de tempo (Garrah et al., 2015) e de forma sistemática (Santos et al., 2011).

Devido à falta de conectividade entre a vegetação nas bordas das rodovias, animais semi-arborícolas e arborícolas frequentemente precisam descer e cruzar a pista pelo solo, com isso, tornam-se vulneráveis aos atropelamentos (Wilson et al., 2007; Goldingay et al., 2013; Ramos & Meza-Joya, 2018). Em muitos dos estudos de caso desenvolvidos no Brasil os didelfídeos estão entre os vertebrados mais atropelados (Rosa & Mauhs, 2004; Coelho et al., 2008; Orlandin et al., 2015), sobretudo nas longas rodovias que cortam a floresta amazônica (Guimer-Costa & Sperber, 2009; Omena Junior et al., 2012; Pinheiro & Turci, 2013; Sá, 2016; Medeiros, 2017).

Embora o grupo dos marsupiais neotropicais seja um dos mais afetados pelos atropelamentos, até o momento não conhecemos nenhum estudo que mostre em escalas espacial ou temporal os pontos críticos desses atropelamentos, como conhecemos para outros grupos de vertebrados neotropicais, como por exemplo os quirópteros (Secco et al., 2017) e répteis (Maschio et al., 2016; Ramos & Meza-Joya, 2018; Gonçalves et al., 2018). Nesse sentido, nosso objetivo foi identificar pontos críticos (*Hotspots*) de atropelamentos de marsupiais em um trecho da BR-174, na Terra Indígena Waimiri Atroari (TIWA), em um período de seis anos consecutivos.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de Estudo

O estudo foi desenvolvido em um trecho de 121 km da BR-174 que corta a Terra Indígena Waimiri Atroari (TIWA) (Lat: -1.257796°, -0.226420°; Lon: -60.407078°, -60.691821°). Esta é uma rodovia simples de mão dupla, construída entre 1968 e 1977, ligando Manaus - AM a Boa vista – RR. (Carvalho, 1982). O trecho está localizado entre os municípios de Presidente Figueiredo (AM) e Rorainópolis (RR) (Fig. 1) e foi asfaltado entre os anos de 1996 e 1997. A vegetação na área tem a cobertura vegetal relativamente intacta e em alguns locais já existem corredores ecológicos naturais em formação acima da rodovia, os quais são usados por animais arborícolas (observação pessoal). Com 2.585,911 hectares, a TIWA é banhada pelos rios Alalaú, Camanaú, Curiaú e Igarapé Santo Antônio do Abonari (Baines, 1993b; Rodrigues & Pinheiro, 2011; Carvalho, 1982). Na região predomina a floresta ombrófila aberta submontana (Veloso et al. 1991, IBGE, 2012) e clima do tipo Am (tropical chuvoso, úmido e quente) de acordo com a classificação de Köppen (Bastos, 1982). Sendo que a temperatura média anual na região é de 27 °C, com as médias mínima e máxima de 23 °C e 28 °C, com a temperatura mais elevada entre agosto e novembro (Luzardo, 2012). A precipitação anual pode variar entre 2.000 mm e 2.300 mm, com maior precipitação nos meses de janeiro a abril (Barbosa, 1997). Dentro da Terra Indígena, os veículos podem trafegar livremente durante o dia, porém, durante a noite, a partir das 18:30h até as 5:30h da manhã, há restrições (Tabela 1), no entanto é permitido o acesso de ônibus, veículos de emergências e veículos que transportem material perecível. A velocidade permitida na rodovia é de 80km/h, sendo assim, para percorrer os 121 km, veículos que entram demoram cerca de uma hora e meia para cruzar a Terra Indígena. Para registrar e controlar a entrada dos veículos, em cada uma das entradas do trecho da rodovia ficam fiscais indígenas monitorando e registrando o tipo de

veículo e qual sentido está indo (AM ou RR). Correntes suspensas sobre a rodovia permitem o controle das entradas dos veículos durante a noite.

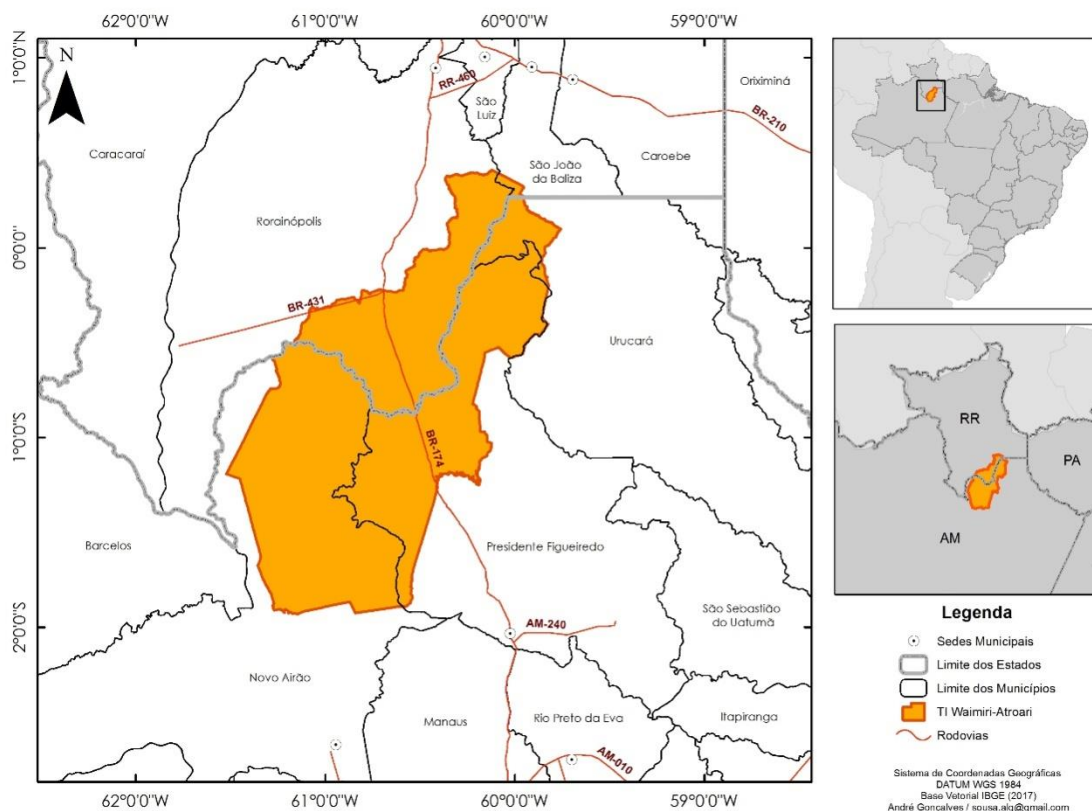


Fig. 1 Mapas da TIWA e do trecho da rodovia BR-174, entre os estados do Amazonas e Roraima

Tabela 1 Descrição sobre os horários de tráfego e tipos de veículos que podem trafegar após as 18:30 no trecho da BR-174, na Terra Indígena Waimiri Atroari, entre os estados do Amazonas e Roraima.

Hora	Tipos de veículos e condições de tráfego
18h30min – 22:00min	Veículos com crianças, idosos, gestantes, pessoas com deficiência e/ou com produtos perecíveis.
18h30min – 5h30min	O tráfego é liberado para ônibus, ambulâncias e veículos oficiais.
5h30min – 18h30min	O tráfego é liberado para todos os tipos de veículos.

Coleta de dados

A coleta de dados da fauna atropelada no trecho da BR-174, na TIWA, teve início em agosto de 1997 por uma equipe de fiscais do Programa Waimiri Atroari (PWA). A equipe é composta por um funcionário (motorista) e um ou dois indígenas, estes monitoram esse trecho de segunda a sábado durante o ano todo, com início a partir das 6:30h da manhã.

Os dados usados neste estudo foram coletados entre 2012 e 2017, sendo que, de 2012 a novembro de 2016, estes foram coletados pelos fiscais. A partir de dezembro de 2016 até novembro de 2017, atuamos colaborando com a equipe na coleta dos dados. Para coleta dos dados antes e durante esse estudo foi usado um carro com velocidade média de 60 a 70 Km/h. A procura por animais atropelados foi realizada somente por um observador para padronização do monitoramento. Durante os encontros os indivíduos eram fotografados ao lado de uma placa contendo informações de data, número de etiqueta e nome em menor nível taxonômico possível. Com um GPS modelo Garmin foram anotadas as coordenadas geográficas do local. Os indivíduos com filhotes, foram contabilizados como um registro apenas.

