

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE LORENA

ARIEL LAURINDO DE OLIVEIRA

**ECOLOGIA DE ESTRADA:
IMPACTOS DE GRANDES RODOVIAS E MEDIDAS DE MITIGAÇÃO**

LORENA - SP, 2020

ARIEL LAURINDO DE OLIVEIRA

**ECOLOGIA DE ESTRADA: IMPACTOS DE GRANDES RODOVIAS E MEDIDAS
DE MITIGAÇÃO**

Monografia apresentada à Escola de Engenharia de Lorena (EEL-USP) como requisito parcial para obtenção de título de Engenheiro Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Marco Aurélio Kondracki de Alcântara.

LORENA - SP, 2020

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Automatizado
da Escola de Engenharia de Lorena,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

de Oliveira, Ariel Laurindo
Ecologia de estrada: impactos de grandes rodovias
e medidas de mitigação / Ariel Laurindo de Oliveira;
orientador Marco Aurélio Kondracki de Alcântara. -
Lorena, 2020.
92 p.

Monografia apresentada como requisito parcial
para a conclusão de Graduação do Curso de Engenharia
Ambiental - Escola de Engenharia de Lorena da
Universidade de São Paulo. 2020

1. Ecologia de estradas. 2. Impacto ambiental. 3.
Rodovias do Brasil. I. Título. II. de Alcântara, Marco
Aurélio Kondracki, orient.

Dedico este trabalho à Serra do Mar.

AGRADECIMENTOS

Meu maior e primeiro agradecimento é para os meus pais, que sempre incentivaram meus estudos e deram suporte nas dificuldades que passei ao longo do curso. O amor que recebo deles é raro, mas não é fruto de sorte; é fruto de trabalho duro. De minha mãe, aprendi lições importantes para ser independente, e, de meu pai, aprendi valores que me guiarão em minhas decisões por toda vida. Tenho orgulho de ser parte desta família.

Agradeço ao Dr. e jornalista Pedro Raymundo pela oportunidade de estágio, de conhecer mais de perto o seu trabalho, e também pela valiosa amizade. Agradeço também às escolas EMEI Bernardo Ferreira Louzada, EE Dr. Eduardo Corrêa da Costa Junior e Emef Prof. Antônio Freitas de Avelar, onde fui muito bem recebido para dar palestras sobre ecologia em nome do Instituto Caraguatá. Também agradeço Ao eng. Danilo Leme Souza, da Concessionária Tamoios, pela atenção e pela disponibilidade em ceder informações para este trabalho.

Agradeço à psicóloga, Marta dos Reis, à psiquiatra Dra. Daniela Gonçalves e ao Dr. George Guércio, pelo apoio psicológico desde meu diagnóstico de síndrome de Asperger. Graças a seu trabalho, minha qualidade de vida melhorou mais do que eu podia esperar.

Não posso deixar de agradecer ao corpo docente da faculdade, mais carinhosamente ao meu orientador, Marco Alcântara; à professora Diovana Napoleão, que considero como a melhor professora de Cálculo I; à professora Ana Gabas e ao professor Hércio Izário Filho pela atenção especial que deram ao curso de Engenharia Ambiental e por me fazerem ter orgulho do que estudo; e às professoras Mariana Kasemodel, Danúbia Caporusso e Daisy Rafaela, e aos professores Lucrécio dos Santos e Morun Neto, de quem guardarei lembranças pelas aulas exemplares.

RESUMO

de OLIVEIRA, A. L.; **ECOLOGIA DE ESTRADA: IMPACTOS DE GRANDES RODOVIAS E MEDIDAS DE MITIGAÇÃO**. 2020. Monografia (Curso de Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo. Lorena, 2020.

Toda ação humana causa um impacto no meio ambiente, e as estradas geram impactos diversos. Conforme as redes rodoviárias crescem, também crescem os resultados de seus impactos negativos sobre os ecossistemas, que eventualmente trazem danos ao desenvolvimento humano. Este trabalho é um do levantamento bibliográfico dos impactos já conhecidos de grandes rodovias para avaliar sua intensidade e mecanismos: atropelamentos, emissões, fragmentação de hábitat, danos à vegetação e perturbação da fauna, bem como a ocupação das terras marginais às rodovias. Foram estudadas medidas de mitigação para encontrar variáveis relacionadas à sua eficácia. No Brasil, foi dado foco às rodovias nos biomas Mata Atlântica, Cerrado e Amazônia devido ao alto risco de impacto por serem rodovias em Unidades de Preservação e apresentarem tendência de aumento do desmatamento. A Mata Atlântica se mostrou a mais afetada no Brasil, um agravante ao seu atual estado precário de preservação. Porém o Cerrado e a Amazônia sofrem com a exploração da madeira e expansão da agricultura. Os atropelamentos foram identificados como impactos preocupantes devido à mortalidade de predadores importantes e espalhadores de sementes. Assim, as medidas voltadas à fauna recomendadas são cercas e passagens. Quanto ao desmatamento, ficam recomendados os túneis e o reflorestamento. A aplicação das medidas mitigadoras sugeridas deve ser feita com base no conhecimento das espécies de fauna e flora afetadas.

Palavras-chave: Ecologia de Estradas, Impacto Ambiental, Rodovias do Brasil.

ABSTRACT

de OLIVEIRA, A. L.; **ROAD ECOLOGY: IMPACTS OF GREAT HIGHWAYS AND MITIGATING MEASURES**. 2020. Monograph (Major in Environmental Engineering) – Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo. Lorena, 2020.

Every human action causes an impact in the environment, and roads generate various impacts. As road networks grow, so do the results of their negative impacts over the ecosystems, which eventually bring damage to human development. This work is a bibliographical pick up of already known impacts to evaluate their intensity and mechanisms: run over, emissions, habitat fragmentation, damages to vegetation and fauna disturbance, as well as land use near the roads. Mitigation measures have been studied to find variables related to its efficacy. In Brazil, roads in the Atlantic Forest, Cerrado and Amazon biomes have been focused due to high risk of impact from roads inside of Preservation Areas and a tendency to deforestation growth. The Atlantic Forest has showed to be the most affected in Brazil, an intensifier to its poor preservation status. However, Cerrado and Amazon suffer from wood exploitation and growing agriculture. Running over has been identified as worrying impacts due to the death of important predators and seed dispersers. Thus, recommended measures that target the fauna are fences and wildlife passes. About deforestation, tunnels and reforestation are recommended. The application of mitigating measures must be done based on the knowledge of the affected fauna and flora.

Keywords: Road Ecology, Environmental Impact, Brazil Highways.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Área marginal (<i>buffer</i> de 30 m) a Rodovias por Bioma do Brasil.....	4
Tabela 2. Ruído em Diferentes Situações.....	29
Tabela 3. Fatores Geradores de Ruído Pneu-Asfalto.....	29
Tabela 4. Relação entre ações humanas e alteração da qualidade e disponibilidade da água.....	46
Tabela 5. Relação entre ações humanas e processos erosivos.....	49
Tabela 6. Erosão X Situação do Solo.....	72

LISTA DE FIGURAS

Fig. 1. Rodovias e Biomas do Brasil.....	3
Fig. 2. Definição de Impacto e Degradação Ambiental.....	10
Fig. 3. Diagrama Causa–Aspecto Ambiental–Impacto Ambiental.....	11
Fig. 4. Variação da Zona de Efeito de uma Rodovia.....	14
Fig. 5. Campanha de Conscientização sobre Atropelamentos de Animais....	21
Fig. 6. Simulação de Desmatamento ao redor de Rodovias na Amazônia.....	26
Fig. 7. Gráfico da relação entre desmatamento e distância da rodovia....	27
Fig. 8. Estradas laterais perpendiculares às rodovias são acesso para a exploração de madeira.....	27
Fig. 9. Índices de Biodiversidade α , β e γ	31
Fig. 10. Absorção de Radiação Infravermelha pelo CO ₂	40
Fig. 11. Gases da Atmosfera e Aquecimento Global.....	41
Fig. 12. Carcinogenicidade do 1,3-Butadieno.....	44
Fig. 13. Deposição de Contaminantes no Solo.....	47
Fig. 14. Passagem superior genérica.....	59
Fig. 15. Diagrama de passagens inferiores.....	60
Fig. 16. Passagem de Fauna de Corda.....	62
Fig. 17. Gráfico da Temperatura x Energia em um Composto.....	69
Fig. 18. Retaludamento.....	70
Fig. 19. Aterramento.....	70
Fig. 20. Distribuição de Animais Domésticos e Silvestres.....	73
Fig. 21. Origem da Ocorrência.....	74

ANEXOS

ANEXO 1. TABELA ATIVIDADES X IMPACTOS.

ANEXO 2. TABELA MITIGAÇÃO X IMPACTOS.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1.RODOVIAS DO BRASIL: DA EXPANSÃO AOS DIAS ATUAIS.....	1
1.2. BIOMAS DO BRASIL.....	6
1.2.1.MATA ATLÂNTICA.....	6
1.2.2.CERRADO.....	7
1.2.3.AMAZÔNIA.....	8
1.3.AVALIAÇÃO DE IMPACTO AMBIENTAL.....	10
1.3.1.ECOLOGIA DE ESTRADAS.....	10
1.3.2.IMPACTOS AMBIENTAIS DE RODOVIAS.....	14
2. JUSTIFICATIVA.....	17
3. OBJETIVOS.....	18
3.1.OBJETIVO GERAL.....	18
3.2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
4. METODOLOGIA.....	19
5. RESULTADOS ENCONTRADOS.....	20
5.1.IMPACTOS SOBRE A BIOTA.....	20
5.1.1.ATROPELAMENTOS.....	21
5.1.2.PAISAGEM.....	25
5.1.3.PERTURBAÇÃO DA FAUNA.....	28
5.1.3.1.POLUIÇÃO SONORA.....	28
5.1.3.2.ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL NOTURNA.....	33
5.2.IMPACTOS SOBRE SOLO, ÁGUA E AR.....	37
5.2.1.EMISSIONES.....	37
5.2.1.1.IMPACTOS SOBRE O ECOSISTEMA.....	37
5.2.1.2.IMPACTOS SOBRE A SAÚDE.....	42
5.2.2.POLUENTES NO SOLO E NA ÁGUA.....	45
5.2.3.INTENSIFICAÇÃO DE PROCESSOS EROSIVOS.....	48
5.2.4.AUMENTO DA TEMPERATURA.....	52
5.3.MEDIDAS DE MITIGAÇÃO.....	54

5.3.1.CERCAS.....	55
5.3.2.PASSAGENS.....	58
5.3.3.OUTRAS MEDIDAS.....	64
5.3.3.1.TÚNEIS.....	64
5.3.3.2.REDUÇÃO DA ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL.....	64
5.3.3.3.TRATAMENTO DE ÁGUAS.....	65
5.3.3.4.FECHAMENTO TEMPORÁRIO DA RODOVIA.....	65
5.3.3.5.ASFALTO ALTERNATIVO.....	66
5.3.3.6.CONTENÇÃO DA EROSÃO.....	69
5.3.3.7.REFLORESTAMENTO.....	71
5.3.3.8.MONITORAMENTO.....	72
6. DISCUSSÃO.....	74
7. CONCLUSÃO.....	77
BIBLIOGRAFIA.....	79

1. INTRODUÇÃO

1.1. RODOVIAS DO BRASIL: DA EXPANSÃO AOS DIAS ATUAIS

Uma economia como a do Brasil dispõe de recursos naturais, capital e mão-de-obra para sua produção potencial. Essa produção é a de bens e serviços para o consumo da população, reposição de estoque e também para a manutenção e troca de equipamentos. A crescente complexidade da distribuição de trabalho na indústria promove a integração entre as unidades produtivas, cada vez exigindo mais do setor de transportes. Assim, o transporte é uma peça central na economia no que se refere a deslocamento de mão-de-obra, recursos naturais e a produção em si. O desenvolvimento econômico não se difunde igualmente geograficamente, mas se observa o surgimento de polos de produtividade, de mão-de-obra e de capital (BARAT, 1969). A ocupação da região Norte deu-se mais acentuada entre os séculos XIX e XX com a migração do nordeste para a Amazônia buscando trabalho na extração do látex. Essa migração e a indústria do látex levaram ao investimento na infraestrutura da região, como a ferrovia Madeira-Mamoré (1914), de Porto Velho a Guajará Mirim (NETO; NOGUEIRA, 2015). A realização de rodovias na Amazônia também trouxe consigo o povoamento das margens das estradas. Bartholomeu (2006) recolheu informações a respeito das rodovias do país e concluiu que o Brasil conta com 1,6 milhões de quilômetros de rodovias, mas com apenas 12% pavimentados, em sua maioria rodovias municipais. Ele indica que o estado das rodovias do país é desfavorável, 72% delas sendo classificadas como "deficientes", "ruins" ou "péssimas". De acordo com Bartholomeu (2006), a região Nordeste apresenta a pior rede rodoviária do país, o que compromete seu desenvolvimento.

Durante o império, diversos planos para a expansão viária (ferroviária e hidroviária) foram apresentados a D. Pedro II e acabaram não sendo realizados (SANDOVAL, 2012).

- O "**Plano Rebelo**" imaginava três novas estradas reais: São Paulo–Curitiba–São Leopoldo–Porto Alegre, Barbacena–Vila Boa–Vila Bela da Santíssima Trindade, e Niterói–Serra da Borborema–Santo Amaro. Apesar de não ser realizado, esse plano foi a primeira contribuição para uma política viária nacional.

- O "**Plano Moraes**" visualizava a rede geral de hidrovias potenciais do Brasil e propunha que determinadas obras poderiam estabelecer uma rede fluvial que ligasse até os pontos mais afastados do país.
- O "**Plano Queiroz**" considerava o uso do Rio São Francisco, aproveitamento da rede de ferrovias existente e a criação de uma linha central de Leste a Oeste.
- O "**Plano Rebouças**" aproximava a forma do país a um triângulo, imaginando linhas ferroviárias transversais na direção Leste–Oeste ligadas por linhas auxiliares.
- O "**Plano Bicalho**" e o "**Plano Bulhões**" enfatizavam as hidrovias nacionais.
- O "**Plano Geral de Viação**" propôs novas ferrovias a fim de dar acesso ao interior do país com a ajuda das hidrovias.

A indústria automobilística data do fim do século XIX e início do século XX, influenciando tanto os padrões de consumo quanto o transporte. Desde cedo os automóveis ajudaram na ocupação de território novo, indo além do sistema ferroviário já existente (LESSA; PEREIRA, 2011). É visível como a exigência dessa indústria por infraestrutura rodoviária foi impactante no *slogan* do presidente Washington Luís: "Governar é abrir estradas."

Lessa; Pereira (2011) apontam os três primeiros planos para a expansão rodoviária no Brasil:

- O "**Plano Catramby**", que propunha a construção das rodovias sobrepostas às ferrovias existentes;
- o "**Plano Luiz Schnoor**", que propunha a construção da nova rede rodoviárias considerando a capital (do Brasil) que seria no Planalto Central;
- e o "**Plano da Comissão de Estradas de Rodagem Federal**", que propôs a nova rede de estradas atravessando o Planalto Central, mas concentrada no centro-sul e nordeste do país.

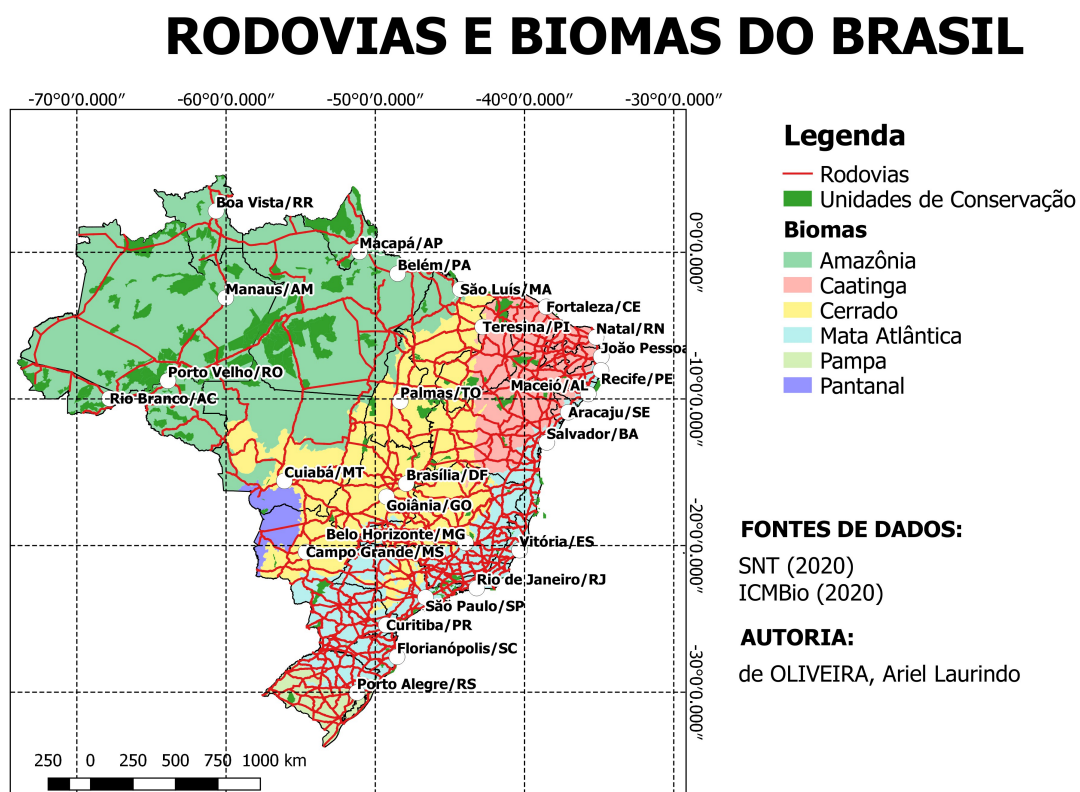
Para o país, a incorporação e valorização de uma região nova requer investimento no transporte, que dará acesso à matéria-prima e à mão-de-obra além de prover a integração entre unidades. Barat (1969) comenta que é característico de

economias subdesenvolvidas que esses polos sejam isolados economicamente do resto do país e autossuficientes, o que funciona como obstáculo à dinamização da economia em escala nacional.

Contudo, os estudos mencionados são do séc. XX e da década de 2001 respectivamente. Assim, mesmo servindo como base para entender o desenvolvimento rodoviário do Brasil, não representam com exatidão o estado atual das rodovias do país.

O mapa na Figura 1 mostra a presença de rodovias federais e estaduais no Brasil em cada bioma. O mapa deixa visível a concentração de rodovias na Mata Atlântica, que é parte do Sudeste e do Sul, e na Caatinga, no Nordeste do país. Esse mapa também confirma a presença de rodovias em Unidades de Conservação – UC em vários pontos do país.

Fig. 1.



A Tabela 1, por sua vez, estima a área de influência de rodovias (federais e estaduais). Os dados foram elaborados por Banhos et al. (2018) para estimar o sequestro de carbono caso toda a área fosse reflorestada, mas também serve para estimar o impacto de uma rodovia federal ou estadual calculando a área de um

bioma que esteja a 30 metros dessas rodovias.

Tabela 1. Área marginal (*buffer* de 30 m) a Rodovias por Bioma do Brasil.

Bioma	Área Total (ha)	Área marginal a Rodovias (ha)	Área marginal a Rodovias (%)
Amazônia	423.835.967,99	59.966,95	0,01%
Mata Atlântica	120.128.058,24	234.258,96	0,20%
Cerrado	212.529.991,78	174.782,58	0,08%
Caatinga	84.230.260,58	98.029,68	0,12%
Pantanal	16.009.977,10	1.994,22	0,01%
Pampas	20.696.874,37	16.547,71	0,08%

Fontes: adaptado de Banhos et al. (2018); Instituto Chico Mendes de Biodiversidade – ICMBio (2020).

Entre os biomas discutidos neste trabalho, a Amazônia é o com a menor área relativa próxima a rodovias, e a Mata Atlântica é a mais afetada tanto em área nominal à margem de rodovias (ha) quanto em área relativa (%). Isso é um agravante ao seu estado precário de preservação. Apesar de ter apenas 0,01% de sua área a 30 m de uma rodovia, a Amazônia está vulnerável a diversos outros impactos que serão discutidos neste trabalho. A vegetação mais afetada, isto é, com mais área adjacente às rodovias foi a Floresta Ombrófila Densa, devido à sua presença dominante na região com a maior densidade de rodovias. Já a vegetação mais afetada proporcionalmente pelas rodovias foi o mangue, no litoral. Ambas vegetações são características da Mata Atlântica (BOSCOLO et al., 2013). A presença da rodovia aumenta a acessibilidade a áreas preservadas, fomentando a ocupação da terra para moradia e agricultura (CERQUEIRA et al., 2006; FEARNSSIDE, 2005). 20 Unidades de Conservação – UC da Mata Atlântica são perturbadas por rodovias, como o Parque Estadual Serra do Mar (PESM) e 11 UCs do Cerrado, como o Parque Estadual do Jaraguá (PEJ). A presença de rodovias em UC pode impactar de diversas formas além da ocupação da Terra – por exemplo, com a poluição sonora e a iluminação artificial noturna (BERENDSE et al., 2015; HÖLKER; SCHROER, 2016; TSUBOI; WADA, 2011; BAGER et al., 2012; BRUM et al., 2018; CÁCERES et al., 2012).

Entre as rodovias nacionais do Brasil, vale destacar dez grandes rodovias que atravessam os biomas da Mata Atlântica, Cerrado e Amazônia. Essas rodovias

estão listadas e organizadas da menor para a maior.

10ª – BR-262: Extensão de 2.191 km; atravessa por 4 estados, do Espírito Santo, na Mata Atlântica, a Corumbá, no Pantanal.

9ª – BR-135: Tem 2528 km de extensão; passa por 4 estados, do Maranhão, entre a Amazônia e o Cerrado, a Belo Horizonte, Entre o Cerrado e a Mata Atlântica.

8ª – BR-174: Tem 2888 km; atravessa 4 estados, do Mato Grosso, no Cerrado, até a fronteira com a Venezuela, em Roraima, na Amazônia. Em Roraima passa pela terra indígena Waimiri-Atroarí.

7ª – BR-158: Tem 3470 km; passa por 7 estados, do Pará, na Amazônia, até a fronteira com o Uruguai no Rio Grande do Sul, nos Pampas.

6ª – BR-153: Extensão de 3542 km do Pará, na Amazônia, passa pela capital Brasília, e segue até a divisa com o Uruguai no Rio Grande do Sul, nos Pampas.

5ª – BR-163: Com 4047 km de extensão, passa por 6 estados, do Rio Grande do Sul, na Serra Gaúcha, até o Pará, na Amazônia. Esta rodovia passa pelos maiores produtores de grãos do país no Cerrado.

4ª – BR-230: Conhecida como Transamazônica, tem 4309 km de extensão, desde a Paraíba, na Caatinga, até o Amazonas, na Amazônia. Ainda não é totalmente pavimentada.

3ª – BR-364: Conta com 4309 km, desde o Noroeste de São Paulo, no Cerrado, até o Acre, na Amazônia.

2ª – BR-101: A BR-101 passa por boa parte do litoral do país, na Mata Atlântica. Tem 4482 km de extensão desde o Rio Grande do Norte até o sul do Rio Grande do Sul.

1ª – BR-116: A maior rodovia do país tem 4660 km de extensão, do Ceará, na Caatinga, até a fronteira com o Uruguai, no Rio Grande do Sul, nos Pampas.

Dado que rodovias também têm impacto sobre a sociedade (BARAT, 1969; CERQUEIRA et al., 2006; FEARNSSIDE, 2005), o Departamento de Estradas de Rodagem – DER-SP publicou em seu guia de Procedimentos de Sistemas de Gestão Ambiental (PSGA-003) sugestões de programas socioambientais:

- Programa de Gestão Ambiental do Empreendimento;

- Programa de Controle Ambiental da Construção - PCA;
- Programa de Compensação Ambiental e Plantio Compensatório;
- Programa de Indenização e Reassentamento de Populações;
- Programa de Interação e Comunicação Social;
- Programa de Prospeção e Resgate Arqueológico.

1.2. BIOMAS DO BRASIL

1.2.1. MATA ATLÂNTICA

A Mata Atlântica apresenta-se como um dos biomas mais suprimidos do mundo, com apenas 8% de sua cobertura original restante, e ainda assim também se apresenta como um dos biomas mais biodiversos do mundo, sendo reconhecida como um *hotspot* de biodiversidade (FRANKE et al., 2005). A Mata Atlântica é um bioma formado por uma série de ecossistemas de floresta chuvosa (ombrófila) na América-do-Sul, especialmente próximo do Oceano Atlântico e distinto da mais extensa Floresta Amazônica. Estima-se que o bioma já se estendeu desde o Rio Grande do Norte até o Rio Grande do Sul, incluindo a floresta litorânea, de planície, e de serra, sempre próxima ao mar, às vezes formando um estreito corredor entre a Caatinga e o Oceano. A Mata Atlântica também alcança o Paraguai e extremo Norte da Argentina (da FONSECA et al., 2004). Das 20 mil espécies vegetais da floresta, estima-se que 8 mil sejam endêmicas, isto é, só ocorrem no bioma (da FONSECA et al., 2004). Também se inclui no bioma o arquipélago de Fernando de Noronha. São descritas três vegetações características na Mata Atlântica:

Para os efeitos desta Lei, consideram-se integrantes do Bioma Mata Atlântica as seguintes formações florestais nativas e ecossistemas associados (...): Floresta Ombrófila Densa; Floresta Ombrófila Mista, também denominada de Mata de Araucárias; Floresta Ombrófila Aberta; Floresta Estacional Semidecidual; e Floresta Estacional Decidual, bem como os manguezais, as vegetações de restingas, campos de altitude, brejos interioranos e encaves florestais do Nordeste. (Lei nº 11.428, de 22 de dezembro de 2006, Art. 2º, CAPUT)

Nota-se o papel da altitude na definição da vegetação, estabelecendo a

diferença entre decidual, semidecidual e campos de altitude. Também se reflete na classificação a sua abrangência no Brasil, também incluindo mangue, Mata de Araucárias e brejos interioranos.

1.2.2. CERRADO

O Cerrado é o segundo maior bioma do Brasil, ficando apenas atrás da Amazônia, e a maior savana da América-do-Sul. Ele cobre o planalto central do Brasil e está todo dentro do clima tropical. Assim, experiencia em um ano uma época de chuvas e uma época de seca com 1100-1600 mm de precipitação por ano (CAVALCANTI, et al., 2004), e muitas plantas adaptadas à seca. A época de seca é propícia para a manifestação de fogo natural, bem como antropogênico. A resistência ao fogo é visível na grossura e dureza dos troncos.

O Bioma Cerrado é formado por vegetações savânicas da América do Sul e apresenta as seguintes fisionomias:

I - cerradão: vegetação com fisionomia florestal em que a cobertura arbórea compõe dossel contínuo, com mais de 90% (noventa por cento) de cobertura da área do solo, com altura média entre 8 (oito) e 15 (quinze) metros, apresentando, eventualmente, árvores emergentes de maior altura;

II - cerrado “stricto sensu”: vegetação de estrato descontínuo, composta por árvores e arbustos geralmente tortuosos, com altura média entre 3 (três) e 6 (seis) metros, com cobertura arbórea de 20% (vinte por cento) a 50% (cinquenta por cento), e cobertura herbácea, no máximo, de 50% (cinquenta por cento) da área do solo;

III - campo cerrado: vegetação composta por cobertura herbácea superior a 50% (cinquenta por cento), e com cobertura arbórea de, no máximo, 20% (vinte por cento) da área do solo, com árvores tortuosas de espécies heliófitas, tolerantes a solos muito pobres e ácidos, com idênticas características e espécies encontradas no cerrado “stricto sensu”, porém, de menor porte, além de subarbustos e árvores com caules subterrâneos;

IV - campo: vegetação predominantemente herbácea e, eventualmente, com árvores no formato arbustivo, cuja paisagem é dominada principalmente por gramíneas e a vegetação lenhosa, quando existente, é esparsa. (Lei nº 13.550, de 02 de junho de 2009, Art. 2º)

A diversidade dentro do bioma deve-se principalmente às condições do solo. O Cerrado é caracterizado por ser uma savana com uma camada de grama alta,

árvores pequenas, Latossolo Vermelho Amarelo (CAVALCANTI et al., 2004). As galerias de floresta presentes não são consideradas típicas do Cerrado, mas têm um papel importante na manutenção da biodiversidade do bioma, servindo de refúgio e rota para a fauna. Quanto à diversidade vegetal, estima-se que o Cerrado seja formado por 10 mil espécies de plantas, das quais 4400 sejam endêmicas (CAVALCANTI et al., 2004).

Em um estudo entre os anos de 2014 e 2015 ao longo de rodovia no estado de Goiás ao redor da cidade de Jataí buscando avaliar os atropelamentos de animais na estrada, os números apontavam relação com a economia local, largura da rodovia e intensidade do tráfego (MELO et al., 2017), confirmando a hipótese de que a probabilidade de colisões acompanha a intensidade do trânsito. Casella; Filho (2013) estudaram um trecho da rodovia BR-262 entre as cidades de Campo Grande e Miranda, ao longo do qual visualizaram a perda de vegetação próxima à rodovia entre os anos de 1985 e 2001. Embora as estimativas sejam de que o Cerrado perca em torno de 1% de vegetação por ano, sumindo do mapa em 2030, os dados do estudo indicam que o desmatamento é mais intenso próximo à rodovia, antecipando o desaparecimento do Cerrado (CALDAS et al., 2004).

1.2.3. AMAZÔNIA

A Amazônia está em grande parte em terras baixas e corresponde à maioria das terras baixas brasileiras, entre o planalto das Guianas, ao Norte, o Planalto Central, ao Sudeste e os Andes ao Oeste (AB'SÁBER, 1965). É caracterizada por planície de inundação e baixos platôs arenosos. As planícies abrigam rios meândricos e drenagem perene (AB'SÁBER, 1967). Quanto ao solo, ainda, predominam os silticos argilosos vermelhos e arenitos médios e finos, com referências a atividade vulcânica no passado (AB'SÁBER, 1965).

A Amazônia brasileira pode ser geoeologicamente dividida em Baixo Amazonas (ou Golfão Marajoara), Amazonas Central (ou Médio Vale do Amazonas), e Solimões (ou Médio Vale Superior do Amazonas). Também se pode ainda entender a Amazônia como o conjunto de formações de floresta de acordo com sua altitude e distância do rio. A Mata de Igapó, do tupi antigo para *raiz d'água* – 'y(g) + apó (NAVARRO, 2013) é a parte mais baixa e alagada, caracterizada por plantas aquáticas e cipós. Em áreas pouco mais elevadas, encontram-se as Várzeas,

inundadas periodicamente nas cheias dos rios. Nessas áreas as árvores costumam ter em torno de 20 metros de altura. E, por fim, em altitudes maiores, onde não ocorre inundação mesmo em época de cheia, está a Terra Firme. As árvores são mais altas, com até 60 m de altura, e copas que projetam sombra sobre o solo, não dando espaço para plantas menores (AB’SÁBER, 2002).

Em um estudo extenso do manejo da Floresta Amazônica no encontro de três nações sul-americanas (Brasil, Bolívia e Peru) por Alverga et al. (2015), apontou-se que a diferença no estado da floresta é coerente com a história de cada país. Por exemplo, na Bolívia, as comunidades voltadas ao uso sustentável da floresta se refletem na densidade de biomassa na superfície, isto é, cobertura vegetal, em áreas ainda inexploradas e no estado das rodovias ainda de aparência jovem. No Peru, às margens das estradas encontram-se comunidades voltadas à agricultura e exploração da madeira, refletida na menor densidade de biomassa na superfície, isto é, menor cobertura vegetal e mais solo exposto. No Acre, no Brasil, há uma diversidade de manejos da floresta, de concessões a regulações para exploração extrativista da floresta e comunidade rurais e até urbanas. Acompanhando a evolução da floresta ao longo do crescimento de rodovias, já foi possível estudar os impactos sobre a floresta, mas também socioeconômicos. Em rodovias pavimentadas, os impactos humanos dão-se pela densidade demográfica e viagem à cidade, enquanto que em rodovias não-pavimentadas o estado da floresta ainda é principalmente derivado da evapotranspiração e umidade do solo (CAMPOS-BESCOS et al., 2018). A pavimentação também acentua o impacto da temperatura, por exemplo, sobre a germinação.

A expressão da cartografia “área crítica” pode referir-se, na Amazônia, às áreas ao redor das grandes cidades da Amazônia, como Belém (Pará) e Manaus (Amazonas), ou áreas não tão expressivas, mas de grande crescimento, como Santarém (Pará) e Porto Velho (Rondônia), áreas impactadas por grandes projetos de mineração e exportação, como Carajás (Pará), áreas próximas a usinas hidrelétricas, como Tucuruí (Pará), etc. As áreas críticas da Amazônia são restritas e descontínuas (AB’SÁBER, 1989), e por isso são diversas e de necessidades também diversas.

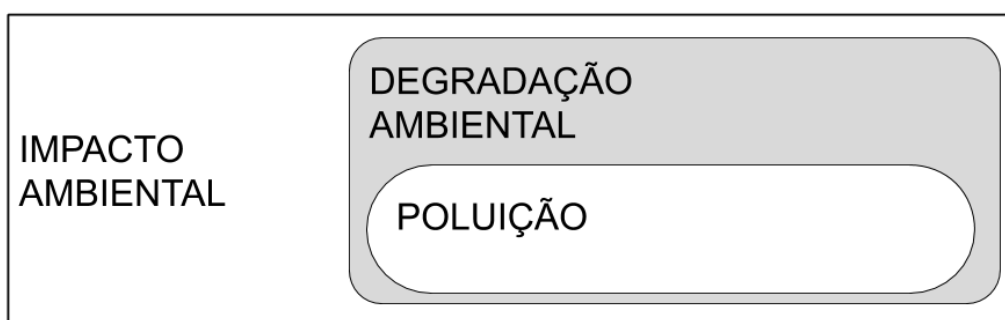
1.3. AVALIAÇÃO DE IMPACTO AMBIENTAL

1.3.1. ECOLOGIA DE ESTRADAS

A Ecologia de Estradas é a especialização da ecologia voltada a estudar os efeitos da infraestrutura viária, isto é, rodovias e ferrovias, sobre os ecossistemas, incluindo o impacto sobre as populações e comunidades dos biomas e os impactos sociais na população humana (Centro Brasileiro de Estudos em Ecologia de Estradas – CBEE).

