



**PROTÓCOLOS DE AVALIAÇÃO DE
FATALIDADES DE ANFÍBIOS EM
RODOVIAS E DE MONITORAMENTO
DA EFETIVIDADE DE MEDIDAS
MITIGADORAS**

2024

PROTOCOLOS DE AVALIAÇÃO DE FATALIDADES DE ANFÍBIOS EM RODOVIAS E DE MONITORAMENTO DA EFETIVIDADE DE MEDIDAS MITIGADORAS

ORGANIZAÇÃO



NERF
Núcleo de Ecologia de
Rodovias e Ferrovias

Andreas Kindel
Caroline Zank
Fernanda Z. Teixeira
Júlia Beduschi
Larissa Oliveira Gonçalves
Talita Menger

APOIO



RAN
ICMBio-MMA

FINANCIAMENTO



Centro de Ecologia - UFRGS

Créditos das fotografias da capa Dener Heiermann
Gabriela Schuck
Julia Beduschi
Priscila Cortez Barth
Talita Menger

Diagramação Katarine Nogueira Norbertino
Talita Menger

P379 Protocolos de avaliação de fatalidades de anfíbios em rodovias e de monitoramento da efetividade de medidas mitigadoras [recurso eletrônico] / Organização de Andreas Kindel ... [et al.] -- Porto Alegre : Centro Ecologia/UFRGS, 2024.

53 p. : il.

e-ISBN: 978-85-63843-34-0

1. Anfíbios 2. Rodovias 3. Fatalidades 4. Medidas mitigadoras

CDU 597.6:502.172

Ficha catalográfica elaborada por Rosalia Pomar Camargo CRB 856/10

COLABORADORES

Este documento foi construído colaborativamente por diversos profissionais de diferentes instituições durante o Ciclo de Workshops “PROTÓCOLOS DE MONITORAMENTO E MITIGAÇÃO DE FATALIDADES DE ANFÍBIOS EM RODOVIAS”, realizado no ano de 2022.

Adriana Campagna (FEPAM/RS)	Lucas Azevedo (IAT/PR)
Ana Cássia Medeiros (SEMAS/PA)	Luis F. Marin Fonte (ASA)
Ana Cláudia (CPRH/UGF/PE)	Luís Fernando Perelló (FEPAM/RS)
Ana Luisa Tondin Mengardo (CETESB/SP)	Luna Bernstein (CETESB/SP)
Andreas Kindel (NERF/UFRGS/RS)	Marília Paz (SUDEMA/PB)
Bruno César Pereira (IDEMA/RN)	Marcelo da Silva (IDEMA/RN)
Carlos Eduardo Guidorizzi (ICMBio/RAN)	Michelle Abadie de Vasconcellos (ICMBio/RAN)
Caroline Zank (NERF/UFRGS/RS)	Mozart da Silva Lauxen (IBAMA/RS)
Clarice Glufke (FEPAM/RS)	Patricia Tavares (CPRH/PE)
Cecília Pinheiro (SEMA/RS)	Paula Teixeira (IEMA/ES)
Danusa Ferraz (CPRH/PE)	Paula Andrade (IEMA/ES)
Eduardo Silva de Oliveira (IDEMA/RN)	Paula Vidolin (IAT/PR)
Eduardo Vasconcelos (CPRH/PE)	Renata Mendonça (CETESB/SP)
Fábio Marques (CPRH/PE)	Raquel Olsson (FEPAM//RS)
Fernanda Moraes Abbud (IMA/SC)	Rodrigo Augusto Lima Santos (IBRAM/DF)
Fernanda Z. Teixeira (NERF/UFRGS/RS)	Rosana Adamowicz (IAT/PR)
Franciane Almeida (IEMA/ES)	Talita Menger (NERF/UFRGS/RS)
Janaina A. Batista Aguiar (IEF/MG)	Tassiane Novacosque (CPRH/PE)
Julia Beduschi (NERF/UFRGS/RS)	Thales Carra (CETESB/SP)
Juliana Moreno Pina (CETESB/SP)	Tiago Quaggio Vieira (ICMBio/RAN)
Larissa Oliveira Gonçalves (LEMaC/LCF/ESALQ/USP/SP e NERF/UFRGS/RS)	Viviane Bertola Martins (FEPAM/RS)
Luana Von Linsingen Pasetchny (IMA/SC)	Vanessa Suzana Cavaglieri Fonseca (CETESB/SP)
	Vinicius Travalini (CETESB/SP)

SUMÁRIO

1	APRESENTAÇÃO	07
	1.1 Objetivos dos protocolos	09
2	JUSTIFICATIVA GERAL PARA A CRIAÇÃO DOS PROCOLOS	10
3	PROTOCOLO DE AVALIAÇÃO DE FATALIDADES	13
	3.1 Seleção de trechos amostrais	13
	Por que priorizar trechos?	13
	Quais trechos das rodovias devem ser avaliados?	14
	3.1.1 Critérios, subcritérios e abordagens sugeridas	16
	Exposição: existe habitat?	16
	Suporte Legal: presença de habitats ou espécies protegidas	16
	Letalidade: existe variação no tráfego?	18
	Ranqueamento: estabelecer limiares de corte para os critérios anteriores	19
	3.2 Procedimentos amostrais e analíticos	20
	3.2.1 Abordagem 1 - Onde morrem mais anfíbios sem considerar a heterogeneidade dos erros de amostragem?	23
	Método de amostragem da abordagem 1	23
	Possibilidades analíticas	25
	Estudo de caso 1 - Abordagem 1	26
	3.2.2 Abordagem 2 - Onde morrem mais anfíbios considerando a heterogeneidade dos erros amostrais?	28
	Método de amostragem da abordagem 2	28
	Possibilidades analíticas	29
	Estudo de caso 2 - Abordagem 2	31
	3.2.3 Informações adicionais para as duas abordagens	34
	Análise por grupos-alvo	34

SUMÁRIO

Como identificar taxonomicamente anfíbios atropelados? 35

Tabela 1. Protocolo de avaliação de fatalidades de anfíbios em rodovias 37

4 PROTOCOLO DE MONITORAMENTO DA EFETIVIDADE DE MEDIDAS MITIGADORAS DE FATALIDADES 41

Estudo de caso 3 44

Tabela 2. Protocolo de monitoramento da efetividade de medidas mitigadoras
de fatalidades de anfíbios em rodovias 45

5 COMO FORAM ELABORADOS OS PROTOCOLOS 46

6 REFERÊNCIAS 48

7 GLOSSÁRIO 53

1. APRESENTAÇÃO

Neste documento apresentamos a síntese das discussões e encaminhamentos resultantes do Ciclo de Workshops “PROTÓCOLOS DE MONITORAMENTO E MITIGAÇÃO DE FATALIDADES DE ANFÍBIOS EM RODOVIAS”, que ocorreu nos dias 13 e 15 de setembro, 25 e 27 de outubro e 23 e 25 novembro de 2022. Este ciclo foi idealizado pelo Núcleo de Ecologia de Rodovias e Ferrovias da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (NERF/UFRGS) e correalizado com o Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Répteis e Anfíbios do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio/RAN), com apoio da Amphibian Survival Alliance (ASA; <https://www.amphibians.org/news/amphibian-protection-roadkill-brazil/>), visando discutir subsídios técnicos para a elaboração e/ou qualificação de diretrizes e outras normas técnicas no âmbito dos Órgãos Estaduais de Meio Ambiente (OEMAs) que orientem os estudos de planejamento e avaliação da mitigação das [fatalidades](#) de anfíbios em rodovias nos respectivos Estados.

Este documento está estruturado em duas partes principais, a primeira com o protocolo de avaliação de [fatalidades](#) e a segunda com o protocolo de monitoramento da efetividade de medidas de mitigação ([Figura 1](#)). O primeiro protocolo foi concebido para ser aplicado em rodovias em operação, para subsidiar a elaboração de um Plano de Mitigação, enquanto o segundo protocolo foi concebido para ser aplicado após a implantação de medidas de mitigação. Ambos os protocolos podem subsidiar a elaboração de Termos de Referência e [Planos de Trabalho](#) no contexto da emissão e renovação de licenças de operação e regularização ambiental, além de poderem ser adaptados para outros contextos. Adicionalmente, relatamos a forma como os protocolos foram gerados, a justificativa para a importância dos protocolos e um [glossário](#) de termos utilizados neste documento. Os termos incorporados ao glossário estão destacados e podem ser acessados por hiperlink.

1. APRESENTAÇÃO

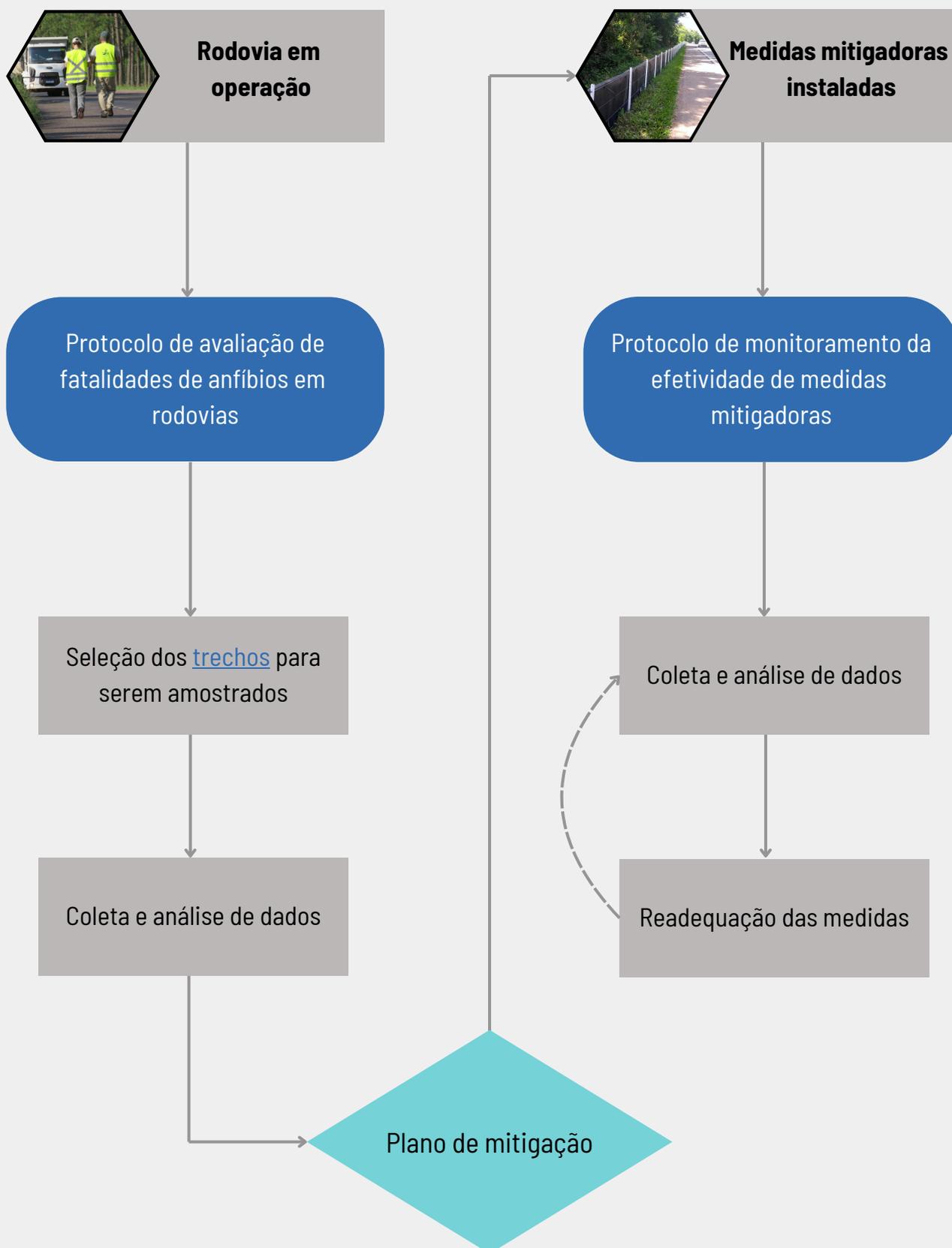


Figura 1. Estrutura do documento com protocolos gerados a partir do Ciclo de Workshops “PROTÓCOLOS DE MONITORAMENTO E MITIGAÇÃO DE FATALIDADES DE ANFÍBIOS EM RODOVIAS”.

1.1 OBJETIVOS DOS PROTOCOLOS

O objetivo destes protocolos é fomentar a produção de recomendações técnicas que permitam às equipes dos órgãos ambientais elaborarem ou complementarem suas diretrizes (ou normas similares) para orientar a avaliação de [fatalidades](#) de anfíbios em rodovias brasileiras em operação e o monitoramento da efetividade das medidas de mitigação.

Foto por: Gabriela Schuck



2. JUSTIFICATIVA GERAL PARA CRIAÇÃO DOS PROTOCOLOS

Existe uma demanda de orientações técnicas que subsidiem a elaboração dos Termos de Referência dos estudos ambientais durante o licenciamento de rodovias. Entretanto, é fundamental que essas diretrizes técnicas sejam orientadas por perguntas a serem respondidas pelos estudos ambientais (FERRAZ, 2012), para garantir que os resultados sejam relevantes para a tomada de decisão sobre como mitigar as [fatalidades](#) de fauna (KINDEL et al., 2017). Por exemplo, uma pergunta fundamental para a elaboração de um Plano de Mitigação de [fatalidades](#) em rodovias é saber onde morrem mais animais, pois isso permite direcionar os esforços de mitigação para os locais com maior concentração de [fatalidades](#) - ou seja, os [trechos](#) onde a mitigação é mais necessária. A implementação de programas de mitigação das [fatalidades](#) em rodovias deve ser seguida do monitoramento da efetividade destas medidas (VAN DER GRIFT et al., 2012), pelo menos até que se acumule um conjunto de evidências de quais medidas ou estruturas funcionam e com que características, sob que condições e para quais grupos. A compilação dessas evidências exige o monitoramento da efetividade da mitigação no âmbito do licenciamento dessas infraestruturas.



