



Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Instituto de Biociências
Programa de Pós-Graduação em Biologia Animal
Curso de Especialização em
Diversidade e Conservação da Fauna

**A mitigação dos impactos de rodovias sobre a fauna:
Um guia de procedimentos para tomada de decisão**

Mozart da Silva Lauxen

Porto Alegre
2012

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Instituto de Biociências
Programa de Pós-Graduação em Biologia Animal

A mitigação dos impactos de rodovias sobre a fauna:

Um guia de procedimentos para tomada de decisão

Mozart da Silva Lauxen

Orientador: Prof. Dr. Andreas Kindel

Trabalho apresentado no Departamento de Zoologia da UFRGS como pré-requisito para a obtenção de Certificado de Conclusão de Curso Pós-graduação *Lato Sensu*, na área de Especialização em Diversidade e Conservação da Fauna.

Porto Alegre

2012

Mozart da Silva Lauxen

**A mitigação dos impactos de rodovias sobre a fauna:
Um guia de procedimentos para tomada de decisão**

Trabalho apresentado no Departamento de Zoologia da UFRGS como pré-requisito para a obtenção de Certificado de Conclusão de Curso Pós-graduação *Lato Sensu*, na área de Diversidade e Conservação da Fauna.

Orientador: Prof. Dr. Andreas Kindel

Porto Alegre, 31 de maio de 2012.

Banca Examinadora

Prof. Dr. Claiton Martins Ferreira
Departamento de Genética
UFRGS

Dr. André de Mendonça-Lima
Departamento de Ecologia
UFRGS

Resumo

A mitigação dos impactos de rodovias sobre a fauna:

Um guia de procedimentos para tomada de decisão

Rodovias também implicam em impactos sociais e ambientais adversos, entre eles a mortalidade de fauna e os efeitos de barreira. O licenciamento ambiental é a oportunidade em que estes impactos podem ser mitigados, por meio da definição de traçados e de estruturas que possibilitem a manutenção da conectividade de habitats. Por meio da proposição de um fluxo de procedimentos, revisão bibliográfica e análise crítica das medidas conhecidas para manutenção da conectividade, estruturou-se um guia digital de procedimentos e informações técnicas para subsidiar os atores do processo de licenciamento.

Palavras-chave: conectividade, fragmentação, efeito barreira, atropelamento de fauna, rodovias, licenciamento ambiental.

Sumário

| | |
|---|------|
| Sumário | iv |
| Dedicatória | vii |
| Agradecimentos..... | viii |
| Relação de Figuras | ix |
| Apresentação | xvi |
| 1. Introdução..... | 1 |
| 1.1. As rodovias e a fauna..... | 1 |
| 1.2. O licenciamento ambiental e as medidas mitigadoras | 4 |
| 2. Objetivos..... | 11 |
| 3. Material e métodos | 12 |
| 4. Resultados..... | 14 |
| 4.1. Produção científica consultada..... | 14 |
| 4.2. Guia eletrônico de procedimentos..... | 16 |
| 4.2.1. Licenciamento ambiental | 19 |
| 4.2.1.1. Características e objetivos..... | 20 |
| 4.2.1.2. Etapas..... | 22 |
| 4.2.1.3. Base legal | 27 |
| 4.2.2. Avaliação de Impacto Ambiental (AIA)..... | 29 |
| 4.2.2.1. Projeto viário..... | 32 |
| 4.2.2.2. Diagnóstico ambiental..... | 35 |
| 4.2.2.3. Impactos conhecidos | 45 |
| 4.2.2.4. Tomada de decisão | 54 |
| 4.2.3. Medidas mitigadoras | 60 |
| 4.2.3.1. Opções existentes | 60 |
| 4.2.3.1.1. Intervenções estruturais | 62 |

| | |
|--|----|
| 4.2.3.1.1.1. Passagens inferiores | 62 |
| 4.2.3.1.1.2. Passagens inferiores grandes | 64 |
| 4.2.3.1.1.3. Passagens inferiores multiuso | 65 |
| 4.2.3.1.1.4. Túneis para anfíbios e répteis..... | 66 |
| 4.2.3.1.1.5. Ecodutos ou pontes de ecossistemas..... | 68 |
| 4.2.3.1.1.6. Passagens superiores | 69 |
| 4.2.3.1.1.7. Passagens superiores multiuso | 70 |
| 4.2.3.1.1.8. Passagens no estrato arbóreo | 71 |
| 4.2.3.1.1.9. Túneis rodoviários | 72 |
| 4.2.3.1.1.10. Viadutos e elevadas..... | 73 |
| 4.2.3.1.1.11. Pontes e pontilhões | 74 |
| 4.2.3.1.1.12. Bueiros modificados..... | 75 |
| 4.2.3.1.1.13. Barreiras anti-ruído | 80 |
| 4.2.3.1.1.14. Ampliação do canteiro central..... | 81 |
| 4.2.3.1.2. Manejo..... | 82 |
| 4.2.3.1.2.1. Campanhas educativas | 82 |
| 4.2.3.1.2.2. Sinalização viária | 83 |
| 4.2.3.1.2.3. Limitação da velocidade | 85 |
| 4.2.3.1.2.4. Redução do volume de tráfego..... | 86 |
| 4.2.3.1.2.5. Interdição temporária | 86 |
| 4.2.3.1.2.6. Sistemas de detecção de fauna..... | 87 |
| 4.2.3.1.2.7. Alerta e afugentamento..... | 88 |
| 4.2.3.1.2.8. Balizas | 91 |
| 4.2.3.1.2.9. Alimentação | 91 |
| 4.2.3.1.2.10. Remoção de carcaças | 92 |
| 4.2.3.1.2.11. Modificação do hábitat..... | 93 |

| | |
|--|-----|
| 4.2.3.1.2.12. Cercas e barreiras | 96 |
| 4.2.3.1.2.13. Redução populacional | 100 |
| 4.2.3.2. Seleção da alternativa | 101 |
| 4.2.3.3. Instalação | 104 |
| 4.2.4. Monitoramento | 106 |
| 4.2.4.1 Indicadores | 110 |
| 4.2.4.2. Métodos | 110 |
| 4.2.4.2.1. Taxa de atropelamentos | 113 |
| 4.2.4.2.2. Armadilhas fotográficas e de vídeo | 117 |
| 4.2.4.2.3. Armadilhas de captura..... | 118 |
| 4.2.4.2.4. Armadilhas de pegadas | 119 |
| 4.2.4.2.5. Observações visuais diretas..... | 121 |
| 4.2.4.2.6. Ferramentas genéticas..... | 121 |
| 4.2.4.2.7. Armadilhas de pelos | 122 |
| 4.2.4.2.8. Telemetria por rádio ou satélite | 122 |
| 4.2.4.3. Reavaliação | 123 |
| 5. Discussão | 125 |
| 6. Bibliografia..... | 132 |
| 7. Anexos..... | 144 |
| 7.1. Zoologia: Normas para citação bibliográfica | 144 |

Dedicatória

À Mary da Silva Lauxen e
Francisca Tomaszewski da Silva[†],
por me inculcarem valores permanentes
e que tanto prezo.

Agradecimentos

Ao Dr. Andreas Kindel, pela orientação criativa, diálogos construtivos e ações efetivas visando à integração e ao aprendizado mútuo entre Universidade e Órgão Ambiental;

Aos meus colegas, passados e presentes, no Núcleo de Licenciamento Ambiental da Superintendência do IBAMA no Rio Grande do Sul (Carmen Zotz Herkenhoff, Carolina Alves Lemos, Cláudio Orlando Liberman, Cristiano Antunes Souza, Diara Maria Sartori, José Antonio Palmeiro Gudolle, Maína Roman, Silvio Alberto Faneze e Rodney Schmidt), pelo apoio, companheirismo, discussões técnicas, senso de responsabilidade profissional e, também, por me ensinarem tudo que sei sobre licenciamento ambiental;

Ao IBAMA, em especial ao Superintendente no Rio Grande do Sul, João Pessoa Moreira Jr. e ao Diretor de Licenciamento, Eugênio Pio Costa, pelo incentivo à capacitação e pela oportunidade contínua de aprendizado e aplicação de ideias inovadoras na gestão ambiental;

Aos colegas do Núcleo de Ecologia de Rodovias e Ferrovias (NERF/Ecologia/UFRGS), em especial à Fernanda Zimmermann Teixeira e Igor Pfeifer Coelho, pelo material de apoio e exemplo de pesquisa aplicada e socialmente útil;

À Ana Paula Ferreira, pelo incentivo na realização deste trabalho;

À Isabel da Silva Lauxen, pela motivação contínua, e

À Fabiana Michelsen de Andrade, por me apresentar e acompanhar em novos caminhos e belas estradas.

Relação de Figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1. Rodovias federais brasileiras. | 2 |
| Figura 2. Número de referências por país de origem. | 14 |
| Figura 3. Tipos de publicações consultados. | 15 |
| Figura 4. Artigos científicos consultados, por intervalo quinquenal de publicação. | 15 |
| Figura 5. Temas abordados na bibliografia consultada. | 15 |
| Figura 6. Grupos animais enfocados na literatura revisada. | 15 |
| Figura 7. Medidas mitigadoras recomendadas, conforme bibliografia revisada. | 16 |
| Figura 8. Fluxograma do Guia de procedimentos para mitigação dos impactos das rodovias sobre a fauna. | 17 |
| Figura 9. Estrutura gráfica do sítio eletrônico. | 18 |
| Figura 10. Representação esquemática das alternativas existentes no contexto do licenciamento ambiental. | 21 |
| Figura 11. Fluxo de procedimentos no Licenciamento Ambiental Federal. | 23 |
| Figura 12. Representação esquemática dos tipos de intervenção usualmente verificados no licenciamento de obras rodoviárias. | 33 |
| Figura 13. Exemplos de planos de informação úteis em um SIG para identificação de áreas prioritárias na manutenção da conectividade. | 39 |
| Figura 14. Modelo conceitual dos efeitos do tráfego sobre a fauna. | 41 |
| Figura 15. Relação entre componentes do efeito de barreira. | 41 |
| Figura 16. Representação esquemática dos impactos ecológicos das estradas. | 46 |
| Figura 17. Fluxograma básico para tomada de decisão referente aos impactos das rodovias sobre a fauna, com ênfase na perspectiva biológica. | 56 |
| Figura 18. Passagem de fauna sob pontilhão na rodovia RS 486 – Rota do Sol. | 63 |
| Figura 19. Instalação de passagem de fauna em bueiro celular. Rodovia BR 101/RS. | 63 |
| Figura 20. Passagem de fauna em bueiro celular 1,5 x 1,5 m, BR 101/RS. | 63 |

| | |
|--|----|
| Figura 21. Entrada de passagem de fauna (seta) na BR 101/RS, com cerca direcionadora..... | 63 |
| Figura 22. Passagem de fauna construída com bueiro tubular corrugado na BR 471/RS – Estação Ecológica do Taim. | 64 |
| Figura 23. Túnel para pequenos mamíferos, com cerca direcionadora..... | 64 |
| Figura 24. Passagem inferior construída com estrutura de pontilhão e iluminação natural | 65 |
| Figura 25. Passagem inferior em Sierra County, California..... | 65 |
| Figura 26. Passagem inferior multiuso | 66 |
| Figura 27. Passa-gado em tubo corrugado. | 66 |
| Figura 28. Túnel para herpetofauna com barreira direcionadora..... | 67 |
| Figura 29. Duto subsuperficial para anfíbios, recoberto por grades | 67 |
| Figura 30. Cerca direcionadora para herpetofauna..... | 67 |
| Figura 31. Entrada de túnel para herpetofauna | 67 |
| Figura 32. Ecoduto | 68 |
| Figura 33. Ecoduto | 68 |
| Figura 34. Vista aérea da passagem superior instalada na Campton Road, Brisbane, Australia..... | 70 |
| Figura 35. Vista da passagem superior a partir da rodovia. | 70 |
| Figura 36. Implantação da vegetação na passagem superior. | 70 |
| Figura 37. Desenho conceitual de passagem mista para humanos e fauna em Walden Ponds, Massachussets, Estados Unidos..... | 70 |
| Figura 38. Passagem mista | 70 |
| Figura 39. Passagem aérea instalada na rodovia SC 450, Praia Grande. | 71 |
| Figura 40. Bugios-ruivos (<i>Alouatta guariba</i>) utilizando a passagem aérea..... | 71 |
| Figura 41. Passagem instalada na sinalização da rodovia..... | 71 |

| | |
|--|----|
| Figura 42. Passagem em estrutura de madeira e cordas..... | 71 |
| Figura 43. Conjunto de túneis com passagem superior cercada..... | 73 |
| Figura 44. Túnel na Alemanha, com área superior proporcionando uso misto..... | 73 |
| Figura 45. Túnel sob o Morro Alto, BR 101/RS. | 73 |
| Figura 46. Emboque Norte do túnel sob o Morro Alto, BR 101/RS..... | 73 |
| Figura 47. Viaduto | 73 |
| Figura 48. Viaduto na rodovia RS 486 - Rota do Sol, Rio Grande do Sul. | 73 |
| Figura 49. Elevada com cerca de 2.100 m de extensão na BR 101/RS..... | 74 |
| Figura 50. Elevada na várzea do rio Maquiné. | 74 |
| Figura 51. Detalhe da elevada no trecho sobre o canal do rio Maquiné, BR 101/RS.... | 74 |
| Figura 52. Ponte São Borja (Brasil) – Santo Tomé (Argentina), com amplos vãos secos junto às cabeceiras..... | 75 |
| Figura 53. Ponte na BR 101/RS, com passagem seca junto à margem..... | 75 |
| Figura 54. Foto aérea do pontilhão Várzea 2, obras de duplicação BR 392/RS..... | 75 |
| Figura 55. Pontilhão Várzea 1, BR 392/RS, com laterais secas para passagem de fauna. | 75 |
| Figura 56. Corte transversal de diferentes tipos de bueiros e exemplos de plataformas para passagem seca. | 77 |
| Figura 57. Corte longitudinal de sistema de piscinas para dissipação de energia do fluxo d'água e viabilização da travessia de peixes. | 79 |
| Figura 58. Passagem seca formada por pedras na lateral de bueiro corrugado | 79 |
| Figura 59. Bueiro ármico com borda de concreto na entrada e entorno em pedras, para melhor visualização | 79 |
| Figura 60. Croqui ilustrando plataforma seca para deslocamento da fauna..... | 80 |
| Figura 61. Barreira acústica na França | 81 |
| Figura 62. Barreira acústica, Rodovia M7, Irlanda, 2012..... | 81 |

| | |
|---|----|
| Figura 63. Canteiro central ampliado..... | 82 |
| Figura 64. Barreira <i>Jersey</i> com passagem para fauna..... | 82 |
| Figura 65. Panfleto informativo distribuído durante as obras de duplicação da rodovia BR 386/RS..... | 83 |
| Figura 66. Sinalização estática tradicional. BR 116/RS..... | 84 |
| Figura 67. Sinalização estática tradicional, adaptada para a fauna típica da região. BR 471/RS..... | 84 |
| Figura 68. Sinalização estática em estrada de serviço da Linha de Transmissão São Domingos – Água Clara, Mato Grosso do Sul..... | 84 |
| Figura 69. Sinalização estática, em grandes dimensões e ilustrada com exemplares da fauna local. | 84 |
| Figura 70. Sinalização estática (<i>Lontra longicaudis</i>). BR 116-392/RS. | 84 |
| Figura 71. Sinalização estática (<i>Leopardus geoffroyi</i>). BR 116-392/RS..... | 85 |
| Figura 72. Sinalização estática (<i>Cerdocyon thous</i>). BR 116-392/RS. | 85 |
| Figura 73. Controlador eletrônico de velocidade. | 86 |
| Figura 74. Sinal piscante ativado por câmaras de infravermelho no Canadá..... | 88 |
| Figura 75. Sinal de advertência com mensagens iluminadas por LEDs e ativadas por sensores de infravermelho passivos | 88 |
| Figura 76. Emissor de ultrassom acionado pelo vento. | 89 |
| Figura 77. Emissor de ultrassom acionado eletricamente. | 89 |
| Figura 78. Representação esquemática da instalação de refletores às margens da rodovia..... | 90 |
| Figura 79. Refletores instalados em rodovia americana..... | 90 |
| Figura 80. Modelo de refletor..... | 90 |
| Figura 81. Representação esquemática da colocação de balizas visando à elevação da altura de voo de aves em rotas de movimentação. | 91 |

| | |
|--|-----|
| Figura 82. Jaguatirica, SC 438. | 92 |
| Figura 83. Caninana, BR 471/RS. | 92 |
| Figura 84. Veado, BR 153/RS. | 92 |
| Figura 85. Faixa de domínio com vegetação rasteira..... | 95 |
| Figura 86. Corredor de vegetação conectando habitats em área de orizicultura..... | 95 |
| Figura 87. Detalhe da foto anterior (BR 116/RS)..... | 95 |
| Figura 88. Utilização de vegetação na sinalização rodoviária: BR 101/RS. | 95 |
| Figura 89. Cerca com combinação de malhas fina e larga..... | 99 |
| Figura 90. Cerca com malha fina, para anfíbios e répteis | 99 |
| Figura 91. Cerca com rampa de escape | 99 |
| Figura 92. Capivara (seta) bloqueada por cerca com malhas decrescentes e base em alvenaria..... | 99 |
| Figura 93. Cerca de pedra, junto à BR 285/RS – São José dos Ausentes..... | 99 |
| Figura 94. Cerca com base em concreto e tela em malhas progressivas. | 100 |
| Figura 95. Cercas instaladas nos dois lados da pista. BR 101/RS..... | 100 |
| Figura 96. Solo estabilizado mecanicamente, por meio de geogrelhas estruturais, servindo como cerca direcionadora..... | 100 |
| Figura 97. “Mata-burro” instalado para evitar a entrada de animais no segmento cercado. BR 471/RS, Santa Vitória do Palmar. | 100 |
| Figura 98. Cortes transversais representando esquematicamente as feições topográficas em que as rodovias se inserem | 102 |
| Figura 99. Localização de passagem de fauna e telas condutoras em Projeto de Engenharia da BR 386/RS. | 105 |
| Figura 100. Croqui com especificações de passagem de fauna | 105 |
| Figura 101. Ficha de registro de atropelamentos utilizado no monitoramento durante a fase de instalação da duplicação da rodovia BR 386/RS trecho Tabai-Estrela..... | 114 |

| | |
|---|-----|
| Figura 102. Modelos de planilha de dados brutos proposto pelo IBAMA (2011)..... | 114 |
| Figura 103. Modelo de Sistema de Informações Geográficas..... | 115 |
| Figura 104. Retirada de animal atropelado, do leito da rodovia, | 116 |
| Figura 105. Capivara atropelada, BR 471 – Estação Ecológica do Taim/RS. | 116 |
| Figura 106. Dispositivo para armadilhamento fotográfico..... | 118 |
| Figura 107. Técnico instalando armadilha fotográfica, BR 392/RS. | 118 |
| Figura 108. Imagem noturna de Mão-pelada (<i>Procyon cancrivorus</i>), registrada por armadilha fotográfica..... | 118 |
| Figura 109. Graxaim-do-mato (<i>Cerdocyon thous</i>) registrado por armadilha fotográfica no monitoramento de implantação da BR 392/RS..... | 118 |
| Figura 110. Armadilha Sherman..... | 119 |
| Figura 111. Armadilha Tomahawk..... | 119 |
| Figura 112. Armadilhas de queda, com cercas direcionadoras..... | 119 |
| Figura 113. Armadilha de pegadas em faixa contínua junto ao acostamento | 120 |
| Figura 114. Armadilha de pegada: caixa de areia. | 120 |
| Figura 115. Pegada de capivara (<i>Hydrochaeris hydrochaeris</i>)..... | 120 |
| Figura 116. Pegada de jaguatirica (<i>Leopardus pardalis</i>) | 120 |
| Figura 117. Pegada de veado-mateiro (<i>Mazama americana</i>) | 120 |
| Figura 118. Rastreamento por telemetria. | 123 |
| Figura 119. Fêmea de onça-parda com rádio-colar..... | 123 |

Relação de Tabelas

| | |
|---|-----|
| Tabela 1. Principais normas legais federais do licenciamento ambiental..... | 28 |
| Tabela 2. Informações a serem obtidas no diagnóstico ambiental da fauna. | 43 |
| Tabela 3. Principais efeitos e impactos ambientais das rodovias sobre a fauna. | 46 |
| Tabela 4. Medidas conhecidas para mitigar impactos diretos de rodovias..... | 61 |
| Tabela 5. Etapas do processo de gestão adaptativa..... | 107 |
| Tabela 6. Métodos de amostragem e parâmetros acessados. | 113 |

Apresentação

O presente trabalho consiste de revisão bibliográfica sobre o campo da ciência denominado “Ecologia de Estradas” (FORMAN *et al.* 2003). Prioriza o levantamento e descrição dos tipos de estrutura de mitigação existentes, mas também abrange os aspectos relacionados à avaliação dos impactos de empreendimentos rodoviários sobre a fauna e ao monitoramento pós-implantação. Segue as regras de apresentação estabelecidas no Manual de Elaboração de Monografia do Curso de Especialização em Diversidade e Conservação da Fauna, do Departamento de Zoologia da UFRGS, versão 2012. Tabelas e figuras são apresentadas ao longo do texto, visando proporcionar fluidez e facilitar a compreensão. A literatura é citada conforme as normas do periódico Zoologia (antiga Revista Brasileira de Zoologia), publicada pela Sociedade Brasileira de Zoologia, reproduzidas no Anexo I e disponibilizadas em <http://sbzoologia.org.br/subcategoria.php?idcategoria1=16&idsubcategoria1=32>.

Fundamentada na revisão bibliográfica realizada, é proposta a estruturação lógica de um fluxo de procedimentos a ser utilizado no licenciamento ambiental de rodovias no Brasil, no que concerne à análise e mitigação dos impactos diretos deste tipo de obra de infraestrutura sobre a fauna. Concebido sob a forma de um guia de referência digital denominado “CONNECTE – Guia de procedimentos para mitigação de impactos de rodovias sobre a fauna”, sua implementação em caráter experimental é disponibilizada na rede mundial de computadores (Internet) no endereço www.lauxen.net/conecte.

1. Introdução

1.1. As rodovias e a fauna

Empreendimentos lineares, tais como linhas de transmissão de energia, ferrovias e rodovias, mesmo que essenciais na infraestrutura necessária ao desenvolvimento econômico de um país, trazem associados impactos sociais e ambientais frequentemente adversos. Sob o aspecto socioeconômico, podem resultar em alterações no uso e valor da terra, atração de populações humanas (FU *et al.* 2010) e modificações nos padrões produtivos. Ambientalmente, seus efeitos se manifestam sob inúmeras formas, algumas mais perceptíveis, como os atropelamentos de animais, e outras subjacentes, como a fragmentação e alterações nas características dos habitats.

A perda direta de habitats decorrente dos 6.200.000 km de rodovias públicas nos Estados Unidos foi estimada por FORMAN (2000) em cerca de 1% da extensão territorial daquele país, com efeitos ecológicos diretos, por meio de perturbações químicas, físicas e biológicas, sobre outros 18% de sua área. Comparativamente, para uma malha rodoviária brasileira implantada de 1.580.991 km (Figura 1) (DNIT 2012), dos quais 86,5 % não são pavimentados, e supondo-se uma média de plataforma estradal de 8 m para aquelas de pista simples e 27 m para rodovias duplicadas, atingir-se-ia uma área em torno de 12.800 km², ou 0,15% da área territorial nacional, com impactos ecológicos em quase 3% do país. Para efeito de comparação de grandezas, as 429 Unidades de Conservação (UCs) de Proteção Integral brasileiras atingiam 516.230 km² em 31/01/2012, ou 6,1% da área continental do país, enquanto as 1.079 UCs de Uso Sustentável totalizavam 943.635 km², ou 11,1% do território, totalizando 17,2% de áreas protegidas (CNUC-MMA 2012). Apesar dos números expressivos relacionados à perda direta de habitats pela construção de rodovias, percebe-se que este não constitui o seu impacto ambiental negativo mais relevante.

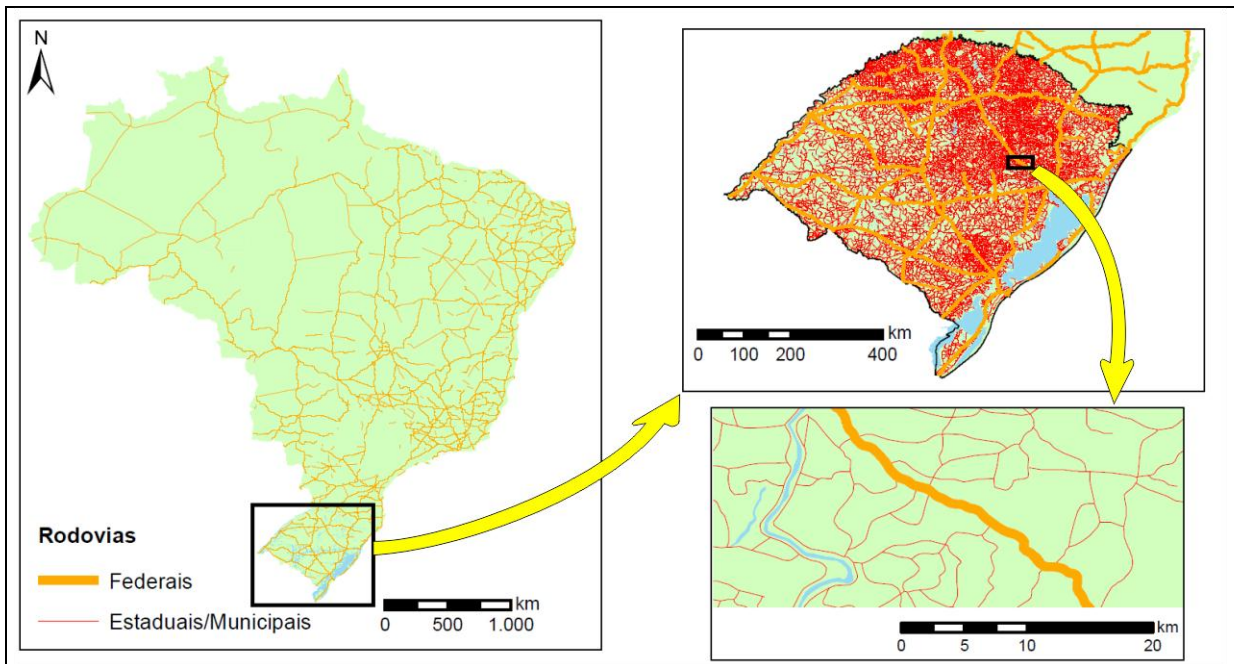


Figura 1. Rodovias federais brasileiras. No detalhe, malha rodoviária estadual e municipal do Rio Grande do Sul.

Base de dados: Ministério do Meio Ambiente (<http://mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm>).

A mortalidade de animais silvestres (CARR *et al.* 2002) e os efeitos de barreira representam as principais consequências adversas das rodovias, ao passo que a criação de corredores de dispersão e movimentação de fauna é um efeito a princípio positivo (SEILER 2001). Sob outra perspectiva, a da segurança humana, o número de acidentes fatais aumentou 104% entre 1990 e 2008 nos Estados Unidos, com custos bilionários relacionados aos danos com veículos (LANGLEY 2005; SULLIVAN 2011). Na Europa, os danos materiais atingem valores da mesma grandeza, resultando em mais de 300 perdas humanas por ano (SEILER 2001).

A percepção da dimensão destes impactos fez com que um novo campo da ciência fosse definido nas duas últimas décadas, a “ecologia de estradas”. No espectro dos estudos já realizados nesta área, a mortalidade da fauna devido aos atropelamentos se destaca, sendo objeto de cerca de 1/3 dos trabalhos publicados nos últimos dez anos (TAYLOR & GOLDINGAY 2010). Os resultados apresentam dados impressionantes: FORMAN & ALEXANDER (1998) estimaram o número de vertebrados

atropelados nas rodovias em cerca de um milhão por dia nos Estados Unidos, superando a quantidade de indivíduos abatidos pela caça e consistindo na principal causa de mortalidade direta deste grupo associada às atividades humanas. O número de aves mortas anualmente nas rodovias norte-americanas foi estimado em 80 milhões (ERICKSON *et al.* 2005), sendo os números europeus igualmente alarmantes: quatro milhões no Reino Unido, dois milhões na Holanda, 3,7 milhões na Dinamarca e 8,5 milhões na Suécia (SEILER 2001). Ainda que não tão extensivamente estudados como os vertebrados, sobre os quais se centram cerca de 80% dos levantamentos realizados na última década (TAYLOR & GOLDINGAY 2010), *taxa* com poucas informações, como os insetos, tendem a ser afetados em quantidades absolutas ainda maiores (FORMAN & ALEXANDER 1998; HAYWARD *et al.* 2010; RAO & GIRISH 2007). HASKELL (2000) constatou redução significativa na abundância e na riqueza da fauna de macroinvertebrados do solo em distâncias de 100 m e 15 m, respectivamente, a partir das margens de rodovias em áreas florestadas. O efeito de barreira, com a conseqüente fragmentação de habitats e as decorrentes repercussões adversas relacionadas à diversidade em seus mais variados graus, é outro efeito importante, abrangente e complexo dos empreendimentos lineares (K. KELLER *et al.* 2005; SEILER 2001). Neste contexto, enquanto não existe consenso sobre a dimensão dos impactos causados pela mortalidade e fragmentação de habitats e seus reflexos, a instalação de estruturas visando facilitar o deslocamento transversal da fauna, frequentemente associada a dispositivos que evitem seu acesso a áreas de maior risco nas rodovias, tem sido a medida padrão adotada em grande parte dos países econômica e cientificamente desenvolvidos, mesmo que não existam dados conclusivos referentes a sua efetividade nos diversos contextos e significância em termos de conservação da biodiversidade.

As estruturas para transposição visam tanto prevenir a morte direta de indivíduos quanto restabelecer a conectividade de habitats, existindo uma diversidade

de modelos de estruturas concebidas para atender uma espécie em particular, um grupo funcional ou toda a comunidade local. Diversas outras medidas, tais como sinalização e instalação de dispositivos redutores de velocidade, também têm sido adotadas, embora existam poucos dados objetivos quanto a sua eficácia.

1.2. O licenciamento ambiental e as medidas mitigadoras

Uma das características marcantes do século XX foi a expansão da infraestrutura que atende à sociedade humana, refletindo tanto o aumento de população, que praticamente quadruplicou no período (ONU 1999), quanto o crescimento econômico. As preocupações ambientais começaram a ser incorporadas à legislação das nações economicamente desenvolvidas a partir da década de 1970, especialmente após a Primeira Conferência Mundial sobre o Homem e o Meio Ambiente, promovida pela Organização das Nações Unidas em Estocolmo, em 1973. Boa parte da infraestrutura viária existente, estimada em 102.260.304 km (CIA 2008), já se encontrava implantada, visto que o desenvolvimento da indústria automobilística ocorreu exatamente ao longo do século passado. Assim, é comum se observar áreas ambientalmente sensíveis cortadas por rodovias, sem que os cuidados mais básicos tenham sido adotados (ARESCO 2005). Embora ações pontuais referentes à relação entre o tráfego de veículos e colisões com animais silvestres remontem à segunda década do século XX, a Ecologia de Estradas tal como delineada atualmente somente se consolidou nos últimos 20 anos (FORMAN *et al.* 2003). No século XXI, a integração da infraestrutura existente e a previsão e mitigação de impactos dos novos empreendimentos se configura como o grande desafio de cientistas, planejadores e gestores da área (AHERN *et al.* 2009). Além dos impactos objetivos derivados da instalação de rodovias, aspectos ideológicos e emotivos também são observados quando da proposição deste tipo de obras, tais como a atitude “NIMBY” (*Not in my*

backyard – Não no meu quintal) ou o comportamento “BANANA” (*Build Absolutely Nothing Anywhere Near Anyone* - “Construa-se absolutamente nada em qualquer lugar próximo a qualquer um”). Antigamente direcionados a obras como aterros sanitários, presídios e hidrelétricas, reações deste tipo são cada vez mais comuns em relação às rodovias (SPELLERBERG 2002), exigindo que o gestor ambiental embase solidamente o processo de tomada de decisão, não somente para prevenir os danos ambientais como para evitar a judicialização e conseqüente atraso de obras de interesse público.

No Brasil, o licenciamento ambiental de atividades e obras utilizadoras de recursos naturais ou potencialmente poluidoras teve início em meados da década de 1980. Até então, a malha rodoviária brasileira não teve considerada em sua implantação a perspectiva ecológica, resultando na geração de impactos que poderiam ter sido evitados. A construção de novas rodovias ou a ampliação da capacidade daquelas existentes está sujeita ao licenciamento ambiental (BRASIL 1997), processo no qual devem ser identificados seus impactos, avaliada sua viabilidade e previstas medidas preventivas, mitigadoras e compensatórias. Com a edição das Portarias Interministeriais nº 420 e nº 423 em outubro de 2011, foi instituído o Programa de Rodovias Federais Ambientalmente Sustentáveis, que objetiva regularizar ambientalmente nada menos que 55.000 km de rodovias nos próximos 20 anos. Entre os tópicos a serem abordados nos Relatórios de Controle Ambiental que subsidiarão a regularização, incluem-se itens específicos voltados à relação entre rodovias e fauna: identificar entre os passivos ambientais a “fauna impactada em função de atropelamento” e “identificar áreas potenciais para servirem como corredores e refúgio de fauna”, sendo destacado que a existência de passivos ambientais implicará na obrigatoriedade de apresentar Programa de recuperação dos mesmos. A regularização do licenciamento ambiental da parte mais importante da malha rodoviária brasileira oferece oportunidade ímpar para que seja mitigado o impacto que a mesma exerce

sobre a fauna, cabendo aos técnicos envolvidos estarem capacitados para lidar com esta questão.

Sendo relativamente recente no país, o licenciamento ambiental de empreendimentos rodoviários não tem protocolos consolidados visando diagnosticar os locais onde os riscos ligados aos atropelamentos de fauna e aos fluxos gênicos seriam mais relevantes. Diversas abordagens são empregadas, destacando-se a análise da paisagem por meio de vistorias e Sistemas de Informação Geográfica (SIG), levantamentos de animais atropelados ao longo de trechos já existentes e diagnósticos de fauna nas áreas de influência dos empreendimentos. Entretanto, os diagnósticos são realizados com metodologias distintas, tanto no que se refere ao esforço quanto às técnicas de amostragem e tratamento de dados, dificultando a comparação entre os diversos empreendimentos e impossibilitando a integração das informações em bases de dados que possibilitem análises em escalas mais abrangentes (regional ou nacional); não existem critérios claros para indicação de pontos críticos; e a avaliação da efetividade das medidas mitigadoras adotadas fica restrita ao âmbito dos respectivos processos e técnicos envolvidos, dificultando a compilação de informações que poderiam embasar ações futuras.

Nos órgãos públicos integrantes do Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA) responsáveis pelo licenciamento ambiental das novas rodovias ou ampliação daquelas já existentes, pouco ou nenhum regramento institucional está definido acerca dos procedimentos técnicos a serem adotados para avaliação dos impactos e tomada de decisão nas questões referentes à relação rodovia *versus* fauna, ainda que iniciativas isoladas procurem responder ao menos parcialmente a estas questões (IBAMA-ICMBio 2009). Normalmente a avaliação depende exclusivamente do conhecimento dos técnicos responsáveis pela condução dos processos e se baseia em estudos elaborados a partir de Termos de Referência desatualizados e/ou genéricos.

Conseqüentemente, os estudos desenvolvidos pelas empresas de consultoria e apresentados aos órgãos ambientais como subsídio à tomada de decisão são frequentemente insuficientes, pouco propositivos e raramente conclusivos. O poder público se insere, novamente, na terceira vertente deste processo, na medida em que na quase totalidade dos casos é também o empreendedor, por meio dos Departamentos Nacional e Estaduais de Transportes, visto que as etapas de planejamento e projeto são realizadas com reduzida inserção do componente ambiental.

O distanciamento entre os atores intervenientes no processo afeta substancialmente a qualidade do diagnóstico e a tempestividade das ações de prevenção e mitigação. A falta de integração de dados e prioridades de cada setor nas fases iniciais de planejamento gera resultados ecologicamente menos eficientes do que seria possível se consideradas previamente as perspectivas econômicas, ambientais e culturais. Iniciativas com o objetivo de identificar estas variáveis e reuni-las em bases de dados comuns e disponíveis aos intervenientes têm sido propostas tanto no exterior (BACHER-GRESOCK & SCHWARZER 2009) quanto no Brasil (DRUCKER 2011), inclusive sob a forma de regulamentação da participação dos diversos atores no âmbito do processo de licenciamento ambiental (Portaria MMA nº 419/2011).

Há que se observar, entretanto, que a regulamentação brasileira referente à participação destes diversos órgãos não resulta na integração de bases de dados, planejamento conjunto e comprometimento recíproco na seleção de alternativas tecnologicamente viáveis, ecologicamente vantajosas e socialmente benéficas, conforme proposto por BACHER-GRESOCK & SCHWARZER (2009) em sua abordagem ecossistêmica denominada *Eco-Logical*, já adotada nos Estados Unidos. Ainda que sob a ausência de regulamentação específica, observa-se no Brasil uma crescente integração entre biólogos e engenheiros atuantes no planejamento e construção de

rodovias, com os envolvidos assimilando princípios e restrições técnicas das demais áreas de conhecimento, restando, entretanto, a institucionalização do processo e comprometimento formal dos órgãos envolvidos quanto à necessidade de atendimento das premissas básicas de cada setor.

Como elemento dificultador, não existe consenso científico quanto à metodologia de identificação de locais sensíveis e, portanto, essenciais para proteção da fauna em rodovias. Diversas abordagens foram propostas (BAGER & ROSA 2010; BECKMANN *et al.* 2010; COELHO *et al.* 2008; DIAZ-VARELA *et al.* 2011; FORMAN *et al.* 2003; HURLEY *et al.* 2009; LANGEN *et al.* 2009; MALO *et al.* 2004; REA *et al.* 2006; ROGER & RAMP 2009), as quais podem considerar tanto a paisagem atual quanto sua tendência futura, assim como inúmeras medidas propostas para sua mitigação (BECKMANN *et al.* 2010; CLEVENGER & HUIJSER 2011; GLISTA *et al.* 2009; GRAY 2009; JONES & BOND 2010; RAMP & CROFT 2006). Algumas destas medidas são bastante conhecidas, embora muitas vezes aplicadas com tecnologias e critérios inadequados, tais como as passagens inferiores de fauna, enquanto outras permanecem desconhecidas de boa parcela dos biólogos, ecólogos e engenheiros brasileiros diretamente relacionados ao setor de infraestrutura e licenciamento ambiental.