Para entender o objetivo das medidas de mitigação, é necessário antes entender os conceitos de impacto e degradação ambiental. É possível ilustrar as definições com um diagrama como o da Figura 2.

Fig. 2. Definição de Impacto e Degradação Ambiental.



Fonte: Autor.

Por impacto, entenda-se qualquer alteração no ambiente, seja positiva ou negativa. Esse impacto é relacionado a uma causa e a um aspecto ambiental. A causa é a atividade humana específica, a qual provoca um aspecto ambiental, que é a interface entre a causa e o impacto final, e o resultado é o impacto. Esse impacto, por sua vez, caso seja danoso ao ecossistema ou à saúde humana, é considerado degradação ambiental. Assim, toda degradação ambiental está dentro da definição de impacto ambiental, mas não são todos os impactos ambientais que também são degradação ambiental. Um exemplo de degradação ambiental é a poluição, que se refere à inserção de matéria ou energia nociva no ambiente (SÁNCHEZ, 2013; Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA Resolução 001 de 1986; do AMARAL et al., 2017). Então a poluição é um tipo de degradação ambiental, mas outros tipos de degradação ambiental além da poluição existem. A Figura 3.

exemplifica essas definições como eventos que acontecem em sequência.

Fig. 3. Diagrama Causa–Aspecto Ambiental–Impacto Ambiental.



Fonte: Autor.

As Avaliações de Impacto Ambiental (AIA) são ferramentas bastante úteis para identificar, prever, evitar ou mitigar os impactos negativos das rodovias. Porém, no Brasil, se critica a falta de um objetivo claro nas AIAs (BARBOSA et al., 2019; COELHO, et al., 2016). Para o licenciamento da duplicação de rodovias, por exemplo, não se costuma explorar informações de mortalidade da fauna e tampouco as medidas de mitigação cabíveis (COELHO, et al., 2016). O Licenciamento Ambiental é obrigatório no Brasil para estradas de rodagem de acordo com o art. 2º da resolução CONAMA 1/86, e exige a Avaliação de Impacto Ambiental como instrumento da Política Nacional do Meio Ambiente, por sua vez prevista na Lei 6938/81 (Art. 9º, inciso IV).

Dependerá de elaboração de estudo de impacto ambiental e respectivo relatório de impacto ambiental - RIMA, a serem submetidos à aprovação do órgão estadual competente, e do IBAMA em caráter supletivo, o licenciamento de atividades modificadoras do meio ambiente, tais como:

I - Estradas de rodagem com duas ou mais faixas de rolamento;

II - Ferrovias; (...) (CONAMA Resolução 1/86, Art. 2º)

Assim, a ineficácia da metodologia para o licenciamento ambiental também prejudica o próprio setor de construção, atrasando a entrega do produto e aumentando os gastos.

A avaliação do impacto da rodovia deve ir além da AIA comumente exigida, que enfoca listas de populações afetadas. Para melhor informar a tomada de decisões, a AIA deve também explorar a evolução da mortalidade por causas distintas ao longo do tempo e do comprimento da rodovia. Além disso, metodologias distintas devem ser utilizadas para julgar a eficiência de medidas mitigadoras,

fazendo estudos com grupo controle e avaliando os dados antes e depois da medida em estudo. O resultado de metodologias mais aprimoradas na tomada de decisões quanto ao licenciamento ambiental, porém, depende da regulação. Tal regulação deve também ser aprimorada e tornar-se mais clara quanto ao tipo de estudo que deve fazer parte da AIA (BARBOSA et al., 2019).

Jaeger et al. (2016), revisando 140 estudos entre 1981 e 2015 sobre a eficácia de medidas de mitigação, encontraram informação redundante em 47% dos estudos escolhidos (42 estudos), amostra insuficiente ou informação insuficiente em outros 44 estudos. A maior parte dos estudos escolhidos mencionava a preocupação com a travessia dos animais, aplicando cercas e passagens subterrâneas e, menos frequentemente, refletores e sistemas para a detecção dos animais.

Uma análise das AIAs ao longo do tempo mostra que a abrangência e profundidade das avaliações vêm aumentando com o tempo (LANDIM; SÁNCHEZ, 2012). Entrevistando reguladores e consultores sobre a evolução das AIAs, esses pesquisadores apontam que cinco fatores avançaram ao longo do tempo: a capacidade técnica dos consultores, as políticas e padrões de qualidade adotados no próprio projeto, avanços na legislação, termos de referências para Estudos de Impactos Ambientais (EIA) mais detalhadamente preparados, e a obrigatoriedade de prover informação complementar para promover aprendizado entre cada estudo. Clientes das empresas de consultoria também apontam o preço como fator crucial na decisão da abrangência e profundidade dos EIAs. Contudo, Landim; Sánchez concluem que o maior motivador para as mudanças são a legislação e a regulação, e sua hipótese de que políticas adotadas no próprio projeto pelos clientes tenham causado a evolução da profundidade e abrangências dos EIAs não demonstrou evidências suficientes.

Quanto aos impactos das rodovias, podem-se segregar em fragmentação, isto é, a presença de estradas causa descontinuidade entre fragmentos de florestas; efeito barreira, em que a estrada age como um muro isolando a fauna dos dois lados, promovendo o isolamento entre populações, limitando a diversidade genética, mas também tornando alguns recursos inacessíveis a algumas populações, como fontes de água, áreas de reprodução, etc.; introdução de espécies exóticas, isto é, a estrada serve como meio que liga espécies de fauna e flora de ecossistemas

distintos, permitindo a introdução de espécies não-nativas, podendo por em risco o desenvolvimento das espécies nativas (ABRA et al., 2013; MATA et al., 2013). Há também os impactos como a caça e o desmatamento, uma vez que a presença de rodovias promove a ocupação do espaço ao seu redor, bem como o acesso à mata para a caça de espécies silvestres (do AMARAL et al., 2017). O impacto mais expressivo, porém, da presença de rodovias são os atropelamentos (BENNETT, 2017). Animais podem ser atraídos para as rodovias de diversas formas, por luzes e sons, e são vulneráveis a serem atropelados ou por acidente ou propositalmente (do AMARAL et al., 2017 ; BENNIE et al., 2015; HÖLKER; SCHROER, 2016).

Revisando 19 estudos entre os trópicos, sua maioria no Brasil, e mais 26 fora dos trópicos, sua maioria nos Estados Unidos, d'Anunciação et al. (2013) encontraram que a quantidade de espécies de anfíbios afetadas era mais acentuado fora dos trópicos, e que o número de atropelamentos era até 10 vezes maior fora dos trópicos do que dentro dos trópicos.

Os órgãos responsáveis pela manutenção das estradas também têm o papel de disponibilizar e instalar sinalização e redutores de velocidade, como radares, sonorizadores e placas que alertam a presença de animais na pista. As passagens de fauna também é uma possibilidade de mitigação, fazendo o papel que uma passarela faria para a fauna local, promovendo a locomoção entre áreas anteriormente isoladas sem tornar os animais vulneráveis a acidentes. O estudo e a decisão sobre a instalação de passagens de fauna também é papel do órgão responsável pela rodovia.

Mitigação é o termo usado na Engenharia Ambiental para referir-se às ações que impedem, diminuem, evitam e até compensam impacto ambiental. O Ato Ambiental Nacional dos Estados Unidos – NEPA (CFR 1508.20) e a Diretiva da União Europeia (DIRECTIVA 2011/92/UE do Parlamento Europeu e do Conselho) definem a mitigação como uma atividade que:

- **evita** o impacto ao não realizar determinada atividade;
- **minimiza** o impacto ao limitar o grau ao que a atividade é realizada;
- **corrige** o impacto reparando, reabilitando ou restaurando o ambiente afetado;
- **reduz** ou elimina o impacto ao longo do tempo com operações de manutenção ao longo da operação do empreendimento;

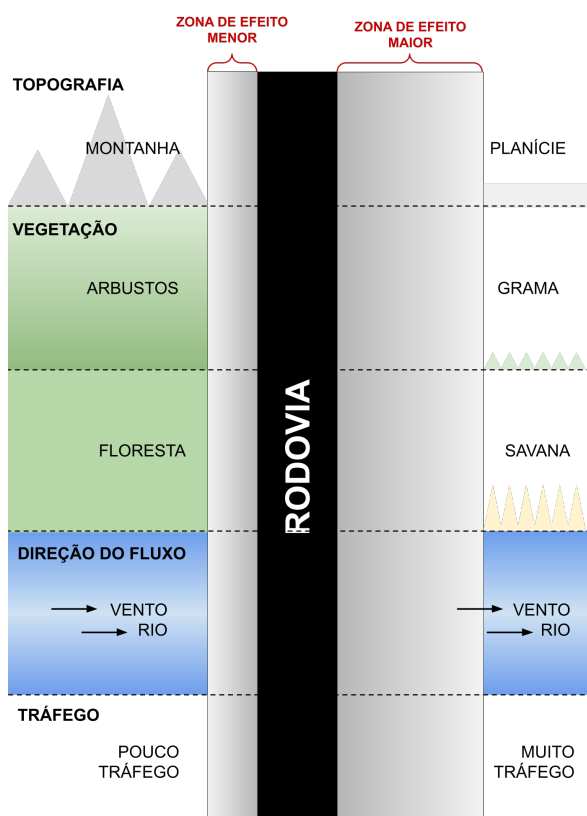
- **compensa** pelo impacto substituindo ou oferecendo recursos alternativos ou ambientes.

Existem outras abordagens à mitigação. Para o Licenciamento Ambiental no Brasil, são exigidas medidas de mitigação e compensatórias, e o Instituto Chico Mendes de Biodiversidade – ICMBio enxerga tais medidas como **preventivas**, **mitigadoras** e **compensatórias**, e as atribui a característica de serem proativas ou reativas – isto é, que evitam o impacto ou que remediam os impactos. O DER-SP (2007) dá instruções para a preservação ambiental em obras rodoviárias, e dentro do seu guia Procedimentos de Sistemas de Gestão Ambiental (PSGA-003) prevê que as medidas preventivas, corretivas e mitigadoras devem ser fiscalizadas.

1.3.2. IMPACTOS AMBIENTAIS DE RODOVIAS

Embora o estudo de Banhos et al. (2018) tenha estimado 30 m para a margem de rodovias no Brasil, a área de impacto depende de características da rodovia e do ambiente ao seu redor. Alguns fatores que ditam essa variabilidade estão ilustrados na Figura 2 (ALEXANDER; FORMAN, 1998; GRILO et al., 2015b):

Fig. 4. Variação da Zona de Efeito de uma Rodovia.



Fonte: adaptado de Alexander; Forman (1998).

Na figura, é possível visualizar os fatores que limitam ou intensificam os impactos que a rodovia traz. Primeiramente, quanto ao relevo, planícies e outras áreas abertas são propícias para os impactos se estenderem, assim como grama baixa e áreas de savana. Já áreas montanhosas e florestadas diminuem a distância de alcance do impacto – por exemplo, a iluminação artificial. Quanto a emissões e efluentes, o sentido do vento e do curso d'água dita a dispersão de poluentes. Por fim, quanto maior o tráfego, mais intenso o impacto – por exemplo, da poluição sonora (ALEXANDER; FORMAN, 1998; GRILO et al., 2015b).

No Brasil, são reconhecidas três áreas da menor para a maior de impacto (CONAMA, Resolução nº 305 de 2002, Anexo I, Glossário; do AMARAL et al., 2017):

- **Área Diretamente Afetada (ADA)** – Onde o empreendimento será implantado; estruturas de apoio, vias de acesso, local de trabalho, armazenamento, distribuição de insumos, etc. Impactada por perda de vegetação, de hábitat, emissões, efluentes e resíduos sólidos.
- **Área de Influência Direta (AID)** – Área afetada pela existência do projeto; onde ocorrerão os impactos de perda de hábitat, poluição, etc.
- **Área de Influência Indireta (AII)** – território afetado pelo projeto em menor intensidade; contexto em que foi instalado o empreendimento; bacia hidrográfica, bairros e municípios adjacentes.

Os principais fatores de impacto sobre a biodiversidade são o uso e ocupação das terras, mudanças climáticas, poluição, fragmentação de hábitats, e infraestrutura (ALKEMADE et al., 2010; do AMARAL et al., 2017; ARIDE et al., 2012; COFFIN, 2007; GEOTEC, 2018). O crescimento das redes viárias traz consigo o crescimento da evidência de seu impacto negativo sobre o meio ambiente e seu papel na perda de biodiversidade no planeta. A expansão das redes de transporte pelo mundo é uma das principais ameaças a ecossistemas tropicais, e o Brasil tem investido massivamente na pavimentação e infraestrutura viária como um todo (COELHO et al., 2016). Assim, faz-se necessária a mitigação dos maiores impactos das estradas na vida silvestre: mortalidade e isolamento (COELHO et al., 2016). Os impactos mais relatados no caso de rodovias são a perda de hábitat, isolamento de populações, efeito barreira, mortalidade na estrada e maior acesso das pessoas a

áreas anteriormente inacessíveis (ALKEMADE et al., 2010). Por exemplo, Coelho et al. (2012) descobriram uma ligação entre a iluminação artificial noturna e o atropelamento do sapo-cururu (*Rhinella icterica*) devido à concentração dos anfíbios em lugares iluminados em busca de insetos para se alimentar. A luz artificial, por si só, altera a reprodução de aves e artrópodes de maneiras diversas, como na mudança na percepção de atração entre indivíduos e na produção de feromônios (PAUWELS, 2018; BERENDSE et al., 2015). ALONSO et al. (2011) também encontraram que as rodovias colaboram com a diminuição do hábitat de uma espécie. Segundo o trabalho, mesmo que a população não diminua em números, a fragmentação leva a menor diversidade genética, o que deixa a espécie mais vulnerável a mudanças do ambiente.

Além dos impactos sobre a parte biótica dos ecossistemas, as rodovias causam outros impactos ao ambiente. Áreas urbanizadas e com rodovias são caracterizadas por temperaturas mais altas. Isso se deve às características do asfalto de absorver calor e ao surgimento de ilhas de calor (ARÉVALO et al., 2007; CAMBRIDGE SYSTEMATICS, 2005). O aumento da temperatura também se dá a nível global pela aceleração do aquecimento global. As rodovias o aceleram tanto em sua construção na produção só asfalto quanto durante a operação com o tráfego diário (CHEN et al., 2007; GU et al., 2018; SHAPLEY, 2011; WEBB, 2020). Em seu parecer sobre as obras na rodovia SP-99 (Rodovia dos Tamoios), a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB (2013) lista alguns componentes ambientais impactados:

SOLO – A obra, que conta com mais de 12 km de túneis e a duplicação do trecho de serra, pode intensificar os processos de dinâmica superficial e instabilizar encostas. Apesar de suas vantagens, a escavação de túneis pode desencadear deslocamento de material e alterar a estabilidade da rocha.

ÁGUAS SUPERFICIAIS – Devido à obra, mais solo estará exposto durante a época de chuvas, como áreas de terraplanagem, bota-fora e em especial as escavações do túneis. Assim, poderá ocorrer o carregamento de particulados a cursos d'água próximos, levando ao aumento da turbidez. As águas residuárias das atividades da obra também podem contaminar os corpos hídricos da região.

Outro impacto causado pela rodovia é sobre a paisagem. Em 1996, a rodovia

BR-174, do Mato Grosso até a fronteira com a Venezuela, em Roraima, foi asfaltada, porém a mesma rodovia represou cursos d'água locais, atraindo banhistas e sitiante para suas proximidades. Vale lembrar que a rodovia atravessa o território indígena Waimiri-Atroari. A longo prazo, isso levou à colonização da região (ARIDE et al., 2012).

2. JUSTIFICATIVA

A Mata Atlântica é um dos biomas mais suprimidos do Brasil (CÂMARA; GALINDO-LEAL, 2003) e é cruzada por grandes rodovias, incluindo a Rodovia Presidente Dutra, ligando as duas maiores metrópoles do país. É um bioma de grande biodiversidade (BEDÊ et al., 2005) e, com o aumento populacional (de CARVALHO, 2004), mais infraestrutura será necessária, aumentando a perturbação sobre os ecossistemas (CÂMARA; GALINDO-LEAL, 2003), potencialmente deslocando e pondo em risco espécies endêmicas ou únicas em seu nicho na fauna. Igualmente, outros biomas brasileiros, como o Cerrado (CHAVEIRO, 2010; QUEIROZ, 2009) e a Amazônia (GOMES et al., 2014) contam com faunas diversas constantemente perturbadas por grandes rodovias.

As mudanças em populações próximas a rodovias já têm sido reportadas por vários estudos. A maior parte dos estudos sobre atropelamentos de anfíbios foi realizada em países desenvolvidos e de clima temperado, parâmetros nos quais a maior parte do território do Brasil não se encaixa (COELHO et al., 2012). Também são conhecidos estudos sobre o impacto da iluminação artificial noturna, mas pouco se estuda sobre ela no Brasil. O pouco que é estudado a respeito dela no país é majoritariamente em relação às tartarugas marinhas (BENNIE et al., 2015; HÖLKER & SCHROER, 2016; SILVA, 2001).

O atropelamento de animais de mais de 1 kg, segundo os estudos, preocupa devido às ocorrências de atropelamentos de espécies em risco de extinção, como o tamanduá-bandeira (*Myrmecophaga tridactyla*), de predadores importantes, como a onça parda (*Puma concolor*), e de espalhadores de sementes, como o saruê (*Didelphis spp.*) (BAGER et al., 2012; BRUM et al., 2018; BUENO & MOTTA-JUNIOR, 2004; CÁCERES, 2002; CÁCERES et al., 2012; CAVALCANTI et al., 2004; da FONSECA et al., 2004).

Além da mortalidade da fauna, os biomas do Brasil sofrem com a crescente

expansão do desmatamento influenciada pelas rodovias no Cerrado e na Amazônia (FEARNSIDE, 2005; FEARNSIDE; GRAÇA, 2009).

Quanto à coleta de dados necessários para avaliar impactos e propor ações mitigadoras, deve haver um planejamento no monitoramento das populações (ALKEMADE et al., 2010). Coletar dados sem planejamento adequado pode gerar informações sobre a comunidade, mas não serve de base para avaliar impactos e possíveis medidas mitigadoras. Igualmente, aprimorar a avaliação de impactos ambientais não é o suficiente, mas é necessário unir as partes do projeto na tomada de decisões.

Pesquisa voltada às necessidades práticas de mitigação tende a aumentar a importância da ecologia de estradas para tomar decisões quanto ao licenciamento ambiental e o planejamento de rodovias como um todo (BENNETT, 2017). Entretanto, simplesmente aprimorar as Avaliações de Impacto Ambiental com base em pesquisa científica não faz com que o processo de licenciamento ambiental em si seja mais efetivo. Demanda-se a integração entre profissionais de diferentes áreas.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GERAL

Identificar e avaliar os principais impactos de rodovias nos ecossistemas do Brasil, levantar medidas de proteção de diferentes graus de eficiência e apontar possíveis soluções para problemas ainda enfrentados.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Este trabalho busca levantar os diversos tipos de impactos que rodovias podem trazer ao meio ambiente, seus mecanismos e variáveis. Também se aponta quem é mais impactado pelas rodovias.

Este trabalho também busca listar as medidas de mitigação disponíveis para esses impactos e encontrar estudos que mostrem se são eficazes para visualizar a relação mitigação x impacto em forma de tabela. Também tem-se como objetivo avaliar quais são as opções mais propícias para o contexto dos problemas ambientais causados por rodovias no Brasil.

4. METODOLOGIA

Levantamento bibliográfico de pesquisas e meta-análises do impacto de rodovias na fauna e das medidas de mitigação. Foram usados trabalhos em português e inglês. Os termos da pesquisa nos bancos de dados são: **Ecologia de Estrada, Road Ecology e Rodovias do Brasil**. Foram selecionados artigos desde os mais recentes até 1990. Os artigos escolhidos foram: entre os referentes ao Brasil, aqueles que se tratam dos biomas da Mata Atlântica, Cerrado e Amazônia; entre os estrangeiros, aqueles que se tratam de impactos ou de medidas de mitigação para impactos que também foram estudados no Brasil.

Para complementar a pesquisa incluíram-se artigos mais antigos republicados no livro “A Obra de Aziz Ab’Sáber” (BARTORELLI, A., 2010) e um artigo sobre a história das rodovias do Brasil chamado “O Investimento em Transporte como Fator de Desenvolvimento Regional – uma Análise da Expansão Rodoviária no Brasil.” (BARAT, J., 1969).

Bases de dados:

- Science Direct;
- CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior;
- Oecologia Australis/UFRJ;
- SIBi - Sistema Integrado de Bibliotecas/USP;
- Springer;
- NCBI - National Center for Biotechnology Information;
- CBEE - Centro Brasileiro de Ecologia de Estradas/UFLA.

Na análise dos dados, cada artigo foi avaliada de acordo com seu foco de estudo: impacto ou mitigação. Assim, as informações foram extraídas de cada artigo da seguinte forma:

FORMULÁRIO

1) Qual o assunto?

-impacto

-mitigação

2) Onde? Se no Brasil, qual bioma?

3) Quais as espécies em foco?

PARA IMPACTOS

- 4) Qual o impacto estudado?
- 5) Quais as variáveis relevantes nos resultados?
- 6) Alguma variável irrelevante?

PARA MITIGAÇÃO

- 7) Qual a medida de mitigação estudada?
- 8) Qual o estudo feito?
- 9) Funcionou?
-sim
-não
- 10) Se não funcionou, por quê?
- 11) Alguma sugestão para o futuro?

5. RESULTADOS ENCONTRADOS

5.1. IMPACTOS SOBRE A BIOTA

Rodovias causam impactos em diferentes graus ao longo do seu trecho e que se estendem a até quilômetros de suas margens (CERQUEIRA et al., 2006; FEARNSIDE, 2005). Rodovias que passam por florestas e Unidades de Conservação, como são os casos da SP-99, BR-174 e SP-613 (CETESB, 2013; ARIDE et al., 2012; de FARIA; PIRES, 2012) causam drásticas mudanças no ambiente com iluminação, poluição sonora, emissão de gases, atropelamentos e mudança do uso da terra (ABRA et al., 2013; AGUIAR et al., 2017; BAGATINI, 2006; BAGER et al., 2012; BENNIE et al., 2015; CERQUEIRA et al., 2006; FEARNSIDE, 2005; GEOTEC, 2018; HÖLKER et al., 2010; HÖLKER; SCHROER, 2016; PAUWELS, 2018).

Os impactos sobre a fauna são relevantes devido ao seu papel na manutenção da biodiversidade. Os nichos e benefícios que os animais oferecem ao bioma – regulação da população e, em especial, o espalhamento de sementes e a polinização (DANIELS et al., 2015). Entre 60 e 90% das espécies de plantas tropicais são zoocóricas, isto é, suas sementes são dispersas por animais (ABRA et al., 2013). É importante saber prever e observar os impactos para elaborar as medidas de mitigação adequadas.

O caso da SP-613, que atravessa a UC do Parque Estadual do Morro do

Diabo – PEMD, após medir-se a emissão de gases dos veículos que transitam nela, é possível planejar uma diminuição de emissão de Gases do Efeito Estufa – GEE de até 80%. Enquanto isso, devido à falta de planejamento, o uso de refletores para afastar a fauna, com o propósito de diminuir atropelamentos, foi totalmente ineficiente (de FARIA; PIRES, 2012).

5.1.1. ATROPELAMENTOS

A Rodovia SP-99 (Rodovia dos Tamoios), que liga São José dos Campos a Caraguatatuba, no litoral de São Paulo, é toda inserida no bioma da Mata Atlântica, com um trecho na Serra do Mar, em Unidade de Conservação (CETESB, 2013). Desde 2015, a Concessionária responsável pela rodovia busca, entre suas medidas de mitigação, conscientizar sobre o atropelamento de animais, como está representado no cartaz da Figura 5.

Fig. 5. Campanha de Conscientização sobre Atropelamentos de Animais.



Fonte: Concessionária Tamoios.

Com o aumento da conscientização quanto aos impactos causados por rodovias, vem surgindo uma demanda por estudos mais minuciosos. Embora a primeira impressão possa ser de que aves não correm grande risco de atropelamento pela sua capacidade de voar, os dados mostram que elas ainda estão entre os grupos mais atingidos e subestimados (AGUIAR et al., 2017; BAGATINI, 2006; BAGER et al., 2012; BRUM et al., 2018; GRILO et al., 2015a; PAUWELS, 2018). ARIDE et al. (2012) comenta sobre a presença de aves na rodovia BR-174 nas proximidades de Manaus-AM atrás dos restos mortais de animais atropelados, como o urubu (*Coragyps atratus*). Segundo Bagatini (2006), aves de copa podem cruzar rodovias sem problemas, mas, para aves de sub-bosque, isto é, que voam mais baixo, elas são como muros. Além disso, a ocupação

das áreas marginais da rodovia altera seu hábitat com construções e mesmo com a agricultura, força as aves a migrarem e fomentam a caça. Aguiar et al. (2017) conduziram enquetes a cada 14 dias ao longo de 114 km de nove rodovias no Cerrado próximo a Brasília ao longo de 5 anos, de abril de 2010 a março de 2015 (480 enquetes). Nesse período, 4422 atropelamentos foram contabilizados (apenas animais silvestres), em sua maioria aves (71%). Medidas pontuais de mitigação, isto é, túneis e passarelas em apenas um ponto, e não contínuas, não tendem a ser satisfatórias, mas medidas sazonais de limite de velocidade para controlar o tráfego e a observação do comportamento dos animais são mais promissoras (GIBBS et al., 2012). COELHO et al. (2012) buscaram correlações entre diversos fatores e o atropelamento em um trecho de 4,4 km da rodovia estadual ERS-389 próximos à reserva de Itapeva, na Mata Atlântica. O estudo contou até 1433 atropelamentos em 13 espécies distintas, mas a maioria não teve a espécie identificada (54,7%), e calculou 9002 atropelamentos $\text{km}^{-1} \text{ano}^{-1}$. A família *Leptodactylidae* (rã) foi a mais representada nos números (35,7%), e a espécie mais representada foi *L. latrans* (18,9%). Para as espécies, a taxa de mortalidade mostrou-se uma função da temperatura e da precipitação: mais atropelamentos em períodos de chuva e calor, como no verão. Para o sapo-cururu (*R. icterica*), os atropelamentos foram maiores em trechos iluminados artificialmente. O atropelamento também aumenta quando os cadáveres na rodovia atraem espécies necrófagas e carnívoras atrás de comida, como o urubu (*C. atratus*), o gavião-carrapateiro (*Milvago chimachima*), o caracará (*Polyborus plancus*) e o gavião-de-anta (*Daptrius ater*), e acabam sendo atropeladas, perpetuando o aumento de atropelamentos (ABRANTES et al., 2018; ARIDE et al., 2012).

Em um trecho de 13 km da MG-354, entre Lavras-MG e Ingaí-MG, a rodovia tem 20 m de largura e em média 250 veículos dia^{-1} ; a altitude é entre 900 e 1200 m, e é caracterizada por uma paisagem de transição entre Mata Atlântica, Cerrado e campos rupestres (BAGER et al., 2012). Quando observadas as taxas de atropelamento, elas se concentram no verão, e a maioria (87%) dos indivíduos atropelados têm peso menor que 500 g, que são dados similares a outros estudos de atropelamentos de animais mesmo havendo um número reduzido de anfíbios. O estudo justifica o baixo número anfíbios pela ausência de áreas alagadas nas proximidades do trecho e pelo rápido ressecamento das carcaças de anfíbios sobre

a rodovia, o que é repetido como explicação para o número menor de espécimes de pequeno porte em uma rodovia do Espírito Santo (COELHO et al., 2012; MARTINELLI; VOLPI, 2011). A maioria dos indivíduos encontrados foram aves e répteis, e em terceiro lugar vinham os mamíferos (BAGER et al., 2012), e a presença de indivíduos com mais de 500 g foi bem menor do que a de indivíduos mais leves. Entre os animais encontrados, estava um lobo-guará (*Chrysocyon brachyurus*), presente em diversos biomas da América do Sul e considerado ameaçado de extinção (BAGER et al., 2012; CAVALCANTI et al., 2004; da FONSECA et al., 2004).

O trabalho de Cáceres et al. (2012), sobre um trecho da BR-262 entre Campo Grande-MS e Miranda-MS, sugere que a intensidade dos atropelamentos também pode estar relacionada à distância de centros urbanos – pelo menos para mamíferos. Isso indica que esse grupo pode preferir distância da atividade humana, do barulho, ou das luzes. O mesmo trabalho também relacionou os atropelamentos ao período de chuva. Os grupos mais comuns nesse estudo foram o *Carnivora* e *Pilosa*, que contém espécies ameaçadas, como é o caso do tamanduá-bandeira (*Myrmecophaga tridactyla*). Em outro estudo, Aride et al. (2012) encontrou maior número de atropelamentos nos trechos próximos à cidade de Manaus-AM (ao longo da rodovia BR-174, que segue até o extremo Norte de Roraima. O estudo justifica esse resultado com a presença de intensa ocupação das margens da rodovia nesse trecho, o que intensificava o tráfego de veículos. Já Brum et al. (2018) encontrou que houve menos atropelamentos na MT-235 na área de reserva indígena Paresi e propõe que a fragmentação de hábitat deixa a fauna mais vulnerável a ser atropelada, o que é coerente com os resultados do estudo de de Araújo et al. (2020), que indicam que a ocorrência de atropelamentos é proporcional ao percentual de mata nativa preservada, e indiferente à distância de corpos d'água. Esse estudo pode não corroborar com a explicação de BAGER et al. (2012) por se tratar apenas do atropelamento de mamíferos com mais de 1 kg.

Já no trecho da BR-230 (Transamazônica) entre Campina Grande-PB e Patos-PB os resultados foram diferentes. Abrantes et al. (2018) acompanharam a rodovia entre novembro de 2010 e novembro de 2011 para comparar os atropelamentos no período de chuvas e no período seco (descartando animais domésticos). Dos 188 indivíduos, 108 eram mamíferos, dos quais 87 eram

cachorros-do-mato (*Cerdocyon thous*), e os atropelamentos foram mais numerosos na época de seca. A sugestão de que a época de chuvas está relacionada com a maior locomoção dos animais (por exemplo, para o acasalamento) proposta por BAGER et al. (2012), CÁCERES et al. (2012) e COELHO et al. (2012) não se sustenta nesse trabalho a não ser ao focar nos grupos das aves e dos répteis, que foi mais expressivo na época de chuvas. Cáceres et al. (2012) já relataram também que, no caso do cachorro-do-mato (*C. thous*), o pico de atropelamentos deu-se na época de seca. Isso pode explicar o porquê do trabalho de ABRANTES et al. (2018) ter sido o único em que a época de seca teve mais atropelamentos, já que quase metade da amostra foi dessa espécie. Esses dados de maioria de mamíferos só se repetiu no trabalho de ARIDE et al. (2012) ao longo da rodovia BR-174, em que a espécies mais atingida foi a de saruês (*Didelphis marsupialis*).

O trabalho de Bager et al. (2012) identificou o atropelamento de um lobo-guará (*C. brachyurus*), e há registro de atropelamento de suçuarana (*Puma concolor*) na Rodovia dos Tamoios (SP-99) (Repórter Online Litoral, 2017; G1, 2016). Como predadores, esses atropelamentos são preocupantes, pois têm um papel essencial no controle populacional de suas presas ao longo do ano (CETESB, 2013). Além do lobo-guará (*C. brachyurus*), outro animal ameaçado de extinção encontrado nas pesquisas foi o tamanduá (*M. tridactyla*) (BAGER et al., 2012; BRUM et al., 2018; CÁCERES et al., 2012; CAVALCANTI et al., 2004; da FONSECA et al., 2004). O atropelamento de de saruês (*Didelphis spp.*) e cachorro-do-mato (*C. thous*), presente nos trabalhos de ARIDE et al., 2012, MARTINELLI; VOLPI (2011), ABRANTES et al. (2018) e CHEREM et al. (2007), também é preocupante. Apesar de consumirem mais insetos, invertebrados e frutas, têm o papel de espalhar sementes em suas fezes e de controlar pragas (BUENO; MOTTA-JUNIOR, 2004; CÁCERES, 2002).

Quanto à contagem de espécimes mortos em rodovias, vale ressaltar que o atropelamento nem sempre resulta na morte imediata do indivíduo. Animais podem seguir feridos e morrer posteriormente em outros lugares que não são levados em conta nos estudos ou mesmo podem ser removidos por predadores sem deixar rastros que sejam notados (ABRANTES et al., 2018; ARIDE et al., 2012).

5.1.2. PAISAGEM

Alonso et al. (2016) encontraram que 22,4% da área da Europa está a 500 m ou menos de uma estrutura como estradas e ferrovias, sendo que os Alpes e a cadeia dos Cárpatos são as regiões menos densas. É proposto que um dos impactos de rodovias nos ecossistemas é a mudança na vegetação devido ao transporte de pólen pelos ventos. No *Yellow River Delta* foi encontrado que esse efeito é significativo em até 20 m de distância da margem da rodovia, arriscando a introdução de espécies exóticas pelo contato entre diferentes comunidade vegetais (foi encontrado que até 30% dos indivíduos nas margens das rodovias eram de espécies exóticas) e espécies nativas tiveram sua reprodução perturbada pelo fluxo do vento da rodovia (ABRA et al., 2013; DU et al., 2014).

Para calcular matematicamente os diversos impactos de rodovias nos ecossistemas, Alonso et al. (2016) apontam para a Média de Abundância da Espécie – MAE. A Média de Abundância da Espécie (MAE) é um indicador do impacto humano na biodiversidade (ALKEMADE et al., 2009; ANTON et al., 2016; BAILLIE et al., 2012). Esse indicador é parte do Modelo Global de Biodiversidade – GLOBIO, da Agência de Avaliação Ambiental dos Países Baixos, para estimar a atividade de espécies nativas com interferência antropogênica em comparação com ambientes não-perturbados. Essa interferência pode ser a agricultura, mudanças climáticas, emissões na atmosfera, fragmentação do habitat ou mesmo avaliar a toxicidade de algum composto (DOUZIECH et al. 2020). Diferente de outros indicadores de biodiversidade, como o Potencial de Dano Ecológico (PDE) e os índices de Shannon e Simpson (SUPRIATNA, 2018).