No entanto, atualmente não existem protocolos que subsidiem a normatização desses estudos pelos órgãos de meio ambiente brasileiros. Até onde pudemos identificar, no contexto do licenciamento no Brasil, normativas para regulamentar a amostragem de vertebrados atropelados existem somente em nível federal (IBAMA, 2013) e para os Estados do Espírito Santo, Paraná, Rio Grande do Sul e São Paulo (COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2018; INSTITUO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HIDRICOS, 2021; INSTITUTO ÁGUA E TERRA, 2020).

2. JUSTIFICATIVA GERAL PARA CRIAÇÃO DOS PROTOCOLOS

Entretanto, de todas essas normativas, apenas a do RS cita a necessidade de se amostrar os anfíbios a pé, o que é fundamental para detectar as carcaças deste grupo. Mesmo assim, ainda há a necessidade de incorporar outras especificidades do monitoramento de [fatalidades](#) de anfíbios para qualificar a tomada de decisão.

Os anfíbios são o grupo de vertebrados mais negligenciado nos licenciamentos e na regularização ambiental de rodovias no Brasil. Poucos estudos avaliaram as [fatalidades](#) do grupo com métodos amostrais e analíticos apropriados, como monitoramentos a pé (COELHO et al., 2012; GONÇALVES et al., 2023a; ZANK et al., 2019). Quando métodos adequados para registrá-los são empregados, anfíbios correspondem a aproximadamente 90% das [fatalidades](#) observadas (COELHO et al., 2012; GLISTA; DEVAULT; DEWOODY, 2008; PEREIRA; CALABUIG; WACHLEVSKI, 2018; ZANK et al., 2019). Além disso, anfíbios são os vertebrados com maior risco de extinção, com aproximadamente 40% das espécies globalmente ameaçadas (IUCN, 2021).

Foto por: Julia Beduschi



2. JUSTIFICATIVA GERAL PARA CRIAÇÃO DOS PROTOCOLOS

Revisões bibliográficas sobre os impactos de rodovias em populações animais apontam os anfíbios como um dos grupos mais afetados negativamente, com redução da abundância das populações no entorno desses empreendimentos (RYTWINSKI et al., 2015; RYTWINSKI; FAHRIG, 2012). Anfíbios normalmente não evitam rodovias, e muitas vezes ficam parados na pista quando um veículo se aproxima (BOUCHARD et al., 2009; JACOBSON et al., 2016), o que resulta em um incremento no número de [fatalidades](#) à medida que aumenta o fluxo de veículos.

Existem razões claras e grande urgência em priorizar a avaliação e mitigação de [fatalidades](#) de anfíbios. Dentro do contexto do licenciamento de rodovias no Brasil, é extremamente necessária a incorporação de ferramentas para avaliar as [fatalidades](#) de anfíbios e para monitorar a efetividade das medidas de mitigação das [fatalidades](#) desses animais. Esperamos que este documento, com a descrição de protocolos de avaliação e monitoramento, subsidiem a normatização desses estudos pelos órgãos de meio ambiente brasileiros.

3. PROTOCOLO DE AVALIAÇÃO DE FATALIDADES

Os objetivos deste protocolo são (1) subsidiar a realização de estudos ambientais para identificar os locais com mais [fatalidades](#) de anfíbios em rodovias em operação; e (2) subsidiar a elaboração de um Plano de Mitigação para diminuir essas [fatalidades](#) nos locais identificados. Nesta seção, apresentamos uma série de perguntas a serem respondidas pelos estudos ambientais, com indicação dos respectivos métodos de amostragem e abordagens analíticas para atingir estes objetivos. A seção está dividida em duas subseções, nas quais exploramos a seleção de [trechos](#) das rodovias a serem amostrados ([seção 3.1](#)) e os procedimentos amostrais e analíticos a serem empregados ([seção 3.2](#)).

Este protocolo foi elaborado para ser aplicado em rodovias brasileiras em operação visando a elaboração de um Plano de Mitigação para reduzir as [fatalidades](#) de anfíbios. Entretanto, o protocolo aqui apresentado pode ser adaptado à outras fases da avaliação de impactos ambientais, como as fases de pavimentação e duplicação de uma rodovia. Aqui também é importante ressaltar que o foco do protocolo é a avaliação das [fatalidades](#), portanto os métodos de amostragem descritos são baseados na coleta de carcaças de anfíbios na rodovia e não na avaliação de toda a comunidade de anfíbios que vive na área de influência da estrada. Outros impactos negativos de rodovias sobre anfíbios, como fragmentação do habitat, perda de conectividade, poluição sonora e vibracional, etc. não são alvo destes protocolos e, portanto, não são avaliados nos estudos aqui propostos.

3.1 Seleção de [trechos](#) amostrais

Por que priorizar [trechos](#)?

Por serem animais diminutos e terem baixa taxa de detecção, a amostragem das [fatalidades](#) de anfíbios deve necessariamente ser realizada a pé. Por isso, na maioria das situações, não é possível, nem necessário, percorrer as rodovias por completo para amostrar este grupo. Nesses casos, a alternativa é selecionar [trechos](#) prioritários para realizar a amostragem. A maioria dos anfíbios ocupa ambientes bem definidos, de localização e delimitação relativamente fácil, especialmente no

3. PROTOCOLO DE AVALIAÇÃO DE FATALIDADES

período de reprodução. O objetivo desta priorização é indicar [trechos](#) da rodovia (ou da malha rodoviária) a serem amostrados para avaliação do número de anfíbios mortos, seguindo a metodologia detalhada na [seção 3.2](#).

Quais [trechos](#) das rodovias devem ser avaliados?

Apresentamos um fluxograma, ou Árvore de Decisão, com os passos gerais a serem considerados na priorização dos [trechos](#) de amostragem ([Figura 2](#)). O primeiro critério para seleção de [trechos](#) de amostragem apresentado no fluxograma é a **exposição** potencial dos anfíbios aos impactos causados pela rodovia. Para isso, é necessário identificar os habitats potenciais para a ocorrência de anfíbios (p.ex. áreas úmidas, mata nativa, etc.) ao longo da rodovia. Este é o primeiro critério a ser avaliado, uma vez que não é necessário investir na amostragem de [fatalidades](#) de anfíbios em [trechos](#) onde o potencial de ocorrência desses animais é baixo (p.ex. lavouras, áreas urbanas, etc.). A identificação dos [trechos](#) de amostragem pode ser feita através da análise de imagens de satélite (mais detalhes na [subseção 3.1.1](#)). Na sequência da Árvore de Decisão, é avaliada a **exequibilidade** da amostragem em todos os [trechos](#) selecionados. Caso seja logisticamente possível amostrar todos os [trechos](#) identificados, o próximo passo é a elaboração do [Plano de Trabalho](#). Nos casos em que a disponibilidade de habitat é muito elevada e não existam condições logísticas ou operacionais para amostrar todos os [trechos](#), será necessário adotar critérios adicionais de priorização, como o **suporte legal** (existência de habitats protegidos ou presença de espécies ameaçadas) ou a **letalidade** (fluxo de veículos). Por fim, se após a aplicação de todos os critérios ainda não for possível amostrar todos os [trechos](#) selecionados, é possível fazer um **ranqueamento** dos [trechos](#), estabelecendo limiares de corte para os critérios anteriores. Mais detalhes sobre cada um desses critérios são apresentados na [subseção 3.1.1](#).

3. PROTOCOLO DE AVALIAÇÃO DE FATALIDADES

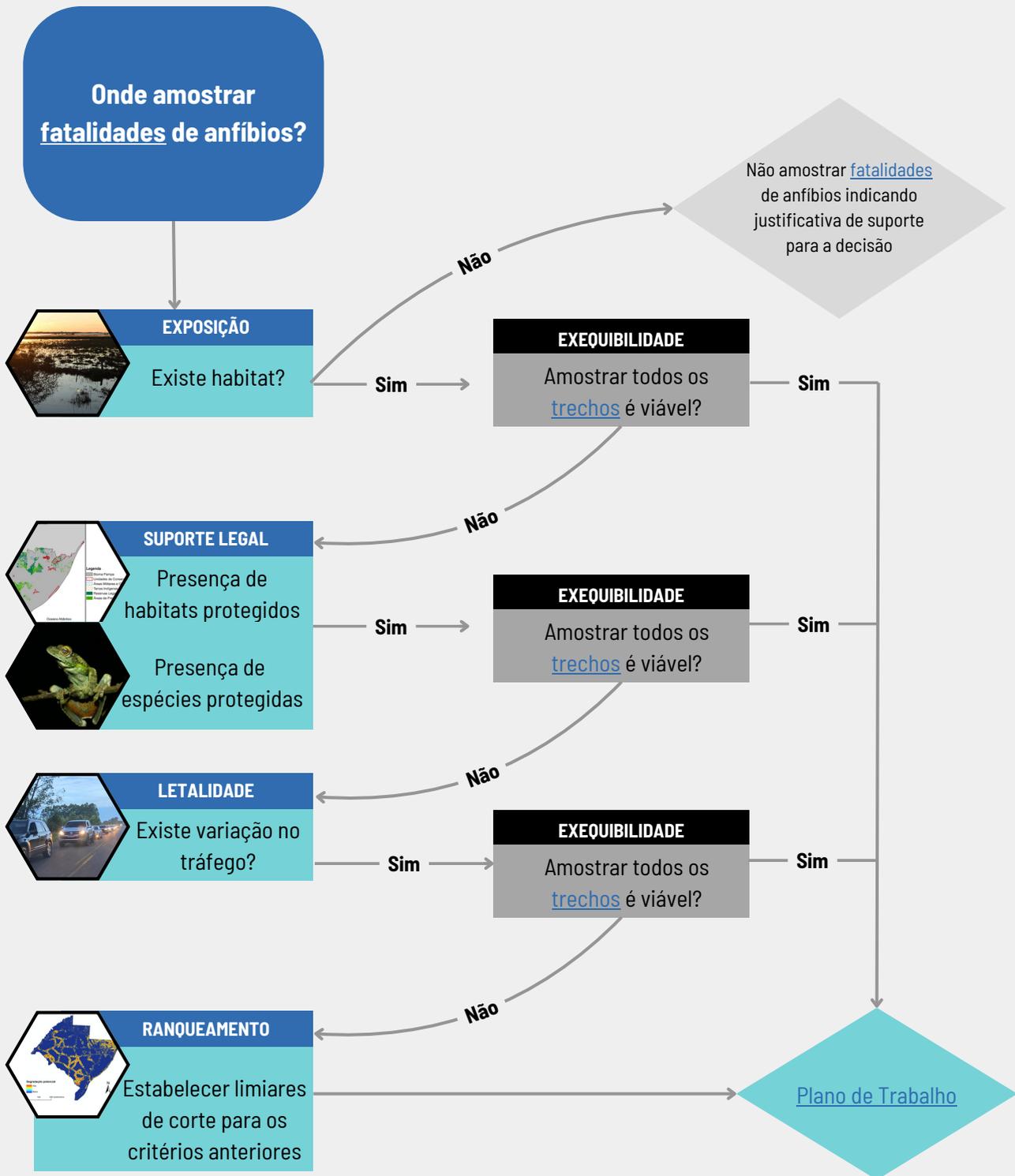


Figura 2. Árvore de Decisão dos critérios para seleção dos trechos amostrais.

Imagens por (de cima para baixo): Larissa Oliveira Golçalves, Giovanna Palazzi (Tese de Doutorado), Julia Beduschi, Talita Menger, Fernanda Z. Teixeira PALAZZI, G. A meta para o sistema de áreas protegidas no Bioma Pampa: como estamos e para onde vamos?. 2018.

3. PROTOCOLO DE AVALIAÇÃO DE FATALIDADES

3.1.1. Critérios, subcritérios e abordagens sugeridas



EXPOSIÇÃO

Existe habitat?

- **Justificativa:** Utilizar critérios associados à probabilidade de ocorrência de anfíbios nas áreas contíguas à estrada. Considerando que este é um grupo em que a maioria das espécies ocupa ambientes bem definidos, com forte associação a áreas úmidas, deve ser avaliada a existência de habitats propícios à ocupação ou utilização (sítios reprodutivos) nas áreas próximas à rodovia. Os tipos de ambiente potencialmente ocupados por anfíbios podem variar dependendo do bioma ou da região de interesse, e por este motivo é difícil listar todos os tipos de habitats que devem ser considerados, mas alguns exemplos são: corpos d'água lóticos e lênticos (permanentes e temporários), matas e campos nativos. A distância desses ambientes para a rodovia deve ser considerada caso a caso.
- **Ferramentas sugeridas para análise de disponibilidade de habitat ao longo das rodovias de interesse:** (a) busca específica pela classe 'áreas úmidas' (ou outros habitats de interesse) nas camadas de uso e cobertura do solo (ex. MAPBIOMAS, <https://mapbiomas.org/>); (b) classificação de imagens de satélite utilizando índices específicos para áreas úmidas (ex. WIW, (LEFEBVRE et al., 2019)); (c) revisão manual de imagens de satélite de acesso livre (ex. Google Earth); (d) vistorias de campo por especialistas para avaliar a ocorrência dos habitats e/ou a qualidade dos habitats, ou amostragens piloto para avaliar a atividade de anfíbios em geral ou dos grupos-alvo; e (e) dados prévios de outros monitoramentos na rodovia e entorno.



SUPORTE LEGAL

Presença de habitats protegidos
Presença de espécies protegidas

Áreas protegidas

- **Justificativa:** Utilizar critérios associados à existência de áreas protegidas nas áreas contíguas

3. PROTOCOLO DE AVALIAÇÃO DE FATALIDADES

à estrada. Por terem suporte na legislação e estarem incluídas em políticas públicas, áreas protegidas normalmente apresentam maior oportunidade para a implantação de ações/estruturas de mitigação de impactos (a mitigação pode ser entendida como compulsória por determinação legal). Além disso, áreas protegidas também oferecem maior estabilidade temporal, já que apresentam maior perenidade do uso e cobertura da terra no entorno, e menor dinâmica de conversão de ambientes. É esperado, portanto, que medidas mitigadoras implementadas em [trechos](#) de rodovias que cortam áreas protegidas (e outras áreas amparadas na legislação, como zonas de amortecimento) mantenham sua efetividade a longo prazo.