O monitoramento pós-construção é essencial para avaliação da efetividade das medidas adotadas, identificação de possíveis adequações necessárias e consolidação de uma base de conhecimentos que subsidie a tomada de decisão futura. Entretanto, não existe uma padronização de metodologias e desenhos amostrais que permitam a comparação de dados obtidos em diferentes situações (BANK *et al.* 2002).

Com a proliferação de estudos sobre o tema, especialmente nos Estados Unidos, Europa e Austrália, já se dispõe de um lastro de conhecimentos e princípios que devem ser considerados nas fases de planejamento, instalação e operação de empreendimentos rodoviários. A literatura específica está disponível sob a forma de

publicações científicas, as quais são praticamente inacessíveis fora do ambiente acadêmico, sítios eletrônicos de órgãos governamentais estrangeiros e raros livros editados na última década (BECKMANN *et al.* 2010; COUNCIL 2005; FORMAN *et al.* 2003; HUIJSER *et al.* 2007; IUELL *et al.* 2003; MAGNUS *et al.* 2004; SPELLERBERG 2002). Não existe até o momento uma compilação brasileira destas informações, quanto mais considerando as peculiaridades locais. Centros de pesquisa e órgãos públicos norte-americanos têm procurado consolidar estas informações e definir roteiros para o diagnóstico da situação e definição de medidas que reduzam o impacto das rodovias sobre o hábitat por elas afetado, especialmente no que se refere à fauna (BISSONETTE *et al.* 2007; CALTRANS 2009; CLEVINGER & HUIJSER 2011), sendo a elaboração de guias e manuais desta natureza uma das recomendações do Departamento de Transportes dos Estados Unidos (BANK *et al.* 2002). Ainda que proponham fluxos de procedimentos por vezes distintos, estes “Guias” de avaliação e tomada de decisão se assemelham quanto às questões-chave a serem respondidas: 1) se a previsão de impactos indica a necessidade de mitigação, 2) onde e como aplicar medidas mitigadoras e 3) se as medidas adotadas foram eficazes. Como material de apoio, apresentam alternativas técnicas para mitigação do problema e estudos de caso.

A disponibilização de um *Guia de procedimentos para mitigação dos impactos das rodovias sobre a fauna* aos atores envolvidos diretamente no licenciamento ambiental no Brasil (empreendedores, consultores e gestores) e ao público em geral (sociedade e pesquisadores) permitiria um nivelamento de informações e métodos, estabelecendo um patamar mínimo para enfrentamento do problema, qualificando o processo de licenciamento e resultando na adoção de medidas mais eficazes para a conservação dos ecossistemas. Em relação a estas medidas, a compilação e caracterização das alternativas, estruturais ou não, para mitigação dos atropelamentos

e manutenção da conectividade entre habitats também se configura como uma demanda premente dos técnicos brasileiros do setor.

Considerando o estágio relativamente inicial deste campo do conhecimento, ao qual são adicionadas informações em velocidade crescente, e as múltiplas instâncias às quais a ferramenta se destina, um guia desta natureza deve ser concebido e disponibilizado em formato que permita contínua atualização e fácil distribuição. A organização destas informações em um sítio da rede mundial de computadores (Internet) parece ser a forma mais adequada de reunir estas características desejáveis, sendo a alternativa escolhida para apresentação e difusão do produto originado por esta monografia.

2. Objetivos

Baseado nas iniciativas internacionais existentes, o presente trabalho visa propor uma estrutura conceitual para um *Guia de procedimentos para mitigação dos impactos das rodovias sobre a fauna*. Tal documento deve servir de subsídio aos partícipes do processo de licenciamento ambiental de obras de infraestrutura rodoviárias no Brasil tanto pela indicação clara das questões a serem respondidas em cada etapa do processo, quanto pela descrição dos métodos, ferramentas e soluções conhecidas.

Dentro da estrutura prevista para o Guia (Diagnóstico, Mitigação e Monitoramento), pretende relacionar e caracterizar as medidas mitigadoras atualmente conhecidas, voltadas aos impactos diretos sobre a fauna, propondo ainda os fundamentos básicos a serem desenvolvidos futuramente nos demais tópicos (Diagnóstico e Monitoramento).

Por fim, pretende implementar experimentalmente o Guia sob a forma de uma página na rede mundial de computadores (Internet).

3. Material e métodos

A revisão bibliográfica foi realizada por meio de consulta às bases de dados relativas às áreas do conhecimento “Ciências Biológicas” e “Ciências Ambientais” disponíveis no Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), no período de maio de 2011 a maio de 2012.

Os termos utilizados para pesquisa foram aqueles diretamente relacionados ao tema: “road”, “road ecology”, “road kill”, “habitat fragmentation”, “connectivity”, “mortality” e “mitigation”. Adicionalmente, a análise da literatura citada nos artigos e livros consultados permitiu identificar novas referências que não haviam sido localizadas por meio do sistema de busca da CAPES.

Textos integrais não disponíveis no acervo de periódicos disponibilizado pela CAPES foram solicitados por mensagens eletrônicas aos respectivos autores.

A legislação ambiental brasileira foi consultada junto ao portal de busca da Subchefia para Assuntos Jurídicos da Casa Civil da Presidência da República (<http://www4.planalto.gov.br/legislação>) e do Ministério do Meio Ambiente (<http://www.mma.gov.br/conama/>).

Fotos, ilustrações, tabelas e gráficos, quando não citada a fonte, são originais.

A construção do sítio eletrônico foi realizada com a utilização dos softwares Adobe Flash CS5 (versão de avaliação) e Adobe Dreamweaver CS5 v. 11 - Compilação 4909 (versão de avaliação), baseada na linguagem de programação HTML™ 1.0 (HyperText Markup Language) Transitional.

A construção do mapa interativo foi realizada na plataforma ArcGIS Online (<http://www.esri.com>), sendo os dados demonstrativos provenientes do licenciamento ambiental da rodovia BR386/RS-IBAMA (DNIT-UFSC/FAPEU 2011), e processados nos softwares GPS Trackmaker Pro e ArcGIS Desktop 9.2 (Licença float CSR/IBAMA).

O conteúdo está armazenado no servidor UOLHost e disponibilizado no domínio www.lauxen.net/conecte.

4. Resultados

4.1. Produção científica consultada

A revisão bibliográfica resultou na consulta aos textos integrais de 230 referências específicas sobre ecologia de estradas, além de normas legais, manuais rodoviários e processos de licenciamento ambiental. Deste universo, são citados ao longo desta monografia 158 trabalhos, sendo todos os demais referenciados no sítio eletrônico Conecte, na seção Bibliografia.

Os Estados Unidos se destacam com a maior produção científica sobre o tema, com 40% das referências consultadas (Figura 2). Somando-se aos dados produzidos no Canadá, a América do Norte contribui com mais de 55% dos trabalhos, seguida da Europa (23,5%) e Oceania (10,9%). A bibliografia brasileira é escassa (6,1%), visto que foi super-representada no presente trabalho devido ao enfoque e origem. Ainda assim, representa a quase totalidade do conhecimento na área produzido na América do Sul.

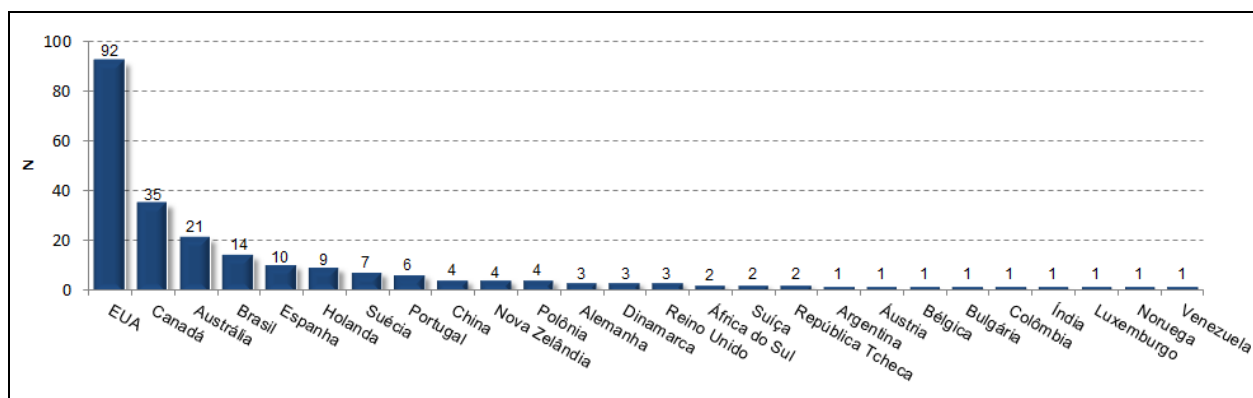


Figura 2. Número de referências por país de origem. Total = 230.

Artigos científicos sobre o tema totalizaram 174 (Figura 3), sendo 84% dos mesmos publicados nos últimos dez anos (Figura 4), o que caracteriza o desenvolvimento crescente da ecologia de estradas. Há uma considerável produção de relatórios governamentais nesta área, compilando informações, propondo roteiros para diagnóstico e tomada de decisão no processo de planejamento e construção

rodoviários. Os organizadores de tais relatórios, normalmente, são pesquisadores com produção científica expressiva neste campo do conhecimento. Além disso, nove livros e quatro teses ou dissertações foram consultados.

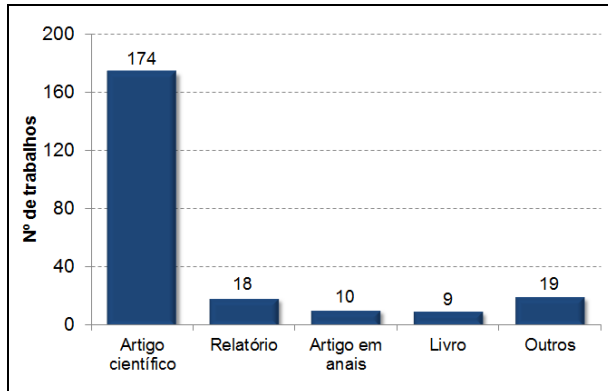


Figura 3. Tipos de publicações consultados. N = 230.

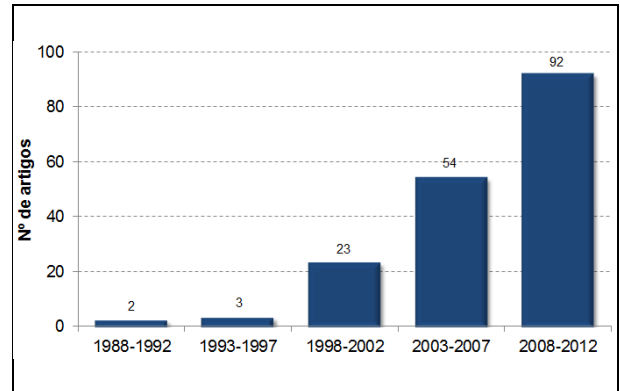


Figura 4. Artigos científicos consultados, por intervalo quinquenal de publicação. N = 174.

A bibliografia consultada (Figura 5) abrange estudos de caso (especialmente registros de atropelamentos), levantamentos e revisões sobre impactos de rodovias, metodologias de diagnóstico e monitoramento, análise de medidas mitigadoras, propostas de guias de procedimentos e, também, duas publicações sobre o tema na mídia impressa brasileira. Mais da metade enfoca grupos animais genéricos, normalmente vertebrados (Figura 6), e 25,3% especificamente mamíferos, restando aproximadamente 20% de trabalhos sobre aves, anfíbios, répteis, artrópodos, peixes e macroinvertebrados da serapilheira.

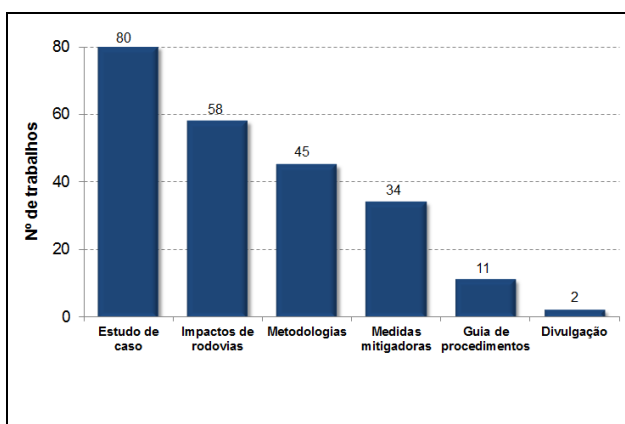


Figura 5. Temas abordados na bibliografia consultada. N = 230.

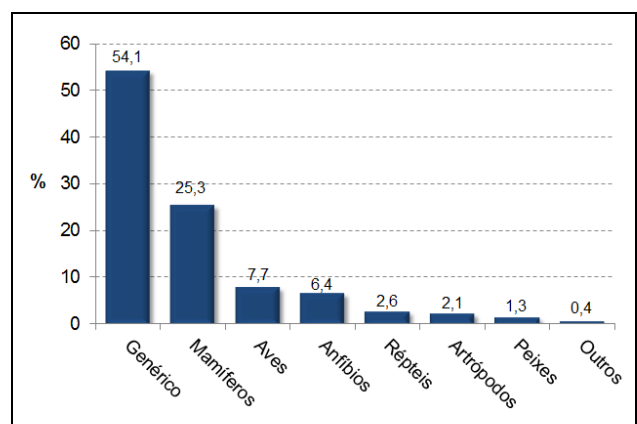


Figura 6. Grupos animais enfocados na literatura revisada. N = 230.

Apesar de frequentemente avaliadas as medidas mitigadoras no contexto das publicações, nem sempre os autores se posicionam conclusivamente e recomendam sua adoção. Quando o fazem, aquelas mais difundidas se destacam, tais como a utilização de cercas, bueiros modificados e passagens inferiores e superiores (Figura 7).

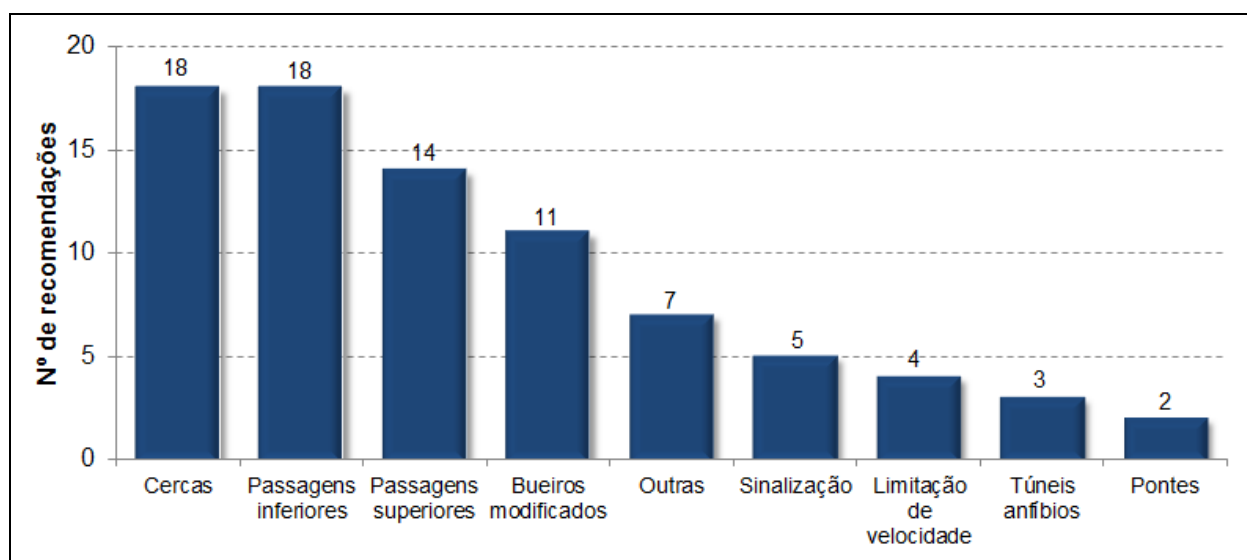


Figura 7. Medidas mitigadoras recomendadas, conforme bibliografia revisada. N = 89.

4.2. Guia eletrônico de procedimentos

O Guia reproduz a estrutura básica da presente monografia, apresentando inicialmente a fundamentação, caracterização histórica, objetivos e regras administrativas e legais do processo de licenciamento ambiental. Contextualizada a problemática, o encaminhamento proposto reproduz a sequência das etapas do processo de licenciamento (Figura 8) cruciais para sua resolução: diagnosticar a relevância do impacto e conseqüentemente a dimensão da mitigação necessária; identificar entre as soluções conhecidas aquela mais adequada ao contexto; e, finalmente, avaliar a situação pós-implantação do empreendimento e a eficiência das medidas adotadas, dentro da concepção adaptativa do processo, que visa à contínua melhoria de procedimentos. A fase de instalação do empreendimento é enfocada superficialmente, visto que não é durante esta etapa que se concentram os maiores

impactos sobre a fauna, abordando-se apenas os procedimentos referentes ao controle da implantação das medidas mitigadoras adotadas e eventuais correções específicas que podem potencializar a eficiência das mesmas.

Especial atenção é dada ao tópico referente às medidas mitigadoras conhecidas, por meio da descrição detalhada das 27 alternativas identificadas por meio da presente revisão bibliográfica, as quais foram distribuídas em dois grandes grupos de acordo com suas características básicas: intervenções estruturais e medidas de manejo (usuários e biológico). Para melhor compreensão, as estruturas físicas foram ilustradas com fotografias e desenhos, sempre que possível originais, ou então com os devidos créditos autorais claramente especificados.

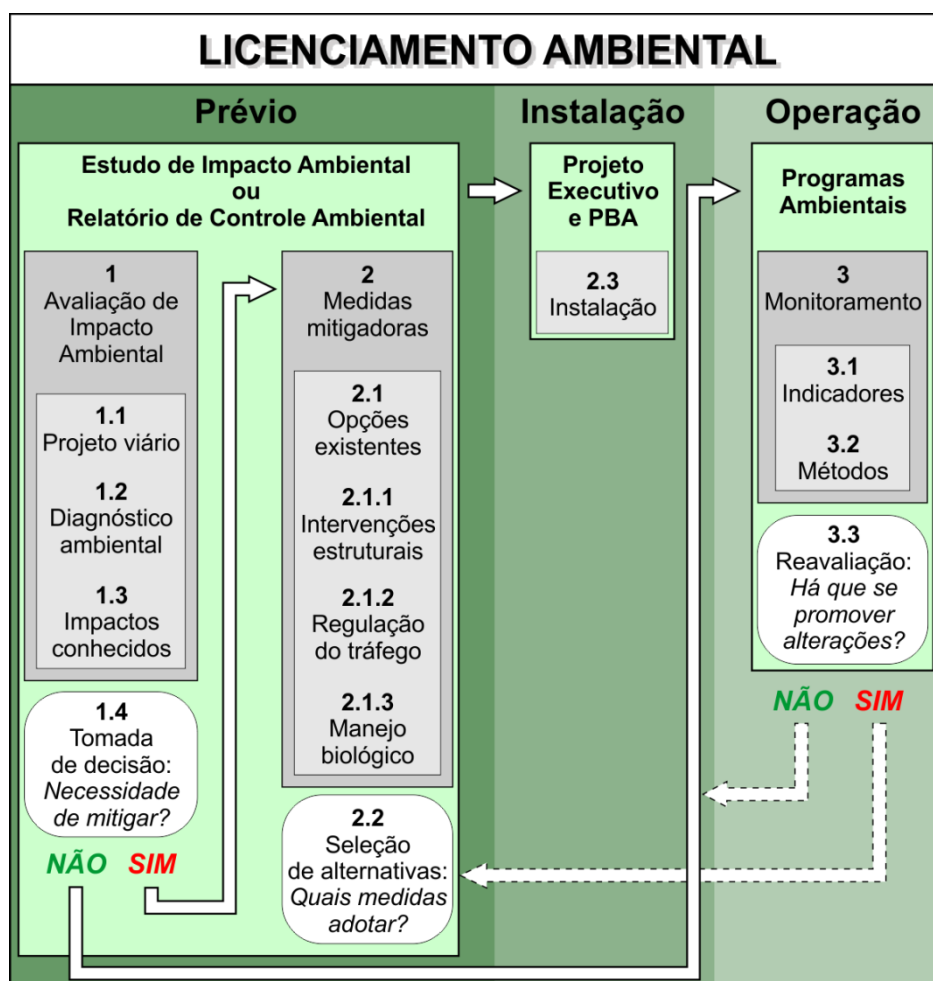


Figura 8. Fluxograma do Guia de procedimentos para mitigação dos impactos das rodovias sobre a fauna, tendo como base as etapas do processo de licenciamento ambiental.

O sítio eletrônico foi desenhado com uma interface gráfica (Figura 9) praticamente sem elementos que propiciem a dispersão da atenção ou possibilidade de saída acidental do domínio de hospedagem. Todos os links externos forçam a abertura de nova guia de navegação, fazendo com que a página principal somente seja abandonada de forma consciente pelo usuário. Os links internos ao longo do texto foram reduzidos ao mínimo necessário e restritos às situações em que o entendimento do conteúdo será maximizado pela leitura imediata.

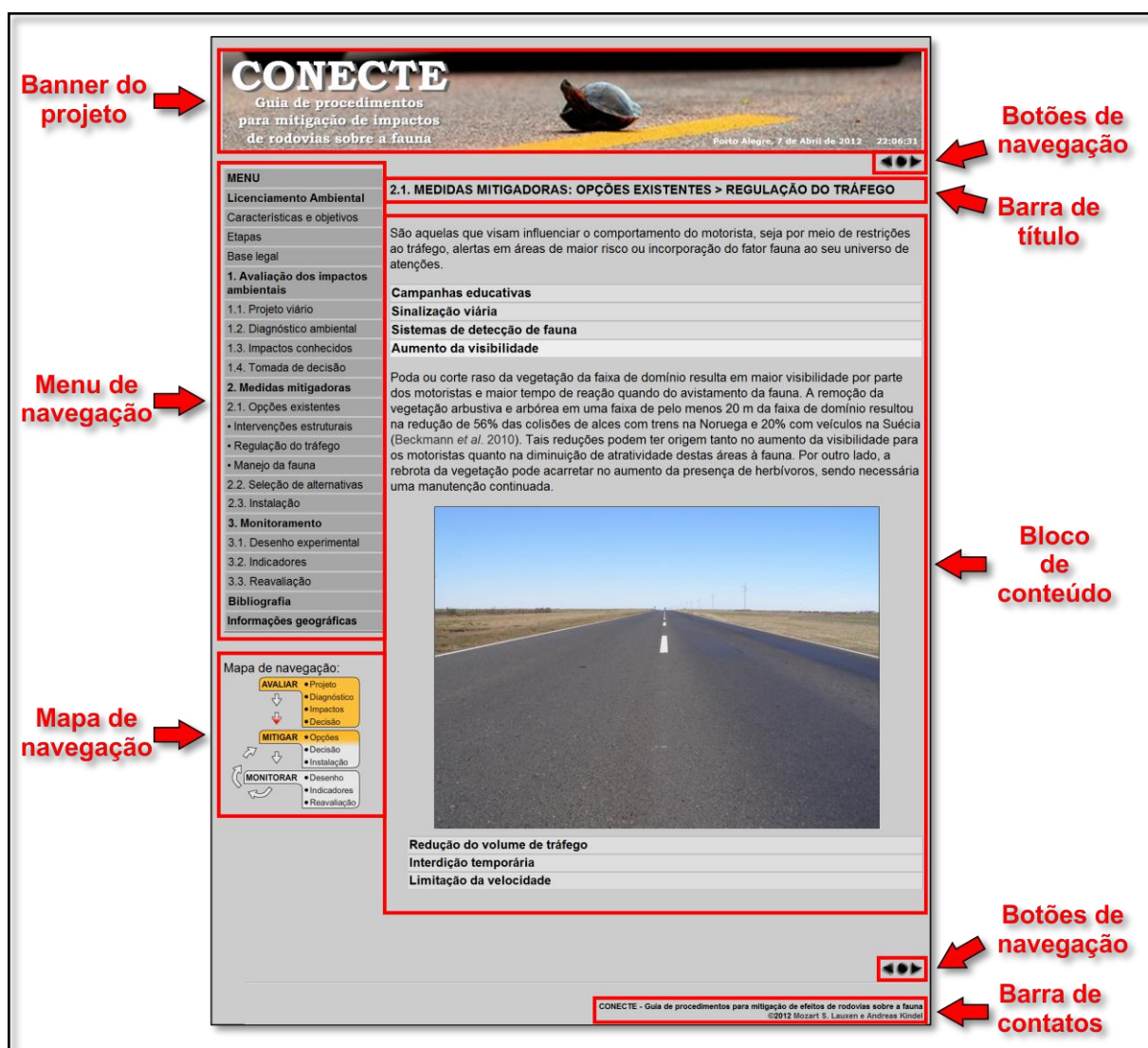


Figura 9. Estrutura gráfica do sítio eletrônico.

É incentivada a navegação sequencial ao longo do conteúdo disponibilizado, visando que o usuário acompanhe a lógica do processo. Para tanto, além do menu

apresentar os itens na ordem proposta, botões de navegação permitem a transição automática para o próximo bloco de conteúdo, e um mapa de navegação indica graficamente, a cada página navegada, o estágio do processo em que o usuário se encontra.

As citações bibliográficas ao longo de todo o texto direcionam para a página geral de referências, na qual o usuário dispõe de diversas opções para o acesso ao documento: download do arquivo em formato pdf, hospedado no próprio servidor do domínio *Conecte*, quando o conteúdo é de acesso público pela rede mundial de computadores; endereço DOI (*Digital Object Identifier*), de caráter permanente e único, que possibilita a estabilidade da ligação ao arquivo no domínio da instituição detentora; endereço eletrônico do artigo em base de dados integrante do Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES); e endereço do sítio eletrônico do periódico ou editora.

4.2.1. Licenciamento ambiental

A partir da inserção na legislação americana da necessidade de se avaliar os impactos ambientais das ações governamentais daquele país, em 1970, com o NEPA (*National Environmental Policy Act*), diversos outros países adotaram procedimentos semelhantes. No Brasil, a obrigatoriedade do licenciamento ambiental para instalação de obras ou atividades potencialmente poluidoras ou utilizadoras de recursos naturais foi prevista no âmbito da Política Nacional do Meio Ambiente, lançada em 1981.

De modo similar ao modelo norte-americano, no qual é publicado um “Registro de Decisão” (*Record of Decision* - ROD) explicando as razões da decisão e apresentando as medidas mitigadoras e o programa de monitoramento a ser adotado (SÁNCHEZ 2008), o licenciamento ambiental no Brasil prevê a publicidade das diversas fases do processo, incluindo aí os Pareceres Técnicos que subsidiam a decisão e as

Licenças emitidas, nas quais são discriminadas as condicionantes para implantação do empreendimento. No plano federal, tanto os estudos ambientais quanto os demais documentos do processo de licenciamento podem ser acessados por qualquer interessado no sítio do IBAMA na Internet (www.ibama.gov.br/licenciamento).

4.2.1.1. Características e objetivos

O licenciamento ambiental é definido pela Resolução CONAMA nº 237/1997 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". Entre estes empreendimentos, encontram-se as rodovias (Resolução CONAMA nº 001/1986).

Seus objetivos são disciplinar o acesso e uso dos recursos naturais e prevenir danos ambientais. Assume normalmente caráter preventivo (SÁNCHEZ 2008), mas pode assumir caráter corretivo quando da identificação de impactos na fase de operação dos empreendimentos, por ocasião de sua ampliação ou nos processos de regularização ambiental daqueles instalados previamente à legislação, como a maior parte das rodovias brasileiras.

É uma atribuição do Estado, por meio das limitações que pode impor ao direito individual em nome do direito coletivo (poder de polícia), analisar a viabilidade ambiental de um empreendimento e conceder ou não a Licença Ambiental. A definição da esfera de competência da análise (federal, estadual ou municipal), as etapas a serem seguidas e o conteúdo mínimo a ser abordado são regulamentados, no plano federal, por Leis, Decretos, Resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente

(CONAMA), Portarias e Instruções Normativas do Ministério do Meio Ambiente (MMA) e do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). As principais normas se encontram reunidas no item 4.2.1.3. *Base Legal*.

A avaliação da viabilidade ambiental de uma dada obra ou atividade é baseada na previsão de seus impactos e análise da sua importância socioeconômica. Ao definir a viabilidade, o órgão ambiental estabelece como serão neutralizados ou minimizados os impactos negativos e compensados os danos inevitáveis (Figura 10). A “compensação ambiental” é uma obrigação prevista na Lei nº 9.985/2000 (Lei do Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza), sendo calculada conforme metodologia regulamentada pelo Decreto Federal nº 4.340/2002 e podendo atingir até 0,5% do valor de referência do empreendimento. A lógica do processo de licenciamento é similar àquela utilizada nos países desenvolvidos do hemisfério Norte (BANK *et al.* 2002).

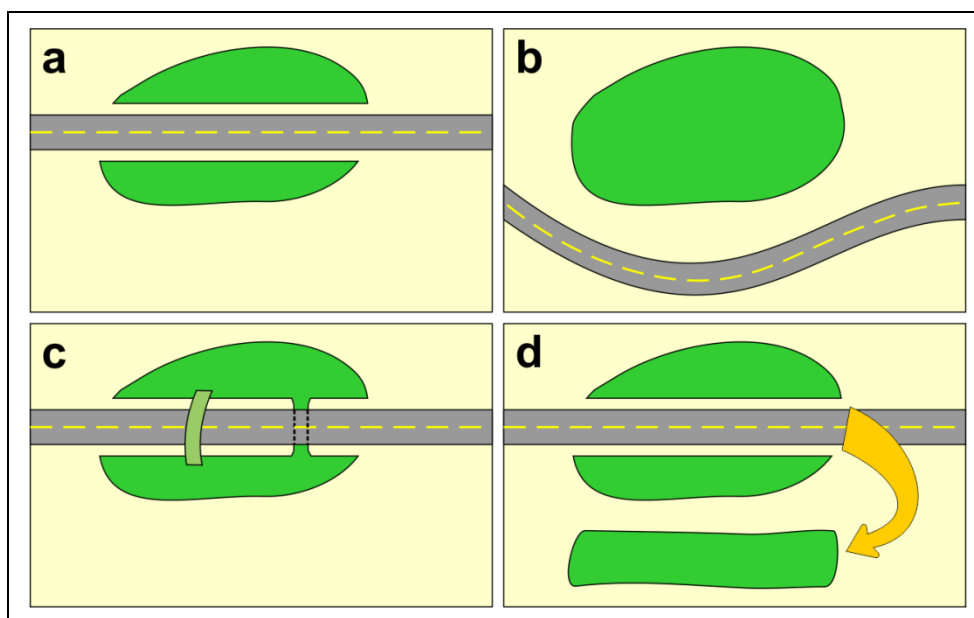


Figura 10. Representação esquemática das alternativas existentes no contexto do licenciamento ambiental, quando verificada a viabilidade ambiental de uma obra: a) impacto causado pela rodovia (fragmentação do habitat), b) neutralização do impacto potencial pela alteração do traçado, c) mitigação do impacto por meio da implantação de estruturas de passagem de fauna e d) compensação por meio da destinação de habitat equivalente para fins de conservação. Adaptado de (LUELL *et al.* 2003).

4.2.1.2. Etapas

Três tipos de Licenças são previstas pelo Art. 19 do Decreto Federal nº 99.274/1990: a Licença Prévia (LP), na fase preliminar do planejamento da atividade, contendo requisitos básicos a serem atendidos nas fases de localização, instalação e operação; a Licença de Instalação (LI), autorizando o início das obras de implantação, de acordo com as especificações constantes no Projeto de Engenharia aprovado; e a Licença de Operação (LO), autorizando, após as verificações necessárias, o início da atividade licenciada e o funcionamento de seus dispositivos de controle, previstos nas Licenças Prévia e de Instalação. Para obtenção destas Licenças, o empreendedor (no Brasil, geralmente o órgão responsável pelo sistema viário federal - DNIT, ou os órgãos estaduais correspondentes) as solicita sequencialmente ao órgão ambiental competente (IBAMA ou órgãos estaduais correspondentes) e segue a tramitação específica definida pelo mesmo. Apesar de variarem em aspectos secundários, as etapas seguem basicamente o fluxo de procedimentos apresentado na Figura 11, adotado pelo IBAMA.

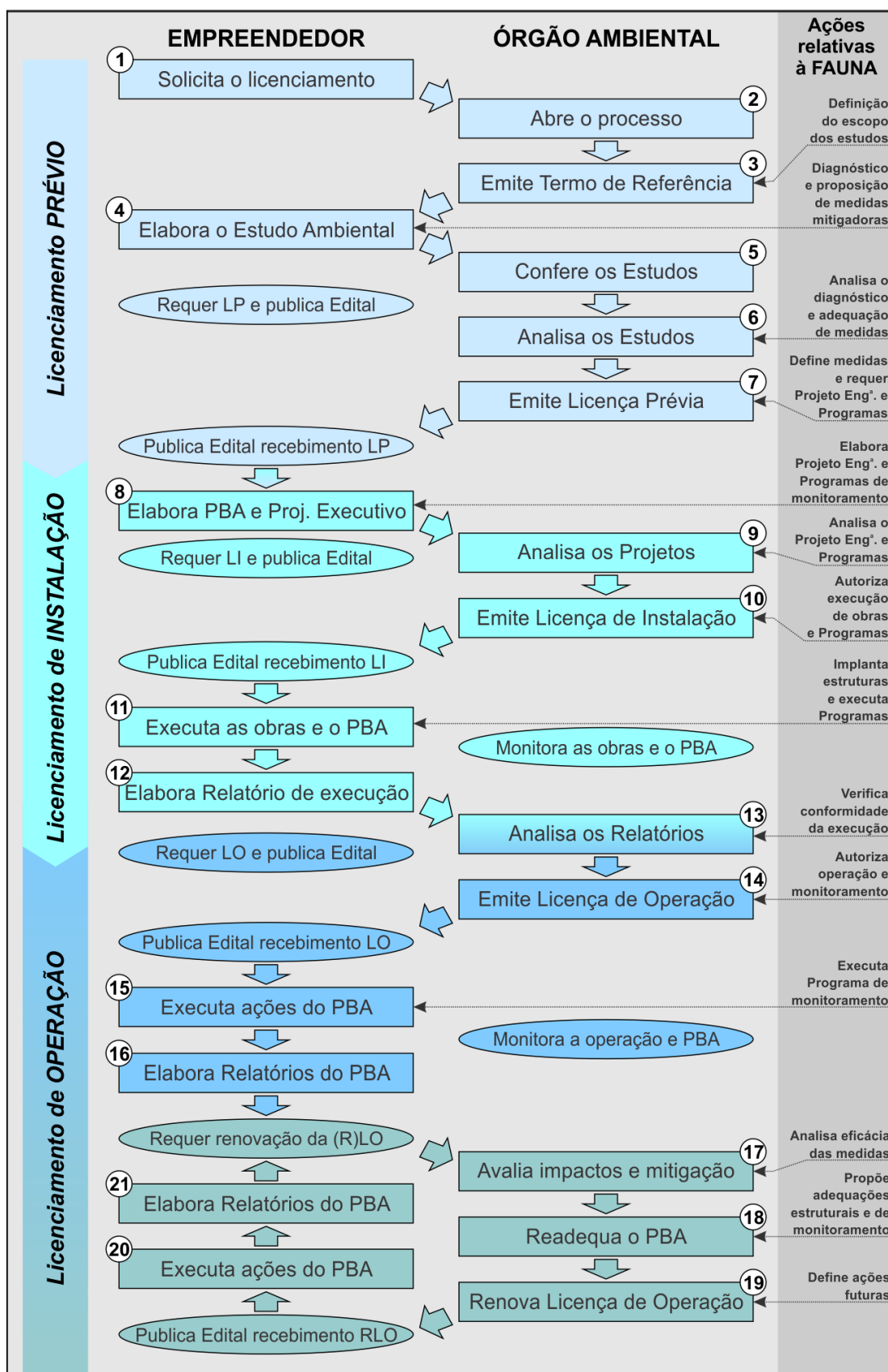


Figura 11. Fluxo de procedimentos no Licenciamento Ambiental Federal.

Em relação às etapas numeradas na Figura 11, podem ser realizadas as seguintes observações:

1. A solicitação de abertura do processo é feita por meio do preenchimento do Formulário de Solicitação de Abertura de Processo - FAP, diretamente no sítio do órgão na Internet, incluindo a caracterização do empreendimento.

2. O IBAMA formaliza a abertura do processo de Licenciamento e encaminha o respectivo número ao empreendedor, em meio eletrônico, em um prazo máximo de 10 dias.

3. O Termo de Referência (TR) define o escopo dos Estudos ambientais. Para sua elaboração, pode ser necessária apresentação do projeto por parte do empreendedor e realização de vistoria à área proposta para implantação. Os órgãos federais intervenientes (FUNAI, IPHAN e Fundação Cultural Palmares) e os Órgãos Estaduais de Meio Ambiente (OEMAs) são consultados para apresentação de contribuições ao TR. O TR deve ser encaminhado ao empreendedor em um prazo máximo de 60 dias após a abertura do processo.

4. O Estudo ambiental é realizado por equipe técnica multidisciplinar contratada pelo empreendedor. Após o recebimento do TR, o Estudo deve ser entregue ao órgão ambiental em um prazo máximo de 2 (dois) anos, sob pena de perda de validade do TR.

5. A conferência dos Estudos apresentados (*check-list*) é realizada para verificar se todos os tópicos previstos no TR foram abordados. O órgão ambiental tem um prazo de 30 dias para realizar esta conferência. Não sendo aceitos, é realizada a devolução dos Estudos para adequação ao TR, com a devida publicação do Edital de Devolução no Diário Oficial da União.

6. A análise técnica dos Estudos é realizada por equipe multidisciplinar de analistas do órgão ambiental. Geralmente são realizadas vistorias para conferir os dados apresentados e subsidiar a elaboração de Parecer Técnico conclusivo. O prazo

de análise é de 180 dias (IN IBAMA nº 184/2008). Caso seja constatada deficiência em algum tópico do estudo, são solicitadas complementações ao empreendedor, ficando suspensa a contagem do prazo de análise até que as mesmas sejam apresentadas. Os órgãos federais intervenientes (FUNAI, IPHAN e Fundação Cultural Palmares) e os Órgãos Estaduais de Meio Ambiente (OEMAs) são consultados para se manifestarem quanto ao teor dos Estudos.

