

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

VICTOR AKIO COSTA SAITO

ALTERNATIVAS DE ENGENHARIA NA MINIMIZAÇÃO DE IMPACTOS
AMBIENTAIS NA IMPLEMENTAÇÃO DE RODOVIAS

CURITIBA

2021

VICTOR AKIO COSTA SAITO

ALTERNATIVAS DE ENGENHARIA NA MINIMIZAÇÃO DE IMPACTOS
AMBIENTAIS NA IMPLEMENTAÇÃO DE RODOVIAS

Artigo apresentado como requisito parcial à conclusão do curso de Especialização em Análise Ambiental, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr Daniel Hauer Queiroz Telles

CURITIBA

2021

SUMÁRIO

1 RESUMO.....	5
2 ABSTRACT.....	5
3 INTRODUÇÃO E OBJETIVOS	6
4 REVISÃO DE LITERATURA	8
4.1 ECOLOGIA DE PAISAGEM E BIOGEOGRAFIA	8
4.2 REDES ECOLÓGICAS E CORREDORES ECOLÓGICOS	8
4.3 ECOLOGIA DE ESTRADAS NO ÂMBITO DO MODAL RODOVIÁRIO.....	9
4.4 EFEITO ESPINHA DE PEIXE E EFEITO DE BORDA	10
4.5 LICENCIAMENTO AMBIENTAL.....	12
4.6 ASPECTOS RELEVANTES PRÉVIOS À IMPLANTAÇÃO DE OBRAS DE MITIGAÇÃO DE IMPACTOS.....	13
5 METODOLOGIA	16
6 RESULTADOS.....	22
6.1 RODOVIAS SÃO INDUTORAS DE DESMATAMENTO?	22
6.2 ALTERNATIVAS DE ENGENHARIA PARA MINIMIZAÇÃO DE IMPACTOS A NÍVEL GLOBAL.....	22
6.2.1 ELEVADOS, PONTES E VIADUTOS (OU <i>FLYOVER</i>)	23
6.2.2 TÚNEIS	24
6.2.3 DESVIO DE TRAÇADOS	25
6.2.4 ESTRUTURAS DE CERCAMENTO E DIRECIONAMENTO.....	26
6.3 ALTERNATIVAS DE ENGENHARIA PARA MINIMIZAÇÃO DE IMPACTOS A NÍVEL LOCAL	28
6.3.1 BARREIRA ACÚSTICA.....	28
6.3.2 PASSAGENS INFERIORES	29
6.3.3 PASSAGENS SUPERIORES.....	31
6.4 TÉCNICAS E EQUIPAMENTOS AUXILIARES DE PROTEÇÃO DE FAUNA	35
6.4.1 BORDAS DE MATAÇÃO.....	35
6.4.2 SINALIZAÇÃO VIÁRIA AMBIENTAL.....	36
6.4.3 SISTEMA DE DETECÇÃO DE ANIMAIS NA PISTA (ADS)	37
6.4.4 REFLETORES	38
6.4.5 OUTROS SISTEMAS NÃO ESTRUTURAIS	38

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	38
REFERÊNCIAS.....	41

ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 – PADRÕES DE DESMATAMENTO	11
FIGURA 2 – EXEMPLOS DE PLANOS DE INFORMAÇÃO ÚTEIS EM UM SIG PARA SE IDENTIFICAR ÁREAS DE PASSAGEM DE FAUNA.....	14
FIGURA 3 – REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DOS IMPACTOS ECOLÓGICOS DAS ESTRADAS.....	15
FIGURA 4 – PARÁ, COMPARAÇÃO DOS EFEITOS NA PROXIMIDADE DAS BR-163, BR-230 E PA-279 ENTRE OS ANOS 1984 E 2016.	20
FIGURA 5 – MAPA DA REGIÃO PRÓXIMA A MANAUS E PORTO VELHO ENTRE OS ANOS 1984 E 2016.....	21
FIGURA 6 – EXEMPLOS DE ELEVADOS E VIADUTOS.	24
FIGURA 7 – ALTERNATIVAS EXISTENTES NO CONTEXTO.....	26
FIGURA 8 – ESTRUTURAS DE CERCAMENTO E DIRECIONAMENTO	28
FIGURA 9 – BARREIRA ACÚSTICA	29
FIGURA 10 – PASSAGENS INFERIORES GRANDES.	30
FIGURA 11 – DUTOS PARA FAUNA	31
FIGURA 12 – EXEMPLOS DE ECODUTOS.....	34
FIGURA 13 – EXEMPLOS DE PASSAGENS SUPERIORES.....	35
FIGURA 14 – PROTEÇÃO DE BORDA COM MATAÇÃO	36
FIGURA 15 – EXEMPLOS DE SINALIZAÇÃO VIÁRIA.....	37
FIGURA 16 – EXEMPLOS DE SINALIZAÇÃO COM ALERTA LUMINOSO DE PRESENÇA DE ANIMAIS (ADS).....	37

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1 – PRINCIPAIS FUNÇÕES DE PRESERVAÇÃO DOS ATIVOS ECOLÓGICOS APLICANDO MANUTENÇÃO ADEQUADA.....	16
---	----

Alternativas de engenharia na minimização de impactos ambientais na implementação de rodovias

Victor Akio Costa Saito

1 Resumo

Os impactos ambientais negativos causados pelas rodovias ocorrem de várias formas, sendo mais evidente o atropelamento de fauna e desmatamento, entretanto, o problema é mais complexo e envolve a geração do efeito de barreira, reduz a conectividade de habitats, provoca a interrupção de fluxos gênicos e muitos outros reveses. Diante destes desafios provocados pelas estradas foi proposto neste trabalho a apresentação das alternativas de engenharia para mitigação dos impactos ocasionados pela implantação de rodovias que a bibliografia e a experiência de obras de engenharia na área já executaram ou já propuseram. A pesquisa foi dividida inicialmente em revisão da literatura realizando a pesquisa desde uma visão mais macro como ecologia da paisagem, passando por redes e corredores ecológicos até chegar em ecologia de estradas e nas soluções de mitigação necessárias. Além disso, teve como objetivo específico avaliar a relação das rodovias com o desmatamento e entender o efeito espinha de peixe nesse processo. Resultados indicaram que para cada problema causado pela construção e operação existem alternativas que mitigam os impactos provocados. Além disso, verificou-se que é viável a hipótese de que rodovias são indutoras de desmatamentos, entretanto, é preciso refinar a pesquisa para ser possível afirmar a direta relação entre tais variáveis.

Palavras-chave: ecodutos, passagem de fauna, ecologia de estradas, efeito espinha de peixe, efeito de borda, atropelamentos.

2 ABSTRACT

The negative environmental impacts caused by highways occur in many ways, with the most evident being the roadkill and deforestation. However, the problem is more complex and involves the barrier effect, reduces the connectivity of habitats, causes the interruption of gene flows and many other issues. The research was initially divided into a literature review carrying out the research from a more macro view as landscape ecology, passing through ecological networks and corridors until arriving at road ecology and the necessary mitigation solutions. In addition, its specific objective was to evaluate the relationship between highways and deforestation and understand the fishbone effect in this process. Results indicated that for each problem caused by road construction and operation there are alternatives that mitigate the impacts caused. In addition, it was found that the hypothesis that roads are deforestation inducers is viable, however, it is necessary to refine the research to be able to affirm the direct relationship between these variables.

Keywords: roadkill, wildlife crossing structures, road ecology, AVC, fishbone effect

3 INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

Situações complexas exigem soluções complexas e, em muitos casos, as soluções não são de engenharia, e sim de conceituação, planejamento integrado e implementação de alternativas para a promoção dos fluxos que justificam uma intervenção artificial na natureza. Com o rápido avanço tecnológico no mundo, a globalização e a necessidade de aumentar e facilitar o fluxo de pessoas e mercadorias e ainda preservar a natureza, tais desafios estão exigindo soluções complexas. Muitos fluxos de transporte são encerrados, outros criados e intensificados. Isso incorrerá na mudança de rotas seja da fauna ou dos seres humanos, bem como no custo da solução dos transportes.

Segundo IPEA (2020), em média, o custo de cada acidente à população brasileira é de R\$261.689,00, caso o acidente gere óbitos o custo médio é de R\$664.821,00. Segundo o Anuário Estatístico de Segurança Rodoviária de 2010 a 2017, só no ano de 2017 dos acidentes que foram causados por animais na pista somaram 2,9%, causando 2.612 acidentes. E, relacionado a acidentes com óbitos e animais na pista, ocorreram 103 acidentes. Se formos calcular o custo de acidentes daria mais de R\$683 milhões e R\$68 milhões, respectivamente, em se tratando apenas de acidentes relacionados com a fauna, mas outras categorias como falta de atenção do motorista, ingestão de álcool, velocidade incompatível, entre outros equivalem a um montante exorbitante. Sendo assim, com esse montante poderiam ser construídos anualmente vários dispositivos de mitigação de danos ambientais, bem como evitar óbitos humano e animal.

Sob a ótica da preservação da vida animal, apesar de as rodovias trazerem benefícios como a criação de corredores de viagem, eles também podem provocar danos ambientais, como, por exemplo, se constituindo em verdadeiras barreiras de migração, fragmentando habitats e causando significativa mortalidade, sendo esta o impacto mais perceptível causado pelas rodovias (Clevenger et. al, 2001). Diversos estudos confirmam que os índices de atropelamento tendem a aumentar em rodovias com proximidade ou que cortam áreas destinadas à conservação da natureza, como Parques, Estações Ecológicas e Reservas Biológicas (MUZZOLON, 2014).

O impacto das rodovias nas populações silvestres é significativo e é um problema em crescimento mundialmente. Na América do Norte, acidentes com animais na pista estão crescendo rapidamente e se tornaram uma das principais

preocupações da segurança viária pelos motoristas (CLEVENGER & HUIJSER, 2011). Muitos autores citam que não há ainda um consenso sobre os impactos que as rodovias causam no meio ambiente, entretanto, têm-se estudado e implantado estruturas de travessias de animais de variados portes para realizar a reconexão de habitats e reduzir o número de atropelamentos de fauna. Essa prática tem sido mais comum em países desenvolvidos, tais como Holanda, Estados Unidos, Alemanha, Canadá, entre outros. Apesar de ser requerido na avaliação dos impactos ambientais das rodovias que sejam incluídas todas as fases (planejamento, construção e operação), no Brasil infelizmente ainda é incipiente no período de operação, sendo que em termos de legislação nessa fase pouco ou nada exige, embora talvez crie mais impactos, visto ter uma duração mais longa (MUZZOLON, 2014).

Portanto, o objetivo geral foi apresentar alternativas de engenharia para mitigação dos impactos ocasionados pela implantação de rodovias que a bibliografia e a experiência de obras de engenharia na área já executaram ou já propuseram. A implantação de rodovias pode ocorrer de algumas formas, tais como na construção novas estradas, na pavimentação das que já foram abertas ou, ainda, em aumento de capacidade de fluxo de veículos (duplicações e triplicações). Realizou-se inicialmente uma revisão da literatura para a definição de alguns termos, tais como ecologia da paisagem, biogeografia, redes ecológicas, corredores ecológicos e ecologia de estradas no âmbito do modal rodoviário. Teve como objetivo específico realizar uma pesquisa para definição dos termos “efeito espinha de peixe” e do “efeito de borda” com o intuito de entender as dinâmicas de desmatamento e validar a hipótese de que as obras lineares rodoviárias são indutoras de desmatamento.

Por fim, apresentou-se como resultados o levantamento de alternativas de engenharia para a mitigação dos impactos nas rodovias em todo o ciclo de vida do empreendimento, ou seja, desde a fase de projeto do empreendimento para evitar que haja dano ao meio, até o momento da sua construção e operação. Tais alternativas foram divididas entre nível global e local. A primeira consiste em medidas que possam ser abordadas na obra como um todo, desde a sua fase de projeto básico e conceitual como a definição de traçados e desvio de traçados, bem como estruturas de engenharia de grande extensão que impactem o mínimo necessário, tais como túneis e elevados. A segunda, consiste em medidas ou obras de menor porte se comparado à extensão da rodovia em si, que podem ser passagens de fauna inferiores ou superiores.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 ECOLOGIA DE PAISAGEM E BIOGEOGRAFIA

Segundo Metzger (2001) existem duas abordagens de ecologia da paisagem razoavelmente distintas, pois de um lado existe uma “abordagem geográfica” que prioriza estudos das modificações estruturais e funcionais causadas pelo homem sobre o meio, sobre a paisagem. De outro lado, existe a “abordagem ecológica” que se enfoca nas unidades naturais da paisagem, priorizando a preservação do meio e identifica a justa escala de intervenção do homem sobre a paisagem. Entretanto, segundo o autor elas apresentam muito em comum, pois ambas empregam análises espaciais, lidam com espaços heterogêneos e levam em consideração múltiplas escalas em suas análises. Sendo assim, a contribuição da ecologia da paisagem consiste em compatibilizar o uso das terras e sustentabilidade ambiental, social e econômica e é necessário planejar a ocupação e a conservação da paisagem como um todo e não de forma fragmentada (METZGER, 2001).