- Sugestões de áreas protegidas a serem consideradas: Unidades de Conservação de Proteção Integral e de Uso Sustentável; Zonas de amortecimento de UCs; Terras indígenas e territórios quilombolas; Áreas de Preservação Permanente e Reservas Legais; Mosaicos de UCs e corredores ecológicos reconhecidos pela legislação. Os limites e a intersecção dessas áreas com rodovias podem ser obtidos a partir da exploração de múltiplas bases de dados nacionais, como a plataforma do CNUC (<https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/areasprotegidasecoturismo/plataforma-cnuc-1>), os sistemas de monitoramento do Cadastro Ambiental Rural (<https://www.car.gov.br/#/>) e plataformas estaduais.

Áreas de relevante interesse para conservação

- Justificativa: Utilizar critérios associados à existência de áreas não protegidas formalmente, mas reconhecidas como sendo de relevante interesse para a conservação. Essas áreas podem estar incluídas na legislação, ou em outros instrumentos de políticas públicas, ou serem identificadas (com avaliação justificada) pelos analistas do órgão ambiental.
- Sugestões de instrumentos para identificação de áreas relevantes para a conservação: Áreas Prioritárias para Conservação do MMA ([https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/ecossistemas-1/conservacao-1/areas-prioritarias/2^a-atualizacao-das-areas-prioritarias-para-conservacao-da-biodiversidade-2018](https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/ecossistemas-1/conservacao-1/areas-prioritarias/2a-atualizacao-das-areas-prioritarias-para-conservacao-da-biodiversidade-2018)); Zoneamento Ecológico Econômico dos

3. PROTOCOLO DE AVALIAÇÃO DE FATALIDADES

estados; Planos Diretores municipais; Planos de Gerenciamento Costeiro; Planos Municipais da Lei da Mata Atlântica (<https://pmma.etc.br/observatorio/>); PRIM-IVT (<https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/biodiversidade/planos-de-reducao-de-impacto/rodovias-e-ferrovias>), Key Biodiversity Areas (KBAs, <https://www.keybiodiversityareas.org>).

Áreas com espécies ameaçadas

- Justificativa: Utilizar critérios associados à presença de anfíbios ameaçados nas áreas contíguas à estrada. A proteção de espécies ameaçadas é uma determinação legal, e sua presença em áreas impactadas implica a necessidade de implantação de eventuais medidas de mitigação.
- Ferramentas sugeridas para identificar a presença de anfíbios ameaçados ao longo das rodovias de interesse: mapas de áreas de ocupação e de extensão de ocorrência das espécies ameaçadas em nível estadual, nacional e/ou global. Esses mapas normalmente são produzidos nas avaliações de espécies ameaçadas, e podem ser obtidos em bases de dados institucionais nacionais (ex. SALVE <https://salve.icmbio.gov.br/#/> e SIBBr <https://www.sibbr.gov.br/>) e internacionais (ex. IUCN Red List, <https://www.iucnredlist.org>). Também podem ser utilizados mapas de distribuição de espécies ameaçadas produzidos em outros contextos, como os disponíveis em repositórios estaduais (ex. SINBIOTA - SP <https://sinbiota.biota.org.br/>), bases de dados de coleções científicas ou na literatura científica (p.ex. quando a espécie foi recém descrita e ainda não foi avaliada quanto à condição de ameaça ou quando novos sítios de ocorrência são publicados).



LETALIDADE

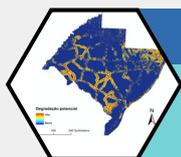
Existe variação no tráfego?

- Justificativa: Utilizar critérios relacionados à probabilidade de um anfíbio que tenta atravessar

3. PROTOCOLO DE AVALIAÇÃO DE FATALIDADES

a rodovia morrer. Anfíbios em geral são indiferentes ao tráfego, ou seja, a decisão de atravessar a rodovia independe do fluxo de veículos (ausência de tráfego ou volume de tráfego intenso). Isso implica que, quanto maior o fluxo de veículos, maior a proporção de indivíduos que morrem em relação aos que tentam atravessar. Em algumas estradas, o fluxo de veículos pode variar em diferentes épocas do ano e em diferentes momentos do dia. É importante avaliar caso a caso se essas variações coincidem com os períodos de maior atividade de anfíbios. Por exemplo, a maioria dos anfíbios é mais ativa durante a noite, por isso o fluxo de veículos noturno também deve ser considerado. Além disso, em regiões com marcada variação sazonal, anfíbios são mais ativos nos períodos chuvosos do que nos secos, ou durante a primavera e verão do que no inverno e outono. Nessas regiões, é importante considerar se existe variação sazonal no fluxo de veículos e se ela coincide com as épocas de maior atividade de anfíbios (por exemplo, estradas em regiões litorâneas têm maior tráfego no verão; estradas em áreas agrícolas podem ter maior tráfego na época de colheita, etc.).

- Ferramentas sugeridas para análise do tráfego nas rodovias de interesse: atribuição de categorias ordinais de tráfego (p. ex. maior-moderado-menor); utilização de amostragens de Volume Médio Diário (VMD) disponíveis a partir de pedágios, controladores de tráfego/velocidade já implantados nas rodovias; amostragens de VMD prévias à priorização dos [trechos](#), a partir de [observadores](#) humanos ou instrumentos portáteis; modelagens de tráfego disponíveis na literatura ou elaboradas previamente à priorização dos [trechos](#).



RANQUEAMENTO

Estabelecer limiares de corte para os critérios anteriores

- Justificativa: Para os casos em que, mesmo após a aplicação dos critérios elencados anteriormente, ainda for impossível o monitoramento de todos os [trechos](#) selecionados, deve-se aplicar limiares de corte sobre os critérios anteriores, até que o número de [trechos](#) priorizados seja exequível para a realização da amostragem. Os limiares de corte vão depender

3. PROTOCOLO DE AVALIAÇÃO DE FATALIDADES

da realidade local e é o analista do órgão ambiental que deve avaliar quais são os critérios que mais fazem sentido de serem explorados dentro do seu contexto.

3.2. Procedimentos amostrais e analíticos

Dentre diversas abordagens possíveis, elencamos duas para a realização da avaliação de [fatalidades](#), a fim de responder especificamente a pergunta: “onde morrem mais anfíbios?”. A metodologia de coleta de dados das duas abordagens é basicamente a mesma, com pequenas diferenças (detalhadas na Tabela 1). As principais diferenças dizem respeito à complexidade analítica e ao tipo de resposta que cada abordagem permite obter ([Figura 3](#)). A abordagem 1 considera apenas o número observado de [fatalidades](#), permitindo responder apenas “onde morrem mais anfíbios?”. Já a abordagem 2, por considerar a detecção imperfeita (eficiência do [observador](#) e remoção de carcaças), permite analisar não apenas o número observado, mas também o número estimado de [fatalidades](#) de forma robusta, ajudando a também responder “quantos anfíbios morrem?”. Aqui, é importante entender que o número de carcaças observadas representa o número mínimo de [fatalidades](#) e representa uma subestimativa, pois existem três fontes de erro no processo amostral, inerentes à qualquer amostragem biológica. São eles: (I) o tamanho da área amostrada, uma vez que existem áreas que não serão amostradas (não considerado em nenhuma das abordagens aqui apresentadas), (II) a disponibilidade das carcaças na área amostrada, já que algumas carcaças serão removidas antes de poderem ser contabilizadas e (III) a eficiência da observação, pois algumas carcaças não serão detectadas pelos [observadores](#) mesmo estando disponíveis (KORNER-NIEVERGELT et al., 2015).



Foto por: Maria Eduarda Bernardino Cunha

3. PROTOCOLO DE AVALIAÇÃO DE FATALIDADES

Além disso, os erros amostrais variam tanto no espaço como no tempo. Por exemplo, variações no tráfego de veículos podem influenciar a taxa de remoção de carcaças por afugentar animais carniceiros (que se alimentam de animais mortos) ou pela destruição das carcaças causada pelos próprios veículos (BARRIENTOS et al., 2018). A eficiência da observação também pode variar dependendo das condições climáticas (p.ex. chuva extrema durante a amostragem) ou até mesmo da capacidade do [observador](#) (PINHEIRO, 2016). Avaliações de atropelamentos de fauna comumente incluem a realização de testes experimentais de detecção e remoção de carcaças em uma parte dos [trechos](#) amostrados e extrapolam os valores estimados para toda a área de estudo, assumindo que os erros amostrais são homogêneos. Entretanto, como mencionado acima, é esperada variação tanto espacial quanto temporal nesses erros. Realizar esses testes requereria amostragem adicional, executando-os em todos os [trechos](#) e em todas as [campanhas](#) para considerar as variações nos erros, o que tornaria a amostragem mais custosa. Por isso, os testes não foram incluídos nas recomendações deste protocolo.

Já a abordagem 2 considera essa heterogeneidade espaço-temporal sem aumento de esforço nem custo da amostragem, mas requer uma habilidade analítica maior para os profissionais responsáveis pelo estudo (p.ex. consultores ambientais). Porém, junto com essa complexidade, há um grande ganho de robustez nas estimativas geradas na abordagem 2. Considerar a heterogeneidade espaço-temporal nas análises nos dá maior confiabilidade na identificação dos locais onde morrem mais anfíbios em uma rodovia ou uma malha viária, apontando com maior precisão os locais onde medidas mitigadoras devem ser implementadas. A seguir, as duas abordagens propostas são apresentadas em maior detalhe.

3. PROTOCOLO DE AVALIAÇÃO DE FATALIDADES

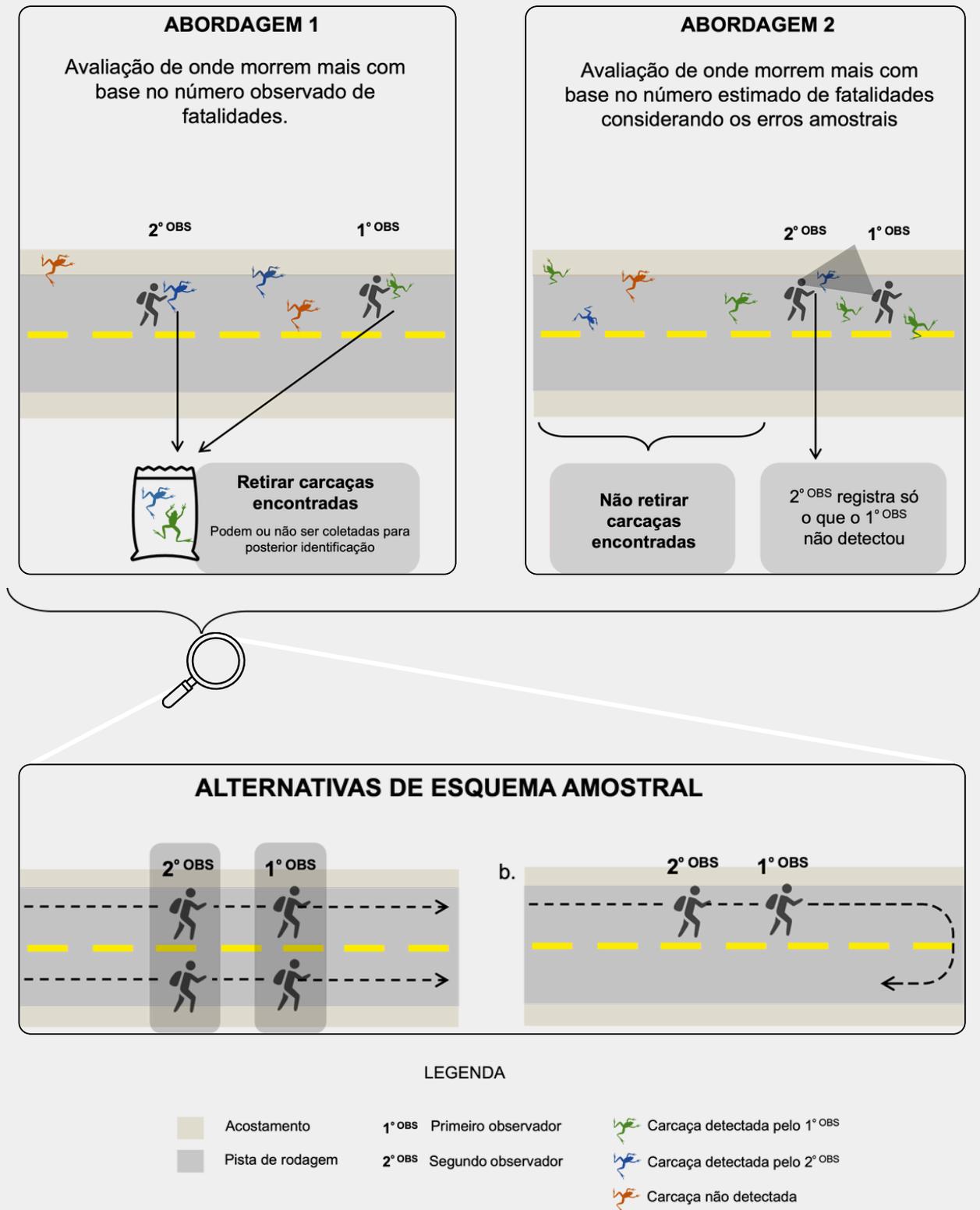


Figura 3. Esquema representando a metodologia de coleta de dados das duas abordagens elencadas para a avaliação de fatalidades de anfíbios em rodovias.

3. PROTOCOLO DE AVALIAÇÃO DE FATALIDADES

3.2.1. Abordagem 1 - Onde morrem mais anfíbios sem considerar a heterogeneidade dos erros de amostragem

A abordagem 1 envolve a realização de várias repetições amostrais (a partir daqui referidas como “ocasiões”) em cada [trecho](#) em uma mesma [campanha](#), com um curto intervalo de tempo entre elas. Essas repetições nos mesmos [trechos](#) têm como objetivo aumentar o acúmulo de [registros](#) para cada [trecho](#), buscando reduzir a influência dos erros amostrais.