7. Após emissão de Parecer Técnico conclusivo que indique sua viabilidade, o órgão ambiental emite a Licença Prévia, especificando o período de validade, localização, características e medidas mitigadoras referentes aos impactos identificados. Sua validade deve ser no mínimo igual à do cronograma de elaboração do PBA e dos Projetos relativos ao empreendimento, não podendo ser superior a 5 anos.

8. O Projeto Básico Ambiental contém os Programas Ambientais, os quais detalham as ações mitigadoras e de monitoramento. Além dele e do Projeto de Engenharia, o empreendedor deve apresentar o Plano de Compensação Ambiental para ter analisado seu requerimento de Licença de Instalação.

9. A análise técnica dos Projetos é realizada por equipe multidisciplinar de analistas do órgão ambiental. O PBA também é encaminhado aos órgãos intervenientes para manifestação. O prazo máximo para análise é de 75 dias.

10. A Licença de Instalação autoriza a execução das obras conforme especificações do Projeto Executivo e condicionadas à execução do Projeto Básico Ambiental. A análise destes itens deve constar de Parecer Técnico conclusivo do órgão ambiental, que subsidiará a decisão de emitir a Licença. Sua validade deve ser no mínimo igual ao cronograma de implantação, com um limite de 6 anos.

11. O empreendedor é responsável pela execução do PBA conforme aprovado no processo de licenciamento.

12. O empreendedor apresenta relatórios parciais e final referentes à execução do PBA.

13. O órgão ambiental realiza vistorias e analisa os relatórios referentes à execução do PBA. O prazo para análise do relatório final e elaboração de Parecer para a Licença de Operação é de 45 dias.

14. A Licença de Operação especifica as condições de funcionamento e estabelece Programas Ambientais de mitigação e monitoramento a serem executados na fase de operação da rodovia. Sua emissão também está associada à análise constante de Parecer Técnico conclusivo. Pode ter validade entre 4 e 10 anos,

15. O empreendedor deve executar os Programas Ambientais integrantes do PBA conforme aprovado no processo de licenciamento.

16. O empreendedor deve apresentar periodicamente relatórios referentes à execução do PBA.

17. O órgão ambiental deve avaliar criticamente os resultados dos Programas Ambientais e das medidas mitigadoras implementadas.

18. Baseado nos resultados observados são propostas adequações aos Programas Ambientais e à estrutura do empreendimento.

19. A Renovação da Licença de Operação especifica as condições de funcionamento e redefine os Programas Ambientais de mitigação e monitoramento a serem executados no próximo período de operação da rodovia.

20. O empreendedor deve executar os Programas Ambientais integrantes do PBA conforme aprovados no processo de renovação da LO.

21. O empreendedor deve apresentar periodicamente relatórios referentes à execução do PBA.

4.2.1.3. Base legal

A Lei Federal nº 6.938/1981 (Política Nacional do Meio Ambiente) foi regulamentada pelo Decreto Federal nº 99.274/1990. Este, seguindo a determinação do Artigo 225 da Constituição Federal de 1988, prevê a realização de estudos prévios de impacto ambiental e apresenta seu escopo, que inclui o diagnóstico ambiental da área, a descrição do projeto e suas alternativas e a identificação, análise e previsão dos impactos significativos, positivos e negativos. A Resolução CONAMA nº 01/1986 detalha a abrangência dos estudos, acrescentando a necessidade de abordarem as medidas mitigadoras dos impactos negativos e preverem um Programa de acompanhamento e monitoramento dos impactos. Esta mesma Resolução determina que a construção de estradas de rodagem com duas ou mais faixas de rolamento deve ser precedida da elaboração de estudo de impacto ambiental.

No âmbito federal, o fluxo detalhado de procedimentos é determinado pela Instrução Normativa IBAMA nº 184/2008, de 17/07/2008. Portarias dos Ministérios do Meio Ambiente e dos Transportes editadas em 2011 definem os procedimentos específicos para o licenciamento ambiental de rodovias e regularização da malha rodoviária federal já implantada.

As principais normas legais federais a serem seguidas no licenciamento ambiental, acrescidas daquelas específicas ao licenciamento de rodovias, são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Principais normas legais federais do licenciamento ambiental.

| Referência Legal | Data | Assunto |
|-------------------------------------|------------|---|
| Lei Federal nº 6.938/81 | 31/08/1981 | Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente. |
| Resolução CONAMA nº 001/86 | 23/01/1986 | Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental. |
| Resolução CONAMA nº 006/86 | 24/01/1986 | Dispõe sobre a aprovação de modelos para publicação de pedidos de licenciamento. |
| Resolução CONAMA nº 009/87 | 03/12/1987 | Dispõe sobre a realização de Audiências Públicas no processo de licenciamento. |
| Constituição Federal | 05/10/1988 | Capítulo VI: Do Meio Ambiente. |
| Decreto Federal 99.274/90 | 06/06/1990 | Regulamenta a Lei Federal nº 6.938/81, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente. |
| Resolução CONAMA nº 237/97 | 22/12/1997 | Dispõe sobre a revisão e complementação dos procedimentos e critérios utilizados para o licenciamento. |
| Lei Federal nº 9.985/00 | 18/07/2000 | Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC) e prevê a compensação ambiental. |
| Resolução CONAMA nº 281/01 | 12/07/2001 | Dispõe sobre modelos de publicação de pedidos de licenciamento. |
| Resolução CONAMA nº 303/02 | 20/03/2002 | Dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente. |
| Decreto Federal nº 4.340/02 | 22/08/2002 | Regulamenta artigos da Lei do SNUC e compensação ambiental. |
| Instrução Normativa IBAMA nº 183/08 | 17/07/2008 | Cria o Sistema Informatizado do Licenciamento Ambiental - SisLic, no âmbito do IBAMA. |
| Instrução Normativa IBAMA nº 184/08 | 17/07/2008 | Estabelece os procedimentos para o licenciamento ambiental federal. |
| Decreto Federal nº 6.848/09 | 14/05/2009 | Altera e acrescenta dispositivos ao Decreto Federal nº 4.340/02, para regulamentar a compensação ambiental. |
| Resolução CONAMA nº 428/10 | 17/12/2010 | Dispõe sobre a autorização do órgão responsável pela administração da Unidade de Conservação (UC) no âmbito dos processos de licenciamento. |
| Instrução Normativa IBAMA Nº 8/11 | 14/07/2011 | Regulamenta, no âmbito do IBAMA, o procedimento da Compensação Ambiental. |
| Portaria Interministerial nº 419/11 | 26/10/2011 | Regulamenta a atuação dos órgãos e entidades da Administração Pública Federal envolvidos no licenciamento. |
| Portaria MMA nº 420/11 | 26/10/2011 | Dispõe sobre procedimentos a serem aplicados pelo IBAMA na regularização e no licenciamento ambiental das rodovias federais. |
| Portaria Interministerial nº 423/11 | 26/10/2011 | Institui o Programa de Rodovias Federais Ambientalmente Sustentáveis para a regularização ambiental das rodovias federais. |
| Lei Complementar nº 140/11 | 08/12/2011 | Fixa normas para competência do licenciamento ambiental, entre outras providências. |

4.2.2. Avaliação de Impacto Ambiental (AIA)

A Lei Federal nº 12.379/2011 dispõe sobre o Sistema Nacional de Viação (SNV) brasileiro e estabelece como objetivos deste “I - assegurar a unidade nacional e a integração regional; II - garantir a malha viária estratégica necessária à segurança do território nacional; III - promover a integração física com os sistemas viários dos países limítrofes; IV - atender aos grandes fluxos de mercadorias em regime de eficiência, por meio de corredores estratégicos de exportação e abastecimento; e V - prover meios e facilidades para o transporte de passageiros e cargas, em âmbito interestadual e internacional”. Prevê em seu artigo 11 que “A implantação de componente do SNV será precedida da elaboração do respectivo projeto de engenharia e da obtenção das devidas licenças ambientais”. Os Ministérios dos Transportes e da Defesa elaboram o Plano Nacional de Logística e Transportes (PNLT), que subsidia a definição estratégica das políticas do setor. Portanto, ao ter início o processo de licenciamento ambiental de uma ligação rodoviária, instâncias superiores de poder e representativas da sociedade definiram que a mesma é necessária, assim como o modal de transporte.

Cabe ao órgão ambiental analisar a viabilidade ambiental da mesma, observadas as alternativas locacionais e tecnológicas para sua implantação. Como alternativas locacionais, entendem-se as opções de traçado entre os pontos A e B, passando eventualmente pelos pontos X e Y, se definidos como finalísticos do projeto. Como alternativas tecnológicas, pode-se considerar o tipo de pavimento e de obras-de-arte (túneis, viadutos, pontes, elevadas, etc), por exemplo. Para a definição da viabilidade ambiental do empreendimento, o órgão ambiental deve dispor de dados suficientes para avaliar se sua implantação, sob determinadas condições, não provocará danos em dimensões tais que comprometam a preservação dos processos ecológicos, conforme o Artigo nº 225 da Constituição Federal. Dificilmente uma rodovia causará danos tais que comprometam a preservação de um processo ecológico em

escala nacional, dadas as dimensões continentais de um país como o Brasil. Entretanto, a cumulatividade e sinergia dos empreendimentos que compõem a malha viária também deve ser considerada, assim como as pressões de desenvolvimento regional e conseqüente ocupação do solo por ela estimuladas. O diagnóstico dos meios físico, biótico e socioeconômico fundamenta o prognóstico dos impactos causados por sua implantação, em um processo conhecido como Avaliação de Impacto Ambiental. Se vislumbradas alternativas tecnológicas e locacionais que permitam a instalação do empreendimento com impactos que não comprometam a preservação dos processos ecológicos na escala considerada, o empreendimento pode ser considerado ambientalmente viável. A avaliação quanto à dimensão dos danos ambientais provocados pelo empreendimento e que não são mitigáveis, mas ainda assim não comprometem sua viabilidade ambiental, é realizada conforme metodologia prevista no Decreto Federal nº 6.848/2009, com fins de cálculo da compensação ambiental prevista pelo Artigo 36 da Lei Federal nº 9.985/2000 (Lei do Sistema Nacional de Unidades de Conservação). A definição de alternativas locacionais que minimizem ou previnam danos também é realizada com base no diagnóstico prévio, considerando os diversos fatores envolvidos (biológico, físico, social e econômico). A presente análise se foca na avaliação das dimensões dos impactos sobre a fauna e as alternativas técnicas conhecidas para mitigá-las, pressupondo que a adoção das mesmas será suficiente para garantir a viabilidade do empreendimento no que se refere a este aspecto.

Dentre as diversas definições de Impacto Ambiental, aquela adotada por WATHERN (1988 *apud* SÁNCHEZ 2008), que incorpora o caráter dinâmico dos processos no meio ambiente parece ser a mais adequada e realista, visto que não considera apenas a relação entre a situação antes e após a instalação do empreendimento, mas também a evolução prevista da qualidade ambiental da área afetada: "A mudança em

um parâmetro ambiental, num determinado período e numa determinada área, que resulta de uma dada atividade, comparada com a situação que ocorreria, se essa atividade não tivesse sido iniciada". No caso específico da relação entre as rodovias e a fauna, esta noção é particularmente importante, pois ainda que se constate um impacto negativo considerado significativo no presente, dados os elevados custos de implantação de muitas das medidas mitigadoras e os limitados recursos, é essencial que se considere no processo de seleção das áreas prioritárias para mitigação aquelas que potencialmente têm maior probabilidade de, no futuro, continuarem sendo ecologicamente importantes. Exemplificando, o restabelecimento de conectividade entre dois fragmentos que têm grande chance de serem eliminados em reduzido espaço de tempo, seja pela conversão em áreas agropecuárias ou pela urbanização, representa um investimento com discutível custo-benefício se comparada com a manutenção da conectividade entre fragmentos com boa possibilidade de conservação, ainda que com indicadores de atropelamentos não tão marcantes como na primeira situação. A combinação de fatores como a importância da área, sua perspectiva de manutenção futura e dimensão do impacto previsto devem ser elementos centrais na análise e definição da mitigação dos danos.

Conceitualmente, também é importante que se tenha a clareza que a rodovia em si, não configura um impacto ambiental; ela deve ser considerada como a causa, mas os impactos são efetivamente os resultados da ação humana, no caso, sua construção e operação (SÁNCHEZ 2008). Da mesma forma, as definições de "Aspecto Ambiental", introduzida pelas normas da série ISO 14.000 e abrangida pela NBR ISO 14.001:2004, e "Efeito ambiental", conforme proposta por um dos pioneiros no campo da AIA, MUNN (1975 *apud* SÁNCHEZ 2008), distinguem-se de Impacto Ambiental. Aspecto ou Efeito ambiental pode ser definido como a alteração de um processo natural ou social decorrente de uma ação humana. Assim, temos que o

empreendimento rodovia, ocasiona o efeito ambiental tráfego e, em consequência, o impacto ambiental mortalidade de fauna. Nesta lógica, os efeitos ambientais representam a interface entre as causas (ações humanas) e as consequências (impactos ambientais) (SÁNCHEZ 2008).

A Avaliação de Impacto Ambiental é um elemento do processo de tomada de decisão, portanto deve ser realizada previamente à instalação do empreendimento. Em determinadas situações, entretanto, pode ser desejável que os impactos de uma atividade já em operação tenha seus impactos ambientais dimensionados, como uma rodovia existente, por exemplo. Neste caso, a nomenclatura recomendada para a identificação dos impactos é Avaliação de Danos Ambientais, diferenciando-se da anterior, pois ao invés de projetar impactos futuros, avalia a situação atual em relação àquela que se supõe existia no passado. Em ambos os casos, entretanto, a caracterização das condições ambientais no presente é denominada Diagnóstico Ambiental (SÁNCHEZ 2008), e integra o escopo dos estudos ambientais necessários ao licenciamento. Uma proposição de conteúdo mínimo para que o diagnóstico seja efetivo para subsidiar a tomada de decisão consta do item 4.2.2.2 do presente trabalho. Na elaboração dos estudos ambientais, os técnicos devem ser capazes de prognosticar os impactos do projeto viário no cenário ambiental, propor alterações no traçado que venham a evitá-los e medidas mitigadoras para minimizar sua dimensão.

4.2.2.1. Projeto viário

Quatro contextos abrangem a maioria das situações relativas ao licenciamento ambiental de obras viárias: a) implantação de uma nova rodovia, b) pavimentação de estradas já existentes, c) ampliação da capacidade por meio da implantação de pistas adicionais àquelas já pavimentadas e d) regularização ambiental de rodovias já

implantadas (Figura 12). A viabilidade de intervenção no âmbito de um processo de licenciamento ambiental varia consideravelmente dependendo da situação, pois fatores como os custos de implantação, funcionalidade do tráfego e características socioeconômicas já estabilizadas no entorno de um traçado existente dificultam a adoção de traçados alternativos. A maior oportunidade de se minimizar os impactos se apresenta quando da implantação de uma nova rodovia, pois por ocasião da definição de seu traçado podem ser evitadas as áreas ecologicamente mais sensíveis, em termos de estado de conservação e extensão da cobertura vegetal (CALTRANS 2009). Isto deve ser feito a partir de um diagnóstico dos meios físico e biótico, incluindo a caracterização da situação de conservação da região e a análise cartográfica destes fatores, verificação da possibilidade de utilização de corredores multiuso (rodovias e transmissão de energia, por exemplo), avaliação dos impactos ambientais e finalmente seleção da alternativa menos impactante entre aquelas existentes (BANK *et al.* 2002).

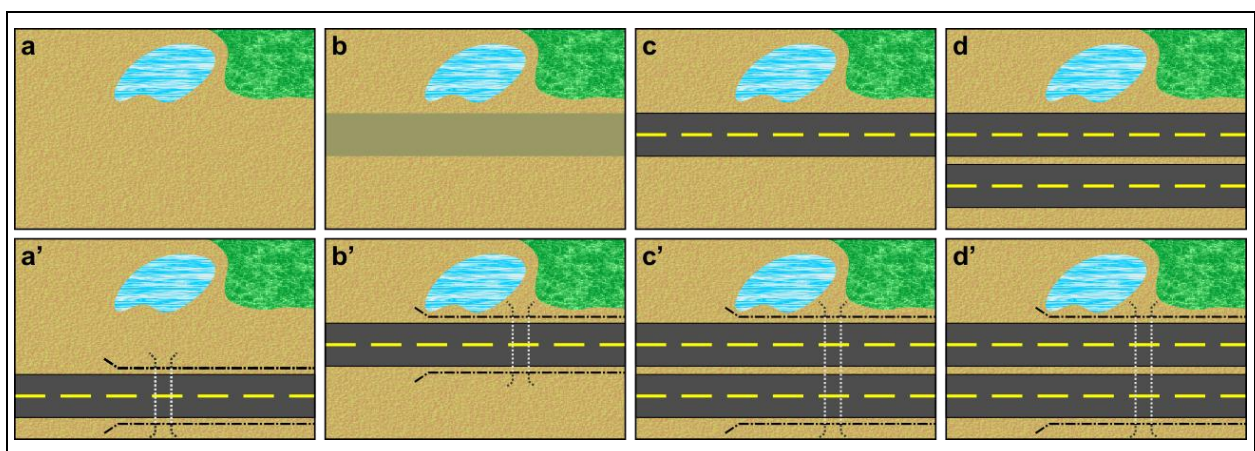


Figura 12. Representação esquemática dos tipos de intervenção usualmente verificados no licenciamento de obras rodoviárias: a-a' = implantação (antes e depois); b-b' = pavimentação (antes e depois); c-c' = ampliação da capacidade ou duplicação (antes e depois); d-d' = regularização de rodovias já implantadas. Ainda que possível efetuar alterações em traçados existentes, visando minimizar impactos em corpos hídricos ou áreas vegetadas, a degradação já existente dificilmente pode ser recuperada.

Entretanto, a grande maioria das intervenções atualmente se refere à pavimentação de trechos já implantados e ampliação da capacidade de rodovias de pista simples já pavimentadas, por meio da construção de novas pistas. A regularização ambiental das rodovias construídas previamente à década de 1980,

quando foi instituída a previsão legal do licenciamento, é uma situação que tende a adquirir papel central no contexto da avaliação de impactos sobre a fauna e sua mitigação, com a definição de um calendário para sua efetivação a partir da publicação da Portaria Interministerial nº 423/2011. Apesar de não haver previsão de readequação de traçados, existe a possibilidade de adequações, inclusive estruturais, destinadas à mitigação de impactos diagnosticados sobre a fauna. Apesar de aplicável a qualquer um dos contextos mencionados, a abordagem do presente trabalho se direciona principalmente às últimas situações, ou seja, a mitigação de impactos sobre a fauna em traçados já definidos e implantados. Decisões quanto a alterações de traçado, nestes casos, são limitadas e pontuais, devendo ser embasadas em análise detalhada da paisagem, identificação de áreas ecologicamente prioritárias e viabilidade econômica e construtiva (raios de curva, inclinação das rampas, solos, etc).

No início do processo de licenciamento ambiental de uma rodovia, o empreendedor deve apresentar projetos básicos contendo os traçados alternativos propostos. É fundamental que estes projetos sejam apresentados em arquivos vetoriais georreferenciados para que possam ser incorporados ao SIG do órgão ambiental. Outro dado importante é a estimativa de cortes e aterros em cada um dos traçados, visto que impactos significativos ocorrem justamente na etapa de instalação do empreendimento, decorrentes da movimentação de solos. O detalhamento topográfico e das obras de arte correntes e especiais é essencial para que possam ser identificadas oportunidades de intervenção e mitigação de impactos, pois inclusive pequenas alterações podem ser suficientes para a criação de corredores de fauna.

Para subsidiar a Licença de Instalação do empreendimento, deve ser apresentado o Projeto de Engenharia da rodovia, incorporando as adequações definidas na etapa do licenciamento prévio. Nele devem estar especificadas as características estruturais de pontes, bueiros, cercas e demais estruturas relacionadas

ao sistema de conectividade proposto, as quais devem ser revisadas pelos técnicos ambientais e ter sua execução acompanhada durante a fase de construção.

4.2.2.2. Diagnóstico ambiental

Sabendo que, por definição, sempre ocorrerá impacto ambiental em algum grau, ainda que a escolha do traçado tenha sido realizada da maneira mais criteriosa possível, cabe aos gestores ambientais avaliar a necessidade de implantação de adequações estruturais ou relacionadas ao manejo da área de influência para a manutenção da conectividade. O conhecimento da biodiversidade local, de seus fluxos e da utilização de corredores de passagem pelas espécies presentes são questões essenciais para a tomada de decisão quanto à necessidade e o tipo de estruturas a serem eventualmente instaladas.

Para podermos definir quais as medidas mitigadoras necessárias, também é importante que o diagnóstico da situação identifique as características das comunidades envolvidas e o potencial impacto gerado pela construção de uma dada rodovia. Por exemplo, se o principal impacto se relacionar à mortalidade em si, uma medida que vise evitar estas ocorrências será a melhor solução. Caso o efeito de barreira seja mais importante para os grupos considerados prioritários na região, estruturas que venham a facilitar os deslocamentos serão mais adequadas. Normalmente, a combinação de ambas as medidas apresenta os melhores resultados (AHERN *et al.* 2009).

ROEDENBECK *et al.* (2007) identificam cinco questões relevantes na ecologia de estradas:

1. *Em quais circunstâncias as estradas afetam a persistência das populações?*

A maioria dos estudos documenta a mortalidade provocada pelas rodovias ou avaliam seus efeitos na movimentação da fauna, sem, contudo, permitir inferências consistentes sobre a viabilidade populacional. Como as respostas variam tanto entre as espécies quanto entre os diferentes ambientes nos quais as rodovias se inserem, além de demandarem intenso esforço amostral, a obtenção de dados com este objetivo no âmbito do licenciamento deve ser direcionada à(s) espécie(s) de particular relevância, se existente(s), em cada contexto, sendo progressivamente acumuladas informações que subsidiem avaliações futuras em situações similares.

2. Qual a importância relativa do impacto das rodovias na persistência das populações?

Considerando a diversidade das ações antrópicas impactantes sobre a fauna, o desenho experimental deve possibilitar, na medida do possível, identificar os diversos fatores atuantes em cada contexto e avaliar a importância do componente rodoviário sobre dado impacto nos grupos faunísticos. Esta particularidade é especialmente relevante no contexto do licenciamento ambiental, pois a responsabilidade da mitigação dos impactos por parte do empreendedor deve se limitar aqueles gerados pelo empreendimento, não devendo os mesmos ser sub ou superestimados em decorrência de uma definição imprecisa dos fatores que os ocasionam.

3. Em quais circunstâncias os impactos das rodovias podem ser mitigados?

Identificada a contribuição negativa e substancial da rodovia sobre as populações animais, deve ser avaliado sob qual forma pode ser realizada e qual o custo econômico da mitigação. Esta pode não garantir a viabilidade de uma determinada população, visto que os demais fatores atuantes já podem tê-la comprometida. As medidas mitigadoras podem não neutralizar totalmente os impactos da rodovia, mas caso resultem em um incremento considerável da viabilidade populacional podem ser consideradas bem sucedidas. A seleção da medida adequada

também não segue uma regra absoluta e única, devendo ser baseada no diagnóstico ambiental, nas espécies-alvo, na extensão do impacto previsto, na avaliação do custo-benefício e no histórico de avaliações de desempenho de cada medida em circunstâncias similares, este último fator sendo continuamente revisto à medida que se acumulem dados consistentes de monitoramento.

4. Qual a importância relativa dos diferentes mecanismos pelos quais as rodovias afetam a persistência das populações?

A identificação do modo pelo qual a rodovia afeta a(s) espécie(s)-alvo é desejável, pois permite fundamentar a seleção da estratégia mitigadora mais adequada ao vetor principal do impacto (mortalidade, restrição de mobilidade, alterações ou perda dos habitats), ou adoção de medidas que atendam múltiplas finalidades.

5. Sob quais circunstâncias a malha rodoviária afeta a persistência das populações em uma menor escala de paisagem?

Avaliar o impacto cumulativo e sinérgico da malha rodoviária requer abordagens dependentes da área de vida das espécies enfocadas, pois aquelas com maiores necessidades tendem a ser mais afetadas pela soma dos impactos dos empreendimentos isolados.

Tais questões enfocam principalmente aspectos populacionais, de maior interesse científico, cujas respostas dificilmente podem ser obtidas como rotina em um processo isolado de licenciamento ambiental, salvo em situações particulares, nas quais uma ou poucas espécies são o foco específico da mitigação. Entretanto, o acúmulo de dados obtidos nos processos de licenciamento, em diversos contextos, e respeitando um desenho experimental robusto, pode auxiliar na resposta a questões ecológicas mais complexas, as quais representam um patamar superior na avaliação

da necessidade ou não de mitigação. A obtenção de informações desta natureza deve ser estimulada no meio acadêmico, visando formar uma base de conhecimento nacional passível de ser utilizada em diferentes contextos.

A confirmação de que uma estrutura mitigadora promove conectividade para determinados grupos, embora válida, esclarece pontualmente a questão de sua efetividade, sem, entretanto, responder conclusivamente se outros fatores não ocasionam, por exemplo, o aumento de determinadas populações pelo impacto diferencial da rodovia sobre predadores, beneficiando os primeiros e se refletindo em maiores taxas de uso dos dispositivos. Ainda assim, enquanto as questões de fundo da ecologia de estradas não são respondidas, questões de menor complexidade podem e devem ser avaliadas para que se justifique o investimento em ações mitigadoras.

A regulamentação do processo de licenciamento ambiental em escala federal prevê que o Termo de Referência para elaboração dos estudos ambientais tem validade de dois anos (Instrução Normativa IBAMA nº 184/2008), prazo no qual o empreendedor deve apresentar os estudos solicitados. Assim, o diagnóstico é realizado em um tempo limitado, atingindo no máximo o intervalo de tempo necessário para a obtenção de dados que abranjam a sazonalidade ao longo de um ano, dificilmente sendo obtidos dados primários quantitativos sobre a ecologia das espécies e populações com grau de confiabilidade equivalente aquele obtido em pesquisas científicas de longa duração.

Além do projeto rodoviário e da caracterização geral do meio biótico, a indicação de áreas sensíveis é subsidiada pelo inventário de atropelamentos e, nos Estados Unidos e na Europa, vem crescentemente sendo utilizadas informações de caçadores e proprietários rurais (BANK *et al.* 2002). Sabendo-se que, em regra, os locais onde os animais interagem com as rodovias estão positivamente correlacionados

com drenagens e áreas florestadas (BARNUM 2003), a análise da paisagem no entorno do empreendimento é outro elemento chave na determinação de pontos prioritários para intervenção. Sua inserção em um ambiente de geoprocessamento, em conjunto com outros temas relevantes, como uso do solo e Unidades de Conservação, por exemplo (CARVALHO & MIRA 2011), é uma das ferramentas mais importantes para o diagnóstico de áreas relevantes para a conectividade e indicação de medidas mitigadoras (Figura 13).

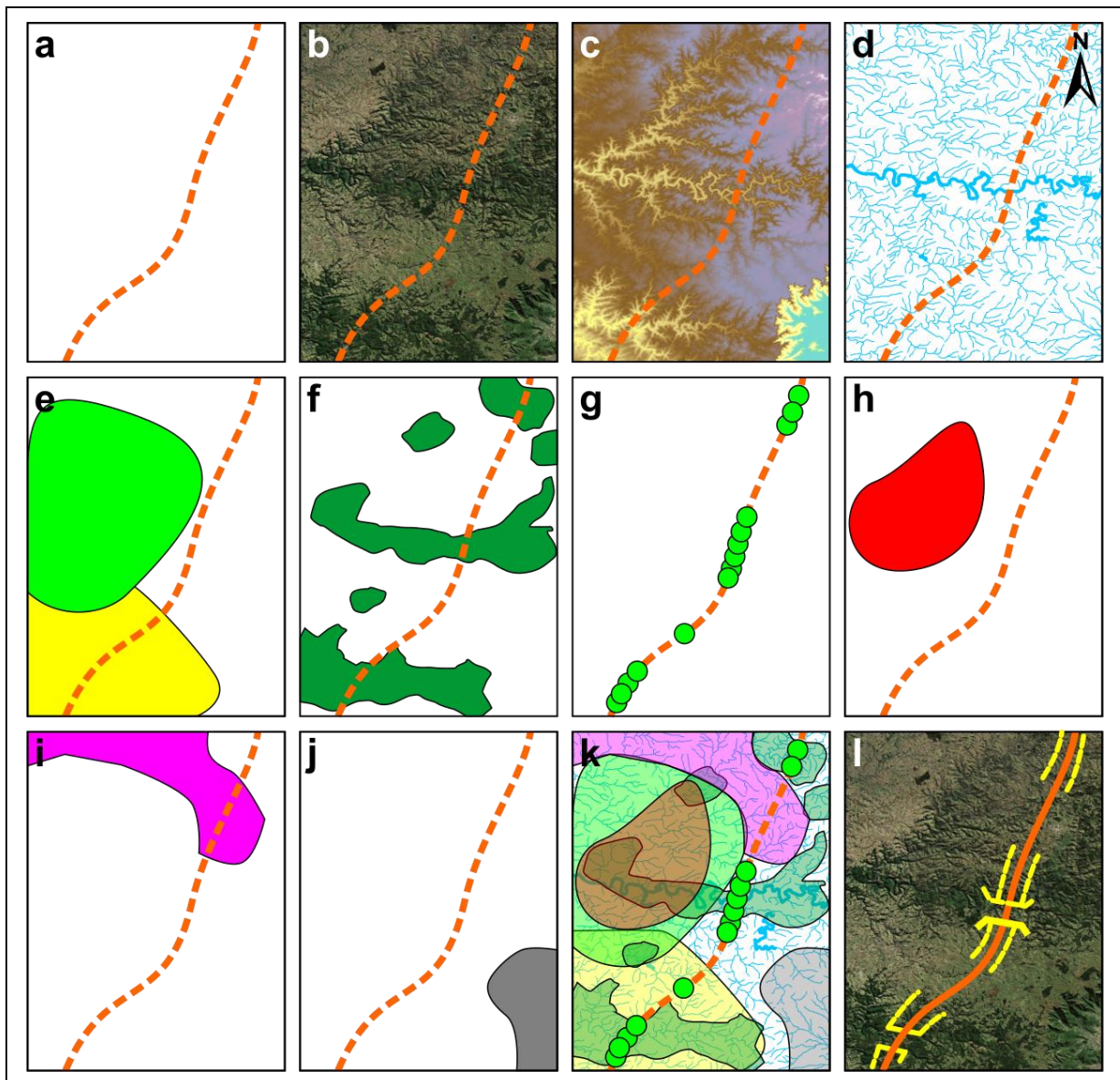


Figura 13. Exemplos de planos de informação úteis em um SIG para identificação de áreas prioritárias na manutenção da conectividade: a) traçado proposto, b) imagem aérea, c) hipsometria, d) hidrografia, e) áreas prioritárias para conservação, f) remanescentes de vegetação nativa, g) registros de atropelamentos, h) Unidades de conservação, i) potencial agrícola, j) áreas urbanas. Em k) geoprocessamento e análise dos temas, e em l) indicação das medidas mitigadoras (cercas e passagens de fauna).

Além da distribuição potencial de espécies na área de influência do empreendimento, obtida por meio da revisão de dados já publicados, dois tipos de dados relacionados à fauna são normalmente obtidos nos estudos integrantes dos processos de licenciamento ambiental no Brasil: levantamento qualitativo da fauna na área diretamente afetada pelo empreendimento (normalmente 500 m para cada lado do eixo da rodovia) e levantamento quantitativo de atropelamentos no traçado existente. A combinação destes dados, acrescida da análise da paisagem atravessada pela rodovia, fornece subsídios à identificação dos sítios de interesse para implantação de medidas mitigadoras. Esta é uma estratégia conservadora de abordagem ao problema, baseada talvez excessivamente no princípio da precaução, pois não oferece dados suficientes para estimar o impacto da rodovia sobre as populações das espécies-alvo, intensidade do efeito de barreira nos ciclos biológicos e na área de vida disponível. Em países como os Estados Unidos, por exemplo, a simples constatação da ocorrência de atropelamentos ou do efeito de barreira, sem dados que permitam indicar a significância destes impactos, não é considerada suficiente para exigir a implantação de medidas mitigadoras (CALTRANS 2009). A continuidade do monitoramento da biodiversidade e, principalmente, da frequência de atropelamentos, é utilizada na avaliação da efetividade das medidas implantadas e eventual readequação (manejo adaptativo), discutida no item *4.2.4. Monitoramento*.

Os dados obtidos no diagnóstico devem ser analisados considerando-se, ainda, as características do tráfego previsto (volume, velocidade e variações diárias e sazonais), visto que estas influenciam fortemente o comportamento da fauna (CALTRANS 2009). Rodovias com menos pistas e tráfego médio tendem a provocar mais mortes por atropelamento (VAN LANGEVELDE *et al.* 2009), enquanto rodovias largas e com muito movimento acarretam em maior evitamento por parte da fauna (SEILER & HELLDIN 2006), conforme visualizado na Figura 14. Estimativas das taxas de sucesso

de travessia de fauna, ainda que raramente disponibilizadas, devem ser inseridas nos objetivos esperados do diagnóstico, visto que fornecem ótimos subsídios para avaliar tanto o impacto da ampliação da rodovia quanto a necessidade e efetividade dos dispositivos de passagem. Este dado pode ser acessado de diferentes formas, desde aquelas mais simples, como a instalação de armadilhas de pegadas em segmentos da rodovia, como aquelas mais complexas, por filmagens ou estimativas de fluxo gênico (CALTRANS 2009).

Ainda que seja difícil determinar o grau de evitamento da rodovia por parte fauna (indivíduos que não tentam cruzá-la), a obtenção de dados referentes à taxa de atropelamentos e à taxa de sucesso de travessia permite uma estimativa parcial do efeito de barreira (β). JAEGER & FAHRIG (2001) definem este efeito como o resultado da soma da proporção de indivíduos que evitam a estrada (ρ) com a proporção daqueles que morrem ao tentar atravessá-la (κ), representado na Figura 15. Informações referentes ao sucesso na travessia podem ser comparadas com aquelas referentes à mortalidade, permitindo que se avalie o grau de necessidade de aplicação de medidas mitigadoras para redução dos atropelamentos. A mitigação do evitamento à rodovia pode ser parcialmente obtida tanto com o manejo do hábitat quanto com as estruturas de travessia.

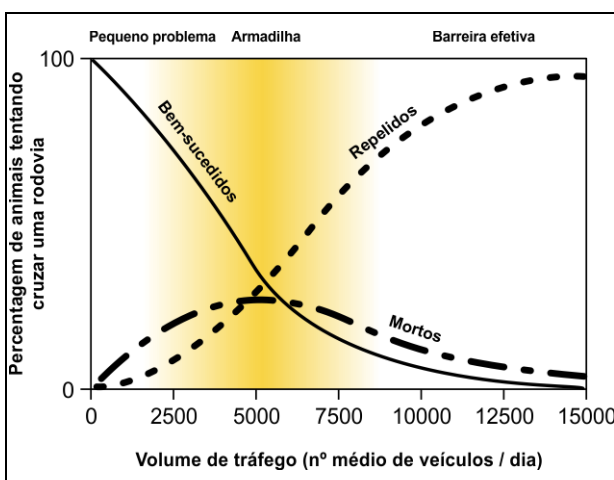


Figura 14. Modelo conceitual dos efeitos do tráfego sobre a fauna. Adaptado de SEILER & HELLDIN (2006).

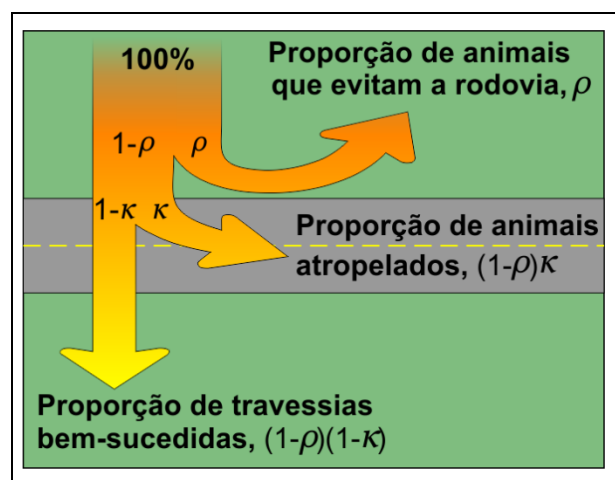


Figura 15. Relação entre componentes do efeito de barreira. Adaptado de JAEGER & FAHRIG (2001).

Para a identificação de agregações de atropelamentos, pode ser empregada análise cartográfica dos registros georreferenciados ou softwares específicos, como o Siriema (*Spatial Evolution of Road Mortality*), desenvolvido pelo Laboratório de Ecologia de Populações e Comunidades da UFRGS (<http://www6.ufrgs.br/biociencias/siriema/>). BAGER & ROSA (2010) propõem a adoção de um índice que dá maior peso a espécies-alvo, ou seja, aquelas ameaçadas ou definidas como chave para a manutenção dos processos ecológicos. Desta forma, evitar-se-ia que uma única espécie ou táxon com maior frequência de atropelamentos fosse priorizado (anfíbios, por exemplo) em detrimento de outros com populações menores, mas ecologicamente importantes (mamíferos, por exemplo). A identificação de espécies-alvo é pouco considerada no Brasil, exceto em situações particulares, mas prioritária em outros países na avaliação da necessidade ou não de mitigação. Ainda assim, a abordagem normalmente utilizada no país, direcionada preponderantemente à manutenção de conectividade de habitats caracterizados como importantes propicia, na maioria das situações, benefícios para um amplo espectro de espécies, terminando por abranger também aquelas que poderiam ter sido previamente definidas como alvo prioritário. Os resultados são, então, similares aqueles propostos por BEIER *et al.* (2008), que recomenda a seleção de múltiplas espécies-alvo, que serviriam como “guarda-chuva” para outras espécies, proporcionando a manutenção dos processos ecológicos.

Nas situações usuais, em síntese, o escopo da avaliação deveria abranger os parâmetros listados na Tabela 2, embora frequentemente aqueles referentes à biologia e ecologia das espécies-alvo demandem período de tempo e montante de investimentos incompatíveis com o licenciamento ambiental prévio no Brasil, sendo entretanto viável sua obtenção no decurso da operação da rodovia e consequente reavaliação das medidas mitigadoras.