Dentro dessa temática também se insere o conceito de biogeografia, pois segundo Figueiró (2015) o clima, a hidrografia, o solo e o relevo dialeticamente passaram por uma longa e complexa história evolutiva que culminaram no cenário da paisagem que vemos hoje. Segundo o autor, a biogeografia também estuda os processos de distribuição, bem como de adaptação, diferenciação e extinção das espécies, além de levar em consideração as mudanças climáticas e ecológicas ocorridas no passado e no presente. Assim, nesse contexto estão inseridas as obras lineares como as rodovias e ferrovias, por exemplo, que estão e ou serão construídas no meio ambiente muitas vezes nativo. Portanto, é extremamente necessário estudar em uma escala ou em uma visão de paisagem, mais holística, entendendo tanto questões econômicas quanto ambientais e, dentre elas, estão o homem, a fauna, a flora, o solo, o ar, entre outros.

4.2 REDES ECOLÓGICAS E CORREDORES ECOLÓGICOS

Segundo Traficante (2007), redes ecológicas é um conceito utilizado para estabelecer finalidades e uso e ocupação de porções do território, tendo como base

todos os elementos constituintes do meio, seja em relação ao solo, a vegetação, aos seres vivos incluindo o homem e suas interações com os demais elementos. Para ele, o projeto de redes ecológicas abrange áreas que se expandem necessariamente além dos limites administrativos de cada município e requer, portanto, uma dilatação da escala de investigação. Além disso, o autor pontuou em sua tese diversas experiências em escala local, regional e nacional de redes ecológicas através de revisão bibliográfica que todas as experiências evidenciaram que a função de conectividade é entendida como o aspecto mais singular das redes ecológicas.

Além disso, existe também o conceito de corredores ecológicos que, segundo a lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000, que institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC) e define como “corredores ecológicos” as:

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

Corredores ecológicos são soluções para promover ou conservar em equilíbrio os fragmentos florestais e tratam-se de estruturas ecológicas que interligam os fragmentos, estimulando o fluxo gênico de animais e, conseqüentemente, de sementes, promovendo desta maneira uma variabilidade genética entre as manchas de vegetação, fomentando maiores oportunidades de sobrevivência às espécies (LONGO e LOPES, 2020).

4.3 ECOLOGIA DE ESTRADAS NO ÂMBITO DO MODAL RODOVIÁRIO

Ecologia de estradas é uma disciplina multidisciplinar que perpassa por ecologia, geografia, engenharia e planejamento e consiste em um emergente assunto de investigação ecológica iniciada a partir de evidências de impacto ambiental negativo no ecossistema circundante às estradas (COFFRIN, 2007). O presente trabalho priorizou o tema em rodovias, tendo em vista que elas constituem na maior malha viária de transporte terrestre brasileira, mas os mesmos conceitos também podem ser aplicados em estradas de ferro. Uma proporção significativa da ecologia das estradas na literatura está focada na avaliação do uso e eficácia das medidas de

mitigação que visam restaurar a conectividade para a vida selvagem ou reduzir as taxas de colisões entre animais e veículos (VAN DER REE et. al, 2011).

Segundo Lauxen (2012) a percepção da dimensão dos impactos relacionados ao grande número de acidentes entre veículos e animais, que impacta tanto a segurança humana quanto de sobrevivência dos animais, somados aos custos bilionários de danos aos veículos fez com que, nas últimas duas décadas, a ecologia de estradas ganhasse corpo.

Segundo Forman (1998) os ruídos do tráfego ocasionam à fauna o efeito *road avoidance* ou o efeito de evasão, de evitamento dos animais a rodovia, causam grande impacto ecológico e, ainda mais impactante, é o efeito de barreira, que subdivide populações com consequências demográficas e com risco de reveses genéticos. Além disso, o autor cita que a malha viária que corta a paisagem causa transformações hidrológicas e erosão, além de poluição química nas proximidades das vias.

Para Arroyave et. al. (2006) o efeito nas imediações das vias são o aumento da temperatura, menor umidade, maior radiação e maior suscetibilidade ao vento, o que altera a distribuição e abundância das espécies, mudando até a estrutura da vegetação e, portanto, a oferta de alimentos para a fauna.

4.4 EFEITO ESPINHA DE PEIXE E EFEITO DE BORDA

A abertura de frentes de colonização é um impacto indireto causado pelas rodovias, quem podem ser percebidas em médio e longo prazo após a sua construção, causando alterações no uso do solo, destruições de habitats naturais e a redução da biodiversidade (ARROYAVE et. al., 2006).

Segundo Oliveira *et al.* (2020) os impactos ecológicos diretos e indiretos são relevantes e não se restringem apenas a área das estradas, mas também por áreas bem mais extensas. O efeito espinha de peixe pode ser considerado como as consequências da intervenção do homem sobre o meio, particularmente falando de obras de grande porte, tais como as rodovias, pavimentadas ou não.

Existem vários padrões de desmatamento, sendo o efeito espinha de peixe um deles, entretanto, existem outros padrões tais como corredor, geométrico, difuso, fragmentos e ilha, conforme exposto na FIGURA 1, onde as áreas em preto representam o desmatamento e, em branco, áreas de floresta. Mertens e Lambin (1997) encontraram os padrões corredor, difuso e ilha no sul de Camarões.

FIGURA 1 – PADRÕES DE DESMATAMENTO



Adaptado de Mertens e Lambin (1997)

Alves (2002) relata que aproximadamente 90% dos desmatamentos ocorrem dentro de 100km das principais rodovias na Amazônia Legal brasileira, sendo 80% do total ocorrido nos estados do Maranhão, Mato Grosso, leste de Rondônia entre os anos de 1991-1997. Entretanto, na pesquisa mais recente realizada por Barber et. al. (2014) foi encontrado que 94,9% de todo o desmatamento na Amazônia brasileira tem ocorrido mais intensamente dentro de 5,5 km de alguns tipos de rodovias e à 1,0 km de rios navegáveis. Esses autores ainda vão além, relatam que florestas protegidas por lei apresentaram menos desmatamentos do que áreas desprotegidas, chegando a ter quatro vezes menos desmatamentos mesmo quando são facilmente acessíveis por estradas ou rios. Sendo assim, indicam que é extremamente importante a proteção das áreas nativas e é crucial nas áreas que possuem indutores de desmatamento, como rios navegáveis e estradas importantes.

Contudo, associado a construções lineares ainda se desenvolve o efeito de borda, que pode ocorrer conjuntamente ao efeito espinha de peixe e demais formas de desmatamento e extração de madeira. Segundo Figueiró (2015) o efeito de borda promove a mudança de condições microclimáticas (como aumento da quantidade de luz, vento e temperatura), modifica consideravelmente o nicho de espécies que habitam aquele ecossistema, abrindo espaço para a colonização de espécies pioneiras que se estabelecem e alteram a composição florística e faunística naquele ambiente de transição. O autor cita que as clareiras (e até mesmo as trilhas), provocadas pelo desmatamento facilitam o aparecimento e desenvolvimento de espécies como trepadeiras, que são bioindicadores de degeneração relacionada à existência de bordas externas ou internas.

Além de tudo, o ar é mais poluído nas proximidades das vias, principalmente as não pavimentadas e essa poluição afeta a vegetação, cobrindo superfícies e reduzindo a fotossíntese (COFFRIN, 2007). A autora ainda cita que a sujeira pode conter contaminantes, que são adsorvidos pela vegetação e podem vir a contaminar animais e seres humanos.

4.5 LICENCIAMENTO AMBIENTAL

A Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, que estabelece a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA) “tem por objetivo a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propícia à vida, visando assegurar ao país condições de desenvolvimento socioeconômico, aos interesses da segurança nacional e à proteção da dignidade da vida humana”. O art. 10 da Lei do PNMA consiste em um dos mais importantes mecanismos para esse controle, o licenciamento ambiental, e define:

“A construção, instalação, ampliação e funcionamento de estabelecimentos e atividades utilizadores de recursos ambientais, efetiva ou potencialmente poluidores ou capazes, sob qualquer forma, de causar degradação ambiental dependerão de prévio licenciamento ambiental”.

O Artigo 2º da resolução Conama nº 1 de 23 de janeiro de 1986 estabelece que:

“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;
[...]
V - Oleodutos, gasodutos, minerodutos, troncos coletores e emissários de esgotos sanitários; [...]”.

A Resolução CONAMA nº 237/1997 define o licenciamento ambiental como o "procedimento administrativo pelo qual o órgão ambiental competente licencia a localização, instalação, ampliação e a operação de empreendimentos e atividades utilizadoras de recursos ambientais, consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras ou daquelas que, sob qualquer forma, possam causar degradação ambiental". Portanto, conforme exposto acima, as rodovias se encontram entre estes empreendimentos.

Lauxen (2012) cita que a maior parte das obras viárias se concentram na pavimentação de trechos de rodovias já existentes e no aumento de capacidade de rodovias de pista simples, como duplicações, por exemplo. Mas, de forma geral, o autor cita que há quatro contextos que abrangem a maioria das situações relativas ao licenciamento ambiental de obras viárias, tais como implantação de uma nova rodovia; pavimentação de estradas já existentes; duplicações e triplicações; e regularização ambiental de rodovias já implantadas. Portanto, existem várias fases em que a abordagem ambiental da rodovia pode ser aplicada, sendo mais fácil e menos onerosa no caso de novas rodovias.

4.6 ASPECTOS RELEVANTES PRÉVIOS À IMPLANTAÇÃO DE OBRAS DE MITIGAÇÃO DE IMPACTOS

Existem alguns aspectos relevantes a serem estudados antes da implantação de alternativas de engenharia para mitigação de danos ambientais causados por empreendimentos lineares, como o estudo do solo, da flora, da fauna, presença de fragmentos florestais ou unidades de conservação, entre outros.

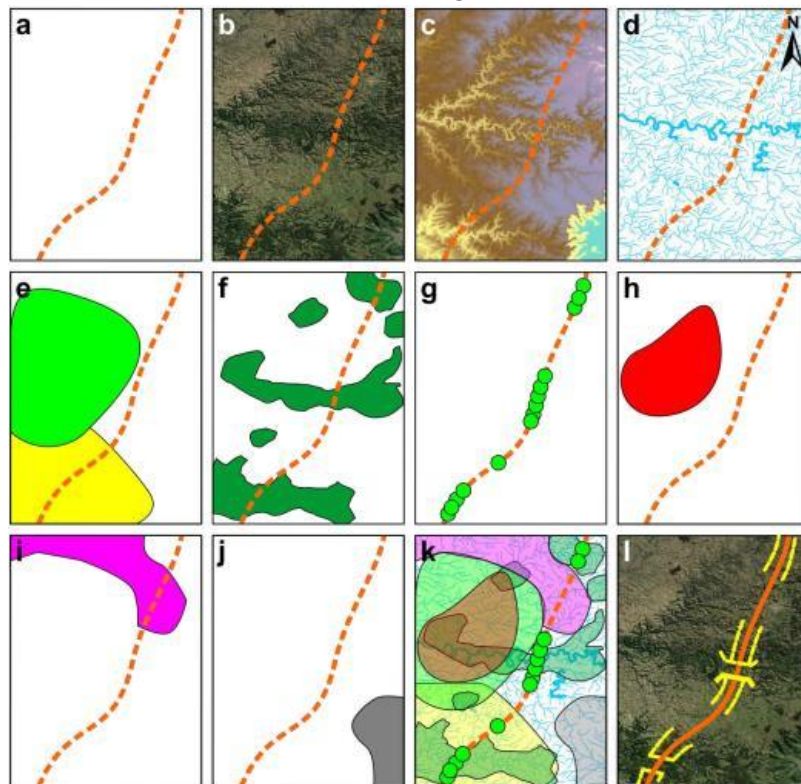
Lauxen (2012) também cita que é desejável definir espécies-alvo, pois, dentre outros fatores, permite definir a melhor tática de mitigação mais relevante frente aos principais indicadores de impacto, como, por exemplo, mortalidade, restrição de mobilidade, alterações ou perdas de habitats. O autor ainda expõe que é preciso fazer a avaliação dos impactos cumulativos e sinérgicos de toda a malha rodoviária e não apenas de trechos isolados, pois as espécies alvo são impactadas pela soma dos impactos de cada empreendimento.