Um exemplo do cálculo da MAE é o seguinte (DOUZIECH et al., 2020):

$$r = \ln \frac{(R_0)}{T_g} \quad (\text{eq. 1})$$

$$\frac{r(c)}{r(0)} = \frac{K(c)}{K(0)} \quad (\text{eq. 2})$$

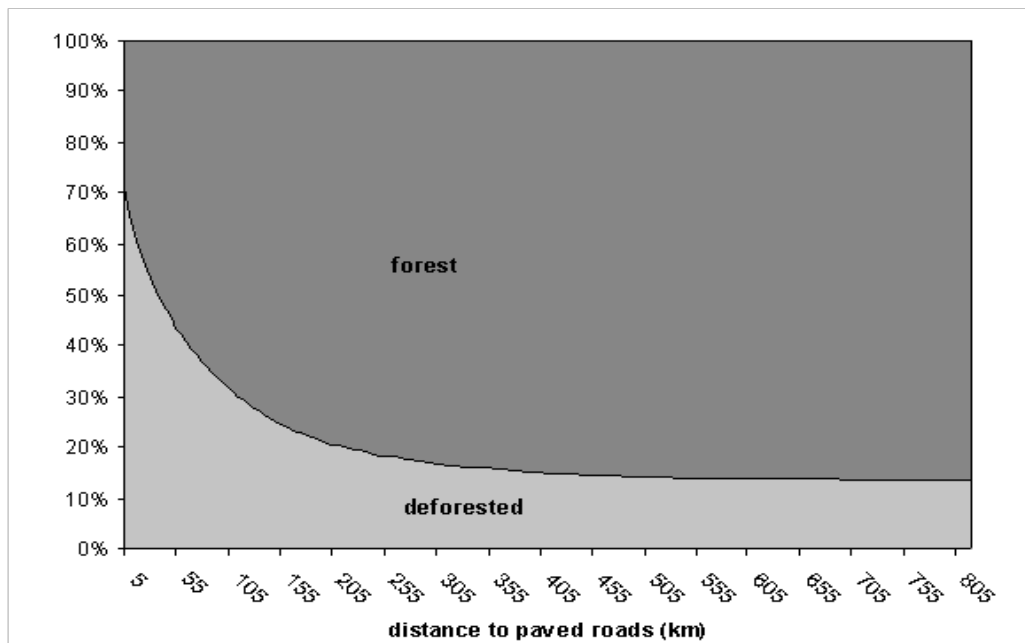
$$MAE(c) = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n \frac{K(c)_i}{K(0)_i} \quad (\text{eq. 3})$$

Assim, a MAE é um número **entre 0 e 1**, r é uma função de T_g , o tempo da geração, e R_0 , a fecundidade. No exemplo, c é a concentração de um composto, e 0

é o controle, isto é, o caso em que não há contaminação (DOUZIECH et al., 2020). A MAE encontrada nas áreas próximas a rodovias é menor que 0,95 na Espanha, mas depende do tipo de habitat, sendo que terra sem vegetação é a que menos sofre, e florestas e várzeas têm os menores valores de MAE.

A MAE também reflete a preferência da espécie por lugares remotos, como é o caso do urso-pardo (*Ursus arctos*), ou a adaptação às áreas próximas a estradas, como o lobo-cinzento (*Canis lupus*) (ALONSO et al., 2016). É possível desenhar um gráfico relacionando a intensidade do impacto ambiental com a distância a partir da rodovia, como na Figura 6.

Fig. 6. Relação entre desmatamento e distância da rodovia.

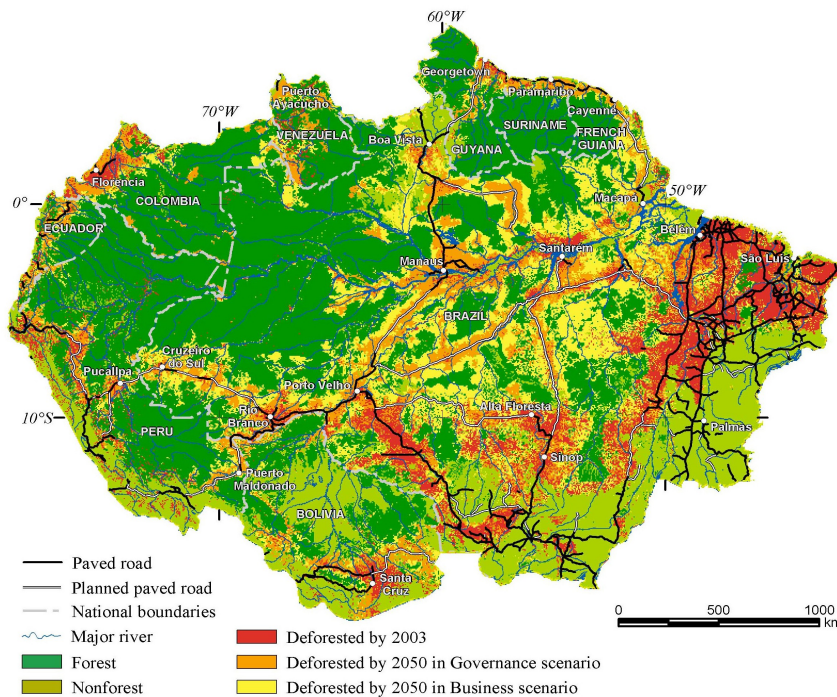


Fonte: Cerqueira et al. (2006)

Esse gráfico também concorda com o caso do Brasil, em que, no estado de São Paulo, é possível visualizar que a população prefere ocupar as margens das estruturas de transporte e a vegetação se mostra menos afetada mais longe da rodovia (BOSCOLO et al., 2013). Também é possível identificar os impactos marginais das rodovias de cima devido ao desmatamento. Cerqueira et al. (2006) observaram as tendências de desmatamento na Amazônia e o relacionaram com as estradas da região, modelando sua previsão da expansão do chamado “arco do desmatamento”, representada na Figura 7. Isso acontece devido a estradas laterais, isto é, perpendiculares à rodovia, geralmente feitas por madeireiros, para explorar a

madeira, fazer fazenda e pasto (FEARNSIDE, 2005). Uma fotografia de um exemplo dessas estradas laterais está na Figura 8.

Fig. 7. Simulação de Desmatamento ao redor de Rodovias na Amazônia.



Fonte: Cerqueira et al. (2006)

Fig. 8. Estradas laterais perpendiculares às rodovias são acesso para a exploração de madeira.



Foto: Torres, Mauricio. Fonte: Fearnside (2005)

Fearnside; Graça (2009) apontam para a BR-319, que liga Porto Velho-RO a Manaus-AM, a qual o governo tem intenções de recuperar, pois atualmente encontra-se em um estado considerado "intransitável" há décadas. Apesar das

alegações de que isso não trará impactos significativos, mencionando o clima chuvoso e o solo hidromórfico, que são infavoráveis à agropecuária, e a malária, que também é presente em área com alto desmatamento, o trabalho alega que há, sim, risco de aumentar o desmatamento porque o trecho setentrional da rodovia não apresenta características ambientais tão distintas do trecho meridional, e porque houve várias aquisições de terras devido ao anúncio da pavimentação. Vale apontar quanto aos riscos dessa rodovia também que 95% do desmatamento na Amazônia acontece em uma área de até 50 km de distância de uma rodovia e que rodovias pavimentadas têm maiores impactos do que rodovias não-pavimentadas (BOSCOLO et al., 2013; CAMPO-BESCÓS et al., 2018).

A BR-163, que se estende de Tenente Portela, na Serra Gaúcha, até Santarém, no estado do Pará é um outro exemplo de uma rodovia que cumpre um papel importante no desmatamento da floresta. Fearnside (2005) explica que a pavimentação dessa rodovia significa dar mais acesso às áreas ao seu redor para o uso no plantio de grão, e também menciona que isso cria novas áreas cobiçadas por grileiros – donos ilegais de terras, já que a pavimentação da rodovia elevaria o preço das terras adjacentes. Desmatar a área é o meio mais comum para corroborar com o pedido de posse através de documentos falsos, comenta o Autor. Rodovias pavimentadas tendem a ter impacto maior do que rodovias não-pavimentadas (BOSCOLO et al., 2013; CAMPO-BESCÓS et al., 2018).

Em Roraima, Barni (2009) descreve o padrão do desmatamento como uma "espinha de peixe", isto é, eixos perpendiculares a uma "coluna vertebral." As pessoas compram alguns lotes de terras adjacentes a uma estrada e com o passar dos anos acumulam uma grande área desmatada. É possível observar o impacto da rodovia BR-210 até 20 km de distância.

5.1.3. PERTURBAÇÃO DA FAUNA

5.1.3.1. POLUIÇÃO SONORA

Uma forma de poluição trazida por rodovias é a poluição sonora, isto é, a inserção de energia no ambiente através do som do tráfego de veículos. Morcegos são animais que se guiam pelos sons, e são profundamente perturbados pelos sons de rodovias (BARBER et al., 2011). Dentro de perímetros urbanos, Forcetto (2016)

estudou a percepção da população quando ao ruído de motocicletas, que foi considerado um dos mais incômodos.

A rodovia pode ser uma fonte de ruído. Por ruído, se refere ao som indesejado e incômodo (KANDHAL, 2004). E esse ruído é gerado tanto nos motores dos veículos quanto em seu contato com o asfalto, chamado de ruído pneu-asfalto (BROWN, 2008; HANSON; JAMES, 2004). O som é medido na escala de decibels, a qual é logarítmica. Isto é, aumentar o som em 1 dB significa aumentar dez vezes o ruído (KANDHAL, 2004). Também existe a escala dBA, que é o ajuste da intensidade do som para a percepção humana, que é limitada a uma determinada banda (BROWN, 2008). A Tabela 2 mostra valores médios de ruído em dB para distintas situações:

Tabela 2. Ruído em Diferentes Situações.

NÍVEL (dB)	SITUAÇÃO	NÍVEL (dB)	SITUAÇÃO
0	zero	70	aspirador de pó a ≈ 3 m
35	biblioteca	90	caminhão a ≈ 15 m
50	lava-louças	110	avião a ≈ 300 m
60	tráfego a ± 100 m	140	limite da dor

Fonte: Kandhal (2004)

Entendendo que uma fonte de ruído de uma rodovia está no contato do asfalto com o pneu, é possível atribuir a influência de cada parâmetro do pavimento com a geração de ruído:

Tabela 3. Fatores Geradores de Ruído Pneu-Asfalto.

FATOR	INFLUÊNCIA
macrotextura	altíssima
megatextura	alta
microtextura	moderada-baixa
rugosidade	mínima
porosidade	altíssima
espessura	alta*
adesão	moderada-baixa
tenacidade	incerta

*para superfícies porosas

Fonte: Brown (2008)

Macro, mega e microtextura são termos que descrevem a rugosidade do asfalto. A **megatextura** aponta para a rugosidade visível do asfalto, na ordem de até 500 mm. A **macrotextura** é menor, de até 50 mm, e normalmente se refere ao tamanho dos agregados que formam o pavimento. A **microtextura** é a menor, se tratando de ondulações de 0,5 mm ou menores (BERNHARD et al., 2009).

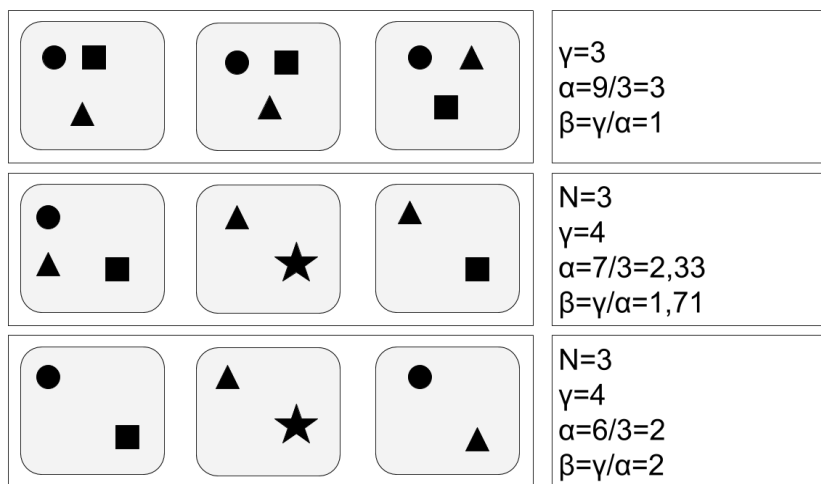
O som associado à construção e ao tráfego de rodovias tem impactos a nível do indivíduo, como mudança de comportamento ou de sucesso reprodutivo, e da população, como na densidade populacional (BOSMAN et al., 2017; PARRIS, 2015; RADLE, 1998). Um meio proposto pelo qual o ruído impacta a fauna é a chamada Hipótese do Nicho Acústico (HNA). Essa hipótese partiu da observação de que caçadores indígenas americanos eram capazes de identificar características de um animal pelo som que ele emite. Krause (1993) propõe que cada espécie tem um território próprio no espectro do som; isto é, ocupa uma banda de espectros própria, mas também timbre, amplitude e duração, ao emitir um som que se distingue das outras. Essa banda própria é o nicho acústico da espécie. Quando a população perde seu nicho, ela falha em se comunicar, comprometendo a reprodução e outras atividades essenciais à espécie. Quanto mais abrangente a banda de uma espécie, menos vulnerável ela fica a mudanças no ruído no ambiente, e, quanto mais específica a banda de som da espécie, mais ela será impactada (de OLIVEIRA, 2018).

Assim, uma preocupação proposta é a de que o ruído das atividades humanas, incluindo o das rodovias, altera o comportamento de populações animais mascarando sua comunicação – isto é, se sobrepondo e interferindo com a comunicação sonora dentro de uma espécie – ou então que altere o comportamento momentaneamente – isto é, se sobreponha com um nicho acústico criando um "alarme falso" (BEE; SWANSON, 2007; LEA et al., 2012). Um exemplo conhecido de animais impactados por alterações no ruído são os morcegos (ordem *chiroptera*). Morcegos podem tanto evitarem aproximarem-se das fontes de ruído, que limitam sua capacidade de ecolocalização, quanto sofrerem danos auditivos devido à sua adaptação ao ruído ambiente para navegação (CALTRANS, 2016; PARRIS, 2015).

Usando índices de biodiversidade α e β , como na Figura 9, pode-se analisar

o impacto de diferentes poluentes em uma comunidade (conjunto de populações). Para encontrar esses índices, é necessário escolher uma certa quantidade de amostras N. O índice α é a quantidade média de espécies distintas em cada amostra; o índice β é a diversidade entre as amostras – isto é, quantas combinações diferentes existem nas amostras; para encontrar isso, é necessário encontrar o γ , que é a diversidade total de espécies em todas as amostras (JOST, 2006; TUOMISTO, 2010a). A partir desses parâmetros, é possível calcular outros índices, como o β_{SOR} , o β_{SIM} e o β_{NES} . β_{SIM} se refere à substituição de uma espécie devido a mudanças no hábitat; β_{NES} se refere à tendência de comunidade menos diversas. Assim $\beta_{SOR} = \beta_{SIM} + \beta_{NES}$ (BASELGA, 2013; JOST, 2007; TUOMISTO, 2010b).

Fig. 9. Índices de Biodiversidade α , β e γ .



Fonte: adaptado de Baselga, 2013; Jost, 2007; Tuomisto, 2010b.

Esses índices foram usados por de Oliveira (2018) para estudar o impacto do ruído em comunidades de pássaros. O índice α manteve-se maior sem ruído antropogênico, mas as comunidades afetadas pelo som de aeroportos não foram homogêneas no estudo. Assim, há mais espécies em geral quando não há ruído, mas as espécies afetadas pelo ruído são aleatórias, ou seja, qualquer espécie está igualmente vulnerável a ser prejudicada pelo ruído no estudo.

Os impactos encontrados do ruído de rodovias sobre a fauna são (PARRIS, 2015):

ESTRESSE NOS ANIMAIS

O ruído emitido durante a construção e operação da rodovia pode causar estresse fisiológico e os animais evitam aproximarem-se da rodovia. A longo prazo, isso leva à diminuição da abundância da espécie na área. Quanto aos animais que não podem se afastar, seja pela fragmentação de hábitat ou outros motivos, a exposição contínua ao ruído causa estresse fisiológico crônico, comprometendo a imunidade e sucesso reprodutivo. Dois estudos com ratos de laboratório (*Rattus norvegicus domestica*) expostos a sinais sonoros de 15 a 85 dB descobriram: período de gestação encurtado (sem alterar ganho de peso materno); aumento na ocorrência do nascimento de fêmeas; alterações de humor e resposta imune (ASHE et al., 1997; DOBRE et al., 1996). Também se propõe que o ruído de rodovias cause perda auditiva (temporária e permanente) nos animais, como já foi identificado em um lagarto (*Uma scoparia*) e um rato (*Dipodomys deserti*) do deserto Mojave (PARRIS, 2015).

DIFICULDADE DE COMUNICAÇÃO

Dada a HNA (KRAUSER, 1993), é proposto que o ruído de rodovias e outras atividades humanas dificulte a comunicação na fauna, seja comunicação dentro de uma mesma espécie ou entre espécies. Dentro da mesma espécie, a comunicação tem o intuito de marcar seu território e de promover o acasalamento ou a proteção do grupo. Essas atividades podem ser prejudicadas com o ruído antropogênico, comprometendo o sucesso reprodutivo e a proteção da prole. Entre espécies distintas, a comunicação permite à presa identificar a presença de um predador de vice-versa. Assim, o ruído de rodovias pode deixar as presas mais vulneráveis ou fazer com que passem mais tempo fugindo de predadores do que se alimentando (PARRIS, 2015).

Estudando espécies de grilos (*Oecanthus spp.*) e gafanhotos (*Chorthippus bigutulus*), também foi observado o comportamento de inibirem seu canto na presença de ruído. A hipótese proposta nesse caso é a de que o canto é uma atividade de alto custo energético, e que, na possibilidade do ruído mascarar seu canto, o grilo conserva energia (COSTELLO; SYMES, 2014). Em comparação a esse comportamento, gafanhotos foram observados gastando energia para superar

o ruído da rodovia para se comunicar e seu canto ficou caracterizado com elementos de alta frequência em seus cantos que tende a ser passado ao longo das gerações (LAMPE et al., 2014). Ambos os casos são mudanças comportamentais observadas repetidamente (BEE; SWANSON, 2007; GOOSEM; HOSKING, 2010; LEA et al., 2012).

5.1.3.2. ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL NOTURNA

A Iluminação Artificial Noturna (IAN) tornou-se parte do cotidiano, essencial à percepção de distância e movimento, e não é mais possível pensar em infraestrutura sem IAN. A implantação de IAN leva a impactos inesperados na fauna e na flora por mecanismos distintos dependendo da espécie, mas também do espectro da luz, da intensidade e da duração. (HÖLKER; SCHROER, 2016).

A luz é energia – é a fonte de energia da maioria dos produtores primários, isto é, a base da cadeia alimentar, além de ser um fator no controle comportamental e fisiológico em inúmeras espécies animais. Se não for aplicada com um estudo minucioso dos seus impactos e como reduzi-los, a IAN ameaça a biodiversidade. Em animais, a luz artificial altere interações entre indivíduos, interferindo a cadeia trófica, reprodução, migração, além de distorcer o ciclo dia-noite natural das plantas (HÖLKER; SCHROER, 2016; HÖLKER et al., 2010; BENNIE et al., 2015).

Bennie et al. (2015) listaram que os impactos potenciais da IAN compreendem “efeitos de cima para baixo”, efeitos de baixo para cima” e efeitos não tróficos.

EFEITOS "DE CIMA PARA BAIXO"

Mudança na presença de parasitas, predadores e herbívoros, que leva a mudança nas populações de presas. Essa mudança deve-se ao ajuntamento de espécies predadoras nas proximidades da luz artificial, à extensão da atividade de predadores diurnos durante a noite, e pela ausência de predadores noturnos que evitam área iluminadas, tendo seu território limitado. Enquanto algumas espécies podem se beneficiar desenvolvendo um nicho noturno iluminado, implicando em uma competição com as espécies que não se adaptarem. Causando uma mudança

drástica na cadeia trófica do ecossistema (BENNIE et al., 2015).

EFEITOS "DE BAIXO PARA CIMA"

Plantas, que são produtores primários, isto é, fonte da energia dentro de um ecossistema, respondem à presença de luz solar durante o dia por fotorreceptores (HÖLKER et al., 2010; TSUBOI; WADA, 2011). A IAN, mesmo em baixas intensidades, é percebida por esses fotorreceptores, alterando a geração de biomassa e até o surgimento das flores. Essas mudanças na base da cadeia alimentar resultam em mudanças na disponibilidade de recursos para o ecossistema, e se espalham nos níveis tróficos até os predadores.

O estudo de Bennie et al. (2015) encontrou evidência para este efeito ao observar a presença de IAN próxima a ocupação humana e o desenvolvimento vegetal, que indiretamente afetou a presença (densidade) de herbívoros. As plantas percebem a presença de luz por fotorreceptores. Seu papel é instruir a abertura dos estomas e movimento do cloroplasto para a fotossíntese. Os sinais dependem do ciclo dia-noite e das mudanças sazonais do ambiente e da planta: surgimento de flores, crescimento de folhas, germinação, síntese da clorofila, etc. As plantas buscam crescer em direção à luz. Sob luz de baixa intensidade, cloroplastos se agregam na área incidida pela luz para maximizar a absorção de luz, enquanto que os cloroplastos se "escondem" da luz forte para evitar danos na célula (TSUBOI; WADA, 2011). Hölker et al. (2010) encontrou que *Arabidopsis spp.* expostas a luz por períodos extensos apresentaram menor acumulação de biomassa do que as que foram expostas por períodos mais curtos. Esse resultado indica dano na síntese de clorofila e na fixação de carbono.

EFEITOS NÃO-TRÓFICOS

Além dos efeitos na disponibilidade de alimento, a luz altera o comportamento de espécies, por exemplo, atraindo mariposas (BERENDSE et al., 2015) ou afastando morcegos (BHARDWAJ et al., 2020), que são espécies importantes para a polinização e dispersão de sementes. Isso futuramente resulta na alteração da vegetação local.

Os efeitos da IAN sobre o comportamento das mariposas é maior do que sua atração para as fontes de luz. Fêmeas da família *Geometridae* (mariposas) mostram-se menos ativas e emitindo menos feromônios sob IAN, o que resulta indiretamente em menor sucesso reprodutivo. Berendse, et al. (2015) estudaram o comportamento de fêmeas da espécie *Operophtera brumata* (traças) em um tronco de carvalho com luz artificial branca, verde, vermelha e sem luz. O primeiro experimento encontrou uma redução no número de fêmeas nos troncos iluminados, demonstrando que são menos ativas na presença de luz artificial. Também encontrou-se que 53% das fêmeas do tronco sem iluminação copularam, enquanto que nos iluminados esse número chegou a ser tão baixo quanto 13% para a luz verde (comprimendo de onda médio). O segundo experimento foi com machos da mesma espécie, e encontrou, sob IAN, menos machos foram atraídos pelo cheiro do feromônio produzido artificialmente – desta vez com o pior resultado sob a luz vermelha (maior comprimento de onda). Além das mariposas, a IAN atrai insetos os quais são presas do sapo-cururu (*Rhinella icterica*). Os sapos se juntam nas proximidades da luz artificial, ficando vulneráveis a atropelamentos (COELHO et al., 2012).

A IAN próxima à praia é uma ameaça também a espécies marinhas como as tartarugas marinhas. Esse impacto se dá no momento da desova e caminho das tartarugas recém-nascidas até o mar. Silva (2001) divide esse processo em nove passos:

1. Aproximação da costa; onde escolhem um trecho escuro e sem muitos obstáculos;
2. Subida à praia; até um local onde estejam livres da ação constante da maré;
3. Percurso de seleção do local; que varia de espécie para espécie, sendo mais rigoroso em alguns casos;
4. Confecção da cama; com as nadadeiras anteriores escavam um grande buraco redondo, de mais ou menos dois metros de diâmetro;
5. Confecção da câmara de ovos; com as nadadeiras traseiras escavam um outro buraco para o ninho com cerca de meio metro de profundidade e se parece com uma garrafa enterrada na areia, com uma boca que vai se

alargando no fundo;

6. Deposição dos ovos; redondos e brancos parecidos com bolas de “ping-pong” e que são recobertos com um muco que protege os ovos contra fungos e bactérias;

7. Fechamento da câmara;

8. Preenchimento da cama; com a areia a tartaruga vai intercalando o movimento das nadadeiras e empurra a areia para os buracos;

9. Retorno ao mar. (SILVA, 2001)

Devido à expansão urbana e à pesquisa a respeito do impacto da IAN sobre as tartarugas marinhas, o Projeto TAMAR busca impor regulamentos que impedem a implantação de luz artificial próxima a áreas de desova (SILVA, 2001).

No processo de desova e caminhada até o mar, as tartarugas aguardam até que a areia não esteja mais quente como sinal de estar de noite. Então elas sobem até a superfície e se arrastam até as ondas do mar que as carregam. É através de indícios visuais que as tartarugas caminham em direção às ondas. Elas examinam o horizonte e caminham para longe de onde enxergam escuridão e em direção a um horizonte plano e iluminado, supostamente a água do mar refletindo luz (SALMON, 2006). Salmon (2003) observou a preferência das tartarugas marinhas na Flórida por praias longe da ocupação humana. Experimentando iluminar essas área com luz artificial, a atividade das fêmeas nas praias reduziu drasticamente. Esse impacto também foi função da qualidade da luz, pois luz amarela não diminuiu a atividade das tartarugas tanto quanto a luz branca.

São conhecidas sete espécies de tartarugas marinhas. Dessas, cinco estão presentes no Brasil (SILVA, 2001), o que ressalta a importância de regulamentos e legislação como as impostas pelo Projeto TAMAR a fim de preservar essas espécies:

- ***Chelonia mydas*** (tartaruga verde, também chamada de aruanã) – Casco esverdeado com grandes placas. Um indivíduo adulto tem de 0,9 a 1,5 m e em média 250 kg.
- ***Eretmochelys imbricata*** (tartaruga-de-pente, tartaruga verdadeira ou legítima) – Tem a casca com escamas marrom e amarelas, considerada a

mais bonita. O casco de um indivíduo pode chegar a 1 m e pode pesar 150 kg.

- ***Lepidochelys olivacea*** (tartaruga-comum ou tartaruga-oliva) – É a menor das tartarugas marinhas, medindo 60 cm e pesando 65 kg.
- ***Caretta caretta*** (tartaruga-cabeçuda) – notável por sua cabeça maior que a das outras espécies. Acarapaça é marrom. Mede em torno de 1 m e pesa cerca de 150 kg.
- ***Dermochelys coriacea*** (tartaruga-de-couro ou tartaruga-gigante) – Seu nome popular dá-se ao tamanho e ao peso, chegando a 2 m e 750 kg. Também é conhecida pelo casco, menos rígido e sem placas, lembrando a textura do couro.

Em 2013, 23% da superfície terrestre apresentava iluminação acima do considerado natural (TOUZOT et al., 2019) e se estima que a IAN aumente cerca de 6% por ano (HÖLKER et al., 2010). Uma noite de Lua Nova é até 10^8 vezes mais escura que um dia de Sol, e muitos organismos vertebrados e invertebrados evoluíram para adaptarem-se a ambientes de pouca luz (HÖLKER et al., 2010). Assim, o uso de IAN raramente é neutro, e tem impactos significativos além dos impactos positivos da percepção humana. Pauwels (2018) argumenta que a economia por si só é um dos mais poderosos argumentos pelo controle de IAN, mas também aponta que a tendência atual é a preferência por lâmpadas de LED mais econômicas e também mais eficientes – isto é, geram mais luz.

5.2. IMPACTOS SOBRE SOLO, ÁGUA E AR

5.2.1. EMISSÕES

5.2.1.1. IMPACTOS SOBRE O ECOSISTEMA

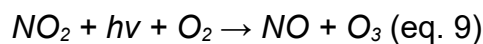
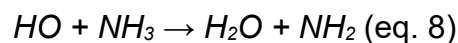
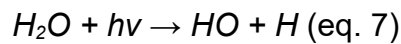
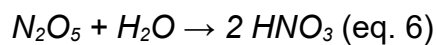
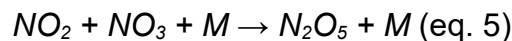
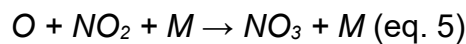
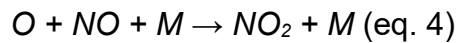
Um fator já conhecido na legislação brasileira é o da manutenção do veículo pelo CONAMA em sua Resolução nº 7/93 e pelo IBAMA na Portaria nº 85/96. A legislação mencionada exige a manutenção periódica de veículos de transporte de carga ou de pessoas para limitar a emissão de monóxido de carbono, hidrocarbonetos e poluição sonora.

Ao longo do tempo, os novos modelos de veículos se mostram mais eficientes quanto às emissões de gases (ASTORGA et al., 2019; BISHOP; STEDMAN, 2008; HERDON et al., 2009). Em grandes cidades estadunidenses com frotas de veículos distintas, proporção de veículos pesados distintas e declividades distintas, a última década mostrou uma grande redução nas emissões de monóxido de carbono – CO, hidrocarbonetos – HC, e óxidos de nitrogênio – NO_x. A redução de CO chegou a ser de 71% em Chicago–IL; a de HC chegou a 63% em Denver–CO; e a de NO_x chegou a cair 68% em Chicago–IL (BISHOP; STEDMAN, 2008). Entretanto, as emissões de NO_x e CO ligadas aos veículos considerados leves ainda são significativas na União Europeia, a qual conta com padrões de emissão de gases os quais devem ser seguidos por cada modelo novo. Enquanto veículos movidos a gasolina se mantêm abaixo dos limites, veículos movidos a diesel mostram emissão de NO_x dos limites em todos os casos (ASTORGA et al., 2019; BONNEL et al., 2011). Veículos movidos a diesel também mostram serem maiores contribuidores pelas emissões de hidrocarbonetos aromáticos policíclicos – HCAP (HARLEY et al., 1998). Bonnel et al. (2011) comentam que o excesso de emissões para veículos movidos a diesel pode se dar pela diferença entre as condições de laboratório para aprovar os modelos de veículos e as condições reais na estrada. Outra explicação pode ser a descoberta em Xangai de que veículos emitem mais CO e HC em condições de engarrafamento, parados, e não a velocidades elevadas (CHEN et al., 2007). Áreas urbanas são exemplos de focos de concentração de CO. O CO é o resultado da combustão incompleta de hidrocarbonetos, comumente presente em escapamentos de veículos, mas também em outras máquinas e em incêndios. Quando carbono em geral, Bartholomeu (2006) estima que cada galão de gasolina (≈4,5 litros) equivale à emissão de 1,362 kg de carbono sob a forma de CO e CO₂ (dióxido de carbono). O CO é perigoso devido à sua afinidade por ferro. O CO é inodoro e combina-se com a hemoglobina (responsável pela carga do oxigênio aos tecidos do corpo), formando carboxi-hemoglobina, que ocupa seu espaço no sangue, mas é inefetiva para carregar o oxigênio (OMAYE, 2002).

Junto ao CO, são resultados da queima de combustíveis fósseis o dióxido de carbono – CO₂, os óxidos de enxofre – SO_x, os óxidos de nitrogênio – NO_x e os materiais particulados – PM. CO_x, SO_x e NO_x reagem com o vapor d'água da atmosfera gerando ácidos que se infiltram no ciclo hidrológico, eventualmente

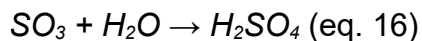
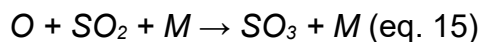
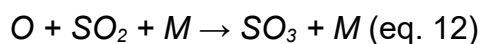
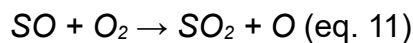
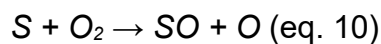
precipitando e danificando o solo e a vegetação e o solo (KANDASAMY et al., 2013). Não é sabido ao certo, mas é possível que até 50% das mortes por envenenamento em países industriais seja resultante de envenenamento por CO (OMAYE, 2002).