Tabela 2. Informações a serem obtidas no diagnóstico ambiental da fauna.

| Parâmetro | Metodologia |
|--|---|
| Diversidade da fauna | Revisão bibliográfica. |
| Identificação de espécies ameaçadas | Consulta a listas de fauna ameaçada. |
| Identificação de habitats potencialmente sensíveis e uso futuro: áreas úmidas, florestadas, corredores ripários, Unidades de Conservação | Geoprocessamento e avaliação da paisagem em campo, análise de planos diretores e tendências de expansão agropecuária, urbana e industrial. |
| Identificação de corredores atuais e potenciais | Registro de atropelamentos, armadilhas de pegadas e/ou fotográficas, avaliação de especialistas, modelagem matemática do uso dos habitats. |
| Biologia e ecologia das espécies-alvo: presença/ausência, abundâncias relativa e absoluta, índices de mortalidade, fragmentação do habitat | Armadilhas de pegadas e/ou fotográficas, visualização, armadilhas de captura, armadilhas de coleta de pelos, análise de vestígios (fezes e egagrópilos), telemetria por rádio ou GPS. |

É fundamental, portanto, que o Termo de Referência para elaboração dos estudos ambientais indique as informações que deverão ser obtidas no diagnóstico ambiental e os padrões ou metodologias mínimos que devem ser empregados, tais como resolução espacial do imageamento, esforço amostral, sazonalidade, análise estatística e identificação de espécies ou grupos alvo.

A partir do estabelecimento do quadro geral de situação, com a identificação das áreas e espécies sensíveis, a situação ideal recomendaria que em uma segunda etapa levantamentos mais detalhados fossem realizados, visando à obtenção de informações referentes aos parâmetros biológicos que confirmassem a significância do eventual impacto e pertinência das medidas propostas: confirmação da presença das espécies-alvo, estimativa de suas abundâncias relativa e absoluta, índices de mortalidade e fragmentação dos habitats. Como a legislação brasileira prevê para a fase de licenciamento prévio a apresentação do Estudo de Impacto Ambiental e, para a fase de licenciamento de instalação, o Projeto Básico Ambiental, no qual são detalhadas os Programas Ambientais, a fase de diagnóstico fica basicamente restrita ao licenciamento prévio. Portanto, os dois níveis de informações devem ser

apresentados já no EIA, sendo necessário que fique claro no TR o caráter de dependência e sequencialidade do diagnóstico: o detalhamento dos parâmetros biológicos de maior complexidade deve ser direcionado às áreas sensíveis e espécies-alvo, se detectadas.

Dada a quase inexistência de informações prévias sobre os parâmetros biológicos das espécies nativas no Brasil e o período de tempo disponível no âmbito de um processo de licenciamento, na maioria das situações não será possível se obter a totalidade das informações, sendo necessário que se opte por metodologias que apresentem melhor relação entre o custo, o prazo de obtenção e a relevância da informação. Por exemplo, a presença ou ausência de espécies ou suas frequências relativas podem ser obtidas por métodos mais simples e rápidos do que a estimativa de índices de mortalidade (proporção da população que morre por ano) ou fragmentação de populações (CALTRANS 2009), sendo a princípio priorizada sua obtenção em um primeiro momento, podendo as demais informações ser objeto do monitoramento pós-implantação do empreendimento, subsidiando eventuais adaptações do projeto de mitigação. Uma relação das metodologias usualmente utilizadas no levantamento de dados primários de fauna se encontra no item *4.2.4.2. Métodos*.

Independente da metodologia adotada, padrões de detalhamento e apresentação das informações devem ser gradativamente definidos até que se atinja a situação ideal, na qual diferentes bases de informações da biodiversidade possam ser integradas (DRUCKER 2011). Alguns exemplos de metadados mínimos que devem acompanhar os registros de ocorrências de fauna são igualmente apresentados no item *4.2.4.2. Métodos*. Por sua quantidade e ampla distribuição, os dados que vêm sendo obtidos no diagnóstico e monitoramento da fauna no contexto do licenciamento ambiental e da ecologia de estradas representam um potencial significativo de informações biológicas e ecológicas, não somente no Brasil. O Departamento de

Transportes da Califórnia, por exemplo, orienta que na apresentação dos dados sejam observadas as normas e padrões que vem sendo definidas por instituições governamentais ou privadas para o registro de informações sobre biodiversidade, ressaltando que estas se encontram em contínua evolução e discussão, sem ainda terem atingido o caráter de norma legal (CALTRANS 2009). Neste sentido, um revés importante foi o encerramento do principal projeto norte-americano para a área, denominado *National Biological Information Infrastructure*, em janeiro de 2012, devido a restrições orçamentárias daquele país. No Brasil, esforços para definição de padrões vêm sendo desenvolvidos ainda de forma pouco integrada, seja por meio de grupos de trabalho em encontros temáticos (por exemplo, Road Ecology Brazil) ou instituições governamentais (IBAMA-ICMbio 2009). Enquanto não se chega a um consenso sobre o tema, cabe aos órgãos licenciadores exigirem a apresentação dos dados brutos em formato de tabelas eletrônicas, contemplando informações (metadados) consideradas relevantes (ver item 4.2.4.2) e que futuramente poderão integrar bancos de dados relacionais abrigados nos diferentes órgãos e instituições, formando uma base nacional de dados sobre biodiversidade.

4.2.2.3. Impactos conhecidos

A construção de rodovias apresenta como impactos principais a mortalidade de indivíduos e o efeito de barreira (BECKMANN *et al.* 2010; SEILER 2001), conforme esquematicamente representado na Figura 16.

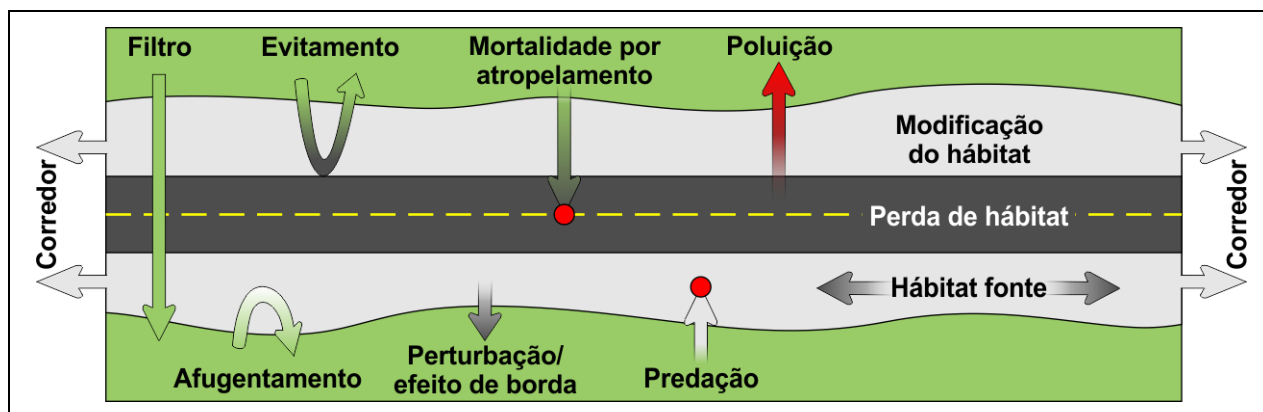


Figura 16. Representação esquemática dos impactos ecológicos das estradas. Associados, resultam na fragmentação do hábitat. Adaptado de SEILER 2001.

Além destes, inúmeros outros também podem ser identificados (TROMBULAK & FRISSELL 2000) e classificados de diferentes formas, considerando-se, por exemplo, a natureza do impacto (direto ou indireto) (BISSONETTE 2002), o meio impactado (físico, biótico ou socioeconômico) ou o nível de organização (indivíduos, populações ou metapopulações) (AHERN *et al.* 2009). O enquadramento de dado impacto como direto ou indireto contém algum grau de subjetividade, visto que frequentemente apresentam características que permitiriam relacioná-lo a uma ou outra categoria. Portanto, visto que todos os impactos devem ser considerados no âmbito do licenciamento ambiental, assume importância secundária o esquema de classificação adotado, tendo se optado por apresentar os impactos sobre o meio biótico, além de alguns dos efeitos sobre os meios físico e socioeconômico que, por sua vez, causam impactos aos grupos animais. Em síntese, são discriminados na Tabela 3.

Tabela 3. Principais efeitos e impactos ambientais das rodovias sobre a fauna.

| Atividade ou aspecto ambiental | Impacto Ambiental |
|--------------------------------|--|
| Tráfego | Morte de indivíduos. |
| Implantação física | Perda direta de habitats. |
| Implantação física | Criação de novos habitats, refúgios e corredores de dispersão na faixa de domínio. |
| Implantação física | Fragmentação: A divisão de um habitat em função da instalação |

| | |
|--|---|
| | de uma rodovia irá criar dois fragmentos com áreas nucleares menores e maior proporção de bordas, afugentando algumas espécies e atraindo outras (SPELLERBERG 2002). A tendência é que ocorra inicialmente uma distribuição espacial da variação genética e, posteriormente, menor diversidade genética, fatores que reduzirão a viabilidade das populações (BALKENHOL & WAITS 2009). Da mesma forma, subpopulações menores são mais vulneráveis a pressões ambientais. Em termos de indivíduo, os fragmentos podem ser de dimensões inferiores à área de vida típica da espécie, fazendo com que não sejam reunidas as condições necessárias a sua sobrevivência. |
| Implantação física e tráfego | Perda de conectividade (rotas de movimentação entre os habitats). |
| Implantação física e tráfego | Redução ou perda da permeabilidade (fluxo entre os habitats). |
| Implantação física e tráfego | Efeitos de barreira: Ocasionalmente ocasionam a redução na movimentação de indivíduos entre os habitats e conseqüentemente do fluxo gênico, o que eleva a taxa de endocruzamentos e resulta na perda de diversidade genética (ASCENSÃO & MIRA 2007). Decorre de componentes como o evitamento das estradas pelos animais, a inexistência de locais para transpô-las e a morte por atropelamento, quando os indivíduos tentam alcançar a margem oposta (BANK <i>et al.</i> 2002). A eliminação de rotas físicas caracteriza a perda de conectividade, ao passo que a dificuldade dos animais estabelecerem rotas viáveis entre os habitats caracteriza a perda de permeabilidade. Este impacto se estende igualmente à ictiofauna, pois caso as espécies migratórias não consigam ultrapassar canais artificiais de drenagem ocorrerá redução na produção dos recursos pesqueiros. |
| Implantação física e tráfego | Efeitos de borda: É a alteração nas características de habitats, incluindo temperatura, umidade, radiação solar e vento, por exemplo (ATTADEMO <i>et al.</i> 2011). |
| Abertura de frentes de colonização e expansão agropecuária | Perda direta de habitats. |
| Implantação física e tráfego | Dispersão de espécies nativas exóticas. |
| Aumento das bordas dos habitats | Alteração da qualidade do habitat. |
| Geração de material particulado | Deterioração da qualidade do ar. |
| Emissão de ruídos | Alteração no comportamento da fauna, especialmente das aves. Sua comunicação é afetada, com conseqüências em seu comportamento de corte e sucesso reprodutivo (HALFWERK <i>et al.</i> 2011). Dependendo da intensidade do tráfego, os efeitos sobre as aves podem ser observados em até 2,8 km (SPELLERBERG 2002). Anfíbios podem alterar seus padrões de vocalização em decorrência de altos níveis de ruídos provocados pelo tráfego, com eventuais reflexos reprodutivos (CUNNINGTON & FAHRIG |

| | |
|--|---|
| | 2010). |
| Impermeabilização do solo e redefinição das drenagens | Alteração dos regimes hídricos. |
| Emissões de motores e liberação de substâncias dos pneus e pavimento | Contaminação das águas e do solo: metais como Pb, Ni, Cd e Zn podem ter seus níveis aumentados a uma distância de até 30 m da rodovia nos solos, 40 a 120 m nas plantas e até 48 m nos animais (SPELLERBERG 2002). |
| Erosão e carreamento de sedimentos | Alteração nos habitats aquáticos. Observada na fase de construção devido ao favorecimento aos escorregamentos de terra, assim como em rodovias não pavimentadas ou pela degradação dos taludes, gera considerável aporte de sedimentos aos sistemas aquáticos. Influindo diretamente sobre a turbidez dos mananciais hídricos e causando distúrbios nestes ecossistemas, sedimentos podem atingir áreas sensíveis em uma distância de até 89 m da rodovia (SPELLERBERG 2002). |
| Iluminação artificial | Pode atrair diversas formas de fauna e alterar padrões temporais de comportamento de AVES (SPELLERBERG 2002). |
| Vibração dos veículos | Afugentamento da fauna. |
| Descarte de lixo | Além de causar incêndios e contaminar o habitat, garrafas e latas podem se tornar armadilhas para pequenos mamíferos, cobras e lagartos (SPELLERBERG 2002). Por outro lado, podem também servir de abrigo para estes mesmos grupos, assim como para aves. |
| Contaminação acidental por produtos químicos perigosos | Mortalidade, especialmente de espécies aquáticas. Acidentes com veículos transportando produtos perigosos e a consequente contaminação de cursos d'água, além de habitats próximos à ocorrência, são inevitáveis na maior parte das rodovias, quando o tráfego destes produtos é permitido. |

A extensão geográfica (“road effect zone”) e a intensidade dos impactos variam em função de fatores como o tipo de rodovia (número de pistas e faixas de rolamento), o volume de tráfego, a velocidade dos veículos e o grupo biológico analisado. Uma rodovia com várias pistas e maior tráfego pode ter menores taxas de mortalidade quando comparada a uma rodovia de pista simples e menor tráfego, devido à inibição de aproximação da fauna e consequente redução da permeabilidade. Ambas apresentam efeito de barreira, ainda que devido a componentes distintos. BROCKIE *et al.* (2009), por exemplo, identificaram aumento no número de indivíduos atropelados até um volume de tráfego de 5.000 veículos/dia, acima do qual não se mantém esta

tendência, possivelmente em função do evitamento à estrada. A resposta a estes fatores, entretanto, não é idêntica nos diversos grupos animais. BISSONETTE & ROSA (2009), por exemplo, não observaram variação na presença e uso dos habitats em um gradiente de 600 metros perpendicular à rodovia para comunidades de pequenos mamíferos de regiões áridas. Infelizmente, em termos populacionais e comportamentais, se dispõe de dados confiáveis apenas para um pequeno número de espécies, em sua maior parte exóticas no Brasil (FAHRIG & RYTWINSKI 2009). Por exemplo, a resposta ao aumento da densidade da malha rodoviária ou de tráfego pode ser o aumento da população de pequenos roedores (RYTWINSKI & FAHRIG 2007) e a redução da população de anuros de ambientes úmidos (CARR & FAHRIG 2001; EIGENBROD *et al.* 2008). No primeiro caso, as explicações podem estar relacionadas ao evitamento à estrada, alterações do habitat em decorrência da mesma ou redução no número de predadores, enquanto no segundo caso a mortalidade pelo incremento do tráfego é o componente principal.

A distância em que os efeitos das rodovias sobre os ecossistemas são significativas também varia em função do grupo animal analisado, podendo variar de aproximadamente 200 m para espécies sedentárias a mais de 2.000 m para tartarugas, crocodilianos e anfíbios (ARESCO 2005), sendo as espécies que apresentam maior vagilidade as mais suscetíveis a atropelamentos (CARR & FAHRIG 2001).

As estradas atraem um grande e variado número de animais: ectotérmicos aproveitam o calor acumulado no pavimento, herbívoros se alimentam junto à vegetação que se desenvolve na faixa de domínio, aves se alimentam de grãos provenientes de caminhões mal vedados (ERRITZOE *et al.* 2003), anfíbios e répteis podem utilizar taludes e margens da rodovia para nidificação (ARESCO 2005; SEILER 2001), ao passo que mamíferos fossoriais os utilizam na construção de galerias (inclusive podendo comprometer a base da rodovia, como o fizeram ctenomídeos na

rodovia RSC 101 – Estrada do Inferno), e carneiros se alimentam da fauna atropelada (ANTWORTH *et al.* 2005).

Os poucos estudos desenvolvidos na América do Sul, abrangendo além do Brasil (BAGER & ROSA 2010, 2011; CHEREM *et al.* 2007; COELHO *et al.* 2008; CUNHA *et al.* 2010; GUMIER-COSTA & SPERBER 2009; PEREIRA *et al.* 2006; A. O. ROSA & MAUHS 2004; C. A. ROSA & BAGER 2012) países como Argentina (ATTADAMO *et al.* 2011), Colômbia (ARROYAVE *et al.* 2006) e Venezuela (PINOWSKI 2005), ressaltam a carência de informações sobre os impactos das rodovias sobre a fauna regional. Em uma época marcada pelo desenvolvimento econômico da região e, conseqüentemente, da sua infraestrutura de transportes, o aumento de estudos com a fauna regional seria particularmente importante. A literatura produzida nos Estados Unidos, Europa e Austrália é ampla e contempla diversos fatores e grupos animais comparáveis aqueles da América do Sul. A frequência de espécies de mamíferos de grande porte, no entanto, é substancialmente maior nos Estados Unidos. Este fato resulta em conseqüências mais severas sob a perspectiva da segurança do tráfego e econômica, pois se estima que ocorram 1,5 milhão de colisões de cervídeos com veículos anualmente ($\frac{3}{4}$ do total de colisões entre veículos e animais), resultando em 210 mortes por ano e danos materiais aos veículos estimados em 1,1 bilhão de dólares (SULLIVAN 2011). No Brasil, apenas em situações específicas colisões com animais silvestres de médio e grande porte assumem maior relevância, podendo ser citado como exemplo o trecho da BR 471/RS que cruza a Estação Ecológica do Taim, onde são frequentes os atropelamentos de capivaras (*Hydrochaeris hydrochaeris*).

Pequenos e grandes mamíferos respondem de modo diverso às rodovias. Enquanto aqueles de grande porte são mais afetados pela facilidade de acesso de caçadores e redução dos habitats, os de menor porte são as principais vítimas de atropelamentos e da restrição de movimentação (SPELLERBERG 2002).

Fatores climáticos, como a temperatura e precipitação, assim como as estações do ano, influenciam na taxa de atropelamentos, devido às variações nos padrões de atividade ao longo do ciclo de vida assim como às alterações no volume de tráfego. Anfíbios e répteis que realizam migrações em massa nos períodos reprodutivos são exemplos característicos da variação da taxa de atropelamentos relacionada à sazonalidade (ARESCO 2005; CURETON II & DEATON 2012), inclusive com recomendações específicas relacionadas a este fator para a mitigação dos impactos (BARKER 2009). Na Argentina, ATTADEMO *et al.* (2011) encontraram relação significativa entre o aumento da temperatura e da precipitação, correspondendo aos períodos de primavera e verão, e as taxas de atropelamento de répteis e anfíbios. No Brasil, pode-se observar fenômenos similares nestes mesmos períodos, como a movimentação acentuada da tartaruga tigre-d'água (*Trachemys dorbignyi*) em rodovias que cruzam habitats preferenciais da espécie (rodovia BR 392, em Rio Grande/RS, por exemplo). Entretanto, estes dados não podem ser generalizados, devendo ser objeto de avaliação específica tanto no que se refere aos grupos animais quanto aos ambientes considerados.

Especialmente quando cruzam áreas úmidas, as rodovias se caracterizam por afetar a herpetofauna com maior intensidade, seja pela quantidade elevada de atropelamentos de espécies que tipicamente se movimentam de forma lenta (AHERN *et al.* 2009; HELS & BUCHWALD 2001), pela reduzida repulsão deste grupo às estradas (BOUCHARD *et al.* 2009), pela barreira física às migrações em épocas reprodutivas (BEAUDRY *et al.* 2008, 2010; SPELLERBERG 2002) ou decorrentes de variações hidrológicas. Além disso, as áreas abertas junto às estradas oferecem habitats atrativos para nidificação de tartarugas, por exemplo, o que pode aumentar ainda mais o risco de mortalidade (ARESCO 2005). Taxas de mortalidade superiores a 5% da população de tartarugas provavelmente ocorrem em diversas regiões dos Estados Unidos, o que

ultrapassa o limiar de 2 a 3 % de mortalidade passível de absorção pelo grupo para manutenção de sua taxa de crescimento populacional positiva (GIBBS & SHRIVER 2002). Em uma rodovia com quatro pistas, padrão utilizado nas duplicações brasileiras, e com tráfego intenso (aproximadamente 20.000 veículos/dia), a probabilidade de uma tartaruga realizar a travessia com sucesso é de apenas 2% por tentativa, sendo 95% dos indivíduos atropelados já na primeira pista adjacente ao acostamento (ARESCO 2005).

Em estudo desenvolvido na Argentina, os anfíbios foram o grupo destacadamente mais impactado por atropelamentos, representando 72,92% dos 2.024 indivíduos atropelados, seguidos dos répteis (14.97%), aves (7.88%) e mamíferos (4.25%). Este grupo, juntamente com os répteis, é o mais impactado por rodovias que cruzam áreas úmidas, ao passo que as aves o são em áreas florestadas, marsupiais e morcegos em áreas urbanas e arredores, e mamíferos em paisagens diversificadas (ATTADEMO *et al.* 2011).

Estruturas de drenagem, como bueiros, ainda que mantenham sua função hidrológica, muitas vezes não permitem a passagem de todas ou ao menos algumas espécies de peixes (BELFORD & GOULD 1989). A existência de barreiras verticais, falta de luminosidade, velocidade e profundidade da água são obstáculos que espécies ou formas juvenis podem não conseguir superar. Mesmo para espécies não migratórias, a impossibilidade de movimentação à jusante ou montante da rodovia pode representar não apenas a segregação de populações como até mesmo a extinção de uma delas, nos casos de secas sazonais em algum dos segmentos isolados (BAKER & VOTAPKA 1990). Por outro lado, estruturas de drenagem instaladas ao longo das rodovias criam habitats novos para diversas espécies de anfíbios, assim como algumas podem se beneficiar das rodovias em sua dispersão (FORMAN & ALEXANDER 1998).

Tal como nos demais grupos animais, a redução da dimensão dos habitats florestais devido à fragmentação resulta em menores níveis de recursos para a avifauna, sendo positivamente relacionada com o declínio da abundância e diversidade de espécies típicas do interior de florestas. Além das espécies de borda serem favorecidas, ocorre maior predação e parasitismo de ninhos, com a consequente redução do sucesso reprodutivo. Estima-se que a abundância de algumas espécies é afetada em uma distância que pode variar entre 200 e 1.200 m da rodovia, com as espécies de borda sendo favorecidas em uma faixa de até 100 m (SPELLERBERG 2002).

A mortalidade de aves atinge valores da ordem de centenas de milhões de indivíduos anualmente, destacando-se os passeriformes como o grupo mais atingido. Um aspecto ecológico que pode ser relevante quando consideradas populações fragmentadas é que os indivíduos atropelados tendem a ser significativamente mais saudáveis do que aqueles mortos por predadores naturais, caracterizando uma situação atípica em relação às forças usuais da seleção natural (BUJOCZEK *et al.* 2011; ERRITZOE *et al.* 2003).

Em parte devido às desproporções de tamanho, muitos grupos de invertebrados, e mesmo pequenos mamíferos (MCGREGOR *et al.* 2008), simplesmente não acessam as rodovias, que constituem um ambiente vasto e inóspito. Esta resposta negativa em relação à estrutura física da rodovia (*road surface avoidance*) é uma das três causas do evitamento da fauna às estradas (*road avoidance*), juntamente com aqueles oriundos do movimento em si do veículo (*car avoidance*) e das emissões de poluentes e ruídos causados pelo tráfego (*traffic avoidance*) (MCGREGOR *et al.* 2008). A repulsa à rodovia é um dos fatores que determinam a intensidade do efeito de barreira, junto com a mortalidade por atropelamentos. Caramujos constituem um exemplo característico desta resposta à estrutura física da rodovia, acarretando no isolamento de populações. Em grau menor, abelhas, borboletas e aranhas apresentam padrão

similar de comportamento (SPELLERBERG 2002), com consequências inclusive na dinâmica de populações de plantas dependentes de polinização mediada por insetos (RAO & GIRISH 2007). Ainda que empiricamente possa se avaliar como alta a mortalidade de insetos nas rodovias, simplesmente pela observação dos para-brisas dos veículos após transitarem nas mesmas (FORMAN & ALEXANDER 1998), poucos estudos a quantificam adequadamente (RAO & GIRISH 2007), sem inferir conclusões sobre efeitos populacionais.

4.2.2.4. Tomada de decisão

A avaliação de quanto um impacto ambiental é significativo carrega muito de subjetividade, pois o grau em que uma alteração ambiental (impacto) pode ser tolerada depende muito dos valores e conceitos de quem analisa a situação (SÁNCHEZ 2008). “Qual o número de mortes que uma espécie pode suportar sem consequências significativas para sua conservação?” é uma questão biológica essencial para avaliar a necessidade e o grau de mitigação de uma obra rodoviária, porém de difícil resposta (SEILER & HELLDIN 2006).

Além da perspectiva biológica propriamente dita, fatores legais, econômicos, de segurança do tráfego, éticos e relacionados à política ambiental também devem ser considerados (SEILER & HELLDIN 2006). Embora todos devam ser pesados e considerados na tomada de decisão, o presente trabalho tem como foco principal o processo envolvido na avaliação do impacto e tomada de decisão sob as perspectivas biológica e ecológica, provavelmente aquelas com maior grau de incerteza e relevância.

Um diagnóstico contendo informações qualitativas e quantitativas objetivas e confiáveis facilita sobremaneira a tomada de decisão no âmbito do licenciamento da rodovia, momento em que o órgão ambiental deve decidir quais medidas devem ser

adotadas para neutralizar, mitigar ou compensar os danos ambientais. Nos casos em que é viável técnica e economicamente a neutralização, teoricamente o impacto não ocorrerá, devendo ser executado apenas o monitoramento da operação do empreendimento para constatar a eficácia da alternativa adotada. Para os impactos inevitáveis, a compensação ambiental, inerente aos processos de licenciamento ambiental baseados em Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e financiada pelo empreendedor, é a contrapartida, prevista pela legislação, ao dano.

Reunidos os dados do projeto e do diagnóstico efetuado para subsidiar a análise do licenciamento prévio, o órgão licenciador deve ser capaz de verificar se foram identificados corretamente os trechos prioritários, os grupos animais de interesse, a dimensão dos impactos sobre a fauna, e finalmente propostas as medidas mitigadoras mais adequadas. É necessário que, além da visão específica do empreendimento em foco, o gestor ambiental o contextualize em relação ao restante da malha viária, situação dos ecossistemas regionais e estado de conservação das espécies. Um Sistema de Informações Geográficas consistente deve ser mantido pelo órgão ambiental, servindo tanto como elemento de verificação de informações apresentadas nos estudos ambientais quanto para a formação de um quadro em menor escala que contextualize o empreendimento. Informações úteis e disponíveis em várias fontes incluem modelos digitais de elevação do terreno (dados da *Shuttle Radar Topography Mission* são disponibilizados gratuitamente pela NASA, em <http://srtm.usgs.gov/>), mapas hidrológicos e de vegetação, áreas prioritárias para conservação da biodiversidade (<http://mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm>) e sistemas viários existentes.

As principais perguntas a serem respondidas dentro da perspectiva biológica do processo de tomada de decisão (Figura 17), com base nas informações reunidas e no conhecimento acumulado sobre o assunto, são:

- Qual a magnitude prevista dos impactos sobre a fauna?
- Há como classificar espacial e temporalmente os impactos?
- Qual a medida mais adequada para propiciar a mitigação?
- Qual o efetivo impacto da rodovia e a eficácia das medidas adotadas?

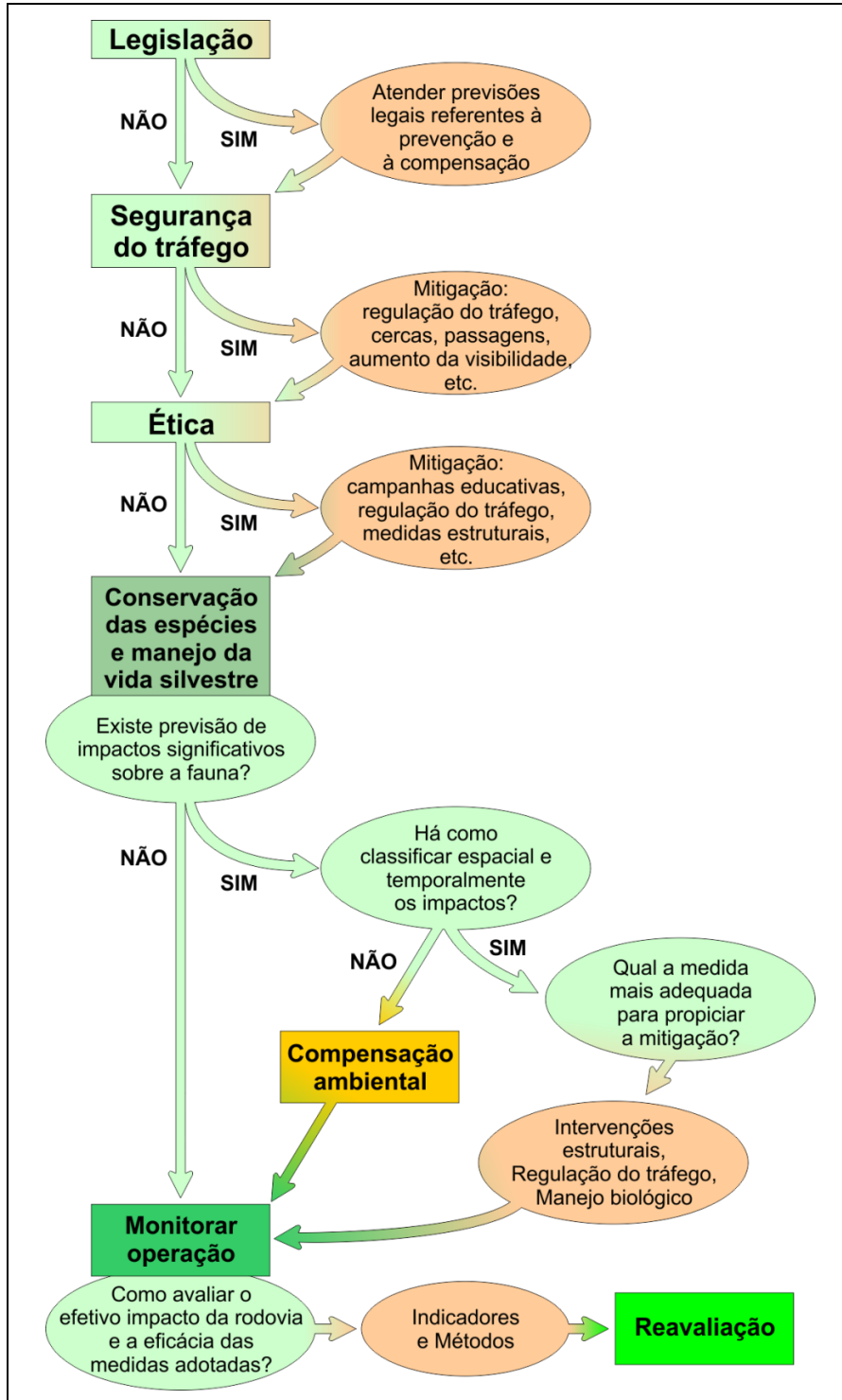


Figura 17. Fluxograma básico para tomada de decisão referente aos impactos das rodovias sobre a fauna, com ênfase na perspectiva biológica. Excetuando a perspectiva legal, as demais (segurança, ética e biológica) não obedecem a uma classificação hierárquica.

Respondidos os dois primeiros questionamentos, deve ser delineada a medida mais efetiva para reduzir o impacto sobre a fauna. A experiência acumulada ao longo das últimas décadas e registrada na literatura indica que algumas das alternativas conhecidas têm melhores resultados para grupos específicos de animais, para condições topográficas particulares, ou apresentam uma relação custo-benefício que não guarda razoabilidade com o impacto previsto. O item 4.2.3. *Medidas mitigadoras* apresenta a descrição e indicação das alternativas levantadas por meio de extensa revisão bibliográfica, sendo essencial que todos os técnicos envolvidos no processo (consultores, executores e gestores) tenham conhecimento de suas características.

Para que seja selecionado o dispositivo adequado, é necessário que, anteriormente, seja identificada qual estratégia se pretende adotar, em função dos efeitos mais relevantes previstos. Para isso, deve ser buscado o suporte das pesquisas já realizadas no campo da ecologia de estradas. Por exemplo, em simulações desenvolvidas por JAEGER & FAHRIG (2004), a mortalidade se mostrou o componente determinante para a persistência de populações. A revisão realizada por FAHRIG & RYTWINSKI (2009) identificou que os principais grupos animais a sofrerem impactos negativos das estradas em termos de abundância foram os répteis, anfíbios e grandes mamíferos, nos quais a mortalidade se apresenta como elemento determinante da redução populacional. Também existe indicação de que a redução da diversidade genética está significativamente relacionada à mortalidade e não aos efeitos de barreira (JACKSON & FAHRIG 2011). Portanto, pode-se inferir que a evitar a mortalidade deve ser uma estratégia prioritária de mitigação. Adicionalmente, deve-se buscar restaurar o quanto possível a permeabilidade original do ambiente, de modo que os processos ecológicos se processem com a menor interferência do fator externo, a rodovia.

Os conceitos de conectividade e permeabilidade também são importantes no planejamento da mitigação dos impactos das rodovias sobre a fauna. Entre as diversas

definições encontradas na literatura, conforme expostos por COLLINGE (2009), HILTY *et al.* (2006) e LINDENMAYER & FISCHER (2006), por exemplo, podemos considerar a conectividade como um conceito baseado na terra, ou seja, as estruturas físicas que possibilitam o deslocamento entre dois ambientes. É importante introduzir o conceito de permeabilidade para que atinjamos a efetividade na aplicação das medidas mitigadoras. Baseado no animal, este conceito se relaciona aos caminhos e padrões de deslocamento, característicos das espécies e variáveis entre elas. Desta forma, mesmo oferecendo estruturas físicas (conectividade) podemos não estar propiciando permeabilidade, se não forem consideradas na definição de sua localização, tipo e configuração, as características da comunidade faunística a que se destinam (BISSONETTE *et al.* 2007). Portanto, é essencial que a escolha das medidas mitigadoras esteja embasada em um diagnóstico prévio adequado, realizado conforme as recomendações do item 4.2.2.2. *Diagnóstico ambiental.*

No contexto da ecologia de estradas, em que os fragmentos considerados sempre estão bastante próximos, a princípio a situação parece menos complexa do que quando se pensa em estabelecer ligações entre fragmentos distantes, nos quais há que se prover um hábitat capaz de internamente manter comunidades e não apenas servir como corredor de passagem. Em corredores com pequena extensão, como as passagens de fauna que se pretende criar para mitigar a fragmentação provocada pela rodovia, parece ser suficiente que seus aspectos estruturais (inclinação, largura, altura), os mais importantes, segundo AHERN *et al.* (2009) e CLEVINGER & WALTHO (2005), permitam a movimentação dos animais, apresentem características que não venham a repelir sua utilização (luminosidade, cobertura vegetal, nível de ruídos, umidade, temperatura e substrato, por exemplo) e sua localização seja compatível com os hábitos e padrões de deslocamento das espécies às quais se destinam.

De acordo com o nível de organização que se pretende focar (espécie(s)-alvo ou comunidade, por exemplo) ou os efeitos que se deseja mitigar, diferentes ações devem ser consideradas. Por exemplo, se considerarmos que a redução ou eliminação de mortalidade por atropelamento é o essencial, a instalação de barreiras (cercas, muros ou meios-fios) é mais importante do que a disponibilização de passagens. Caso se identifique a necessidade de permitir o acesso a habitats vitais, passagens que possam ser utilizadas por um variado espectro de espécies são a melhor alternativa a ser implantada. Se a fragmentação oferecer risco à manutenção de áreas mínimas de vida (*home range*) para as espécies existentes no local, devem ser propiciadas condições de passagem para que os indivíduos disponham de uma área compatível com suas características ecológicas. Se considerarmos apenas a manutenção da dinâmica de metapopulações, que pode ser obtida mesmo com o fluxo de um número reduzido de indivíduos por geração, AHERN *et al.* (2009) sustentam que esta pode ser mantida mesmo sem estruturas específicas de passagem, diferentemente das exigências quando o foco são indivíduos ou populações. Entretanto, como em certas situações a barreira formada por alguns tipos de rodovias pode inibir intensamente até este fluxo mínimo, é importante que se procure disponibilizar meios para que seja aumentada a probabilidade de ocorrência destes deslocamentos.

Excetuando-se situações particulares, alguns princípios básicos devem nortear a tomada de decisão: os locais escolhidos devem possuir feições topográficas adequadas à movimentação de fauna, as estruturas devem ser passíveis de utilização pelo maior número de espécies possível, os habitats a serem conectados devem ter viabilidade de conservação futura e integrem uma rede mais ampla de corredores (BECKMANN *et al.* 2010).

A tomada de decisão, portanto, deve estar fundamentada claramente nas respostas aos questionamentos levantados, indicando quais os objetivos das medidas

propostas, e como e onde devem ser implantadas. Adicionalmente, conforme abordado no item 4.2.4. *Monitoramento*, deve ser prevista a metodologia para avaliar a efetividade das mesmas, conferindo a desejável característica adaptativa ao processo, por meio de sua contínua reavaliação e eventual proposição de adequações.

4.2.3. Medidas mitigadoras

4.2.3.1. Opções existentes

Ao longo do tempo, diversas medidas foram propostas e implantadas, isoladas ou associadas, visando minimizar o impacto das rodovias sobre a fauna. Visam basicamente restabelecer algum grau de conectividade para minimizar o efeito de barreira e impedir os atropelamentos em pontos mais suscetíveis. A maioria delas, entretanto, carece de estudos que avaliem sua efetividade, especialmente se considerarmos respostas diferenciais por parte de espécies ou comunidades geográfica e estruturalmente distintas. O monitoramento previsto no processo de licenciamento pode, portanto, fornecer dados preciosos para a avaliação das diferentes alternativas no contexto brasileiro.