Método de amostragem da abordagem 1

A abordagem 1 requer que as [campanhas](#) de avaliação das [fatalidades](#) de anfíbios sejam realizadas de forma concentrada, dentro dos períodos de maior atividade do grupo-alvo. Devem ser realizadas no mínimo três [campanhas](#), com intervalo de 15 a 60 dias entre elas. Cada [campanha](#) corresponde a, no mínimo, oito [ocasiões](#) de amostragem com intervalo de aproximadamente 12 horas entre elas, sempre logo após o amanhecer e antes do anoitecer. A amostragem deve ser realizada a pé e contemplar a faixa de rodagem (a mais externa em caso de vias duplicadas) e o acostamento de ambos os sentidos por, no mínimo, dois [observadores](#) por sentido ([Figura 3](#)). Para a realização da amostragem, o ideal seria o fechamento temporário da via para garantir a segurança dos amostradores. Alternativamente, a amostragem da faixa de rodagem pode ser realizada a partir do acostamento. Não deve haver troca de equipe de [observadores](#) entre os [trechos](#). A mudança de equipe entre os [trechos](#) dificulta a comparação das observações de [fatalidades](#), pois diferentes equipes podem ter detecções distintas e esse erro não é estimado nesta abordagem. Caso não seja possível manter a mesma equipe, uma possibilidade para minimizar a influência do erro de detecção é aleatorizar as equipes entre os [trechos](#) em diferentes [ocasiões](#) (ou utilizar a abordagem 2). Para cada [ocasião](#) devem ser anotadas, no mínimo, as seguintes informações: data, horário de início, [trecho](#) (ID do [trecho](#) a ser amostrado e coordenadas geográficas de início e fim) e os nomes dos [observadores](#). Outros dados adicionais podem ser coletados, como variáveis climáticas

3. PROTOCOLO DE AVALIAÇÃO DE FATALIDADES

(pluviosidade e temperatura) e tráfego de veículos no momento da amostragem.

Os [observadores](#) devem percorrer os [trechos](#) de forma [dependente](#), ou seja, um [observador](#) deve ir na frente realizando os [registros](#) de todas as carcaças que encontra, enquanto o segundo [observador](#) deve caminhar sempre atrás do primeiro, registrando apenas as carcaças que não foram detectadas pelo primeiro ([Figura 3](#)).

A cada [registro](#), devem ser coletadas em campo as seguintes informações da carcaça: horário do [registro](#), data, coordenadas geográficas e identificação ao menor nível taxonômico possível. Caso não seja possível identificar a carcaça em campo ou exista interesse em aproveitar o material para outros estudos, procedimentos adicionais podem ser adotados: registro fotográfico, coleta da carcaça (ver metodologia para identificar carcaças na seção: [Como identificar taxonomicamente anfíbios atropelados?](#)), coleta de material genético, registro da localização na rodovia (acostamento, faixa de rodagem, etc.), idade (ex: adulto, jovem) e/ou sexo da carcaça. Após a realização da coleta de dados de cada carcaça por um [observador](#), este deve retirar as carcaças da via para evitar a recontagem entre uma [ocasião](#) e outra de amostragem e entre diferentes [observadores](#).

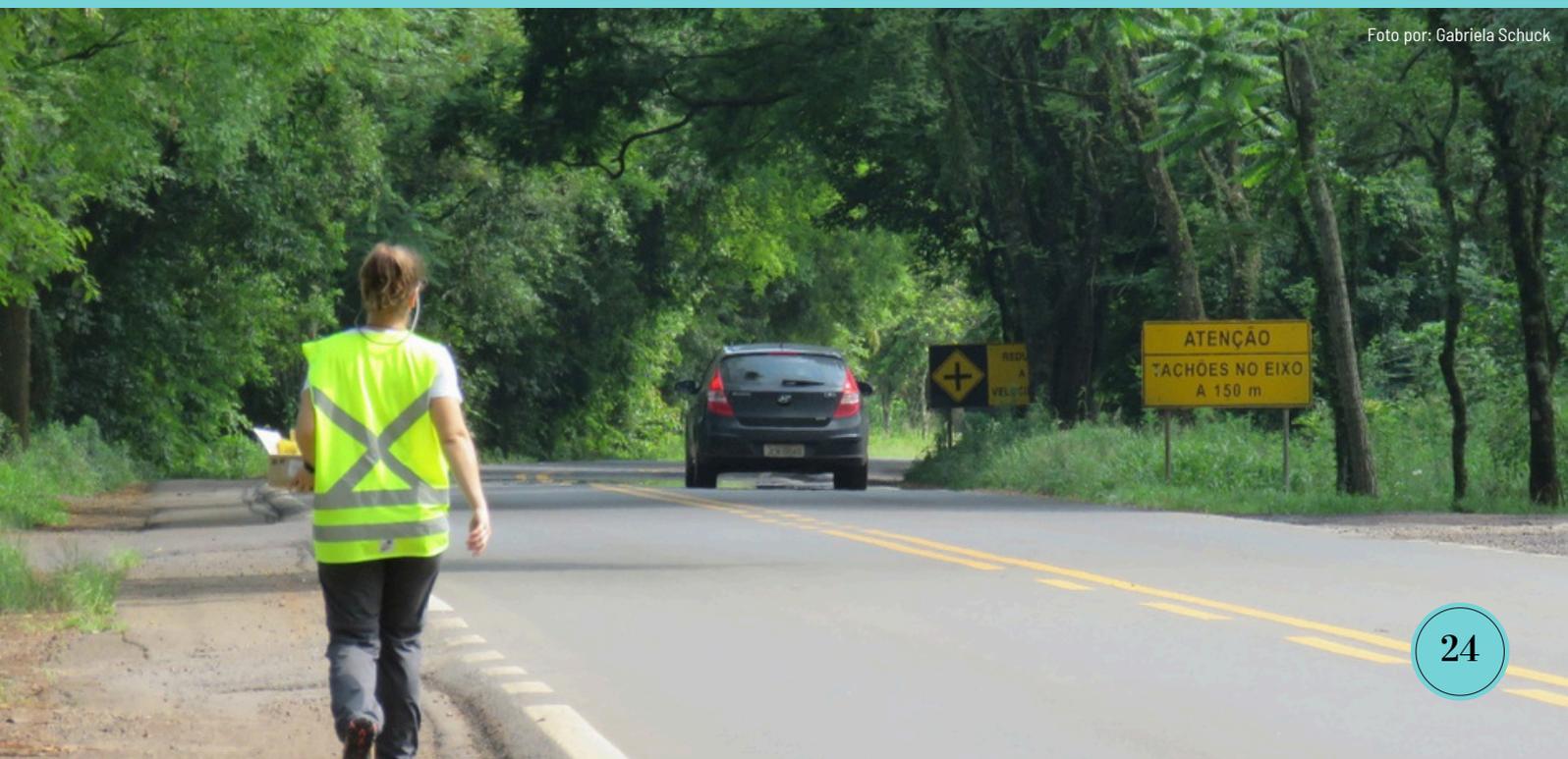


Foto por: Gabriela Schuck

3. PROTOCOLO DE AVALIAÇÃO DE FATALIDADES

Possibilidades analíticas

Nesta abordagem, para identificar os [trechos](#) onde morrem mais anfíbios e os que devem receber medidas de mitigação, será usado apenas o número de carcaças observadas. Portanto, são realizadas apenas análises descritivas. Não há nenhuma análise estatística para estimativa da magnitude, pois essa abordagem não considera os erros associados à amostragem.

As variáveis respostas podem ser os números médios (e respectivas medidas de incerteza, como desvio padrão ou outra) e/ou números absolutos cumulativos em cada [trecho](#) (ou por [campanha](#)) das seguintes variáveis: número de [fatalidades](#) de anfíbios, número de espécies (ou outro índice), número de espécies ameaçadas, número de indivíduos ou espécies de cada grupo-alvo (ex. terrícolas ou arborícolas). Na priorização de [trechos](#) para mitigação, além das variáveis anteriores, utilizadas isoladamente ou em combinação, podem ser usados aspectos adicionais, como custo de implantação das medidas de mitigação, e probabilidade de persistência dos habitats, assim priorizando [trechos](#) com melhor relação custo-benefício.

Caso os [trechos](#) escolhidos sejam extensos (ex: mais de 1km), é possível realizar análise de [zonas críticas de fatalidades](#) (*hotspots*) para definir exatamente onde instalar as estruturas de mitigação dentro de cada [trecho](#). As análises podem ser realizadas em softwares gratuitos disponíveis e comumente utilizados para este fim, como por exemplo o KDE+ (BÍL et al., 2016) e o Siriema (COELHO et al., 2014), entre outros.

Como vimos, a abordagem 1 não permite estimar os potenciais erros amostrais, inviabilizando assim responder a pergunta "Quantos anfíbios morrem?". Caso seja importante também responder a esta pergunta, a abordagem 2 é a mais adequada, já que os erros são estimados, como veremos a seguir.

ESTUDO DE CASO 1 - Abordagem 1

Planejamento dos locais prioritários para implementação de medidas de mitigação em um [trecho](#) de rodovia no Rio Grande do Sul (ERS-486) que corta a Reserva Biológica Estadual Mata Paludosa.

Contexto: [Trecho](#) de 1km em uma rodovia simples (em operação) cortando uma Unidade de Conservação.



Foto por: Talita Menger

Apresentação: O [trecho](#) avaliado corta uma Unidade de Conservação de proteção integral que preserva remanescentes de florestas com solos bastante úmidos e entremeadas à vegetação de banhados, abrigando um alto número de espécies de anfíbios, incluindo quatro espécies ameaçadas. Estudos prévios demonstraram que esse [trecho](#) apresentava agregações de fatalidades para o grupo, apesar de contar com dispositivos de mitigação de atropelamentos (dois controladores de velocidades e três pontilhões), sendo recomendado um estudo aprofundado no [trecho](#) para avaliar a necessidade de proposição de medidas de mitigação complementares para anfíbios. Considerando esse cenário, não foi feita seleção de [trechos](#) amostrais, pois todo o [trecho](#) de 1 km foi amostrado.

Avaliação das fatalidades de anfíbios:

Questões metodológicas	O que foi feito
Extensão do trecho a ser amostrado	1 km
Abordagem utilizada	Abordagem 1
Modo de observação	A pé
Período de amostragem	Outubro de 2017 a março de 2018
Número de campanhas	6
Intervalo entre campanhas	Aproximadamente 30 dias
Número de ocasiões em cada campanha em cada trecho	14
Horário e intervalo entre as ocasiões	Manhã e tarde com aproximadamente 12 horas de intervalo
Distribuição da amostragem	O trecho foi amostrado em todas as ocasiões
Área da rodovia a ser amostrada	Faixa de rodagem e acostamento
Sentidos do monitoramento	Dois sentidos
Equipe de amostragem (número de observadores e independência)	2 observadores dependentes por faixa de rodagem, totalizando 4 pessoas
Número de equipes	Uma equipe com 4 observadores
Retirada das carcaças para fora da área de amostragem após o registro	Retiradas as carcaças em todas as ocasiões e quando necessário coletadas para posterior identificação
Dados coletados a cada ocasião/campanha	Data, horário, observadores
Dados coletados em cada registro	Horário (para identificar ocasião), data (para identificar ocasião/campanha), posição na rodovia (pista ou acostamento), localização geográfica (o trecho da rodovia era marcado a cada 5m, sendo essa informação associada a uma coordenada geográfica para posterior análise da distribuição espacial das fatalidades), foto do registro , observador , identificação ao menor nível taxonômico possível e quando necessário a coleta da carcaça para identificação

ESTUDO DE CASO 1 - Abordagem 1

Avaliação das fatalidades de anfíbios:

Questões metodológicas	O que foi feito
Registrar espécies exóticas	Sem registros de espécies exóticas
Grupo-alvo da análise	Anfíbios arborícolas, terrícolas e espécies ameaçadas
Análise de dados	Análise de hotspots (COELHO et al., 2014) para identificação dos locais com agregação de <u>fatalidades</u> dentro do <u>trecho</u> de 1 km

Informações importantes sobre a amostragem:

As amostragens das ocasiões matutinas começavam em torno das 6h da manhã e a equipe levava em média 45 minutos para amostrar todo o trecho de 1 km. As amostragens das ocasiões vespertinas iniciavam entre 16h30 e 17h, levando em média 30 minutos para amostrar o trecho de 1 km (em função da menor quantidade de carcaças nas ocasiões vespertinas). Em ocasiões com chuva (matutinas ou vespertinas) o tempo das amostragens podia dobrar em função da maior quantidade de animais atropelados devido a maior atividade dos anfíbios. O fluxo de veículos no trecho foi bloqueado pela polícia rodoviária para que a amostragem pudesse ser realizada em maior segurança. Desta forma, dois observadores dependentes (um caminhando na frente e o outro atrás) amostravam o acostamento e a faixa de rodagem de um lado da pista, e outros dois amostradores dependentes amostravam o outro acostamento e sua faixa de rodagem. Cada observador retirava todas as carcaças que detectava, garantindo que as carcaças detectadas pelo segundo amostrador não eram carcaças detectadas previamente. Neste estudo de caso, como o trecho avaliado tinha a extensão de 1km, foi possível incluir uma análise para identificação do padrão espacial (zonas críticas/hotspots) de fatalidades, com o objetivo de indicar a localização específica de medidas mitigadoras ao longo do trecho.

RESULTADOS

- Número de carcaças observadas: A contagem máxima por ocasião variou de nenhuma a 98 carcaças observadas por par de observadores, enquanto a contagem média foi de 12 carcaças.
- Foram identificadas 8 zonas de agregações de fatalidades para anfíbios terrícolas, 4 zonas para arborícolas e 3 zonas para espécies ameaçadas.
- Porcentagem de identificação dos registros pela técnica descrita no guia ou pelas fotos: 60% de todos os registros identificados até espécie, 13% até gênero, 9% até família enquanto 18% permaneceram apenas como anfíbio. A identificação foi importante para a proposição de medidas mitigadoras por grupos-alvo e para gerar a lista de espécies registradas.

3. PROTOCOLO DE AVALIAÇÃO DE FATALIDADES

3.2.2. Abordagem 2 - Onde morrem mais anfíbios considerando a heterogeneidade dos erros amostrais?

Assim como na abordagem 1, são realizadas múltiplas repetições da amostragem ([ocasiões](#)) em um curto intervalo de tempo em uma mesma [campanha](#). Na abordagem 2, no entanto, as carcaças não devem ser removidas da via pelos [observadores](#) ao longo das [ocasiões](#) ([Figura 3](#)). Essas repetições nos mesmos [trechos](#) sem a retirada das carcaças têm como objetivo gerar contagens repetidas que serão usadas nas análises estatísticas para estimar as probabilidades de remoção e detecção das carcaças nos diferentes [trechos](#) e períodos e, por fim, gerar uma estimativa total das [fatalidades](#) em cada [trecho](#).