Após as anotações, os didelfídeos foram retirados da pista para evitar a replicação dos dados e os atropelamentos de animais carniceiros. Os marsupiais encontrados ainda em bom estado de conservação e/ou não identificados *in loco*, foram etiquetados, colocados em sacos plásticos e mantidos congelados em freezers. Depois, estes foram transportados para a Universidade Federal do Amazonas (UFAM) para serem identificados (Licença SISBIO nº 56276-1). Os espécimes coletados entre dezembro de 2016 e novembro de 2017 foram identificação com ajuda de especialistas e com auxílio de literatura científica especializada (*e.g.* Gardiner, 2008; Voss & Janza, 2009; Reis et al., 2010; Mendes-Oliveira & Miranda, 2015),

além de comparações com exemplares do acervo da Coleção de Mamíferos do Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia (INPA).

Análise dos Dados

Análises Espaciais dos Atropelamentos

Para testar a não-aleatoriedade dos eventos de atropelamentos foi usada a estatística K de Ripley - 2D modificada que descreve a dispersão espacial dos eventos. Essa análise foi realizada por meio do Software Siriema (Coelho et al., 2014). Para gerar o traçado da rodovia e realizar as análises, as coordenadas coletadas ao longo do trecho e dos locais dos atropelamentos foram inseridas no Software em documento em formato txt. Considerando o grupo em questão e possíveis medidas que possam ser eficientes para tal, para a análise foi definido raio inicial de 50 m, com incremento de raio de 50 m, em 500 simulações e intervalo de confiança de 95%.

Durante a análise o círculo inicial é centralizado no ponto referente ao primeiro evento de atropelamento no início do trecho monitorado, sendo somado com outros registros de animais atropelados dentro desse círculo (Coelho et al., 2014). Visto que o trecho dentro de cada círculo pode variar de tamanho, o somatório dos eventos de atropelamento é multiplicado por um fator de correção que considera o comprimento da rodovia dentro do círculo inicial (Coelho et al., 2014). Em seguida, este círculo é centralizado no próximo ponto e novamente somado a outros eventos que ocorreram dentro da área deste círculo e multiplicado pelo fator de correção. Este procedimento é realizado até o último ponto de atropelamento no trecho e por fim se gera o grau de intensidade para o raio em questão (Coelho et al., 2014). Esse mesmo processo é repetido para a próxima escala (raio inicial mais o incremento de raio) até o momento

em que todos os eventos são incluídos num único círculo (melhores detalhes, veja Coelho et al., 2014).

Ao fim da análise para cada escala foi gerada a intensidade de agregação dos atropelamentos que é indicada pela função $L(r)$. Os agrupamentos que atingiram o limite superior indicam agregação significativa, enquanto a intensidade de agregação abaixo da linha do limite inferior indica dispersão significativa. Por outro lado, a intensidade de agregação representada entre os limites superior e inferior demonstram que os dados estão distribuídos de forma aleatória para a escala de raio em questão (Coelho et al., 2014). Em nosso estudo os dados de cada ano foram analisados separadamente e por último fizemos uma análise com todos os dados de todos os anos em conjunto.

Para que pudéssemos identificar os locais críticos (*hotspots*) de atropelamentos de marsupiais e em que escalas estão, efetuamos a análise de *Hotspots* 2D usando também o Software Siriema. Para isso, primeiramente definimos um círculo com raio de 50 m, dividimos o trecho em 1210 segmentos de 100m, com 1000 simulações e intervalo de confiança de 95%.

Nesta análise o círculo foi centralizado no centro de cada segmento e os valores de cada evento de atropelamento foram somados e multiplicados pelo fator de correção que leva em conta o comprimento do trecho dentro do círculo, assim como na estatística K de Ripley – 2D. Este procedimento foi repetido para todos os 1210 segmentos e para cada local foi gerado um valor da intensidade de agregação dos atropelamentos.

Dessa forma, a intensidade de agregação dos *hotspots* foi avaliada através da função HS , a qual corresponde ao N eventos – N simulado. Valores, acima do limite de confiança superior indicam intensidade de agregação significativa dos atropelamentos (Coelho et al., 2014). Vale

ressaltar que, para selecionar apenas os *hotspots* de picos mais elevados usamos o limiar 3 para as análises envolvendo os dados de cada ano, ou seja, uma linha de corte que seleciona os pontos mais importantes. Para a análise envolvendo todos os dados em conjunto usamos o limiar 5.

RESULTADOS

Espécies Identificadas

Durante os seis anos de monitoramento foram registrados 797 didelfídeos. Entre estes, 181 indivíduos de nove táxons foram registrados entre dezembro de 2016 e novembro de 2017. Entre os indivíduos identificados, 64 (67.4%) são da espécie *Didelphis marsupialis*, seguida por *Philander opossum* e *Marmosa demerarae*, ambas com nove indivíduos (9.5%). Foi registrada apenas um indivíduo de *Metachirus nudicaudatus* (1.15%), cujo padrão de locomoção é estritamente terrestre. As outras espécies são de hábito arborícola (veja a Tabela 2 do Capítulo 1).

Distribuição Espacial dos Atropelamentos

Em 2012 foram registrados 105 marsupiais atropelados, para os quais a estatística K de Ripley - 2D confirmou agregação significativa para raios com tamanho entre 50 m a 44,5 km e para raios entre 88,5 km e 96,5 km de comprimento (Fig. 2 a). No ano seguinte (2013) foram registrados 63 didelfídeos, para os quais foi confirmada a agregação significativa dos atropelamentos para raios entre 50 m e 2,5 km (Fig. 2 b). Devido a falha mecânica no veículo usado no monitoramento em 2014, nesse ano houve somente cinco meses de coleta, mesmo assim, foram registrados 41 didelfídeos atropelados. Sendo que para esses eventos, houve agregação significativa para raios entre 50 m e 21,5 km de comprimento, enquanto que houve

dispersão significativa para raios de tamanho entre 29,5 km e 44 km, entre 79,8 km e 82 km e entre 83 km e 85 km de comprimento (Fig. 2 c). Em 2015 foram registrados 132 marsupiais atropelados, havendo agregação significativa dos atropelamentos para os raios com comprimento entre 50 m e 33 km e dispersão significativa para raios com comprimento entre 76,5 km e 82,5 km (Fig. 2 d). Para os dados de 2016 (n = 312) (Fig. 2 e), assim como para os dados de 2017 (n = 140) (Fig. 2 f) foi confirmada agregação dos atropelamentos para os raios com tamanho entre 50 m e 105 km de comprimento.