Diversas classificações são propostas para agrupar as medidas mitigadoras em um ou outro destes grupos, sendo a mais adotada aquela proposta por LUELL (2003), que agrupa as medidas conforme a ênfase no restabelecimento de conectividade ou na redução de atropelamentos. No primeiro grupo, se inserem as medidas relacionadas às passagens de fauna, inferiores ou superiores, enquanto no segundo grupo se insere o cercamento e medidas relacionadas ao manejo da fauna e do comportamento dos motoristas. Como frequentemente uma medida atende a ambas finalidades, em maior ou menor grau, o grau de artificialidade e subjetividade deste sistema de classificação é bastante alto. Portanto, optou-se por propor uma classificação das medidas mitigadoras

baseado na sua forma de implementação (medidas estruturais ou ações de manejo), sendo a segunda subdividida em ações direcionadas ao comportamento dos motoristas/tráfego e comportamento da fauna.

Independente do método de classificação, é importante conhecer os tipos de opções existentes para que se possa selecionar aquela mais adequada à determinada situação. Na Tabela 4 são sumarizadas as medidas conhecidas, sendo as mesmas avaliadas quanto a sua efetividade na minimização de impactos aos diferentes grandes grupos da fauna. Posteriormente, as características de cada medida são apresentadas de forma detalhada.

Tabela 4. Medidas conhecidas para mitigar impactos diretos de rodovias sobre a fauna.

| Tipo | | Medida mitigadora | Grupo biológico | | | |
|--------------------------|-----------|---|-----------------|---|---|---|
| | | | I | H | A | M |
| Intervenções Estruturais | | 1 Passagens inferiores | ■ | ■ | □ | ■ |
| | | 2 Passagens inferiores grandes | ■ | ■ | □ | ■ |
| | | 3 Passagens inferiores multiuso | ■ | ■ | □ | ■ |
| | | 4 Túneis para anfíbios e répteis | □ | ■ | □ | ■ |
| | | 5 <i>Ecodutos ou pontes de ecossistemas</i> | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | | 6 Passagens superiores | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | | 7 Passagens superiores multiuso | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | | 8 Passagens no estrato arbóreo | □ | □ | ■ | ■ |
| | | 9 Túneis rodoviários | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | | 10 Viadutos e elevadas | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | | 11 Pontes e pontilhões | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | | 12 Bueiros modificados | ■ | ■ | □ | ■ |
| | | 13 <i>Barreiras anti-ruído</i> | □ | ■ | ■ | ■ |
| | | 14 Ampliação do canteiro central | □ | □ | ■ | ■ |
| Manejo | Usuários | 1 Campanhas educativas | □ | ■ | ■ | ■ |
| | | 2 Sinalização viária | □ | ■ | □ | ■ |
| | | 3 Limitação da velocidade | □ | ■ | ■ | ■ |
| | | 4 <i>Redução do volume de tráfego</i> | □ | ■ | ■ | ■ |
| | | 5 <i>Interdição temporária</i> | □ | ■ | ■ | ■ |
| | | 6 <i>Sistemas de detecção de fauna</i> | □ | □ | □ | ■ |
| | Biológico | 7 <i>Alerta e afugentamento</i> | □ | □ | □ | ■ |
| | | 8 <i>Balizas</i> | □ | □ | ■ | □ |
| | | 9 <i>Alimentação</i> | □ | □ | □ | ■ |
| | | 10 Remoção de carcaças | □ | □ | ■ | ■ |
| | | 11 Modificação do hábitat | □ | ■ | ■ | ■ |
| | | 12 Cercas e barreiras | □ | ■ | ■ | ■ |
| | | 13 <i>Redução populacional</i> | □ | □ | □ | ■ |

Legenda: ■ Recomendada ■ Eventualmente adequada ■ Eficácia indeterminada
 □ Inadequada □ *Sem uso conhecido no Brasil*

I = ictiofauna, H = herpetofauna, A = avifauna, M = mastofauna.

4.2.3.1.1. *Intervenções estruturais*

São aquelas que se inserem no projeto rodoviário por meio de execução de obras de engenharia específicas para uso da fauna ou adaptações dos padrões construtivos com objetivo de proporcionar condições de deslocamento ou proteção da fauna.

4.2.3.1.1.1. *Passagens inferiores*

É a estrutura construída exclusivamente para a fauna mais utilizada nas rodovias brasileiras, destinando-se a grande número de espécies terrestres, semiaquáticas e inclusive quirópteros (GAISLER *et al.* 2009). Para que tenham maior eficácia, é essencial que estejam localizadas nos caminhos preferenciais da fauna, o que depende de um bom diagnóstico prévio. As passagens inferiores apresentam temperaturas significativamente menores do que o ambiente externo, característica que funciona como atrativo para sua utilização como pontos de regulação de temperatura e conseqüentemente de travessia (ASCENSÃO & MIRA 2007; CAIN *et al.* 2003). Apesar de ser uma possibilidade levantada frequentemente, o uso das passagens de fauna como sítios preferenciais de predação por carnívoros não foi constatada em estudos que abordaram a questão (ARESCO 2005).

É importante que recebam iluminação natural, para permitir o eventual crescimento da vegetação, tornando o ambiente mais atrativo para a fauna. Isto pode ser obtido por uma maior proporção de abertura¹ das estruturas ou por aberturas superiores (CAIN *et al.* 2003), à altura do canteiro central, naquelas inseridas em pistas duplicadas. A manutenção de vegetação próxima as suas entradas, servindo como guia para a fauna, também é altamente recomendada (CLEVENGER & WALTHO 2000; GRILO *et al.* 2008). Sua localização deve priorizar áreas com elevada permeabilidade

¹ A proporção de abertura (*openness ratio*) é definida pela relação $(\text{altura} \times \text{largura}) \times \text{comprimento}^{-1}$. Proporções menores caracterizam passagens longas, estreitas e baixas, criando um ambiente de confinamento.

potencial ou confirmada para a fauna, diagnosticadas como corredores e que recebam pouca interferência humana (CLEVENGER & WALTHO 2000; GRILO *et al.* 2008; MATA *et al.* 2008). Passagens localizadas próximas a áreas urbanas, por exemplo, são mais utilizadas por espécies antropogênicas, sendo, portanto, recomendável sua instalação em áreas afastadas, de modo a priorizar a utilização por espécies silvestres (ASCENSÃO & MIRA 2007).

Seu dimensionamento depende do grupo animal ao qual se destina, podendo variar entre 0,3 e 7 m de largura ou diâmetro por 0,3 e 4 m de altura (CLEVENGER & HUIJSER 2011). Naquelas de maiores dimensões, podem estar associadas a drenagens, desde que seja mantida passagem seca por meio da instalação de plataformas laterais.

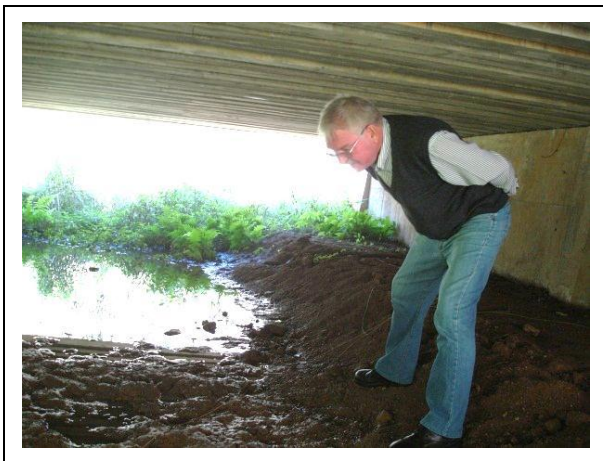


Figura 18. Passagem de fauna sob pontilhão na rodovia RS 486 – Rota do Sol.



Figura 19. Instalação de passagem de fauna em bueiro celular. Rodovia BR 101/RS.



Figura 20. Passagem de fauna em bueiro celular 1,5 x 1,5 m, BR 101/RS.



Figura 21. Entrada de passagem de fauna (seta) na BR 101/RS, com cerca direcionadora.



Figura 22. Passagem de fauna construída com bueiro tubular corrugado na BR 471/RS – Estação Ecológica do Taim.



Figura 23. Túnel para pequenos mamíferos, com cerca direcionadora (CLEVINGER & HUIJSER 2011).

4.2.3.1.1.2. Passagens inferiores grandes

São aquelas passagens inferiores normalmente com 7 a 25 m de largura e entre 3 e 5 m de altura. Recomenda-se uma proporção de abertura maior do que 0,75, pois alturas muito reduzidas as tornariam percebidas pela fauna como túneis, reduzindo sua utilização por algumas espécies, como os cervídeos, por exemplo (CALTRANS 2009). Entretanto, a proporção de abertura não é um critério a ser adotado como regra única, devendo ser considerados fatores como a existência de vãos iluminados junto ao canteiro central, qualidade do hábitat e espécies-alvo na definição das características da estrutura (CLEVINGER & HUIJSER 2011).

Deve haver correspondência de hábitats em ambos os lados da rodovia (CLEVINGER & HUIJSER 2011). Com pequenas adaptações no substrato e recobrimento das paredes, podem ampliar o espectro de espécies que as utilizam. Podem ser construídas por meio de pontilhões pré-moldados, que possuem características estruturais que permitem maior vão vertical. É recomendada a instalação de cercas, ou mesmo solos estabilizados mecanicamente, quando topograficamente adequado, para direcionar a fauna às passagens e impedir seu acesso à estrada.

São destinadas especialmente a grandes mamíferos, mas podem ser usadas pela maioria dos demais grupos animais (BECKMANN *et al.* 2010). Para tanto, é importante que seja fornecido substrato de terra do próprio local e maximizado o microhabitat, com a disposição de pedras, rochas e galhadas (CLEVENGER & HUIJSER 2011). Apresentam como elemento por vezes restritivo o elevado custo de implantação (ARROYAVE *et al.* 2006).

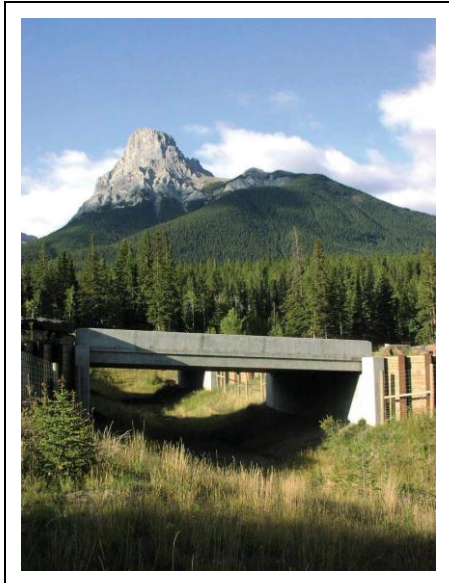


Figura 24. Passagem inferior construída com estrutura de pontilhão e iluminação natural (CLEVENGER & HUIJSER 2011).



Figura 25. Passagem inferior em Sierra County, Califórnia. Foto: Brian Ehler, Calif. DF&G (CALTRANS 2009).

4.2.3.1.1.3. Passagens inferiores multiuso

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



Figura 26. Passagem inferior multiuso (CLEVENGER & HUIJSER 2011).



Figura 27. Passa-gado em tubo corrugado. Foto: Norma Ambiental VALEC nº 15/2010 (www.valec.gov.br).

4.2.3.1.1.4. Túneis para anfíbios e répteis

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

O desenho retangular dos túneis é mais recomendado, pois as paredes verticais de estruturas pré-moldadas facilitam o direcionamento do deslocamento dos indivíduos. Bueiros circulares são utilizados, mas se deve evitar aqueles de aço, pois tem alta condutividade, podem criar campos magnéticos (LESBARRÈRES *et al.* 2004) e apresentam temperaturas muito baixas durante os períodos migratórios de primavera. Podem também ser formados por canaletas subsuperficiais, sendo então de menores dimensões e recobertos por grades metálicas. Os túneis não devem ser inundados, pois isto impede o trânsito dos animais. Não devem apresentar degraus ou inclinação vertical, tampouco aberturas superiores quando interceptam canteiros centrais, sendo preferencialmente contínuos (CLEVENGER & HUIJSER 2011).

Têm normalmente até 0,9 m de largura, e sua eficácia já foi verificada em distâncias de até 40 m (Lausanne, Suíça), apesar de que túneis mais curtos parecem ser mais eficientes para os anfíbios (BECKMANN *et al.* 2010). Recomenda-se que sejam providos diversos túneis nas áreas de sítios reprodutivos, espaçados até 45 m entre si (CLEVINGER & HUIJSER 2011).

Cercas e barreiras são fundamentais para direcionar os animais para estas estruturas. Devem atingir o túnel em ângulo de 45° e ter características que dificultem a escalada pelos animais, tendo preferencialmente mais de 35 cm de altura.



Figura 28. Túnel para herpetofauna com barreira direcionadora (CLEVINGER & HUIJSER 2011).



Figura 29. Duto subsuperficial para anfíbios, recoberto por grades (CLEVINGER & HUIJSER 2011).

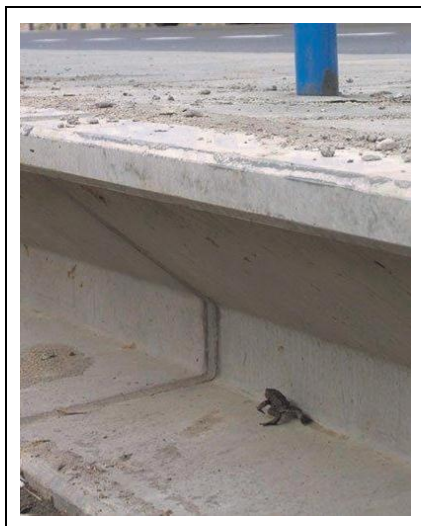


Figura 30. Cerca direcionadora para herpetofauna (BARKER 2009).



Figura 31. Entrada de túnel para herpetofauna (BARKER 2009).

4.2.3.1.1.5. Ecodutos ou pontes de ecossistemas

Tendo sido inicialmente testados na Europa há mais de 4 décadas, constituem uma alternativa de mitigação avaliada positivamente quanto a sua capacidade de propiciar deslocamento para um amplo espectro de animais (ARROYAVE *et al.* 2006). Características importantes para sua efetividade são a implantação de cobertura vegetal e a instalação de barreiras visuais, por meio do plantio de espécies arbustivas e arvoretas em suas laterais ou da instalação de cercas de madeira, por exemplo. Podem, também, receber canais ou ambientes artificiais que induzam sua utilização por anfíbios (ARROYAVE *et al.* 2006).

Permitem uma continuidade de habitats, pois a própria estrutura recria um ambiente atrativo à fauna, sem confinamento e com a possibilidade de reprodução das condições ambientais circundantes, servindo inclusive como um habitat de passagem para pequenos animais (AHERN *et al.* 2009). Devem apresentar tipos diferentes de vegetação, combinando cobertura herbácea, arbustiva e arbórea, para estimular a utilização por uma maior variedade de animais. Normalmente tem mais de 70 m de largura, e preferencialmente mais de 100 m, atendendo todos os grupos da fauna terrestre (BECKMANN *et al.* 2010; CLEVINGER & HUIJSER 2011), assim como aves (JONES & BOND 2010). Apresentam como elemento dificultador para sua implantação o alto custo associado.



Figura 32. Ecoduto (CLEVINGER & HUIJSER 2011).



Figura 33. Ecoduto (DAMARAD & BEKKER 2003).

4.2.3.1.1.6. *Passagens superiores*

Semelhantes aos ecodutos, porém com menores dimensões (40 a 70 m de largura). Para utilização por grandes mamíferos, é sugerida uma largura mínima entre 40 e 50 m (VAN WIEREN & WORM 2001). Segundo dados de 2008 (BISSONETTE & CRAMER), existiam apenas quatro passagens superiores nos Estados Unidos e três no Canadá, quantidade bastante reduzida se comparada as 559 e 118 passagens inferiores instaladas, respectivamente, em ambos países. Já na Europa, são extremamente utilizadas, existindo registro de 125 passagens superiores na França, 30 na Alemanha, 20 na Suíça, quatro na Holanda, além daquelas em inúmeros outros países daquele continente e na Austrália (CORLATTI *et al.* 2009).

É importante que não existam atividades humanas para que tenham maior grau de efetividade. Ainda que destinadas principalmente aos grandes mamíferos, são utilizadas por ampla gama de espécies (BECKMANN *et al.* 2010). Para espécies de maior porte, é importante que a densidade de arbustos não seja tal que dificulte sua movimentação. Entretanto, dada a tendência de utilização por outros grupos, tais como pequenos e médios mamíferos, anfíbios, répteis, e mesmo aves (JONES & BOND 2010) e invertebrados (K. KELLER *et al.* 2005), é desejável que a passagem apresente uma continuidade do hábitat circundante, com vegetação similar (JONES *et al.* 2011).

O tipo e densidade da vegetação a ser implantada têm como limitante a camada de solo a ser depositada na passagem. Como esta é diretamente relacionada às características estruturais, deve ser prevista já na fase de projeto (AHERN *et al.* 2009).

Como potencialmente podem acarretar em riscos ao tráfego, seja por interferir com rampas ou intersecções, ou por se tornar uma distração aos motoristas ou obstaculizar seu campo de visão, o desenho e a localização das passagens devem ser

minuciosamente analisados no âmbito do projeto de engenharia da rodovia (AHERN *et al.* 2009).



Figura 34. Vista aérea da passagem superior instalada na Campton Road, Brisbane, Austrália. Imagem: Google Earth, 15/06/2009.



Figura 35. Vista da passagem superior a partir da rodovia. Imagem: Google Street View. (Coord. 27°36'58"S/153°05'03"E)



Figura 36. Implantação da vegetação na passagem superior. Ao fundo, postes com poleiros para aves (VEAGE & JONES 2007).

4.2.3.1.1.7. Passagens superiores multiuso

Caracterizam-se pela destinação voltada tanto à fauna (especialmente de mamíferos, incluindo alguns de grande porte e a maioria dos generalistas) quanto ao uso humano e de animais domésticos (BECKMANN *et al.* 2010). Adaptações para que se obtenha um mínimo de segregação entre os tipos de usuário devem ser providas, tais como o plantio de vegetação arbustiva no segmento destinado preferencialmente à fauna silvestre (AHERN *et al.* 2009). Em geral, têm entre 8 e 25 m de largura.

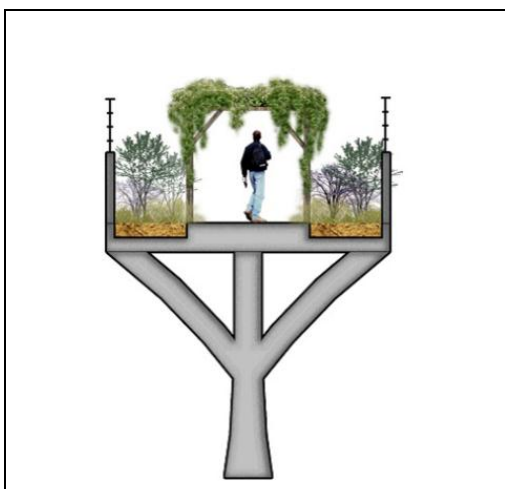


Figura 37. Desenho conceitual de passagem mista para humanos e fauna em Walden Ponds, Massachussets, Estados Unidos (AHERN *et al.* 2009).



Figura 38. Passagem mista (CLEVINGER & HUIJSER 2011).

4.2.3.1.1.8. Passagens no estrato arbóreo

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



Figura 39. Passagem aérea instalada na rodovia SC 450, Praia Grande. Foto: Rodney Schmidt – IBAMA, processo de licenciamento ambiental nº 02001.002695/2005-01.



Figura 40. Bugios-ruivos (*Alouatta guariba*) utilizando a passagem aérea. Foto: Gerson Buss, Programa Macacos Urbanos.



Figura 41. Passagem instalada na sinalização da rodovia (CLEVINGER & HUIJSER 2011).

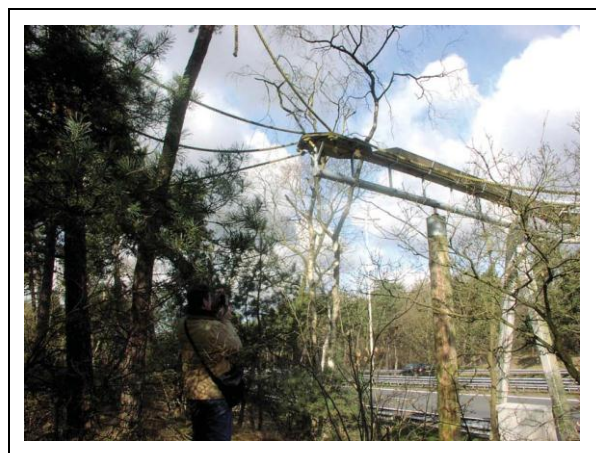


Figura 42. Passagem em estrutura de madeira e cordas (CLEVINGER & HUIJSER 2011).

4.2.3.1.1.9. Túneis rodoviários

Com extensões dependentes do obstáculo a ser transposto, os túneis são habitualmente construídos quando as feições topográficas dificultam a adoção de outras alternativas, tal como em regiões montanhosas. Ao separar fisicamente o tráfego e a fauna, praticamente eliminam os incidentes e preservam a conectividade existente, sendo ambientalmente preferenciais às demais alternativas tecnológicas que interferem diretamente no hábitat (CARR *et al.* 2002). Entretanto, devido ao seu alto custo, raramente são utilizados por motivos exclusivamente relacionados à fauna (BECKMANN *et al.* 2010). Já com justificativa ambiental em sentido amplo, existem exemplos de seleção desta alternativa no contexto do licenciamento ambiental, tal como o túnel sob o Morro Alto, na BR 101/RS, com 1.900 m de extensão, reduzindo o percurso do traçado anterior da rodovia em 10,95 km. O custo total estimado do lote de 25 km em que o mesmo se inclui, entretanto, subiu de 59 para 110 milhões de reais com a adoção desta alternativa.

Apresentando resultados similares e custos inferiores, ainda que elevados, falsos túneis aproveitando-se de cortes-caixão podem ser uma solução particularmente eficiente quando as condições topográficas o permitirem e o ambiente apresentar alto interesse para conservação. Neste caso, a nomenclatura escolhida depende da perspectiva do observador, pois representa igualmente um ecoduto ou passagem superior, apenas com sua construção facilitada pelas características topográficas do local. Atendem a praticamente todos os grupos animais.



Figura 43. Conjunto de túneis com passagem superior cercada (JONES 2010).



Figura 44. Túnel na Alemanha, com área superior proporcionando uso misto (humano e fauna) (IUELL *et al.* 2003).

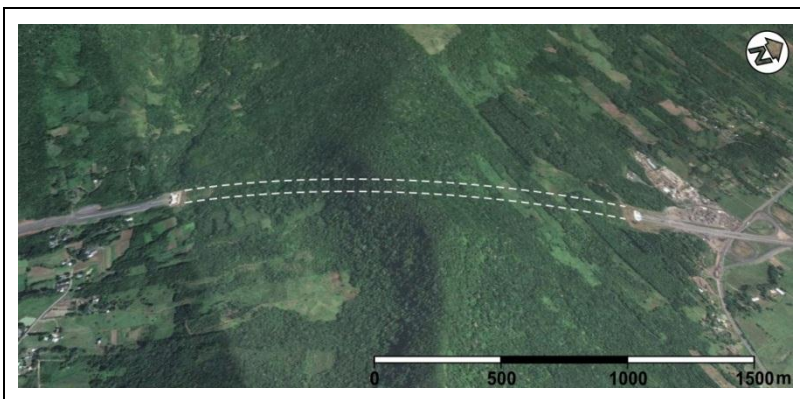


Figura 45. Túnel sob o Morro Alto, BR 101/RS. Imagem Google Earth, 2010. (Coord. Geogr. 50°12'27"W / 29°44'00"S, WGS84)



Figura 46. Emboque Norte do túnel sob o Morro Alto, BR 101/RS.

4.2.3.1.1.10. Viadutos e elevadas

Geralmente não tem como finalidade principal oferecer conectividade à fauna, mas oferecem esta vantagem adicional. Em várzeas extensas e áreas úmidas constituem a melhor alternativa, pois interferem minimamente no ambiente. Possuem extensão variável e atendem à praticamente todos os grupos de animais (BECKMANN *et al.* 2010).



Figura 47. Viaduto (JONES 2010).



Figura 48. Viaduto na rodovia RS 486 - Rota do Sol, Rio Grande do Sul.



Figura 49. Elevada com cerca de 2.100 m de extensão na BR 101/RS, várzea do rio Maquiné. Imagem Google Earth 2010. (Coord. Geogr. 50°10'53"W / 29°42'23"S, WGS84)

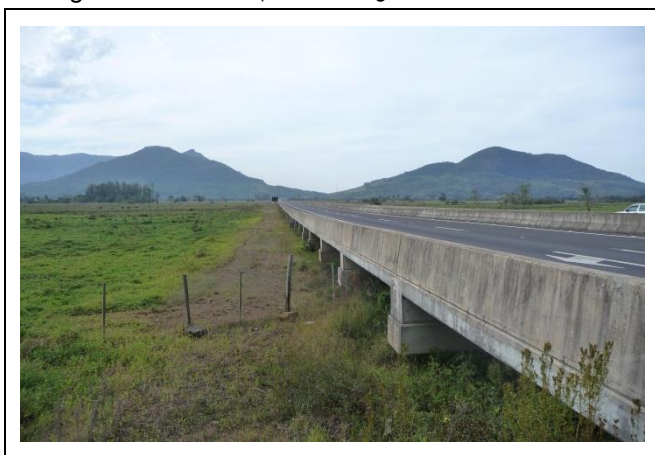


Figura 50. Elevada na várzea do rio Maquiné. (Coord. Geogr. 50°11'40,4"W / 29°43'12,4"S, WGS84)



Figura 51. Detalhe da elevada no trecho sobre o canal do rio Maquiné, BR 101/RS.

4.2.3.1.1.11. Pontes e pontilhões

Sob a perspectiva ambiental, são sempre preferenciais aos aterros, pois interferem minimamente no hábitat (CARR *et al.* 2002). Preservam a integridade dos ambientes aquáticos e, com eventuais adaptações, tais como passagens secas, podem propiciar excelentes corredores para a fauna terrestre, cuja movimentação frequentemente está associada às drenagens (BARNUM 2003) e matas ciliares associadas. Em casos especiais, a utilização de cercas pode não ser a opção recomendada, pois as pontes podem ser utilizadas por espécies de pequeno porte como corredor para vencer os cursos d'água, os quais muitas vezes criam barreiras a sua movimentação, inclusive ocasionando a separação genética de populações (BROCKIE 2007).



Figura 52. Ponte São Borja (Brasil) – Santo Tomé (Argentina), com amplos vãos secos junto às cabeceiras. (Coord. Geogr. 56°00'40\"/>

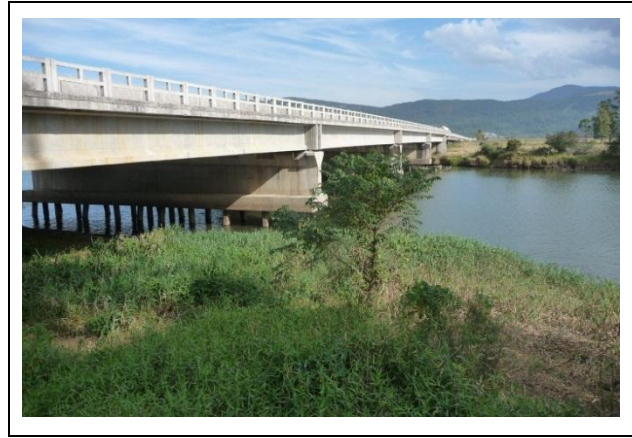


Figura 53. Ponte na BR 101/RS, com passagem seca junto à margem. (Coord. Geogr. 50°10'51,9\"/>



Figura 54. Foto aérea do pontilhão Várzea 2, obras de duplicação BR 392/RS. (Coord. Geogr. 52°19'40\"/>



Figura 55. Pontilhão Várzea 1, BR 392/RS, com laterais secas para passagem de fauna. (Coord. Geogr. 52°19'28\"/>

4.2.3.1.1.12. Bueiros modificados

Originalmente destinados à função de drenagem, pequenas adaptações podem torná-las eficientes estruturas de passagem para vertebrados. Plataformas secas e rampas de acesso são de fácil implantação e reduzido custo, resultando em uma estrutura funcional. Tais adaptações, entretanto, não devem interferir em sua capacidade hidrológica (BECKMANN *et al.* 2010). A análise por ASCENSÃO & MIRA (2007) da utilização de 34 bueiros em duas estradas de Portugal demonstrou que estas estruturas são incorporadas aos caminhos de muitas espécies, principalmente carnívoros, independente do volume de tráfego. Quando este é elevado, a perturbação por ele provocada desencoraja os animais a tentarem cruzar a estrada, fazendo com

que busquem passagens alternativas, o que é facilitado pela instalação de cercas direcionadoras. Na Austrália, bueiros têm sido usados por amplo espectro de espécies, particularmente quando apresentam habitats adjacentes preservados (TAYLOR & GOLDINGAY 2003), situação similar àquela observada para felídeos nos Estados Unidos (CAIN *et al.* 2003) e mamíferos em geral no Canadá (CLEVINGER *et al.* 2001A).

Formato, comprimento, altura, largura, revestimento e iluminação, além de degraus ou poços de recolhimento de detritos que podem se constituir em obstáculos físicos, são características estruturais que influenciam seu grau de utilização para todos os grupos animais e, particularmente, para peixes. Enquanto a maioria dos animais prefere estruturas que possibilitem boa visibilidade do habitat na extremidade oposta, para anfíbios esta parece não ser uma característica determinante (CALTRANS 2009). O substrato deve preferencialmente ser o mesmo do ambiente adjacente, e a utilização de cercas condutoras e vegetação próximo as suas entradas incrementa o potencial de uso destas estruturas (GRILO *et al.* 2008; TAYLOR & GOLDINGAY 2003).

Os bueiros têm normalmente entre 0,6 e 2,5 m de largura ou diâmetro, e podem ser dos seguintes tipos (Figura 56):

- Bueiro celular: geralmente de concreto pré-moldado, apresenta grande área basal e pode ser instalado em módulos, sendo de simples construção. Normalmente apresenta a superfície da base lisa, o que acarreta em aumento da velocidade da água. Em casos de fluxo reduzido, é importante que tenha um canal central rebaixado que mantenha fluxo constante e sirva como passagem para peixes.
- Bueiro circular: maior profundidade da água facilita fluxo da ictiofauna em descargas reduzidas.
- Bueiro tubular em arco: área basal ampliada, perfil baixo.

- Bueiro em arco: substrato do curso d'água mantido em condições próximas às naturais, o que é recomendável especialmente para peixes. Podem ser construídos com até 12 m de seção transversal, mas a viabilidade normal para sua instalação não excede 7,5 m. Também apresentam limitações em gradientes superiores a 8%, devido à tendência de formação de processos erosivos que comprometam a estabilidade de suas bases (BAKER & VOTAPKA 1990). O maior tempo para instalação, maior altura e o custo elevado também são elementos que dificultam sua adoção como regra geral na escolha de dispositivos de drenagem.

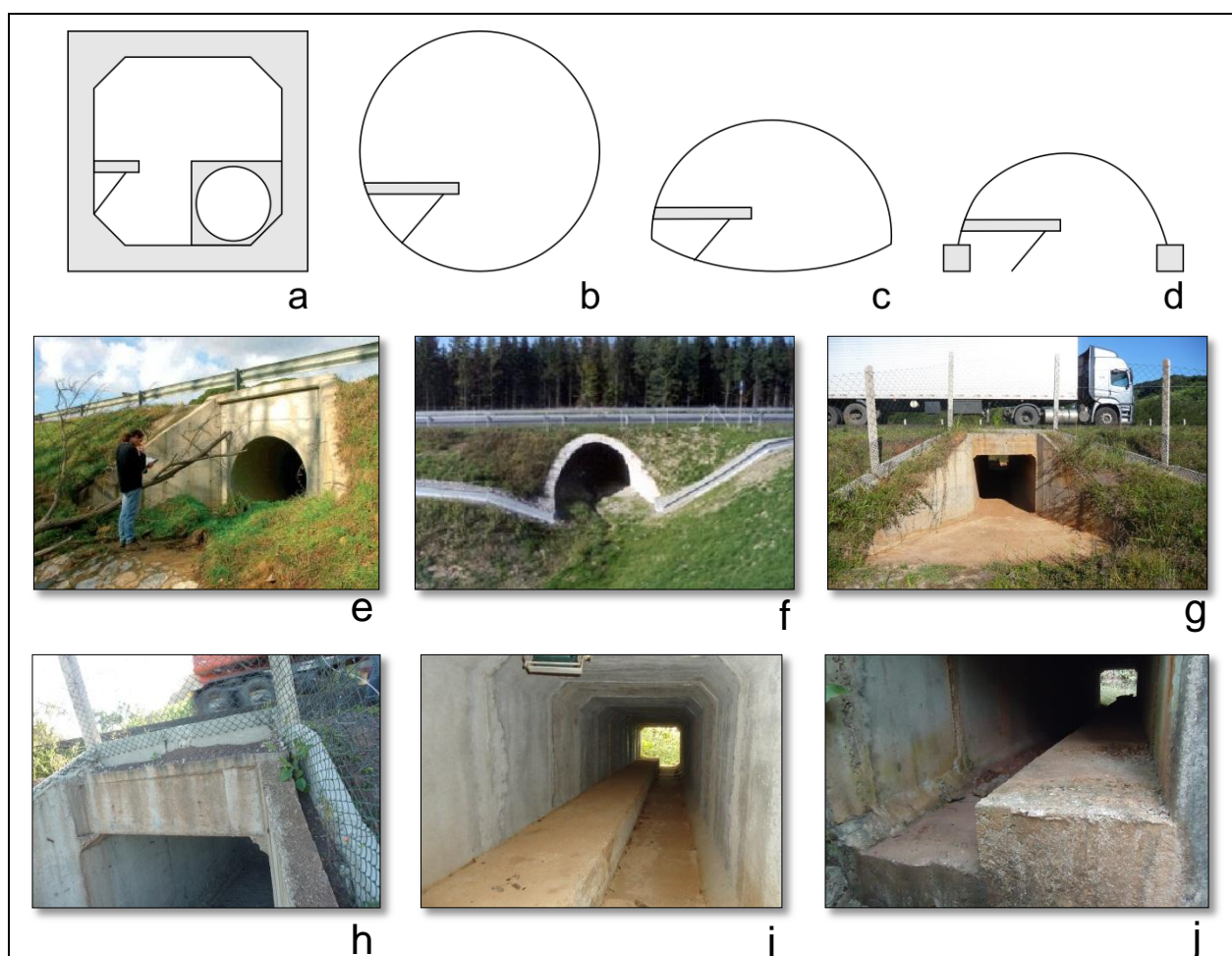


Figura 56. Corte transversal de diferentes tipos de bueiros e exemplos de plataformas para passagem seca. a,g,h,i,j) celular; b,e) circular; c) tubular em arco; d,f) arco. O bueiro celular (a) apresenta em seu interior, à direita, plataforma sobre bueiro circular servindo como passagem seca, solução adotada pelo DNIT em alguns projetos de rodovias federais. Em g), cerca direcionadora, com detalhe em h). Em i) e j), detalhes de passagem seca no interior do bueiro celular. Observe-se a ausência de rampas de saída para facilitar o acesso da fauna no bueiro apresentado em j). Esquema adaptado de BAKER & VOTAPKA (1990); fotos: (e) LUELL *et al.* 2003, (f) BANK *et al.* 2002.

Preferencialmente, a esconsidade² e o ângulo de inclinação vertical do bueiro devem corresponder aos do curso d'água por ele drenado. Entretanto, se a inclinação for muito acentuada, a superfície lisa dos bueiros pode acelerar demasiadamente a velocidade da água, impedindo a transposição por diversas espécies de peixes. Após estudo hidrológico detalhado, pode ser reduzido o ângulo de inclinação do bueiro, o que facilita a passagem de peixes, sendo necessário, simultaneamente, adotar medidas para reduzir o desnível gerado entre uma extremidade do bueiro (ou ambas) e o curso d'água. As extremidades dos bueiros devem apresentar desníveis tais que não comprometam a passagem da fauna, o que pode ser obtido com a deposição de pedrachão de forma a suavizar a transição do bueiro para o solo adjacente, ou com instalação de piscinas sequenciais de repouso, formadas com a instalação de barreiras de gabiões ou concreto, com desnível de até 30 cm uma da outra, até que seja superada a diferença de cotas entre a extremidade do bueiro e o nível normal do curso d'água (Figura 57). Bueiros de metal corrugados (ármicos) apresentam velocidade da água entre 2 e 3 vezes menor do que aqueles lisos nas mesmas condições de comprimento, inclinação e fluxo d'água, o que é desejável para a movimentação de peixes (BAKER & VOTAPKA 1990). Entretanto, para a fauna terrestre, é necessário avaliar a necessidade de revestimento da superfície inferior no caso de rugosidade excessiva, a qual pode ocasionar dificuldade de movimentação para espécies de pequeno porte. No caso de bueiros construídos com material de tonalidade escura, também deve ser avaliada a necessidade de pintura interna com cores mais claras, visando aumentar a visibilidade do ambiente.

² A esconsidade é definida pelo ângulo formado entre o eixo longitudinal do bueiro e a normal ao eixo longitudinal da rodovia (DNIT 2006).

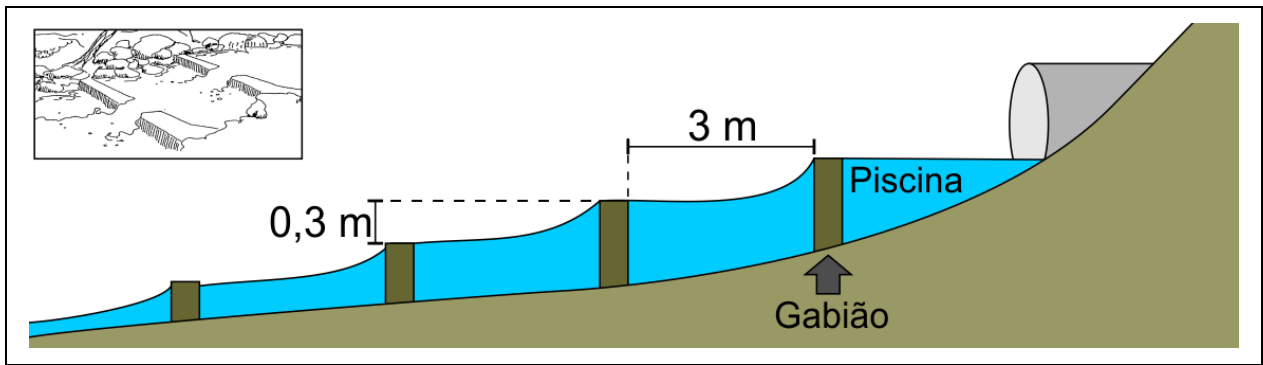


Figura 57. Corte longitudinal de sistema de piscinas para dissipação de energia do fluxo d'água e viabilização da travessia de peixes. No detalhe à esquerda, visualizam-se canais centrais para manutenção do fluxo. Adaptado de BAKER & VOTAPKA (1990).