Outro ponto relevante, segundo Clevenger e Huijser (2011) é conhecer a movimentação da fauna antes de construir obras de passagem de fauna, pode-se usar locais frequentes de atropelamento de fauna, entretanto, vários fatores podem influenciar e não fornecer a informação correta. Para eles deve-se utilizar mapas de conectividade de habitats e bases de dados mais sofisticadas para entender a movimentação, tais como uso de GPS e telemetria.

Segundo Lopes e Longo (2020) analisar a condição ecológica dos fragmentos florestais que poderão ser reconectados, como o estudo da fauna, da flora e da geologia local pode proporcionar um norte inicial de como um corredor de conectividade deve ser construído. Assim, se inseridas em um contexto de

geoprocessamento, somadas a outros temas relevantes, configura-se como uma das ferramentas mais notáveis para o diagnóstico de áreas que necessitam de conectividade e para indicação de medidas mitigadoras (LAUXEN, 2012). A FIGURA 2 expõe exemplos de planos de informação úteis em um sistema de informações geográficas para se identificar áreas prioritárias na manutenção da conectividade.

FIGURA 2 – EXEMPLOS DE PLANOS DE INFORMAÇÃO ÚTEIS EM UM SIG. A) TRAÇADO PROPOSTO DA RODOVIA, B) IMAGEM AÉREA DE SATÉLITE, C) HIPSOMETRIA¹, D) HIDROGRAFIA, E) ÁREAS PRIORITÁRIAS PARA CONSERVAÇÃO, F) REMANESCENTES DE VEGETAÇÃO NATIVA, G) REGISTROS DE ATROPELAMENTOS, H) UNIDADES DE CONSERVAÇÃO, I) POTENCIAL AGRÍCOLA, J) ÁREAS URBANAS. K) GEOPROCESSAMENTO, A SOBREPOSIÇÃO DOS PLANOS DE INFORMAÇÃO E ANÁLISE DOS TEMAS; L) INDICAÇÃO DAS MEDIDAS MITIGADORAS (CERCAS E PASSAGENS DE FAUNA) RESULTANTES DO PROCESSO DE ANÁLISE.



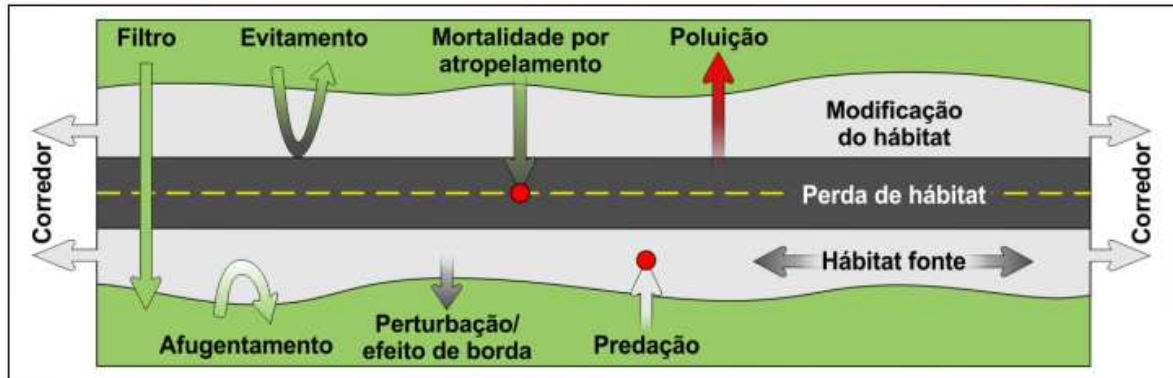
FONTE: Lauxen (2012)

Após a instalação dos mecanismos de conectividade é preciso continuidade no monitoramento da biodiversidade e, principalmente, da frequência de atropelamentos, pois os dados são utilizados na avaliação da efetividade das medidas implantadas e eventual readequação ou manejo adaptativo (LAUXEN, 2012). Ainda segundo o autor, a construção de rodovias apresenta como impactos principais a mortalidade de indivíduos e o efeito de barreira, mas também outros efeitos como

¹ O mapa hipsométrico representa a variação de altitude de uma área

poluição, afugentamento e evitamento da fauna, bem como constitui-se de um ambiente de predação e de alimentação conforme exposto esquematicamente na FIGURA 3.

FIGURA 3 – REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DOS IMPACTOS ECOLÓGICOS DAS ESTRADAS



FONTE: Adaptado de SEILER (2001 apud LAUXEN, 2012)

Evitamento em virtude dos movimentos dos veículos em trânsito e as emissões de poluentes reduzem a qualidade do habitat nas margens das rodovias e quanto maior o tráfego, menos habitat efetivo existirá para as espécies (FAHRIG & RYTWINSKI, 2009).

É desejável que se tenha como meta a segurança no tráfego, seja para animais, à flora ou aos seres humanos, algo que já é um princípio central nas estradas do bloco europeu, principalmente a prevenção de colisões entre veículos e animais (CVA), também conhecida pela sigla em inglês AVC (*animal-vehicle collision*) (ROSELL et. al, 2020). As autoras propuseram uma tabela com indicações de medidas para a manutenção de ativos ecológicos com o objetivo de preservar a integração, a função e efetividade de longo prazo desses ativos, como também do bem estar dos usuários das vias (ver TABELA 1).

TABELA 1 – PRINCIPAIS FUNÇÕES DE PRESERVAÇÃO DOS ATIVOS ECOLÓGICOS
APLICANDO MANUTENÇÃO ADEQUADA

	Estruturas de proteção e direcionamento	Ecodutos	Sinalização Ambiental	Áreas verdes (Fragmentos ou Marginais)	Lagoas e outros elementos de drenagem
Redução de CVA para segurança do tráfego e da mortalidade animal	☑	☑	☑		
Redução de perturbações à fauna e ao ecossistema	☑				
Preservação da conectividade ecológica		☑		☑	☑
Evitar a proliferação de espécies exóticas invasoras				☑	☑
Redução dos efeitos das mudanças climáticas relacionadas a eventos extremos				☑	☑
Otimização de habitats para a fauna e evitar criar armadilhas ecológicas ²				☑	☑

Fonte: adaptado de ROSELL et al (2020)

5 METODOLOGIA

A metodologia referente à bibliografia utilizada neste artigo teve como base a coleta de exemplos de obras, ações e políticas de mitigação de impactos no âmbito do modal rodoviário no Brasil e no mundo, com o objetivo geral de apresentar alternativas sobretudo de engenharia que alinhassem a preservação do meio ambiente com o desenvolvimento econômico, com enfoque no primeiro em detrimento do segundo.

A pesquisa teve como base majoritariamente documentos científicos publicados e compartilhados em plataformas *online* tais como ‘Google Scholar’, ‘Researchgate’, ‘Science Direct’ e minoritariamente pesquisado em obras executadas

² São os locais as margens das rodovias que acabam sendo atrativos por servir como fontes de alimentos, consistindo em um novo habitat para algumas espécies, entretanto, é um ambiente perigoso.

e divulgadas por empresas e organizações não governamentais. Vale ressaltar que em grande parte dos documentos pesquisados não se teve acesso completo aos trabalhos produzidos (apenas os resumos), houve a necessidade de enviar várias solicitações de acesso e obteve-se apenas suma liberação. Infelizmente perdura a privação de conhecimento e produção científica, o que acaba por prejudicar outros trabalhos e gerando retrabalho, onde, ao mesmo, poderiam ser produzidos obras ainda mais complexas e aprofundadas.

Contudo, os documentos utilizados como base foram através de palavras chaves em português tais como: passagem de fauna, ecodutos, ecologia de estradas, efeito espinha de peixe, efeito de borda, fragmentação de habitats. Além disso, também foi realizada pesquisa na língua inglesa tais como: *road-kill*, *road ecology*, *wildlife crossing structures*, *landscape ecology*, *landscape connectivity*.

A maior parte das obras reunidas neste trabalho e que trouxeram a maior parte do conteúdo a respeito foram na área de Ecologia de Estradas, totalizando 20% (9 obras de 45 coletadas).

Com o intuito de validar a hipótese de que estradas são indutoras de desmatamentos elaborou-se uma revisão bibliográfica visando entender o efeito “espinha de peixe” e o “efeito de borda”. Vale ressaltar a dificuldade de achar trabalhos publicados com essas palavras chaves e com o foco da publicação nesses temas, encontrou-se basicamente trechos das obras citando rapidamente os efeitos encontrados. De forma a avançar na hipótese foi realizado um estudo utilizando-se do sensoriamento remoto em macro regiões na Amazônia brasileira para verificar esses e outros efeitos que obras rodoviárias causam em seus entornos.

A metodologia utilizada foi realizar uma comparação histórica por imagens de satélite das regiões através da ferramenta “imagens históricas” do software Google Earth. Foram analisadas três datas que compreendem dois grandes períodos considerados grandes suficientes para se obter resultados mais perceptíveis a partir da análise visual/ qualitativa, sendo os dois períodos compreendidos entre 1984 a 2000 e de 2000 a 2016.

As localidades foram escolhidas em virtude das indicações de Barber et. al (2014) que, como citado anteriormente, realizaram estudos na região amazônica e definiram alguns fatores críticos para o desmatamento, tais como proximidade de importantes rodovias e de rios navegáveis. Em contrapartida, aproveitou-se para analisar regiões sem nenhum desses influenciadores e analisar os resultados. Sendo

assim, foi escolhida a região amazônica por entender que através da comparação visual de imagens históricas se mostra qualitativamente mais perceptível o vínculo das estradas e rios navegáveis com o desmatamento. Além disso, a resolução espacial das imagens dos satélites para análises visuais qualitativas dos mapas se apresenta de forma mais perceptiva nessa localidade, tendo em vista que os satélites utilizados pelo Google Earth são da família *Landsat* e possuem baixa resolução espacial, apresentando resolução onde cada pixel possui tamanho de 30x30m, ou seja, 900m² e, para determinadas regiões, deixa mais complexa e difícil a comparação visual do desmatamento. Em outras palavras, em termos de detalhes a análise fica comprometida, pois 900m² é uma área muito grande para se obter riqueza de detalhes. Além disso, o estudo realizado neste trabalho obteve dados desde 1984 e, portanto, a resolução das imagens espaciais desta época limita ainda mais o estudo.

A questão da escala nos mapas é muito importante, pois dependendo do objeto de análise é possível perceber diferentes alterações espaciais, como, por exemplo, pode-se perceber diferentes padrões de desmatamento. Em uma certa escala é possível perceber um padrão geométrico ou de fragmentos ou ilha, mas somente será possível perceber um padrão de corredor ou espinha de peixe quando se reduzir a escala do mapa e visualizar a estrada como um todo ou uma grande extensão dela.