Reações com N:



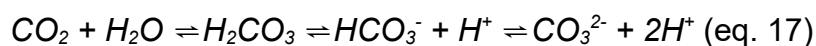
(BAULCH, 2004; DONG et al., 2018)

Reações com S:

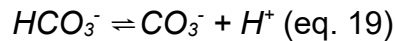
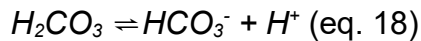


(BAULCH, 2004)

Globalmente, CO₂ também é responsável pela acidificação dos oceanos. Isso se deve às seguintes reações, as quais aumentam as concentrações de íons H⁺ (e consequentemente à diminuição de pH):



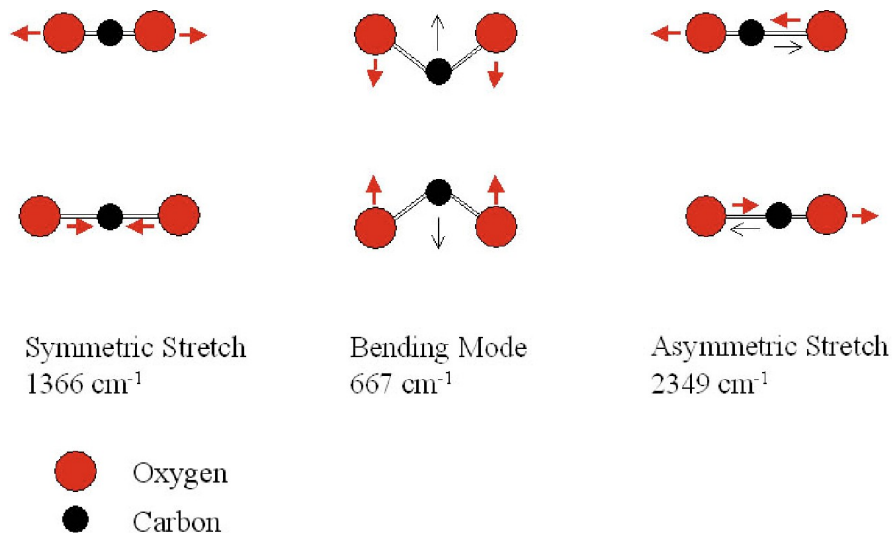
(CLAREMAR et al., 2015)



(DENTENER et al., 2011)

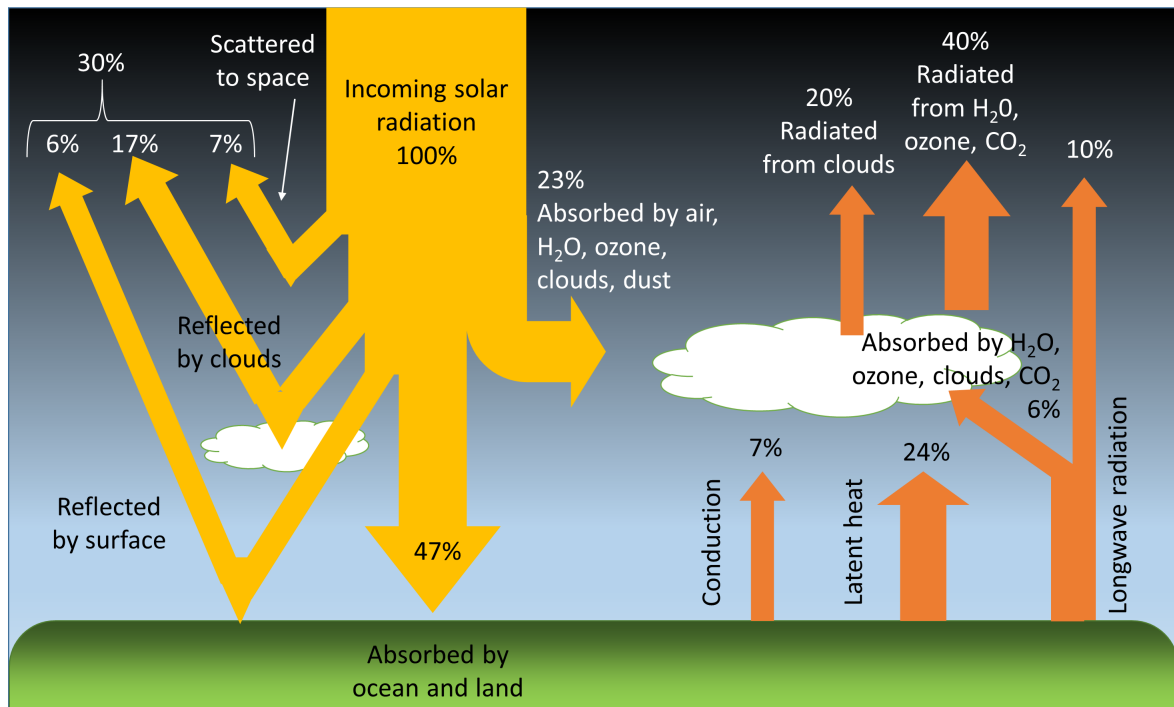
O CO_2 é tomado como referência para calcular o impacto sobre o clima de outras emissões – isto é, conhecendo a capacidade do CO_2 de reter calor e acelerar o aquecimento global, outras emissões podem ser analisadas de acordo com sua capacidade de reter calor relativa ao CO_2 . Essa capacidade de reter calor se dá pelo fato desses compostos serem capazes de absorver a energia no comprimento de onda infravermelho, abundante na radiação solar, e não refletir essa energia de volta para o espaço, elevando a temperatura média da Terra com o passar das eras (FELLOWS et al., 1999; FENG; RAMANATHAN, 2009). O mecanismo pelo qual as moléculas de CO_2 absorvem energia está ilustrado na Figura 10. O acúmulo de CO_2 na atmosfera acelera o efeito estufa, ilustrado na Figura 11. O N_2O , por exemplo, é mais de 300 vezes mais potente do que o gás carbônico nesse quesito. Uma tonelada de N_2O emitida acelera o aquecimento global 300 vezes mais do que uma tonelada de CO_2 (FEARNSIDE et al., 2009).

Fig. 10. Absorção de Radiação Infravermelha pelo CO_2 .



FONTE: Shapley (2011)

Fig. 11. Gases da Atmosfera e Aquecimento Global.



FONTE: Webb (2020)

O ozônio (O₃), resultado de uma reação com NO₂ na atmosfera, também se mostra danoso às plantas em estudos que encontram danos nas folhas que receberam diferentes doses de ozônio (KOHUT, 2007). Três espécies vegetais (*Fraxinus excelsior*, *Prunus avium* e *Viburnum lantana*) mostraram danos devido à exposição ao ozônio em concentrações diferentes. As doses se acumularam de 4716 até 20.276 mg/m³ em condições de exposição a 95% da concentração da atmosfera e exposição à atmosfera filtrada (50% da concentração). Bussotti et al. (2004) observaram respostas hipersensíveis da espécie *F. excelsior* com células necrosas, enquanto que *P. avium* e *V. lantana* apresentaram avermelhamento das folhas. Essas duas últimas espécies também tiveram uma diminuição na eficiência da fotossíntese.

Quanto a outra relação complexa das condições do ambiente com os impactos de rodovias no estado da Bahia, Freitas (2010) analisou as ocorrências de incêndios nas margens de rodovias e concluiu que, devido à vegetação seca da região, o fogo pode começar simplesmente com o calor expelido pelo escapamento dos veículos. Freitas (2010) afirma que são necessários três elementos para que haja fogo e os chama de "triângulo do fogo": combustível, comburente e calor. O

Autor encontrou que esse triângulo pode ser encontrado nas margens de rodovias em condições específicas, como o período de seca e motor desregulado. Também aumenta o risco de incêndios com o descarte indevido de resíduos sólidos na pista (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT, 2006). Quando a fuligem sai do escapamento de veículos movidos a combustão interna, sua temperatura pode ser de até 6000°C, ela encontra a vegetação seca e pode iniciar um incêndio. Em rodovias com bastante tráfego, a possibilidade desses três elementos se encontrarem deve ser levada em conta.

Os impactos de rodovias nos ecossistemas têm complexas relações entre si, como é possível visualizar nos exemplos de trabalhos sobre atropelamentos e uso da terra (ABRANTES et al., 2018; AGUIAR et al., 2017; BAGATINI, 2006; BAGER et al., 2012; PAUWELS, 2018). Enquanto rodovias criam mais áreas acessíveis para a ocupação, o que leva ao maior atropelamento de animais devido ao tráfego (ARIDE et al., 2012), a ocupação da terra implica no desmatamento, muitas vezes para a exploração da madeira (CERQUEIRA et al., 2006; FEARNside, 2005;). O transporte da madeira explorada leva entre 1.500 e 3.000 km até chegar ao consumidor conforme as estimativas de Campos et al. (2011). Conferindo os veículos utilizados por empresas madeireiras, pode-se estimar uma emissão equivalente de 12,8–59,6 gCO₂ km⁻¹ por tonelada de madeira. Além disso, Banhos et al. (2012) calcularam que, se as margens de rodovias fossem reflorestadas, e não desmatadas, em até 30 m, seriam capazes de capturar 55,3 milhões de toneladas de carbono.

5.2.1.2. IMPACTOS SOBRE A SAÚDE

Além disso, essas chuvas ácidas são perigosas para a saúde humana, podendo causar doenças de pele. Quando inalados, NO_x e CO_x levam a doenças respiratórias, e SO_x reage com as mucosas, também levando a doenças (MUNAWER, 2018). O NO₂ pode passar por fotólise e gerar ozônio na troposfera. O ozônio é um oxidante considerado muito potente e por isso é perigoso para a saúde (DONG et al., 2018). O ozônio (O₃) é um oxidante potente. Na estratosfera, tem o papel de filtrar a radiação solar que chega à superfície, mas na baixa atmosfera é tóxico (DONG et al., 2018; OMS, 2000). Ele pode ser formado na presença de

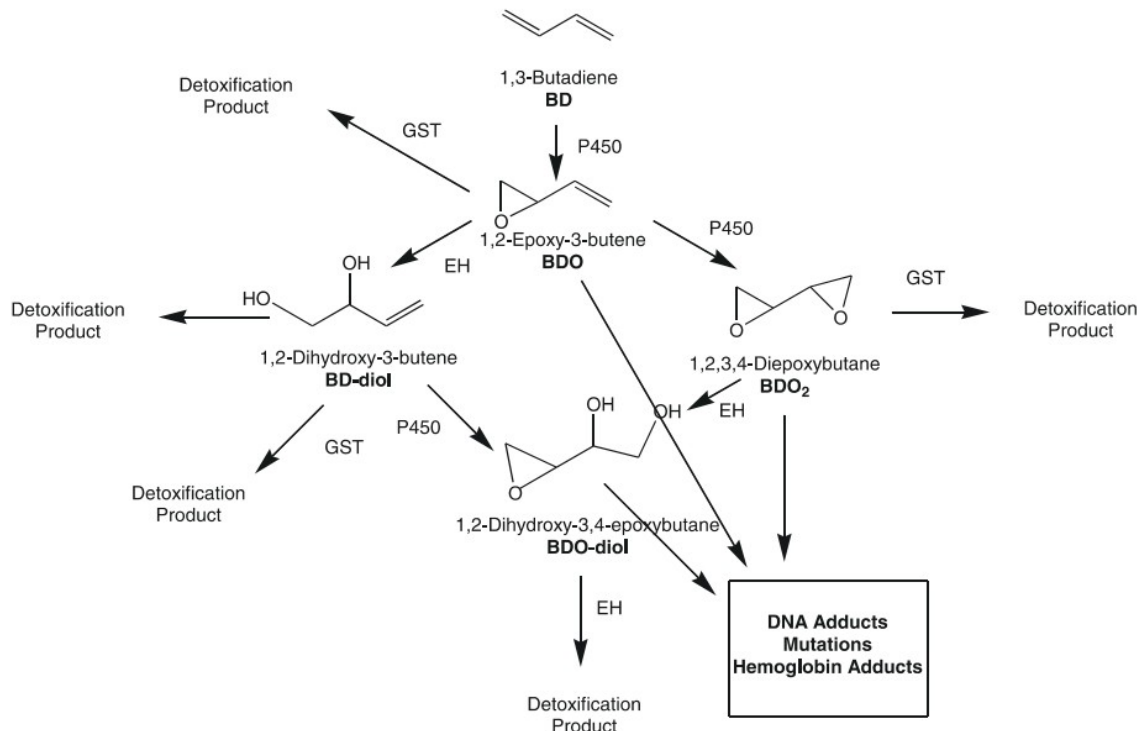
compostos orgânicos em uma reação fotocatalizada (BAULCH, 2004; DONG et al., 2018). Segundo a OMS (2000), a concentração de ozônio antropogênico – isto é, produto secundário da poluição emitida pelo ser humano – na troposfera é na faixa de 40-70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Na Europa, já foram encontradas concentrações acima de 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. A OMS (2000) também indica que concentrações acima de 160 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (em humanos, mas também em ratos) por mais de 6,6 horas causa impactos significativos sobre a saúde. A intoxicação por ozônio depende da sua concentração e do tempo de exposição, em um contínuo de sintomas respiratórios à inflamação, dependendo das condições do indivíduo.

Embora em concentrações menores, as misturas asfálticas também contêm Compostos Orgânicos Voláteis (COV), isto é, que podem mais facilmente se desagregar e serem levados na atmosfera como sóis, que também agredem a saúde (APOSTOLIDIS et al., 2018; CUI et al., 2018). CUI et al. (2018) descrevem o mecanismo pelo qual COV são adsorvidos no asfalto:

1. As moléculas dos COV são atraídas pelo carbono ativo;
2. Se difundem na superfície e pelos poros;
3. As partículas de COV estão fixas no carbono.

Esses COV são encontrados em áreas urbanas, em áreas carentes e terminais de caminhões (BLICHARZ et al., 2012; BONNANO et al., 2008). Costumam ser perigosos mesmo em pequenas concentrações e levam a danos graves à saúde respiratória, ao câncer (BARR et al., 2000; FAN et al., 1994; BONNANO et al., 2011; RECIO et al., 2000). A Figura 12 ilustra o mecanismo pelo qual o 1,3-Butadieno, um COV, leva à mutação na celular:

Fig. 12. Carcinogenicidade do 1,3-Butadieno.



FONTE: HEI (2000)

Além das emissões de SO_x , NO_x e CO_x , traços de metais pesados – isto é, metais tóxicos – são encontrados na composição de combustíveis fósseis: As (arsênio), Ni (níquel), Pb (chumbo), Cr (cromo), Cu (cobre), Al (alumínio), Si (silício), K (potássio), Ca (cálcio), Mn (manganês), Pt (platina) (AL-MAMUN et al., 2019; da SILVA, 2007). Também são perigosos os Materiais Particulados – PM, que são sóis de diversos tamanhos, isto é, partículas pequenas e leves que flutuam no ar e que são separadas de acordo com o seu diâmetro aerodinâmico: PM_{10} equivale a 10 μm de diâmetro e $\text{PM}_{2,5}$ a 2,5 μm de diâmetro. Para cada 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a mais de PM_{10} , a mortalidade por problemas respiratórios pode aumentar em até 0,58%. Com o mesmo aumento de $\text{PM}_{2,5}$, a ocorrência de doenças respiratórias e hospitalizações cresceram 2,07%. Também existe uma relação entre exposição a longo termo de $\text{PM}_{2,5}$ e câncer de pulmão (LIAN et al., 2016). Devido ao seu tamanho e massa pequenos, são levados pelos ventos e agregam possíveis contaminantes. Também devido ao seu tamanho, são inalados frequentemente e danificam a saúde e causam morte prematura em uma fração significativa da população, mesmo que sua emissão e concentração atmosférica esteja dentro dos padrões considerados aceitáveis, devido à exposição crônica: câncer, doenças respiratórias e

cardiovasculares (AL-MAMUN et al., 2019; APTE et al., 2015; FAN et al., 2011). da SILVA (2007) encontrou que veículos movidos a diesel emitem até duas ordens de grandeza mais PM_{10} do que os movidos a gasolina, e os movidos a etanol emitem até 1/4 disso.

Os mecanismos pelos quais $PM_{2,5}$ pode danificar tanto estudados são:

- **Peroxidação por radicais livres** – radicais livres são encontrados em $PM_{2,5}$ e, quando inalados, oxidam o tecido do pulmão. Metais agregados ao $PM_{2,5}$, como Fe (ferro) e Cu (cobre) aumentam a produção de radicais livres e consomem antioxidantes, causando estresse oxidativo. A oxidação das células do pulmão pode danificar o DNA e até mesmo promover a replicação de DNA danificado e eventualmente levar ao câncer.
- **Desequilíbrio intracelular** – O Ca (cálcio) é um dos elementos mais importantes do corpo. O excesso de cálcio pode levar a uma cadeia de reações inflamatórias e dano celular. $PM_{2,5}$ induz à produção excessiva de radicais livres e reduz a capacidade antioxidante das células, causando a peroxidação dos lipídeos da membrana celular e elevação de Ca^{2+} intracelular.
- **Inflamação** – a exposição a $PM_{2,5}$ está relacionada a citocinas inflamatórias (proteínas exaladas por células que afetam o comportamento das células vizinhas). As interações entre as células induzidas pelas citocinas podem danificar o pulmão sinergeticamente, isto é, a combinação dos elementos resulta em um dano maior do que a soma dos elementos (LIAN et al., 2016).

4.2. POLUENTES NO SOLO E NA ÁGUA

A erosão causada pela presença de estradas está mais associada à fase de construção do que à fase de operação (DNIT, 2006). Dependendo do agente causador da erosão, ela pode ser hídrica (causada pela água) ou eólica (pelo vento). A erosão hídrica pode ser causada pelas chuvas e pelos rios, que têm poder para desagregar partículas do solo. Atividades que incluem a alteração do curso ou

da área submersa de cursos d'água na implantação de uma rodovia também colaboram com o carreamento de detritos os quais podem ser compostos por poluentes ou agregarem-se a eles no caminho (ALEXANDER; FORMAN, 1998; ARIDE et al., 2012). Além disso, a água também é desfavorecida pela erosão nos casos que leva ao assoreamento. O assoreamento se dá quando a terra movida pela erosão é levada até o fundo dos rios e lagos. Ao depositar-se lá, além do impacto de diminuir a capacidade hídrica do rio, comumente ocorre também a contaminação da água. A Organização Mundial da Meteorologia (WMO, 2003) aponta que uma tonelada de sedimento em um reservatório é capaz de remover 700 g de chumbo da água. Isso faz do sedimento uma ferramenta útil na remoção de poluentes, mas também um transportador de poluentes. O sedimento também tem um grande potencial de adsorção de metais como arsênio e cromo (ALEXANDER; FORMAN, 1998; WMO, 2003). Esses poluentes e outros podem chegar à água tanto na fase de construção, devido ao levantamento de poeira, ao uso de graxas e de agentes químicos na obra, quanto na operação, principalmente por acidentes com vazamentos de cargas. Um vazamento de piche não pode ser totalmente retido na rodovia na aplicação de asfalto nas obras da rodovia SP-99 (G1, 2018). Também na mesma rodovia já houve um acidente com o transporte de resíduos sólidos urbanos que contaminou a região com chorume (G1, 2016; GREIF, 2017). Em suma, várias ações também podem ter impactos sobre a água conforme exemplificado na Tabela 4:

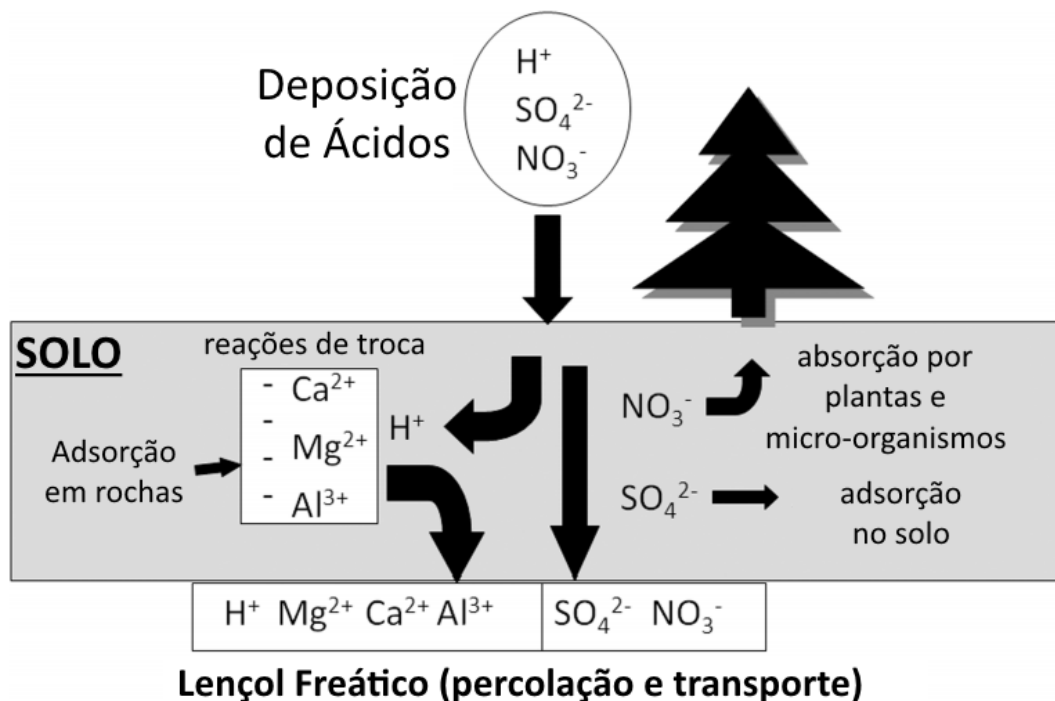
Tabela 4. Relação entre ações humanas e alteração da qualidade e disponibilidade da água.

AÇÕES HUMANAS	IMPACTOS
Corte na profundidade do lençol freático	Menor disponibilidade de água
Drenagem da água subterrânea	
Escoamento da água na rodovia	Poluição crônica da água
Instalações sanitárias	
Canteiro de obras	
Dispersão de poeira	
Transporte de material poluidor	
Acidentes	

Fonte: adaptado de DER-MG (2008)

As emissões de veículos também são responsáveis pela acidificação e outras alterações na composição química de solos, podendo danificar não só as plantas e micro-organismos, como também contaminando a água subterrânea, conforme ilustrado na Figura 13 (BOBBINK et al., 1998; COSBY et al., 2009).

Fig. 13. Deposição de Contaminantes no Solo.



Fonte: adaptado de Cosby et al. (2009)

O nitrogênio, sendo responsável por 78.08% da massa da atmosfera terrestre – sob a forma de N_2 – e parte de seu próprio ciclo biogeoquímico, participa de diversas reações como as exemplificadas nas equações 4–9 e na Figura 4.2.1. (BAULCH, 2004; COSBY et al., 2009; DONEY et al., 2009; DONG et al., 2018; SHARP, 2017). Os resultados de DONEY et al. (2009) são de que a deposição de nitrogênio em excesso no solo fomenta a nitrificação – o estágio do ciclo do nitrogênio em que N_2 é gerado por micro-organismos no solo – e a produção de biomassa vegetal, isto é, aumenta a produção primária. Esses resultados de maior produção primária são semelhantes às etapas de eutrofização de um corpo d'água (COSBY et al., 2009) chamam a atenção para o risco de competição por nutrientes no solo por micro-organismos e na superfície pelas plantas. Esse excesso de produção primária danifica o ecossistema de duas formas: com mais nutrientes, a competição por luz na superfície se torna mais intensa e espécies mais baixas

tendem a perder indivíduos – igualmente, diferentes micro-organismos do solo aproveitam o N depositado enquanto outros são mais sensíveis; com mais competição, a chance do indivíduo de perder é mais relevante para espécies que já tem menor presença do que para espécies mais comuns. Experimentos mostram que o aumento da produção primária também acompanha a perda de biodiversidade. Quanto mais aumenta a produção primária, mais cai a riqueza de espécies, e as espécies mais raras tendem a ser as mais impactadas (CLARK et al., 2005). O depósito do nitrogênio da atmosfera em excesso no solo também pode diminuir a produção primária. N no solo eleva a produção de nitrato – NO_3^- , que pode se ligar a cátions de Ca^{2+} e Mg^{2+} –, mas também facilita a sua lixiviação, levando consigo nutrientes como Ca e Mg. O S tem o mesmo resultado quanto à lixiviação, ambos elementos em conjunto sendo mais danosos (COSBY et al., 2009).

5.2.3. INTENSIFICAÇÃO DE PROCESSOS EROSIVOS

Processos erosivos não só são prejudiciais ao ecossistema e perigosos para a população como também podem danificar a estrutura das rodovias (DER-MG, 2008). A Organização Mundial Meteorológica (WMO, 2003) reconhece a existência de dois tipos de erosão: com e sem a interferência humana. A erosão natural, isso é, que acontece sem a interferência humana, geralmente é um processo lento, em escalas de tempo compatíveis com a evolução geológica da paisagem. Esse processo erosivo pode ser acelerado e intensificado pela ação antrópica.

Muitas vezes a erosão é considerada um desastre natural. Desastres naturais são eventos causados por fenômenos naturais considerados extremos e que causam prejuízos à comunidade. Alguns desastres conhecidos são deslizamentos, erosão continental, erosão costeira, colapso de solo (TOMINAGA, 2015a). Deslizamentos são processos de movimento de massa, isto é, movimento de terra, rocha ou mesmo vegetação. Sendo que os deslizamentos dependem da topografia, cobertura vegetal, pluviosidade e características físicas do solo, alterações em qualquer um desses elementos pode acelerar o processo (TOMINAGA, 2015b). Em especial, os desastres mais frequentes na região Sudeste são deslizamentos e inundações (do AMARAL, 2018; TOMINAGA, 2015a). A erosão é descrita como a desagregação e perda de solo devido à gravidade, umidade, vento ou mesmo

organismos do solo. A erosão pode ser do tipo laminar ou linear: na erosão laminar, uma camada uniforme do solo desliza sem formar canais; na erosão linear, podem-se apontar os sulcos, isto é, incisões rasas causadas pelo fluxo da água, ravinas, que são incisões maiores de 50 cm, e voçorocas, que é quando a erosão alcança a água subterrânea. A erosão também pode acontecer no litoral, devido ao fluxo dos rios ou ao deslocamento de sedimentos em direção ao mar (SANTORO, 2015; SOUZA, 2015). O colapso e a subsidência acontecem quando o solo perde sua sustentação e depende da composição de seus horizontes. Solos porosos e que mostram-se sensíveis à água tendem a colapsar, podendo causar danos à construção civil (FILHO, 2015; MENDES, 2015).

A taxa de erosão é uma função da meteorologia, geologia, topografia, composição da superfície da Terra e cobertura vegetal. Sabendo disso, diversas ações humanas podem acelerar esses processos, como demonstrado na Tabela 5 (ALEXANDER; FORMAN, 1998; WMO, 2003).

Tabela 5. Relação entre ações humanas e processos erosivos.

(continua)

AÇÕES HUMANAS	EVENTOS
Desmatamento Solo exposto Agricultura sem práticas conservacionistas	Erosão Assoreamento Perda da fertilidade
Impermeabilização Adensamento urbano Deficiências no sistema de drenagem Bueiros e galerias entupidas	Escoamento superficial Inundações Alagamentos
Acúmulo de resíduos sólidos	Inundações Escorregamentos
Ocupação de área de declive Intervenções de cortes e aterros	Escorregamentos
Ocupação da terra à margem de cursos d'água	Inundações
Desvio de cursos d'água	Inundações Erosão
Bombeamento em excesso da água subterrânea Rebaixamento do lençol freático	Colapsos Subsidências
Urbanização em praias Retirada de areia em grandes volumes	Erosão costeira

Tabela 5. Relação entre ações humanas e processos erosivos.

(conclusão)

Exploração de jazidas	Instabilidade dos taludes Mudança na geomorfologia
Traçado da rodovia	Erosão Assoreamento Compactação
Alteração da topografia	Planícies de inundação Erosão em área de declive Mudança na geomorfologia
Alteração nos padrões de drenagem	Instabilidade do solo Danos à agricultura Prejuízo à qualidade da água Alteração do estado de corpos d'água
Acidentes	Poluição do solo

Fonte: do Amaral (2018) e DER-MG (2008).

As ações humanas descritas podem acelerar os processos de erosão ao afetar o regime hidrológico da região. O desmatamento promove a erosão ao tornar o solo exposto. Sem a proteção da vegetação para conter a energia cinética da chuva, aumenta a chance da destruição de agregados do solo. O solo exposto pode tanto erodir em camadas (erosão laminar) como em sulcos dependendo da topografia e da sua permeabilidade (ALEXANDER; FORMAN, 1998; WMO, 2003). Monoculturas também podem ter seu papel se não cobrirem o solo adequadamente (SANTORO, 2015; TOMINAGA, 2015b). A geometria da pista também é responsável pela intensificação da erosão dependendo do seu traçado, declividade e largura. Rodovias em áreas montanhosas exigem o retaludamento, alterando significativamente a topografia (CETESB, 2013). Superfícies mais íngremes estão mais vulneráveis à erosão. Devido à sua inclinação, mais água tende a escoar superficialmente do que penetrar no solo, favorecendo o carreamento de partículas (WMO, 2003). Escoamentos locais devido ao solo impermeabilizado ou à drenagem urbana podem concentrar o efeito erosivo de uma grande área em apenas um curso d'água, causando grandes perdas de solo. O colapso do solo, que pode causar rachaduras e recalque em prédios, pode ser acelerado por cortes na terra na profundidade do lençol freático (do AMARAL, 2018).

No caso de uma área de serra, a escavação é necessária durante a terraplanagem. O DNIT (2006) lembra que canteiros e arredores das áreas de trabalho também são abertos, isto é, escavados, além da possibilidade de extração

de areia e de pedreiras da própria área para o empreendimento. A SP-99 também é exemplo da construção de túneis (CETESB, 2013), exigindo mais escavação e detonação de pedras, levando à geração de ruído e de poeira. A limpeza da área para a operação também cria uma nova área suscetível à erosão quando há solo exposto e terreno íngreme. Nesse caso, o DNIT (2006) chama a atenção para os períodos de chuvas. Devido ao trecho em serra, as obras na rodovia SP-99 (Rodovia dos Tamoios) exigem a construção de taludes. A Serra do Mar ainda se encontra marcada pelo conhecido hecatombe de 1967 – um dos principais escorregamentos ocorridos no Brasil, em que 400 casas foram destruídas, 120 vidas perdidas, e cerca de 2 mi de toneladas de lama foram movimentados devido a chuvas de até 420 mm/dia (MARCELINO, 2004). No caso dessa região, MARCELINO (2004) aponta o papel da geologia, pedologia, geomorfologia, clima, cobertura vegetal e antropismo na ocorrência do movimento de massa. O solo da Serra do Mar é especialmente úmido e já era afetado por deslizamentos antes da intervenção humana (do AMARAL et al., 2017).

A erosão é a perda de solo, sendo prejudicial à várias atividades humanas ligadas à terra. Onde se pratica a agricultura sem os cuidados necessários de uso e manejo, a erosão retira o solo, seus nutrientes e até mesmo a vegetação (DER-MG, 2008). Onde há construção civil, a subsidência e a erosão podem danificar prédios causando rachaduras e recalques, isto é, inclinação do prédio devido ao solo se comprimir com o peso da obra (do AMARAL, 2018).

Um efeito negativo da erosão está em onde esse material removido acaba depositado. Comumente, o solo movimentado se deposita nos fundos dos rios, causando o assoreamento. Essa deposição diminui a capacidade hídrica dos rios, isto é, o seu volume útil, e aumenta a ocorrência de inundações (WMO, 2003). O DNIT (2006) aponta para a relação entre o assoreamento e as atividades na construção de uma rodovia, que expõem solo para a área de trabalho, canteiros, aterros, taludes, etc. A deposição dos sedimentos no fundo do corpo hídrico depende da sua velocidade média. Quando mais lento o movimento da água, mas rápido o sedimento descera até o fundo. Contudo, os sedimentos mais finos e que tendem a não afundar rapidamente aumentam a turbidez. Menos luz penetra águas turvas, danificando a erosão e, por sua vez, toda a cadeia trófica do ecossistema (ALEXANDER; FORMAN, 1998; CALIJURI; CUNHA, 2013; CHAPIN et al., 2002). O

assoreamento pode acabar em um ciclo de retorno positivo se houver desmatamento em margens de rios. A sedimentação aumenta a ocorrência de inundações, e as inundações causam mais erosão (DNIT, 2006; WMO, 2003).

5.2.4. AUMENTO DA TEMPERATURA

A pavimentação das rodovias com asfalto traz um aumento da temperatura local. Mesmo em áreas densamente arborizadas, observam-se gradientes de temperatura em até 3 m (ARÉVALO et al., 2007). Atribui-se ao asfalto uma taxa de absorção de calor de até 0,95. Devido à sua condutividade – isto é, capacidade de transferir energia –, o asfalto ganha calor facilmente, mas dispersa calor lentamente. Ao longo do dia, o asfalto pode ser até 24°C mais quente do que o ar (CHEN et al., 2010). Esse aumento de temperatura deve-se a características conhecidas do asfalto (CAMBRIDGE SYSTEMATICS, 2005):

- **Albedo** – O albedo é um parâmetro que mede a capacidade de uma superfície de refletir radiação, incluindo radiação de alta frequência, como infravermelho e a luz visível. Quanto maior o albedo, mais a superfície reflete a energia solar e menos energia ela absorve; quanto menor o albedo, mais energia a superfície absorve, aumentando sua temperatura.
- **Condutividade** – É a característica física de um corpo de transferir calor. Quando maior a condutividade, mais rapidamente o corpo absorve ou perde energia. Condutividades mais baixas caracterizam um corpo que guarda mais calor na superfície de contato e perde esse calor vagarosamente.
- **Espessura** – Dada a condutividade do material, um asfalto mais fino acumula energia o suficiente para elevar sua temperatura mais rapidamente.
- **Emissividade** – A emissividade está relacionada à perda de calor pela irradiação. Quanto maior a emissividade, mais energia o corpo perde por irradiação.
- **Convecção** – A convecção é a troca de calor devido ao movimento de fluidos. No caso do asfalto, o fluido em movimento é o ar em sua superfície. A perda de calor por convecção depende da superfície exposta ao fluido. Assim, asfaltos rugosos e porosos perdem calor mais rapidamente do que

asfaltos lisos convencionais.

A transferência de energia, seja ganho ou perda de calor, pode ser calculado dado os parâmetros mencionados e as equações a seguir (HAN et al., 2017).

A transferência de calor por **condutividade** está relacionada ao material usado no asfalto:

$$K \frac{\partial^2 T(x,t)}{\partial x^2} = \rho c \frac{\partial T(x,t)}{\partial t} \quad (\text{eq. 20})$$

K é a condutividade do material (W/mK), **T** é a temperatura em uma posição **x** (m) em um tempo **t** (s), **p** é a densidade (kg/m³) e **c** é o calor específico (J/kgK).

A transferência de calor por **convecção** está relacionada à superfície do pavimento e a sua textura:

$$Q = hA(T_s - T_f) \quad (\text{eq. 21})$$

Em que **Q** é a transferência de energia (W), **h** é uma constante, **A** é a área da superfície (m²), **T_s** é a temperatura da superfície e **T_f** é a temperatura do fluido (K).

A transferência de calor por **irradiação** é a mais lenta e pode ser calculada pela fórmula:

$$q = \varepsilon k_B T^4 \quad (\text{eq. 22})$$

Em que **Q** é a transferência de calor (Q/m²K), **ε** é a emissividade (entre 0 e 1), **k_B** é a constante de Boltzmann e **T** é a temperatura da superfície (K).