Para a fauna em geral, é essencial que disponham de dispositivo para passagem seca na maioria das condições de fluxo hídrico elevado. Esta pode consistir em uma plataforma sustentada por mãos-francesas, degrau sólido ou plataforma sobre bueiro circular inserido em bueiro de maiores dimensões, visando à manutenção da vazão de projeto. É importante que o acesso do terreno contíguo até a plataforma seja viabilizado por rampas suaves. Mesmo que em situações de excepcional fluxo hídrico se verifique a inundação completa das estruturas, na maior parte do tempo será mantida sua funcionalidade como passagem de fauna.



Figura 58. Passagem seca formada por pedras na lateral de bueiro corrugado (CALTRANS 2009).

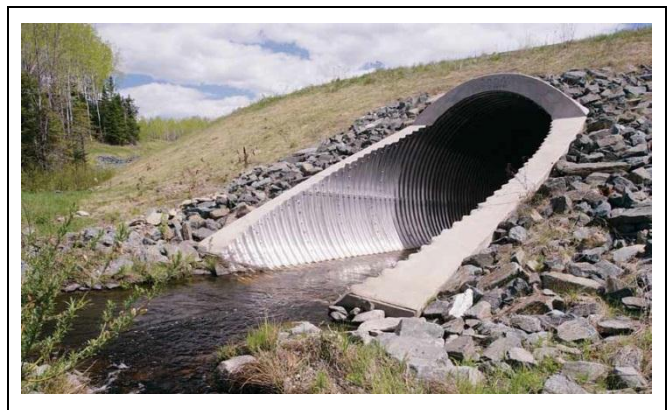


Figura 59. Bueiro ármico com borda de concreto na entrada e entorno em pedras, para melhor visualização. Foto: Atlantic Industries Limited.

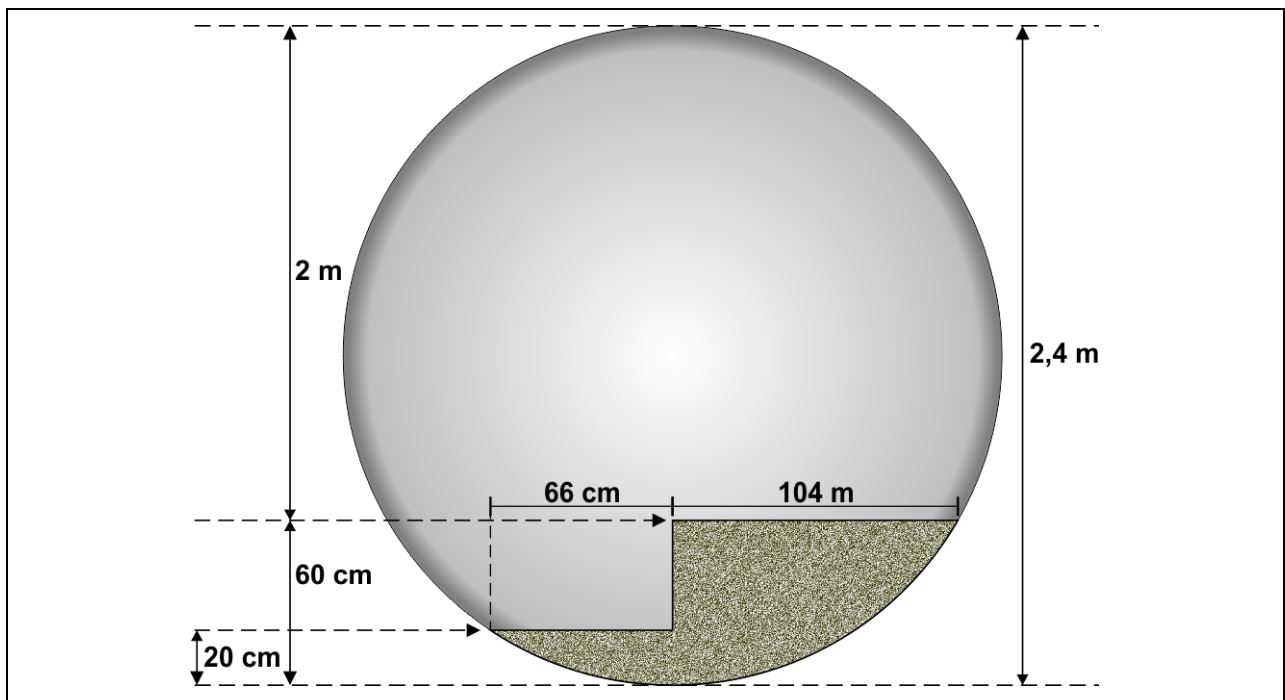


Figura 60. Croqui ilustrando plataforma seca para deslocamento da fauna. Adaptado de Nota Técnica GA-14-05-2012, DNIT-UFSC/FAPEU (Laura M. Gomes, Luis Fernando Barrios e Juliana S. Roscoe), Licenciamento BR 386/RS, Processo IBAMA nº 02001.007807/2006-92.

4.2.3.1.1.13. Barreiras anti-ruído

Podem ser construídas de madeira, concreto, vidro ou mesmo obtidas com o plantio de espécies vegetais adequadas. Estas podem incluir arbustos e arvoretas em densidade elevada, quando na mesma cota da rodovia, ou árvores com folhagem densa, se no topo de taludes de corte, não comprometendo a segurança viária. Além de visarem proteção acústica a ambientes urbanizados adjacentes, em relação à fauna se destinam principalmente à proteção de sítios de nidificação de aves e como guias para condução de fauna aos dispositivos de passagem. Sua efetividade foi pouco testada, sendo necessário avaliar seus reflexos no efeito de barreira, seja pela própria contenção física, seja por uma potencial redução no evitamento à estrada pela fauna (BANK *et al.* 2002).



Figura 61. Barreira acústica na França (JONES 2010).



Figura 62. Barreira acústica, Rodovia M7, Irlanda, 2012. Foto: Fabiana Michelsen de Andrade, FEEVALE.

4.2.3.1.1.14. Ampliação do canteiro central

Proporcionar um canteiro central vegetado e com maiores dimensões do que as habituais proveria os animais de um local intermediário quando de sua travessia da rodovia, possibilitando que a efetuassem em um sentido por vez, hipoteticamente reduzindo a possibilidade de serem atropelados. Entretanto, os dados quantitativos existentes indicam que este tipo de tratamento do canteiro central pode resultar em maior número de colisões quando comparado a divisões com barreiras Jersey (Figura 64) ou pistas contínuas, especialmente para aves e felídeos (CAIN *et al.* 2003; CLEVINGER & KOCIOLEK 2006). Tal fato pode se dever à atração de um maior número de animais a um ambiente potencialmente perigoso (BECKMANN *et al.* 2010), especialmente se utilizadas árvores frutíferas. Barreiras *Jersey* ou *F*, cuja finalidade é reconduzir veículos desgovernados à pista, são amplamente utilizadas no mundo inteiro, tanto nas laterais das pistas quanto na separação de fluxos de tráfego. Como constituem barreiras físicas à movimentação da fauna, sua instalação com intervalos para permitir a passagem de animais, ou a disponibilização de aberturas ovaladas para que pequenos mamíferos e roedores não tenham seu caminho bloqueado ao cruzar a rodovia, tem sido cada vez mais empregada, ainda que a eficácia destas adaptações estruturais não tenha sido testada (CLEVINGER & KOCIOLEK 2006).



Figura 63. Canteiro central ampliado (CLEVINGER & KOCIOLEK 2006).



Figura 64. Barreira Jersey com passagem para fauna (CLEVINGER & KOCIOLEK 2006).

4.2.3.1.2. Manejo

Diferentemente das intervenções estruturais, não envolvem alterações substanciais nos padrões construtivos da rodovia, mas sim estratégias que buscam influenciar o comportamento do motorista, seja por meio de restrições ao tráfego, alertas em áreas de maior risco ou incorporação do fator fauna ao seu universo de atenções, ou alterar o comportamento da fauna na sua relação com a via de tráfego, afastando-a ou controlando sua presença de modo seguro.

4.2.3.1.2.1. Campanhas educativas

Envolvem a divulgação de informações aos motoristas referentes ao número de colisões envolvendo animais, trechos e horários mais perigosos e procedimentos a serem adotados ao avistar um animal na pista ou próximo a ela. Sua efetividade não foi mensurada no que se refere à redução no número de atropelamentos, ainda que possam contribuir na divulgação do problema e das estratégias de mitigação adotadas. No Brasil, panfletos informativos vêm sendo distribuídos em postos policiais e de pedágio em rodovias licenciadas pelo IBAMA, como a BR 386/RS - Tabai - Estrela, em fase de duplicação a partir de 2010 (Figura 65).

A Rodovia **BR 386/RS**, no trecho entre as cidades de Tabaí e Estrela está sendo duplicada pelo DNIT. Este empreendimento está inserido no PAC e é licenciado pelo IBAMA. Para zelar pelo **Meio Ambiente** o DNIT contratou uma equipe de Gestão Ambiental que acompanha o dia-a-dia das obras.



A seguir algumas dicas para você **MOTORISTA** ajudar na preservação do meio ambiente:

Nós estamos na fase de supressão da vegetação e limpeza das áreas de obra. Esta atividade poderá espantar animais silvestres que saem das matas e vão para a rodovia. **Atenção amigo motorista! Cuidado com os animais, evite atropelamentos!**



Figura 65. Panfleto informativo distribuído durante as obras de duplicação da rodovia BR 386/RS.

4.2.3.1.2.2. Sinalização viária

A habituação dos motoristas à sinalização parece ser a principal causa da pouca efetividade desta medida. Estratégias tais como a combinação da sinalização referente à fauna com sinalização indicativa de velocidade máxima ou sinais luminosos intermitentes em determinados horários resultaram na redução de 3,7 a 7,4 km/h

quando comparados com a sinalização estática tradicional, sem apresentar, entretanto, redução significativa no número de animais atropelados (BECKMANN *et al.* 2010). Dispositivos com estas características são normalmente ativados somente durante a noite. Equipamentos móveis de sinalização luminosa (transportados sobre reboques e instalados temporariamente em segmentos diversos) demonstraram melhores efeitos na redução de velocidade, quando comparados a equipamentos estáticos (HARDY *et al.* 2006). Técnicas de sinalização horizontal utilizadas em outros contextos rodoviários visando à redução de velocidade também podem ser empregadas, tais como faixas, deflexões e sonorizadores, além do estreitamento visual com a inclusão de elementos direcionadores ou verticais (árvores ou portais, por exemplo) (BHTRANS 1999).



Figura 66. Sinalização estática tradicional. BR 116/RS.



Figura 67. Sinalização estática tradicional, adaptada para a fauna típica da região. BR 471/RS.



Figura 68. Sinalização estática em estrada de serviço da Linha de Transmissão São Domingos – Água Clara, Mato Grosso do Sul. Foto: Marli Araújo, Eletrosul.



Figura 69. Sinalização estática, em grandes dimensões e ilustrada com exemplares da fauna local. BR 116-392/RS.

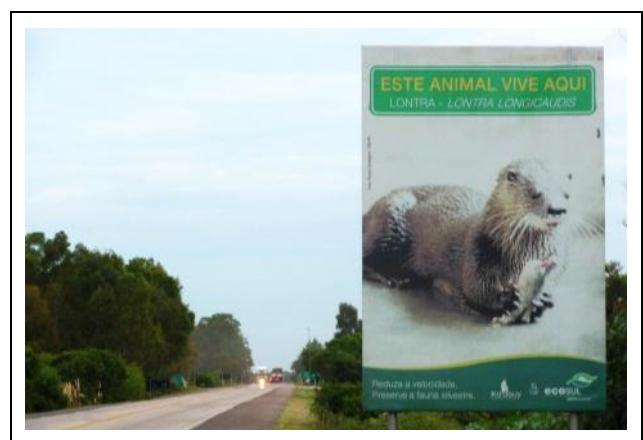


Figura 70. Sinalização estática (*Lontra longicaudis*). BR 116-392/RS.

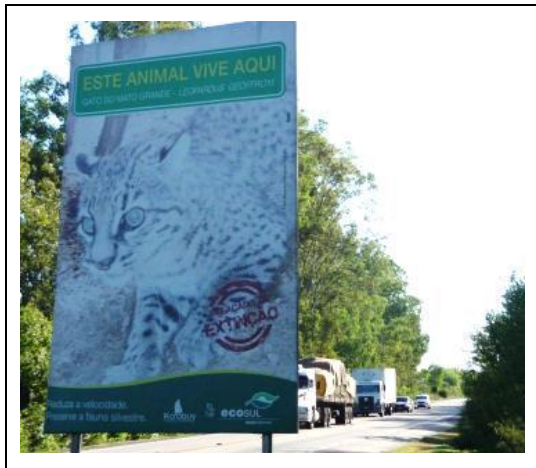


Figura 71. Sinalização estática (*Leopardus geoffroyi*). BR 116-392/RS.



Figura 72. Sinalização estática (*Cerdocyon thous*). BR 116-392/RS.

4.2.3.1.2.3. Limitação da velocidade

Existe uma relação direta entre a velocidade do tráfego e o número de atropelamentos, visto que o tempo de resposta para evitar a colisão é expressivamente aumentado em velocidades reduzidas. Entretanto, o estabelecimento de limites máximos incompatíveis com a geometria da rodovia não gera a redução da velocidade por parte da maioria dos condutores, ocasionando diferenças de velocidade que podem ser ainda mais perigosas (BECKMANN *et al.* 2010). A limitação da velocidade aquém da capacidade geométrica da via deve ser acompanhada de medidas físicas ou coercitivas para que seja efetiva, tais como a implantação de controladores de velocidade, redução na largura das pistas e do acostamento, ondulações transversais e sonorizadores (no Brasil, permitidos somente em áreas urbanas pela Resolução nº 39/1998 do CONTRAN), ou redução do campo visual com a instalação de barreiras nas laterais da via (BHTRANS 1999). A possibilidade de adequação temporal dos limites de velocidade, com a redução nos períodos em que ocorre maior probabilidade de atropelamentos, como durante a noite, é uma alternativa a ser melhor explorada, especialmente em segmentos de menor extensão, porém limitados a condições técnicas e dependentes de regulamentação às normas legais de trânsito. A dificuldade de manutenção de controladores eletrônicos de velocidade, seus altos custos, a

rejeição pública e a pouca efetividade em trechos longos são aspectos que dificultam sua utilização em maior escala.



Figura 73. Controlador eletrônico de velocidade. BR 471, Estação Ecológica do Taim, Santa Vitória do Palmar/RS.

4.2.3.1.2.4. *Redução do volume de tráfego*

Apesar de dados de campo e simulações envolvendo o volume de tráfego e o número de atropelamentos indicarem uma relação inversamente proporcional entre ambos, o redirecionamento do tráfego de rodovias secundárias para rodovias principais gera maiores impactos no que se refere à qualidade do hábitat adjacente a estas últimas, aumentando igualmente seu efeito como barreira (BECKMANN *et al.* 2010). Portanto, a utilização desta estratégia requer um planejamento que considere quantitativamente a redução na mortalidade e os prejuízos ocasionados pela deterioração do hábitat e incremento do efeito de barreira nas rodovias que terão aumento de tráfego e os efeitos inversos naquelas com tráfego reduzido.

4.2.3.1.2.5. *Interdição temporária*

Fluxos sazonais expressivos de fauna, observados em períodos reprodutivos de anfíbios e répteis, podem indicar a interdição temporária como medida recomendada para evitar o atropelamento massivo. Na América do Norte, situações similares ocorrem também envolvendo médios e grandes animais, como cervídeos,

cuja alta frequência de deslocamento noturno e sazonal também propicia a sugestão desta medida em locais de populações expressivas e alto índice de atropelamentos (BECKMANN *et al.* 2010). Entretanto, devido à necessidade de manutenção das condições de deslocamento de pessoas e bens, a possibilidade de implantação de tal medida fica restrita a segmentos de rodovias secundárias de baixo fluxo e com alternativas de redirecionamento do tráfego ou situadas dentro de Unidades de Conservação, quando pode ocorrer inclusive a desativação total da rodovia (vide Estrada do Colono, no Parque Nacional do Iguaçu (BERGALLO & VERA Y CONDE 2001)). Em uma malha viária normalmente deficitária em termos de alternativas, como a brasileira, é uma medida de difícil aplicação. Entretanto, em determinadas situações e com finalidades distintas, tal medida é parcialmente adotada. Pode-se citar como exemplos a proibição do tráfego de cargas perigosas entre 22h e 6 h nas rodovias BR 471/RS – trecho Rio Grande – Chuí e BR 290/RS – trecho Osório – Porto Alegre, com a finalidade de proteção de áreas ecologicamente sensíveis e mananciais hídricos (Portaria DNIT nº 011/2003 e Resolução ANTT nº 3.782/ 2012, respectivamente).

4.2.3.1.2.6. Sistemas de detecção de fauna

A utilização de sensores que detectam a presença de fauna e ativam a sinalização de alerta é uma estratégia que apresenta a vantagem de poder ser instalada ao longo de toda a rodovia, visto que os sinais permanecem discretos até o momento em que são ativados pela fauna e, desta forma, permitem maior grau de liberdade na movimentação dos animais, sendo adaptáveis às variações temporais dos padrões de deslocamento. Para serem eficazes, não podem apresentar uma quantidade elevada de “falsos-positivos”, ou seja, ativação por fatores outros que não a presença de animais (tal como o vento, trepidação dos veículos, etc). Sua efetividade se baseia tanto na redução de velocidade quanto no aumento do estado de alerta dos

motoristas ao se depararem com o sinal ativo, tendo sido registrada redução de 91% no atropelamento de grandes ungulados e redução na velocidade superiores a 5 km/h (BECKMANN *et al.* 2010), chegando a reduzir em 96% as colisões com alces em um segmento de 5 km no Arizona, com custos 83% menores do que uma grande passagem inferior (EILERTS 2009). São utilizados na América do Norte e Europa, com indicadores positivos de eficácia (BANK *et al.* 2002; HUIJSER *et al.* 2009; HUIJSER *et al.* 2006). Custos elevados, ineficiência na detecção de animais de menor porte, e restrita detectabilidade em condições diurnas de luz, dependendo do sistema utilizado, são aspectos negativos desta alternativa de mitigação (BECKMANN *et al.* 2010).



Figura 74. Sinal piscante ativado por câmaras de infravermelho no Canadá. A detecção envolve combinação de movimento, tamanho e velocidade do animal para acionar o sistema. (HUIJSER *et al.* 2006).



Figura 75. Sinal de advertência com mensagens iluminadas por LEDs e ativadas por sensores de infravermelho passivos, calibrados para identificar movimentação de cervídeos. Foto adaptada de HUIJSER *et al.* 2006.

4.2.3.1.2.7. Alerta e afugentamento

O afugentamento de animais das estradas é buscado por meio de técnicas que visam alertá-los ou amedrontá-los, tais como a presença humana, sons, luzes, laser, sprays e pirotecnia. São medidas muito suscetíveis à habituação por parte da fauna (BECKMANN *et al.* 2010), com eficiência incerta de acordo com as avaliações disponíveis.

Alertas sonoros são baseados em aparelhos instalados nos veículos, com a função de emitir sons em frequências sonoras acima de 16 kHz, próximo ao limite da audição humana, mas audíveis para diferentes grupos de animais, os quais seriam afugentados da rodovia. Cervídeos, por exemplo, detectam frequências de até 30 kHz, sendo portanto teoricamente plausível a utilização de sons para afugentar animais das faixas de rolamento (D'ANGELO *et al.* 2007). Os equipamentos disponíveis no mercado podem ser ativados eletricamente ou pelo fluxo de ar resultante da movimentação do veículo, usualmente acima de 50 km/h. Devido às dificuldades em produzir sons nas frequências e intensidades necessárias, especialmente em um veículo em movimento, assim como as diferentes capacidades auditivas dos grupos animais, as preocupações referentes à exposição humana prolongada e a habituação dos animais ao ruído, ocasionando a perda de resposta comportamental, a eficácia desta medida não foi comprovada até o momento (VALITZSKI 2007).



Figura 76. Emissor de ultrassom acionado pelo vento.
Imagem: <http://www.sav-a-life.com>.



Figura 77. Emissor de ultrassom acionado eletricamente. Foto: <http://www.xp3hornet.com>.

Repelentes olfativos baseiam-se na capacidade de atração ou repulsão da fauna a determinados odores (humanos, predadores, agradáveis ou desagradáveis), objetivando que a mesma tenda a utilizar determinados caminhos ou se mantenha afastada da rodovia. Ainda que seja um método promissor, mesmo com a tendência à habituação por parte da fauna, não existem dados suficientes para dimensionar sua

efetividade, sendo também um método que exige manutenção intensa e, por conseguinte, implica em custos elevados (BANK *et al.* 2002; BECKMANN *et al.* 2010).

Refletores e espelhos visam refletir a luz proveniente dos faróis dos veículos na área adjacente à rodovia, o que supostamente afugentaria os animais. Apesar de terem sido bastante experimentados na Europa, são considerados ineficientes (BANK *et al.* 2002; D'ANGELO *et al.* 2006) ou apresentam resultados controversos ou inconclusivos (BECKMANN *et al.* 2010), sendo constatados problemas referentes à baixa refletividade, necessidade de manutenção e habituação da fauna a estes dispositivos. Deve ser considerado também que a cor dos refletores determina o comprimento de onda refletido, que será percebido diversamente entre os grupos animais (RAMP & CROFT 2006). Ainda assim, são adotados em diversos países e contam com fabricantes especializados, sendo uma tecnologia em desenvolvimento e potencialmente efetiva, requerendo estudos mais aprofundados.

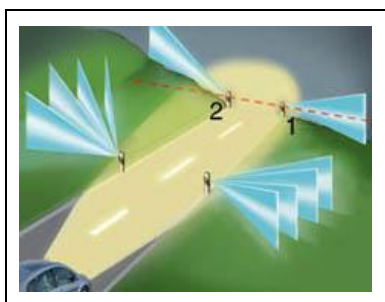


Figura 78. Representação esquemática da instalação de refletores às margens da rodovia.
Imagem: www.swareflex.com



Figura 79. Refletores instalados em rodovia americana.
Foto: www.strieter-lite.com



Figura 80. Modelo de refletor.
Imagem: www.swareflex.com.

Em tese, aumentar a visibilidade de segmentos de uma rodovia durante a noite por meio de iluminação artificial pode auxiliar no avistamento antecipado da fauna e, portanto, permitir ao motorista antecipar sua reação para evitar o atropelamento da fauna. No Alasca, Estados Unidos, a iluminação de um segmento de rodovia teve como consequência a redução de até 65% no número de colisões entre veículos e alces, não

sendo possível identificar se devido ao aumento de visibilidade ou evitamento da fauna às condições de iluminação artificial (BECKMANN *et al.* 2010). As experiências levadas a cabo na Europa não identificaram uma redução significativa no número de atropelamentos com esta medida, ao passo que resultaram em perturbação nos sítios e hábitos de nidificação de aves na Holanda, com impactos atingindo centenas de metros a partir da rodovia (BANK *et al.* 2002). A iluminação também pode resultar na desorientação de aves migratórias (JACOBSON 2005).

4.2.3.1.2.8. Balizas

A colocação de dispositivos desta natureza em pontes ou trechos que atravessem áreas úmidas tem como objetivo incentivar a elevação da altura de voo das aves, o que reduziria a probabilidade de colisões (JACOBSON 2005).

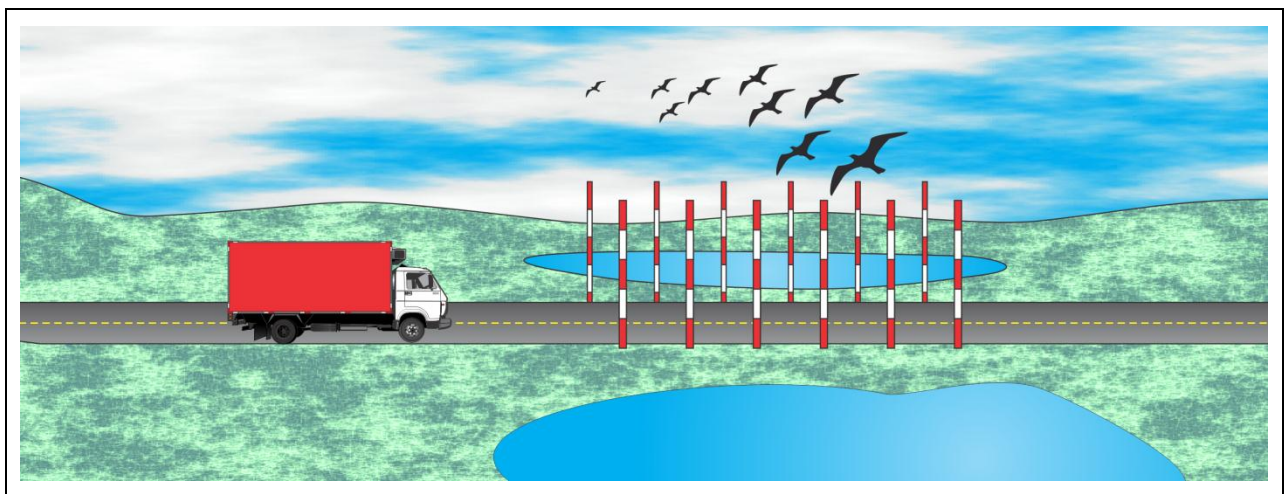


Figura 81. Representação esquemática da colocação de balizas visando à elevação da altura de voo de aves em rotas de movimentação.

4.2.3.1.2.9. Alimentação

Envolve a disponibilização de alimentos visando direcionar os animais para longe da rodovia. Apesar de resultados positivos quanto à redução de atropelamentos em experiências realizadas nos Estados Unidos, Canadá e Noruega, é uma estratégia que em longo prazo pode acarretar na dependência alimentar e no aumento

populacional, além de demandar intensa mão-de-obra e custos contínuos (BECKMANN *et al.* 2010).

4.2.3.1.2.10. Remoção de carcaças

A presença de cadáveres de animais de médio e grande porte no leito da rodovia pode ocasionar situações de risco para os condutores, que tendem a desviar dos mesmos, por vezes subitamente avistados, e eventualmente causar a perda de controle dos veículos, com consequente saída da faixa ou invasão da pista contrária. Além dos motivos relacionados à segurança do tráfego, a remoção periódica de carcaças da rodovia faz com que carnívoros e carniceiros não sejam atraídos e passem longos períodos se alimentando sobre a estrada ou próximo a ela (BECKMANN *et al.* 2010), inclusive incentivando a nidificação nas proximidades (JACOBSON 2005). Ao menos a remoção dos animais de médio e grande porte deve estar prevista no licenciamento de operação da rodovia, por motivos de segurança, devendo ser realizada pelo empreendedor ou concessionária do trecho, responsáveis legais pela sua operação e manutenção. A possibilidade de descarte das carcaças ao longo da faixa de domínio adjacente deve ser avaliada, pois apesar do aspecto positivo de servir como alimento para diversas outras espécies, atrai as mesmas para as proximidades de uma área de risco de atropelamentos.



Figura 82. Jaguaririca, SC 438. Foto: Marli Araújo, Eletrosul.



Figura 83. Caninana, BR 471/RS. Foto: Marli Araújo, Eletrosul.



Figura 84. Veado, BR 153/RS. Foto: Marli Araújo, Eletrosul.

4.2.3.1.2.11. *Modificação do hábitat*

É um dos fatores mais importantes na relação entre a fauna e a rodovia. Sendo frequentemente um dos únicos habitats para a fauna em regiões agrícolas e conseqüentemente atraindo indivíduos que ficam expostos a atropelamentos, a faixa de domínio pode ser manejada de diversas formas. Quando associada a dispositivos de cercamento e passagens de fauna, pode se configurar como um importante habitat, inclusive auxiliando na conservação de gramíneas nativas, como proposto em países como Austrália e Estados Unidos.

Cabe distinguir entre "manejo" e "abandono" da faixa de domínio, sendo esta última situação a geradora de impactos negativos como insegurança viária (especialmente quanto à inadequação da zona de escape), dispersão de espécies exóticas invasoras (HANSEN & CLEVINGER 2005) e atração indiscriminada de fauna. Tendo muitas vezes largura já dimensionada para uma futura ampliação da rodovia, os efeitos aparentemente benéficos do desenvolvimento acentuado da vegetação refletirão em um problema futuro, visto que serão habitats estabelecidos, mas com pouca perspectiva de conservação.

Seu manejo por meio da seleção de espécies vegetais adequadas, podas de manutenção periódicas, supressão em larga escala e limitação do valor nutricional (BECKMANN *et al.* 2010) é, a princípio, a opção recomendada para compatibilizar a segurança do tráfego e a redução de atropelamentos. Espécies frutíferas, por exemplo, atraem aves e, portanto, aumentam substancialmente o risco de atropelamentos deste grupo, não sendo recomendado seu plantio na faixa de domínio ou canteiros centrais (CLEVINGER & KOCIOLEK 2006; JACOBSON 2005; ORŁOWSKI 2008; ORŁOWSKI & NOWAK 2006).

Poda ou corte raso da vegetação da faixa de domínio resulta em maior visibilidade por parte dos motoristas e maior tempo de reação quando do avistamento da fauna. A remoção da vegetação arbustiva e arbórea em uma faixa de pelo menos 20 m da faixa de domínio resultou na redução de 56% das colisões de alces com trens na Noruega (JAREN *et al.* 1991) e 20% com veículos na Suécia (BECKMANN *et al.* 2010). Tais reduções podem ter origem tanto no aumento da visibilidade, especialmente em curvas (CLEVINGER *et al.* 2003), quanto na diminuição de atratividade destas áreas à fauna. Por outro lado, a rebrota da vegetação pode acarretar no aumento da presença de herbívoros, sendo necessária uma manutenção continuada.

O manejo da vegetação ao longo de uma estrada pode ser utilizado com diversos objetivos além daqueles tradicionalmente conhecidos pelos engenheiros rodoviários, voltados à segurança do usuário. Já há algum tempo se recomenda que árvores sejam plantadas somente no topo de taludes de corte, para reduzir as probabilidades de que um veículo que saia da pista colida com as mesmas. Plantas arbustivas são utilizadas para evitar o ofuscamento pelos faróis dos veículos no contra fluxo e para desacelerar aqueles que saem involuntariamente da pista. Mais recentemente, foram empregadas técnicas de plantio para sinalização em rodovias (Figura 88), tal como a BR 101/RS (BUBLITZ 2011), por meio das quais se busca associar, no subconsciente dos motoristas, aglomerações de determinadas espécies de plantas a situações particulares, como travessias de pedestres, retornos, conversões e drenagens.

No contexto da prevenção de acidentes com a fauna, diversas estratégias podem ser utilizadas, isolada ou integradamente. A primeira consiste em manter apenas vegetação rasteira na faixa de domínio, preferencialmente pouco palatáveis, visando reduzir atrativos à fauna e melhorar a visibilidade dos motoristas. É empregada

em rodovias de alguns países europeus (BANK *et al.* 2002) e sul-americanos, como na Argentina, por exemplo (Figura 85).

De modo oposto, a manutenção da vegetação ou o plantio de espécies adequadas pode servir como guia para direcionar a fauna às passagens existentes (CALTRANS 2009), assim como torná-las mais aprazíveis. É recomendada sua utilização para proteger visualmente passagens superiores de fauna, absorver ruídos e iluminação emanados da rodovia (CLEVINGER & HUIJSER 2011), além de forçar a elevação da altura de voo de aves minimizando a chance de que colidam com veículos.



Figura 85. Faixa de domínio com vegetação rasteira. Ruta 7, Argentina.



Figura 86. Corredor de vegetação conectando habitats em área de orizicultura. BR 116/RS.



Figura 87. Detalhe da foto anterior (BR 116/RS).

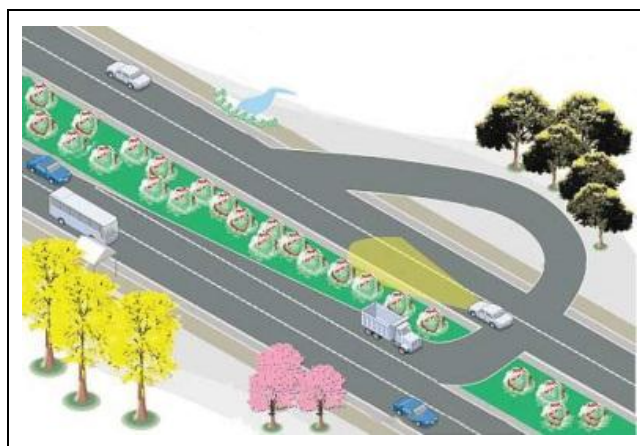


Figura 88. Utilização de vegetação na sinalização rodoviária: BR 101/RS (BUBLITZ 2011).

Em alguns países, como Austrália, Dinamarca e Inglaterra (FORMAN *et al.* 2003), a função subjacente das faixas de domínio das rodovias como um hábitat em si e corredor de dispersão é privilegiada (SPELLERBERG 2002). Estima-se, por exemplo,

que 78% das espécies australianas de mamíferos terrestres habitam as margens vegetadas das rodovias nas áreas agrícolas daquele país, enquanto na Grã-Bretanha são registrados 83% dos anfíbios, 100% dos répteis, 20% das aves, 40% dos mamíferos e 42% das borboletas neste hábitat particular (SEILER 2001). Nestes países, procura-se estimular a formação de habitats adequados ao longo da faixa de domínio das rodovias, sob a perspectiva de que os ganhos provenientes deste hábitat adicional superam os prejuízos decorrentes da mortalidade da fauna que o utiliza. Como nos países mencionados o número de espécies de grande porte é inferior aquele observado nos Estados Unidos, por exemplo, com conseqüente menor risco à segurança dos usuários, este enfoque pode também ser considerado em países como o Brasil, nos quais se observam características similares.

4.2.3.1.2.12. Cercas e barreiras

A utilização de cercas é a ferramenta mais efetiva para evitar atropelamentos (AHERN *et al.* 2009) e, quando combinada com estruturas de passagem (BOND & JONES 2008), configura a melhor alternativa para restauração de conectividade em rodovias. Poucos estudos indicam correlação positiva das cercas com o aumento da mortalidade, sendo um exemplo o estudo conduzido com lobos (*Canis lupus*) na Espanha (COLINO-RABANAL *et al.* 2011), sendo os resultados parcialmente explicados pela deficiente manutenção, ausência de dispositivos fuga e comportamento da espécie.

A manutenção da integridade das cercas durante a fase de operação da rodovia é essencial, pois cercas que permitem acesso da fauna ao longo do trecho em que estão instaladas vêm a se constituir em uma verdadeira armadilha aos animais que atingem à rodovia, visto que os mantêm confinados em uma área reduzida junto às faixas de tráfego, com alta probabilidade de atropelamento. Esta manutenção envolve

periodicidade de vistorias, preferencialmente semestrais (CLEVENGER & HUIJSER 2011) e eventuais reparos, com custos relativamente elevados e que devem ser previstos quando do planejamento da rodovia. Árvores e arbustos próximos às cercas devem ser suprimidos, pois podem propiciar sua transposição por mamíferos, répteis e até mesmo anfíbios (CALTRANS 2009; DODD JR *et al.* 2004).

Não existe definição da extensão das áreas a serem cercadas: normalmente existem restrições para que sejam instaladas de modo contínuo, situação em que evitariam completamente o acesso da fauna à rodovia e, associadas a estruturas de passagem, permitiriam a conectividade. Entretanto, raramente existe esta possibilidade, devido às necessidades de acesso à rodovia ou mesmo seu cruzamento por pessoas e veículos. Assim, deve-se procurar na medida do possível instalá-las na maior extensão possível ao longo dos habitats preferenciais para a fauna.

As cercas devem ser instaladas nos dois lados da rodovia e devem ser simétricas, pois o prolongamento do cercamento em apenas um dos lados cria uma situação em que animais provenientes do lado oposto ficam contidos dentro da zona de tráfego (CLEVENGER & HUIJSER 2011). Esta situação também é crítica na definição e configuração das terminações das cercas: recomenda-se que existam passagens de fauna nestes locais, sinalização, iluminação, redutores de velocidade (CLEVENGER *et al.* 2001B) ou, quando inviável, que seu término se situe em locais em que a topografia não facilite o deslocamento da fauna (locais íngremes), locais com atividade humana ou transição de habitats (áreas abertas/florestadas, por exemplo) (CLEVENGER & HUIJSER 2011). Dispositivos como “mata-burros” igualmente são utilizados para prevenir o acesso da fauna a trechos da rodovia cercados, como por exemplo, na BR 471/RS (Figura 97). Neste caso, deve-se dispor de aberturas nas extremidades laterais para permitir o retorno aos habitats marginais de pequenos animais que caem acidentalmente na cavidade do mata-burro.

Diversas configurações propiciam o retorno da fauna acidentalmente enclausurada em segmentos cercados da rodovia, a maioria delas formada por rampas de escape (Figura 91) e portões ou alçapões com abertura unidirecional.

A altura recomendada das cercas para grandes mamíferos é de 2,4 m, podendo ser um pouco mais baixas dependendo da fauna encontrada na região. A seção inferior, com malha reduzida, deve ter aproximadamente 60 cm.

Normalmente as cercas são construídas com telas de arame galvanizado, com malha entre 2 e 13 cm, dependendo dos grupos de animais a que se destinam. A parte inferior deve possuir malha menor, visando impedir a passagem de pequenos animais. Sua base deve estar enterrada no solo a uma profundidade de pelo menos 20 cm, visando evitar que sejam feitas escavações que permitam a passagem de animais.

Alternativamente, cercas de pedras arrumadas manualmente podem ser utilizadas em regiões nas quais estão integradas historicamente, proporcionando efetividade, harmonia paisagística e menores custos de manutenção. No caso de se destinarem a grupos de animais de maior tamanho, podem ser combinadas com o telamento usual.