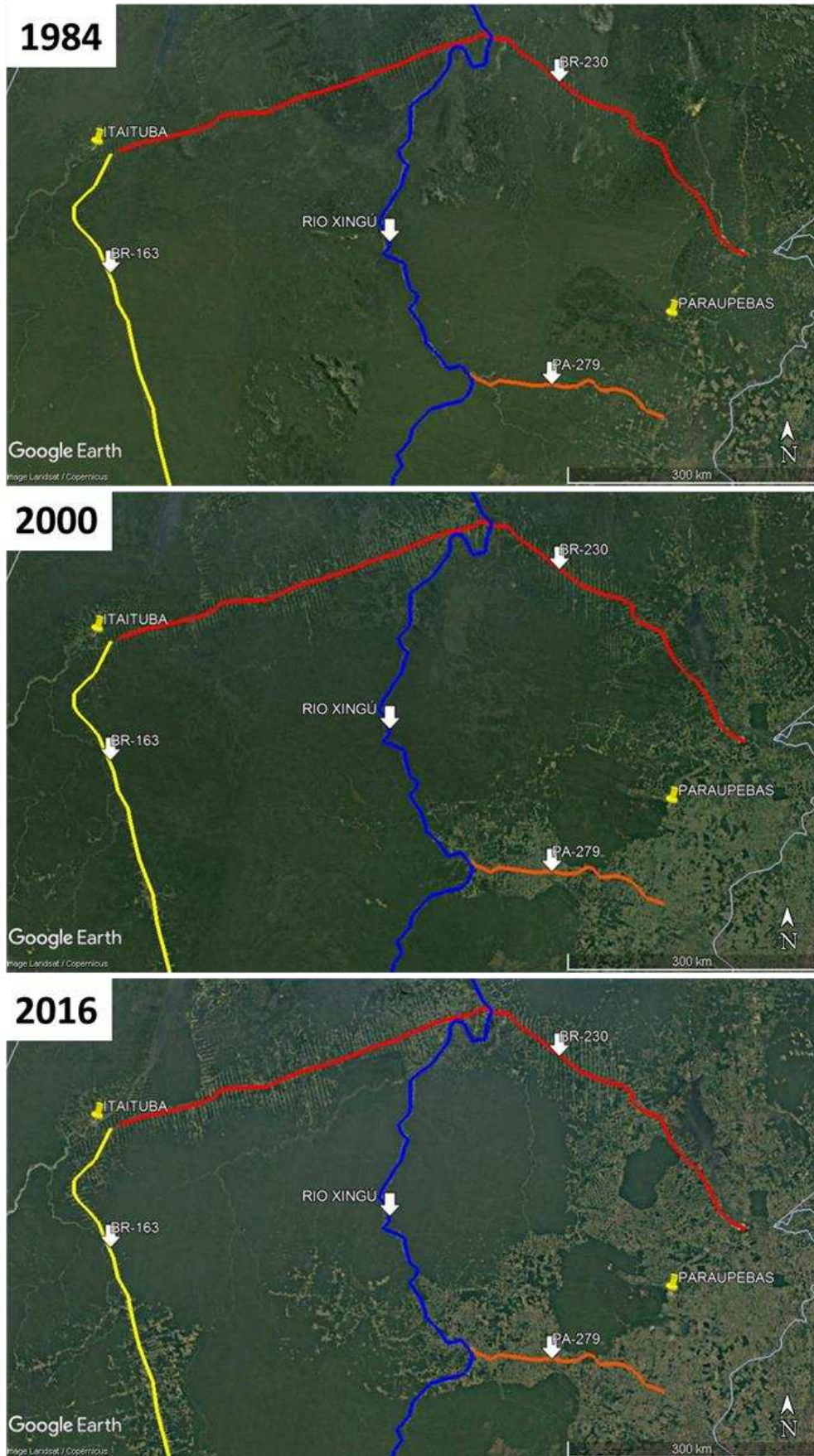
Existem alguns elementos de interpretação de imagens de satélite que facilitaram bastante a identificação das regiões com desmatamento. Além das cores mais claras ao aproximar o *zoom* ou a altitude de visualização nas regiões ou, ainda, aumentar a escala do mapa, foram percebidas formas geométricas e ou bem lineares, o que é característico de áreas que foram transformadas artificialmente com intervenção antrópica, seja pelo desmatamento em si ou por monoculturas agrícolas.

A FIGURA 4 representa a primeira análise, regiões com proximidade de importantes rodovias como as BR-163, BR-230 (ou Transamazônica) e PA-279 e percebeu-se grande quantidade de desmatamento nas proximidades. O oposto também é visto na região compreendida entre as rodovias onde quase não há desmatamento, são locais mais distantes desses indutores de desmatamento, regiões que possuem reservas extrativistas, parques nacionais etc. É possível notar o padrão de desmatamento espinha de peixe em quase toda BR-230 muito sucintamente desde 1984, um pouco mais forte em 2000, mas com a maior intensidade em 2016. Já na

região próxima a Paraupabas e da PA-279 pode-se dizer que o padrão de desmatamento é o de fragmentos, ou seja, possuem fragmentos de vegetação nativa e, portanto, as áreas desmatadas apresentam-se em maior quantidade.

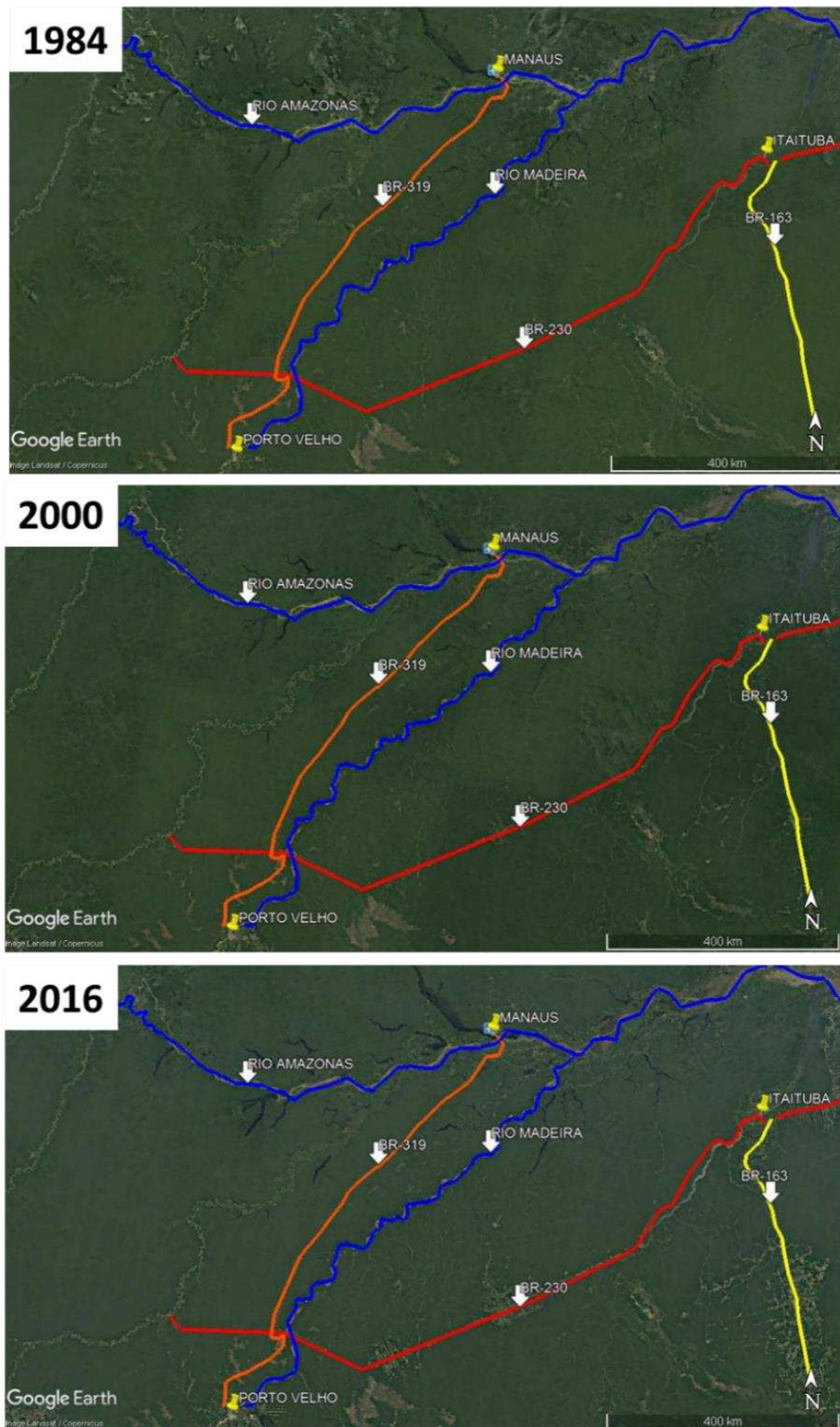
Na segunda análise apresentada na FIGURA 5, o cenário é um pouco diferente, há menor índice de desmatamento, apesar de haver a presença do Rio Madeira e Amazonas (navegáveis). Percebe-se que as regiões centrais, aquelas entre rios e rodovias pouco mudou, assim como na porção oeste do mapa, a oeste de Manaus. Existem ali rodovias importantes, entretanto, sem pavimentação e são praticamente intransitáveis pelas péssimas condições, como a BR-319 entre Manaus e Porto Velho. Ao se analisar a região percebe-se que o desmatamento do Estado do Amazonas é menos intenso se comparado ao Pará, Rondônia e Mato Grosso. A BR-230 não é pavimentada nesse trecho representado abaixo. E no entorno da BR-230 (em vermelho) existem uma série de parques e florestas nacionais, o que pode ter segurado o desmatamento na região. Também é possível notar à direita da FIGURA 5, no entorno da BR-163, o padrão espinha de peixe, mas apenas a partir de 2016.

FIGURA 4 – PARÁ, COMPARAÇÃO DOS EFEITOS NA PROXIMIDADE DAS BR-163, BR-230 E PA-279 ENTRE OS ANOS 1984 E 2016



Fonte: o autor

FIGURA 5 – MAPA DA REGIÃO PRÓXIMA A MANAUS E PORTO VELHO ENTRE OS ANOS 1984 E 2016.



Fonte: o autor

6 RESULTADOS

6.1 RODOVIAS SÃO INDUTORAS DE DESMATAMENTO?

A partir da bibliografia estudada é possível chegar à conclusão de que as rodovias têm forte impacto na indução de desmatamentos em regiões perpendiculares a sua estrutura. Através do estudo de caso do presente trabalho verificou-se que é viável a hipótese e a conclusão que Barber et. al (2014) e Alves (2002) chegaram. Pois ao analisar os trechos escolhidos com proximidade de rodovias importantes transitáveis ou rios navegáveis houve, em muitos locais, o processo de expansão urbana, desmatamento, presença de monoculturas agrícolas etc. Entretanto, há alguns pontos onde isso não ocorre mesmo com a presença desses elementos chave. Sendo assim, para afirmar que as estradas são indutoras de desmatamento e que há direta relação com rodovias importantes e rios navegáveis seria necessário uma amostragem maior, realizar ajustes de escala necessários, ter um refinamento metodológico, bem como analisar o relevo, os trechos dos rios que não são navegáveis, a baixa interiorização do território (Estado do Amazonas) se comparado a outros estados, a presença áreas protegidas como parques nacionais e unidades de conservação (UC), existência de terras indígenas demarcadas, rodovias não pavimentadas ou intransitáveis, entre outros que não foram estudados a fundo neste trabalho e que seria valioso ser objeto de estudo de caso em trabalhos futuros.

6.2 ALTERNATIVAS DE ENGENHARIA PARA MINIMIZAÇÃO DE IMPACTOS A NÍVEL GLOBAL

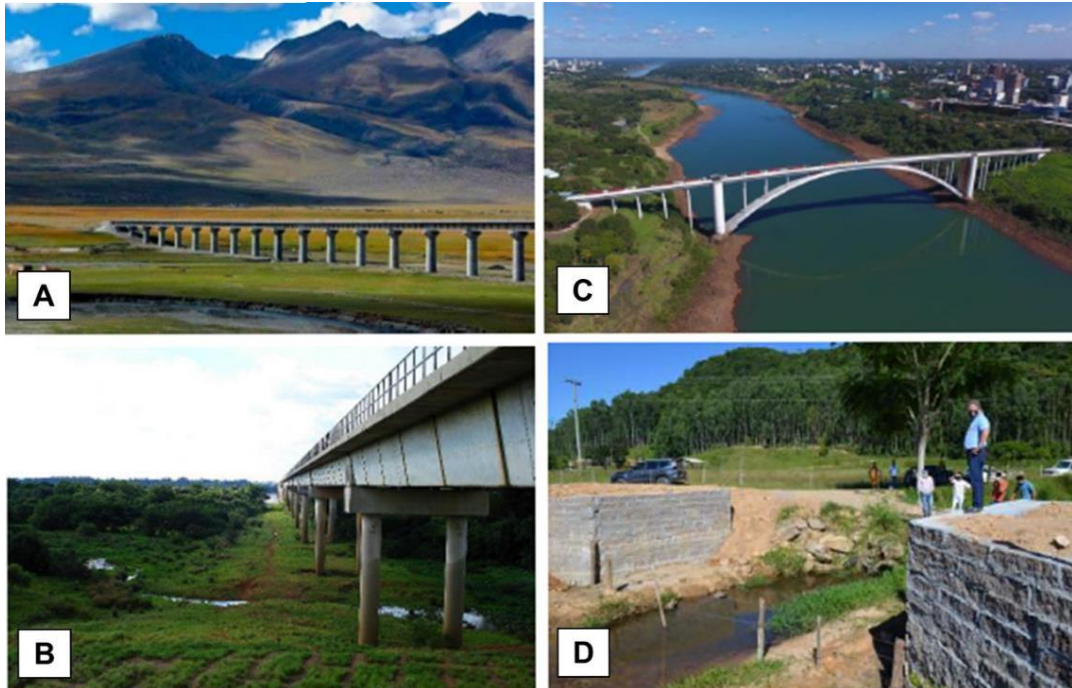
Alternativas de engenharia para minimização de impactos ambientais a nível global são aquelas obras de maior porte ou conceitos de projeto e de planejamento que tenham como objetivo afetar o mínimo necessário o meio ambiente local, ou quando afetem seja de forma temporária. Dentre eles podem ser considerados os túneis e estudos de alternativas de traçados que fujam de áreas de preservação permanente e que estudem alternativas de impactar o mínimo possível. Dentre as obras que afetam o ambiente de forma temporária, seriam os elevados, os viadutos, pois apenas impactam o meio quando da sua fase de implantação e construção e a área inferior dessas obras pode vir a se recompor e reconectar habitats.