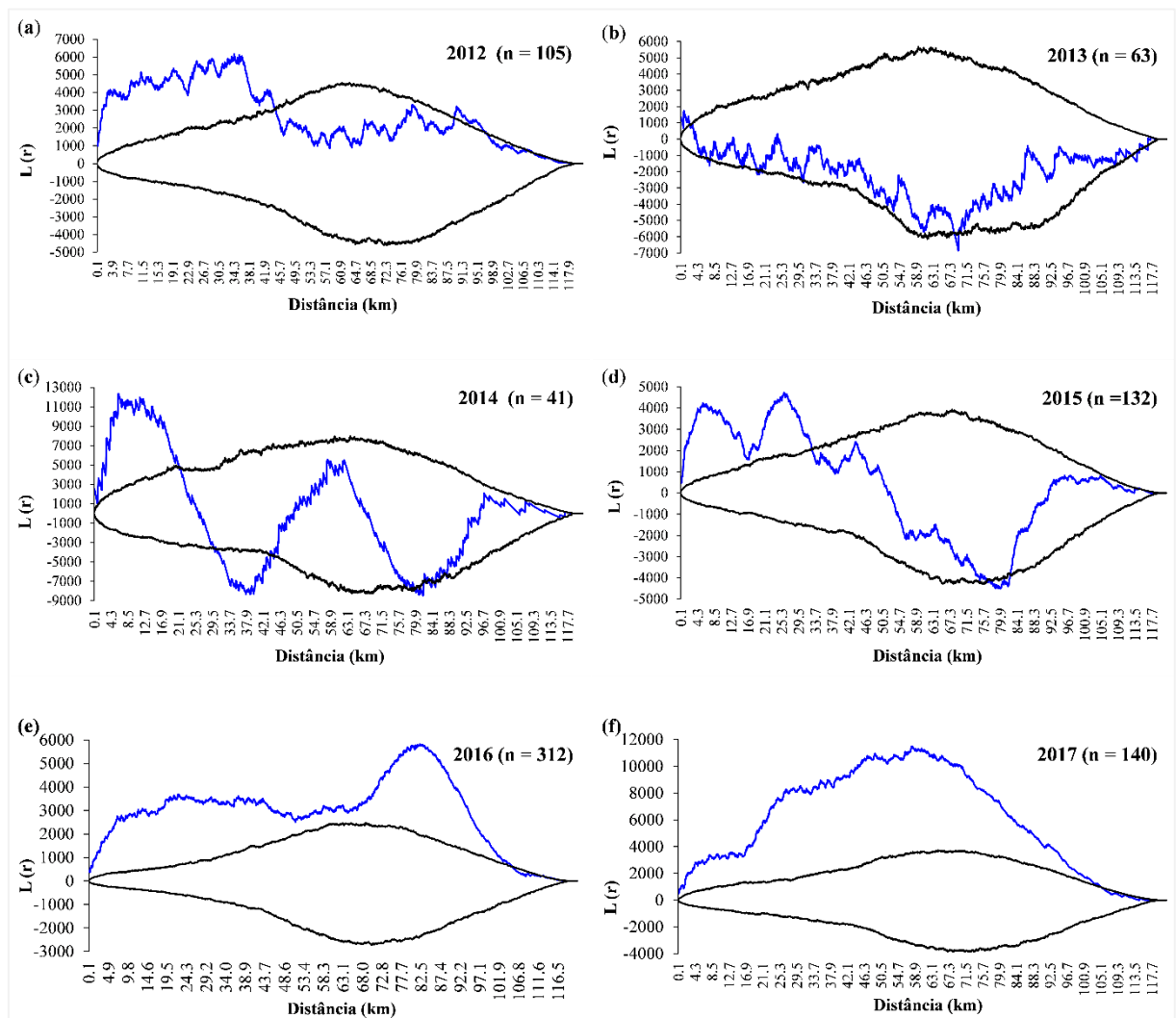


Fig. 2 Distribuição espacial dos atropelamentos de marsupiais no trecho da BR-174, na TIWA. (a) = 2012; (b) = 2013; (c) = 2014; (d) = 2015; (e) = 2016 e (f) = 2017. As linhas pretas representam os limites de confiança superior e inferior de 95%. A linha azul representa a função $L(r)$, sendo que acima do limite de confiança superior indica agregação significativa dos atropelamentos e abaixo do limite de confiança inferior indica dispersão significativa

A análise envolvendo todos os dados dos marsupiais atropelados entre 2012 a 2017 ($n = 797$) indicou agrupamento significativo dos atropelamentos para raios com tamanho entre 50 m e 106,1 km, para os raios entre 110,1 km e 113,5 km e entre 114,1 km e 115,5 km de comprimento, respectivamente (Fig. 3).

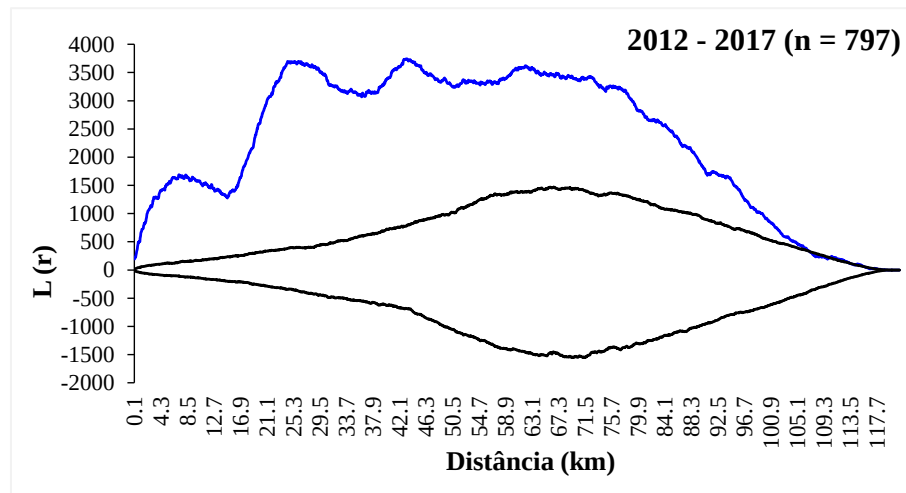


Fig. 3 Distribuição espacial dos atropelamentos de marsupiais registrados entre 2012 e 2017 no trecho da BR-174, na TIWA. As linhas pretas representam os limites de confiança superior e inferior de 95%. A linha azul representa a função $L(r)$, sendo que acima do limite de confiança superior indica agregação significativa dos atropelamentos e abaixo do limite de confiança inferior indica dispersão significativa

Análise de Hotspots – 2D

Para os marsupiais registrados em 2012 foram indicados 20 pontos críticos de atropelamentos (*hotspots*) com picos com agregação significativa. A intensidade de agregação atingiu o limiar 3 para os pontos situados nos quilômetros 69 e 103 (Fig. 4 a). Em 2013 foram confirmados

15 *hotspots* de atropelamentos significativos. Os de agregação mais intensa localizaram-se nos quilômetros km 32,5, km 33, km 49,5 e km 120, porém nenhum atingiu o limiar 3 (Fig. 4 b). Em 2014 foram confirmados 27 pontos críticos de atropelamentos, porém, o único acima do limiar localizou-se no km 26 (Fig. 4 c). No ano de 2015 foram confirmados 17 *hotspots* significativos, o mais intenso e com pico acima da linha de corte localizou-se no km 62,6 (Fig. 4 d). Em 2016 foram confirmados 65 *hotspots* de atropelamentos com intensidade de agregação significativa, em 10 desses locais (km 9,8, km 25, km 27, km 34, km 50,5, km 64, km 85,8, km 89,5, km 96,6 e km 120) os picos de a agregação foram superiores ao limiar 3, entre estes, o mais intenso surgiu no km 85,8 (Fig. 4 e). Para os 11 meses de monitoramento em 2017 foram indicados 20 *hotspots* com picos acima do limite de confiança, sendo que os picos atingiram o limiar 3 nos quilômetros 8 e 47,5 (Fig. 4 f).

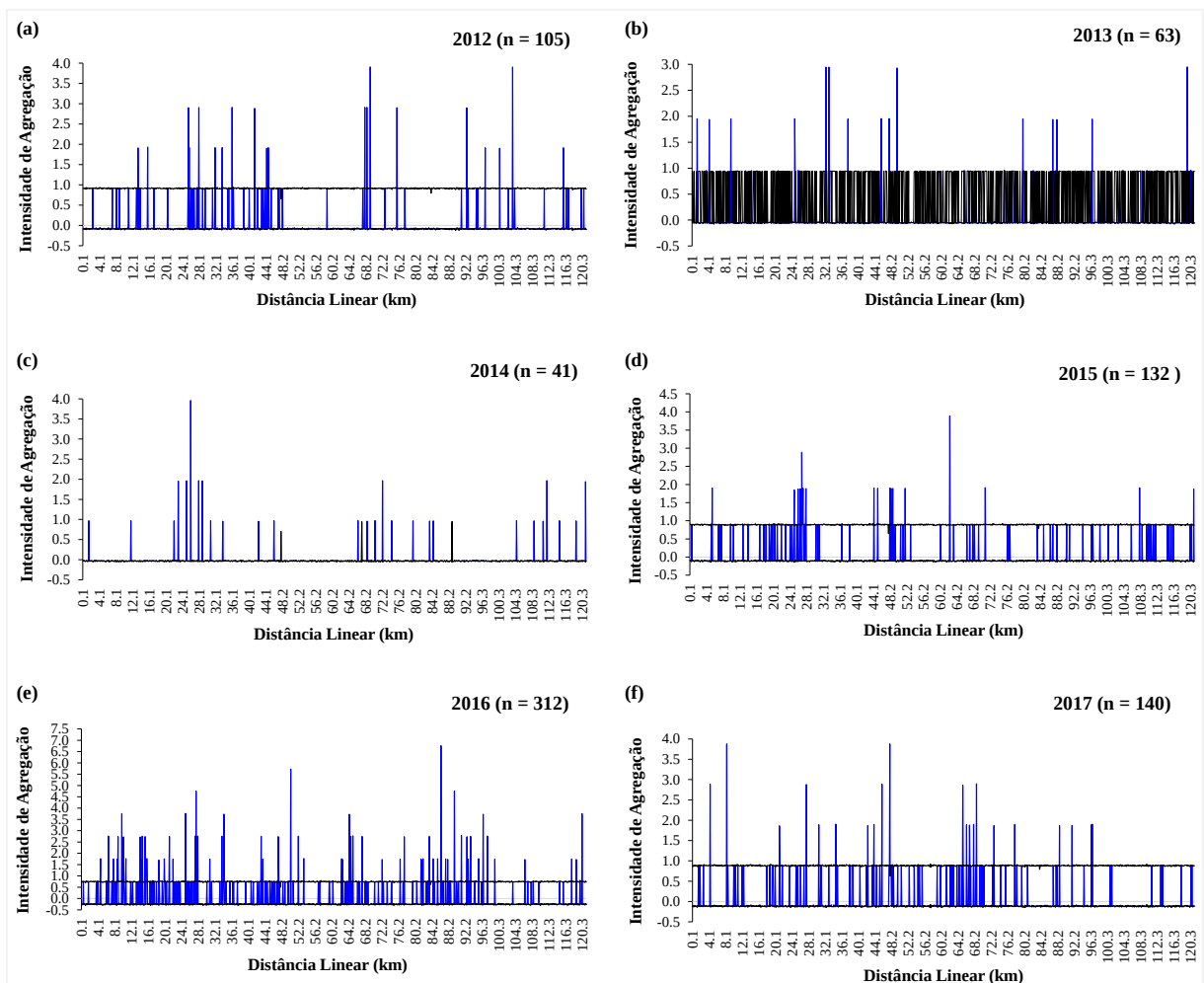


Fig. 4 a-f Hotspots de atropelamentos de marsupiais no trecho da BR-174, na TIWA. As linhas pretas representam os limites de confiança superior e inferior de 95%. A linha azul representa intensidade de agregação (função N eventos – N simulado), sendo que acima do limite de confiança superior indica hotspots significativos