Esta abordagem permite controlar os erros de amostragem, ou seja, eventuais diferenças identificadas no número estimado de anfíbios mortos entre os [trechos](#) serão decorrentes de outros fatores não relacionados ao processo amostral. Uma das principais vantagens da abordagem 2 é que ela permite o uso de mais de uma equipe de [observadores](#), ampliando o número de [trechos](#) que podem ser amostrados em uma mesma [campanha](#), ao mesmo tempo em que permite a comparação entre os [trechos](#). O modelo também permite incorporar, na mesma estrutura analítica, variáveis que podem afetar a abundância de animais mortos, como tráfego e clima (pluviosidade e temperatura).

Método de amostragem da abordagem 2

O método de coleta de dados nesta abordagem é similar ao utilizado na abordagem 1 com pequenas alterações: 1) é possível **usar diferentes equipes de observação entre os [trechos](#)** e 2) **as carcaças devem ser mantidas na via após realizado o registro** ([Figura 3](#)). Assim como na abordagem 1, os [observadores](#) são [dependentes](#), o segundo [observador](#) deve ir logo atrás do primeiro para ver quais carcaças estão sendo registradas por este, e deve registrar eventuais carcaças que não foram detectadas pelo primeiro, mas na abordagem 2 as carcaças não devem

3. PROTOCOLO DE AVALIAÇÃO DE FATALIDADES

ser retiradas por nenhum dos observadores. As carcaças só podem ser coletadas ou retiradas da via na última ocasião, ou seja, quando não houver mais monitoramento naquela campanha. Como as carcaças não devem ser retiradas da rodovia entre as ocasiões de amostragem, estas podem ser registradas pelos observadores em mais de uma ocasião, o que é considerado pelas análises. Os dados com o número de carcaças registradas por cada observador em cada ocasião de amostragem serão então utilizados em um modelo estatístico (modelos N-mixture) para estimar a probabilidade de entrada de novas carcaças (novas mortes), da persistência das carcaças e de eficiência da observação.

Possibilidades analíticas

Os dados coletados devem ser organizados em uma tabela de contagens, informando o número de indivíduos contados por cada observador em cada trecho por ocasião. A análise utiliza um modelo dinâmico de população aberta com contagens de indivíduos não-marcados (DAIL; MADSEN, 2011; HOSTETLER; CHANDLER, 2015) para observadores duplo-dependentes com modelagem hierárquica, que considera as fontes de erro no processo observacional (KÉRY; ROYLE, 2020). Esses modelos permitem estimar a taxa de entrada de indivíduos por intervalo entre ocasiões, a probabilidade de persistência das carcaças entre ocasiões, a detecção das carcaças e a abundância de indivíduos atropelados na primeira ocasião. A probabilidade de detecção se refere à probabilidade média (entre 0 e 1) de uma carcaça de anfíbio ser encontrada, dado que a carcaça está disponível na rodovia durante a ocasião de monitoramento. Para estimar a probabilidade de detecção, o modelo utiliza o número de carcaças observadas por cada observador, e reconhece que o segundo observador só registrou carcaças não detectadas pelo primeiro (observadores duplo-dependentes). A probabilidade de persistência se refere à probabilidade média de uma carcaça do grupo em questão permanecer na rodovia entre as ocasiões de amostragem. A análise é realizada através de uma inferência estatística bayesiana.

3. PROTOCOLO DE AVALIAÇÃO DE FATALIDADES

Os parâmetros de interesse podem ser associados com covariáveis ambientais, como pluviosidade, temperatura, volume de tráfego, entre outros que o analista julgar importantes, a fim de aumentar a acurácia do modelo e entender melhor o sistema. Para a priorização dos [trechos](#) a serem mitigados podem ser adotados variáveis/critérios similares à abordagem 1 utilizando, ao invés dos valores observados, os valores de [fatalidades](#) estimados para cada [trecho](#). Um exemplo de aplicação desta abordagem pode ser encontrado em GONÇALVES et al. (2023a).



Foto por: Talita Menger



Foto por: Dener Heiermann



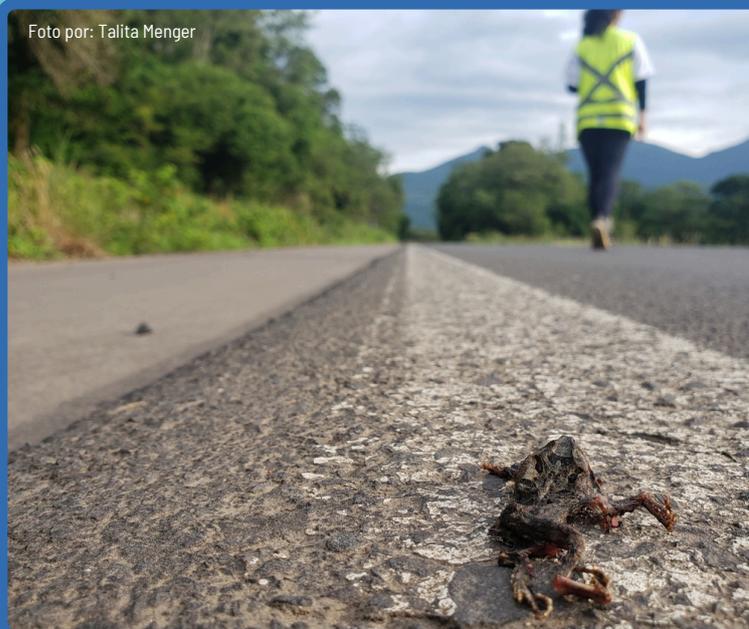
Foto por: Talita Menger

ESTUDO DE CASO 2 - Abordagem 2

Planejamento dos locais prioritários para implementação de medidas de mitigação em duas rodovias no litoral do Rio Grande do Sul (ERS-784 e ERS-040)

Contexto: Elaborar um Plano de Mitigação de [fatalidades](#) de anfíbios para duas rodovias de pista simples em operação.

Foto por: Talita Menger



Seleção de [trechos amostrais](#):

Questões metodológicas	O que foi feito
Extensão total das rodovias	100 km
Tamanho dos trechos definidos para as amostragens	100 metros
Exposição	Identificação de todas as áreas úmidas em um buffer de 1km em cada trecho da rodovia por meio de classificação do uso e cobertura do solo e do índice de água (Water In Wetlands-WIW; (LEFEBVRE et al., 2019))
Suporte legal	Não foi considerado ou não havia suporte legal
Letalidade	Foram categorizados os trechos com dados de répteis aquáticos atropelados que se alimentam de anfíbios (a partir de uma base de dados prévia de atropelamentos)
Ranqueamento	Foram ranqueados os trechos com maior porcentagem de áreas úmidas no entorno
Limiar de corte	30% de área úmida no entorno e todos os trechos com presença de pelo menos 2 répteis atropelados com base no monitoramento de carro existente

Resultado da seleção de [trechos](#):

Foram selecionados 50 [trechos](#) amostrais de 100 metros cada.

Avaliação das [fatalidades de anfíbios](#)

Questões metodológicas	O que foi feito
Abordagem utilizada	Abordagem 2
Modo de observação	A pé
Período de amostragem	Janeiro de 2021
Número de campanhas	1
Número de ocasiões em cada campanha em cada trecho	6 ocasiões
Horário e intervalo entre as ocasiões	Manhã e tarde com aproximadamente 12 horas de intervalo
Duração total da amostragem	3 dias com múltiplas equipes

ESTUDO DE CASO 2 - Abordagem 2

Avaliação das fatalidades de anfíbios

Questões metodológicas	O que foi feito
Distribuição da amostragem	Todos os trechos amostrados em todas as ocasiões
Área da rodovia a ser amostrada	Faixa de rodagem e acostamento
Sentidos do monitoramento	Dois sentidos
Equipe de amostragem (número de observadores e independência)	2 observadores dependentes (par de amostradores) por faixa de rodagem, totalizando 4 pessoas por trecho
Número de equipes	3 equipes com 4 observadores cada. Cada equipe monitorou os mesmos trechos em todas as ocasiões . O número de equipes e amostradores foi definido considerando a quantidade necessária para que todos os trechos fossem amostrados nos mesmos dias
Retirada das carcaças para fora da área de amostragem após o registro	Mantidas as carcaças entre todas as ocasiões e retiradas para futura identificação na última ocasião da campanha
Dados coletados a cada ocasião/campanha	Data, horário, trecho (identificação do trecho e coordenadas de início e fim), observadores
Dados coletados em cada registro	Horário (para identificar ocasião), data (para identificar ocasião/campanha), coordenadas (para identificar o trecho), identificação ao menor nível taxonômico possível e foto do registro
Registrar espécies exóticas	Sem registros de espécies exóticas
Grupo-alvo da análise	Todos os anfíbios registrados
Análise de dados	Modelo dinâmico (ou seja, de população aberta) para contagens de carcaças não-marcadas por observadores duplos dependentes em cada visita, derivado da formulação de Dail-Madsen (DAIL; MADSEN, 2011), utilizado para populações vivas. Os códigos das análises utilizadas estão disponíveis em (GONÇALVES et al., 2023).

Informações importantes sobre a amostragem:

Em função do uso de múltiplas equipes foi possível amostrar todos os 50 [trechos](#) de 100 m em 6 [ocasiões](#) com aproximadamente 12h de intervalo em todos os 3 dias de amostragem. As amostragens das [ocasiões](#) matutinas começavam às 6h da manhã e cada equipe monitorava em torno de 17 [trechos](#) de 100m por turno, levando em média 15 minutos para amostrar cada [trecho](#) de 100m. As amostragens das [ocasiões](#) vespertinas iniciavam às 16h30, levando em média 10 minutos para amostrar cada [trecho](#) de 100m (em função da menor quantidade de carcaças nessas [ocasiões](#)) e cada equipe amostrava os mesmos [trechos](#) que no período da manhã. Em [ocasiões](#) com chuva (matutinas ou vespertinas) o tempo das amostragens podia dobrar em função da maior quantidade de animais atropelados devido a maior atividade dos anfíbios. Os [trechos](#) foram amostrados com a rodovia em operação, isto é, um par de [observadores dependentes](#) caminhou por cada acostamento do [trecho](#) identificando as carcaças que estavam no acostamento e na faixa de rodagem.

RESULTADOS

- Número de carcaças observadas: A contagem máxima por ocasião variou de uma a 127 carcaças observadas por trecho por par de observadores, enquanto a média de contagem para todos os trechos foi de 12 carcaças.
- Número médio estimado de fatalidades de anfíbios por trecho: Taxa média de fatalidades de anfíbios por 100 metros variou entre 1,3 (Intervalo de Credibilidade de 95% (95%CrI) = 0,4–3,2) e 52,7 (95%CrI = 48,4–57,6) anfíbios por dia. Foi estimada uma taxa de 136 (95%CrI = 130–142) fatalidades de anfíbios por km por dia.
- Detecção média dos observadores: A probabilidade de cada par de observadores detectar uma carcaça foi de 0,69 (95%CrI = 0,66–0,72).
- Taxa de persistência das carcaças: Foi estimada para cada volume de tráfego: tráfego baixo foi 1,19 (95%CrI = 0,92–1,50); tráfego médio foi 1,61 (95%CrI = 1,33–1,91); e tráfego alto foi -4,33 95%CrI = 766–2,21).
- Porcentagem de identificação dos registros: a partir do processo de hidratação e análise das carcaças de anfíbios coletadas foi possível a identificação de 95% delas, sendo que 84% das carcaças foram identificadas ao nível de espécie, resultando no reconhecimento de 24 espécies, além de 11% identificadas ao nível de gênero ou família e 4% permaneceram apenas como anfíbio. Apesar das espécies não serem distinguidas nas análises neste estudo de caso, a identificação foi importante para gerar a lista de espécies registradas.

Neste estudo de caso, foi utilizado um critério adicional para priorização dos trechos que receberiam mitigação, a taxa de conversão da vegetação no entorno da rodovia. Foi considerada a conversão de vegetação nativa para qualquer outro uso não-nativo em um intervalo de 10 anos em um buffer de 200 metros no entorno de cada segmento, utilizando a classificação de uso e cobertura do Mapbiomas coleção 5 (SOUZA JR et al., 2020). O pressuposto considerado foi que áreas com menor taxa de conversão seriam mais estáveis e menos suscetíveis a mudanças ao longo do tempo, já que o histórico de ocupação da região já aparenta estar consolidado.

3. PROTOCOLO DE AVALIAÇÃO DE FATALIDADES

3.2.3. Informações adicionais para as duas abordagens

Análise por grupos-alvo

Os protocolos aqui apresentados podem ser aplicados para avaliar o grupo de anfíbios como um todo ou ainda grupos-alvo selecionados de acordo com os objetivos propostos. Antes de se iniciar os estudos de avaliação de [fatalidades](#), o primeiro passo é determinar quais espécies serão amostradas. É importante ressaltar que esta decisão deve ser feita com base em critérios claros e objetivos, que devem ser justificados no documento de solicitação dos estudos. A decisão sobre a necessidade de focar em algumas espécies (e indicação de quais devem ser foco do estudo) deve ser baseada em listas prévias de espécies de anfíbios com potencial ocorrência nas áreas de influência dos [trechos](#) selecionados. Desta forma, de acordo com a pergunta que o estudo quer responder, é possível amostrar:

- a) todas as espécies de anfíbios da área de interesse;
- b) apenas espécies ameaçadas (critério: Os grupos-alvo podem ser definidos por diferentes critérios: grau de ameaça - status de conservação, com base em listas vermelhas regionais, nacional ou global);
- c) apenas espécies nativas ou também espécies exóticas e/ou invasoras;
- d) apenas espécies terrícolas ou apenas espécies arborícolas (critério: forma de locomoção, já que isso influencia diretamente na escolha das ações de mitigação; em alguns casos, apenas alguns tipos de mitigação estão disponíveis para implementação, de modo que o grupo-alvo deve ser escolhido com base neste critério).

3. PROTOCOLO DE AVALIAÇÃO DE FATALIDADES

Como identificar taxonomicamente anfíbios atropelados?