6.2.1 ELEVADOS, PONTES E VIADUTOS (OU *FLYOVER*)

Obras chamadas de elevados são basicamente estruturas similares a pontes e viadutos que não necessariamente servem para transpor cursos d'água ou outras vias. São estruturas construídas para vencer vãos ou trechos entre dois pontos de altitudes elevadas, como transpor um vale, por exemplo, e servem ou podem vir a servir como estruturas que transponham áreas alagadiças, áreas de flora e fauna relevantes. São muito utilizadas em grandes centros urbanos, um grande exemplo é o Elevado Presidente João Goulart, popularmente conhecido como Minhocão, em São Paulo. Quando em regiões rurais, são obras que afetam o meio principalmente na fase de implantação e construção e, na fase de operação, o impacto é praticamente nulo, pois não são considerados fragmentadores de habitats, não causam o efeito de barreira, nem são considerados diques que impedem os fluxos de água e detritos entre os lados da obra.

De maneira geral não são obras construídas com o viés ambiental de permitir a movimentação da fauna (CLEVENGER & HUIJSER, 2011), contudo possuem adicionalmente essa função e podem vir a ser construídos exclusivamente para esse fim. Os autores indicam que as áreas abaixo dessas estruturas devem ser restauradas após a construção com a mesma vegetação adjacente e deve haver esforços para se reconstruir os habitats com vegetação contínua, ver FIGURA 6A, 6B e 6C. Além disso, os autores citam que essas estruturas podem ser adaptadas para espécies arbóreas e semi-arbóreas ao se implantar elementos suspensos, por exemplo. E ainda, eles também relatam que a parte seca inferior de pontes também pode ser transformada em passagem de fauna, normalmente são construídas apenas para a passagem da água, mas o solo das margens também pode servir para passagem de animais (ver FIGURA 6D). A parte debaixo das pontes já são de uso da fauna ribeirinha, mas com inclusão de cercas de direcionamento é possível aumentar o uso dessa passagem que em muitos casos já está pronta para uso.

FIGURA 6 – EXEMPLOS DE ELEVADOS E VIADUTOS. 6A – ELEVADO FERROVIA QINGHAI-TIBET 3 (CHINA-TIBET). 6B – PONTE INTERNACIONAL DA INTEGRAÇÃO⁴ ENTRE BRASIL E URUGUAI. 6C – PONTE DA AMIZADE⁵ ENTRE BRASIL E PARAGUAI. 6D – PONTE SENDO CONSTRUÍDA COM PASSAGEM SECA LATERAL EM TUBARÃO/SC



6.2.2 TÚNEIS

Túneis podem servir a variadas finalidades, como rodoviária, ferroviária, para fins hidráulicos etc. em áreas urbanas ou rurais.

Um empreendimento rodoviário, por exemplo, é constituído de vários elementos sendo eles a própria estrutura da rodovia em si, obras de arte especiais (OAE) como pontes e viadutos, túneis, infraestruturas hidráulicas, passarelas etc. Nos países desenvolvidos e em algumas obras brasileiras de grande importância, como as principais rodovias, optam-se por instalação de túneis em determinados seguimentos do empreendimento.

Grosso modo, uma obra de um túnel pode ser resumida em três trechos, como o emboque, o túnel em si e o desemboque. O emboque e o desemboque são as entradas e saídas, respectivamente, e o trecho do túnel é onde os veículos se deslocam entre a entrada e saída. O impacto ambiental de um túnel ocorre justamente

³ Disponível em: <https://www.tibettour.org/how-to-get-to-tibet/get-to-tibet-by-train-or-flight.html>

⁴ Disponível em: https://www.flickr.com/photos/vencedor_srgio/2168788734/in/photolist-4iDBkd

⁵ Disponível em: <https://www.h2foz.com.br/fronteira/protocolo-propoe-reabertura-da-ponte-da-amizade-para-morador-da-fronteira/>

⁶ Disponível em: <https://tubarao.sc.gov.br/noticias/index/ver/codMapaltem/16675/codNoticia/651281>

nos emboques e desemboques, com o desmatamento da área, movimentações de solo e a estabilização das encostas. Em todo o trecho do túnel não há qualquer desmatamento, apenas o volume da escavação do solo que deve ser destinado a um local adequado ou mesmo reaproveitado em outros trechos. No caso de rodovias sem a presença de túneis em toda a sua extensão, haveria maiores volumes de cortes e aterros pois a estrada ocorreria nas encostas. Scabbia (2007) cita em sua tese um estudo realizado pelo IPT em 1994 sobre a viabilidade técnica de diminuição do impacto ambiental da obra de construção da pista descendente da rodovia Imigrantes, em São Paulo. O estudo propôs um novo traçado que propôs um ou dois túneis, onde no estudo anterior havia proposto cinco, e isso fez com que o número de emboques e desemboques reduzisse e, conseqüentemente, também o impacto ambiental.

6.2.3 DESVIO DE TRAÇADOS

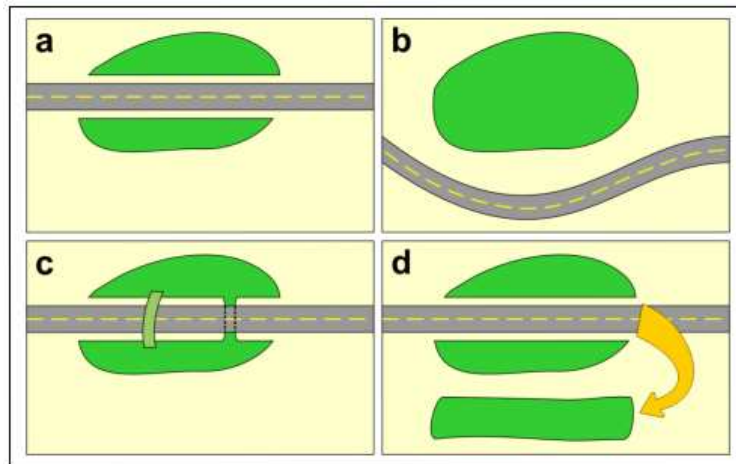
No caso de novas obras, duplicações ou obras de aumento de capacidades de rodovias, os estudos de traçados são extremamente necessários na avaliação do empreendimento no quesito de preservação do meio ambiente. Vale observar que nem sempre a segunda pista fica exatamente ao lado da original, pode ser mais vantajoso econômica ou ambientalmente alterar o traçado em alguns trechos.

Os estudos de traçados, seja de rodovias ou de ferrovias, podem estar contemplados nos Estudos de Viabilidade Técnica, Economia e Ambiental (EVTEA) e objetivam apresentar alternativas conforme aspectos técnicos, ambientais e socioeconômicos com o intuito de subsidiar a escolha entre as opções levantadas (LOPES, 2015). Portanto, esses estudos devem ou deveriam ter como objetivo principal a melhor alternativa ambiental. Entretanto, não é o que acontece em grande parte dos EIA submetidos aos órgãos ambientais e é uma queixa de muitos autores no Brasil e no mundo (Almeida et. al, 2017).

Segundo Almeida et. al (2017), o potencial de degradação ambiental depende muito da tipologia do empreendimento e a pressão que este exerce sobre os recursos naturais locais, bem como sobre sua suscetibilidade. Os autores citam que os empreendimentos lineares, como as rodovias, por exemplo, a discussão de alternativas se mostra ainda mais relevante, pois são empreendimentos que geram impactos nas fases de implantação, construção e operação.

Em um empreendimento rodoviário existem basicamente quatro alternativas existentes dentro de um contexto de licenciamento ambiental quando se verifica a viabilidade ambiental (LAUXEN, 2012). Na FIGURA 7 “a” representa o impacto que a obra causaria, como a fragmentação do hábitat; “b” representa a supressão do impacto propondo-se um novo traçado; “c” se mostra como a mitigação do impacto com a inclusão de passagens de fauna para reconexão dos habitats fragmentados; e “d” seria uma compensação do dano pela construção de um habitat equivalente em outro local.

FIGURA 7 - ALTERNATIVAS EXISTENTES NO CONTEXTO



Fonte: Adaptado de IUPELL et al. (2003, apud Lauxen, 2012).

Portanto, existem várias maneiras de evitar ou mitigar algum dano e essas alternativas deveriam fazer parte das exigências dos órgãos ambientais ou, melhor ainda, deveriam fazer parte de um protocolo estabelecido em lei para aprovações dos empreendimentos.

6.2.4 ESTRUTURAS DE CERCAMENTO E DIRECIONAMENTO

São estruturas que são construídas tanto com objetivo de impedir que os animais avancem ou atravessem a via em pontos inadequados e inseguros, quanto de direcioná-los às passagens.

As cercas podem ser construídas de variadas formas e materiais, desde cercas comuns de divisão de lotes em áreas agrícolas até telas de aço galvanizado acima de dois metros de altura (ver FIGURA 8A). Estas tendem a ser mais eficientes

por terem a trama de menor tamanho, pois não deixam atravessar maior número de animas do que aquelas com linhas de arame que só impedem grandes animais.

Existem outras estruturas de direcionamento que servem para grupos animais específicos, como as que direcionam anfíbios aos túneis (ver FIGURA 8C) ou até uma sequência de pequenas lagoas (ver FIGURA 8D) para direcioná-los para áreas pantanosas (CLEVENGER & HUIJSER, 2011). Bem como construídos de outros materiais e formatos como malhas, fios, postes, mata-burro⁷ (ver FIGURA 8B) e outros dispositivos de escape de animais (ROSELL et al, 2020). As autoras ainda citam que existem outros tipos de estruturas como as telas de proteção e direcionamento da avifauna e de morcegos. A própria estrutura da rodovia pode ser utilizada como uma barreira, como exemplificado na FIGURA 8E, onde o muro de arrimo que sustenta a rodovia serve como uma barreira de proteção e, aliado a ela, existe uma passagem de fauna inferior.

Essas estruturas possuem função essencial na implantação de qualquer uma das passagens de faunas, tendo em vista que se não houver esse direcionamento os animais tendem a atravessar nos pontos mais curtos e fâcies, ou seja, em linha reta. É justamente essa travessia inadequada e insegura que seja objetiva evitar, portanto, não faz sentido construir uma passagem sem estruturas direcionadoras.

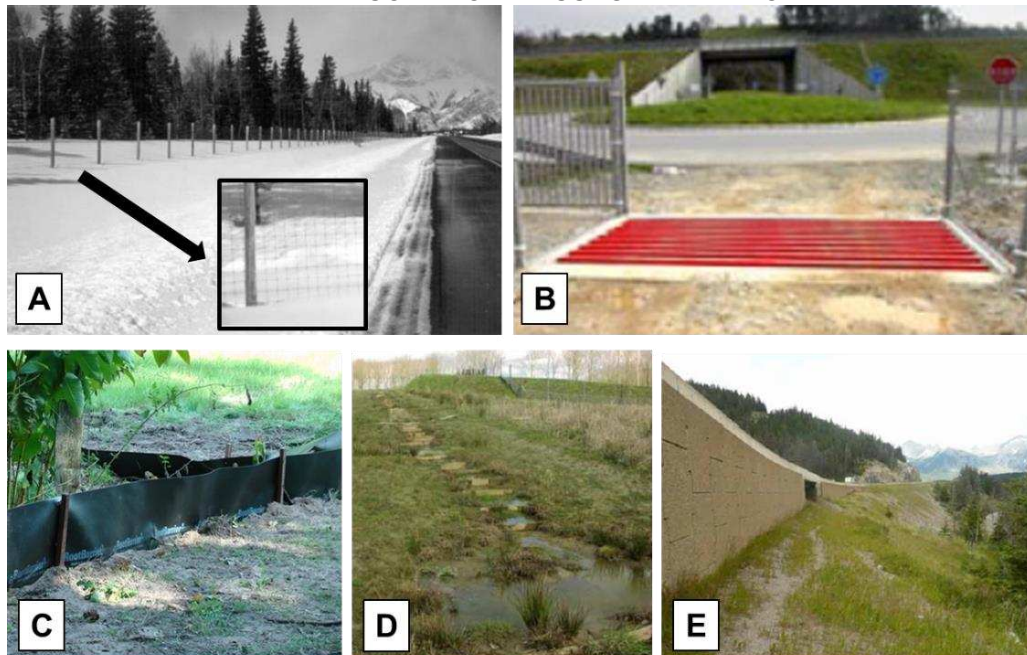
Clevenger et. al. (2001) realizaram uma pesquisa no Parque Nacional de Banff, no Canadá, e chegaram à conclusão de que a implantação de cercas paralelas à rodovia que corta o parque reduziu em 80% as colisões entre veículos e animais. Além disso, eles citam que os acidentes ocorrem em maior quantidade no final do trecho cercado, ou seja, quando a barreira já não existe mais.