A análise com todos os dados coletados entre 2012 e 2017 indicou 80 pontos críticos de atropelamentos. Sendo que a linha de corte usada nesta análise foi o limiar 5, os dez hotspots com picos mais intensos foram selecionados, os quais estão localizados no km 22, km 25, km 26, km 27,3, km 27,8, km 50, km 62,5, km 63, km 85,2 e no km 120,1), entre os quais há três mais significativos (km 25, km 27,3 e km 27,8) (Fig. 5). No entanto, considerando os seis anos consecutivos, vale ressaltar que os hotspots ocorreram em pontos diferentes da estrada (Fig. 6).

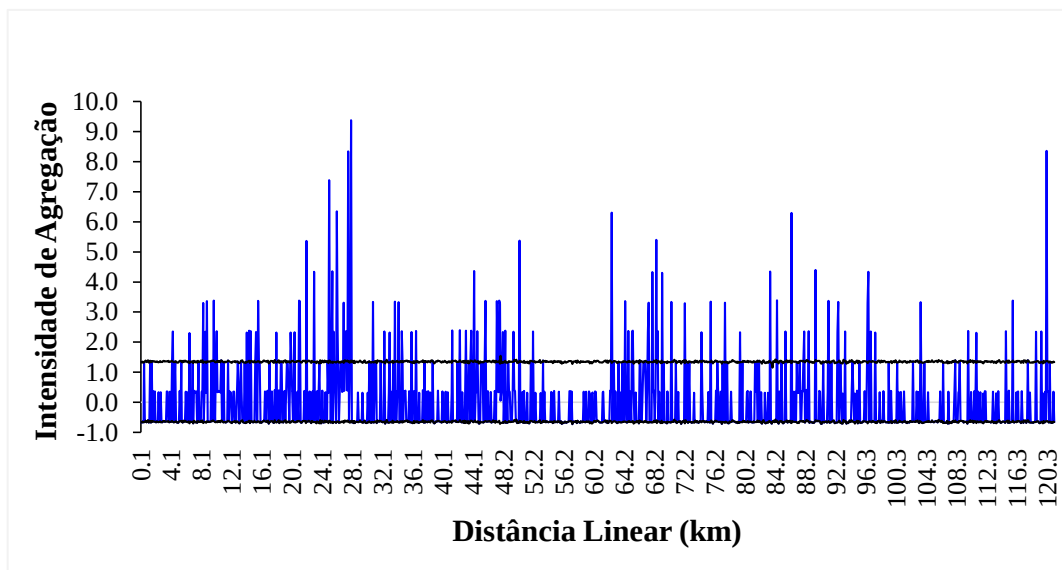


Fig. 5 Hotspots de atropelamentos de marsupiais entre 2012 e 2017 no trecho da BR-174, na TIWA. As linhas pretas representam os limites de confiança superior e inferior de 95%. A linha azul representa intensidade de agregação (função $N \text{ eventos} - N \text{ simulado}$), sendo que acima do limite de confiança superior indica hotspots significativos

Os hotspots significativos identificados nas análises para cada ano totalizou-se em 165. Dentre esses, 127 (88%) dos hotspots surgiram apenas uma vez no mesmo local durante os seis anos. Os pontos críticos que permaneceram significativos por dois anos surgiram em 17 locais (12%). No entanto, somente no km 27,912 os hotspots se repetiram em quatro dos seis anos, sendo este o único local em que os hotspots permaneceram significativos em três anos seguidos (2014, 2015 e 2016) (Apêndice A)

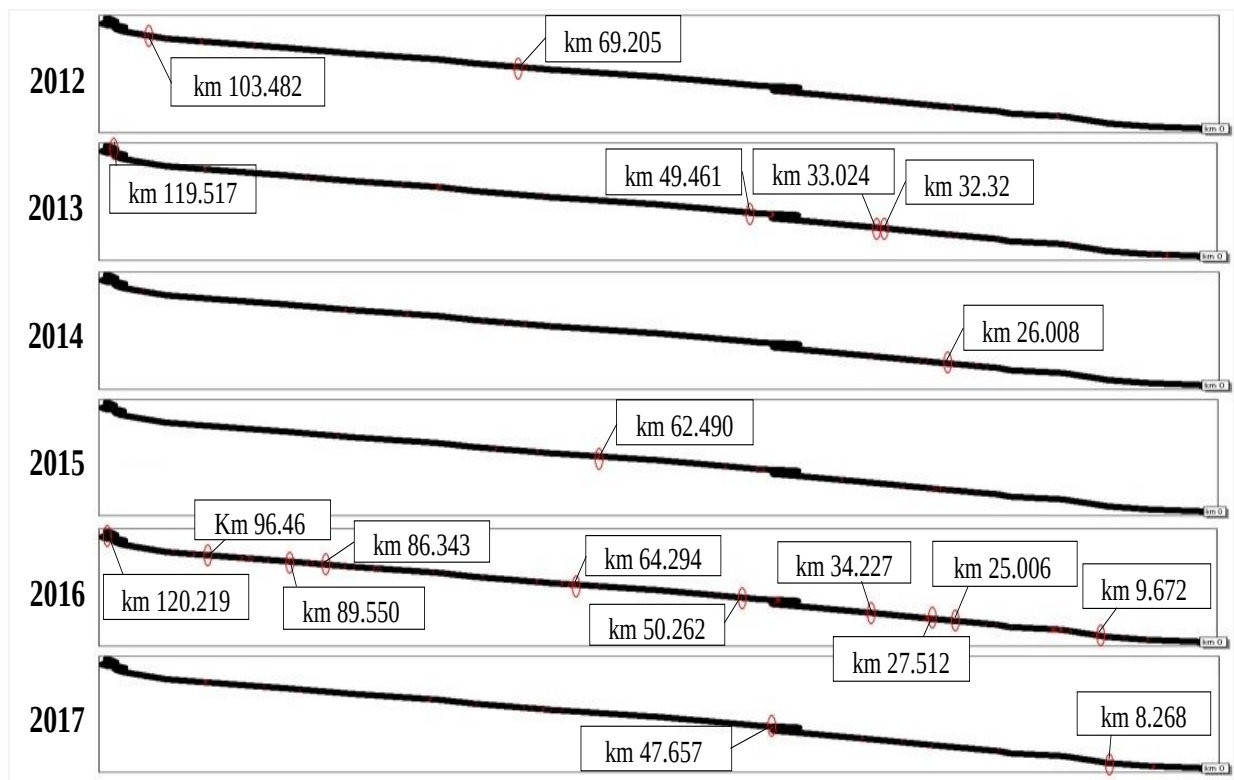


Fig. 6 Comparação dos *hotspots* de marsupiais atropelados entre 2012 e 2017. No centro dos círculos vermelhos estão os *hotspots* com agregação superior ao limiar 2.5 para 2013 e limiar 3 para os outros anos

DISCUSSÃO

Entre os indivíduos registrados nesse estudo a espécie *D. marsupialis* foi a mais atropelada, seguida por *P. opossum* e *M. demerarae* (Cap. 1). Além de outros fatores, como a pluviosidade e fluxo de veículos (Cap. 1), os vários casos de atropelamentos de *D. marsupialis* e *P. opossum* podem estar relacionados às preferências de uso de habitat e hábito alimentar.

Na área de estudo os atropelamentos ocorreram de forma não-aleatória, havendo variações na distribuição espacial entre os seis anos analisados, mas que em alguns locais as agregações significativas mantiveram-se constante. Com isso, os locais em que surgiram os *hotspots* e suas intensidades também variaram entre os anos. Alterações de *hotspots* e de intensidade também já foram encontradas por outros autores, em outras rodovias e para outros

grupos de vertebrados (Shilling & Waetjen, 2015; Garrah et al., 2015; Gonçalves et al., 2018). Tal modificação de localização dos *hotspots* significativos pode estar relacionada à disponibilidade de recursos para os marsupiais nas proximidades da rodovia (Crawford et al., 2014).