A adoção de grupos-alvo exige a identificação das carcaças de anfíbios, dependendo do critério adotado, até o nível de espécie, o que exigirá o envolvimento na equipe de especialistas nesse grupo de organismos. Em alguns casos, no entanto, especialmente para animais pequenos ou juvenis, ou quando a carcaça já se encontra muito deteriorada, o menor nível taxonômico possível para identificação visual será o gênero ou mesmo a família. O reconhecimento de caracteres diagnósticos para a identificação ao nível de espécie dependerá em grande medida da observação de membros inferiores e superiores, morfologia da cabeça, morfologia dos dedos, cor dos ossos, tipo de pele e padrões marcantes de coloração dorsal e ventral ([Figura 4](#)). A identificação das carcaças pode ocorrer pela análise direta da carcaça no local, ou através da coleta, armazenamento (a seco ou congelada) e posterior hidratação em água ([Figura 4](#)) para o reconhecimento de caracteres diagnósticos ou, dependendo da disponibilidade de recursos, por meio de análise genética.

Outra possibilidade é a identificação das carcaças através de fotografias, o que exige imagens de boa qualidade. Normalmente esse procedimento não atinge a mesma porcentagem de sucesso na identificação proporcionada pela hidratação. Um levantamento prévio das espécies de potencial ocorrência na área de amostragem ajuda a direcionar a identificação, especialmente quando guias de identificação de espécies e chaves dicotômicas são utilizadas. Na sequência apresentamos um esquema dos passos envolvidos no processo de identificação de carcaças de anfíbios ([Figura 4](#)).

3. PROTOCOLO DE AVALIAÇÃO DE FATALIDADES

PASSO 1

Coleta e manutenção das carcaças



Fotos por: Caroline Zank

PASSO 2

Hidratação das carcaças em água



Foto por: Caroline Zank



O processo de hidratação permite que caracteres diagnósticos sejam reconhecidos

PASSO 3

Identificação das carcaças



A experiência dos especialistas aliada a consulta a bibliografia especializada permite a identificação de ~95% das carcaças

Rã-chorona (*Physalaemus biligonigerus*)



Foto por: Márcio Borges-Martins

Foto por: Caroline Zank

Perereca-do-banhado (*Boana pulchella*)



Foto por: Caroline Zank

Foto por: Caroline Zank

Figura 4. Esquema dos passos envolvidos no processo de identificação de carcaças de anfíbios por meio de hidratação, que permite a identificação até pelo menos o nível de família de aproximadamente 95% dos espécimes (NERF, dados não publicados).

Tabela 1. Protocolo de avaliação de [fatalidades](#) de anfíbios em rodovias resultante da discussão do ciclo de *Workshops*. **Abordagem 1:** Avalia onde morrem mais anfíbios sem considerar a heterogeneidade dos erros de amostragem. **Abordagem 2:** Avalia onde morrem mais anfíbios considerando a heterogeneidade temporal e espacial dos erros de amostragem. As definições de alguns termos importantes do protocolo são apresentadas no [glossário](#).

QUESTÕES METODOLÓGICAS	ABORDAGEM 1	ABORDAGEM 2	JUSTIFICATIVA ABORDAGEM 1	JUSTIFICATIVA ABORDAGEM 2
Modo de observação	A pé			Imprescindível para uma maior detecção das carcaças e do conjunto de espécies eventualmente afetadas (TEIXEIRA et al., 2013). Quanto maior a detecção, maior o tamanho da amostra e menores as incertezas na identificação de "onde morrem mais".
Período de amostragem	As campanhas devem ser distribuídas em um período concentrado, considerando a maior probabilidade de fatalidades (época reprodutiva, período de chuvas, maior atividade, variações sazonais no fluxo de veículos), dentro de um mesmo ciclo reprodutivo.			A concentração no período de maior atividade dos anfíbios, com distribuição das campanhas em um mesmo ciclo reprodutivo, aumenta a eficiência das amostragens (relação custo-benefício).
Número de campanhas	No mínimo três campanhas (dentro do período de amostragem pré-definido)			Quanto maior o número de campanhas menores as incertezas quanto a identificação dos trechos "onde morrem mais?", pois eventuais variações espaço-temporais nos fatores que afetam a exposição dos anfíbios à estrada (p.ex. intensidade das migrações decorrentes da atividade reprodutiva das espécies) ou o risco de serem atropelados (p. ex. volume de tráfego) têm maior probabilidade de serem mais bem representadas nas amostragens.
Intervalo entre campanhas	No mínimo 15 e no máximo 60 dias, ressalvadas singularidades regionais.			A indicação desta amplitude tem o objetivo de distribuir as campanhas no período de amostragem de tal forma a maximizar a representatividade da amostragem (ver justificativa em "número de campanhas "), acomodando variações regionais nos fatores ambientais. Condições locais ou de projeto eventualmente podem exigir pequenas variações nestes limites indicados.
Número de ocasiões em cada campanha em cada trecho	No mínimo 8 ocasiões (4 dias, uma ocasião após o amanhecer e outra logo antes do anoitecer, a cada dia, ver abaixo).			Quanto maior o número de ocasiões maior a precisão da estimativa da variável resposta de interesse.

QUESTÕES METODOLÓGICAS	ABORDAGEM 1	ABORDAGEM 2	JUSTIFICATIVA ABORDAGEM 1	JUSTIFICATIVA ABORDAGEM 2
Horário e intervalo entre as ocasiões	Iniciar a amostragem logo após o amanhecer e logo antes do anoitecer (importante considerar que ao anoitecer deve haver tempo suficiente para terminar de amostrar os trechos ainda com luz).		Esse horário de amostragens permite que se contabilize as fatalidades noturnas e as diurnas. Embora seja mais esperada no período da noite, a fatalidade de anfíbios não se restringe a esse período, principalmente em dias chuvosos. A remoção de carcaças de anfíbios é muito rápida (> 65% das carcaças desaparecem em menos de 12 horas; (ZANK et al., 2019). A adoção de um intervalo mínimo de ~12 horas é um balanço entre custo da amostragem e aumento da amostra e diminuição da incerteza na estimativa da variável de interesse.	
Distribuição da amostragem	Em cada campanha e em todas as ocasiões todos os trechos devem ser amostrados.	Se possível, em cada ocasião todos os trechos devem ser amostrados e também deve-se garantir que todos os trechos tenham o mesmo número de ocasiões .	A amostragem de todos os trechos em cada ocasião representa uma tentativa de controle dos potenciais efeitos das condições ambientais temporais (p.ex. temperatura a pluviosidade) que poderiam influenciar comparações, embora quando são amostrados trechos muito longos ou muitos trechos , essa condição seja mais difícil de ser obtida. Caso a probabilidade dessas variações espaço-temporais seja alta, a abordagem 2 é a melhor escolha pois permite considerar essas variações como covariáveis no modelo.	Embora essa abordagem permita analisar os dados considerando as variações ambientais espaço-temporais como covariáveis (modelos N-mixture de duplos observadores dependentes; (DAIL; MADSEN, 2011; ZHAO; ROYLE, 2019), a amostragem de todos os trechos nas mesmas ocasiões e com o mesmo número de ocasiões representa um controle adicional dessas variações e diminui a incerteza nas estimativas.
Área da rodovia a ser amostrada	Uma faixa de rodagem (a mais externa) e acostamento em cada sentido.		Corresponde à área de atropelamento e acúmulo de carcaças. A restrição à pista mais externa em rodovias com mais de uma pista por sentido está sendo proposta como medida de segurança dos observadores . Sempre que possível recomenda-se a negociação, com as instituições responsáveis, da possibilidade de fechamento da pista durante as amostragens (de maneira similar ao que é feito em situações de reparo de pista); a condição adotada deve ser mantida em todas as ocasiões e campanhas de amostragem.	
Sentidos do monitoramento	Os dois sentidos do fluxo de veículos devem ser avaliados		Dependendo da espécie, da época do ano, da distribuição dos ambientes favoráveis ao longo das margens da rodovia e da intensidade do tráfego é razoável esperar que existam variações entre os trechos na distribuição das mortes entre os dois sentidos do tráfego. A amostragem nos dois sentidos controla essa possível fonte de erro.	
Equipe de amostragem (número de observadores e independência)	No mínimo 2 observadores dependentes por faixa (mesma equipe em todos os trechos , ver abaixo).	No mínimo 2 observadores dependentes por faixa (podem ser usadas múltiplas equipes).	Ter dois observadores aumenta a detecção e o tamanho da amostra (número de carcaças registradas).	

QUESTÕES METODOLÓGICAS	ABORDAGEM 1	ABORDAGEM 2	JUSTIFICATIVA ABORDAGEM 1	JUSTIFICATIVA ABORDAGEM 2
Número de equipes	Deve-se tentar utilizar a mesma equipe em todos os trechos em todas as ocasiões .	Podem ser adotadas múltiplas equipes.	É importante manter a mesma equipe em diferentes ocasiões e em diferentes trechos para reduzir o efeito do erro de detecção na comparação entre os trechos . Se houver muitos trechos , uma possibilidade para minimizar a influência do erro de detecção seria aleatorizar as equipes entre os trechos em diferentes ocasiões ou utilizar a abordagem 2.	Como a abordagem amostral e analítica permite estimar o erro médio de detecção para cada trecho , essa fonte de erro na comparação entre os trechos está controlada. Ainda, o uso de equipes diferentes não é um problema no mesmo trecho porque o modelo pressupõe que cada ocasião é independente, ou seja, não espera-se que os amostradores lembrem-se das carcaças da ocasião anterior.
Retirada das carcaças para fora da área de amostragem após o registro	Devem ser retiradas. O primeiro observador vai registrando as carcaças e retirando-as da área de amostragem. O segundo observador registra carcaças que ainda estiverem na via, que não foram detectadas pelo primeiro, e as retira.	Devem ser mantidas. O primeiro observador vai registrando as carcaças e não as retira da área de amostragem. O segundo observador deve ir logo atrás para ver quais carcaças já foram registradas e deve registrar eventuais carcaças que não foram detectadas pelo primeiro, e também não deve retirá-las. Como as carcaças não são retiradas, podem ser recontadas nas próximas ocasiões , o que é considerado pela análise estatística a ser utilizada.	A retirada das carcaças evita a dupla contagem possibilitando a obtenção do número mínimo de animais mortos no período de amostragem em cada um dos trechos .	Não retirar as carcaças da área de amostragem permite estimar, por meio do modelo analítico empregado, a persistência das carcaças e, portanto, reconhecer este erro amostral e obter o número estimado de anfíbios que morreram em cada um dos trechos .
Dados a serem coletados a cada ocasião/campanha	<p>Dados mínimos: Data, horário, trecho (identificação do trecho e coordenadas de início e fim), observadores.</p> <p>Dados adicionais: Variáveis climáticas (pluviosidade e temperatura), tráfego de veículos.</p>		Os dados mínimos são os imprescindíveis para identificar “onde morrem mais” para cada grupo-alvo e organizar os dados; os dados adicionais são relevantes para responder outras perguntas que o estudo se proponha a responder.	Nesta abordagem, os dados adicionais podem ser usados como covariáveis no modelo analítico, aumentando a precisão das estimativas.

QUESTÕES METODOLÓGICAS	ABORDAGEM 1	ABORDAGEM 2	JUSTIFICATIVA ABORDAGEM 1	JUSTIFICATIVA ABORDAGEM 2
Dados a serem coletados em cada registro	Dados mínimos: horário (para identificar ocasião), data (para identificar ocasião/campanha), coordenadas (para identificar o trecho), identificação ao menor nível taxonômico possível. Dados adicionais: material genético, localização na rodovia (acostamento, faixa de rodagem, etc.), idade, sexo, fotografia da carcaça.		Os dados mínimos são os imprescindíveis para identificar "onde morrem mais" para cada grupo-alvo e organizar os dados; os dados adicionais são relevantes para responder outras perguntas adicionais que o estudo se proponha a responder.	
	Nesta abordagem as carcaças podem ser coletadas em cada ocasião para identificação posterior.	Nesta abordagem a coleta da carcaça só pode ser feita após a última ocasião de amostragem.		
Registrar espécies exóticas	Sim		Rodovias podem favorecer a colonização e estabelecimento de espécies invasoras e a identificação dos trechos de ocorrência destas espécies pode auxiliar na detecção precoce e planejamento de medidas de controle/erradicação.	
Quais são as respostas básicas para a tomada de decisão (onde implantar mitigação e como vai ser essa mitigação)	Respostas básicas: Número médio e total observado de fatalidades por trecho em cada campanha (com incerteza associada à média); número médio e total de espécies; número médio e total de espécies ameaçadas; número médio e total por grupo-alvo de anfíbios (ex: terrícolas ou arborícolas).	Respostas básicas: Número médio e total estimado de fatalidades por trecho em cada campanha (com incerteza associada à estimativa); número médio e total de espécies; número médio e total de espécies ameaçadas; número médio e total por grupo-alvo de anfíbios (ex: terrícolas ou arborícolas).		

Ao longo do processo de construção do protocolo, foram identificadas lacunas de conhecimento que estão relacionadas a questões metodológicas para as quais ainda não existem evidências que possam embasar recomendações sobre regimes amostrais. Três lacunas de conhecimento foram identificadas a partir das discussões: (1) Como o número de campanhas afeta a identificação de "onde morrem mais" animais? (2) Como o número de ocasiões afeta a identificação de "onde morrem mais"? e (3) A identificação dos trechos de "onde morrem mais" muda caso apenas um sentido da estrada seja amostrado? As duas primeiras lacunas estão relacionadas ao efeito de acumular maior número de amostragens (seja em campanhas ou em ocasiões) e, conseqüentemente, mais informação na identificação dos trechos prioritários para a mitigação e a terceira lacuna refere-se ao quanto a amostragem em uma subárea (apenas um dos sentidos da estrada) representa o que ocorre no trecho como um todo. Essas lacunas precisam ser objeto de pesquisas futuras para permitir a qualificação deste protocolo e das futuras avaliações de fatalidades.

4. PROTOCOLO DE MONITORAMENTO DA EFETIVIDADE DE MEDIDAS MITIGADORAS DE FATALIDADES

Após a definição dos [trechos](#) das rodovias em que devem ser implantadas medidas de mitigação, estas devem ser planejadas e executadas (conforme [Figura 1](#)). Existem medidas específicas para o grupo dos anfíbios, como cercas bloqueadoras/direcionadoras e túneis climáticos (BEEBEE, 2013; CUNNINGTON et al., 2014; GUNSON et al., 2016; HAMER; LANGTON; LESBARRÈRES, 2015; HEIERMANN, 2021). Após a instalação, é necessário realizar o monitoramento da efetividade dessas medidas. A avaliação da efetividade de medidas mitigadoras é fundamental para determinar se o impacto foi minimizado e indicar se são necessárias novas intervenções para qualificar o sistema de mitigação. Para determinar a efetividade das medidas, é importante que as variáveis medidas estejam relacionadas ao objetivo da mitigação, para que se possa relacionar diretamente os resultados observados com a minimização ou não do impacto (VAN DER GRIFT et al., 2012). Para consultar as evidências associadas à efetividade de ações de conservação, a iniciativa Conservation Evidence reúne informações e publica referências atualizadas sobre o assunto (<https://www.conservationevidence.com/>).