Mas há uma ressalva a respeito deste tipo de solução e que deve ser levado em consideração na implementação dessas estruturas, pois por mais que as cercas reduzam a mortalidade animal nas rodovias, elas também reduzem a acessibilidade de recursos e de habitats (FAHRIG & RYTWINSKI, 2009).

ROSELL et. al (2020) alertam que as estruturas de cercamento e direcionamento devem ser regularmente inspecionadas e mantidas para assegurar a eficiência de longo prazo e caso haja danos causados pela fauna ou mesmo por vandalismo é necessário reestudar a tipologia das estruturas.

⁷ Dispositivos construídos para evitar que animais de grande porte como gados e equinos fujam da propriedade mesmo com a porteira.

FIGURA 8 – ESTRUTURAS DE CERCAMENTO E DIRECIONAMENTO. 8A – TELA DE PROTEÇÃO⁸ NO PARQUE NACIONAL DE BANFF, CANADÁ. 8B – MATA-BURRO⁹. 8C – BARREIRA PARA ANFÍBIOS¹⁰. 8D – SEQUÊNCIA DE LAGOAS PARA ANFÍBIOS¹¹. 8E – MURO DE ARRIMO COMO BARREIRA SOMADO A PASSAGEM INFERIOR¹²



6.3 ALTERNATIVAS DE ENGENHARIA PARA MINIMIZAÇÃO DE IMPACTOS A NÍVEL LOCAL

Obras de mitigação de impactos a nível local são aquelas de menor porte e/ou menor extensão, tais como barreiras acústicas, passagens inferiores e superiores.

6.3.1 BARREIRA ACÚSTICA

Segundo Arroyave et. al. (2006) o ruído emitido pelo tráfego de veículos é um dos fatores que mais causam impactos na fauna, pois ocasionam vários efeitos tais como afugentamento, redução de áreas de atividade e redução do êxito reprodutivo estando associado a perda de audição, aumento dos hormônios do estresse, alterações comportamentais e interferências na comunicação durante a época reprodutiva.

⁸ Fonte: adaptado de Clevenger et. al (2001)

⁹ Fonte: Rosell et al, 2020

¹⁰ Disponível em: <https://www.kingrootbarrier.com/en/products/rootbarrier-amphibian-protection-fence/>

¹¹ ©Tony Clevenger

¹² ©Tony Clevenger

Os aumentos nos níveis de ruídos são os efeitos mais significativos provocados pelas rodovias ao ecossistema circundante, da mesma maneira que são incômodos às populações humanas nos centros urbanos (COFFRIN, 2006). A autora cita que ruídos de tráfego provocam uma variedade de efeitos à fauna. O mais significativo impacto em algumas espécies causam mudança de comportamento em alguns pássaros, o que depende da frequência a que os indivíduos sofrem influência, alterando a frequência de chamados, ou seja, na comunicação entre eles.

Outros efeitos atmosféricos também estão relacionados às rodovias, tais como alteração na direção e velocidade dos ventos, temperatura, umidade relativa do ar e insolação. As barreiras acústicas são construídas com algumas finalidades, ao mesmo tempo que auxilia no isolamento acústico do local, também serve como estrutura de proteção e direcionamento para os animais, ver FIGURA 9. Elas podem ser construídas de concreto, metal, madeira ou até serem construídas de solo.

FIGURA 9 - BARREIRA ACÚSTICA



FONTE: Rosell et al (2020)

6.3.2 PASSAGENS INFERIORES

Consiste em uma estrutura construída especificamente para a fauna e é a tipologia de passagem mais utilizada no Brasil (LAUXEN, 2012). Para haver maior eficiência da estrutura, é primordial que sejam construídas a partir de bons estudos que demonstrem os caminhos rotineiros da fauna. Uma técnica utilizada para descrever eficientemente os locais onde a fauna silvestre costuma cruzar as rodovias

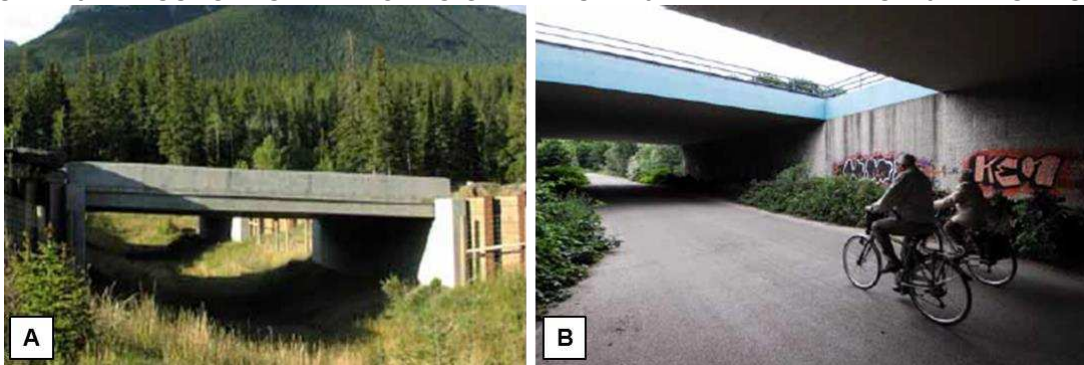
pode ser o monitoramento via dispositivos com tecnologia GPS (*Global Positioning System*) e telemetria¹³ baseada em satélite (CLEVENGER & HUIJSER, 2011).

6.3.2.1 PASSAGENS INFERIORES GRANDES

São passagens inferiores de grandes vãos que vão de 7 a 25 metros de largura e de 3 a 5 metros de altura que servem para espécies de maiores tamanhos, mas também servem para espécies menores (LAUXEN, 2012), ver FIGURA 10A.

Outros fatores também devem ser levados em conta na hora de projetar e construir uma passagem inferior, como a iluminação natural, o aspecto do piso que será hábitat para os animais (terra, vegetação, rochas, galhos), bem como estudar quais características a fauna exige para se sentir confortável para utilizar (LAUXEN, 2012). Além disso, deve ser levado em conta a logística do projeto, como o custo da estrutura, material e *know-how* disponíveis e limitações físicas do local, como tipo de solo, tipo de terreno e a hidrologia (CLEVENGER & HUIJSER, 2011). A estrutura também pode ser multiuso, quando em áreas suburbanas, por exemplo, FIGURA 10B.

FIGURA 10 – PASSAGENS INFERIORES GRANDES¹⁴. 10A – PARA ANIMAIS. 10B – MULTIUSO¹⁵



6.3.2.2 PASSAGENS INFERIORES PEQUENAS: DUTOS PARA FAUNA

Assim como as estruturas maiores, para a construção dos túneis ou dutos para fauna também devem realizar estudos e localizar pontos chave para a instalação, a localização deve ser em rotas migratórias em sítios de reprodução e, além disso, a umidade, a iluminação e a temperatura que forma um microclima dentro do túnel são

¹³ Rastreamento via GPS é considerada mais simples, onde geralmente se obtém a posição. Já a telemetria já possui vantagens de análise de dados mais sofisticada.

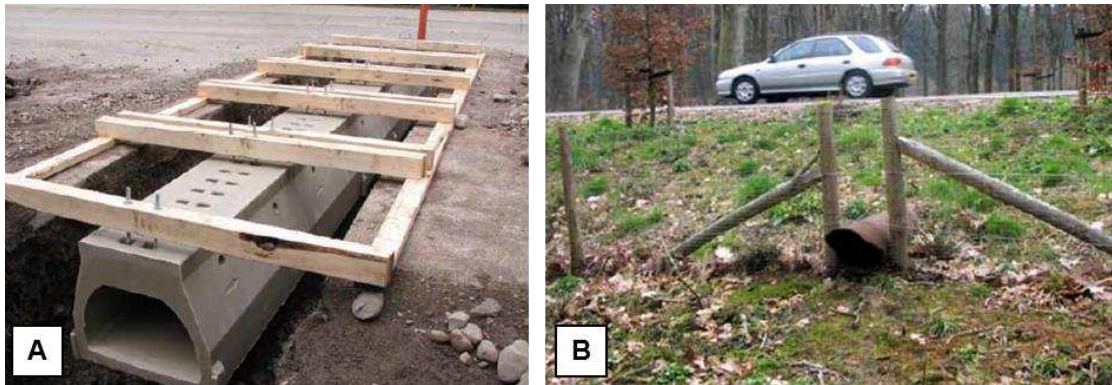
¹⁴ ©Tony Clevenger

¹⁵ ©Tony Clevenger

decisivos para a utilização (CLEVENGER & HUIJSER, 2011). Os autores citam que essas estruturas podem ser construídas de canaletas subsuperficiais (FIGURA 11A) com cobertura de grade metálica, por exemplo, sendo assim, parecidas como uma grelha de calçada que coleta as águas pluviais. Entretanto, os autores alertam para a não inundação dos dutos, pois impediriam o trânsito dos indivíduos. Além disso, eles advertem para a não inclinação vertical, nem formação de degraus e muito menos aberturas verticais na cobertura, para maior segurança dos animais. Sendo assim, os dutos devem ser de preferência contínuos.

Da mesma forma que as demais passagens, as cercas e barreiras são fundamentais para direcionar os animais para estas estruturas (FIGURA 11B). As estruturas de cercamento devem atingir o duto em ângulo de 45° e ter características que dificultem a escalada pelos animais, tendo preferencialmente mais de 35 cm de altura (LAUXEN, 2012).

FIGURA 11 – DUTOS PARA FAUNA. 10A – PARA ANFÍBIOS¹⁶. 11B – SOMADO A CERCAS DE DIRECIONAMENTO¹⁷



6.3.3 PASSAGENS SUPERIORES

Passagens superiores são aquelas que cruzam as rodovias sobre o tráfego de veículos e podem se diferenciar entre passagens superiores com vegetação incorporada, conhecidas como ecodutos, também chamados de pontes verdes ou ainda *overpasses*, e passagens superiores aéreas/ suspensas, como as que servem animais na copa das árvores.

¹⁶ ©Parks Canada

¹⁷ ©Tony Clevenger

6.3.3.1 ECODUTOS, PONTES VERDES OU OVERPASSES

São as maiores estruturas de passagem de fauna que atravessam as rodovias, possuem objetivo principal de atender ao maior número de espécies de fauna silvestre, desde grandes mamíferos à répteis e, inclusive, animais invertebrados¹⁸ (CLEVENGER & HUIJSER, 2011). Segundo os autores, o tipo de vegetação plantada pode potencializar a travessia de pássaros e morcegos.

Os ecodutos são, em muitos casos, chamados de “pontes verdes” por possuírem grande variedade de plantas e substratos que se configuram como verdadeiros habitats para os animais de pequeno e grande porte (ARROYAVE et. al., 2006). Segundo os autores, na Europa foi considerado uma das soluções mais eficientes para a maioria das espécies de animais e devem ter pelo menos oito metros de largura. Além disso, os autores citam que a principal desvantagem dessa solução é o seu alto custo.