Barreiras específicas para direcionar principalmente anfíbios, mas também répteis e pequenos mamíferos, têm sido cada vez mais utilizadas. Podem tanto ser incorporadas a dispositivos maiores, como cercas para médios e grandes animais, quanto ser instaladas especificamente para este fim (ver Figuras 28-31, túneis para herpetofauna). A instalação de cercas direcionadoras de fauna a um bueiro circular de drenagem, já existente, de 3,5 m de diâmetro e 46,6 m de comprimento, propiciou uma redução de 132 vezes no número de tartarugas mortas em uma área úmida norte-americana, que passou de 11,9 mortes/km/dia para 0,09 mortes/km/dia (ARESCO 2005).

Tal efeito demonstra o potencial de incremento da função conectividade de fauna de obras-de-arte correntes quando dotadas de estruturas direcionadoras.

Uma diversidade de materiais pode ser utilizada, desde telas com malha reduzida (2 – 4 cm) até meios-fios de concreto, passando por estruturas de plástico, metal ou mantas geotêxtis (Bidim[®]), por exemplo. Devem ser parcialmente enterradas no solo (20 cm ou mais) para evitar que sejam transpostas por escavação e, quando instaladas de forma não combinada com cercas mais altas, devem ter sua extremidade superior angulada em direção ao hábitat protegido para dificultar sua transposição (CLEVINGER & HUIJSER 2011). Alguns autores sugerem a colocação de arame farpado na parte superior da cerca, com o mesmo objetivo (MCCOLLISTER & VAN MANEN 2010).



Figura 89. Cerca com combinação de malhas fina e larga (CLEVINGER & HUIJSER 2011).



Figura 90. Cerca com malha fina, para anfíbios e répteis (CLEVINGER & HUIJSER 2011).



Figura 91. Cerca com rampa de escape (seta) para retorno de animais da rodovia para as áreas adjacentes (CLEVINGER & HUIJSER 2011).

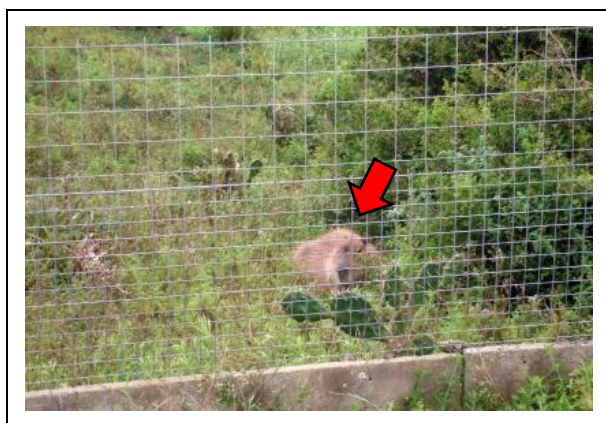


Figura 92. Capivara (seta) bloqueada por cerca com malhas decrescentes e base em alvenaria. BR 471/RS, Santa Vitória do Palmar.



Figura 93. Cerca de pedra, junto à BR 285/RS – São José dos Ausentes, que pode ser adaptada para evitar deslocamento indesejado da fauna silvestre.



Figura 94. Cerca com base em concreto e tela em malhas progressivas. BR 101/RS.



Figura 95. Cercas instaladas nos dois lados da pista. BR 101/RS.



Figura 96. Solo estabilizado mecanicamente, por meio de geogrelhas estruturais, servindo como cerca direcionadora (CLEVINGER & HUIJSER 2011).



Figura 97. "Mata-burro" instalado para evitar a entrada de animais no segmento cercado. BR 471/RS, Santa Vitória do Palmar. Foto: José Antonio Palmeiro Gudolle, NLA/IBAMA/RS.

4.2.3.1.2.13. Redução populacional

Direcionada especialmente a espécies de grandes animais superabundantes e que ocasionam sérios riscos à segurança do tráfego, esta medida envolve o abate de animais por meio da caça controlada, tratamentos contra fertilidade, alteração dos habitats próximos à rodovia ou translocação de indivíduos. A efetividade deste último método depende do isolamento das populações, visto que se as mesmas estiverem conectadas pode ocorrer o retorno dos indivíduos ou reocupação do nicho por populações vizinhas. Demanda igualmente um contínuo manejo, além de

consequências indesejáveis associadas à translocação de fauna. Ainda que existam resultados que relacionem tais medidas à redução de colisões, o somatório dos impactos negativos faz com que não seja uma ação recomendada, salvo em situações muito particulares (BECKMANN *et al.* 2010). No Brasil, além da ausência generalizada de dados populacionais que permitam avaliar uma eventual superpopulação que pudesse ser manejada, restrições legais impedem a caça, abrindo esta possibilidade apenas para “saciar a fome do agente ou de sua família; para proteger lavouras, pomares e rebanhos da ação predatória ou destruidora de animais; e por ser nocivo o animal, desde que assim caracterizado pelo órgão competente” (artigo 37 da Lei Federal nº 9.605/98), situações que não caracterizam a relação fauna – rodovia.

4.2.3.2. Seleção da alternativa

A indicação da estrutura mitigadora adequada depende diretamente do tipo e magnitude do impacto previsto, devendo ser embasada no diagnóstico efetuado, na compatibilidade das espécies a serem protegidas com as características das estruturas planejadas e na razoabilidade do custo de sua implantação em relação ao ganho ambiental. A readequação de estruturas existentes ou com múltiplo uso (pontes e bueiros, por exemplo) frequentemente é uma alternativa viável e de menor custo do que a instalação de uma estrutura específica para a fauna, devendo ser inicialmente considerada (CALTRANS 2009). O dimensionamento e o espaçamento das passagens devem levar em consideração as características do(s) grupo(s)-alvo e dos ambientes: enquanto estruturas menores podem atender às necessidades de pequenos animais, a combinação de diversos tipos de estruturas relativamente próximas tende a favorecer um maior número de espécies, e aquelas de maiores dimensões e mais espaçadas podem ser indicadas para animais de maior porte. BISSONETTE & ADAIR (2008) e BISSONETTE & CRAMER (2008) indicam que, para grandes mamíferos, a distância ideal

entre passagens de fauna em áreas sensíveis deva ser igual à distância linear da área de vida (área de vida ^{0,5}) da(s) espécie(s)-alvo.

Outro fator essencial a ser considerado na definição da estrutura mitigadora é a viabilidade técnica de sua instalação. As rodovias se assentam em um dos quatro perfis topográficos possíveis: em nível ou ripária, em encosta ou corte/aterro, em vale ou em elevação (Figura 98). Em alguns deles, determinada estrutura pode não ser passível de implantação.

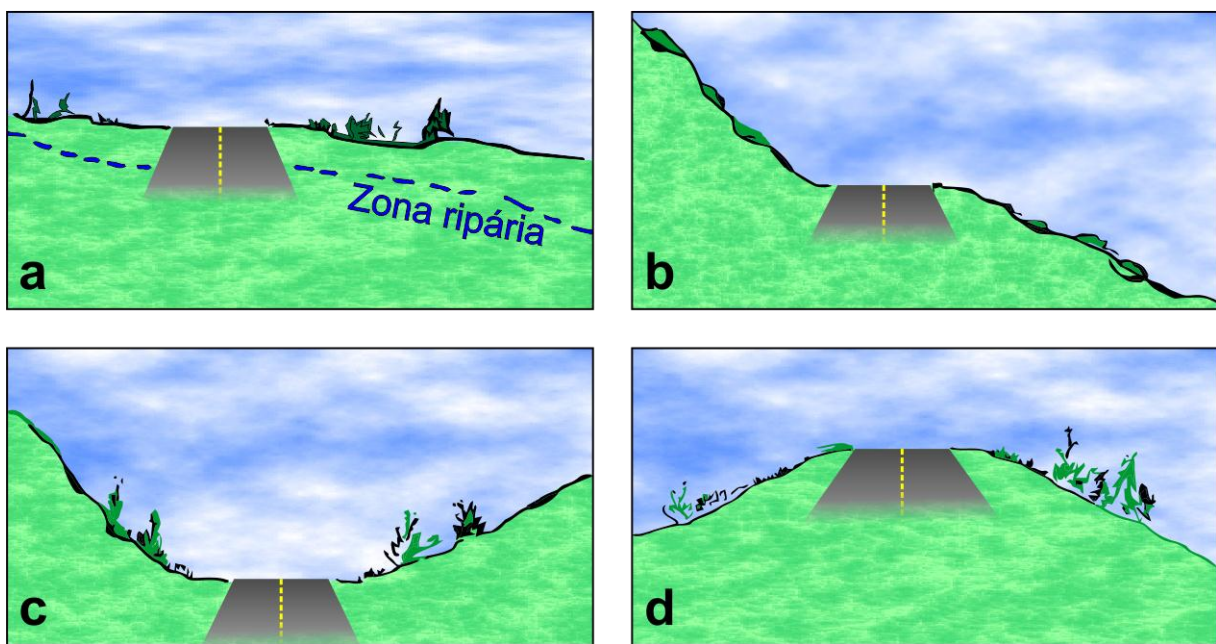


Figura 98. Cortes transversais representando esquematicamente as feições topográficas em que as rodovias se inserem: a) em nível, b) encosta ou corte/aterro, c) vale e d) elevação. Adaptado de CLEVENGER & HUIJSER (2011).

Segmentos da rodovia em áreas planas permitem a instalação da maioria das estruturas de passagem da fauna, sendo por vezes necessária a elevação do greide³ para que as passagens inferiores não fiquem em cota muito inferior à área do entorno e, inversamente, rebaixamento do greide para instalação de passagens superiores. Trechos em vales são propícios à instalação de passagens superiores, ao passo que trechos em elevações ou sobre aterros oferecem facilidade para implantação de todos

³ Greide é a linha gráfica que acompanha o perfil do terreno, representando longitudinalmente a rodovia, e indicando quanto do solo deve ser cortado ou aterrado.

os tipos de passagens inferiores. Já as seções em encostas ou em corte/aterro são as mais difíceis para instalação das estruturas de passagem, sendo recomendável o cercamento para condução da fauna até um local em que a topografia ofereça condições propícias para sua implantação (CLEVENGER & HUIJSER 2011). Conformações topográficas deste tipo, entretanto, foram caracterizadas como de menor risco de atropelamentos (BORKOVCOVÁ *et al.* 2012), quando comparadas com áreas planas. Segmentos sinuosos, devido à reduzida visibilidade e conseqüente menor tempo de resposta, tanto para o condutor quanto para o animal silvestre, tendem a apresentar maior número de atropelamentos (GRILO *et al.* 2011).

Diversos fatores podem influenciar no uso das estruturas, sendo a intensidade da resposta dependente da espécie ou grupo animal considerado. A presença humana (CLEVENGER & WALTHO 2000) e níveis elevados de ruídos (CLEVENGER & WALTHO 2005) são normalmente negativos para todos os grupos animais, enquanto características estruturais como a proporção de abertura e o substrato, e do ambiente adjacente exercem efeitos diversos. Grandes mamíferos predadores tendem a utilizar com maior intensidade passagens estreitas e protegidas pela vegetação, enquanto herbívoros (potenciais presas) preferem passagens com maior proporção de abertura e ambientes menos vegetados, o que possibilita maior visibilidade e chance de reação a eventuais ataques (CLEVENGER & WALTHO 2005). Destaque-se que este padrão de resposta foi observado em estudos desenvolvidos na América do Norte, devendo ser confirmada a existência de padrões similares em outros locais, comunidades e espécies. A ambientação com as estruturas ao longo do tempo também pode alterar a intensidade de resposta a estes fatores, sendo necessário monitoramentos de longo prazo para uma correta avaliação. Iluminação e boa circulação de ar são, também, características que afetam positivamente o uso das passagens de fauna (CAIN *et al.* 2003). De qualquer forma, a existência de padrões distintos de resposta indica que a

disponibilização de estruturas com características variadas atende um maior número de padrões comportamentais e portanto de espécies, proporcionando maior conectividade.

4.2.3.3. Instalação

As medidas mitigadoras definidas pelo órgão ambiental devem ser expressas no Projeto Executivo do empreendimento, cuja apresentação é exigida para concessão da Licença de Instalação. O projeto deve detalhar as especificações da estrutura necessárias a sua eficácia, tais como dimensões, material, iluminação, cota de instalação, revestimento, espaçamento e localização georreferenciada, por exemplo (Figuras 99 e 100). Aprovado o Projeto Executivo, sua execução também deve ser acompanhada pelos técnicos ambientais por meio de vistorias, tanto para se certificar que corresponde ao especificado, quanto para identificar possíveis impactos durante a instalação, especialmente relativos a ruídos, poeira, supressão de vegetação, construção de acessos, compactação do solo, processos erosivos e carreamento de sedimentos (CALTRANS 2009; TROMBULAK & FRISSELL 2000), estes últimos com significativos efeitos sobre a biota aquática, e analisar eventuais alterações que possam ser necessárias para garantir a eficácia da estrutura (LUELL *et al.* 2003).

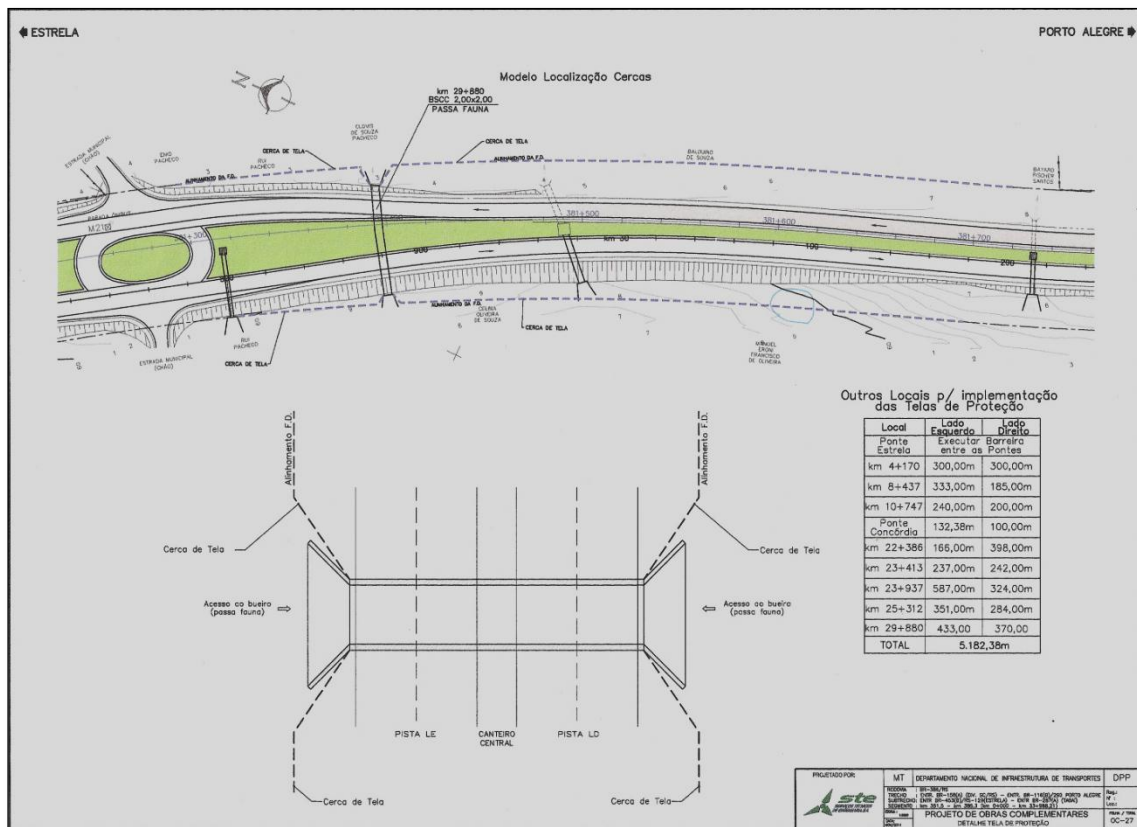


Figura 99. Localização de passagem de fauna e telas condutoras em Projeto de Engenharia da BR 386/RS. STE – Serviços Técnicos de Engenharia / DNIT – Processo IBAMA nº 02001.007807/06-92.

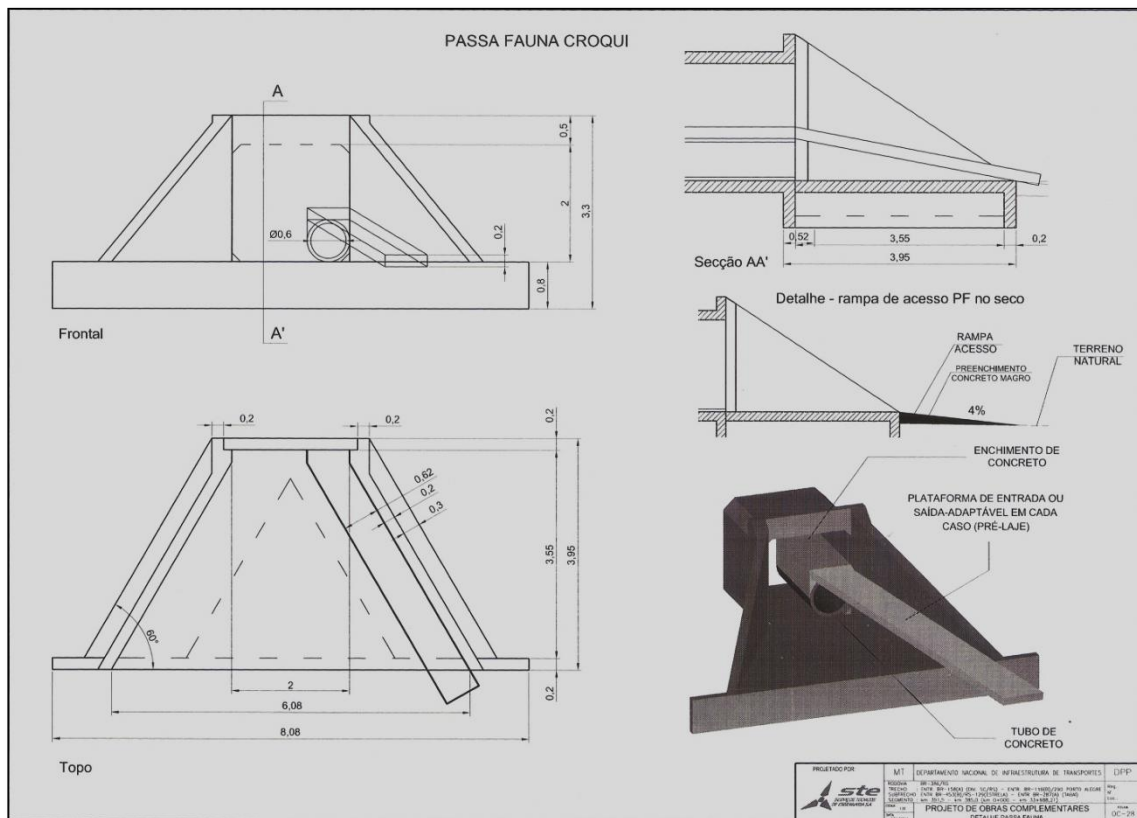


Figura 100. Croqui com especificações de passagem de fauna, Projeto de Engenharia da BR 386/RS. STE – Serviços Técnicos de Engenharia / DNIT – Processo IBAMA nº 02001.007807/06-92.

4.2.4. Monitoramento

Selecionadas e implantadas as medidas consideradas adequadas para mitigar um dado impacto, é fundamental que as mesmas sejam avaliadas quanto a sua eficiência⁴ e eficácia⁵, não só para que se identifiquem correções específicas no âmbito do projeto, mas, em uma visão mais ampla, para que se construa uma base de conhecimentos e avaliações capazes de embasar futuros procedimentos em situações análogas (BECKMANN *et al.* 2010; CALTRANS 2009). Ambos enfoques se enquadram em etapas fundamentais do processo de “gestão adaptativa”, proposto por SALAFSKI *et al.* (2001) como uma forma adequada de maximizar resultados nas áreas de conservação da biodiversidade e manejo de recursos naturais. Este processo tem como ponto fundamental a incorporação da pesquisa nas ações de conservação, integrando no seu delineamento conceitual e estratégia de gestão o monitoramento sistemático das suas práticas, com o objetivo de avaliá-las, adequá-las e incorporar o aprendizado das experiências. Em síntese, a avaliação de fases anteriores subsidia a readequação das etapas seguintes e incorpora conhecimento ao processo.

As etapas propostas para implantação da gestão adaptativa (Tabela 5) são perfeitamente adaptáveis e coerentes com a temática do conflito rodovias e fauna, inclusive no plano da gestão governamental:

⁴ Eficiência é fazer certo; é o meio para se atingir um resultado; é a atividade, ou, aquilo que se faz. Fonte: Bernardo Leite Consultoria Empresarial (<http://www.bernardoleite.com.br>)

⁵ Eficácia é a coisa certa; é o resultado; o objetivo: é aquilo para que se faz, isto é, a sua Missão. Fonte: Bernardo Leite Consultoria Empresarial (http://www.bernardoleite.com.br/bl/artigos.asp?id_artigo=8)

Tabela 5. Etapas do processo de gestão adaptativa (SALAFSKY *et al.* 2001) e possíveis ações e definições no contexto da gestão do licenciamento ambiental.

| Etapa | Procedimento proposto | Correspondência no âmbito do licenciamento ambiental |
|--------------|--|--|
| Início | Definir um objetivo claro e comum. | Minimizar ou evitar os impactos das rodovias sobre a fauna. |
| Passo A | Definir um modelo do sistema de gestão. | Fundamentar a tomada de decisão em critérios claros e metodologicamente uniformes. |
| Passo B | Desenvolver um plano de gestão que maximize os resultados e o aprendizado. | Incorporar definitivamente protocolos de monitoramento para avaliação e readequação das medidas mitigadoras implantadas. |
| Passo C | Desenvolver um plano de monitoramento para testar as proposições. | Definir objetivos e metodologias adequadas para avaliar as medidas implementadas. |
| Passo D | Implementar os planos de gestão e monitoramento. | |
| Passo E | Avaliar os dados obtidos e divulgar os resultados. | |
| Repetição | Utilizar os resultados na definição das ações futuras (aprendizado). | |

Assim como no Brasil, nos Estados Unidos e na Europa a avaliação da efetividade das medidas adotadas é realizada como prática habitual, mas também carece de padronização nos métodos e desenhos amostrais, fato que dificulta a comparação dos resultados obtidos. Inicialmente há que se definir o que deve ser considerado “eficiência” de uma medida mitigadora: se a redução no número de mortes em geral ou de uma determinada espécie, o grau de utilização das passagens de fauna ou o uso pelo grupo-alvo. Também se pode desejar aferir se as mesmas são realmente as mais eficazes na manutenção das densidades populacionais, da biodiversidade ou da conectividade, além de diversas outras variáveis a serem eventualmente consideradas (BANK *et al.* 2002; BECKMANN *et al.* 2010)

Sabe-se que os custos e a duração do monitoramento são diretamente relacionados à complexidade do grau de organização biológica que se deseja avaliar

(BECKMANN *et al.* 2010). Este, portanto, é outro fator a ser considerado na definição do desenho experimental, pois nem sempre a duração e o número ideal de replicações, no tempo e no espaço, são compatíveis com os recursos disponíveis e a dimensão do empreendimento sendo licenciado. A sazonalidade, representada pelas estações do ano ou pelo regime pluviométrico, conforme a região em estudo, é outro fator a ser considerado, não somente no diagnóstico, mas também no monitoramento (MATA *et al.* 2009).

Da mesma forma, a área de influência de um dado empreendimento pode não abranger extensões adequadas para estudos referentes a processos ecológicos mais complexos, que talvez fujam à responsabilidade do empreendedor e ao âmbito de um processo específico de licenciamento, conforme abordado no item 4.2.2.2. *Diagnóstico ambiental*. Portanto, na fase atual de conhecimento da ecologia de estradas, dados básicos como a redução na taxa de atropelamentos, grau de utilização das passagens de fauna e respostas diferenciais das espécies a estas estruturas ainda são de grande importância para avaliar a eficácia das estratégias adotadas.

ROEDENBECK *et al.* (2007) destacam que as motivações sociais e econômicas relegam os aspectos ecológicos a um segundo plano no planejamento do sistema viário. Para alterar este quadro, no qual as questões ambientais se inserem principalmente por meio do pouco objetivo “princípio da precaução”, e não de argumentos científicos consistentes, recomendam que as pesquisas no campo da ecologia de estradas atendam duas premissas básicas: a) sejam diretamente relacionados às questões práticas do planejamento e construção rodoviários, e b) tenham um desenho experimental que incorpore alto valor a evidências.

Portanto, a despeito das diversas abordagens metodológicas possíveis neste campo da ciência, o licenciamento ambiental deve prioritariamente se valer daquelas

que resultem em evidências diretas, objetivas e quantificáveis, da relação causa-efeito entre a construção das estruturas viárias e a fauna.

A capacidade de extrapolação dos resultados obtidos em um dado empreendimento é relativamente limitada, devido aos inúmeros fatores que distinguem os diferentes contextos analisados (composição de espécies, extensão dos habitats, características das rodovias, relevo, etc). Entretanto, a capacidade de obtenção de dados em um número substancial de empreendimentos licenciados torna possível a consolidação de um banco de dados que contemple diversas situações, muitas das quais eventualmente apresentarão bastante similaridade com o contexto em estudo, oferecendo subsídios para um prognóstico mais confiável.

Poucas informações existem sobre as taxas de sucesso da travessia da fauna em trechos nos quais não existem sistemas de mitigação. É uma informação de difícil obtenção, ainda que existam métodos que possam ser adaptados para acessá-la, tais como armadilhas de pegadas, monitoramento por vídeo e telemetria, e de grande importância na avaliação da real efetividade e necessidade destes sistemas.

Em termos de período a ser monitorado, são observadas diferenças de país para país: enquanto no Brasil não existem padrões fixos, mas uma tendência de serem exigidos no mínimo dois anos de monitoramento após a entrada em operação da rodovia (existindo casos como a rodovia Rota do Sol, RS 486, licenciada pelo IBAMA, na qual o monitoramento de atropelamentos já se estende por mais de 10 anos), na França, por exemplo, é exigido um ano de monitoramento com reavaliação após cinco anos de operação (BANK *et al.* 2002).

4.2.4.1 Indicadores

Os indicadores devem ser diretamente relacionados aos objetivos do projeto de mitigação. Se as estruturas visam preferencialmente reduzir a mortalidade, o número total de atropelamentos em um determinado trecho deve ser o parâmetro a ser controlado, considerando-se, caso pertinente, as frequências específicas referentes às espécies-alvo. Se a conectividade dos habitats for a principal meta, medidas de diversidade e abundância nos locais de interesse poderão avaliar a eficácia do sistema de mitigação implantado.

A própria necessidade da existência de medidas mitigadoras é uma questão central a ser avaliada, estimando-se o sucesso da travessia da fauna antes e depois da pavimentação ou duplicação da rodovia, incluindo como controle segmentos com características similares nos quais não foram implantadas medidas de proteção. É importante, portanto, que o tipo de monitoramento selecionado seja adequado à informação que se deseja obter.

4.2.4.2. Métodos

Diversas metodologias podem ser empregadas para estimar a redução da mortalidade, o grau de utilização das passagens, os padrões de movimentação das espécies e a diversidade e/ou abundância da fauna nos habitats adjacentes à rodovia. As mais comuns são a contagem de indivíduos atropelados, observações visuais diretas, armadilhas de captura, armadilhas de pegadas, armadilhas fotográficas, armadilhas de pelos, telemetria por rádio ou satélite e identificação genética de indivíduos e espécies. Dependendo do objetivo do monitoramento, umas ou mais técnicas podem ser utilizadas de forma concomitante. Cabe salientar que, sempre que a metodologia empregada prever captura, coleta ou transporte de espécimes da fauna

silvestre, deve ser previamente requerida junto ao órgão ambiental licenciador a devida Autorização.

Independente da seleção do método, recomenda-se que, sempre que possível, seja adotado delineamento experimental do tipo Antes-Depois-Controle-Impacto (BACI (*Before-After-Control-Impact*)), o qual oferece o maior grau inferencial para avaliação dos impactos antrópicos no ambiente, permitindo distinguir efeitos diretos do tratamento (por ex. pavimentação ou estrutura de mitigação) (CLEVINGER 2005; ROEDENBECK *et al.* 2007). Desta forma, pode-se avaliar com maior precisão a efetividade das medidas mitigadoras e o dimensionamento do impacto do empreendimento, inclusive no que se refere a efeitos populacionais (FAHRIG & RYTWINSKI 2009), assim como suas alterações ao longo do tempo. Para tanto, o projeto de monitoramento deve ser delineado antes da implantação da obra (LESBARRÈRES & FAHRIG 2012), pois as coletas de dados devem ser realizadas ainda na fase prévia a sua execução. É essencial que o desenho amostral procure neutralizar ao máximo a influência de variáveis externas ao contexto rodoviário (uso do solo e antropização diferenciados no entorno, por exemplo). Neste tipo de desenho experimental, locais afetados pelo impacto (I) são comparados com locais não afetados (C), antes (B) e depois (A) de sua ocorrência, sendo possível a obtenção de fortes evidências da ocorrência e dimensão do impacto. O desenho requer, também, que sejam realizadas réplicas no espaço (diversos locais impactados e controles) e no tempo (diversas amostragens antes e depois do impacto).

Eventualmente, não é possível executar a avaliação seguindo completamente este desenho experimental, como, por exemplo, na avaliação do impacto de uma rodovia durante sua regularização, pois não há como serem obtidos dados prévios a sua construção. Em tais situações, pode ser adotado desenho experimental que contemple a avaliação entre sítios de controle e impactados, reduzindo-se, entretanto,

o poder inferencial, pois dificilmente as variáveis ambientais serão idênticas em ambos locais.

Mesmo nestas situações, dependendo do objetivo do estudo, ainda pode ser implementado o desenho experimental BACI de forma completa, por exemplo, na avaliação da efetividade das medidas mitigadoras (cercas e/ou passagens de fauna, por exemplo) adotadas antes e depois da regularização, sendo utilizados como controle locais similares nos quais não sejam implantadas tais medidas. Com este objetivo, o item a ser considerado como “impacto” seria a própria estrutura mitigadora. Em outras situações, podem não estar disponíveis sítios de controle, sendo recomendada, então, a adoção de desenho experimental que avalie a situação antes e depois da ocorrência do impacto, novamente com perda de poder inferencial. Um desenho adicional, BADCI, inclui a avaliação dos efeitos Durante a construção rodoviária, permitindo inferências sobre efeitos reversíveis, como por exemplo, aqueles causados pelo ruído e movimentação de máquinas ao longo do período construtivo.

A manutenção da conectividade para a ictiofauna requer medidas mitigadoras bastante específicas, como rapidamente ilustrado no item 4.2.3.1.1.12. *Bueiros modificados*. Dadas as características do grupo, o monitoramento do impacto e da efetividade das medidas adotadas para sua mitigação também deve ser feito por meio da utilização de técnicas e equipamentos apropriados, tais como redes, puçás e tarrafas, visando verificar a abundância, diversidade e estrutura populacional à montante e à jusante da estrutura rodoviária.

Para a fauna terrestre, diversos métodos de monitoramento permitem acessar informação sobre a presença e identificação de espécies, registro de tentativa de travessias, abundância relativa, registro de travessias, fragmentação do hábitat, padrões de movimentação, fragmentação, seleção e uso de hábitats, e definição da área de vida, conforme sintetizado na Tabela 6 e a seguir detalhado:

Tabela 6. Métodos de amostragem e parâmetros acessados.

| Método | Parâmetro acessado | | | | | | | | |
|------------------------------------|--------------------|---------------|-----------|------------|--------------|--------------|---------------|----------|--------------|
| | Presença | Identificação | Travessia | Abundância | Fragmentação | Movimentação | Comportamento | Habitats | Área de vida |
| Taxa de atropelamentos | | | | | | | | | |
| Armadilhas fotográficas e de vídeo | | | | | | | | | |
| Armadilhas de captura | | | | | | | | | |
| Armadilhas de pegadas | | | | | | | | | |
| Observações visuais diretas | | | | | | | | | |
| Ferramentas genéticas | | | | | | | | | |
| Armadilhas de pelos | | | | | | | | | |
| Telemetria por rádio ou satélite | | | | | | | | | |

4.2.4.2.1. Taxa de atropelamentos

A frequência de atropelamentos é estimada por meio de contagem de carcaças ao longo do segmento em análise. O procedimento mais utilizado consiste em percorrer o trecho em um veículo à velocidade em torno de 50 km/h, com um ou dois observadores buscando visualmente vestígios de animais atropelados. Quando localizado, é feita a identificação da espécie, registro fotográfico e georreferenciamento. O georreferenciamento por GPS é essencial, visto que apenas a indicação do marco quilométrico mais próximo confere alto grau de imprecisão aos dados e interfere diretamente no resultado das análises (BISSONETTE & CRAMER 2008; GUNSON *et al.* 2009). Adicionalmente, é importante que outros dados também sejam colhidos, sempre que possível, tais como as características do ambiente no entorno (tipo e grau de conservação da vegetação), estação do ano, data, horário, condições climáticas, tipo de vestígio (ossada, carcaça, carapaça), sexo dos indivíduos, tamanho do animal, idade aproximada, presença de filhotes e fêmea com indícios de lactação (BERGHELLA & CANDIDO 2011; IBAMA 2011), fatores que podem auxiliar na explicação das causas dos incidentes e refinamento de informações sobre os grupos atingidos. A apresentação

dos dados deve seguir no mínimo as normas definidas pelo órgão ambiental, podendo ser incluídas informações adicionais consideradas relevantes pela equipe técnica que realiza o levantamento. Por exemplo, a Figura 101 apresenta uma ficha de registro de atropelamentos decorrente do monitoramento de uma rodovia, com dados relevantes, porém em formato de difícil incorporação a banco de dados, pois além de editada em processador de texto ao invés de planilha eletrônica, não conta com cabeçalhos compatíveis com o modelo de banco de dados definido pelo órgão licenciador (Figura 102).

GESTÃO AMBIENTAL
BR386/RS


Convênio Nº 2010/0166 DNIT – UFSC/FAPEU

| Data | Estaca Lado | Latitude | Longitude |
|---|---------------------------------|--------------|--------------|
| 28/01/2011 | 23+420 Esquerdo | 29.626385° S | 51.775618° O |
| Animal | Estado de Conservação | | |
| gambá-de-orelha-branca – <i>Didelphis albiventris</i> | estágio inicial de decomposição | | |

Descrição do Local da Ocorrência

Fragmento de vegetação no lado esquerdo.
Passagem de fauna próxima prevista: estaca 23+413

Relatório Fotográfico




Detalhe da Carcaça Vista geral da área.




Vista no sentido Tabai – Estrela. Vista no sentido Estrela – Tabai.

Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC
Fundação de Amparo à Pesquisa e Extensão Universitária – FAPEU

IBAMA
M M A
MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS
DIRETORIA DE LICENCIAMENTO AMBIENTAL - DILIC

| ID | Sítio amostral | Espécie | Gênero | Família | Ordem | Sexo | Estágio de desenvolvimento |
|----|----------------|---------|--------|---------|-------|------|----------------------------|
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |

| Estágio reprodutivo | Categoria | Situação especial | Bioma | Classe fisionômica | Fitofisionomia | Estrato fisionômico |
|---------------------|-----------|-------------------|-------|--------------------|----------------|---------------------|
| | | | | | | |
| | | | | | | |

| Bacia hidrográfica | Estação do ano | Ano | Mês | Dia | Período de registro | Classif. climática de Köppen |
|--------------------|----------------|-----|-----|-----|---------------------|------------------------------|
| | | | | | | |
| | | | | | | |

| Condições meteorológicas | | Coordenadas geográficas | | Método de amostragem |
|--------------------------|-------|-------------------------|-----------|----------------------|
| Temperatura | Tempo | Latitude | Longitude | |
| | | | | |
| | | | | |

| Apetrecho | Marcação | | Instituição de tombamento | Número de tombamento |
|-----------|----------|-----------|---------------------------|----------------------|
| | Tipo | Numeração | | |
| | | | | |
| | | | | |

Figura 101. Ficha de registro de atropelamentos utilizado no monitoramento durante a fase de instalação da duplicação da rodovia BR 386/RS trecho Tabai-Estrela (DNIT-UFSC/FAPEU 2011).

Figura 102. Modelos de planilha de dados brutos proposto pelo IBAMA (2011).

Após incorporados a um banco de dados georreferenciado, os dados podem ser visualizados em mapa e analisados em conjunto com diversos outros planos de informação (vegetação, topografia, uso do solo etc), conforme módulo piloto

desenvolvido no sítio eletrônico Conecte (Figura 103). Neste módulo, podem ser visualizados os registros de atropelamentos e de passagens de fauna em instalação na BR 386 / trecho Tabai - Estrela/RS, após incluídos em uma planilha eletrônica padronizada. Podem ser adicionados continuamente novos dados de monitoramento da mesma rodovia ou de qualquer outra em análise, sendo essencial que estes contenham todas as informações previstas, sob formato compatível, possibilitando uma análise integrada.

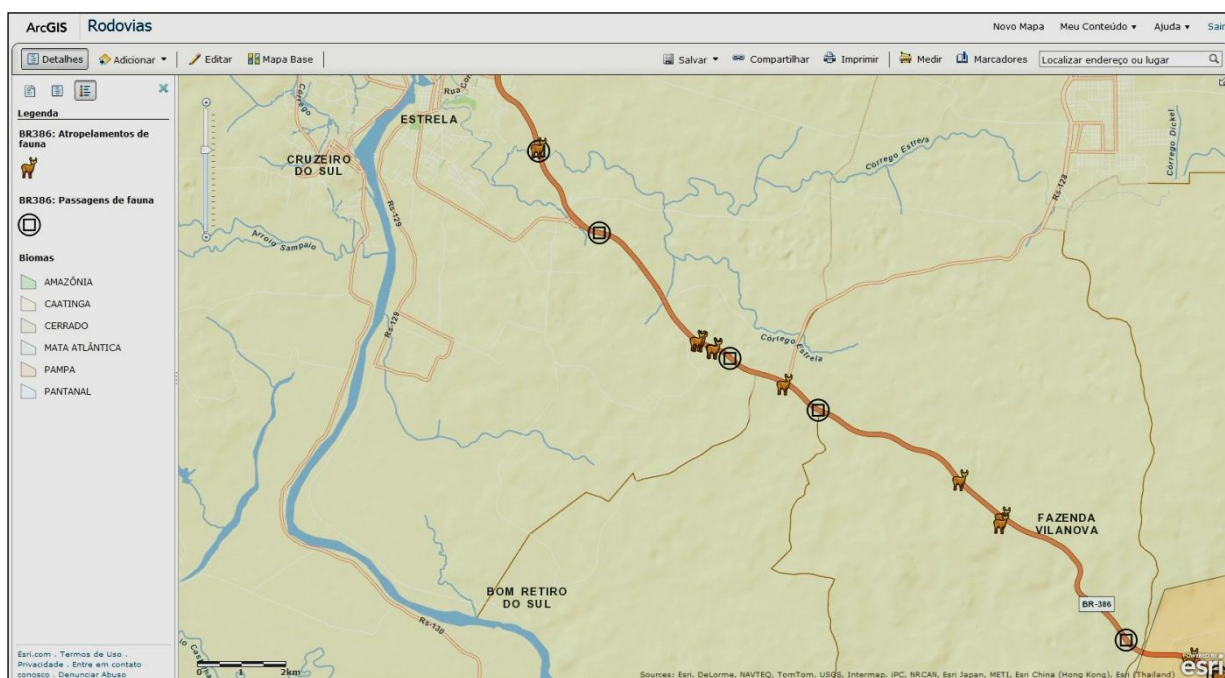


Figura 103. Modelo de Sistema de Informações Geográficas criado a partir de planilha de dados georreferenciados obtidos durante monitoramento de atropelamentos na BR386/RS. Podem ser adicionados tantos planos de informação quanto considerados necessários à avaliação em foco.