Com mais de três décadas de tráfego na rodovia BR-174 e com poucos estudos sobre os impactos dos atropelamentos em animais silvestres, esta rodovia aparentemente já contribuiu consideravelmente para defaunação local, sobretudo para os marsupiais (Omena-Junior et al., 2012; Sá, 2016). No entanto, até o presente momento os pontos críticos de atropelamentos não haviam sido identificados. Em decorrência do tempo de uso desta rodovia, acreditamos que ao longo dos anos as estruturas das populações de marsupiais podem ser alteradas devido aos atropelamentos, o que também reflete nas diferenças entre os locais com *hotspots* de atropelamentos significativos entre anos (Teixeira et al., 2017). Tal relação entre tempo de uso de rodovias e as estruturas populacionais já foram previamente relatadas para outros grupos de vertebrados (Clevenger et al., 2003; Garrah et al., 2015). Da mesma forma a intensidade do fluxo de veículos em diferentes trechos das rodovias pode afetar as populações animais, sendo que em trechos com alto fluxo de veículos as populações são afetadas mais rapidamente, resultando na defaunação ao longo do tempo. Com isso, as colisões passam a ocorrer com mais frequência em trechos com menos fluxo de veículos (Fahrig et al., 1995; Eberhardt et al., 2013; Teixeira et al., 2017). Entretanto, ressaltamos que na área de estudo o fluxo de veículos não é alterado de maneira relevante ao longo do percurso, visto que é o único trecho de rodovia que liga o estado do Amazonas ao de Roraima. Contudo, dinâmica entre as estruturas das populações também é uma possível causa de surgimento de novos *hotspots* de atropelamentos ao longo dos anos (Teixeira et al., 2017).

Ao longo do trecho analisado o fluxo de veículos não altera de maneira relevante, mas é importante ressaltar que no início da noite o número de veículos trafegando dentro do trecho aumenta no intervalo entre as 18:00h – 21:00h, respectivamente. Período em que as correntes ainda não foram suspensas ou os veículos que entraram entre 17:30 e 18:30h ainda estão trafegando dentro da TIWA (Tabela 1 do Capítulo 1). Contudo, consideramos que diariamente este intervalo (entre as 18:00 – 21:00h) seja um possível momento crítico de atropelamentos (*Hots Moments*), visto também para outros grupos em uma escala maior de tempo (Beaudry et al., 2010; Cureton & Deaton, 2012; Crawford et al., 2014; Garrah et al., 2015 Santos et al., 2017; Gonçalves et al., 2018).

A distância entre os pontos dos atropelamentos e corpos d'água não foram analisados nesse estudo, porém, hipotetizamos que os *hotspots* não estão fortemente relacionados à disponibilidade deste recurso. Pois há vários corpos d'água ao longo do trecho monitorado, sobretudo no período chuvoso, e nem sempre os *hotspots* estão próximos aos corpos d'água. No entanto, essa hipótese deve ser testada com maior rigor em estudos futuros. No entanto, assim como o tempo de uso desta rodovia, acreditamos que recursos alimentares na borda ou próximo à rodovia também possam estar contribuindo para o surgimento e variação dos *hotspots* ao longo dos anos, pois além de frutos disponíveis nas bordas da rodovia, organismos como invertebrados e pequenos vertebrados também podem ser encontrados sobre a rodovia, os quais são consumidos por algumas espécies de didelfídeos, principalmente por *D. marsupialis* (Santori et al., 1995; Santori et al., 2012).

No presente estudo apontamos para a importância da escala espacial e temporal (diferença entre anos) na ocorrência de atropelamentos de marsupiais dentro da TIWA. No entanto, salientamos a importância de avaliar em uma escala de tempo mais refinada (ao longo

dos meses e horas do dia) para testar a possível ocorrência de *hots moments*. Também reforçamos a importância de monitoramento e estudos de longo prazo para que sejam identificados os *hotspots* de atropelamentos e a dimensão de escala (espacial e temporal) em que ocorrem. Com isso pode-se auxiliar nas tomadas de decisões para implementar medidas mitigadoras eficientes na redução dos atropelamentos (Crawford et al., 2014). Estudos dessa natureza são essenciais, visto que, para implementação dessas medidas, geralmente requer alto investimento de instalação e manutenção (Van Der Grift et al., 2013; Rytwinski et al., 2016).

Em termos práticos, sugerimos para o trecho da BR-174 na TIWA duas medidas mitigadoras que poderão beneficiar tanto os marsupiais quanto outros animais arborícolas. A primeira é permitir a formação de passagens naturais, para que as copas das árvores de margens opostas se entrelacem sobre a rodovia, bem como a plantação de espécies de árvores nativas com potencial para tais passagens naturais. Esta é uma alternativa eficiente com a qual os animais podem se habituar facilmente (Gregory et al., 2017). Porém não impede a poda da vegetação rasteira ou arbustos na beira da pista que possam impedir a visibilidade tanto do motorista quanto de outros animais que cruzam a pista (Grilo et al., 2009; Garriga et al., 2017). A segunda sugestão é a instalação de pontes artificiais (Weston et al., 2011; Soanes et al., 2015; Yokochi et al., 2015; Goldingay & Taylor, 2017a, b) locais específicos onde as copas das árvores ainda não estão conectadas. Estas poderão ser utilizada em curto espaço de tempo enquanto as passagens naturais estão em formação. Para beneficiar outros grupos de animais além dos arborícolas, sugerimos a instalação de redutores de velocidade (lombadas) em locais onde possam ser eficientes para o máximo possível da fauna. Para isso, estudos futuros para outros grupos são necessários para que possam auxiliar nas decisões em relação às instalações das medidas de mitigação.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à UFAM e ao Programa de Pós-Graduação em Zoologia por proporcionar esta pesquisa. Ao Programa Waimiri Atroari e aos Índios Waimiri Atroari pela disponibilidade tanto dos dados coletados como de sua infraestrutura para as demais coletas de dados. À FAPEAM pela concessão da bolsa de estudo.

APÊNDICE A: Locais dos *Hotspots* de atropelamentos com intensidade de agregação significativa

Tabela 3 Indicação dos *hotspots* de atropelamentos de marsupiais entre 2012 e 2017, nos 121 km do trecho da BR-174 na TIWA. O raio usado na análise de *Hotspots* – 2D foi de 50 m, o trecho foi dividido em 1210 segmentos de 100 m e 1000 simulações. HS = valores da função $N \text{ eventos} - N \text{ simulado}$. As células em cinza indicam os valores dos *hotspots* de atropelamentos significativos (Fig. 4 a-f, 5 e 6)

Anos monitorados	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Distância Linear (km)	HS	HS	HS	HS	HS	HS
1.253	-0.084917	1.952095	-0.031969	-0.100902	-0.224781	-0.107895
1.453	-0.085918	-0.047954	0.967075	-0.109895	-0.272739	0.885153
4.159	-0.063945	1.937337	-0.035969	-0.095918	-0.247787	-0.101913
4.260	-0.080908	-0.059932	-0.036958	-0.104881	-0.259704	2.885715
4.560	-0.099887	-0.055937	-0.036958	-0.119864	1.763006	-0.117867
5.362	-0.091953	-0.048975	-0.036981	1.905026	-0.25487	-0.092952
6.464	-0.090944	-0.051968	-0.035978	-0.099938	2.765294	-0.107933
7.667	-0.078927	-0.057946	-0.038964	-0.101905	2.750374	-0.108899
8.268	-0.096885	-0.063924	-0.044947	-0.121855	-0.2527	3.8764
8.569	-0.085859	-0.039934	-0.039934	-0.099836	1.746127	0.889536
8.770	0.905872	-0.040949	-0.034956	-0.113858	2.73959	-0.114857

9.371	-0.090914	1.950147	-0.026974	-0.113892	-0.255757	-0.117888
9.672	-0.079944	-0.052963	-0.030978	-0.107925	3.757374	-0.09993
10.073	-0.109899	-0.044959	-0.04296	-0.1089	2.722495	-0.098909
10.674	-0.083996	-0.044998	-0.039998	-0.108995	1.764921	-0.119995
11.576	-0.084883	-0.044938	0.96767	-0.091874	-0.284609	-0.116839
13.280	1.909132	-0.064936	-0.032968	-0.103898	-0.266739	-0.109892
14.081	-0.082949	-0.068958	-0.035978	-0.102937	2.716326	-0.107933
14.382	-0.091879	0.95175	-0.035953	-0.11385	1.739715	-0.126833
14.583	-0.094898	-0.04695	-0.03696	-0.106886	2.75505	-0.118873
15.184	-0.08188	-0.053921	-0.036946	-0.110838	1.720478	-0.121821
15.284	-0.095913	-0.041962	-0.033969	-0.102907	2.735518	-0.108901
15.585	1.930039	-0.055972	-0.026987	-0.097951	1.754127	-0.115942
15.685	-0.077877	-0.059906	-0.035943	-0.109827	1.756237	-0.121808
18.592	-0.094891	-0.046946	-0.02597	-0.10388	1.700041	-0.106877
19.894	-0.084905	-0.053939	-0.031964	0.884008	1.75603	-0.122862
20.997	-0.077956	-0.057967	-0.024986	0.902485	0.747574	1.863937
21.097	-0.103991	-0.045996	-0.040996	-0.10999	2.742758	0.872923
21.999	-0.082942	-0.054962	0.965328	0.900373	1.734792	-0.130909
23.001	-0.074877	-0.046923	1.953801	0.894535	0.736794	-0.112815
24.805	-0.073938	1.952354	-0.026977	-0.114903	-0.242795	-0.138883
25.006	-0.089919	-0.05595	1.964233	0.891198	3.766612	0.888201
25.106	-0.078857	-0.04991	-0.031942	1.851645	-0.241562	-0.107805
25.407	2.903867	-0.050963	-0.035974	-0.098927	0.756444	0.869361
25.607	1.921852	0.953934	-0.032963	-0.120865	-0.252718	-0.109877
26.008	0.927103	-0.055946	3.959169	1.878183	-0.243764	-0.100902
26.509	-0.085913	-0.053945	-0.038961	1.883094	-0.229767	-0.106892
26.910	-0.083938	-0.056958	-0.035973	2.885866	-0.228831	0.890342