Clevenger e Huijser (2011) apresentaram algumas recomendações para implantação dessas estruturas:

- Quanto mais largo for a passagem mais reconexão de habitats terá, se houver continuidade de vegetação entre ambos os lados será ainda mais efetivo;
- Para facilitar o uso da maior quantidade de espécies, a estrutura deve ser projetada com vegetação similar às das margens;
- Para garantir a eficiência e a função da estrutura, as passagens devem estar situadas em locais onde já se conhece que são os corredores da fauna e deve-se tomar o cuidado de se construir em locais onde não haja tanta interferência humana;
- Devem estar fechados para uso de humanos;
- Maximizar a continuidade da vegetação nativa, como tipo de solo e vegetação das proximidades, sem importar solos de outras áreas;
- Reduzir a iluminação e ruídos produzidos pelo tráfego, usando solos estabilizados, barreiras verticais (concreto, madeira), vegetação densa ou a combinação desses em ambos os lados da rodovia;
- A largura mínima deve ter no mínimo 70 metros, sendo recomendável acima de 100 metros. A profundidade do solo deve ter no mínimo de 1,50 a 2,0 metros

¹⁸ Animais invertebrados pertencem ao Reino Animal e são caracterizados pela ausência de coluna vertebral, exemplos são: formigas, aranhas, borboletas, etc.

para o desenvolvimento de vegetação e retenção de água. E possuir cercas de proteção de 2,40 metros.

Canadá é um grande exemplo de construção desse tipo de estrutura, segundo Dickie (2017) o governo desde a década de 1980 investiu mais de \$400 milhões para melhorias ambientais na rodovia Trans-Canadá que cruza o Parque Nacional de Banff, sendo que um quarto desse valor foi para obras com o intuito de reduzir as colisões com animais. Assim, construíram 180 quilômetros de cercas e dezenas de passagens de fauna para reduzir a mortalidade. Ao total foram construídos 6 ecodutos e 38 passagens inferiores ao longo de toda a rodovia (DICKIE, 2017). Pelo Google Earth através do *plus code*¹⁹ é possível encontrar o ecoduto representado na FIGURA 12A que fica em Improvement District, no Canadá.

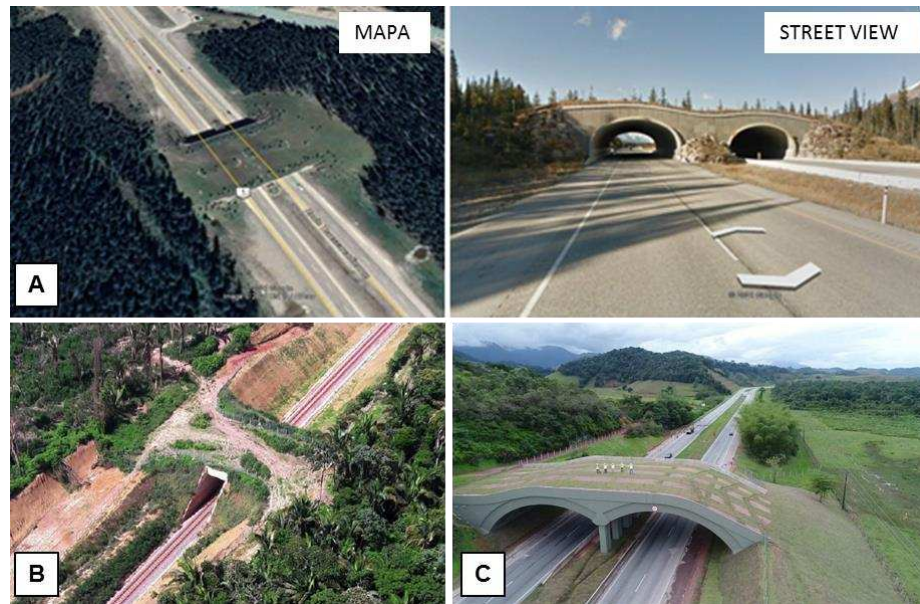
Já no Brasil, segundo Ibama (2017) o primeiro ecoduto foi construído no Pará (FIGURA 12

FIGURA 12B), licenciado pelo Ibama pela Licença de Instalação (LI) n° 934/2013, emitida com a finalidade de construir o Ramal Ferroviário Sudeste. A ferrovia corta a Floresta Nacional de Carajás em dois pontos em que a vegetação está em estágio médio ou avançado de regeneração. Contando com cercas de 2,20 metros de altura e se estendendo para 100 metros para cada lado da estrutura. Além deste, fora inaugurado em 2020 um ecoduto no Rio de Janeiro (FIGURA 12C), sobre a BR-101, gerenciada pela empresa Arteris, em Biquinha, na cidade de Silva Jardim, com o intuito de conectar os micos-leões-dourados que vivem na Reserva Biológica de Poço das Antas com outros remanescentes da espécie que habitam a faixa de Mata Atlântica (AGÊNCIA BRASIL, 2020).

Essas estruturas foram projetadas exclusivamente para uso da fauna silvestre e a proibição de qualquer uso relacionado a atividades humanas é altamente recomendada (CLEVENGER & HUIJSER, 2011).

¹⁹ *Plus code*: tecnologia de código aberto, gratuita e livre para uso. São mais curtos que as coordenadas geográficas e são mais fáceis para compartilhar (Google).

FIGURA 12 - EXEMPLOS DE ECODUTOS. 12A – PARQUE NACIONAL DE BANFF, CANADÁ²⁰ (PLUS CODE: 95359VFQ+CRG). 12B – PRIMEIRO ECODUTO BRASILEIRO NO PARÁ²¹. 12C – PARA MICOS-LEÕES-DOURADOS NO RIO DE JANEIRO²² (PLUS CODE: 589VCJPQ+RVG)



6.3.3.2 OUTRAS PASSAGENS SUPERIORES

São estruturas acima do nível do solo, os quais podem ser suspensos ou do tipo passarela, em estruturas de madeira ou metálica e não necessariamente possuem uma classificação. As passagens suspensas ficam geralmente à altura da copa das árvores e servem para grupos animais arborícolas, tais como os macacos, preguiças. Segundo Rosa (2017), no Rio de Janeiro foi instalada na via expressa Ligação Trans Olímpica uma dessas estruturas. Segundo ela, na Bahia, num trecho da Rodovia BA-099, conhecida como Estrada do Coco, também foram construídas cinco passagens suspensas, beneficiando diversas espécies, tais como a preguiça de coleira que é ameaçada de extinção (ver FIGURA 13A). Outro exemplo é apresentado por Clewenger & Huijser (2011) na FIGURA 13B para espécies arbóreas e semi-arbóreas, feita em estrutura metálica com cordas que as conectam com as copas das árvores.

Ainda é recente a implantação e estudos sobre as passagens de fauna e existem algumas que não possuem uma classificação definida, tendo em vista que em cada caso específico pode haver as mais variadas soluções. Um exemplo disso é a

²⁰ Google Earth

²¹ Fonte: IBAMA (2017)

²² ©Arteris

passagem de fauna específica para os caranguejos vermelhos (ver FIGURA 13C) construída na Austrália, em Christmas Island. Essa passagem foi feita em estrutura metálica e, como leito para a passagem dos caranguejos, foi instalada uma chapa metálica perfurada que permite encaixar perfeitamente as patas desses animais, aliado a cercas de direcionamento construídas em chapa metálica lisa em posição vertical para que esses animais não consigam escalar e chegar a pista de rolamento da rodovia. Existem passagens superiores multiuso (ver FIGURA 13D), que servem para uso das atividades humanas, como passarelas de pedestres com uma parcela da ponte com vegetação para se tornar mais atrativo o uso pela fauna local.

FIGURA 13 – EXEMPLOS DE PASSAGENS SUPERIORES. 13A – TIPO SUSPENSA²³. 13B - PARA ANIMAIS ARBÓREOS²⁴. 13C – PARA O CARANGUEJO-VERMELHO NA AUSTRÁLIA²⁵ (*PLUS CODE: 5PX7HM37+5G4*). 13D – MULTIUSO²⁶



6.4 TÉCNICAS E EQUIPAMENTOS AUXILIARES DE PROTEÇÃO DE FAUNA

6.4.1 BORDAS DE MATAÇÃO

Como substituto às cercas, é possível colocar matacões (FIGURA 14) espalhados ao fim das cercas para desencorajar os animais que queiram passar, por

²³ Fonte: Rosa (2017)

²⁴ ©Tony Clevenger

²⁵ Disponível em: <https://www.christmas.net.au/experiences/red-crab-migration/>

²⁶ ©Tony Clevenger

mais que ainda não esteja provado a sua efetividade é uma técnica que tem sido muito utilizada (CLEVENGER & HUIJSER, 2011).

FIGURA 14 - PROTEÇÃO DE BORDA COM MATAÇÃO



Fonte: ©Tony Clevenger

6.4.2 SINALIZAÇÃO VIÁRIA AMBIENTAL

A sinalização viária em geral é um conjunto de símbolos, subdivididos em diferentes formatos, que possuem função de organizar o trânsito e que deve possuir uma linguagem compreensível no mundo todo. Existe também a sinalização viária ambiental, a qual trabalha para transformar os gráficos em códigos visuais de imediata compreensão da informação a ser passada e, ao mesmo tempo, ter um apelo ambiental. Pode trazer uma mensagem de apelo ao usuário da rodovia com a finalidade de educação ambiental e cuidado com os animais na pista (ver FIGURA 15A).

Muzzolon (2014) relata que na Autopista Planalto Sul locais vulneráveis ao atropelamento de animais silvestres contaram com placas de sinalização 500 metros antes, em ambos os lados da pista. Além disso, em trechos críticos foram instaladas placas alertando quanto à possível presença de animais na pista e informando a extensão do trecho. Exemplos de placas segundo a legislação brasileira é apresentado na FIGURA 15B.

Além disso, é possível também instalar placas de sinalização iluminadas permanentemente e placas temporariamente iluminadas durante períodos críticos (ROSELL et al, 2020), tais como épocas de migração de grupos animais.

Entretanto, a maioria dos motoristas ignora os avisos de cuidados com a presença de animais na pista (ARROYAVE et. al, 2006). Uma alternativa para tornar

mais visível e atraente aos olhos dos condutores seria a instalação dessa mensagem junto aos limites de velocidade permitida.

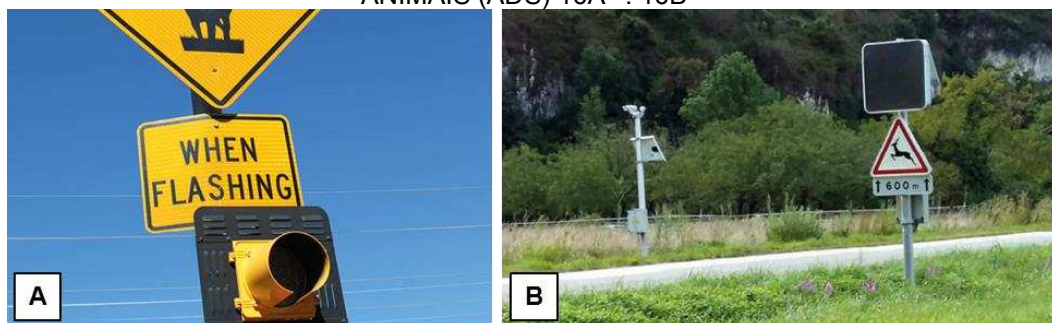
FIGURA 15 - EXEMPLOS DE SINALIZAÇÃO VIÁRIA. 15A – COM APELO AMBIENTAL²⁷. 15B – PRESENÇA DE ANIMAIS NA PISTA²⁸



6.4.3 SISTEMA DE DETECÇÃO DE ANIMAIS NA PISTA (ADS)

Também conhecido pela sigla em inglês ADS (*Animal Detection System*) ou sinalização com alerta luminoso que é acionado quando capta a presença de animais na pista é uma importante ferramenta na redução das CVA, conseqüentemente, a manutenção dos sensores e da alimentação elétrica é crucial para a efetividade do sistema (ROSELL et al, 2020). Na FIGURA 16A e 16B estão representadas o ADS que gera sinal luminoso e alerta os motoristas a reduzirem a velocidade.

FIGURA 16 – EXEMPLOS DE SINALIZAÇÃO COM ALERTA LUMINOSO DE PRESENÇA DE ANIMAIS (ADS) 16A²⁹. 16B³⁰



²⁷ Disponível em: <https://www.midianews.com.br/cotidiano/20-animais-sao-atropelados-por-mes-nas-estradas-de-mato-grosso/231509>

²⁸ Fonte: Detran-PR

²⁹ Fonte: Rosell et al (2020)

³⁰ <https://handbookwildlifetraffic.info/10-maintenance/maintenance-of-signs-activated-by-animal-detection-systems-ads/>

6.4.4 REFLETORES

Estacas com refletores ou balizadores refletivos são dispositivos que podem ser instalados nas margens dos acostamentos. Eles possuem aparência semelhante aos chamados “olhos-de-gato”, nos períodos noturnos estes refletores devem atuar afugentando animais da pista de rolamento, quando da aproximação de veículos com farol aceso (MUZZOLON, 2014).