Para calcular a temperatura superficial do pavimento ao longo do dia, QIN (2016) partiu da soma das trocas de calor realizadas pelos mecanismos mencionados (eq. 20–22) e associou isso à incidência de luz solar (**I** em W/m²) e ao albedo. Essa incidência da radiação solar, por sua vez, varia ao longo do dia e some durante a noite. Ela pode ser modelada assim:

$$I = I_0 \cos(\omega t - \varphi), \forall t \in [t_{nasc}, t_{por}] \quad (\text{eq. 23})$$

$$I = 0 \forall t \in (t_{por}, t_{nasc}) \quad (\text{eq. 24})$$

Ou seja, a temperatura na superfície da Terra depende da radiação solar e da reflexão dessa radiação de volta ao espaço (albedo).

$$(1-R)I = -k \frac{\partial T_{x=0}}{\partial x} + h(T_s + T_a) + \varepsilon k_B (T_s^4 - T_{céu}^4) \quad (\text{eq. 25})$$

Com isso, QIN (2016) modelou a temperatura da superfície do asfalto ao longo do dia resolvendo a série de Fourier e simplificando-a:

$$T(t) = A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos(\omega t - \varphi) \quad (\text{eq. 26})$$

$$T_s(t) = A_{dia} \cos(\omega_{dia} t - \varphi_{dia}) \quad (\text{eq. 27})$$

Essa amplitude diária de mudança de temperatura pode ser encontrada analiticamente como dependendo do dia, do albedo, da incidência de luz solar, da condutividade, da densidade e do calor específico:

$$A_{dia} = \frac{a_1(1-R)I_0}{2\sqrt{k c \rho \omega_{dia}}} + A_0 \quad (\text{eq. 28})$$

Assim, é possível encontrar qual será a temperatura máxima do asfalto:

$$T_{max} = C \frac{(1-R)I_0}{\sqrt{\omega_{dia}}} + T_0 \quad (\text{eq. 29})$$

O asfalto também é responsável pelo aumento da temperatura pela emissão de carbono em sua produção (CAMBRIDGE SYSTEMATICS, 2005; GU et al., 2018).

O CO₂ é conhecido pela sua capacidade de reter calor e acelerar o aquecimento global. Essa capacidade se dá pelo fato de suas moléculas absorverem a energia no comprimento de onda infravermelho e não refletir essa energia de volta, elevando a temperatura média da Terra com o passar do tempo (FELLOWS et al., 1999; FENG; RAMANATHAN, 2009).

5.3. MEDIDAS DE MITIGAÇÃO

Em seu estudo sobre atropelamentos em uma rodovia do Cerrado, Cáceres et al. (2012) apresentam diversas recomendações para diminuir as colisões veículo-animal:

- I. Uso de **placas sinalizadoras** nos trechos críticos, indicando risco de animais na pista; recomenda-se mostrar a silhueta das espécies mais prováveis de atropelamento e a época do ano com maior incidência, através de símbolos de fácil entendimento;

- II. Uso de **redutores de velocidade** de veículos nesses trechos segundo as normas de trânsito nacionais, caso não exista um sistema que facilite a passagem de fauna, de modo seguro, através da rodovia;
- III. Uso de **cercas de contenção** (cercas-guia) nos trechos em que grandes fragmentos de cerradão ou de mata ciliar encostam-se à rodovia, evitando com que os mesmos atravessem-na em locais impróprios;
- IV. Experimentar a construção de **túneis** amplos que passem sob a rodovia, para que sejam usados como passadouros de fauna, aliados à instalação de cercas-guia, nos trechos com maiores frequências de atropelamentos. Pontes já existentes deveriam ser adequadas a esses propósitos, já que matas de galeria são corredores naturais de fauna.
- V. **Monitorar** o efeito de cada uma dessas medidas e suas combinações, antes, durante e após suas execuções. Monitorar também espécies ameaçadas de extinção, como *M. tridactyla*, em função da utilização do entorno de rodovias. (grifo do Autor; CÁCERES et al., 2012)

Essas mesmas sugestões também são propostas por Abrantes et al. (2018) sobre atropelamentos na Rodovia Transamazônica. Bagatini (2006) reforça a importância da parte de monitoração para avaliar a eficiência da medida tomada, citando exemplo de passagens para tartarugas do deserto que eram utilizadas não pelas tartarugas, mas por coiotes, corvos e raposas. Jones et al. (2014) argumentam que é importante ter dados sobre os impactos das rodovias e os fatores envolvidos (trechos com mais atropelamentos, com mais tráfego, trechos iluminados, etc.) para desenvolver medidas de mitigação eficientes – tanto ecologicamente quanto financeiramente.

5.3.1. CERCAS

Cercas podem dar resultados positivos quanto à diminuição de atropelamentos em rodovias mesmo em aplicações mais econômicas (cercas menores) se o comportamento das populações for bem observado ao longo dos anos, mas vale lembrar que as cercas são uma barreira – isto é, limitam a locomoção da fauna, o que pode ser resultados negativos na diversidade genética e não resolve o problema da fragmentação de hábitat (BASTING et al., 2016; CLEVENGER et al., 2011). Entender o comportamento de cada população, isto é, de cada espécie, é crucial para a aplicação de qualquer medida de mitigação,

inclusive de cercas (BAXTER-GILBERT et al., 2015; JONES et al., 2014). Por exemplo, as colisões com veados-mula (*Odocoileus hemionus*) não dependem do tempo, mas apenas da aplicação de medidas de mitigação (BISSONETTE; ROSA, 2012).

Estimando sistematicamente os custos e resultados de cercas e passagens de fauna, Jones et al. (2014) apontam que o custo do projeto foi proporcional à proteção dos coalas (*Phascolarctos cinereus*) – menos gasto significa sempre mais perda da população. Mas o gasto para proteger a população deve ser direcionado de acordo com o conhecimento sobre seu comportamento, pois o cenário de aplicar tanto passagens de fauna quanto cercas não foi o melhor cenário encontrado. Conhecendo a presença e os números dos atropelamentos ao longo de um trecho de 93 km da Highway 93S no Canadá – 84% ungulados, incluindo ursos (*Ursus spp.*), lobos-cinzentos (*Canis lupus*) e lince (*Lynx lynx canadensis*) –, Clevenger et al. (2011) e BASTING et al. (2016) propuseram cenários com cercas de 2 a 25 km e encontraram que o benefício depende do período e da espécie, mas que foi melhor do que o esperado, diminuindo em até 50% as colisões da fauna com veículos, e chegando a até 80% de redução na proposta de uma seção de 45 km cercada. Apesar de resultados positivos com cercas menores (2 km), geralmente os atropelamentos não são homogêneos, isto é, tem pontos com maior concentração de atropelamento, chamados *Wildlife Vehicle Collision Hotspots* (WVC hotspot) (CLEVENGER et al., 2011; LI et al., 2018;). Estatisticamente, as cercas menores têm maior chance de se encontrarem fora desses WVC hotspots, não alcançando a redução de atropelamentos esperada. Com isso em conta, o melhor custo-benefício para esse caso específico do atropelamento de ungulados no Canadá foi o de cercas de 10 km, e a variabilidade dos resultados diminui com cercas de pelo menos 5 km (BASTING et al., 2016; CLEVANGER et al., 2011).

As cercas podem não ser uma medida de mitigação permanente, isto é, os atropelamentos podem voltar depois da instalação da cerca. Mesmo nos casos de melhor mitigação, assim como o atropelamento pode impactar a abundância de uma espécie no passado, o comportamento de uma espécie pode mudar com o tempo, contornando a cerca e trazendo de volta o problema dos atropelamentos (CLEVENGER et al., 2011; FAHRIG; LESBARRÈRES, 2012). Um exemplo disso é o fenômeno de fim-de-cerca, em que o animal acompanha o perímetro da cerca até

um lugar em que consegue atravessar a rodovia. O planejamento da cerca deve incluir como alternativa medidas para desencorajar a travessia nas extremidades da cerca. A cerca pode se afastar da rodovia nas extremidades ou, se estiver disponível, acabar em uma ponte, em um declive muito íngreme que não seja atrativo para o animal ou em rocha (BASTING et al., 2016).

Mesmo quando se mostram promissoras as cercas menores (2 km), geralmente os atropelamentos têm pontos com maior ocorrência de atropelamento, chamados *hotspots* (CLEVENGER et al., 2011; LI et al., 2018). Estatisticamente, as cercas mais curtas têm maior chance de estarem instaladas fora desses *hotspots*. Esses pontos costumam estar próximos ao hábitat da espécie. Como se sabe que, ao longo dos anos, os atropelamentos já tiveram resultados em mudar a abundância local de espécies (CLEVENGER et al., 2011; FAHRIG; LESBARRÈRES, 2012), entender as preferências da espécie e estimar qual seu hábitat de preferência pode ajudar a aplicar a cerca de forma a recuperar uma população em declínio. Assim, conhecer as exigências e o comportamento de uma espécie ajuda na escolha do lugar mais apropriado para a medida de mitigação (BAXTER-GILBERT et al., 2015; FAHRIG; LESBARRÈRES, 2012). Para estimar a eficiência de um sistema de cercas, um experimento sugerido é o BACI (acrônimo em inglês para "antes-depois-controle-impacto"): um trecho é separado em zonas de tamanho igual; aleatoriamente, são instaladas cercas de determinados comprimentos ou designs nas zonas (CUNNINGTON et al., 2015). Como a natureza desse experimento não leva em conta o comportamento das espécies ao longo dos anos e tampouco os *hotspots*, o monitoramento das colisões ainda é essencial (CLEVENGER et al., 2011; LI et al., 2018).

Uma medida que poderia tomada junto às cercas ao redor das rodovias é a de afastar os animais pelo odor. A proposta para o uso de repelentes é apresentada por Andersen et al. (2011) ao usar urina de um predador – o lobo (*Canis lupus*) – para afugentar veados (*Capreolus capreolus* e *Cervus elaphus*) das margens de uma rodovia. A hipótese mostrou-se falsa; urina de lobo não funciona como repelente para afugentar veados da rodovia. Uma explicação para isso está no estudo de Ježek et al. (2015): se o predador está ausente no ambiente (devido à caça, por exemplo), o comportamento da presa muda, sendo menos cautelosa ao sentir o odor. Embora o estudo de Ježek et al. (2015) tenha diminuído as colisões

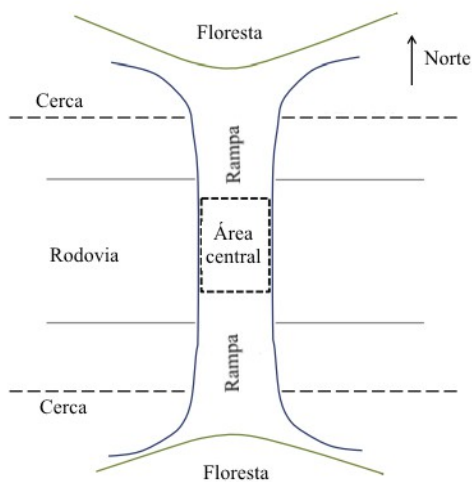
com animais em duas rodovias na República Tcheca, o grupo do estudo afirma a importância do monitoramento para compreender mudanças sazonais e fazer a reaplicação periódica do repelente. Mudanças de comportamento causadas por pressões ambientais, como a caça ou escassez de alimento, também devem ser levadas em conta.

5.3.2. PASSAGENS

Sabendo que as rodovias criam um efeito barreira, isto é, funcionam como muros separando dois lados, surgiu a hipótese de que esse isolamento pode ser mitigado com áreas verdes entre as pistas das rodovias. Para trechos arborizados, seria possível que um indivíduo viva e se multiplique entre as pistas. Essa primeira tentativa de mitigar a fragmentação de hábitat e isolamento de populações mostrou-se totalmente ineficiente: trechos gramados ou arborizados não tiveram diferença no sucesso dos indivíduos atravessarem a rodovia em qualquer largura (FAHRIG et al., 2011). Outro estudo com um resultado negativo foi o de Cunnington et al. (2014), que experimentou com passagens inferiores para a passagem de anfíbios (anuros). No estudo, não houve uma diminuição significativa dos animais na pista com a instalação da passagem. O estudo concluiu que não se deve ver passagens inferiores de concreto como medidas de mitigação para o atropelamento de anfíbios. Contudo, o uso de cercas diminuiu a mortalidade, o que indica que cercas evitam a mortalidade de anuros mais do que passagens.

Além das passagens inferiores, também são comuns as passagens superiores, isto é, passarelas por cima da rodovia intencionadas à travessia da fauna, como na Figura 14.

Fig. 14. Passagem superior genérica.

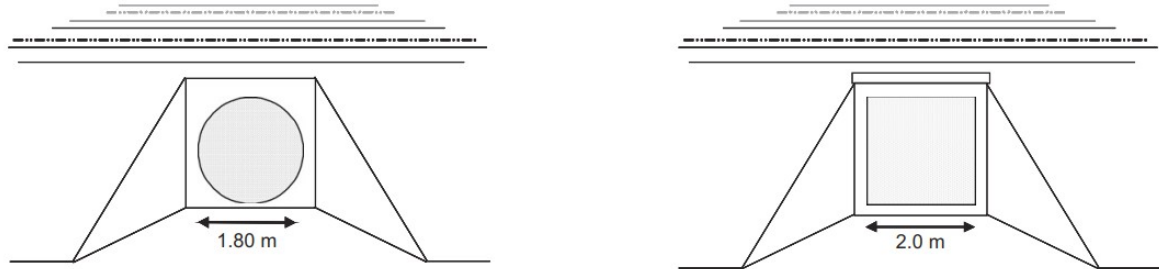


Fonte: Jones; Pell (2015)

Herranz et al. (2008) argumentam que passagens de fauna são capazes de acomodar uma variedade de espécies, e afirmam que isso dá relevância à estrutura. Quanto ao tipo de passagem, o estudo de Herranz et al. (2008) encontrou índices altos de aproveitamento das estruturas pela fauna em todas as passagens com exceção das passagens subterrâneas. Passagens que não sejam intencionadas à travessia da fauna (como passarelas e bueiros) também apresentam resultados promissores em situações de pouca atividade humana (BISSONETTE; ROSA, 2012). No norte do Arizona, nos EUA, Boe et al. (2015) usam o exemplo da I-17 para a adaptação de estruturas já existentes para a passagem da fauna. Usando cercas de 2,4 m de altura por 9,17 km, foi possível guiar uapitis (*Cervus canadensis*) até duas pontes e duas outras estruturas de travessia e reduzir as colisões com essa espécie em até 97% sem que se percebesse algum efeito de fim-de-cerca.

A Figura 15 mostra diagramas de passagens inferiores genéricas, as quais podem ter o uso primário de escoar a água das chuvas, mas que também são utilizadas por animais.

Fig. 15. Diagrama de passagens inferiores



Fonte: Hervás et al. (2008)

Em um habitat fragmentado, a dispersão de uma espécie se dá por corredores dispersores – isto é, caminhos lineares que ligam fragmentos de habitat. Uma metodologia bastante útil para entender esses corredores é o Caminho de Menor Custo (LaRUE; NIELSEN, 2008). Essa metodologia depende de um Sistema de Informações Geográficas – SIG que gere uma imagem georeferenciada de uma região. Essa imagem é formada de células as quais têm valores próprios do custo da locomoção através delas (paisagem natural ou artificial, densidade de seres humanos, estradas, declives, etc.). O Caminho de Menor Custo será um caminho que liga dois fragmentos de habitat preferido pelo animal. Essa metodologia tem o potencial de oferecer dados para a melhor implantação de passagens de fauna.

AKAY; GÜLCİ (2015) decidiram associar os pontos de travessia e *hotspots* com pontos de mitigação de maior eficiência. Para isso, usaram da metodologia do Caminho de Menor Custo e da linearização com ferramentas de SIG em dados sobre a presença de veados (*Capreolus capreolus*) para fins de testar seu potencial e apresentou os caminhos com menor custo de locomoção cumulativamente. No estudo, também afirmam que essa metodologia é promissora para o uso em outras espécies. Também é possível avaliar a estrutura de passagem de fauna com três parâmetros: permeabilidade, acessibilidade e posicionamento (DEES et al., 2013). A permeabilidade depende das características técnicas da estrutura. Esse parâmetro tem um valor de 0 (canal abaixo da rodovia de até 1,5 m) a 10 (travessia superior com mais de 1000 m de largura). No estudo, o valor de 5 (viaduto de 20 a 40 m de largura fora do alcance de visão de alguma ocupação humana) foi considerado o mínimo para considerar uma estrutura permeável. Já os parâmetros acessibilidade e posicionamento foram encontrados por modelagem usando um sistema de informações geográficas.

Especialmente na província de Zamora, na Espanha, observa-se um crescimento nas populações de veados (*Cervus elaphus* e *Capreolus capreolus*) e javali (*Sus scrofa*), o que é interpretado como sinal de regeneração da vegetação natural (HERRANZ et al., 2008). Em contrapartida, a presença de herbívoros atrai lobos (*Canis lupus*).

Analisando pegadas em camadas de poeira, diversas espécies de mamíferos e répteis são encontradas atravessando rodovias (sejam com passagens voltadas à fauna ou não) na Península Ibérica. Herranz et al. (2008) reconhecem que não há dados sobre anfíbios e atribui isso à metodologia de analisar pegadas não ser usada em áreas alagadas. Um trecho de 57 km de rodovia na Espanha conta com estruturas para a passagem de fauna:

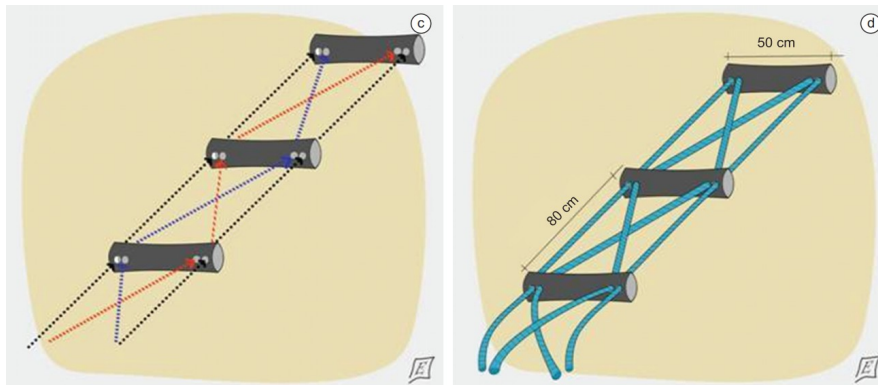
- duas passagens de fauna superiores;
- uma passagem inferior;
- uma passagem subterrânea;
- outras 35 estruturas de travessia não específicas para animais (como passarelas e bueiros).

As passagens mencionadas são todas usadas por espécies da fauna para a locomoção, sendo a raposa (*Vulpes vulpes*) a mais comum, seguida de outros canídeos e texugos (*Meles meles*). Diversas outras espécies, não só de mamíferos, também podem ser identificadas (HERRANZ et al., 2008). Em contraste a isso, o veado (*Capreolus capreolus*) do estudo de AKAY; GÜLCİ (2015), foram encontrados diversos obstáculos que impediam a locomoção entre os fragmentos de hábitat, como cercas e até mesmo passagem sobre túneis devido aos declives.

Passagens de fauna são de diversos tipos: pontes verdes, pontes de corda, travessias subterrâneas, passarelas, etc. E as espécies têm preferências e exigências próprias (ALONSO et al., 2013; FAHRIG; LESBARRÈRES, 2012; HERRANZ et al., 2008). Por exemplo, bugios (*Alouatta guariba clamitans*), saruês (*Didelphis albiventris*) e porcos-espinho (*Sphiggurus villosus*) (ALONSO et al., 2013) são observados usando pontes de corda ligadas a copas de árvores, como a ilustrada na Figura 16. Outro estudo na Austrália também encontrou diversas espécies atravessando pontes de corda, indicando que são passagens eficientes

em florestas úmidas (GONDINGAY et al., 2013).

Fig. 16. Passagem de Fauna de Corda



Fonte: Alonso et al., 2013.

No entanto, no lugar de estruturas diversas instaladas ao longo da rodovia, é possível combinar as exigências de distintas espécies em poucos tipos de passagens. Espécies menos sensíveis podem até mesmo usar de estruturas que não são voltadas à travessia de fauna, como bueiros e passagens subterrâneas para drenar água. Com esse conhecimento, alguns sugerem que passagens inferiores alargadas para atender às exigências de da maioria da diversidade da fauna (FAHRIG; LESBARRÈRES, 2012; HERRANZ et al., 2008) e outros afirmam que não existe um modelo universal de travessia (ALONSO et al., 2013; BASTING et al., 2016; BENNETT, 2017; JONES; PELL, 2015). Por exemplo, no caso de ungulados – veados (*Odocoileus spp.*), urso (*Ursus spp.*) e onça-parda (*Puma concolor*) –, os resultados de Basting et al. (2016) mostraram que uso por cada espécie identificada variou de acordo com os tipos de passagens inferiores, mas foi indiferente quanto ao comprimento das cercas instaladas (no entanto, as cercas desse estudo foram de algumas centenas de metros). Mesmo assim, sugere-se que várias passagens em um trecho longo cercado impede que mais indivíduos cheguem ao fim da cerca, diminuindo o efeito de fim-de-cerca, e promove que mais animais usem as travessias. A efetividade das passagens dependendo do uso de cercas e do conhecimento de *hotspots* aumenta a importância dos estudos sobre o atropelamento de fauna (ABRA et al., 2013). Diversos fatores estão relacionados à eficiência das passagens. Além das preferências de cada espécie e do uso de cercas, a estrutura da passagem pode ser mais ou menos amigável (BAXTER-GILBERT et al., 2015; FAHRIG; LESBARRÈRES, 2012). No Arizona, foi observado um uso intenso de passagens de fauna por espécies de veados (*C. capreolus*,

Cervus spp., *Odocoileus spp.*). Observando os animais ao atravessar, se acredita que o comprimento da passagem é um impedimento para algumas espécies. Outras gravações indicam que a dispersão do som pela estrutura de concreto ou a possibilidade de predadores encurralarem os animais nas paisagens diminui a preferência dos animais pela travessia (DODD et al., 2011).

Um exemplo da aplicação de medidas de mitigação com base no conhecimento do comportamento da espécie é um da Suécia, em que passagens subterrâneas foram instaladas, junto a cercas, para que anfíbios – rãs (*Rana arvalis*) e salamandras (*Lissotriton vulgaris*) – migrem durante a primavera (HELLDIN; PETROVAN, 2019). O estudo estimou que em algumas noites mais de 200 indivíduos tenham sido salvos, isto é, não teriam sobrevivido caso não houvessem as passagens. Mesmo com o planejamento, esse projeto encontrou efeitos de fim-de-cerca, o que fez com que não alcançasse a mitigação esperada. Enquanto alguns indivíduos aparentemente não encontraram os túneis, outros foram carregados até eles pela água.

Em outro estudo, as passagens se mostraram desfavoráveis para toda a espécie dos glutões (*Gulo gulo*) (CLEVINGER, 2013). O estudo de Baxter-Gilbert et al. (2015) pode explicar esses resultados divergentes, pois se trata de um estudo BACI em uma rodovia em Ontario, no Canadá, na qual planejou-se instalar cercas e passagens. Comparando os números de répteis na rodovia no controle e com as cercas e passagens, ainda houve mais répteis atravessando pela rodovia, e não pelas passagens de fauna. Posteriormente foram encontrados diversos vãos nas cercas pelos quais os répteis atravessaram, além das críticas que o estudo faz sobre cercas de materiais que podem ser facilmente rompidos pelos animais. O grupo do estudo afirma que é necessário entender o comportamento da espécie para que a passagem de fauna se enquadre em suas exigências e que a eficiência das estruturas de conectividade (passagens) depende do sucesso das estruturas de exclusão (cercas). Embora o estudo aponte para a preocupação com a fragmentação de hábitat e o isolamento de populações no caso das travessias não serem usadas pelos animais, Bennett (2017) comenta que mesmo um uso baixo das ecopassagens justifica sua implantação se esse fluxo de animais for capaz de sustentar a diversidade genética da população.

A eficiência de cercas e de passagens costuma ser estudado em conjunto,

mas os trabalhos divergem quanto ao efeito combinado dessas medidas (ABRA et al., 2013; CUNNINGTON et al., 2014; DODD et al., 2011; FAHRIG; LESBARRÈRES, 2012; HELLDIN; PETROVAN, 2019). O que se sugere é que seja estudado qual o melhor lugar para instalar a passagem de acordo com um *hotspot* de atropelamentos – assim como se faz para escolher o trecho mais apropriado para uma cerca (FAHRIG; LESBARRÈRES, 2012).

5.3.3. OUTRAS MEDIDAS

5.3.3.1. TÚNEIS

Túneis levam tanto vantagens ao traçado de uma rodovia quanto vantagens em diminuir o impacto ambiental. Primeiramente, túneis não estão submetidos a uma topografia acidentada e permitem uma geometria mais conveniente para a rodovia. Túneis também impactam menos os ecossistemas, pois não têm efeito barreira, estradas adjacente e têm menos mudança no uso do solo (CETESB, 2013). No caso das obras na rodovia SP-99 (Rodovia dos Tamoios), depois de estudar o solo e o relevo da região, foram decididos ao todo mais de 12 km de túneis, com o fim de reduzir os impactos sobre o solo e a geologia. O traçado inclui áreas com solo Dentrítico Fluviocoluvial, Dentrítico Fluviogravitacional, Dentrítico Fluviomarinho e Marinho, bem como rochas em processo de erosão. Os túneis foram especialmente projetados para evitar trechos desfavoráveis.

5.3.3.2. REDUÇÃO DA ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL

Pauwels (2018) apontou para a necessidade de levar em conta o fator da poluição luminosa no planejamento de corredores ecológicos; que deve-se pensar no impacto sobre espécies noturnas e no conforto para atividades humanas durante a noite. Devido à expansão urbana e a divulgação do conhecimento do impacto da IAN sobre as tartarugas marinhas, o Projeto TAMAR busca impor regulamentos sobre a implantação de luz artificial nas proximidades de áreas de desova (SILVA, 2001). Uma sugestão é o uso de detectores de movimento em área de pouco tráfego a fim de diminuir o tempo de exposição à IAN (PAUWELS, 2018).

5.3.3.3. TRATAMENTO DE ÁGUAS

No seu parecer sobre as obras na Rodovia dos Tamoios, a CETESB (2013) aponta que os corpos hídricos da região são especialmente vulneráveis às atividades da obra; que muitos são de Classe 1 e estão localizados dentro do Parque Estadual Serra do Mar – PESM. Assim, a obra conta com diversas estações de tratamento de águas residuárias, com partículas trazidas das áreas de terraplanagem, escavação de túneis e outras atividades através de estruturas de drenagem em todas as partes da obra, e deve disponibilizar informações quanto ao descarte do lodo gerado. O parecer ainda exige a elaboração de um Manual de Supervisão Ambiental para enumerar os procedimentos, rotinas de inspeção e sistemas de registros, além de um Sistema de Gestão Ambiental – SGA.

5.3.3.4. FECHAMENTO TEMPORÁRIO DA RODOVIA

A Rodovia dos Tamoios (SP-99) conta com 21,5 km em serra. Devido às obras, diversos taludes foram instalados, além de novas áreas desmatadas para o projeto. A Serra do Mar já é vítima de deslizamentos de terra há muito tempo, incluindo a catástrofe de 1967 (do AMARAL et al., 2017; MARCELINO, 2004). Uma medida tomada pela Concessionária Tamoios, responsável pela rodovia, é a interdição temporária da rodovia. Dado o conhecimento da susceptibilidade de chuvas, a rodovia já foi fechada diversas vezes antes de ocorrer um grande deslizamento por prevenção. Essa medida é aplicada quando é identificada uma precipitação superior a 100 mm em um período de até 3 dias (TAMOIOS NEWS, 2019).

Estudando o atropelamento de anfíbios na reserva natural de Wanglang, na China, ao longo de um trecho asfaltado de 10 km, foi possível identificar tanto *hotspots* de atropelamento quanto *hot moments*, isto é, concentração de atropelamento de anfíbios em determinadas partes da rodovia em determinados intervalos de tempo. Não só os atropelamentos foram maiores em abril como também foram maiores de noite. Além de outras medidas de mudança de comportamento humano, o estudo sugere que restringir o tráfego no trecho durante a noite seja a medida de mitigação mais eficiente para o atropelamento de anfíbios (LI et al., 2018).

5.3.3.5. ASFALTO ALTERNATIVO

Na pavimentação de rodovias, é interessante incluir a possibilidade do uso de um tipo de asfalto que diminua seu impacto. Primeiramente, o asfalto emite uma quantidade considerável de poluentes em sua produção, principalmente carbono (CAMBRIDGE SYSTEMATICS, 2005; GU et al., 2018). Porém a emissão de CO e CH₄ em misturas asfálticas com borracha é de 39,7 e 61,7% respectivamente (AMIRKHANIAN et al., 2018).

O asfalto também pode ser desenvolvido de forma a diminuir o gasto energético em sua produção. Combinando a mistura quente de asfalto (WMA) e o asfalto-concreto emborrachado (RAC), criou-se a WarmRAC como uma tecnologia promissora para produção sustentável e econômica de tecnologias de pavimentação. Essa alternativa é considerada sustentável pela aplicação da borracha reutilizada de pneus usados e pela diminuição da emissão de gases do efeito estufa. Essa diminuição de emissão vem de dois lados: da produção e da operação. Misturas de asfalto feitas a temperaturas distintas mostram diminuição na emissão de CO₂ de até 58% e de SO₂ de até 99,9% na produção da mistura asfáltica. Também foi encontrado que pistas de WarmRAC podem economizar em até 14% o gasto de combustível nos veículos, consequentemente emitindo menos poluentes (APOSTOLIDIS et al., 2018).

Uma alternativa é a de que asfalto simplesmente impeça que resíduos da pista poluam o solo. Serviços de varredura da rodovia, com a destinação segura dos resíduos, podem ser bastante eficientes (KANSADAMY et al., 2013). Também sabe-se que a característica do efluente de *runoff* da rodovia depende da composição do asfalto (Le CROICEC, 2000). Também se oferece a possibilidade de um asfalto poroso junto a encanamento de concreto subterrâneo poroso na parte de cima. Quando instalado, isso permite que a água penetre o asfalto até um encanamento, e então o efluente capturado pode ser tratado antes que polua os corpos d'água e o solo (KANSADAMY et al., 2013).

Tanto em condições de laboratório quanto na operação de rodovias, diversas misturas de asfalto poroso com o fim de tratar o escoamento da água já foram aplicadas. Assim, o próprio meio poroso do asfalto, dependendo da porosidade e da

sua composição, pode remover poluentes. Estudos mediram remoção de até 92% dos sólidos suspensos (BARRETT; SAMPSON, 2013). Uma camada de 50 mm de asfalto poroso e rugoso também reteve metais associados à poluição do ar: até 90% do Pb do Cu e do Zn (BARRETT, 2006; HOLLERAN et al., 2016); além disso, o efluente não apresentou concentrações detectáveis de policarbonetos aromáticos (BARRETT, 2006). Le CROICEC et al. (2000) estimam que um hectare de asfalto poroso pode reter até 160 kg de poluentes da água.

Apesar da remoção eficiente de sólidos e de metais, a remoção de Cl e SO₂, por exemplo, não parece ser significativa. Isso explica como o asfalto poroso ainda não é capaz de corrigir outros parâmetros do efluente, como o pH (Le CROICEC et al., 2000). Também é levantada a possibilidade da redispersão dos poluentes presos no asfalto pelo vento ou tráfego da rodovia, podendo voltar a poluir o ar e o solo de maneira aguda. Embora alguns estudos apontem que essa redispersão de poluentes é mínima, situações específicas, como uso do sal para derreter neve na pista e chuvas ácidas podem promover que os poluentes vazem (APOSTOLIDIS et al., 2018; HOLLERAN et al., 2016; XU; ZHANG, 2020).

Embora os resultados de outros estudos sejam promissoras, a implantação de asfaltos porosos oferece desafios. Primeiramente, é preciso estimar sua efetividade em campo e modelar os resultados a curto e longo prazo, incluindo a manutenção do asfalto. A manutenção deve ser realizada tanto para manter a capacidade de adsorção do asfalto quanto para a segurança do tráfego na pista. KURUPPU et al. (2019) listam os desafios da seguinte forma:

- a) indisponibilidade de dados quanto ao custo e dificuldade de estimar os benefícios;
- b) ajuste do *design* para co-otimizar os efeitos ambientais, hidráulicos e estruturais;
- c) dificuldade de simular condição de campo;
- d) modelagem da eficiência ambiental, hidráulica e estrutural de acordo com variações de *design* e uso da rodovia.

Estudando os parâmetros relacionados à geração de ruído pneu-asfalto, é possível desenvolver tecnologias de pavimentação que produzam menos ruído.

Brown (2008) dá como exemplos as misturas de asfalto com 15% do seu peso em borracha de pneus usados, mistura asfáltica de grade densa quente (HMA em inglês), curso de fricção de asfalto de grade aberta (OGFC) – asfalto poroso, cimento-concreto de Portland (PCC) e matriz pedra-asfalto (SMA). A aplicação de asfalto-concreto de grade densa (DGAC) na Califórnia reduziu o ruído da rodovia em 5 dBA. Em Minnesota, o uso de outras misturas asfálticas diminuiu o ruído da rodovia em até 4 dB.