27.211	-0.0919	-0.048947	-0.035961	1.892932	-0.258717	-0.111878
27.311	-0.095925	-0.061951	-0.032974	-0.099922	2.764833	-0.129898
27.512	-0.063946	-0.052955	-0.032972	0.898245	4.751004	2.878579
27.812	-0.090882	-0.052932	-0.042944	0.900835	1.735755	-0.120844
27.912	2.908035	-0.062914	1.968316	1.885429	2.758239	-0.10985
28.814	0.90374	-0.060915	1.95827	-0.122829	-0.234673	-0.110845
30.518	-0.094918	-0.041964	-0.028975	-0.101912	-0.27676	1.887363
30.819	-0.080898	-0.047939	0.972771	0.897866	1.744796	-0.10287
31.821	1.916019	-0.058908	-0.039938	-0.119814	-0.28256	-0.117817
32.322	-0.062956	2.946958	-0.02898	-0.092936	-0.261819	-0.1449
33.024	-0.090875	2.946942	-0.032955	-0.111846	-0.273623	-0.100861
33.525	1.917518	-0.051933	-0.028963	-0.103866	-0.257666	-0.087886
33.725	-0.088942	-0.040973	0.958378	-0.115925	2.759208	-0.124919
34.227	-0.093	-0.061	-0.027	-0.124	3.734996	-0.107
34.627	-0.10092	-0.055956	-0.031975	-0.106915	0.733419	1.903493
35.930	2.910908	-0.048998	-0.030999	-0.103997	-0.260992	-0.117996
37.634	-0.082	1.946998	-0.035	-0.104	-0.258	-0.114
41.342	2.88655	-0.048908	-0.032938	-0.104802	-0.253521	-0.119774
42.345	-0.067788	-0.055825	0.955013	-0.095701	-0.249221	1.870151
43.147	-0.08	-0.054	-0.02	-0.109	2.749	-0.13
43.547	-0.087953	-0.045975	-0.03698	-0.091951	1.741063	-0.114938
43.848	0.900187	-0.059946	-0.035968	-0.1109	-0.267758	1.895288
44.249	1.899366	-0.063979	-0.02899	1.907364	0.742752	-0.121959
44.650	1.918621	-0.051936	-0.026967	-0.108865	0.748073	-0.113859
45.151	-0.090946	-0.057966	-0.039976	1.892874	-0.216871	-0.110934
45.652	-0.098962	1.954254	-0.030988	-0.111957	-0.274895	-0.096963
45.752	-0.088948	-0.051969	-0.031981	-0.087948	0.74756	2.885304

46.053	-0.080955	-0.046974	0.969458	-0.101943	0.729592	-0.108939
47.256	0.912597	-0.041981	-0.04498	-0.098956	2.735791	-0.110951
47.356	-0.080938	-0.043966	-0.042967	-0.105919	1.75465	-0.119908
47.556	-0.079938	1.953482	-0.044965	-0.096925	0.748418	0.87432
47.657	-0.097931	-0.053962	-0.02798	-0.11292	-0.274806	3.879268
48.058	0.901659	-0.060842	-0.037902	1.902061	-0.247358	-0.102733
48.358	-0.083967	-0.062975	-0.032987	1.889259	0.736711	-0.108957
48.759	-0.087863	-0.058908	-0.030952	1.891059	-0.268582	-0.105835
49.461	-0.076917	2.929852	-0.041955	-0.109882	-0.258722	-0.117873
50.262	-0.091866	-0.055918	-0.030955	-0.123819	5.729622	-0.112835
51.766	-0.094973	-0.066981	-0.036989	1.895462	-0.21194	-0.101971
52.066	-0.08395	-0.05097	-0.03298	-0.09994	2.758357	-0.102939
53.369	-0.096879	-0.04794	-0.029963	-0.107866	1.7678	-0.137828
62.490	-0.080895	-0.064916	-0.034955	3.883953	1.758715	-0.100869
62.690	-0.091831	-0.049908	-0.036932	-0.109798	1.723829	-0.109798
64.294	-0.091	-0.051	-0.027	-0.104	3.728996	-0.116
64.695	-0.089923	-0.047959	-0.040965	-0.107908	2.752649	-0.10491
65.196	-0.075954	-0.056965	-0.036978	-0.094942	2.76732	-0.120927
65.296	-0.114839	-0.060915	-0.038945	-0.109846	-0.22868	2.859993
66.198	-0.087986	-0.045993	-0.028995	-0.102983	-0.242961	1.886695
66.298	-0.079992	-0.046995	0.972904	-0.10099	0.727928	-0.112989
66.900	-0.089957	-0.048977	-0.044979	-0.101952	-0.268873	1.881111
67.401	0.904181	-0.035967	-0.024977	-0.108901	2.744515	-0.137875
67.902	2.911994	-0.046	-0.038	-0.123	-0.261999	1.898996
68.403	2.910782	-0.052996	-0.039997	0.890933	0.727945	0.878934
68.503	-0.067929	-0.051946	0.958	-0.092903	-0.250738	-0.12487
68.603	-0.109	-0.047	-0.032	-0.118	-0.266999	2.895992

69.205	3.907195	0.945321	-0.043968	-0.102926	-0.266808	-0.121912
70.408	-0.076953	-0.051968	0.972406	-0.107934	0.723558	0.88346
71.009	-0.083981	-0.053988	-0.030993	1.912575	-0.246945	-0.108976
72.212	-0.109896	-0.053949	1.968142	-0.11689	1.727369	-0.131875
72.813	-0.087942	-0.051966	-0.025983	-0.076949	-0.243839	1.867765
74.416	-0.114829	-0.056915	0.970551	-0.097854	0.720924	0.89766
75.619	2.903458	-0.054895	-0.048907	-0.115779	-0.255512	0.90128
76.521	-0.09695	-0.048975	-0.035981	-0.112941	1.740094	-0.107944
77.523	0.902837	-0.05299	-0.030994	-0.10998	2.729507	-0.119978
77.824	-0.090981	-0.04699	-0.028994	-0.102979	-0.253947	1.894606
79.528	-0.088925	-0.045961	0.96419	-0.096919	0.764358	0.874266
79.829	-0.079968	1.94623	-0.034986	-0.085966	-0.247902	-0.110956
81.532	-0.071909	-0.035955	-0.032958	-0.109861	1.74979	-0.127839
81.733	-0.082908	-0.059933	-0.024972	-0.105882	1.695113	-0.117869
82.034	-0.076992	-0.059993	-0.027997	-0.111988	1.757808	-0.09599
83.537	-0.080909	-0.057935	0.962913	0.895989	2.743904	-0.11487
84.439	-0.068962	-0.045975	0.963476	-0.102944	1.759043	-0.125931
85.541	-0.095996	0.934958	-0.028999	-0.107995	1.755921	-0.122994
86.343	-0.075914	-0.045948	-0.034961	-0.102884	6.761382	-0.108877
87.045	-0.086992	1.93683	-0.030997	-0.11499	-0.22798	-0.11599
87.446	-0.077984	-0.052989	-0.044991	-0.091982	1.752648	-0.111977
87.947	-0.080945	-0.046968	-0.042971	-0.124916	1.727832	-0.120918
88.047	-0.093	1.934997	-0.039	-0.1	-0.253	0.882998
88.648	-0.076	-0.053	-0.031	-0.11	0.727998	1.867995
89.550	-0.080893	-0.041944	-0.021971	-0.09787	4.749703	-0.114848
91.254	-0.079934	-0.044963	-0.039967	0.889267	2.782707	-0.1209
91.655	-0.094927	-0.059954	-0.027979	-0.106918	-0.256803	1.868566