6.4.5 OUTROS SISTEMAS NÃO ESTRUTURAIS

Existem outros sistemas não estruturais que já foram estudados ou implantados, tais como repelentes olfatórios que consistem em utilizar substâncias com odores específicos e estratégicos para repelir animais das vias (ARROYAVE et. al., 2006). Os autores também citam que existe sistemas de ultrassom para repelir a fauna das rodovias, mas não se tem ainda comprovação da eficiência desta solução na questão da mortalidade dos animais.

Outra solução apontada por Arroyave et. al. (2006) é a modificação de habitats, que consiste em fazer podas nas plantas das bordas das vias, aumentando a visibilidade aos motoristas e mantendo os animais longe desses locais. Além disso, é apontado o plantio de plantas que não são apetecidas pelos animais como alimento.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A construção de obras lineares como as estradas ocasiona inúmeros impactos ambientais negativos e exige muitas variáveis de espectro multidisciplinar para resolver ou mitigar a questão. Entretanto, são ao mesmo tempo obras necessárias ao funcionamento e manutenção da economia.

Com o avanço tecnológico e a disseminação da tecnologia de rastreamento (GPS e de telemetria) e sensores poderá ser possível rastrear animais em maior quantidade de pesquisas e, quem sabe, ser essa tecnologia obrigatória nos EIA de obras de infraestrutura, tais como rodovias e ferrovias. Dessa forma, poderão ter dados mais precisos para a construção de passagens de fauna e implantação de outras medidas necessárias à proteção animal.

O objetivo geral proposto nesse trabalho foi atingido, tendo em vista que o anseio inicial era a busca por alternativas de engenharia que mitigassem os problemas provocados pela construção e operação das estradas. Foi possível perceber ao longo do trabalho que para cada problema ocasionado pelas rodovias como efeito de barreira, falta de conectividade de habitats, desmatamento, interrupção de fluxos gênicos, bem como colisões entre animais e veículos e mortalidade humana e animal existe ao menos uma solução. Não faltam alternativas de engenharia para a mitigação dos efeitos negativos, apesar de muitas ainda não terem sua efetividade ainda confirmada, muito pela falta de acompanhamento, manutenção das soluções e dos custos envolvidos, entende-se que podem contribuir para promover o bem estar animal, promover maior segurança viária e, ao mesmo tempo, aliar o desenvolvimento econômico com a preservação ambiental.

Contudo, o objetivo específico de validar a hipótese de que rodovias são indutoras de desmatamentos não foi alcançado, tendo em vista que faltaram elementos para chegar a esta conclusão. Tais elementos consistiriam em ter tido uma amostragem maior de regiões em que isso ocorre, avaliar melhor como as variáveis se comportam espacialmente (UC, parques nacionais, terras indígenas demarcadas etc.), além de trechos navegáveis e não navegáveis dos rios e trechos de estradas intransitáveis. Embora os resultados dessa pesquisa não possam confirmar a hipótese em questão, é possível dizer que ela é viável, tendo em vista a relação temporal entre os anos de 1984 e 2016 com os trechos de rodovias estudados e os desmatamentos desenvolvidos nesse recorte histórico. Para tanto, recomenda-se para trabalhos futuros entender e considerar toda essa dinâmica envolvida em uma pesquisa exclusiva para este fim.

A inclusão das alternativas de engenharia para mitigação dos impactos em construção de estradas é pioneira e mais recorrente nos países desenvolvidos, mas felizmente parece ser uma preocupação crescente no Brasil e em outros países em desenvolvimento, tendo em vista a quantidade de obras de passagem de fauna que estão sendo construídas nos últimos anos.

Através da pesquisa foi possível perceber que o problema não é necessariamente a estrada em si, pois é clara a necessidade de sua existência para a economia e para os deslocamentos de pessoas, mas como ela foi feita até então. A maioria das estradas foram abertas em uma época em que a variável ambiental não era tão presente, cabe hoje a população, às organizações não governamentais e ao

próprio governo pensar e agir em conjunto para promover o melhor desenvolvimento econômico aliado a sustentabilidade ambiental.

Com o desenvolvimento do presente trabalho surgiram alguns temas que se recomenda a serem explorados em trabalhos futuros, tais como:

- Estudar a junção da tecnologia ADS (Animal Detection System) com estruturas de direcionamento da fauna (cercas) e dedicar locais estratégicos para a passagem da fauna em nível com a rodovia. Nesses locais poderiam ser instalados redutores de velocidade e placas de sinalização. Assim, seriam definidos locais chave para a passagem segura dos animais, tanto de dia quanto a noite. Uma alternativa mais econômica se comparado à construção de ecodutos;
- Realizar levantamento do efeito das estradas sobre o desmatamento, não apenas para a construção da estrada em si, como também do desmatamento excedente que ela pode induzir. Somado a isso, um estudo comparativo da relação entre índices de desmatamentos de áreas de floresta nativa com e sem a presença de áreas protegidas quando da presença de rodovias e rios navegáveis na região amazônica e outras regiões com floresta relevante;
- Estudar tecnologias disponíveis já aplicadas no Brasil de rastreamento de fauna com foco na aplicação em construção de passagens de fauna;

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA BRASIL. 2020. **Viaduto vegetado para trânsito de micos-leões é inaugurado no Rio.** Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2020-08/viaduto-vegetado-para-transito-de-micos-leoes-e-inaugurado-no-rio>. Acesso em: 01 Maio 2021.
- ALVES, D.S., 2002. **Space-time dynamics of deforestation in Brazilian Amazônia.** Int. J. Remote Sens. 23, 2903–2908.
- ARROYAVE, M. P., C. GÓMEZ, M. E. GUTIÉRREZ, D. P. MÚNERA, P. A. ZAPATA, I. C. VERGARA, L. M. ANDRADE & K. C. RAMOS. 2006. **Impacto de las carreteras sobre la fauna silvestre y sus principales medidas de manejo.** Revista EIA Escuela de Ingeniería de Antioquia 5: 45-57.
- BARBER, Christopher P. et al. 2014. **Roads, deforestation, and the mitigating effect of protected areas in the Amazon.** Biological Conservation, Essex, v. 177, n. 1, p. 203-209.
- CLEVENGER, A. P., B. CHRUSZCZ & K. E. GUNSON. 2001. **Highway mitigation fencing reduces wildlife-vehicle collisions.** Wildlife Society Bulletin 29 (2): 646-653
- CLEVENGER, A. P. & M. P. HUIJSER 2011. **Wildlife crossing structure handbook: Design and evaluation in North America.** Washington, DC, Federal Highway Administration, 224p.
- COFFRIN, ALISA W. 2007. **From roadkill to road ecology: A review of the ecological effects of roads.** Journal of Transport Geography. DOI: 0.1016/j.jtrangeo.2006.11.006
- DICKIE, Gloria. **As Banff's famed wildlife overpasses turn 20, the world looks to Canada for conservation inspiration.** 2017. Disponível em: <https://www.canadiangeographic.ca/article/banffs-famed-wildlife-overpasses-turn-20-world-looks-canada-conservation-inspiration>. Acesso em: 25 fev. 2021.
- FAHRIG, L. & T. RYTWINSKI. 2009. **Effects of roads on animal abundance: An empirical review and synthesis.** Ecology and Society 14 (1): 21. [online] URL: <http://www.ecologyandsociety.org/vol14/iss1/art21/>.
- FIGUEIRÓ, Adriano S. 2015. **Biogeografia: dinâmicas e transformações da natureza.** Oficina de Textos. ISBN 978-85-7975-176-9 E ISBN 978-85-7975-203-2
- FORMAN, R.T.T., 1998. **Road ecology: a solution for the giant embracing us.** Landscape Ecology 13, III–V.

HUSSON, A.; FONTÈS, J.; JEANJEAN, H.; MIQUEL, C.; PUIG, H.; SOLIER, C. 1995. **Study of forest non-forest interface: Typology of fragmentation of tropical forest.** TREES Series B, Research Report n.2, European Commission, EUR 16291 EN, 1995.

IBAMA. 2017. **Empreendimento licenciado pelo Ibama instala primeiro viaduto para travessia de fauna do país.** Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/noticias/422-2017/1084-empreendimento-licenciado-pelo-ibama-instala-primeiro-viaduto-para-travessia-de-fauna-do-pais>. Acesso em: 24 abr. 2021.

IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. 2020. **Custos dos acidentes de trânsito no Brasil: estimativa simplificada com base na atualização das pesquisas do IPEA sobre custos de acidentes nos aglomerados urbanos e rodovias.**

LAUXEN, MOZART DA SILVA. 2012. **A mitigação dos impactos de rodovias sobre a fauna: Um guia de procedimentos para tomada de decisão.** 163 f. Monografia (Especialização) - Curso de Zoologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

LONGO, REGINA MARCIA; LOPES, DIREGO CARNEIRO. 2020. **Avaliação de aspectos ambientais limitantes a implantação e conservação de corredores ecológicos no município de Campinas/SP: estudo de caso no corredor ecológico da Mata de Santa Genebra.** Periódico Técnico Científico Cidades Verdes. Campinas, 2020. ISSN 2317-8604.

LOPES, EDÉSIO ELIAS. 2015. 227 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina. **Determinação de diretrizes de traçado geométrico de obras lineares utilizando análise multicritério.** Florianópolis, 2015.

METZGER, J.P. 2001. **O que é ecologia de paisagens?** Biota Neotropica. v. 1, 9 p. BN00701122001.

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES, PORTOS E AVIAÇÃO CIVIL. 2018. **Anuário estatístico de segurança rodoviária (2010-2017).** Brasília: MTPA. 74 p. Disponível em: http://infraestrutura.gov.br/images/BIT_TESTE/Publica%3%a7oes/Anuario_Estatistico_de_Seguranca_Rodoviaria.pdf. Acesso em 30 de novembro de 2020.

MUZZOLON JUNIOR, Renato. 2014. Controle ambiental em rodovias. Artigo. **Revista Técnico-Científica do Crea-Pr**, [S.L], v. 2, n. 1, p. 1-17, set. 2014. ISSN 2358-5420.

OLIVEIRA, Silvio Lacerda de *et al.* 2020. **Ecologia de estradas: estado da arte no Brasil e no mundo.** Artigo. Brazilian Journal Of Development, Curitiba, v. 12, n. 6, p. 98546-98573, dez. 2020.

ROSA, Mayra. 2017. **Empresa cria ligações para que animais consigam atravessar estradas em segurança.** Disponível em: <https://ciclovivo.com.br/planeta/meio-ambiente/empresa-cria-ligacoes-para-que-animais-consigam-atravesar-estradas/>. Acesso em: 06 set. 2020.

ROSELL, Carme; TORRELLAS, Marina; COLOMER, Joana; RECK, Heinrich; Ferran NAVÀS & Michal BIL. 2020. **Maintenance of ecological assets on transport linear infrastructure. Wildlife & Traffic A European Handbook for Identifying Conflicts and Designing Solutions.** CEDR. ISBN: 979-10-93321-55-4.

TRAFICANTE, Christian. 2007. **Ecologia da paisagem para avaliação da idoneidade de redes ecológicas, como subsídio para o planejamento territorial.** 142 f. Tese (Doutorado) - Curso de Agronomia, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2007.

VAN DER REE, R., J. A. G. JAEGER, E. A. VAN DER GRIFT, AND A. P. CLEVENGER. 2011. **Effects of roads and traffic on wildlife populations and landscape function: road ecology is moving towards larger scales.** Ecology and Society 16(1): 48. [online] URL: <http://www.ecologyandsociety.org/vol16/iss1/art48/>

_____. (1986) *Resolução CONAMA N°1 de 23 de janeiro de 1986: Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental.* Brasília. Brasil.

_____. (2012) *Lei 12.727 de 17 de outubro de 2012: estabelece normas gerais sobre a proteção da vegetação, áreas de Preservação Permanente e as áreas de Reserva Legal; a exploração florestal, o suprimento de matéria-prima florestal, o controle da origem dos produtos florestais e o controle e prevenção dos incêndios florestais, e prevê instrumentos econômicos e financeiros para o alcance de seus objetivos.* Brasil.

_____. (1981) *Lei N° 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências.*