Outro problema trazido pelo asfalto é o aumento da temperatura local. Isso se deve ao seu baixo albedo, à sua condutividade térmica e à sua espessura (CAMBRIDGE SYSTEMATICS, 2005). Assim se desenvolvem técnicas de resfriamento do asfalto. Primeiramente, as técnicas de usar água para resfriar a superfície da pista e de aumentar o albedo do pavimento se mostram pouco eficientes e, no caso do albedo, perigosas. Dada a meta da EPA de diminuir ilhas de calor em áreas urbanas, os EUA focam no potencial de asfalto porosos. Asfaltos porosos podem perder calor para a água ou servir como isolantes com o ar em seus poros. Também existe a alternativa de coletar o calor do asfalto, isto é, o uso de trocadores de calor para resfriar o asfalto. Uma alternativa a ser estudada é o aproveitamento do calor latente de algum material para absorver o calor do pavimento, como no gráfico da Figura 17 (CHEN et al., 2010). O calor latente é a quantidade de energia requerida por um composto para mudar de fase, por exemplo, na fusão ou na ebulição (SAGARA; SHARMA, 2005). Quando não está mudando de fase, um composto absorve calor e aumenta sua temperatura segundo a seguinte equação:

$$Q = m c \Delta T \quad (\text{eq. 30})$$

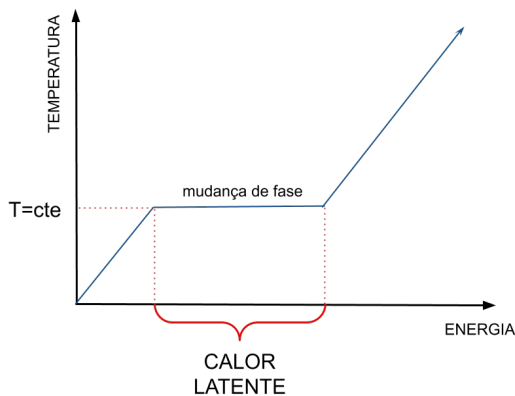
Sendo que **m** é a massa do corpo (kg), **c** é seu calor específico (J/kgK), **T** a temperatura (K) e **Q** o calor (J).

Mas o corpo precisa de uma quantidade de calor para mudar de fase, mantendo uma temperatura constante. Nesse caso, o calor absorvido é encontrado pela equação:

$$Q = mL \quad (\text{eq. 31})$$

Em que **m** é a massa do corpo (kg), **L** é o calor latente (J/kg) e **Q** é o calor absorvido (J).

Fig. 17. Gráfico da Temperatura x Energia em um Composto.



Fonte: Autor

Chen et al. (2010) propõem que deve-se buscar compostos com grande calor latente, alta condutividade térmica, alto calor específico, pouca dilatação térmica, não-corrosivo e não-tóxico.

5.3.3.6. CONTENÇÃO DA EROSÃO

São conhecidos diversos métodos para conter a erosão. Sabendo que ela é um fenômeno natural, as medidas não são 100% efetivas, mas buscam aumentar a segurança da população. Quanto às estruturas de contenção, elas podem ser (CETESB, 2013; DER-MG, 2008):

- **O retaludamento** – A redução da inclinação do declive conforme demonstrado na Figura 18, removendo o material e instalando banquetas para a estabilização do talude. Também se cria um canal para a drenagem mais segura da água, já que o retaludamento diminui a infiltração.

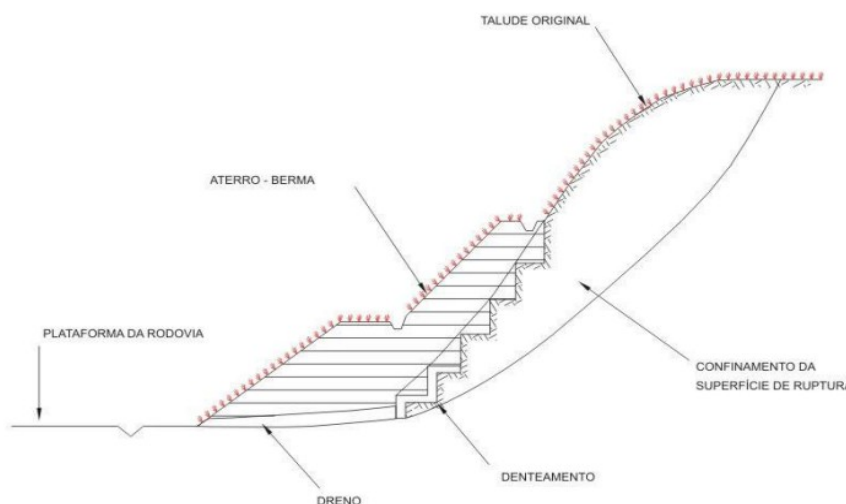
Fig. 18. Retaludamento.



Fonte: DER-MG (2008)

- **O enrocamento** – Escavação do terreno e compactação das margens da área escavada. Essa estrutura busca evitar grandes perdas de solo protegendo a área com uma espécie de muro feito da terra compactada.
- **Os aterros** – Confinar a superfície da ruptura no solo cobrindo a base do escorregamento com terra, como na Figura 19. Para isso, se deve preparar a superfície instalando degraus e também implantar a proteção superficial e drenagem segura da água.

Fig. 19. Aterramento.



Fonte: DER-MG (2008)

- **Aterro reforçado com geotêxtil** – Proteção superficial implementada com a combinação de solo e mantas geotêxteis que contem o declive no lugar. Essa cobertura deve ser protegida contra o intemperismo.

- **Muros de peso** – podem ser instalados em cavidades no solo, como ravinas, e até mesmo taludes podem ser preenchidos com cimento ensacado, criando muros que retêm o solo e diminui o assoreamento. Alguns desses muros podem ser feitos com ferro armado. Gabiões são estruturas semelhantes aos muros de peso instaladas em corpos d'água para impedir erosão fluvial.
- **Cortinas cravadas** – É uma estrutura de contenção provisória na qual estruturas planas ou curvas são cravadas verticalmente no terreno para conter o movimento do solo.

Todas essas estruturas devem ser instaladas juntamente a medidas para a drenagem segura da água, garantindo a estabilidade do solo e direcionando a água a uma estação de tratamento para impedir o carreamento de partículas do solo até os corpos d'água. Na drenagem, a água coletada é conduzida através de Descida d'Água em Degraus e Dissipadores de Energia (CETESB, 2013).

5.3.3.7. REFLORESTAMENTO

O reflorestamento é uma alternativa disponível para mitigar a aceleração da erosão causada por uma rodovia. Em taludes, por exemplo, gramíneas podem ser eficientes pelo fato de suas raízes em manter o solo firme e resistir aos movimentos de massa – em especial o capim Vetiver (*Chrysopogon zizanioides*), que se mostrou leve e de raízes extensas, isto é, exerce menos força sobre o solo e o mantém mais coeso (CAIADO et al., 2013; LEMES, 2001). Apesar das vantagens da grama baixa, um dos motivos pelos quais se realiza o reflorestamento é a vulnerabilidade do solo nu à força da chuva. As gotas de chuva têm energia o suficiente para destruir os agregados do solo, e a presença de uma floresta densa retém essa energia na copa das árvores. Por exemplo, na Mata Atlântica, 20,6% da chuva é interceptada pela vegetação e não chega ao solo imediatamente – semelhante aos 22,6% da Amazônia (GIGLIO; KOBAYAMA, 2013). Os números também mostram que a floresta é pelo menos uma ordem de grandeza mais eficiente do que gramíneas no que se refere à perda de solo, como nas situações medidas na Tabela 6.

Tabela 6. Erosão X Situação do Solo.

SITUAÇÃO	EROSÃO [kg/ha]
Solo nu	253,91±12,11
Gramínea	13,12±1,80
Impermeável	4,78±0,48
Floresta	3,62±0,00

FONTE: Canales et al. (2015)

Além dos benefícios no controle da erosão, o reflorestamento pode ter o efeito da sucessão ecológica e recuperação de hábitat. A legislação prevê esse processo na Resolução SMA 8/08. O texto da Resolução define os estágios das pioneiras, das secundárias iniciais, das secundárias tardias e das climácicas. Esses estágios se referem a evolução da comunidade vegetal do hábitat cada vez mais complexa e habitável para a fauna. É importante, como prevê a Resolução SMA 8/08, a diversidade de espécies nativas na aplicação da técnica de plantio. Esse primeiro estágio do reflorestamento também tem o efeito positivo do sequestro de carbono. Enquanto que a comunidade clímax é independente – isto é, consome quase tudo que produz em complexas teias de nutrientes e energia –, a comunidade pioneira produz mais biomassa do que é consumida, pois ainda está na fase de crescimento (CARTHY et al., 2008).

Já se encontrou que uma área de 1 hectare de floresta pioneira é capaz de absorver de 160,73 a 231,14 mil kg de carbono no próprio corpo das plantas, no solo e na serrapilheira (LU et al., 2019). No estágio secundário, o sequestro de carbono é menor, mas ainda significativo, em 1,18 mil kg ha⁻¹ ano⁻¹ (ALBERTI et al., 2008).

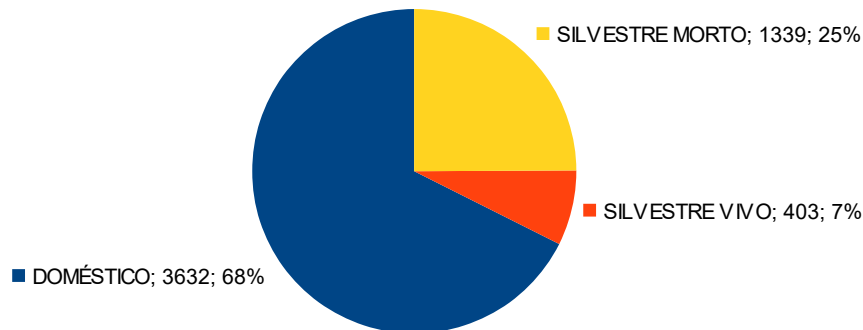
5.3.3.8. MONITORAMENTO

Até mesmo as medidas de mitigação em si alteram o comportamento das espécies, fazendo-se necessário o monitoramento constante para identificar onde é possível melhorar o empreendimento (CLEVENGER et al., 2011; DODD et al., 2011; FAHRIG; LESBARRÈRES, 2012).

Em todo seu trajeto, a maioria (68%) da fauna encontrada na pista é doméstica, como ilustrado no gráfico da Figura 20.

Fig. 20.

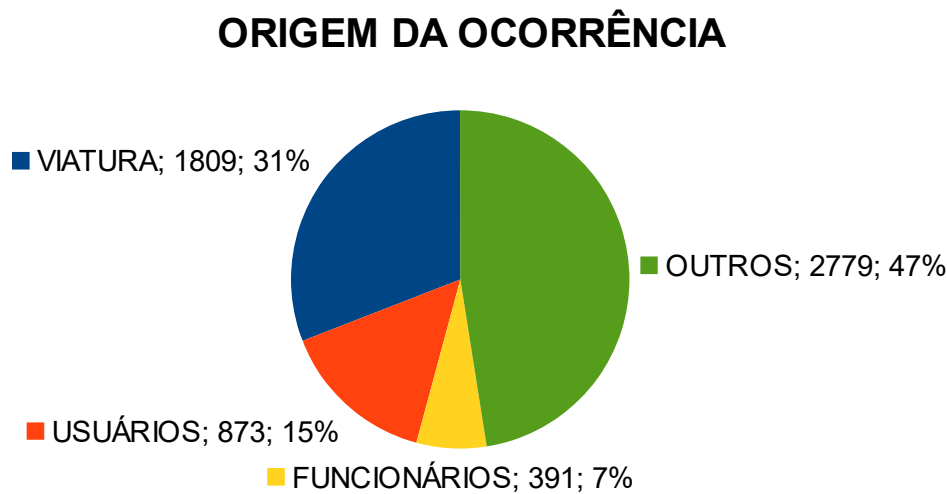
DISTRIBUIÇÃO DE ANIMAIS DOMÉSTICOS E SILVESTRES



Fonte: Tamoios, 2020.

Dos 5575 casos em que a espécie pode ser identificada, 65,15% (3632) era de animais domésticos, isto é, cães, gatos, cavalos, bois, etc. Essas ocorrências se concentraram nos trechos mais próximos a áreas urbanas, como Paraibuna. Desses, apenas 34,25% chegaram ao óbito. Quanto aos silvestres, que somaram menos da metade das ocorrências, com 34,85% (1943), a maioria chegou ao óbito (68,91%). Entre os silvestres, os mais comuns foram a capivara (*H. hydrochaeris*; 35,961%) e o saruê (*Didelphis spp.*; 52,053%), conhecidos por adaptarem-se facilmente a ambientes urbanos, sendo abundantes em qualquer trecho da rodovia. Apesar de apenas 28,31% das capivaras terem chegado ao óbito o saruê (*Didelphis spp.*) chegou a 93,69% de mortalidade. Mesmo contando por 7,51% do total de ocorrências, as mortalidades de espécies como o lobo-guará (*C. brachyurus*; 80,00%), o jacu (*P. obscura*; 87,23%) e o ouriço (*S. spinosus*; 80,85%) são preocupantemente altas, além da mortalidade de 100% dos casos de suçuarana (*P. concolor*; 3 indivíduos) e cachorro-do-mato (*C. thous*; 23 indivíduos). Com esses dados, a empresa pode tomar decisões para proteger essas espécies no futuro. A obtenção desses dados se deve aos vários meios de monitoramento da rodovia, como quantificados no gráfico da Figura 21.

Fig. 21.



Fonte: Tamoios, 2020.

A Rodovia dos Tamoios (SP-99) conta com diversos meios de monitoramento devido à sua posição dentro do PESM (Núcleo Caraguatatuba) desde 2015. Conta-se com viaturas e um caminhão boiadeiro que periodicamente circulam pela rodovia e equipe treinada para acalmar e afugentar ou capturar o animal dependendo da sua condição. A equipe também fornece informações quanto à espécie e condição do animal para a análise de dados. A rodovia também tem telefone e internet em todo seu trajeto, permitindo que motoristas avisem a concessionária caso encontrem um animal na pista.

6. DISCUSSÃO

No Anexo 1 se encontra uma tabela listando atividades comuns na implantação de rodovias e seus impactos de acordo com aqueles que foram mencionados nos trabalhos referenciados neste estudo. A tabela associa um número de 0 a 2 (0 significa sem risco, 1 significa risco sob determinadas circunstâncias, e 2 significa risco alto ou potencializado) para cada célula entre um impacto e uma atividade. Esse número é adquirido de acordo com as informações retiradas dos estudos usando o formulário presente na seção da metodologia. Essa tabela mostra, por exemplo, que o risco de colisões com animais só aparece durante a circulação de máquinas e o tráfego na rodovia; que a perda do hábitat é um dos primeiros impactos, pois acontece com a limpeza dos canteiros para obras,

e que continua se expandindo com o uso diário da rodovia com a ocupação das terras marginais; que o estresse e a mudança no comportamento da fauna é possível durante a construção, mas é mais expressivo no uso diário da rodovia. Devido ao uso do solo, às emissões e aos efluentes, os solos, as águas e a atmosfera são impactados tanto durante a obra quanto no tráfego diário. Por fim, os impactos sobre a população, como esperado segundo a explicação de BARAT (1969) do papel econômico das rodovias, acontecem em todas as fases. Mas se chama atenção para os riscos à saúde respiratória.

Se tratando do atropelamento de mamíferos grandes, como é o caso dos ungulados, os resultados indicam resultados promissores até para cercas menores (de 2 a 10 km), e que cercas de pelo menos 5 km podem diminuir as colisões em 50%, mas menores do que isso têm resultados muito variáveis (BASTING et al., 2016; CLEVENGER et al., 2011). Devido à preocupação no Brasil com o atropelamento de espécies ameaçadas, de predadores e de espalhadores de sementes – como o lobo-guará (*Chrysocyon brachyurus*), o tamanduá (*Myrmecophaga tridactyla*), a onça-parda (*Puma concolor*) e o saruê (*Didelphis spp.*) (BAGER et al., 2012; Repórter Online Litoral, 2017; G1, 2016; BRUM et al., 2018; CÁCERES et al., 2012; CAVALCANTI et al., 2004; da FONSECA et al., 2004; BUENO; MOTTA-JUNIOR, 2004; CÁCERES, 2002) –, vale lembrar da possibilidade dessa medida de mitigação, especialmente em rodovias que passam por Unidades de Conservação (SP-99, SP-613). No entanto, Jones et al. (2014) e Baxter-Gilbert et al. (2015) nos lembram que é crucial conhecer as peculiaridades das populações locais. Enquanto o atropelamento no Canadá diminuiu em até 80% com pouco investimento, na Austrália a proteção dos coalas (*Phascolarctos cinereus*) tem uma estimativa custosa. Baxter-Gilbert et al. (2015) afirmam que cercas para ungulados e para répteis são distintas – isto é, a mesma cerca não é eficiente para os dois grupos.

Duas medidas frequentes de mitigação são as cercas e as passagens de fauna. Ambas são diversas e dependem da espécie alvo (BAXTER-GILBERT et al., 2015; JONES et al., 2014). Assim, Cunningham et al. (2015) elaboraram um questionário para guiar a implantação dessas medidas de acordo com o conhecimento disponível sobre a fauna da região:

1) Uma dada estrutura de travessia funciona? Que tipo e de que

tamanho? – Para responder essa questão, é necessário levantar os tipos de travessias instalados pelo mundo e avaliar qual parece compatível com o caso. Antes de responder, também é preciso conhecer as espécies da região para buscar passagens que se mostraram eficientes para essas espécies.

2) Quantas estruturas de travessia devem ser construídas? – Esta questão depende das condições do hábitat próximo às rodovias e do trecho em questão. O estudo de Cunnington et al. (2015) sugere um experimento BACI para responder esta pergunta.

3) É mais eficiente instalar poucas estruturas largas ou muitas estruturas menores? – Dependendo do comportamento e das exigências da espécie, poucas rodovias são o suficiente. Espécies diferentes exigem larguras mínimas distintas nas passagens. Igualmente, a sugestão do trabalho para responder a pergunta é a de um experimento do tipo BACI.

4) Quanta cerca é necessária para o comprimento da pista? – Dependendo da presença de *hotspots* de atropelamentos e da abundância do hábitat em torno da pista, pode ser exigida mais ou menos cerca. O tipo de cerca também deve ser levado em conta.

5) É necessário guiar os animais para as passagens com cercas? Qual deve ser o comprimento dessas cercas? – Se costuma implementar cercas e passagens em conjunto, e normalmente a eficiência da passagem de fauna depende da eficiência da cerca.

6) Como deve ser gerenciado o ambiente próximo às cercas e às travessias? – Se não for estudado o efeito de fim-de-cerca, a implantação da cerca pode ser ineficiente. Existem estratégias para isso, como a inclinação das cercas para longe da rodovia e o uso da topografia local para potencializar o efeito das cercas.

7) Onde devem ser instaladas as cercas e estruturas de travessia? – Para responder essa pergunta é preciso saber se existem *hotspots* de colisões, onde o hábitat está mais bem preservado e onde tem maior tráfego?

Cercas também trazem consigo o impacto na paisagem e a fragmentação de hábitat (BASTING et al., 2016; BAXTER-GILBERT et al., 2015; CLEVINGER et al.,

2011). Uma medida para mitigar a fragmentação de hábitat e separação de populações é a das ecopassagens. Uma proposta promissora é a da adaptação de estruturas viárias para o uso da fauna. No Arizona foi possível diminuir em até 97% os atropelamentos de uapitis (*C. canadensis*) guiando-os para que atravessassem a rodovia por pontes (BOE et al., 2015).

A combinação de cercas e de passagens costuma ser estudada em conjunto, mas os resultados divergem quanto à eficácia dessa combinação (CUNNINGTON et al., 2014; DODD et al., 2011; FAHRIG; LESBARRÈRES, 2012; HELLDIN; PETROVAN, 2019). Mesmo assim, em um caso em que o comportamento de uma comunidade de anfíbios era bem entendido, essa combinação foi eficiente, e se sugere que poderia ter sido ainda melhor com cercas maiores para reduzir os efeitos de fim-de-cerca (HELLDIN; PETROVAN, 2019).

Além das emissões nas rodovias, outra fonte de poluição são os acidentes. A Rodovia dos Tamoios, com um trecho inserido no PESM, já contou com acidentes com caminhões tanques e já houve também contaminação com piche nas obras (G1, 2018; G1, 2019a; G1, 2019b; GREIF, 2017). Devido às dificuldades da implantação de um aterro sanitário no litoral, as quatro cidades (Ilhabela, São Sebastião, Caraguatatuba e Ubatuba) enviam seus resíduos sólidos para aterros em outras cidades. Caraguatatuba transporta seus resíduos para Tremembé e Santa Isabel, enviando cerca de três caminhões por dia pela Rodovia dos Tamoios (Caraguatatuba, 2013). BARBOSA (2011) calcula que as 42372 t/ano de resíduos sólidos custam mais de R\$ 8 milhões para a cidade e que o transporte emite 24.360 tCO₂/mês na baixa temporada e 49.560 tCO₂/mês em alta temporada. Já houve também acidente com caminhão de lixo subindo a serra pela Rodovia dos Tamoios (G1, 2016).

Diversas misturas de asfalto poroso mostram-se tão eficientes no campo quanto no laboratório (BARRETT, 2006; BARRETT; SAMPSON, 2013; HOLLERAN et al., 2016). Apesar de remover significativamente poluentes da água de *runoff*, é levantada a possibilidade da redistribuição desses poluentes com o tempo, isto é, que eles vazem do asfalto para o meio ambiente sob condições específicas (HOLLERAN et al., 2016; XU; ZHANG, 2020).

Em diversas medidas de mitigação, é impossível simular as condições de

campo em um laboratório (BONNEL et al., 2011). Mesmo assim, estão disponíveis diversas alternativas de experimentos em campo: com o geoprocessamento é possível calcular o caminho de menor custo para um indivíduo de uma espécie ou associar dados geográficos com dados da fauna para simular e encontrar a melhor posição de passagens de fauna (BAGHLI; THIÉVENT, 2011; LaRUE; NIELSEN, 2008). Se estiver disponível, também é possível realizar experimentos BACI (antes–depois–controle–impacto) para monitorar a eficiência e o impacto ao longo de um período de tempo (BAXTER-GILBERT et al., 2015; CUNNINGTON et al., 2015; GILBERT et al., 2015). Para avaliar os resultados, também estão disponíveis distintos parâmetros e índices, seja a nível populacional – isto é, em uma mesma espécie –, como o MAE, ou em nível de comunidade – isto é, um conjunto de espécies –, como os índices de biodiversidade α , β e γ (ALONSO et al., 2016; JOST, 2006; TUOMISTO, 2010a).

No Anexo 2 pode-se encontrar uma tabela que associa as medidas de mitigação estudadas aos impactos ambientais com base nos estudos mencionados ao longo deste trabalho. Essa tabela associa quatro valores possíveis a cada célula, que representa a relação entre um impacto e uma medida de mitigação. Esses valores são: nulo – quando a medida de mitigação não endereça o impacto; 0 – quando a medida se mostrou ineficiente; 1 – se a medida pode dar resultados, mas só sob condições específicas; e 2 – quando a medida se mostrou eficiente nos estudos. Essa tabela mostra como são versáteis as cercas, passagens de fauna, reflorestamento e uso de combustíveis alternativos, e a chance que o fechamento temporário da via pode trazer em alguns casos. A tabela também mostra medidas que não deram resultado, como o uso de refletores e o plantio de grama no canteiro entre pistas. Para o desmatamento, danos à biodiversidade e alteração do clima local, impactos expressivos no Brasil pela expansão da agricultura e ocupação das terras marginais a rodovias, nota-se uma parte quase em branco da tabela. Apenas duas medidas de mitigação estão relacionadas a esses impactos: túneis e o plantio de árvores.

Apesar dos impactos neste trabalho estarem segregados entre impactos sobre a fauna, a flora, a atmosfera, solo, água e população, os impactos e suas causas interagem entre si. Por exemplo, o nivelamento do solo para a pavimentação leva ao desmatamento, que promove erosão, que leva à perda de nutrientes e ao

assoreamento, e à perda de hábitat. A presença da estrada, então, promove a imigração, causando mais ocupação do solo e mais desmatamento, além do aumento do tráfego, possivelmente atropelando animais.

7. CONCLUSÃO

Os biomas brasileiros são afetados diferentemente pela presença de rodovias. O mais afetado é o da Mata Atlântica, estando na região mais populosa, industrializada e degradada, com diversas rodovias atravessando UC. Os impactos também são diversos. Muitos já contam com medidas de mitigação praticáveis: túneis para diminuir a área de impacto da rodovia e o uso de terço em suas margens; retaludamento e reflorestamento para reduzir a erosão; sensores de movimento para ativar a iluminação artificial para reduzir a alteração no comportamento da fauna; aplicação de asfalto alternativo para tratar *runoff* sobre a rodovia e evitar a poluição dos corpos d'água e do solo. Outras medidas tomadas mostraram-se ineficientes. O uso de refletores não afugentou a fauna da rodovia; áreas verdes nos canteiros entre as pistas não aumentam a sobrevivência dos indivíduos atravessando a rodovia. Cercas podem diminuir eficientemente o atropelamento de animais silvestres, mas exige estudos prévios para definir a(s) espécie(s) alvo, a localização mais adequada (por *hotspots*) e pelo caminho preferido pela espécie; passagens de fauna servem para ligar fragmentos de hábitat e populações isoladas anteriormente, mas podem ser de diversos modelos (superior, inferior, subterrânea; larga, estreita; concreto, verde; iluminada) – em suma, são mais eficientes quando instaladas em combinação com as cercas e os trabalhos mostram que as espécies lidam com as passagens de forma bastante diversa, com répteis e anfíbios sendo mais exigentes que ungulados.

O Cerrado e a Amazônia, apesar de estarem menos afetados pelas rodovias e pela industrialização, acabam comprometidos pelas rodovias devido ao aumento na acessibilidade, por sua vez fomentando a destruição do bioma. A “destruição” mencionada não é apenas a mortalidade da fauna e a fragmentação de hábitat causada pela rodovia. Os impactos das rodovias no Cerrado e na Amazônia são visíveis do espaço, pois são os da mudança da cobertura do solo, aumentando o desmatamento drasticamente como tem-se observado há décadas. Esses impactos

não só são nocivos para os ecossistemas como também para o desenvolvimento humano, afetando negativamente a qualidade do ar, a fertilidade para a agricultura e a qualidade da água disponível.

Esses impactos de rodovias não podem ser corrigidos com travessia de fauna ou diminuição da emissão de gases. É preciso entender a expansão do arco do desmatamento na Amazônia e a grilagem de terras no Cerrado para encontrar *hotspots* de desmatamento e destruição de hábitat antes do impacto. O presente trabalho sugere usar desses dados para impor a proteção desses biomas às Autoridades locais e às entidades responsáveis pelas rodovias para que sejam agentes protetores do bioma.

BIBLIOGRAFIA

- AB'SÁBER, A. N. **BASES PARA O ESTUDO DOS ECOSISTEMAS DA AMAZÔNIA BRASILEIRA.** Estud. av., vol.16, no.45, São Paulo, 2002, pp. 6-30.
- AB'SÁBER, A. N. **DOMÍNIOS MORFOCLIMÁTICOS E PROVÍNCIAS FITOGEOGRÁFICAS DO BRASIL.** In BARTORELLI, A. et al. **A OBRA DE AZIZ AB'SÁBER.** ed. Beca, São Paulo, 2010, pp. 329-333.
- AB'SÁBER, A. N. **O RELEVO BRASILEIRO E SEUS PROBLEMAS.** In BARTORELLI, A. et al. **A OBRA DE AZIZ AB'SÁBER.** ed. Beca, São Paulo, 2010, pp. 256-306.
- AB'SÁBER, A. N. **ZONEAMENTO ECOLÓGICO E ECONÔMICO DA AMAZÔNIA.** In BARTORELLI, A. et al. **A OBRA DE AZIZ AB'SÁBER.** ed. Beca, São Paulo, 2010, pp. 523-535.
- ABRA, F. D. AIUB, P. B. BARBOSA, K. C. DOMENICHELLI, G. A. LOPEZ, R. P. G. MACIEL, N. A. L. MOREIRA, C. A. **"A IMPORTÂNCIA DA FAUNA NA CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE: NA RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA E NA ECOLOGIA DE ESTRADAS."** In **"POLÍTICAS PÚBLICAS PARA A RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA E CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE."** Governo do Estado de São Paulo, Secretaria de Estado do Meio Ambiente, São Paulo, 2013, pp. 117-134.
- ABRANTES, S. H. F. de ARAÚJO, D. V. F. CARREIRO, A. da N. CEZAR, H. R. de A. LEITE, L. S. de LIMA, J. P. R. RAMOS-ABRANTES, M. M. de SOUZA, J. G. **VERTEBRADOS SILVESTRES ATROPELADOS NA RODOVIA BR-230, PARAÍBA, BRASIL.** PUBVET, v. 12, n. 1, a5, 2018, pp. 1-7.
- AGUIAR, L. M. S. ASCENSÃO, F. BAGER, A. RIBEIRO, M. L. SANTOS, R. A. L. SANTOS-REIS, M. **ASSESSING THE CONSISTENCY OF HOTSPOT AND HOT-MOMENT PATTERNS OF WILDLIFE ROAD MORTALITY OVER TIME.** Perspectives in Ecology and Conservation, vol. 15, 2017, pp. 56–60.
- AKAY, A. E. GÜLCİ, S. **ASSESSMENT OF ECOLOGICAL PASSAGES ALONG ROAD NETWORKS WITHIN THE MEDITERRANEAN FOREST USING GIS-BASED MULTI CRITERIA EVALUATION APPROACH.** Environ Monit Assess, 2015, pp. 187-779.
- ALBERTI, G. PERESSOTTI, A. PIUSSI, P. ZERBI, G. **"FOREST ECOSYSTEM CARBON ACCUMULATION DURING A SECONDARY SUCCESSION IN THE EASTERN PREALPS OF ITALY."** Forestry, vol. 81, no. 1, 2008.
- ALEXANDER, L. E. FORMAN, R. T. T. **"ROADS AND THEIR MAJOR ECOLOGICAL EFFECTS."** Annu. Rev. Ecol. Syst., vol. 29, 1998, pp. 207–231.
- ALKEMADE, R. BAKKENES, M. BRINK, B. T. MILES, L. NELLEMAN, C. van OORSCHOT, M. **"GLOBIO3: A FRAMEWORK TO INVESTIGATE OPTIONS FOR REDUCING GLOBAL TERRESTRIAL BIODIVERSITY LOSS."** Ecosystems, vol. 12, 2009, pp. 374–390.
- ALKEMADE, R. BENÍTEZ-LÓPEZ, A. VERWEIJ, P. A. **THE IMPACTS OF ROADS AND OTHER INFRASTRUCTURE ON MAMMAL AND BIRD POPULATIONS: A META-ANALYSIS.** Biological Conservation, vol. 143, 2010, pp. 1307–1316.
- AL-MAMUN, A. AMOATEY, P. BAAWAIN, M. S. OMIDVARBORN, H. **"EMISSIONS AND EXPOSURE ASSESSMENTS OF SO_x, NO_x, PM_{10/2.5} AND TRACE METALS FROM OIL INDUSTRIES: A REVIEW STUDY (2000–2018)."** Process Safety and Environmental Protection, vol. 123, 2019, pp. 215–228.
- ALONSO, A. C. FAGUNDES, J. C. G. KINDEL, A. PRINTES, R. C. TEIXEIRA, F. Z. **"CANOPY BRIDGES AS ROAD OVERPASSES FOR WILDLIFE IN URBAN FRAGMENTED LANDSCAPES."** Biotropica, vol. 13, no. 1, 2013.
- ALONSO, J. C. JARGER, J. A. G. TORRES, A. **ASSESSING LARGE-SCALE WILDLIFE RESPONSES TO HUMAN INFRASTRUCTURE DEVELOPMENT.** PNAS, vol. 113, no. 30, 2016, pp. 8472–8477.
- ALONSO, J. C. PALACÍN, C. SEOANE, J. TORRES, A. **ASSESSING THE EFFECTS OF A HIGHWAY ON A THREATENED SPECIES USING BEFORE–DURING–AFTER AND BEFORE–DURING–AFTER-CONTROL–IMPACT DESIGNS.** Biological Conservation, vol. 144, 2011, pp. 2223–2232.
- ALVERGA, P. BARALOTO, C. BARNES, CASTRO, W. G. CHILO, J. del A. CHURA, N. B. COLOMO,