92.457	2.900938	-0.052944	-0.035962	-0.101892	-0.277707	-0.12287
92.557	0.908373	-0.059959	-0.025982	-0.103928	2.730114	-0.112922
92.858	-0.098882	-0.05893	-0.039952	-0.09289	1.735936	-0.122854
93.459	-0.093942	-0.045972	-0.03298	-0.095941	2.742301	-0.124923
95.363	-0.098988	-0.050994	-0.039995	-0.116986	1.76079	-0.117986
96.366	-0.083992	-0.056995	-0.037996	-0.127988	-0.285973	1.892824
96.466	-0.091971	-0.057982	-0.021993	-0.12896	3.728834	-0.122962
96.566	-0.077988	1.942709	-0.038994	0.894866	-0.255962	1.902715
96.867	1.914672	-0.05999	-0.035994	0.899846	-0.23496	-0.111981
97.468	-0.089984	-0.046991	-0.037993	-0.130976	2.766493	-0.116979
99.272	-0.087994	-0.049997	-0.033998	-0.104993	1.740886	-0.101993
100.375	1.903473	-0.057954	-0.034972	-0.11191	-0.247801	-0.095923
103.482	3.902205	-0.049926	-0.042936	-0.098853	-0.271597	-0.116826
104.484	-0.094907	-0.055945	0.971051	-0.095906	-0.247758	-0.124878
106.488	-0.076914	-0.056936	-0.028968	-0.112874	1.723077	-0.123862
108.092	-0.087949	-0.052969	-0.032981	1.911894	-0.263847	-0.104939
108.693	-0.092915	-0.046957	0.964117	0.890184	-0.251769	-0.093914
110.898	-0.07393	-0.046955	0.95809	0.89515	-0.272741	0.881163
111.800	-0.081949	-0.067957	1.967767	0.891441	-0.245846	-0.12692
114.807	-0.098939	-0.041974	0.968399	0.898443	0.759529	-0.135916
115.709	1.914976	-0.054999	-0.034	0.886989	0.724991	-0.109999
117.713	-0.076931	-0.04496	-0.024978	-0.096913	1.751428	-0.134879
118.816	-0.091884	-0.05593	0.966782	-0.11086	1.725825	-0.109862
119.517	-0.087907	2.949875	-0.034963	-0.104889	-0.258726	-0.123869
120.219	-0.090873	-0.043939	-0.031955	0.885762	3.753755	-0.113841
121.121	-0.08962	-0.060743	1.940779	1.87904	-0.225047	-0.110532
Total	20 hotspots	15 hotspots	27 hotspots	17 hotspots	65 hotspots	21 hotspots

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alamgir M, Campbell MJ, Sloan S, Goosem M, Clements GR, Mahmoud MI, Laurance WF (2017) Economic, socio-political and environmental risks of road development in the tropics. *Current Biology* 27: R1130-R1140.
- Andrews A, (1990) Fragmentation of habitat by roads and utility corridors: a review. *Australian Zoologist* 26, 130–141.
- Ascensão F, Desbiez AL, Medici EP, Bager A (2017) Spatial patterns of road mortality of medium-large mammals in Mato Grosso do Sul, Brazil. *Wildlife Research* 44: 135–146. <http://dx.doi.org/10.1071/WR16108>.
- Baines SGO (1993b) Território dos Waimiri-Atroari e o Indigenismo Empresarial. *Ciências Sociais Hoje*, São Paulo: Editora HUCITEC e ANPOCS, pp.219-243.
- Barbosa RI (1997) Distribuição Das Chuvas Em Roraima. In: Barbosa RI, Ferreira EJG, Castellón EG (Eds) *Homem, Ambiente e Ecologia no Estado de Roraima*. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, Amazonas, pp 325-336
- Barthelmess EL (2014) Spatial distribution of road-kills and factors influencing road mortality for mammals in Northern New York State. *Biodiversity & Conservation* 23: 2491–2514. doi: 10.1007/s10531-014-0734-2
- Bartonička T, Andrášik R, Duľa M, Sedoník J, Bíl M (2018) Identification of local factors causing clustering of animal-vehicle collisions. <https://doi.org/10.1002/jwmg.21467>

- Bastos TX (1982) O clima da Amazônia brasileira segundo Koppen. EMBRAPA-CPATU: Belém, Brasil, pp 4
- Beaudry F, Demaynadier PG, Hunter MJr (2010) Identifying hot moments in road-mortality risk for freshwater turtles. *J Wildl Manag* 74:152–158.
- Benítez-López A, Alkemade R, Verweij PA (2010) The impacts of roads and other infrastructure on mammal and bird populations: A meta-analysis. *Biological Conservation* 143: 1307–1316
- Bennett VJ (2017) Effects of Road Density and Pattern on the Conservation of Species and Biodiversity. *Curr Ecol Landscape* 2: 1–11. <https://doi.org/10.1007/s40823-017-0020-6>.
- Carvalho JPF (1982) Waimiri-Atroari: A história que ainda não foi contada. Brasília, 1ª ed.
- Coffin AW (2007) From roadkill to road ecology: A review of the ecological effects of roads. *Journal of Transport Geography* 15: 396-406.
- Cook TC, Blumstein DT (2013) The omnivore's dilemma: Diet explains variation in vulnerability to vehicle collision mortality. *Biological Conservation* 167: 310–315
- Cureton II JC, Deaton R (2012) Hot moments and hot spots: identifying factors explaining temporal and spatial variation in turtle road mortality. *J. Wildlife Manage* 76: 1047–1052
- Crawford BA, Maerz JC, Nibbelink NP, Buhlmann KA, Norton TM, Albeke SE (2014) Hot spots and hot moments of diamondback terrapin road-crossing activity. *J Appl Ecol* 51: 367–375

Eberhardt E, Mitchell S, Fahrig L (2013) Road-kill hotspots do not effectively indicate mitigation locations when past road-kill has depressed populations. *The Journal of Wildlife Management* 77: 1353–1359

Fahrig L, Pedlar JH, Pope SE, Taylor PD, Wegner JF (1995) Effect of road traffic on amphibian density. *Biological Conservation* 73: 177-182

Gardner AL (2008) Mammals of South America: *Marsupials, Xenarthrans, Shrews and Bats*. Vol.1, Chicago: University of Chicago Press

Garriga N, Franch M, Santos X, Montori A, Llorente GA (2017) Seasonal variation in vertebrate traffic casualties and its implications for mitigation measures. *Landscape and Urban Planning* 157: 36-44

Garrah E, Danby RK, Eberhardt E, Cunningham GM, Mitchell S (2015) Hot spots and hot times: wildlife road mortality in a regional conservation corridor. *Environmental Management* 56: 874–889

Goldingay RL, Rohweder D, Taylor B D (2013) Will arboreal mammals use rope-bridges across a highway in eastern Australia? *Australian Mammalogy* 35: 30–38. <http://dx.doi.org/10.1071/AM12006>

Goldingay RL, Taylor BD (2017a) Targeted field testing of wildlife road-crossing structures: koalas and canopy rope-bridges. *Australian Mammalogy* 39: 100–104

Goldingay RL, Taylor BD (2017b) Can field trials improve the design of road-crossing structures for gliding mammals? *Ecol Res* 32: 743. <https://doi.org/10.1007/s11284-017-1492-x>.

- Gonçalves LO, Alvares DJ, Teixeira FZ, Schuck G, Coelho IP, Esperandio IB, Anza J, Beduschi J, Bastazini VAG, Kindel A (2018) Reptile road-kills in Southern Brazil: Composition, hot moments and hotspots. *Science of the Total Environment* 615: 1438–1445
- Goosem M (2007) Impactos de fragmentação causados por estradas através de florestas tropicais. *Current Science* 93 (11): 1587-1596
- Gregory T, Carrasco-Rueda F, Alonso A, Kolowski J, Deichmann JL (2017) Natural canopy bridges effectively mitigate tropical forest fragmentation for arboreal mammals. *Scientific Reports* 7: 3892. doi:10.1038/s41598-017-04112-x.
- Grilo C, Bissonette JA, Santos-Reis M (2009) Spatial-temporal patterns in Mediterranean carnivore road casualties: consequences for mitigation. *Biological Conservation* 142: 301–313 <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocon.2008.10.026>.
- Gumier-Costa F, Sperber CF (2009) Atropelamentos de vertebrados na Floresta Nacional de Carajás, Pará, Brasil. *Acta Amazonica* 39(2): 459-466
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE 2012 Manual Técnico da Vegetação Brasileira: Sistema fitogeográfico, Inventário das formações florestais e campestres, Técnicas e manejo de coleções botânicas, Procedimentos para mapeamentos. 2ªed, Vol. 1, Rio de Janeiro, pp 271. <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv63011.pdf>. Acesso em 12 de setembro de 2017
- Laurance WF, Goosem M, Laurance SGW (2009) Impacts of roads and linear clearings on tropical forests. *Trends Ecol. Evol. (Amst)* 24, 659–669. doi: 10.1016/j.tree.2009.06.009

Laurance WF, Clements GR, Sloan S, O'Connell C, Mueller ND, Goosem M, Venter O, Edwards DP, Phalan B, Balmford A, Van Der Ree R, Arrea IB (2014a) A global strategy for road building. *Nature* 513, 229–232. doi: 10.1038/nature13717.