O objetivo deste protocolo é indicar procedimentos que permitam analisar se houve a redução das [fatalidades](#). O contexto que estamos considerando é o de uma rodovia (ou uma rede de rodovias) já existente e em operação que, após a avaliação do padrão espacial de [fatalidades](#), teve novas medidas de mitigação instaladas.

As potenciais mudanças no número de [fatalidades](#) devem ser analisadas em relação a valores de referência apropriadas, neste caso os dados anteriores à implantação das medidas de mitigação (coletados com base no protocolo anterior), nos [trechos](#) que receberam as medidas e em [trechos-controle](#). Para que isso seja possível, é imperativo realizar as amostragens seguindo desenhos amostrais robustos como Antes-Depois-Controle-Impacto (BACI), que são reconhecidos nas melhores práticas de avaliação de efetividade de intervenções de manejo e de mitigação (GONÇALVES et al., 2023b; ROEDENBECK et al., 2007; VAN DER GRIFT et al., 2012). É impossível

4. PROTOCOLO DE MONITORAMENTO DA EFETIVIDADE DE MEDIDAS MITIGADORAS DE FATALIDADES

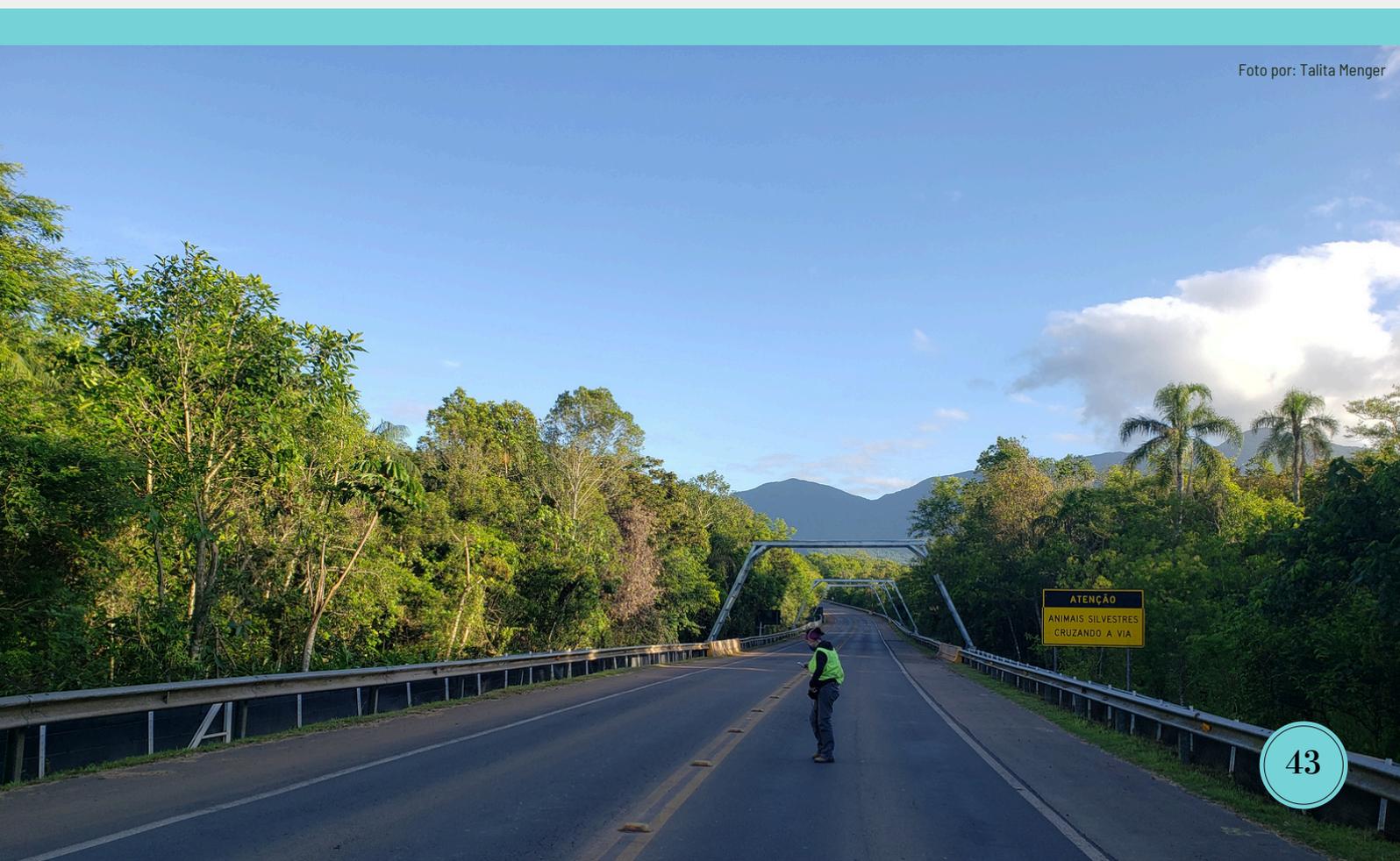
determinar se uma medida de mitigação teve sucesso parcial ou total em minimizar um impacto sem a comparação com valores de referência. No caso deste protocolo, que tem foco na redução de [fatalidades](#) em rodovias já operantes, esses valores de referência estão relacionados ao número de [fatalidades](#) em [trechos](#) de rodovia antes da implementação de medidas (em comparação à depois da instalação) e em [trechos](#) que não tiveram medidas implementadas (áreas-controle) (RYTWINSKI et al., 2016).

Como os dados de [fatalidades](#) em um momento anterior à instalação das medidas já foram coletados (com base no protocolo anterior) para a identificação dos [trechos](#) a serem mitigados, esses dados irão caracterizar os valores de referência antes da instalação das medidas. Ainda, [trechos](#) que tiveram avaliação de [fatalidades](#) na fase anterior, mas que não foram mitigados, poderão ser utilizados como [trechos-controle](#) no monitoramento da efetividade das medidas mitigadoras. Na escolha dos [trechos-controle](#) deve-se buscar a maior similaridade possível em relação às variáveis ambientais dos [trechos-mitigados](#) (vegetação, topografia, etc). Caso todos os [trechos](#) amostrados inicialmente recebam mitigação, devem ser selecionados outros [trechos-controle](#) que tenham sido amostrados na etapa antes para serem amostrados também na etapa depois. A inclusão de [trechos-controle](#) é fundamental para garantir que eventuais alterações no número de [fatalidades](#) causadas por outros fatores (como por exemplo alterações populacionais causadas por outros fatores que não as [fatalidades](#) na estrada ou a mitigação) não levem a conclusões errôneas sobre a efetividade ou não das medidas de mitigação (RYTWINSKI et al., 2016). Como os dados de [fatalidades](#) da etapa antes (tanto nos [trechos-mitigados](#) quanto nos [trechos-controle](#)) já foram coletados, o monitoramento das [fatalidades](#) pós-instalação das medidas deve seguir a mesma abordagem (abordagem 1 ou 2) utilizada na etapa antes (abordagens descritas na seção anterior). Sempre que possível devem ser selecionados múltiplos [trechos-controle](#), mesmo que um único [trecho](#) tenha recebido mitigação. Esse procedimento diminui o risco de dinâmicas ambientais não relacionadas à mitigação (p. ex. incêndios, conversão do uso do solo) comprometerem a avaliação de efetividade.

4. PROTOCOLO DE MONITORAMENTO DA EFETIVIDADE DE MEDIDAS MITIGADORAS DE FATALIDADES

Além do monitoramento das [fatalidades](#) (antes e depois) nos [trechos-mitigados](#) e nos [trechos-controle](#) (Tabela 2), pode ser interessante coletar outras informações para avaliação das medidas mitigadoras. Por exemplo, se a medida mitigadora instalada for uma passagem de fauna, é possível investigar seu uso pelos animais. Embora não sejam suficientes para analisar se a mitigação minimiza ou não as [fatalidades](#) (VAN DER REE et al., 2015), informações sobre taxas de uso ou taxas de evitamento de passagens de fauna podem gerar informações para subsidiar o desenho dessas estruturas. A avaliação da funcionalidade das passagens instaladas pode indicar o potencial dessas estruturas em restaurar a conectividade para diferentes espécies, e é importante identificar quais tipos de passagens de fauna são utilizados por quais grupos-alvo (DENNEBOOM; BAR-MASSADA; SHWARTZ, 2021).

Foto por: Talita Menger



ESTUDO DE CASO 3

Monitoramento da efetividade das medidas de mitigação em reduzir o número de [fatalidades](#) em um [trecho](#) de rodovia no Rio Grande do Sul (ERS-486) que corta a Reserva Biológica Estadual Mata Paludosa.

Contexto: [Trecho](#) de 1km em uma rodovia simples (em operação) cortando uma Unidade de Conservação.

Apresentação: O [trecho](#) teve avaliação de [fatalidades](#) para proposição de medidas mitigadoras entre outubro de 2017 e março de 2018 (Estudo de caso 2).

Entre novembro de 2020 e novembro de 2021 foram implementadas as medidas mitigadoras (passagens inferiores, superiores e cercas-guia). Entre outubro de 2022 e março de 2023 foi realizado novo monitoramento de [fatalidades](#) para avaliação da efetividade das medidas implementadas.



Avaliação da efetividade das medidas mitigadoras

Questões metodológicas	O que foi feito
Variável-resposta	Número de fatalidades por trecho
Desenho amostral	Antes-Depois/Controle-Impacto (BACI)
Número de campanhas antes e depois da implementação da mitigação	6 antes e 6 depois
Número de trechos monitorados	Três trechos monitorados: um trecho de 770m com instalação de cercamento e demais medidas (trecho-mitigado) e outros dois trechos sem cercamento ou outras medidas (trechos-controle), um de 1km e outro de 230m
Questões metodológicas da amostragem das fatalidades	Amostragem antes e depois seguiu a abordagem apresentada no Estudo de caso 2 (abordagem 1)
Análise de dados	O número de fatalidades (corrigidos por 100m para permitir a comparação de trechos com extensões diferentes) foi analisado com um modelo linear misto generalizado (GLMM), com foco na interação de duas variáveis preditoras, uma indicando se os dados eram do trecho com cerca ou controle e outra indicando se os dados eram de antes ou depois do cercamento

Informações importantes sobre a amostragem e análise:

Originalmente foram monitorados dois [trechos](#) de 1km, um com instalação de cercas e outras medidas e outro sem, como controle. Como no trecho mitigado a instalação de cercas foi em 770m, os 230m restantes (sem cercas ou outras medidas) foram utilizados como um segundo controle. Para permitir a comparação, foi necessário corrigir as contagens para uma extensão padrão de 100m.

RESULTADOS

- Para o grupo-alvo dos anfíbios terrícolas foi observada redução significativa no número de [fatalidades](#) no trecho que recebeu cercamento em comparação ao mesmo trecho antes do cercamento e aos [trechos](#) que não receberam cercas.
- Para o grupo-alvo dos anfíbios arborícolas houve um aumento no número de atropelamentos no trecho cercado e nos não cercados, mas esse aumento foi menos intenso no trecho com cerca.
- Importante destacar que caso não houvesse os controles a conclusão seria de que as cercas aumentam as [fatalidades](#) de anfíbios arborícolas.

Tabela 2. Protocolo recomendado para avaliação da efetividade de medidas mitigadoras para redução de [fatalidades](#) de anfíbios em rodovias resultante da discussão do ciclo de *Workshops*.

O QUE MEDIR? (VARIÁVEL-RESPOSTA)	DESENHO AMOSTRAL	O QUE ESPERAMOS? (HIPÓTESE)	NÚMERO DE CAMPANHAS ANTES E DEPOIS DA IMPLEMENTAÇÃO DA MITIGAÇÃO	NÚMERO DE TRECHOS MONITORADOS	QUESTÕES METODOLÓGICAS DA AMOSTRAGEM DAS FATALIDADES
Número de fatalidades médio e/ou total observado (abordagem 1) ou estimado (abordagem 2) por trecho em cada campanha (incluindo erro associado à média). Número médio e/ou total de espécies, número médio e/ou total de espécies ameaçadas, número médio e/ou total de grupos-alvo de anfíbios (ex: terrícolas ou arborícolas).	Desenho prioritário: Antes-Depois/Controle-Impacto (BACI). Desenho alternativo (com justificativa): Antes-Depois (BA).	Diminuição das fatalidades nos trechos-mitigados (impacto) maior do que possíveis alterações na fatalidade nos trechos-controle .	No mínimo três campanhas antes e três depois.	Avaliar todos os trechos-mitigados e no mínimo um trecho-controle , mas preferencialmente um número similar de trechos-mitigados e trechos-controle .	Seguir protocolo de amostragem de fatalidades da seção anterior - usar mesma abordagem na amostragem antes e depois (abordagem 1 ou 2).

5. COMO FORAM ELABORADOS OS PROTOCOLOS

Os protocolos foram elaborados em um ciclo de Workshops virtuais que reuniu analistas ambientais dos Órgãos Ambientais Estaduais (OEMAs) e do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) e que ocorreu mensalmente entre setembro e novembro de 2022. Ao todo, participaram seis pesquisadores do NERF/UFRGS, três analistas/bolsistas do ICMBio/RAN, 35 analistas de 11 OEMAs (FEPAM-RS, IMA-SC, IAT-PR, CETESB-SP, IEMA-ES, IEF-MG, UGF/CPRH-PE, IDEMA-RN, SEMAS-PA, SUDEMA-PB e IBRAM-DF) e IBAMA e um diretor do financiador (ASA; Anexo).