- G. H. V. KENJI, D. LINARES, H. D. MARIK, M. MEDEIROS, H. MOLL, I. E. de S. MURPHY, S. PERZ, S. QUISPE, J. G. QUISPE, S. ROCKWELL C. da SILVA, I. B. SELAYA, G. SILVEIRA, M. SHENKIN, A. SOUTHWORTH, J. da SOUZA, H. **EFFECTS OF ROAD INFRASTRUCTURE ON FOREST VALUE ACROSS A TRI-NATIONAL AMAZONIAN FRONTIER.** *Biological Conservation*, vol. 191, 2015, pp. 674–681.
- do AMARAL, R. **"DESASTRES NATURAIS."** Instituto Geológico, Secretaria do Meio Ambiente, 4a. ed., São Paulo–SP, 2018.
- do AMARAL, A. M. C. CERRI, R. I. GABELINI, B. M. GIORDANO, L. do C. MENIN, F. A. REIS, F. A. G. V. **"CRITÉRIOS DE DELIMITAÇÃO DE ÁREAS DE INFLUÊNCIA EM ESTUDOS DE IMPACTO AMBIENTAL DE RODOVIAS: ABORDAGEM DE PROCESSOS DE DINÂMICA SUPERFICIAL."** *Geol. USP, Sér. cient.*, São Paulo, v. 17, n. 3, 2017, pp. 209-224.
- ANDERSEN, P. L. CHRISTENSEN, J. T. ELMEROS, M. MADSEN, A. B. WINBLADH, J. K. **"EFFECTIVENESS OF ODOUR REPELLENTS ON RED DEER (CERVUS ELAPHUS) AND ROE DEER (CAPREOLUS CAPREOLUS): A FIELD TEST."** *Eur J Wildl Res*, vol. 57, 2011, pp. 1223–1226.
- ANTON, A. i CANALS, L. M. DUMONT, B. FINN, J. A. HENRY, B. MANZANO, P. PHELPS, C. SAID, M. VIJN, S. WHITE, S. **"A REVIEW OF INDICATORS AND METHODS TO ASSESS BIODIVERSITY – APPLICATION TO LIVESTOCK PRODUCTION AT GLOBAL SCALE."** *Livestock Environmental Assessment and Performance (LEAP) Partnership. Food and Agriculture Organization – FAO, Roma, Itália*, 2016, 150 pp.
- d'ANUNCIAÇÃO, P. E. R. BAGER, A. LUCAS, P. S. SILVA, V. X. **"ROAD ECOLOGY AND NEOTROPICAL AMPHIBIANS: CONTRIBUTIONS FOR FUTURE STUDIES."** *Acta Herpetologica*, vol. 8, no. 2, 2013, pp. 129-140.
- APOSTOLIDIS, P. LIU, X. SCARPAS, T. WANG, H. **"REVIEW OF WARM MIX RUBBERIZED ASPHALT CONCRETE: TOWARDS A SUSTAINABLE PAVING TECHNOLOGY."** *Journal of Cleaner Production*, vol. 177, 2018, pp. 302-314.
- APTE, J. S. BRAUER, M. COHEN, A. J. MARSHALL, J. D. **"ADDRESSING GLOBAL MORTALITY FROM AMBIENT PM_{2.5}."** *Environ. Sci. Technol*, vol. 49, 2015, pp. 8057–8066.
- de ARAÚJO, L. A. CLARO, H. W. P. COSTA, R. R. G. F. HANNIVAL, W. ROSSI, R. F. **"EFEITO DA PAISAGEM SOBRE OS ATROPELAMENTOS DE MAMÍFEROS DE MÉDIO E GRANDE PORTE NO SUL DE GOIÁS, BRASIL."** *Oecologia Australis*, vol. 24, no. 1, 2020, pp. 164-172.
- ARÉVALO, J. R. ARROYO, N. L. DELGADO, J. D. FERNÁNDEZ-PALACIOS, J. M. **"EDGE EFFECTS OF ROADS ON TEMPERATURE, LIGHT, CANOPY COVER, AND CANOPY HEIGHT IN LAUREL AND PINE FORESTS (TENERIFE, CANARY ISLANDS)."** *Landscape and Urban Planning*, vol. 81, 2007, pp. 328–340.
- ARIDE, P. H.R. OMENA Jr., R. PANTOJA-LIMA, J. RIBEIRO, G. A. A. SANTOS, A. L. W. **"CARACTERIZAÇÃO DA FAUNA DE VERTEBRADOS ATROPELADA NA RODOVIA BR – 174, AMAZONAS, BRASIL."** *Rev. Colombiana cienc. Anim.*, vol. 4, no. 2, 2012, pp. 291-307.
- AMIRKHANIAN, S. HUANG, B. WANG, J. WANG, T. XIAO, F. ZHU, X. **"ENERGY CONSUMPTION AND ENVIRONMENTAL IMPACT OF RUBBERIZED ASPHALT PAVEMENT."** *Journal of Cleaner Production*, vol. 180, 2018, pp. 139–158.
- ASHE, W. K. ĐJURIĆ, V. JANKOVIĆ, B. D. MARKOVIĆ, B. SOBRIAN, S. K. BAUGHN, V. T. **"GESTATIONAL EXPOSURE TO LOUD NOISE ALTERS THE DEVELOPMENT AND POSTNATAL RESPONSIVENESS OF HUMORAL AND CELLULAR COMPONENTS OF THE IMMUNE SYSTEM IN OFFSPRING."** *Environmental Research*, vol. 73, 1997, artigo no. ER973734, pp. 227-241.
- ASTORGA, C. CLAIROTTE, M. FRANCO, V. GIECHASKIEL, B. KREGAR, Z. PAVLOVIC, Z. VALVERDE, V. **"ON-ROAD EMISSIONS OF PASSENGER CARS BEYOND THE BOUNDARY CONDITIONS OF THE REAL-DRIVING EMISSIONS TEST."** *Environmental Research*, vol. 176, 2019.
- BAGATINI, T. **EVOLUÇÃO DOS ÍNDICES DE ATROPELAMENTO DE VERTEBRADOS SILVESTRES NAS RODOVIAS NO ENTORNO DA ESTAÇÃO ECOLÓGICAS ÁGUAS EMENDADAS, DF, BRASIL, E EFICÁCIA DE MEDIDAS MITIGADORAS.** *Dissertação de Mestrado*

- em Ecologia, Universidade de Brasília, 2006.
- BAGER, A. da ROSA, C. A. dos SANTOS, A. L. P. G. **VARIAÇÃO SAZONAL DA FAUNA SELVAGEM ATROPELADA NA RODOVIA MG 354, SUL DE MINAS GERAIS – BRASIL.** Biotemas, vol. 25, n. 1, 2012, pp. 73-79.
- BAGHLI, A. THIÉVENT, P. **"OPTIFLUX: WHEN BIOLOGICAL AND SPATIAL DATA ARE CROSSED TO REDUCE EFFECTS OF LINEAR INFRASTRUCTURE ON WILDLIFE."** Procedia Environmental Sciences, vol. 9, 2011, pp. 11–15.
- BAILLIE, J. E. M. BRINK, B. T. VAČKÁŘ, D. LOH, J. REYERS, B. **"REVIEW OF MULTISPECIES INDICES FOR MONITORING HUMAN IMPACTS ON BIODIVERSITY."** Ecological Indicators, vol. 17, 2012, pp. 58–67.
- BANHOS, A. BARBOSA, M. BARBOSA, N. P. U. BERGALLO, H. G. FERNANDES, G. W. LOUREIRO, C. G. OVERBECK, G. E. SOLAR, R. STRASSBURG, B. B. N. VALE, M. M. **RESTORING BRAZIL'S ROAD MARGINS COULD HELP THE COUNTRY OFFSET ITS CO₂ EMISSIONS AND COMPLY WITH THE BONN AND PARIS AGREEMENTS.** Perspectives in Ecology and Conservation, vol. 16, 2018, pp. 105-112.
- BARAT, J. **O INVESTIMENTO EM TRANSPORTE COMO FATOR DE DESENVOLVIMENTO REGIONAL – UMA ANÁLISE DA EXPANSÃO RODOVIÁRIA NO BRASIL.** R. Bras. Econ., vol. 23, no. 3, Rio de Janeiro, 1969, pp. 25-52.
- BARBER, J. R. BURDETT, C. L. CROOKS, K. R. FORMICHELLA, C. FRISTRUP, K. M. REED, S. E. THEOBALD, D. M. WARNER, K. A. **ANTHROPOGENIC NOISE EXPOSURE IN PROTECTED NATURAL AREAS: ESTIMATING THE SCALE OF ECOLOGICAL CONSEQUENCES.** Landscape Ecol, vol. 26, 2011, pp. 1281–1295.
- BARBOSA, R. V. **"A QUESTÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS EM CARAGUATATUBA, LITORAL NORTE PAULISTA: UMA ABORDAGEM ENERGÉTICA E AMBIENTAL."** Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado da Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas–SP, 2011, 100 pp.
- BARBOSA, D. S. CAVALCANTE, F. S. MIOTO, C. L. OLIVEIRA, A. L. F. **"ANÁLISE DA QUALIDADE DOS RELATÓRIOS DE IMPACTO AMBIENTAL (RIMA) DAS OBRAS DE DUPLICAÇÃO DE RODOVIAS BRASILEIRAS."** R. gest. sust. ambient., v. 8, n. 3, Florianópolis–SC, 2019, p. 115-140.
- BARJA, I. MALO, J. E. MATA, C. NAVARRO-CASTILLA, Á. PALME, R. RUIZ-CAPILLAS, P. **ARE MOTORWAYS POTENTIAL STRESSORS OF ROADSIDE WOOD MICE (APODEMUS SYLVATICUS) POPULATIONS?** PLoS ONE, vol. 9, no. 3, 2014.
- BARNI, P. E. **RECONSTRUÇÃO E ASFALTAMENTO DA RODOVIA BR-319: EFEITO "DOMINÓ" PODE ELEVAR AS TAXAS DE DESMATAMENTO NO SUL DO ESTADO DE RORAIMA.** Dissertação de Pós-Graduação em Ciências de Florestas Tropicais, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA, 2009.
- BARR, E. D. BELINSKY, S. A. BENSON, J. M. HAHN, F. F. HENDERSON, R. F. MÉNACHE, M. G. **"PART I: CARCINOGENICITY OF 1,2,3,4-DIEPOXYBUTANE."** In HEALTH EFFECTS INSTITUTE – HEI. **"REPORT NUMBER 92."** Health Effects Institute, North Andover–MA, 2000, pp. 11-44.
- BARRETT, M. E. **"STORMWATER QUALITY BENEFITS OF A PERMEABLE FRICTION COURSE."** World Environmental and Water Resource Congress, 2006.
- BARRETT, M. SAMPSON, L. **"TREATMENT OF HIGHWAY RUNOFF USING THE PERMEABLE FRICTION COURSE (PFC)."** Green Streets, Highways, and Development, 2013.
- BARTHOLOMEU, D. B. **QUANTIFICAÇÃO DOS IMPACTOS ECONÔMICOS E AMBIENTAIS DECORRENTES DO ESTADO DE CONSERVAÇÃO DAS RODOVIAS BRASILEIRAS.** Tese de Doutorado em Economia Aplicada, USP, Piracicaba, 2006.
- BASELGA, A. **"SEPARATING THE TWO COMPONENTS OF ABUNDANCE-BASED DISSIMILARITY: BALANCED CHANGES IN ABUNDANCE VS. ABUNDANCE GRADIENTS."** Methods in Ecology and Evolution, vol. 4, 2013, pp. 552–557.
- BASTING, P. BECKER, D. CAMEL-MEANS, W. FAIRBANK, E. R. GRAHAM, J. HUIJSER, M. P. WATSON, V. **"EFFECTIVENESS OF SHORT SECTIONS OF WILDLIFE FENCING AND CROSSING STRUCTURES ALONG HIGHWAYS IN REDUCING WILDLIFE-VEHICLE**

- COLLISIONS AND PROVIDING SAFE CROSSING OPPORTUNITIES FOR LARGE MAMMALS."** Biological Conservation, vol. 197, 2016, pp. 61–68.
- BAULCH, D. L. COX, R. A. CROWLEY, J. N. HAMPSON, R. F. HYNES, R. G. JENKIN, M. E. ROSSI, M. J. TROE, J. **"EVALUATED KINETIC AND PHOTOCHEMICAL DATA FOR ATMOSPHERIC CHEMISTRY: VOLUME I – GAS PHASE REACTIONS OF O_x, HO_x, NO_x AND SO_x SPECIES."** Atmos. Chem. Phys., vol. 4, 2004, pp. 1461–1738.
- BAXTER-GILBERT, J. H. LESBARRÈRES, D. LITZGUS, J. D. RILEY, J. L. **"MITIGATING REPTILE ROAD MORTALITY: FENCE FAILURES COMPROMISE ECOPASSAGE EFFECTIVENESS."** PLoS ONE, vol. 10, no. 3, artigo no. e0120537, 2015.
- BEDÊ, L. C. HIROTA, M. M. PINTO, L. P. SILVA, J. M. C. TABARELLI, M. **DESAFIOS E OPORTUNIDADES PARA A CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE NA MATA ATLÂNTICA BRASILEIRA.** Megadiversidade, vol. 1, no. 1, 2005.
- BEE, M. A. SWANSON, E. M. **"AUDITORY MASKING OF ANURAN ADVERTISEMENT CALLS BY ROAD TRAFFIC NOISE."** Animal Behaviour, vol. 74, 2007, pp. 1765–1776.
- BENNETT, V. J. **"EFFECTS OF ROAD DENSITY AND PATTERN ON THE CONSERVATION OF SPECIES AND BIODIVERSITY."** Curr Landscape Ecol Rep, vol. 2, 2017, pp. 1–11.
- BENNIE, J. DAVIES, T. W. CRUSE, D. INGER, R. GASTON, K. J. **CASCADING EFFECTS OF ARTIFICIAL LIGHT AT NIGHT: RESOURCE-MEDIATED CONTROL OF HERBIVORES IN A GRASSLAND ECOSYSTEM.** Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences, vol.370(1667), 2015.
- BENNIE, J. DAVIES, T. W. DUFFY, J.P. GASTON, S. GASTOS, K. J. **HUMAN ALTERATION OF NATURAL LIGHT CYCLES: CAUSES AND ECOLOGICAL CONSEQUENCES.** Oecologia, vol. 176, no. 4, 2014, pp. 917-31.
- BERENDSE, F. de BOER, R. A. van ECK, E. van GEFFEN, K. G. van GRUNSVEN, R. H. A. SALIS, L. VEENENDAAL, E. M. **ARTIFICIAL LIGHT AT NIGHT INHIBITS MATING IN A GEOMETRID MOTH.** Insect Conservation and Diversity, 2015. In van GEFFEN, K. G. **MOTHS IN ILLUMINATED NIGHTS – ARTIFICIAL NIGHT LIGHT EFFECTS ON MOTH ECOLOGY.** Tese PhD para a Wageningen University, 2015.
- BERNHARD, R. DARE, T. WULF, T. **"A STUDY OF THE EFFECT OF INNOVATIVELY TEXTURED PORTLAND CEMENT CONCRETE ROADWAY SURFACES ON TIRE-PAVEMENT NOISE."** Purdue University, 2009, 209 pp.
- BHARDWAJ, M. LAHOZ-MONFORT, J. J. LUMSDEN, L. F. SOANES, K. van der REE, R. **ARTIFICIAL LIGHTING REDUCES THE EFFECTIVENESS OF WILDLIFE-CROSSING STRUCTURES FOR INSECTIVOROUS BATS.** Journal of Environmental Management, vol. 262, 2020.
- BISHOP, G. A. COHEN, L. H. COUNTESS, R. J. COUNTESS, S. J. MALY, P. SCHERER, S. STEDMAN, D. H. **THE EFFECTS OF ALTITUDE ON HEAVY-DUTY DIESEL TRUCK ON-ROAD EMISSIONS.** Environ. Sci. Technol., vol. 35 2001, pp. 1574-1578.
- BISHOP, G. A. STEDMAN, D. H. **A DECADE OF ON-ROAD EMISSIONS MEASUREMENTS.** Environ. Sci. Technol., vol. 42, 2008, pp. 1651–1656.
- BISSONETTE, J. A.; ROSA, S. **"AN EVALUATION OF A MITIGATION STRATEGY FOR DEER-VEHICLE COLLISIONS."** Wildl. Biol., vol. 18, 2012, pp. 414-423.
- BLICHARZ, A. DAVIS, M. E. GARSHICK, E. HART, J. E. LADEN, F. SMITH, T. J. **"POTENTIAL AIR TOXICS HOT SPOTS IN TRUCK TERMINALS AND CABS."** Res Rep Health Eff Inst., vol. 172, 2012, pp. 5–82.
- BOBBINK, R. HORNUNG, M. ROELOFS, J. G. M. **"THE EFFECTS OF AIR-BORNE NITROGEN POLLUTANTS ON SPECIES DIVERSITY IN NATURAL AND SEMI-NATURAL EUROPEAN VEGETATIONS."** Journal of Ecology, vol. 86, 1998, pp. 717-738.
- BOE, S. L. GAGNON, J. W. LOBERGER, C. D. SCHWEINSBURG, R. E. SPRAGUE, S. C. **"COST-EFFECTIVE APPROACH TO REDUCING COLLISIONS WITH ELK BY FENCING BETWEEN EXISTING HIGHWAY STRUCTURES."** Human–Wildlife Interactions, vol. 9, no. 2, 2015, pp. 248–264.

- BONNANO, L. FAN, Z. GEORGOPOULOS, P. HELD, J. HERNANDEZ, M. HERRINGTON, J. JUNG, K. H. KWON, J. LIOY, P. J. MENG, Q. NEAL, J. OHMAN-STRICKLAND, P. TANG, X. WANG, S. WU, X. ZHANG, J. ZHU, X. **"PERSONAL AND AMBIENT EXPOSURES TO AIR TOXICS IN CAMDEN, NEW JERSEY."** In HEALTH EFFECTS INSTITUTE – HEI. **"RESEARCH REPORT 160."** Health Effects Institute, Boston–MA, 2011, 156 pp.
- BONANNO, L. FAN, Z. GEORGOPOULOS, P. HELD, J. LIOY, P. MENG, Q. OHMAN-STRICKLAND, P. TANG, X. WANG, S. WU, X. ZHANG, J. ZHU, X. **"SPATIAL VARIATION OF VOLATILE ORGANIC COMPOUNDS IN A "HOT SPOT" FOR AIR POLLUTION."** Atmos Environ., vol. 42, no. 32, 2008, pp. 7329–7338.
- BONNEL, P. COLOMBO, R. HUMMEL, R. LANAPPE, G. Le LIJOUS, P. MANFREDI, U. SCULATI, M. WEISS, M. **ANALYZING ON-ROAD EMISSIONS OF LIGHT-DUTY VEHICLES WITH PORTABLE EMISSION MEASUREMENT SYSTEMS (PEMS).** JRC SCIENTIFIC AND TECHNICAL REPORTS, 2011.
- BONNEL, P. HUMMEL, R. MANFREDI, U. PROVENZA, A. WEISS, M. **ON-ROAD EMISSIONS OF LIGHT-DUTY VEHICLES IN EUROPE.** Environ. Sci. Technol., vol. 45, 2011, pp. 8575–8581.
- BOSCOLO, D. FREITAS, S. R. METZGER, J. P. SOUZA, C. O. M. **"HOW ARE NATIVE VEGETATION AND RESERVES AFFECTED BY DIFFERENT ROAD TYPES IN A SOUTHEASTERN BRAZILIAN STATE?"** Oecologia Australis, vol. 17, no.4, 2013, pp. 447-458.
- BOSMAN, J. L. COLÓN, M. R. LONG, A. M. MATHEWSON, H. A. McFARLAND, T. M. MORRISON, M. L. NEWNAM, J. C. ROBINSON, D. H. PRUETT, H. L. SZEWCZAK, J. M. **"A BEFORE–AFTER CONTROL–IMPACT ASSESSMENT TO UNDERSTAND THE POTENTIAL IMPACTS OF HIGHWAY CONSTRUCTION NOISE AND ACTIVITY ON AN ENDANGERED SONGBIRD."** Ecology and Evolution, vol. 7, 2017, pp. 379–389.
- BRASIL, CONGRESSO. Lei nº 6.938 de 31 de agosto de 1981.
- BRASIL, CONGRESSO. Lei nº 11428 de 22 de dezembro de 2006.
- BROWN, V. **"FINAL REPORT 584: SURVEY OF TRAFFIC NOISE REDUCTION PRODUCTS, MATERIALS, AND TECHNOLOGIES."** Arizona Department of Transportation, Phoenix-AZ, 2008.
- BRUM, T. R. CANALE, G. R. IGNÁCIO, A. R. A. SANTOS-FILHO, M. **"EFFECTS OF ROADS ON THE VERTEBRATES DIVERSITY OF THE INDIGENOUS TERRITORY PARESI AND ITS SURROUNDING."** Braz. J. Biol., vol. 78, no. 1, 2018, pp. 125-132.
- BUENO, A. de A. MOTTA-JUNIOR, J. C. **"FOOD HABITS OF TWO SYNTOPIC CANIDS, THE MANED WOLF (*CHRYSOCCYON BRACHYURUS*) AND THE CRAB-EATING FOX (*CERDOCYON THOUS*), IN SOUTHEASTERN BRAZIL."** Revista Chilena de Historia Natural, vol. 77, 2004, pp. 5-14.
- BUSSOTTI, F. GRAVANO, E. NOVAK, K. SCHAUB, M. SKELLY, J. STRASSER, R. J. TANI, C. **"OZONE SYMPTOMS IN LEAVES OF WOODY PLANTS IN OPEN-TOP CHAMBERS: ULTRASTRUCTURAL AND PHYSIOLOGICAL CHARACTERISTICS."** PHYSIOLOGIA PLANTARUM, vol. 121, 2004, pp. 620–633.
- CÁCERES, N. C. **"FOOD HABITS AND SEED DISPERSAL BY THE WHITE-EARED OPOSSUM *DIDELPHIS ALBIVENTRIS* IN SOUTHERN BRAZIL."** Studies on Neotropical Fauna and Environment, vol. 37, 2002.
- CÁCERES, N. C. CASELLA, J. GOULART, C. dos S. **VARIAÇÃO ESPACIAL E SAZONALDE ATROPELAMENTOS DE MAMÍFEROS NO BIOMA CERRADO, RODOVIA BR 262, SUDOESTE DO BRASIL.** Mastozoologia Neotropical, vol. 19, no. 1, Mendoza, 2012, pp. 21-33.
- CAIADO, M. A. C. MELO, F. L. RANGEL, O. J. P. SIMÃO, J. B. P. **"VEGETAÇÃO COMO INSTRUMENTO DE PROTEÇÃO E RECUPERAÇÃO DE TALUDES."** Revista Verde, Mossoró–RN-, v. 8, n. 5, 2013, pp. 116 – 124.
- CALDAS, E. F. GONÇALVES, D. A. MACHADO, R. B. NETO, M. B. R. PEREIRA, P. G. P. SANTOS, N. S. STEININGER, M. TABOR, K. **"ESTIMATIVAS DE PERDA DA ÁREA DO CERRADO BRASILEIRO."** Relatório técnico não publicado, Conservação Internacional, Brasília–DF, 2004, 22 pp.
- CALIFORNIA DEPARTMENT OF TRANSPORTATION - CALTRANS. **"TECHNICAL GUIDANCE FOR**

- THE ASSESSMENT AND MITIGATION OF THE EFFECTS OF TRAFFIC NOISE AND ROAD CONSTRUCTION NOISE ON BATS.**" Division of Environmental Analysis, California Department of Transportation, Sacramento-CA, 2016.
- CALIJURI, C. CUNHA, D. G. F. **"CAPÍTULO 8: SISTEMAS AQUÁTICOS CONTINENTAIS."** In **"ENGENHARIA AMBIENTAL: CONCEITOS, TECNOLOGIA E GESTÃO."** Elsevier, Rio de Janeiro-RJ, 2013, pp. 161-177.
- CÂMARA, I. de G. GALINDO-LEAL, C. **ATLANTIC FOREST HOTSPOT STATUS: AN OVERVIEW. IN: THE ATLANTIC FOREST OF SOUTH AMERICA: BIODIVERSITY STATUS, THREATS, AND OUTLOOK.** Centre for Applied Biodiversity. 2003, pp. 3-5.
- CAMBRIDGE SYSTEMATICS Inc. **"COOL PAVEMENT REPORT."** Heat Island Reduction Initiative, U.S. Environmental Protection Agency - EPA, 2005.
- CAMPO-BESCÓS, M. A. CARPENA, R. M. KLARENBERG, G. PERZ, S. G. **HIGHWAY PAVING IN THE SOUTHWESTERN AMAZON ALTERS LONG-TERM TRENDS AND DRIVERS OF REGIONAL VEGETATION DYNAMICS.** Heliyon, vol. 4, 2018, artigo no. e00721.
- CAMPOS, É. F. PUNHAGUI, K. R. G. JOHN, V. M. **EMISSÃO DE CO₂ DO TRANSPORTE DA MADEIRA NATIVA DA AMAZÔNIA.** Ambient. constr., Porto Alegre, v. 11, n. 2, 2011, p. 157-172.
- CANALES, A. R. RODRIGUES, V. A. SÁNCHEZ-ROMÁN, R. M. SARTORI, M. M. P. TARJUELO, J. M. **"AVALIAÇÃO DO ESCOAMENTO E INTERCEPTAÇÃO DA ÁGUA DAS CHUVAS."** Irriga, Botucatu-SP, 2015, pp. 1-13.
- CARTHY, H. R. M. C. JUANG, J. Y. KATUL, G. G. NOVICK, K. A. OISHI, A. C. OREN, R. SIQUEIRA, M. B. S. STOY, P. C. **"ROLE OF VEGETATION IN DETERMINING CARBON SEQUESTRATION ALONG ECOLOGICAL SUCCESSION IN THE SOUTHEASTERN UNITED STATES."** Global Change Biology, vol. 14, 2008, pp. 1-19.
- de CARVALHO, J. A. M. **CRESCIMENTO POPULACIONAL E ESTRUTURA DEMOGRÁFICA NO BRASIL.** UFMG, Belo Horizonte, 2004.
- CASTELLA, J. FILHO, A. C. P. **THE INFLUENCE OF HIGHWAY BR-262 ON THE LOSS OF CERRADO VEGETATION COVER IN SOUTHWESTERN BRAZIL.** Oecologia Australis, vol. 17, no. 1, 2013, pp. 77-85.
- CAVALCANTI, R. da FONSECA, G. A. B. PAGLIAS, A. RYLANDS, A. **CERRADO.** In BROOKS, T. et al. **HOTSPOTS REVISITED.** CEMEX 2004.
- CERQUEIRA, G. C. GARCIA, R. A. LeFEBVRE, P. McDONALD, A. NEPSTAD, D. C. RAMOS, C. A. SCHLESINGER, P. SOARES-FILHO, B. S. VOLL, E. **"MODELLING CONSERVATION IN THE AMAZON BASIN."** Nature, vol. 440, no. 23, 2006.
- CHAPIN, F. S. MATSON, P. A. MOONEY, H. A. **"9 – TERRESTRIAL NUTRIENT CYCLING."** In **"PRINCIPLES OF TERRESTRIAL ECOSYSTEM ECOLOGY."** Springer-Verlag, Nova York – EUA, 2002, pp. 197-223.
- CHAVEIRO, E. F. **A URBANIZAÇÃO DO CERRADO: ESPAÇOS INDOMÁVEIS, ESPAÇOS DEPRIMIDOS.** Revista UFG, Ano 12, no 9, 2010, pp. 27-31.
- CHEN, C. HAIYING, H. HUANG, C. JING, Z. JING, Q. LEE, S. LI, L. PAN, H. STREET, D. G. WANG, H. YI, D. **ON-ROAD EMISSION CHARACTERISTICS OF HEAVY-DUTY DIESEL VEHICLES IN SHANGHAI.** Atmospheric Environment, vol. 41, 2007, pp. 5334-5344.
- CHEN, M. WU, S. XU, G. ZHENG, S. **"HIGH-TEMPERATURE HAZARDS AND PREVENTION MEASUREMENTS FOR ASPHALT PAVEMENT."** 2010 International Conference on Mechanic Automation and Control Engineering, Wuhan-China, 2010, pp. 1341-1344.
- CHEREM, J. J. GHIZONI-Jr, I. R. KAMMERS, M. MARTINS, A. **MAMÍFEROS DE MÉDIO E GRANDE PORTE ATROPELADOS EM RODOVIAS DO ESTADO DE SANTA CATARINA, SUL DO BRASIL.** Biotemas, vol. 20, no. 3, 2007, pp. 81-96.
- CLAREMAR, B. EDMAN, M. OMSTEDT, A. RUTGERSSON, A. **"MODELLING THE CONTRIBUTIONS TO MARINE ACIDIFICATION FROM DEPOSITED SO_x, NO_x, AND NH_x IN THE BALTIC SEA: PAST AND PRESENT SITUATIONS."** Continental Shelf Research, vol. 111, 2015, pp. 234-249.

- CLARK, C. CLELAND, E. E. COLLINS, S. L. GOUGH, L. GROSS, K. L. MILCHUNAS, D. G. PENNING, S. SUDING, K. N. **"FUNCTIONAL- AND ABUNDANCE-BASED MECHANISMS EXPLAIN DIVERSITY LOSS DUE TO N FERTILIZATION."** PNAS, vol. 102, no. 12, 2005, pp. 4387–4392.
- CLEVENGER, A. P. **"MITIGATING HIGHWAYS FOR A GHOST: DATA COLLECTION CHALLENGES AND IMPLICATIONS FOR MANAGING WOLVERINES AND TRANSPORTATION CORRIDORS."** Northwest Science, vol. 87, no. 3, 2013, pp. 257-264.
- CLEVENGER, A. P. DIBB, A. FORD, A. T. HUIJSER, M. P. **"PLANNING AND PRIORITIZATION STRATEGIES FOR PHASED HIGHWAY MITIGATION USING WILDLIFE-VEHICLE COLLISION DATA."** Wildl. Biol., vol. 17, 2011, pp. 253-265.
- COELHO, A. V. P. COELHO, I. P. COLOMBO, P. TEIXEIRA, F. Z. **ANURAN ROAD-KILLS NEIGHBORING A PERI-URBAN RESERVE IN THE ATLANTIC FOREST, BRAZIL.** Journal of Environmental Management, vol. 112 2012, pp. 17-26.
- COELHO, I. P. ESPERÂNDIO, I. B. HARTZ, S. M. KINDEL, A. LAUXEN, M. TEIXEIRA, F. Z. **THE NEED TO IMPROVE AND INTEGRATE SCIENCE AND ENVIRONMENTAL LICENSING TO MITIGATE WILDLIFE MORTALITY ON ROADS IN BRAZIL.** Tropical Conservation Science, vol. 9, no. 1, 2016, pp. 34-42.
- COFFIN, A. W. **"FROM ROADKILL TO ROAD ECOLOGY: A REVIEW OF THE ECOLOGICAL EFFECTS OF ROADS."** Journal of Transport Geography, vol. 15, 2007, pp. 396–406.
- COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. **PARECER TÉCNICO Nº 221/13/IE.** SÃO PAULO, 07 de junho 2013.
- CONCESSIONÁRIA TAMOIOS. **"CONCESSIONÁRIA TAMOIOS REFORÇA MENSAGENS DE ATENÇÃO PARA O RISCO DE ATROPELAMENTO DE ANIMAIS."** Disponível em <<http://www.concessionariatamoios.com.br/noticias/show/1065/concessionaria-tamoios-reforca-mensagens-de-atencao-para-o-risco-de-atropelamento-de-animais>> Acesso em: 27 de agosto de 2020.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. Resolução nº 1 de 23 de janeiro de 1986.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. Resolução nº 7 de 31 de agosto de 1993.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. Resolução nº 305, de 12 de junho de 2002.
- COSBY, B. J. DRISCOLL, C. T. DUNSCOMB, J. K. EVERS, D. C. FINDLAY, S. E. G. LOVETT, G. M. TEAR, T. H. WEATHERS, K. C. **"EFFECTS OF AIR POLLUTION ON ECOSYSTEMS AND BIOLOGICAL DIVERSITY IN THE EASTERN UNITED STATES."** The Year in Ecology and Conservation Biology, Ann. N.Y. Acad. Sci. (1162), 2009. pp. 99–135.
- COSTELLO, R. A. SYMES, L. B. **"EFFECTS OF ANTHROPOGENIC NOISE ON MALE SIGNALLING BEHAVIOUR AND FEMALE PHONOTAXIS IN OECANTHUS TREE CRICKETS."** Animal Behaviour, vol. 95, 2014, pp. 15-22.
- Le CROIREC, P. LEGRET, M. PAGOTTO, C. **"COMPARISON OF THE HYDRAULIC BEHAVIOUR AND THE QUALITY OF HIGHWAY RUNOFF WATER ACCORDING TO THE TYPE OF PAVEMENT."** Wat. Res., vol. 34, oo. 18, 2000, pp. 4446-4454.
- CUI, P. LONG, Y. WU, S. XIAO, Y. ZHOU, H. **"VOCs REDUCTION AND INHIBITION MECHANISMS OF USING ACTIVE CARBON FILLER IN BITUMINOUS MATERIALS."** Journal of Cleaner Production, vol. 181, 2018, pp. 784–793.
- CUNNINGTON, G. M. EBERHARDT, E. FAHRIG, L. GARRAH, E. **"CULVERTS ALONE DO NOT REDUCE ROAD MORTALITY IN ANURANS."** ÉCOSCIENCE, vol. 21, no.1, 2014.
- CUNNINGTON, G. M. FAHRIG, L. FINDLAY, C. S. van der GRIFT, E. A. HOULAHAN, J. JAEGER, J. A. G. van der REE, R. RYTWINSKI, T. **"EXPERIMENTAL STUDY DESIGNS TO IMPROVE THE EVALUATION OF ROAD MITIGATION MEASURES FOR WILDLIFE."** Journal of Environmental Management, vol. 154, 2015, pp. 48–64.