Laurance WF, Peletier-Jellema A, Geenen B, Koster H, Verweij P, Van Dijck P, Lovejoy TE, Schleicher J, Van Kuijk M (2015a) Reducing the global environmental impacts of rapid infrastructure expansion. *Curr. Biol.* 25: R259–R262

Laurance WF, Campbell, MJ, Alamgir M, Mahmoud MI (2017a) Road Expansion and the Fate of Africa's Tropical Forests. *Front. Ecol. Evol* 5, 75

Laurance WF, Burgués-Arrea I (2017b) Roads to riches or ruin? *Science* 358: 442-444

Luzardo R (2017) Geoparque cachoeiras do Amazonas (Am): Proposta. CPRM - Serviço Geológico do Brasil. 2012. <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/17166>. Acesso em 13 de dezembro de 2017

Maschio GF, Santos-Costa MC, Prudente ALC (2016) Road-Kills of Snakes in a Tropical Rainforest in the Central Amazon Basin, Brazil. *South American Journal of Herpetology* 11(1): 46–53. doi: 10.2994/SAJH-D-15-00026.1

Medeiros ASM (2017) Vertebrados silvestres atropelados na BR-174, trecho da Terra Indígena Waimiri Atroari (Amazonas-Roraima). Monografia (Bacharel em Ciências Biológicas) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus

Monroy MC, Ossa-Lacayo A, Ossa VJ (2015) Tasa de atropellamiento de fauna silvestre en la vía San Onofre – María La Baja, Caribe Colombiano. *Rev. Asoc. Col. Cienc. (Col)* 27: 88-95

- Omena Junior R, Pantoja-Lima J, Santos ALW, Ribeiro GAA, Aride PHR (2012) Caracterização da fauna de vertebrados atropelada na rodovia BR – 174, Amazonas, Brasil. *Rev. Colombiana cienc. Anim* 4 (2): 291-307
- Pinheiro BF, Turci LCB (2013) Vertebrados atropelados na estrada da variante (BR-307), Cruzeiro do Sul, Acre, Brasil. *Brasi. Natureza on line* 11(2): 68-78
- Ramos E, Meza-Joya FL (2018) Reptile road mortality in a fragmented landscape of the middle Magdalena Valley, Colombia. *Herpetology Notes* 11: 81-91
- Rodrigues EP, Pinheiro ES (2011) Desflorestamento ao longo da rodovia BR-174 (Manaus/AM-Boa Vista). *Soc. & Nat* 23(3): 513-528
- Rosa O, Mauhs J (2004) Atropelamentos de animais silvestres na rodovia RS – 040. *Caderno de Pesquisa, Série Biologia* 16: 35-42
- Rytwinski, T, Soanes K, Jaeger JA, Fahrig L, Findlay CS, Houlahan J, Van Der Ree R, Van Der Grift EA (2016) How effective is road mitigation at reducing road-kill? A meta-analysis. *PLoS ONE* 21(11): e0166941.
- Sá FCN (2016) Análise dos padrões temporais e espaciais dos atropelamentos de vertebrados silvestres na BR-174, floresta Amazônica. Dissertação (Mestrado em Ecologia) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Biologia, Recife
- Santos RA, Ascensão F, Ribeiro ML, Bager A, Santos-Reis M, Aguiar LMS (2017) Assessing the consistency of hotspot and hot- moment patterns of wildlife road mortality over time. *Perspectives in Ecology and Conservation* 15: 56–60. doi:10.1016/j.pecon.2017.03.003.

Santori RT, Lessa LG, Moraes AD (2012) Alimentação, nutrição e adaptações alimentares de marsupiais brasileiros. In: Cáceres NC (ed) Os marsupiais do Brasil: biologia, ecologia e conservação. Campo Gran

de: Ed. UFMS, pp. 385–406

Santori RT, Moraes DA, Cerqueira, R (1995) Diet composition of *Metachirus nudicaudatus* and *Didelphis aurita* (Marsupialia, Didelphoidea) in southeastern Brazil. *Mammalia* 59(4): 511–516

Santos SM, Carvalho F, Mira A (2011) How long do the dead survive on the road? Carcass persistence probability and implications for road-kill monitoring surveys. *PLoS ONE* 6(9): e25383

Secco H, Gomes LH, Lemos H, Mayer P (2017) Road and landscape features that affect bat roadkills in Southeastern Brazil. *Oecologia Australis* 21(3): 323-336. Doi:10.4257/oeco.2017.2103.09

Shilling FM, Waetjen DP (2015) Wildlife-vehicle collision hotspots at US highway extents: scale and data source effects. *Nature Conservation* 11: 41–60

Soanes K, Vesk PA, Van Der Ree R (2015) Monitoring the use of road-crossing structures by arboreal marsupials: insights gained from motion-triggered cameras and passive integrated transponder (PIT) tags. *Wildl Res* 42: 241–256

Teixeira FZ, Coelho IP, Esperandio IB, Oliveira NR, Peter FP, Dornelles SS, Delazeri NR, Tavares M, Martins MB, Kindel A (2013) Are road-kill hotspots coincident among different vertebrate groups? *Oecologia Australis* 17(1): 36-47

Teixeira FZ, Kindel A, Hartz SM, Mitchell S, Fahrig L (2017) When road-kill hotspots do not indicate the best sites for road-kill mitigation. *Journal of Applied Ecology* 54: 1544–1551.

<https://doi.org/10.1111/1365-2664.12870>.

van der Grift EA, van der Ree R, Fahrig E, Findlay S, Houlahan J, Jaeger JAG, Klar N, Madriñan LF, Olson L (2013) Evaluating the effectiveness of road mitigation measures. *Biodiversity and Conservation* 22: 425–448. doi:[10.1007/s10531-012-0421-0](https://doi.org/10.1007/s10531-012-0421-0)

Veloso HP, Rangel Filho AL, Lima JCA (1991) Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal. Rio de Janeiro IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, pp.124

Weston N, Goosem M, Marsh H, Cohen M, Wilson R (2011) Using canopy bridges to link habitat for arboreal mammals: successful trials in the Wet Tropics of Queensland. *Australian Mammalogy* 33: 93–105

Wilson RF, 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: 177–184. doi:[10.1071/WR06114](https://doi.org/10.1071/WR06114)

Yokochi K, Bencini R (2015) A remarkably quick habituation and high use of a rope bridge by an endangered marsupial, the western ringtail possum. In: Seiler A, Helldin JO (ed) *Proceedings of IENE 2014 International Conference on Ecology and Transportation*, Malmö, Sweden. *Nature Conservation* 11: 79–94. <https://doi.org/10.3897/natureconservation.11.4385>

CONCLUSÃO GERAL

Entre os mamíferos de hábito noturno, os marsupiais são os mais atropelados no trecho da BR-174 que corta a Terra Indígena Waimiri Atroari. Com exceção de alguns locais com passarelas naturais sobre a rodovia neste trecho, a falta de conectividade das copas das árvores contribui para o aumento dos atropelamentos de marsupiais. As mortes tendem a aumentar nesse trecho em período com menos chuva, possivelmente pela maior movimentação dos indivíduos à procura de recursos disponíveis. Outro fator que contribui para as colisões é o aumento do fluxo de veículos ao longo dos anos. Nesse sentido, estudos de população e de paisagem são necessários para melhor compreensão da disponibilidade de recursos ao longo do trecho e das causas das variações dos locais onde surgem os *hotspots* de atropelamentos.

Considerando os hábitos escansorial e arborícola da maioria das espécies de marsupiais encontrados nesse estudo, como medida de mitigação dos atropelamentos, sugerimos que se permita a formação de passagens naturais sobre rodovia. De forma que os veículos trafeguem normalmente, mas que os animais também possam cruzar a rodovia por cima pelas copas das árvores. E, enquanto estas se formem, sugerimos a instalação de passarelas artificiais em locais com mais prioridade. Além disso, outras medidas de mitigação são importantes, como redutor de velocidade, haja visto que o volume de carro trafegando à noite nesse trecho aumenta a cada ano. Sendo assim, as medidas de mitigação provisórias devem ser instaladas logo em seguida à identificação dos *hotspots*, visto que estes variam ao longo do trecho, em caso de medidas definitivas, com exceção das passagens naturais, estudos a longo prazo são necessários, de forma que estas venham ser eficientes e que possam abranger outros grupos de animais.