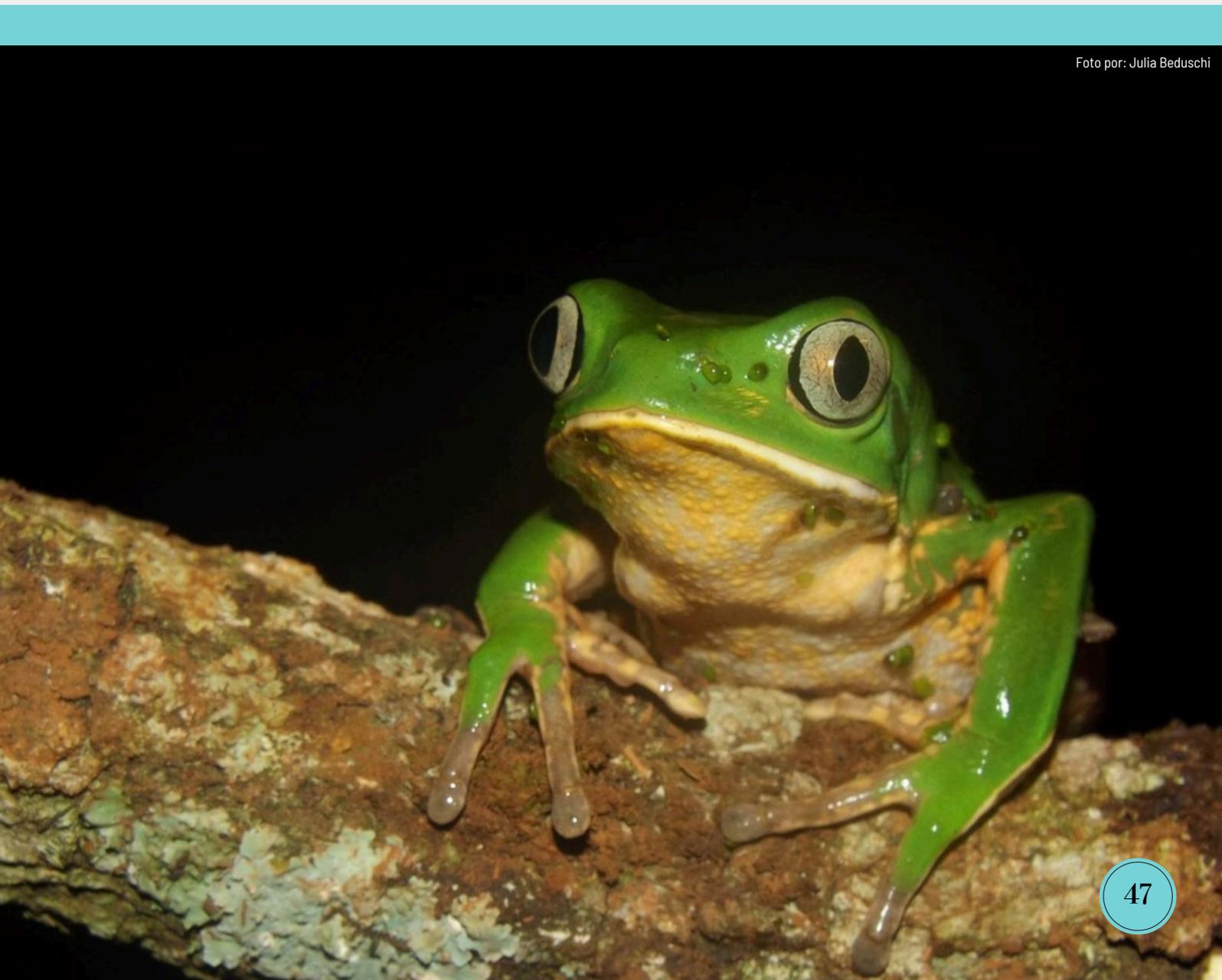
O ciclo foi dividido em três fases que discutiram: 1) as motivações e a importância da avaliação específica de [fatalidades](#) de anfíbios, assim como os primeiros passos para identificar locais prioritários para amostragem; 2) as abordagens para amostragem de [fatalidades](#) de anfíbios em rodovias; e 3) a avaliação da efetividade das ações de mitigação. Cada fase foi discutida em um encontro mensal com duração de dois turnos que aconteceram na mesma semana. Ao dividirmos o esforço em múltiplos encontros de menor duração, abrangemos um maior número de técnicos e instituições e oportunizamos que conhecimentos adquiridos e necessários para o avanço das discussões pudessem ser compartilhados ou acessados junto aos pares de cada analista, nas suas instituições de origem, nos intervalos entre os encontros. Todos os encontros foram gravados e as gravações disponibilizadas a todos os participantes entre um encontro e outro. Com estes procedimentos buscamos oportunizar a participação qualificada de todos, aumentando a frequência das contribuições e gerando comprometimento de todos com o produto final, assim aumentando a probabilidade de ser transformado de fato em um instrumento de gestão.

Em todos os encontros as pautas de discussão foram enviadas previamente e o estímulo à colaboração e coprodução dos protocolos foi constantemente reforçado. A facilitação dos encontros foi realizada pela equipe de pesquisadoras e pesquisador do NERF-UFRGS. Todos os

5. COMO FORAM ELABORADOS OS PROTOCOLOS

itens dos protocolos foram discutidos com todos os presentes e as decisões tomadas com base no consenso entre os participantes. Além de tornar o processo mais democrático, a construção participativa pode aumentar a aceitação dos resultados e gerar aprendizado mútuo, criando redes de colaboração. Esperamos que essas redes formadas ao longo dos encontros se tornem perenes, estendendo a troca de saberes e o suporte mútuo entre analistas e instituições para muito além deste ciclo.

Foto por: Julia Beduschi



6. REFERÊNCIAS

BARRIENTOS, R. et al. A review of searcher efficiency and carcass persistence in infrastructure-driven mortality assessment studies. *Biological conservation*, v. 222, p. 146-153, 2018.

BEEBEE, T. J. C. Effects of Road Mortality and Mitigation Measures on Amphibian Populations. *Conservation Biology*, v. 27, n. 4, p. 657-668, ago. 2013.

BÍL, M. et al. The KDE+ software: a tool for effective identification and ranking of animal-vehicle collision hotspots along networks. *Landscape ecology*, v. 31, n. 2, p. 231-237, 2016.

BOUCHARD, J. et al. Behavioral Responses of Northern Leopard Frogs (*Rana pipiens*) to Roads and Traffic: Implications for Population Persistence. v. 14, n. 2, 2009.

COELHO, A. V. P. et al. Siriema - Programa para atropelamentos em rodovias - Manual do Usuário v.2.0. Porto Alegre. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2014.

COELHO, I. P. et al. Anuran road-kills neighboring a peri-urban reserve in the Atlantic Forest, Brazil. *Journal of environmental management*, v. 112, p. 17-26, 15 dez. 2012.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO, C. DECISÃO DE DIRETORIA No 141/2018/I, de 14 de agosto de 2018. 2018

CUNNINGTON, G. M. et al. Culverts Alone do not Reduce Road Mortality in Anurans. *Ecoscience*, v. 21, n. 1, p. 69-78, 2014.

DAIL, D.; MADSEN, L. Models for estimating abundance from repeated counts of an open metapopulation. *Biometrics*, v. 67, n. 2, p. 577-587, 2011.

6. REFERÊNCIAS

DENNEBOOM, D.; BAR-MASSADA, A.; SHWARTZ, A. Factors affecting usage of crossing structures by wildlife – A systematic review and meta-analysis. *Science of the Total Environment*, v. 777, 10 jul. 2021.

FERRAZ, G. Twelve Guidelines for Biological Sampling in Environmental Licensing Studies. v. 10, n. July, p. 20-26, 2012.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUIS ROESSLER, F. DIRETRIZ TÉCNICA Nº 06/2018 DIRETRIZ TÉCNICA REFERENTE AO TERMO DE REFERÊNCIA PARA O MONITORAMENTO DE FAUNA EM RODOVIAS. 2018.

GLISTA, D. J.; DEVAULT, T. L.; DEWOODY, J. A. Vertebrate Road mortality predominantly impacts amphibians. *Herpetological Conservation and Biology*, v. 3, n. 1, p. 77-87, 2008.

GONÇALVES, L. O. et al. Spatially prioritizing mitigation for amphibian roadkills based on fatality estimation and landscape conversion. *Frontiers in Ecology and Evolution*, v. 11, p. 1123292, 2023a.

GONÇALVES, L. O. et al. Guia de boas práticas para avaliação de efetividade de medidas de mitigação dos impactos sobre a fauna em rodovias. [s.l.] Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2023b.

GUNSON, K. et al. Best management practices for Mitigating the Effect of Roads on Amphibian and Reptile Species at Risk in Ontario. 1. ed. Ontario: Queen's Printer for Ontario, 2016.

HAMER, A. J.; LANGTON, T. E. S.; LESBARRÈRES, D. Making a Safe Leap Forward: mitigating road impacts on amphibians. Em: *Handbook of Road Ecology*. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd,

6. REFERÊNCIAS

2015. p. 261-270.

HEIERMANN, D. Cercas direcionadoras funcionam para evitar que anfíbios arborícolas cruzem rodovias? Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10183/239412>>.

HOSTETLER, J. A.; CHANDLER, R. B. Improved state-space models for inference about spatial and temporal variation in abundance from count data. *Ecology*, v. 96, n. 6, p. 1713-1723, 2015.

IBAMA. Instrução Normativa 13, de 19 de julho de 2013. 2013.

INSTITUO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HIDRICOS, I. Termo de referência específico para o plano de trabalho do levantamento e monitoramento da fauna no licenciamento de empreendimentos de estradas/rodovias. [s.l: s.n.].

INSTITUTO ÁGUA E TERRA, I. PORTARIA DO INSTITUTO ÁGUA E TERRA No 22, DE 06 DE FEVEREIRO DE 2020. 2020.

IUCN. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2021-1. <<https://www.iucnredlist.org>>.

JACOBSON, S. L. et al. A behavior-based framework for assessing barrier effects to wildlife from vehicle traffic volume. *Ecosphere*, v. 7, n. 4, p. 1-15, 2016.

KÉRY, M.; ROYLE, J. A. Applied Hierarchical Modeling in Ecology: Analysis of distribution, abundance and species richness in R and BUGS: Volume 2: Dynamic and Advanced Models. London: Academic Press, 2020.

6. REFERÊNCIAS

KINDEL, A. et al. Following the “why? what? and how?” schema to improve road-kill evaluation in environmental impact assessments of Southern Brazil. *Oecologia Australis*, v. 21, n. 3 Special Issue, p. 256–267, 2017.

KORNER-NIEVERGELT, F. et al. Mortality estimation from carcass searches using the R-package carcass? a tutorial. *Wildlife Biology*, v. 21, n. 1, p. 30–43, 5 jan. 2015.

LEFEBVRE, G. et al. Introducing WIW for detecting the presence of water in wetlands with landsat and sentinel satellites. *Remote Sensing*, v. 11, n. 19, p. 10–14, 2019.

PEREIRA, A. DO N.; CALABUIG, C.; WACHLEVSKI, M. Less impacted or simply neglected? Anuran mortality on roads in the Brazilian semiarid zone. *Journal of Arid Environments*, v. 150, n. December 2017, p. 28–33, 2018.

PINHEIRO, P. F. Entendendo o viés de detecção nos atropelamentos de fauna: avaliação de método, variação entre os observadores e atributos das carcaças. 2016.

ROEDENBECK, I. A. et al. The Rauschholzhausen Agenda for Road Ecology. v. 12, n. 1, 2007.

RYTWINSKI, T. et al. Experimental study designs to improve the evaluation of road mitigation measures for wildlife. *Journal of Environmental Management*, v. 154, p. 48–64, 2015.

RYTWINSKI, T. et al. How Effective Is Road Mitigation at Reducing Road-Kill? A Meta-Analysis. *PLOS ONE*, v. 11, n. 11, p. e0166941, 21 nov. 2016.

RYTWINSKI, T.; FAHRIG, L. Do species life history traits explain population responses to roads? A

6. REFERÊNCIAS

meta-analysis. *Biological Conservation*, v. 147, n. 1, p. 87–98, 2012.

SOUZA JR, C. M. et al. Reconstructing three decades of land use and land cover changes in brazilian biomes with landsat archive and earth engine. *Remote Sensing*, v. 12, n. 17, p. 2735, 2020.

TEIXEIRA, F. Z. et al. Are road-kill hotspots coincident among different vertebrate groups? *Oecologia Australis*, v. 17, n. 1, p. 36–47, 2013.

VAN DER GRIFT, E. A. et al. Evaluating the effectiveness of road mitigation measures. *Biodiversity and Conservation*, v. 22, n. 2, p. 425–448, 19 dez. 2012.

VAN DER REE, R. et al. GUIDELINES FOR EVALUATING THE EFFECTIVENESS OF ROAD MITIGATION MEASURES. Em: *Handbook of Road Ecology*. [s.l: s.n.]. p. 129–137.

ZANK, C. et al. Avaliação da mortalidade por atropelamento e proposição de medidas mitigadoras para anfíbios em um hotspot de biodiversidade no Rio Grande do Sul. *Revista Estradas*, v. 24, n. novembro, p. 26–32, 2019.

ZHAO, Q.; ROYLE, J. A. Dynamic N-mixture models with temporal variability in detection probability. *Ecological Modelling*, v. 393, n. November 2018, p. 20–24, 2019.

7. GLOSSÁRIO

Campanha: Conjunto de ocasiões de amostragem. Neste protocolo, uma campanha corresponde a no mínimo oito ocasiões.

Fatalidade: Um animal morto em decorrência da estrutura viária.

Ocasião: Cada evento de amostragem, no qual os observadores percorrem os trechos registrando os animais atropelados.

Observador: Pessoa que percorre a via a pé realizando os registros das carcaças.

Observador dependente: O segundo observador registra apenas o que o primeiro observador não registrou.

Plano de Trabalho: Detalhamento do estudo que deve ser realizado. Define objetivos claros e mensuráveis, métodos e resultados esperados.

Registro: Uma carcaça do grupo-alvo de interesse encontrada na via.

Trecho: Extensão da rodovia selecionado para amostragem. Corresponderá à unidade amostral nas análises.

Trecho-controle: Trecho onde não houve nenhuma modificação para a redução de fatalidades. Trechos-controle devem ser usados para comparação com os trechos que receberão mitigação.

Trecho-mitigado: Trecho onde houve modificação ou instalação de estruturas para reduzir as fatalidades.

Zonas críticas de fatalidades: Também chamadas de hotspots de fatalidade, são trechos das estradas com maior ocorrência de atropelamentos do que se esperaria ao acaso.



2024