- DANIELS, J. C. HALBRITTER, D. A. HUANG, L. WHITAKER, D. C. **"REDUCING MOWING FREQUENCY INCREASES FLORAL RESOURCE AND BUTTERFLY (*LEPIDOPTERA: HESPERIOIDEA* AND *PAPILIONOIDEA*) ABUNDANCE IN MANAGED ROADSIDE MARGINS."** Florida Entomologist, vol. 98, no. 4, 2015, pp. 1081-1092.
- DEES, M. DUTSOV, A. KAPHEGYI, T. A. M. KAPHEGYI, U. UEFFING, C. ZLATANOVA, D. **"RAPID ASSESSMENT OF LINEAR TRANSPORT INFRASTRUCTURE IN RELATION TO THE IMPACT ON LANDSCAPE CONTINUITY FOR LARGE RANGING MAMMALS."** Biodivers Conserv, vol. 22, 2013, pp. 153–168.
- DELUCCHI, M. A. **"ENVIRONMENTAL EXTERNALITIES OF MOTOR-VEHICLE USE IN THE US."** Journal of Transport Economics and Policy, Vol. 34, Parte 2, 2000, pp. 135-168.
- DENTENER, F. DUCE, R. HUNTER, K. A. KANAKIDOU, M. KUBILAY, N. LISS, P. S. MAHOWALD, N. OKIN, G. SARIN, M. SURAPIPITH, V. UEMATSU, M. ZHU, T. **"IMPACTS OF ANTHROPOGENIC SO_x, NO_x AND NH₃ ON ACIDIFICATION OF COASTAL WATERS AND SHIPPING LANES."** GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS, VOL. 38, 2011.
- DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DE MINAS GERAIS – DER-MG. **"MANUAL DE PROCEDIMENTOS AMBIENTAIS EM EMPREENDIMENTOS RODOVIÁRIOS."** Governo do Estado de Minas Gerais, Secretaria de Estado de Transportes e Obras Públicas, Belo Horizonte–MG, 2008.
- DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DE SÃO PAULO – DER-SP. **"PROCEDIMENTOS PARA IMPLANTAÇÃO, OPERAÇÃO E CONSERVAÇÃO DE EMPREENDIMENTOS RODOVIÁRIOS (PSGA-003)."** 2007.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT. **"MANUAL PARA ATIVIDADES AMBIENTAIS RODOVIÁRIAS."** Diretoria de Planejamento e Pesquisa, Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa, Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Rio de Janeiro–RJ, 2006, 437 pp.
- DILARA, P. FRANCO, V. HAUSBERGER, S. KOUSOULIDOU, M. MUNTEAN, M. NTZIACHRISTOS, L. **"ROAD VEHICLE EMISSION FACTORS DEVELOPMENT: A REVIEW."** Atmospheric Environment, vol. 70, 2013.
- DOBRE, C. J. G. van LOVEREN, H. OORTGIESEN, M. van RAAIJ, M. T. M. TIMMERMAN, H. H. **"TIME-DEPENDENT DIFFERENTIAL CHANGES OF IMMUNE FUNCTION IN RATS EXPOSED TO CHRONIC INTERMITTENT NOISE."** Physiology; Behavior, vol. 60, no. 6, 1996, pp. 1527–1533.
- DODD, N. L. GAGNON, J. W. OGREN, K. S. SCHWEINSBURG, R. E. **"FACTORS ASSOCIATED WITH USE OF WILDLIFE UNDERPASSES AND IMPORTANCE OF LONG-TERM MONITORING."** The Journal of Wildlife Management, vol. 75, no. 6, 2011, pp. 1477–1487.
- DONEY, S. C. FEDDEMA, J. J. FUNG, I. LAMARQUE, J. F. LEE, Y. H. LINDSAY, K. MAHOWALD, N. MOORE, J. K. RANDERSON, J. T. **"CARBON-NITROGEN INTERACTIONS REGULATE CLIMATE-CARBON CYCLE FEEDBACKS: RESULTS FROM AN ATMOSPHERE-OCEAN GENERAL CIRCULATION MODEL."** Biogeosciences, vol. 6, 2009, pp. 2099–2120.
- DONG, H. JIAN, M. LU, K. SU, R. TAN, Q. TAN, Z. XIE, S. ZENG, L. ZHANG, Y. **"EXPLORING OZONE POLLUTION IN CHENGDU, SOUTHWESTERN CHINA: A CASE STUDY FROM RADICAL CHEMISTRY TO O₃-VOC-NO_x SENSITIVITY."** Science of the Total Environment, vol. 636, 2018, pp. 775–786.
- DOUZIECH, M. HENDRIKS, J. A. HOEKS, S. HUIJBREGTS, M. A. J. OLDENKAMP, R. **"MEAN SPECIES ABUNDANCE AS A MEASURE OF ECOTOXICOLOGICAL RISK."** Environ Toxicol Chem, manuscrito aceito, 2020.
- DU, S. FU, Y. HAN, G. LI, Y. NING, K. QU, F. WANG, G. YU, J. ZHAN, C. **"ECOLOGICAL EFFECTS OF ROADS ON THE PLANT DIVERSITY OF COASTAL WETLAND IN THE YELLOW RIVER DELTA."** The Scientific World Journal, Vol. 2014, Article ID 952051, 2014, 8 pp.
- FAHRIG, L. LESBARRÈRES, D. **"MEASURES TO REDUCE POPULATION FRAGMENTATION BY ROADS: WHAT HAS WORKED AND HOW DO WE KNOW?"** Trends in Ecology and Evolution, vol. 27, No. 7, 2012.
- FAHRIG, L. van der GRIFT, E. A. HOULAHAN, J. JAEGER, J. A. G. van der REE, R. SOANES, K.

- HOW EFFECTIVE IS ROAD MITIGATION AT REDUCING ROAD-KILL? A META-ANALYSIS.** PLoS ONE vol. 11, no. 11, 2016.
- FAHRIG, L. McLAREN, A. A. D. WALTHO, N. **"MOVEMENT OF SMALL MAMMALS ACROSS DIVIDED HIGHWAYS WITH VEGETATED MEDIANS."** Can. J. Zool., vol. 89, 2011, pp. 1214–1222.
- FAN, Z. JUNG, K. H. LIOY, P. OHMAN-STRICKLAND, P. WEISEN, C. P. WU, X. ZHU, X. **"EXPOSURES TO VOLATILE ORGANIC COMPOUNDS (VOCs) AND ASSOCIATED HEALTH RISKS OF SOCIO-ECONOMICALLY DISADVANTAGED POPULATION IN A "HOT SPOT" IN CAMDEN, NEW JERSEY."** Atmos Environ, vol. 57, 1994, pp. 72–79.
- de FARIA, H. H. PIRES, A. S. **RODOVIA EM UNIDADE DE CONSERVAÇÃO: O CASO DO PARQUE ESTADUAL DO MORRO DO DIABO, SÃO PAULO, BRASIL.** VIII Fórum Ambiental da Alta Paulista, v. 8, n. 3, 2012, p. 01-22.
- FEARNSIDE, P. M. **"CARGA PESADA: O CUSTO AMBIENTAL DE ASFALTAR UM CORREDOR DE SOJA NA AMAZÔNIA."** In TORRES, M. **"AMAZÔNIA REVELADA: OS DESCAMINHOS AO LONGO DA BR163."** Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Brasília–DF, Brasil, 2005, pp. 397-423.
- FEARNSIDE, P. M. GRAÇA, P. M. L. de A. KEIZER, E. W. H. MALDONADO, F. D. BARBOSA, R. I. NOGUEIRA, E. M. **MODELAGEM DE DESMATAMENTO E EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA NA REGIÃO SOB INFLUÊNCIA DA RODOVIA MANAUS-PORTO VELHO (BR-319).** Revista Brasileira de Meteorologia, vol. 24, n. 2, 2009, pp. 208-233.
- FEARNSIDE, P. M. GRAÇA, P. M. L. de A. **BR-319: A RODOVIA MANAUS-PORTOVELHO E O IMPACTO POTENCIAL DE CONECTAR O ARCO DE DESMATAMENTO À AMAZÔNIA CENTRAL.** Novos Cadernos NAEA, vol. 12, n. 1, 2009, pp. 19-50.
- FELLOWS, J. D. HALL, D. K. KILLEEN, T. L. LEDLEY, T. S. SCHWARTZ, S. E. SUNDQUIST, E. T. **"CLIMATE CHANGE AND GREENHOUSE GASES."** Eos Trans., vol. 80, no. 39, 1999, pp. 453–458.
- FENG, Y. RAMANATHAN, V. **"AIR POLLUTION, GREENHOUSE GASES AND CLIMATE CHANGE: GLOBAL AND REGIONAL PERSPECTIVES."** Atmospheric Environment, vol. 43, 2009, pp. 37–50.
- FILHO, W. L. **"CAPÍTULO 7. SUBSIDÊNCIA E COLAPSO EM SOLOS CÁRSTICOS."** In do AMARAL, R. SANTORO, J. TOMINAGA, L. K. **"DESASTRES NATURAIS: CONHECER PARA PREVENIR."** Instituto Geológico, Secretaria do Meio Ambiente, São Paulo–SP, 2015, pp. 99-110.
- da FONSECA, G. A. B. MITTERMEIER, R. A. PAGLIAS, A. RYLANDS, A. **ATLANTIC FOREST.** In BROOKS, T. et al. **HOTSPOTS REVISITED.** CEMEX 2004.
- FORCETTO, A. L. S. **"POLUIÇÃO SONORA URBANA: A INFLUÊNCIA DE MODIFICAÇÕES EM ESCAPAMENTOS DE MOTOCICLETAS NA EMISSÃO DE RUÍDO."** Dissertação (Mestrado Profissional em Ambiente, Saúde e Sustentabilidade) – Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo – USP, São Paulo, 2016, 125 pp.
- FRANKE, C. R. GOMES, L. KLEIN, W. da ROCHA, P. L. B. **MATA ATLÂNTICA E BIODIVERSIDADE.** UFBA, Salvador - BA, 2005.
- de FREITAS, E. V. **QUEIMADAS NO BRASIL: ESTUDO SOBRE UMA CAUSA REAL NAS RODOVIAS DO ESTADO DA BAHIA.** Ciências do Ambiente On-Line, v. 6, n. 1, 2010, pp. 74-80.
- G1 Vale do Paraíba e Região. **"ACIDENTE COM CAMINHÃO MATA UMA PESSOA E FECHA POR 2H30 SERRA DA TAMOIOS EM CARAGUÁ."** G1, 2019a. Disponível em: <<https://g1.globo.com/sp/vale-do-paraiba-regiao/noticia/2019/11/18/caminhao-em-chamas-apos-acidente-fecha-a-serra-da-tamoios-em-caragua.ghtml>> Acesso em: 19 de setembro de 2020.
- G1 Vale do Paraíba e Região. **"CAMINHÃO TOMBA NA TAMOIOS E CONGESTIONAMENTO CHEGA A 10 KM."** G1, 2016. Disponível em: <<http://g1.globo.com/sp/vale-do-paraiba-regiao/noticia/2016/01/acidente-com-caminhao-fecha-pista-na-rodovia-dos-tamoios-em-caragua.html>> Acesso em: 18 de setembro de 2020.
- G1 Vale do Paraíba e Região. **"INCÊNDIO EM CAMINHÃO-TANQUE INTERDITA POR 2H TRECHO DE SERRA DA TAMOIOS."** G1, 2019b. Disponível em: <<https://g1.globo.com/sp/vale-do-paraiba-regiao/noticia/2019/06/18/incendio-em-caminhao-tanque-interdita-trecho-de-serra-da-tamoios-em-caraguatatuba.ghtml>> Acesso em: 19 de setembro de 2020.

- G1 Vale do Paraíba e Região. **"VAZAMENTO DE ASFALTO EM OBRA DA TAMOIOS ATINGE PARQUE ESTADUAL DA SERRA DO MAR."** G1, 2018. Disponível em: <<https://g1.globo.com/sp/vale-do-paraiba-regiao/noticia/vazamento-de-asfalto-de-obra-do-contorno-atinge-manancial-no-parque-estadual-da-serra-do-mar.ghtml>> Acesso em: 19 de setembro de 2020.
- GE, Y. JOHNSON, K. C. LIU, Z. SHAH, A. N. TAN, J. WANG, C. YU, L. **REAL-WORLD OPERATION CONDITIONS AND ON-ROAD EMISSIONS OF BEIJING DIESEL BUSES MEASURED BY USING PORTABLE EMISSION MEASUREMENT SYSTEM AND ELECTRIC LOW-PRESSURE IMPACTOR.** Science of the Total Environment, vol. 409, 2011, pp. 1476–1480.
- GEOTEC. **"CAPÍTULO 9: PROGRAMAS E MEDIDAS AMBIENTAIS."** In **"ESTUDO DE IMPACTO AMBIENTAL – DUPLICAÇÃO DA RODOVIA RAPOSO TAVARES (SP-270) ENTRE O KM 46+700 AO KM 63+000 E DO KM 67+000 AO KM 89+700."** 2018.
- GERTLER, A. W. GROSJEAN, D. GROSJEAN, E. **ON-ROAD EMISSIONS OF CARBONYLS FROM LIGHT-DUTY AND HEAVY-DUTY VEHICLES.** Environ. Sci. Technol., vol. 35, 2001, pp. 45-53.
- GIBBS, J. P. NELSON, D. A. PATRICK, D. POPESCU, V. D. **"MULTI-SCALE HABITAT-RESISTANCE MODELS FOR PREDICTING ROAD MORTALITY "HOTSPOTS" FOR TURTLES AND AMPHIBIANS."** Herpetological Conservation and Biology, vol. 7, no. 3, 2012, pp. 407–426.
- GIGLIO, J. N. KOBIYAMA, M. **"INTERCEPTAÇÃO DA CHUVA: UMA REVISÃO COM ÊNFASE NO MONITORAMENTO EM FLORESTAS BRASILEIRAS."** Revista Brasileira de Recursos Hídricos – RBRH, vol. 18, n.2, 2013, pp. 297-317.
- GOLDINGAY, R. L. ROHWEDER, D. TAYLOR, B. D. **"WILL ARBOREAL MAMMALS USE ROPE-BRIDGES ACROSS A HIGHWAY IN EASTERN AUSTRALIA?"** Australian Mammalogy, vol. 35, 2013, pp. 30–38.
- GOMES, R. M. HEINECK, D. T. RAMOS, D. da P. de SOUZA, E. S. **IMPACTO DAS ESTRUTURAS URBANAS EM RELAÇÃO À BIODIVERSIDADE AMAZÔNICA.** Revista de Arquitetura da IMED, vol. 3, n. 2, 2014, pp. 145-155.
- GOOSEM, M. W. HOSKING, C. J. **"ROAD IMPACTS ON ABUNDANCE, CALL TRAITS, AND BODY SIZE OF RAINFOREST FROGS IN NORTHEAST AUSTRALIA."** Ecology and Society, vol. 15, no. 3, 2010, artigo 15.
- GREIF, S. **"FAUNA ATINGIDA POR ACIDENTES AMBIENTAIS ENVOLVENDO PRODUTOS QUÍMICOS."** Trabalho apresentado como pré-requisito para a obtenção de Certificado de Conclusão de Curso de Especialização em Gerenciamento Ambiental, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo – USP, São Paulo, 2017, 278 pp.
- GRILO, C. JACOBSON, S. KOCIOLEK, A. **"CHAPTER 33 – FLIGHT DOESN'T SOLVE EVERYTHING: MITIGATION OF ROAD IMPACTS ON BIRDS."** In GRILO, C. van der REE, R. SMITH, D. J. **"HANDBOOK OF ROAD ECOLOGY."** John Wiley; Sons Ltd., 2015a, pp. 151-158.
- GRILO, C. van der REE, R. SMITH, D. J. **"CHAPTER 1 – THE ECOLOGICAL EFFECTS OF LINEAR INFRASTRUCTURE AND TRAFFIC: CHALLENGES AND OPPORTUNITIES OF RAPID GLOBAL GROWTH."** In GRILO, C. van der REE, R. SMITH, D. J. **"HANDBOOK OF ROAD ECOLOGY."** John Wiley; Sons Ltd., 2015b, pp. 151-158.
- GU, X. WANG, S. YU, B. **"ESTIMATION AND UNCERTAINTY ANALYSIS OF ENERGY CONSUMPTION AND CO₂ EMISSION OF ASPHALT PAVEMENT MAINTENANCE."** Journal of Cleaner Production, vol. 189, 2018, pp. 326-333.
- GUILLARD, L. LENGAGNE, T. LIBOUREL, P. A. MONDY, N. SECONDI, J. TEULIER, L. THÉRY, M. TOUZOT, M. **ARTIFICIAL LIGHT AT NIGHT DISTURBS THE ACTIVITY AND ENERGY ALLOCATION OF THE COMMON TOAD DURING THE BREEDING PERIOD.** Conserv Physiol., vol. 7, no. 1, 2019.
- HAN, N. X. LONG, W. J. MAI, J. M. YANG, P. ZENG, T. Y. **"STUDY ON TEMPERATURE FIELD DISTRIBUTION OF ASPHALT OVERLAY ON EXISTING CEMENT PAVEMENT."** Advances in Engineering Research (AER), vol. 143, 2017, pp. 196-203.
- HANSON, D. I. JAMES, R. S. **"COLORADO DOT TIRE/PAVEMENT NOISE STUDY."** Colorado Department of Transportation, Denver-CO, relatório no. CDOT-DTD-R-2004-5, 2004.
- HARLEY, R. A. KIRCHSTETTER, T. W. MIGUEL, A. H. **ON-ROAD EMISSIONS OF PARTICULATE**

- POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS AND BLACK CARBON FROM GASOLINE AND DIESEL VEHICLES.** Environ. Sci. Technol., vol. 32, 1998, pp. 450-455.
- HELLDIN, J. O. PETROVAN, S. O. **"EFFECTIVENESS OF SMALL ROAD TUNNELS AND FENCES IN REDUCING AMPHIBIAN ROADKILL AND BARRIER EFFECTS AT RETROFITTED ROADS IN SWEDEN."** PeerJ 7:e7518, 2019.
- HERNDON, S. C. KNIGHTON, W. B. KOLD, C. E. MARR, L. C. ONASCH, T. B. WOOD, E. C. ZAVALA, M. **EVALUATION OF MOBILE EMISSIONS CONTRIBUTIONS TO MEXICO CITY'S EMISSIONS INVENTORY USING ON-ROAD AND CROSS-ROAD EMISSION MEASUREMENTS AND AMBIENT DATA.** Atmos. Chem. Phys., vol. 9, 2009, pp. 6305–6317.
- HERRANZ, J. HERVÁS, I. MALO, J. E. MATA, C. SUÁREZ, F. **ARE MOTORWAY WILDLIFE PASSAGES WORTH BUILDING? VERTEBRATE USE OF ROAD-CROSSING STRUCTURES ON A SPANISH MOTORWAY.** Journal of Environmental Management, vol. 88, 2008, pp. 407–415.
- HÖLKER, F. SCHROER, S. **IMPACT OF LIGHTING ON FLORA AND FAUNA.** In R. Karlicek et al., **HANDBOOK OF ADVANCED LIGHTING TECHNOLOGY.** Springer, 2016.
- HÖLKER, F. PERKIN, E. K. TOCKNER, K. WOLTER, C. **LIGHT POLLUTION AS A BIODIVERSITY THREAT.** Trends Ecol Evol, vol. 12, 2010, pp. 681-682.
- HOLLERAN, G. HOLLERAN, I. JAMES, B. WALUBITA, L. F. WILSON, D. J. **"POROUS ASPHALT – MORE THAN JUST SAFETY."** IPENZ Transportation Group Conference, Auckland, 2016.
- INSTITUTO CHICO MENDES DE BIODIVERSIDADE – ICMBio. **"PRIM - PLANO DE REDUÇÃO DE IMPACTOS À BIODIVERSIDADE"** Ministério do Meio Ambiente – MMA, 1ª ed., Brasília–DF, 2018.
- INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS – IBAMA. Portaria nº 85 de 17 de outubro de 1996.
- JEŽEK, M. KEKEN, Z. KUŠTA, T. KŮTA, Z. **"EFFECTIVENESS AND COSTS OF ODOR REPELLENTS IN WILDLIFE–VEHICLE COLLISIONS: A CASE STUDY IN CENTRAL BOHEMIA, CZECH REPUBLIC."** Transportation Research, parte D 38, 2015, pp. 1–5.
- JONES, D. PELL, S. **"ARE WILDLIFE OVERPASSES OF CONSERVATION VALUE FOR BIRDS? A STUDY IN AUSTRALIAN SUB-TROPICAL FOREST, WITH WIDER IMPLICATIONS."** Biological Conservation, vol. 184, 2015, pp. 300–309.
- JOST, L. **"ENTROPY AND DIVERSITY."** Oikos, vol. 113, 2006, pp. 363-375.
- JOST, L. **"PARTITIONING DIVERSITY INTO INDEPENDENT ALPHA AND BETA COMPONENTS."** Ecology, vol. 88, no. 10, 2007, pp. 2427–2439.
- KANDASAMY, J. LOGANATHAN, P. VIGNESWARAN, S. **"ROAD-DEPOSITED SEDIMENT POLLUTANTS: A CRITICAL REVIEW OF THEIR CHARACTERISTICS, SOURCE APPORTIONMENT, AND MANAGEMENT."** Critical Reviews in Environmental Science and Technology, vol. 43, 2013, pp. 1315–1348.
- KANDHAL, P. S. **"QUIET PAVEMENTS: ASPHALT PAVEMENTS MITIGATE TIRE/PAVEMENT NOISE."** Hot Mix Asphalt Technology, março/2004, pp. 22-31.
- KOHUT, R. **"ASSESSING THE RISK OF FOLIAR INJURY FROM OZONE ON VEGETATION IN PARKS IN THE U.S. NATIONAL PARK SERVICE'S VITAL SIGNS NETWORK."** Environmental Pollution, vol. 149, 2007, pp. 348-357.
- KRAUSE, B. L. **"THE NICHE HYPOTHESIS: A VIRTUAL SYMPHONY OF ANIMAL SOUNDS, THE ORIGINS OF MUSICAL EXPRESSION AND THE HEALTH OF HABITATS."** The Soundscape Newsletter, vol. 06, 1993.
- KURUPPU, U. RAHMAN, A. RAHMAN, M. A. **"PERMEABLE PAVEMENT AS A STORMWATER BEST MANAGEMENT PRACTICE: A REVIEW AND DISCUSSION."** Environmental Earth Sciences, vol. 78, 2019, artigo 327.
- LAMPE, U. REINHOLD, K. SCHMOLL, T. **"HOW GRASSHOPPERS RESPOND TO ROAD NOISE: DEVELOPMENTAL PLASTICITY AND POPULATION DIFFERENTIATION IN ACOUSTIC SIGNALLING."** Functional Ecology, vol. 28, 2014, pp. 660–668.
- LANDIM, S. N. T. SÁNCHEZ, L. E. **THE CONTENTS AND SCOPE OF ENVIRONMENTAL IMPACT**

- STATEMENTS: HOW DO THEY EVOLVE OVER TIME? IMPACT ASSESSMENT AND PROJECT APPRAISAL.** vol. 30, no. 4, 2012, pp. 217-228.
- LaRUE, M. A. NIELSEN, C. K. **"MODELLING POTENTIAL DISPERSAL CORRIDORS FOR COUGARS IN MIDWESTERN NORTH AMERICA USING LEAST-COST PATH METHODS."** Ecological Modelling, vol. 212, 2008, pp. 372-381.
- LEA, A. J. OWEN, M. A. SHIER, D. M. **"BEYOND MASKING: ENDANGERED STEPHEN'S KANGAROO RATS RESPOND TO TRAFFIC NOISE WITH FOOTDRUMMING."** Biological Conservation, vol. 150, 2012, pp. 53-58.
- LEMES, M. R. T. **"REVISÃO DOS EFEITOS DA VEGETAÇÃO EM TALUDES."** Dissertação para o título de Mestre em Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – UFRGS, 2001, 130 pp.
- LESSA, S. N. PEREIRA, L. A. G. **O PROCESSO DE PLANEJAMENTO E DESENVOLVIMENTO DO TRANSPORTE RODOVIÁRIO NO BRASIL.** Caminhos da Geografia, v. 12, n. 40, Uberlândia, 2011, pp. 26-46.
- LI, C. LI, Y. LIANS, C. XIONG, S. SHU, G. ZHANG, W. **"DAYTIME DRIVING DECREASES AMPHIBIAN ROADKILL."** PeerJ 6:e5385, 2018.
- LIAN, Y. X. SHI, M. H. XING, Y. F. XU, Y. H. **"THE IMPACT OF PM2.5 ON THE HUMAN RESPIRATORY SYSTEM."** Journal of Thoracic Disease, Vol 8, No 1, 2016.
- LONGCORE, T. RICH, C. **ECOLOGICAL LIGHT POLLUTION. FRONTIERS IN ECOLOGY AND THE ENVIRONMENT.** vol. 2, 2004, pp. 191-198.
- LU, Y. WANG, Y. YANG, B. ZHANG, W. ZHANG, W. **"CARBON STORAGE DYNAMICS OF SECONDARY FOREST SUCCESSION IN THE CENTRAL LOESS PLATEAU OF CHINA."** Forests, vol. 10, 2019, artigo 342.
- MARCELINO, E. V. **"MAPEAMENTO DE ÁREAS SUSCEPTÍVEIS A ESCORREGAMENTOS NO MUNICÍPIO DE CARAGUATATUBA (SP) USANDO TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO."** Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, São José dos Campos–SP, 2004, 228 pp.
- MARTINELLI, M. M. VOLPI, T. A. **MAMÍFEROS ATROPELADOS NA RODOVIA ARMANDO MARTINELLI (ES-080), ESPÍRITO SANTO, BRASIL.** Natureza on line, vol. 9, n. 3, 2011, pp. 113-116.
- MELO, F. C. de MELO, F. R. MIRANDA, J. E. S. OLIVEIRA, S. R. PEREIRA, K. F. UMETSU R. K. **ROADKILL IN THE BRAZILIAN CERRADO SAVANNA: COMPARING FIVE HIGHWAYS IN SOUTHWESTERN GOIÁS.** Oecologia Australis, vol. 21, no. 3, 2017, pp. 337-349.
- MENDES, R. M. **"CAPÍTULO 6. COLAPSO E SUBSIDÊNCIA DE SOLOS."** In do AMARAL, R. SANTORO, J. TOMINAGA, L. K. **"DESASTRES NATURAIS: CONHECER PARA PREVENIR."** Instituto Geológico, Secretaria do Meio Ambiente, São Paulo–SP, 2015, pp. 85-98.
- MITCHELL, D. **"HEALTH EFFECTS OF SHIPPING RELATED AIR POLLUTANTS."** Air Resources Board, California Environmental Protection Agency – EPA, 2001.
- MÓDULO 1: ECOLOGIA DE ESTRADAS.** Centro Brasileiro de Ecologia de Estradas – UFLA.
- MUNAWER, M. E. **"HUMAN HEALTH AND ENVIRONMENTAL IMPACTS OF COAL COMBUSTION AND POST-COMBUSTION WASTES."** Journal of Sustainable Mining, vol. 17, 2018, pp. 87-96.
- NAVARRO, E. de A. **DICIONÁRIO DE TUPI ANTIGO.** Ed. Global, São Paulo, 2013.
- NETO, T. O. NOGUEIRA, R. J. B. **GEOPOLÍTICA E RODOVIAS NA AMAZÔNIA: UM DEBATE NECESSÁRIO.** Revista de Geopolítica, v. 6, n. 2, Natal, 2015, pp. 166-186.
- de OLIVEIRA, R. D. A. **"EFEITOS DA POLUIÇÃO SONORA NAS CARACTERÍSTICAS DO CANTO E NA FISIOLÓGIA DAS AVES."** Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Universidade de Brasília, Brasília-DF, 2018, 163 pp.
- OMAYE, S. T. **"METABOLIC MODULATION OF CARBON MONOXIDE TOXICITY."** Toxicology, vol. 180, 2002, pp. 139-150.
- ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE – OMS. **"AIR QUALITY GUIDELINES FOR EUROPE."** 2ª

- ed., 2000.
- PAN, X. WESTERDAHL, D. WU, Y. ZHANG, K. M. **ON-ROAD EMISSION FACTOR DISTRIBUTIONS OF INDIVIDUAL DIESEL VEHICLES IN AND AROUND BEIJING, CHINA.** Atmospheric Environment, vol. 45, 2011.
- PARRIS, K. M. **"CHAPTER 19 – ECOLOGICAL IMPACTS OF ROAD NOISE AND OPTIONS FOR MITIGATION."** In GRILO, C. van der REE, R. SMITH, D. J. **"HANDBOOK OF ROAD ECOLOGY."** John Wiley; Sons Ltd., 2015, pp. 151-158.
- PAUWELS, J. **LIGHT POLLUTION; BIODIVERSITY: WHAT ARE THE LEVERS OF ACTION TO LIMIT THE IMPACT OF ARTIFICIAL LIGHTING ON NOCTURNAL FAUNA? BIODIVERSITY AND ECOLOGY.** Museum national d'histoire naturelle - MNHN PARIS, 2018.
- "PREFACE."** In HEALTH EFFECTS INSTITUTE – HEI. **"REPORT NUMBER 92."** Health Effects Institute, North Andover–MA, 2000, pp. 1-7.
- de QUEIROZ, F. A. **IMPACTOS DA SOJICULTURA DE EXPORTAÇÃO SOBRE A BIODIVERSIDADE DO CERRADO.** Soc. nat., vol.21, no.2, 2009.
- QIN, Y. **"PAVEMENT SURFACE MAXIMUM TEMPERATURE INCREASES LINEARLY WITH SOLAR ABSORPTION AND RECIPROCAL THERMAL INERTIAL."** International Journal of Heat and Mass Transfer, vol. 97, 2016, pp. 391–399.
- RADLE, L. A. **"THE EFFECT OF NOISE ON WILDLIFE: A LITERATURE REVIEW."** World Forum for Acoustic Ecology, 1998.
- RECIO, L. SARANKO, C. J. STEEN, A-M. **"PART II: ROLES OF TWO METABOLITES OF 1,3-BUTADIENE IN MEDIATING ITS IN VIVO GENOTOXICITY."** In HEALTH EFFECTS INSTITUTE – HEI. **"REPORT NUMBER 92."** Health Effects Institute, North Andover–MA, 2000, pp. 49-88.
- SAGARA, K. SHARMA, S. D. **"LATENT HEAT STORAGE MATERIALS AND SYSTEMS: A REVIEW."** International Journal of Green Energy, vol. 2, 2005, pp. 1–56.
- SALMON, M. **NATURAL TRANSITIONS BETWEEN LIGHT AND DARKNESS INFLUENCE THE BIOLOGY AND BEHAVIOUR OF MANY ORGANISMS. WHAT HAPPENS WHEN HUMANS INTRODUCE LIGHT INTO DARKNESS? OCEANIC BEACHES, WHERE SEA TURTLES NEST, PROVIDE AN EXAMPLE OF BOTH THE PROBLEM AND APPROACHES TO ITS SOLUTION.** Biologist, vol. 50, no. 4, 2003, pp. 163-168.
- SALMON, M. **PROTECTING SEA TURTLES FROM ARTIFICIAL NIGHT LIGHTING AT FLORIDA'S OCEANIC BEACHES.** In LONGCORE, T. RICH, C. **ECOLOGICAL CONSEQUENCES OF ARTIFICIAL NIGHT LIGHTING.** Island Press, Washington–DC, 2006, pp. 137-168.
- SÁNCHEZ, L. E. **"AVALIAÇÃO DE IMPACTO AMBIENTAL–CONCEITOS E MÉTODOS."** Oficina de Textos, 2a ed., São Paulo, 2013.
- SANDOVAL, M. A. L. **BREVE HISTÓRICO SOBRE A EVOLUÇÃO DO PLANEJAMENTO NACIONAL DE TRANSPORTES.** Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT, 2012.
- SANTORO, J. **"CAPÍTULO 4. EROSÃO CONTINENTAL."** In do AMARAL, R. SANTORO, J. TOMINAGA, L. K. **"DESASTRES NATURAIS: CONHECER PARA PREVENIR."** Instituto Geológico, Secretaria do Meio Ambiente, São Paulo–SP, 2015, pp. 53-70.
- SÃO PAULO, ASSEMBLEIA LEGISLATIVA DO ESTADO DE SÃO PAULO. Lei nº 13550 de 2 de junho de 2009.
- SÃO PAULO, SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE – SMA. Resolução nº 8, de 31 de janeiro de 2008.
- SHAPLEY, P. **"HEAT ABSORBING GASES."** University of Illinois, 2011. Disponível em: <<http://butane.chem.uiuc.edu/pshapley/GenChem1/L15/2.html>> Acesso em: 30 de setembro de 2020.
- SHARP, T. **"EARTH'S ATMOSPHERE: COMPOSITION, CLIMATE; WEATHER."** 2017.
- SILVA, C. R. de O. **TARTARUGAS MARINHAS DO BRASIL - COMPORTAMENTO E CONSERVAÇÃO.** Monografia apresentada à Faculdade de Ciências da Saúde do Centro

- Universitário de Brasília, Brasília, 2001, pp. 22.
- da SILVA, M. F. **EMIÇÃO DE METAIS POR VEÍCULOS AUTOMOTORES E SEUS EFEITOS À SAÚDE PÚBLICA.** Dissertação de Pós-Graduação em Saúde Pública, USP, São Paulo, 2007.
- SOUZA, C. R. de G. **"CAPÍTULO 5. EROÇÃO COSTEIRA."** In do AMARAL, R. SANTORO, J. TOMINAGA, L. K. **"DESASTRES NATURAIS: CONHECER PARA PREVENIR."** Instituto Geológico, Secretaria do Meio Ambiente, São Paulo–SP, 2015, pp. 71-84.
- SUPRIATNA, J. **"BIODIVERSITY INDEXES: VALUE AND EVALUATION PURPOSES."** E3S Web of Conferences 48, 2018.
- TAMOIOS NEWS. **"TAMOIOS: UMA RODOVIA MODERNA, SEGURA, MAS INSTÁVEL."** 2019. Disponível em: <<https://www.tamoiosnews.com.br/especial/tamoios-uma-rodovia-moderna-mas-insegura-quando-chove/>> Acesso em: 17 de setembro de 2020.
- TOMINAGA, L. K. **"CAPÍTULO 1. DESASTRES NATURAIS: POR QUE OCORREM?"** In do AMARAL, R. SANTORO, J. TOMINAGA, L. K. **"DESASTRES NATURAIS: CONHECER PARA PREVENIR."** Instituto Geológico, Secretaria do Meio Ambiente, São Paulo–SP, 2015a, pp. 11-24.
- TOMINAGA, L. K. **"CAPÍTULO 2. ESCORREGAMENTOS."** In do AMARAL, R. SANTORO, J. TOMINAGA, L. K. **"DESASTRES NATURAIS: CONHECER PARA PREVENIR."** Instituto Geológico, Secretaria do Meio Ambiente, São Paulo–SP, 2015b, pp. 25-38.
- TSUBOI, H. WADA, M. **CHLOROPLASTS CAN MOVE IN ANY DIRECTION TO AVOID STRONG LIGHT.** J Plant Res, vol. 124, 2011, pp. 201–210.
- TUOMISTO, H. **"A CONSISTENT TERMINOLOGY FOR QUANTIFYING SPECIES DIVERSITY? YES, IT DOES EXIST."** Oecologia, vol. 164, 2010a, pp. 853–860.
- TUOMISTO, H. **"A DIVERSITY OF BETA DIVERSITIES: STRAIGHTENING UP A CONCEPT GONEAWRY. PART 1. DEFINING BETA DIVERSITY AS A FUNCTION OF ALPHA AND GAMMA DIVERSITY."** Ecography, vol. 33, 2010b, pp. 2-22.
- WEBB, P. **"INTRODUCTION TO OCEANOGRAPHY."** CC-BY 4.0 international license, 2020, p. 165.
- WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION – WMO. **"OPERATIONAL HYDROLOGY REPORT No. 47: MANUAL ON SEDIMENT MANAGEMENT AND MEASUREMENT."** Secretaria da Organização Meteorológica Mundial – WMO, Suíça, 2003.
- XU, M. ZHANG, Y. **"ANALYSIS OF LEACHATE CONTAMINANTS METALS IN POLYPHTHALAMIDE-MODIFIED ASPHALT AND THEIR ENVIRONMENTAL EFFECTS."** Journal of Cleaner Production, vol. 275, 2020, artigo 123239.