A correta estimativa da frequência de atropelamentos deve considerar fatores metodológicos e ecológicos. Em relação ao primeiro item, a capacidade de detecção por diferentes observadores é variável, recomendando-se que os técnicos sejam os mesmos ao longo do período de estudo. Da mesma forma, a velocidade deve ser constante ao longo de todo o trecho e das diversas campanhas. Há que se considerar que, preferencialmente e quando a extensão do trecho a ser avaliado o permitir, percorrê-lo a pé apresenta maior efetividade do que por modo motorizado (TEIXEIRA

2011). Ainda que o monitoramento seja feito de modo motorizado, é importante que seja estimada a taxa de detecção sob esta forma em relação àquela obtida a pé, por meio de sub-amostragens nos mesmos trechos. Em relação aos fatores ecológicos a serem considerados, a remoção de carcaças por espécies carniceiras é extremamente significativa. Avaliações experimentais indicam que 72,6% das carcaças de aves e 97,2% das de cobras desaparecem do leito da estrada em um período de 36 horas, permanecendo em média 16,9 e 10,1 horas, respectivamente. A maior parte da remoção é feita durante o dia (65 e 80%, respectivamente), sendo os principais removedores de carcaças os abutres, graxains, gambás e formigas. A taxa de remoção é maior no centro da estrada do que nos acostamentos: 90% contra 64% (ANTWORTH *et al.* 2005). Assim, este fator deve sempre ser considerado ao determinar a duração das campanhas, o método de amostragem e a estimativa da taxa de atropelamentos.

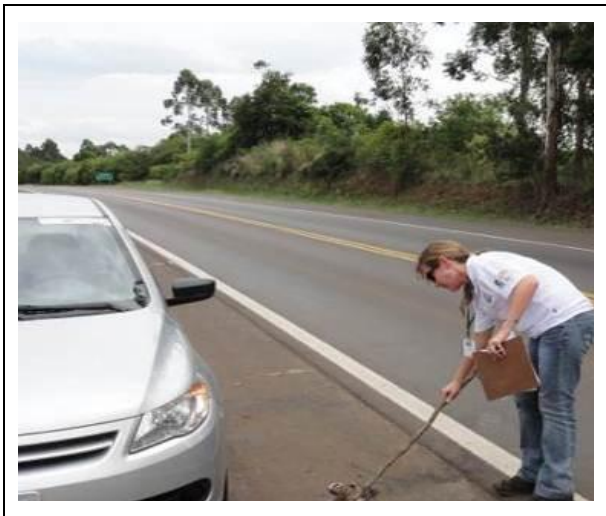


Figura 104. Retirada de animal atropelado, do leito da rodovia, durante monitoramento ambiental (DNIT-UFSC/FAPEU 2011).



Figura 105. Capivara atropelada, BR 471 – Estação Ecológica do Taim/RS. Foto: Antonio Tolentino Piau/DNIT.

BAGER & DA ROSA (2011) testaram diferentes frequências amostrais (semanal, bissemanal, mensal, bimestral e trimestral) visando identificar o esforço amostral para determinação da riqueza da fauna no entorno a partir dos dados de indivíduos atropelados. Com exceção da avifauna, em relação a qual nem mesmo amostragens semanais durante dois anos permitiram representar satisfatoriamente a diversidade

conhecida, amostragens bissemanais permitiram representar adequadamente a comunidade de anfíbios, répteis e mamíferos. Considerando que as informações desejáveis no âmbito do licenciamento ambiental com este tipo de levantamento se relacionam à identificação de agregações de atropelamentos, e não à estimativa de riqueza, a qual é obtida com metodologias específicas na área de influência direta, os dados obtidos pelos autores indicam que mesmo levantamentos trimestrais são suficientes para identificação das espécies mais atingidas. Associado ao fato de que grande parte das carcaças são removidas em até 24 horas após o atropelamento (TEIXEIRA 2011), com o conseqüente incremento da margem de erro dos fatores de correção a serem empregados a medida que aumentam o intervalo entre os dias de amostragem, recomenda-se para a maioria das situações amostragens trimestrais com 10 dias de duração.

4.2.4.2.2. Armadilhas fotográficas e de vídeo

São tipicamente empregadas para verificar a presença de espécies de médio e grande porte que utilizam as passagens de fauna (DODD *et al.* 2007; GAGNON *et al.* 2005) e a diversidade de fauna e abundância relativa nos habitats da área de influência da rodovia. São ativadas automaticamente pela obstrução em um feixe de luz, normalmente infravermelha, funcionando tanto de dia como à noite. Além de permitirem ótimos registros das espécies presentes na área, apresentam como vantagens em relação a outros métodos a possibilidade de permanecer por longo período de tempo sem a necessidade da presença de um observador e fornecerem informações temporais (FORD *et al.* 2009) e comportamentais (MATEUS *et al.* 2010) de movimentação da fauna. As características técnicas dos equipamentos ainda não são adequadas para abrangerem distâncias significativas, sendo mais apropriada sua utilização em áreas relativamente confinadas (sítios de dessedentação, trilhas, bueiros,

pontilhões e pontes), ainda que alguns equipamentos de vídeo infravermelho possam detectar e registrar imagens a até 1.000 m de distância (NEWHOUSE 2003). Seu custo, anteriormente alto, vem caindo ao longo do tempo, mas problemas relacionados ao furto dos equipamentos ainda são recorrentes.



Figura 106. Dispositivo para armadilhamento fotográfico. Foto: www.faunatech.com.au.



Figura 107. Técnico instalando armadilha fotográfica, BR 392/RS. Foto: DNIT / STE - Serviços Técnicos de Engenharia S.A.



Figura 108. Imagem noturna de Mão-pelada (*Procyon cancrivorus*), registrada por armadilha fotográfica (Área de influência da BR 392/RS). Foto: STE - Serviços Técnicos de Engenharia.



Figura 109. Graxaim-do-mato (*Cerdocyon thous*) registrado por armadilha fotográfica no monitoramento de implantação da BR 392/RS. Foto: STE - Serviços Técnicos de Engenharia.

4.2.4.2.3. Armadilhas de captura

Este método tradicionalmente utilizado em estudos de pequenos mamíferos vem gradualmente caindo em desuso à medida que métodos menos invasivos vão sendo desenvolvidos (BECKMANN *et al.* 2010). Entretanto, pode fornecer boas informações referentes às densidades populacionais e à movimentação de indivíduos

entre habitats adjacentes à rodovia, quando utilizadas em combinação com técnicas de marcação (captura-recaptura). Exige um esforço de tempo relativamente grande, sendo novamente essencial a padronização da quantidade, disposição e tempo de armadilhas por unidade amostral. Armadilhas de queda são particularmente úteis para identificação de espécies de pequenos animais e sua abundância relativa em diferentes locais, requerendo, entretanto, manutenção diária para liberação dos indivíduos capturados. Combinadas com cercas direcionadoras, têm sua eficiência e área de abrangência aumentadas, sendo indicadas para anfíbios, algumas espécies de répteis e roedores (CALTRANS 2009).



Figura 110. Armadilha Sherman.
Foto: www.livetrapping.com.

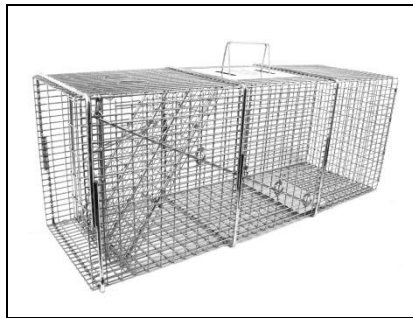


Figura 111. Armadilha Tomahawk.
Foto: www.livetrapping.com.



Figura 112. Armadilhas de queda, com cercas direcionadoras. Foto: David A. Pike, www.jcu.edu.au.

4.2.4.2.4. Armadilhas de pegadas

Instaladas sob a forma de caixas de areia nas entradas das passagens de fauna ou em segmentos com vários metros de extensão paralelamente à rodovia, permitem identificar a passagem de indivíduos nestes locais. Podem ser utilizadas com sucesso para estimar o número de animais que usam as passagens construídas ou que atravessam a rodovia antes e depois das obras de ampliação, fornecendo dados sobre a efetividade das estruturas e repulsão à estrada (BECKMANN *et al.* 2010).

Sob a forma de faixas contínuas ao longo dos acostamentos, em substrato natural ou disposto artificialmente, permitem a identificação de áreas de travessia bem

sucedida, assim como estimativa de abundância relativa, caso sejam regularmente vistoriadas e recompostas. Apresentam baixo custo e são adequadas para os mais diversos grupos de vertebrados terrestres. O próprio substrato natural, sem tratamento, especialmente às margens de cursos d'água e em trilhas, pode ser uma excelente fonte de informações para diagnosticar a presença de espécies, não somente pelas pegadas, mas também pela presença de vestígios como fezes e, inclusive, pelo odor característico de certos animais (capivaras (*Hydrochaeris hydrochaeris*), graxains (*Pseudalopex gymnocercus* e *Cerdocyon thous*) e zorrilhos (*Conepatus chinga*), por exemplo).



Figura 113. Armadilha de pegadas em faixa contínua junto ao acostamento (CALTRANS 2009).



Figura 114. Armadilha de pegada: caixa de areia. Foto: www.seaambu.org.



Figura 115. Pegada de capivara (*Hydrochaeris hydrochaeris*) (CARVALHO & LUZ 2008).



Figura 116. Pegada de jaguatirica (*Leopardus pardalis*) (CARVALHO & LUZ 2008).



Figura 117. Pegada de veado-mateiro (*Mazama americana*) (CARVALHO & LUZ 2008).

4.2.4.2.5. *Observações visuais diretas*

É um dos métodos mais tradicionais e comuns utilizados, permitindo um diagnóstico de fauna relativamente rápido e em grandes extensões. Com baixo custo, propicia informações fundamentais sobre a presença de espécies e seu comportamento, inclusive no que se refere às passagens de fauna e à rodovia. Padronizando-se o esforço amostral por meio da determinação de transectos uniformes e tempo de observação, permite inferências quantitativas. Por meio da utilização de faroletes durante a noite, torna-se muito eficaz na detecção de médios e grandes mamíferos. Baseado na probabilidade de ocorrência de determinadas espécies, podem ser requeridas técnicas não usuais de observação para sua detecção, como por exemplo, a utilização de rapel em paredões rochosos, para identificação e monitoramento de populações de anfíbios adaptados a estes hábitats (BERGHELLA & CANDIDO 2011).

4.2.4.2.6. *Ferramentas genéticas*

Abordagens por meio de monitoramento de características genéticas também são propostas. BALKENHOL & WAITS (2009) e SIMMONS (2010) apresentam revisões dos estudos já realizados com técnicas de biologia molecular para avaliação dos impactos de rodovias, sugerindo abordagens em diversos níveis de organização, que vão de genes a paisagens. Informações sobre a variabilidade genética das populações, estimativas de fluxo gênico, número efetivo de migrantes e tamanho efetivo da população (I. KELLER & LARGIADÈR 2003; K. KELLER *et al.* 2005) podem, especialmente em combinação com métodos mais tradicionais de abordagem, esclarecer as consequências ecológicas dos efeitos de barreira e mortalidade gerados pelas rodovias. Tais abordagens exigem, entretanto, um longo período para identificação de

eventuais variações (CORLATTI *et al.* 2009). As amostragens podem ser realizadas por meio de técnicas não invasivas, tais como coleta de fezes no solo (EPPS *et al.* 2005) ou pelos em armadilhas (CLEVINGER & SAWAYA 2010).

4.2.4.2.7. Armadilhas de pelos

Construídas com fios de arame farpado, são úteis na avaliação de estruturas de passagem por parte de médios e grandes mamíferos, especialmente de espécies ameaçadas, quando outros métodos não se mostram eficientes. Requerem técnicos capacitados para correta identificação das espécies. Podem fornecer material para análises genéticas, com potencial inclusive para rastreamento de indivíduos, sendo então os custos substancialmente elevados. Esta potencialidade é particularmente interessante no caso do monitoramento da presença e movimentação de espécies ameaçadas (CALTRANS 2009).

4.2.4.2.8. Telemetria por rádio ou satélite

O monitoramento da movimentação de animais por meio da telemetria permite avaliar tanto suas áreas de vida quanto os locais em que cruzam as rodovias e seu comportamento perante estas estruturas. Geralmente é empregado em animais de maior porte e de espécies prioritárias para conservação. Entretanto, com a redução dos custos e a miniaturização dos equipamentos, é um método que tende a ser progressivamente mais empregado, inclusive para animais de pequeno porte, como tartarugas (BEAUDRY *et al.* 2010).



Figura 118. Rastreamento por telemetria. Foto: Adriano Gambarini - ICMBio.



Figura 119. Fêmea de onça-parda com rádio-colar. Foto: Peter G. Crawshaw Jr.

4.2.4.3. Reavaliação

O monitoramento pós-instalação deve produzir periodicamente resultados que permitam quantificar a efetividade das medidas adotadas e o impacto da rodovia sobre a fauna, de modo que as primeiras sejam readequadas quando necessário, no âmbito do processo de renovação da licença ambiental da rodovia. O caráter adaptativo das estratégias de mitigação ambiental deve ser incorporado tanto aos órgãos licenciadores quanto aos empreendedores, muitas vezes recalcitrantes a mudanças estruturais em obras dadas como concluídas, especialmente quando decorrentes de demandas ambientais. Entretanto, da mesma forma que com o passar do tempo alterações no tráfego geram adequações estruturais visando o aumento da capacidade da rodovia, o monitoramento ambiental deve gerar indicativos suficientes para justificar eventuais alterações nas estratégias de mitigação, reduzindo-as ou alterando-as.

Considerando que a habituação da fauna às estruturas mitigadoras ocorre após vários anos (CLEVENGER & WALTHO 2003), que impactos na diversidade biológica podem ser mensurados somente após décadas (FINDLAY & BOURDAGES 2000), que as características do entorno variam ao longo do tempo e que o conhecimento científico se desenvolve e consolida gradativamente, o processo de monitoramento e reavaliação

deve ter caráter de longo prazo. Estimativas confiáveis requerem uma metodologia adequada e um período contínuo de monitoramento, que permita a detecção e estabilização de padrões e dados quantitativos. Com a obtenção de diagnósticos e proposição de indicadores tecnicamente embasados ao final de cada ciclo, pode-se avaliar como satisfatória a estratégia de monitoramento. Refletidas na efetiva implantação das adequações recomendadas e na redução do impacto ambiental da rodovia sobre a fauna, pode-se considerar o projeto de mitigação como eficiente, cumprindo a função para a qual foi previsto no âmbito do licenciamento e da sustentabilidade ambiental do sistema viário.

5. Discussão

O crescimento observado especialmente na última década no campo da Ecologia de Estradas reflete a dimensão dos impactos biológicos, sociais e econômicos que o tema abrange. À medida que são conhecidos e quantificados os efeitos de uma crescente malha viária sobre a biodiversidade, nos seus diversos níveis, a sociedade cobra de seus gestores providências para neutralizá-los ou atenuá-los, sem, entretanto, dispensar os benefícios e o conforto proporcionados pela infraestrutura de transportes, tampouco aceitar soluções exageradamente dispendiosas. Pontes, elevadas e túneis minimizam ao extremo o impacto das rodovias sobre a fauna, porém a custos até dezenas de vezes maiores que um segmento de mesma extensão construído sob as formas convencionais. Tanto os gestores quanto a sociedade se mostram reticentes em concordar com gastos desta ordem, ainda mais quando as recomendações propondo tais medidas carecem de suporte científico consistente e se atravessa uma fase de economias instáveis.

Neste contexto, em que os diversos atores apresentam prioridades distintas, os espaços são muitas vezes conquistados por meio de argumentações técnicas fortemente embasadas. É de interesse da sociedade em geral, na qual se incluem pesquisadores, técnicos e gestores, que os recursos públicos sejam aplicados com parcimônia e resultem na melhoria da qualidade de vida das pessoas, sem que para isso se comprometam os processos ecológicos. Todos têm, em maior ou menor grau, interesse em elucidar as implicações ambientais das obras rodoviárias, seja com vistas à preservação ambiental, seja com o objetivo de reduzir custos associados a estas obras em decorrência de hipóteses nem sempre comprovadas.

O processo de licenciamento ambiental oferece uma excelente oportunidade tanto para discussão de ideias, conceitos e propostas, quanto para geração de conhecimento, em particular se conduzido no aspecto técnico sob critérios

cientificamente válidos. Embora sem perder de vista os limites e objetivos para os quais foi implantado, é compatível com o interesse público que as informações produzidas em seu contexto subsidiem a construção de conhecimento aplicável por toda a sociedade, além de ter suas decisões embasadas em procedimentos científicos válidos.

Para tanto, é necessário que sejam definidas estratégias para responder as perguntas essenciais ao processo de tomada de decisão, sejam adotados protocolos replicáveis, organizados os dados de forma que possam ser integrados com aqueles provenientes de outros empreendimentos, visando produzir conhecimento em um patamar mais elevado e, por fim, que seja capaz de avaliar os resultados obtidos e continuamente buscar novos rumos, sem desprezar os conhecimentos já produzidos, mas embasado neles. Estes aspectos são inerentes ao processo de gestão adaptativa descrito e recomendado pelo presente trabalho.

A busca e análise das informações existentes permite identificar o estágio de conhecimento já atingido em uma determinada área e quais perguntas restam ser respondidas. A partir da organização deste conhecimento se torna possível definir estratégias de ação para atingir os objetivos, neste caso, compatibilizar as obras viárias e a preservação ambiental, ambos de interesse público. Definidas estas estratégias, é essencial que as mesmas possam ser difundidas e assimiladas pelos intervenientes no processo de decisão, que incluem formalmente planejadores, técnicos e gestores, mas no qual também participam a sociedade em geral, políticos e cientistas.

Diversos órgãos governamentais no exterior têm procurado definir guias de procedimento para avaliação dos impactos das rodovias e definição das medidas a serem adotadas para sua mitigação e posterior monitoramento da sua eficácia. Com intenção similar é proposto e estruturado neste trabalho um guia de procedimentos (Conecte), aplicável ao processo de licenciamento ambiental brasileiro. Seu objetivo é

reunir em meio acessível uma síntese do conhecimento sobre os impactos conhecidos e a mitigação daqueles que incidem diretamente sobre a fauna, obviamente sem pretensão de esgotá-lo, visto que estimula e disponibiliza de forma facilitada o acesso às referências originais. Da mesma forma, procura caracterizar as etapas do processo de licenciamento ambiental e os dados necessários à tomada de decisão em cada uma delas, assim como propõe requisitos e métodos para o diagnóstico, seleção de alternativas e monitoramento de sua efetividade.

Optou-se por apresentar as questões relevantes em cada fase do processo e as alternativas conhecidas e aceitas para sua resolução, deixando a cargo dos envolvidos a seleção da alternativa mais adequada, dadas às especificidades de cada projeto e ambiente no qual se insere. Portanto, o fluxograma do Guia (Figura 8) contempla uma árvore de decisão restrita às questões básicas do processo, pois a multiplicidade de fatores envolvidos tornaria excessivamente complexa e provavelmente pouco confiável uma proposta que objetivasse identificar a solução ideal apenas com dados hipotéticos. Acredita-se que, dispondo do diagnóstico adequado e do referencial teórico referente às medidas mitigadoras e suas indicações, os técnicos disporão dos dados necessários à seleção das alternativas que melhor se adequem ao projeto em análise. Sobretudo, há que se considerar que, em um campo relativamente novo do conhecimento, existem limitadas certezas e comprovações científicas. É consenso, entretanto, que a combinação de fatores bióticos e físicos em cada projeto é única. Pode-se, e é necessário que isto aconteça, definir uma sequência de procedimentos e padrões para realização de um diagnóstico que permita a obtenção de dados confiáveis, deve-se dispor aos técnicos envolvidos uma base de conhecimentos atualizada sobre o tema, mas atualmente é por demais ambiciosa a pretensão de se estabelecer uma fórmula definitiva para identificação de solução única e capaz de ser implantada em todas as situações.

A forma de apresentação do Guia de procedimentos, eletrônica, via rede mundial de computadores, apresenta inúmeras vantagens quando comparada à tradicional modalidade impressa: acessibilidade a todos os interessados e em qualquer local, custo de manutenção reduzido ao administrador e inexistente ao usuário final, interface atrativa, conteúdo dinâmico, atualização e correção simples e imediata, e capacidade praticamente ilimitada de expansão e readequação.

Dos quatro módulos principais que compõe o Guia, dois foram estruturados com menor complexidade e aprofundamento (Avaliação dos Impactos Ambientais e Monitoramento), por não integrarem o escopo da presente monografia, e dois foram desenvolvidos integralmente, embora não definitivamente, pela própria natureza da ferramenta e dos temas (Licenciamento ambiental e Medidas mitigadoras). Um quinto módulo foi incorporado, embora apenas de modo a ilustrar seu potencial, carecendo de melhor formatação e desenvolvimento, denominado Informações geográficas, com o objetivo de enfatizar a necessidade da utilização desta ferramenta e suas possibilidades. Aprimoramentos futuros incluem a inserção de um mecanismo de busca na bibliografia, por meio de palavras-chave a serem localizadas nos campos título, autor, resumo e mesmo no teor dos documentos, módulo de estudos de caso nacionais e links para grupos de pesquisa, pesquisadores, consultores e interessados em geral.

O conhecimento disponível acerca das medidas internacionalmente adotadas para mitigação dos impactos foi reunido, analisado e sintetizado. Optou-se por classificá-las de modo a serem mais facilmente inseridas no contexto do processo de licenciamento ambiental, sob a forma de intervenções que se dão no projeto estrutural da obra ou no âmbito do manejo biológico, seja da fauna, da flora ou dos seres humanos que interagem com a rodovia. Além da descrição dos objetivos das mesmas, de suas características técnicas e indicações de uso, foi apresentado o grau atual de sua aceitação conforme a literatura revisada. Esta é quase unânime ao destacar que o

método ou estrutura de mitigação só é eficiente se adequado à combinação de fatores bióticos e abióticos específicos de uma dada área, limitando em muito qualquer generalização e indicação de uso como regra geral. Aquelas capazes de proporcionar avaliação objetiva de resultados, como número de indivíduos e espécies que as utilizam, tais como passagens de fauna nas suas mais diversas modalidades, ou redução no número de indivíduos atropelados em um determinado trecho, como as cercas, apresentam as melhores avaliações quanto à potencialidade para mitigar os efeitos diretos e mais visíveis das rodovias. Destaca-se como fundamental a combinação de estruturas e ações de manejo para atender um espectro amplo da fauna, visto que a eficiência de cada uma é normalmente dependente das características biológicas e ecológicas das espécies.

Para a maioria das espécies nativas no Brasil, entretanto, pouca informação relacionada à história natural é conhecida. Dados úteis e básicos, como distribuição natural, hábitos, grau de ameaça e área de vida, são essenciais para a definição de espécie(s)-alvo e delineamento do programa de mitigação. Tais informações exigem normalmente um período de coleta de dados e distribuição geográfica incompatível com um empreendimento particular em licenciamento, entretanto caso os dados coletados em cada processo sejam obtidos com metodologias adequadas e compatíveis, podem ser integrados em um projeto capaz de extrair inferências relativas a estas questões. Esta é uma interface entre o universo acadêmico e os órgãos licenciadores praticamente inexplorada, embora pródiga em possibilidades para ambos os setores. Enquanto o primeiro poderia obter dados confiáveis e sem custo, visto que o mesmo já é normalmente bancado pelo empreendedor, os últimos se nutririam de informações básicas fundamentais a uma melhor qualidade na avaliação de situação e tomada de decisão.

Tanto a avaliação referente aos impactos das rodovias quanto das medidas mitigadoras em níveis mais complexos de organização (populações, comunidades e ecossistemas) são ainda incipientes, quando não inexistentes, sendo igualmente um campo propício a projetos de longo prazo e que integrem dados de diversos processos de licenciamento. Da mesma forma, se verifica deficiência de dados em campos do conhecimento de aplicação genérica, como a biodiversidade, e mais específicas ao tema, como o efeito de barreira e as taxas de sucesso na travessia de rodovias, que possibilitariam estimar melhor a interferência da malha viária na permeabilidade e conectividade dos ambientes.

Em etapas posteriores de desenvolvimento de um Guia de procedimentos com os objetivos pretendidos pelo Conecte, devem ser aprofundadas tanto a definição de métodos de diagnóstico e previsão dos impactos, conjugando dados de paisagem e registros de atropelamentos, por exemplo, propondo-se protocolos mínimos a serem obedecidos, quanto dos métodos de monitoramento. Ambos estão diretamente relacionados e devem integrar um projeto conceitual unificado.

Com caráter informativo, foram apresentados os métodos comumente utilizados no monitoramento e suas potencialidades para acessar diferentes tipos de informação. É praticamente consensual entre os pesquisadores da área que o desenho experimental mais adequado para avaliação dos impactos e eficiência das medidas mitigadoras siga o modelo Antes-Depois-Controle-Impacto (BACI), se possível incorporando a avaliação Durante a instalação do empreendimento (BDACI). Embora nem sempre disponíveis áreas adequadas de Controle, é essencial que o planejamento ocorra previamente ao empreendimento, para que possa ser incorporado o aspecto temporal (BDA), conferindo um poder de inferência substancialmente mais elevado ao monitoramento.

A carência de informações necessárias à compreensão das relações ecológicas mais complexas faz com que as ações mitigadoras se restrinjam aos níveis individuais ou mais simples de organização, seja enfocando espécies-alvo ou comunidades genericamente caracterizadas. Esta alternativa claramente é insuficiente para atender aos objetivos de um projeto ou de uma política de conservação, mas é aquela possível com os dados disponíveis no Brasil, e similar à observada na grande maioria dos países. Da mesma forma que não cabe ao órgão licenciador delinear e conduzir projetos de pesquisa essencialmente de cunho científico, também não é sua atribuição legal estabelecer esta política. Pode, entretanto, colaborar substancialmente na geração de dados que subsidiem sua formulação. Em uma situação futura ideal, as diretrizes de mitigação deveriam considerar prioritariamente a manutenção de corredores em macroescala conectando os habitats destinados permanentemente à conservação.

6. Bibliografía

- AHERN, J., L. JENNINGS, B. FENSTERMACHER, P. WARREN, N. CHARNEY, S. JACKSON, J. MULLIN, Z. KOTVAL, S. BRENA, S. CIVJAN & E. CARR. 2009. Issues and methods for transdisciplinary planning of combined wildlife and pedestrian highway crossings. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board** **2123** (1): 129-136.
- ANTWORTH, R. L., D. A. PIKE & E. E. STEVENS. 2005. Hit and run: Effects of scavenging on estimates of roadkilled vertebrates. **Southeastern Naturalist** **4** (4): 647-656. doi: 10.1656/1528-7092(2005)004[0647:hareos]2.0.co;2.
- ARESCO, M. J. 2005. Mitigation measures to reduce highway mortality of turtles and other herpetofauna at a North Florida Lake. **Journal of Wildlife Management** **69** (2): 549-560. doi: 10.2193/0022-541x(2005)069[0549:mmtrhm]2.0.co;2.
- 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.
- ASCENSÃO, F. & A. MIRA. 2007. Factors affecting culvert use by vertebrates along two stretches of road in southern Portugal. **Ecological Research** **22** (1): 57-66. doi: 10.1007/s11284-006-0004-1.
- ATTADAMO, A. M., P. M. PELTZER, R. C. LAJMANOVICH, G. ELBERG, C. JUNGES, L. C. SANCHEZ & A. BASSO. 2011. Wildlife vertebrate mortality in roads from Santa Fe province, Argentina. **Revista Mexicana de Biodiversidad** **82** (3): 915-925.
- BACHER-GRESOCK, B. & J. S. SCHWARZER 2009. **Eco-logical: An ecosystem approach to developing transportation infrastructure projects in a changing environment**. Road Ecology Center, John Muir Institute of the Environment, UC Davis, 16p.
- BAGER, A. & C. A. ROSA. 2010. Priority ranking of road sites for mitigating wildlife roadkill. **Biota Neotropica** **10** (4): 149-153.
- BAGER, A. & C. A. ROSA. 2011. Influence of sampling effort on the estimated richness of road-killed vertebrate wildlife. **Environmental Management**: 1-8. doi: 10.1007/s00267-011-9656-x.
- BAKER, C. O. & F. E. VOTAPKA 1990. **Fish passages through culverts**. San Dimas, California, USDA Forest Service, 76p.
- BALKENHOL, N. & L. P. WAITS. 2009. Molecular road ecology: Exploring the potential of genetics for investigating transportation impacts on wildlife. **Molecular Ecology** **18** (20): 4151-4164. doi: 10.1111/j.1365-294X.2009.04322.x.
- BANK, F. G., C. L. IRWIN, E. G. L. M. E. GRAY, S. HAGOOD, J. R. KINAR, A. LEVY, D. PAULSON, B. RUEDIGER, R. M. SAUVAJOT, D. J. SCOTT & P. WHITE 2002. **Wildlife habitat connectivity across european highways**. Washington, DC, Office of International Programs, Office of Policy Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, 48p.

- BARKER, F. 2009. **Common toads and roads: Guidance for planners and highways engineers (England)**. Peterborough, Amphibian and Reptile Conservation, 16p.
- BARNUM, S. A. 2003. **Identifying the best locations along highways to provide safe crossing opportunities for wildlife: A handbook for highway planners and designers**. Denver, Colorado, Colorado Department of Transportation Research, 60p.
- BEAUDRY, F., P. G. DEMAYNADIER & M. L. HUNTER JR. 2008. Identifying road mortality threat at multiple spatial scales for semi-aquatic turtles. **Biological Conservation** **141** (10): 2550-2563. doi: 10.1016/j.biocon.2008.07.016.
- BEAUDRY, F., P. G. DEMAYNADIER & M. L. HUNTER JR. 2010. Identifying hot moments in road-mortality risk for freshwater turtles. **Journal of Wildlife Management** **74** (1): 152-159. doi: 10.2193/2008-370.
- BECKMANN, J. P., A. P. CLEVINGER, M. P. HUIJSER & J. A. HILTY 2010. **Safe passages: Highways, wildlife and habitat connectivity**. Washington, USA, Island Press, 396p.
- BEIER, P., D. R. MAJKA & W. D. SPENCER. 2008. Forks in the road: Choices in procedures for designing wildland linkages. **Conservation Biology** **22** (4): 836-851. doi: 10.1111/j.1523-1739.2008.00942.x.
- BELFORD, D. A. & W. A. GOULD. 1989. An evaluation of trout passage through six highway culverts in Montana. **North American Journal of Fisheries Management** **9**: 437-445.
- BERGALLO, H. G. & C. F. VERA Y CONDE. 2001. O Parque Nacional do Iguacu e a Estrada do Colono. **Ciência Hoje Agosto**.
- BERGHELLA, G. C. & W. F. F. CANDIDO 2011. **Parecer técnico nº 109/2011. Pavimentação da rodovia SC-450, trecho divisa SC/RS – Praia Grande/SC: Análise do plano de trabalho para o monitoramento de fauna**. Brasília, DF, COTRA/CGTMO/DILIC/IBAMA, 21p.
- BHTRANS 1999. **Manual de medidas moderadoras do tráfego: Traffic calming**. Belo Horizonte, BHTRANS, 256p.
- BISSONETTE, J. 2002. Scaling roads and wildlife: The Cinderella Principle. **Zeitschrift für Jagdwissenschaft** **48** (Supplement): 208-214. doi: 10.1007/bf02192410.
- BISSONETTE, J. & W. ADAIR. 2008. Restoring habitat permeability to roaded landscapes with isometrically-scaled wildlife crossings. **Biological Conservation** **141** (2): 482-488. doi: DOI: 10.1016/j.biocon.2007.10.019.
- BISSONETTE, J. & P. CRAMER 2008. **Evaluation of the use and effectiveness of wildlife crossings**. Washington, DC, National Cooperative Highway Research Program, 162p.
- BISSONETTE, J., P. CRAMER, K. KNAPP, B. PERSAUD, C. LYON, I. BRAKOP, T. KINLEY, N. NEWHOUSE, S. JACOBON & A. P. CLEVINGER 2007. **Wildlife and roads**. Available online at: <http://www.wildlifeandroads.org/>. [Accessed: 30 de abril de 2012].

- BISSONETTE, J. & S. A. ROSA. 2009. Road zone effects in small-mammal communities. **Ecology and Society** **14** (1): 27. [online] URL: <http://www.ecologyandsociety.org/vol14/iss1/art27/>.
- BOND, A. R. & D. N. JONES. 2008. Temporal trends in use of fauna-friendly underpasses and overpasses. **Wildlife Research** **35** (2): 103-112. doi: 10.1071/wr07027.
- BORKOVCOVÁ, M., J. MRTKA & J. WINKLER. 2012. Factors affecting mortality of vertebrates on the roads in the czech republic. **Transportation Research Part D: Transport and Environment** **17** (1): 66-72. doi: 10.1016/j.trd.2011.09.011.
- BOUCHARD, J., A. T. FORD, F. E. EIGENBROD & L. FAHRIG. 2009. Behavioral responses of northern leopard frogs (*Rana pipiens*) to roads and traffic: Implications for population persistence. **Ecology and Society** **14** (2): 23. [online] URL: <http://www.ecologyandsociety.org/vol14/iss2/art23/>.
- BRASIL 1997. **Resolução CONAMA 237**. Brasília, DF.
- BROCKIE, R. 2007. Notes on New Zealand mammals 4. Animal road-kill "blackspots". **New Zealand Journal of Zoology** **34** (4): 311-316.
- BROCKIE, R., R. M. F. S. SADLEIR & W. L. LINKLATER. 2009. Long-term wildlife road-kill counts in New Zealand. **New Zealand Journal of Zoology** **36** (2): 123-134. doi: 10.1080/03014220909510147.
- BUBLITZ, J. 2011. Sinalização vegetal: Árvores e flores para auxiliar motoristas. **Jornal Zero Hora**, Porto Alegre, RBS, 4-5p.
- BUJOCZEK, M., M. CIACH & R. YOSEF. 2011. Road-kills affect avian population quality. **Biological Conservation** **144** (3): 1036-1039. doi: 10.1016/j.biocon.2010.12.022.
- CAIN, A. T., V. R. TUOVILA, D. G. HEWITT & M. E. TEWES. 2003. Effects of a highway and mitigation projects on bobcats in southern Texas. **Biological Conservation** **114** (2): 189-197. doi: 10.1016/s0006-3207(03)00023-5.
- CALTRANS 2009. **Wildlife crossings guidance manual, version 1.1**. Available online at: http://www.dot.ca.gov/hq/env/bio/wildlife_crossings/. [Accessed: 07 de fevereiro de 2012].
- CARR, L. W. & L. FAHRIG. 2001. Effect of road traffic on two amphibian species of differing vagility. **Conservation Biology** **15** (4): 1071-1078. doi: 10.1046/j.1523-1739.2001.0150041071.x.
- CARR, L. W., L. FAHRIG & S. E. POPE 2002. Impacts of landscape transformation by roads. In: K. J. Gutzwiller (Ed) **Applying landscape ecology in biological conservation**. New York, Springer-Verlag, pp. 225-243.
- CARVALHO, F. & A. MIRA. 2011. Comparing annual vertebrate road kills over two time periods, 9 years apart: A case study in Mediterranean farmland. **European Journal of Wildlife Research** **57** (1): 157-174. doi: 10.1007/s10344-010-0410-0.

- CHEREM, J. J., M. KAMMERS, I. R. GHIZONI-JR & A. MARTINS. 2007. Mamíferos de médio e grande porte atropelados em rodovias do estado de Santa Catarina, sul do Brasil. **Biotemas** **20** (3): 81-96.
- CIA 2008. **The world factbook**. Available online at: <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/>. [Accessed: 07 de fevereiro de 2012].
- CLEVENGER, A. P. 2005. Conservation value of wildlife crossings: Measures of performance and research directions. **GAIA** **14** (2): 124-129.
- CLEVENGER, A. P., B. CHRUSZCZ & K. GUNSON. 2001a. Drainage culverts as habitat linkages and factors affecting passage by mammals. **Journal of Applied Ecology** **38** (6): 1340-1349. doi: 10.1046/j.0021-8901.2001.00678.x.
- CLEVENGER, A. P., B. CHRUSZCZ & K. E. GUNSON. 2001b. Highway mitigation fencing reduces wildlife-vehicle collisions. **Wildlife Society Bulletin** **29** (2): 646-653.
- CLEVENGER, A. P., B. CHRUSZCZ & K. E. GUNSON. 2003. Spatial patterns and factors influencing small vertebrate fauna road-kill aggregations. **Biological Conservation** **109** (1): 15-26.
- CLEVENGER, A. P. & M. P. HUIJSER 2011. **Wildlife crossing structure handbook: Design and evaluation in North America**. Washington, DC, Federal Highway Administration, 224p.
- CLEVENGER, A. P. & A. V. KOCIOLEK 2006. **Highway median impacts on wildlife movement and mortality: State of the practice survey and gap analysis**. Sacramento, CA, State of California Department of Transportation, 116p.
- CLEVENGER, A. P. & M. A. SAWAYA. 2010. Piloting a non-invasive genetic sampling method for evaluating population-level benefits of wildlife crossing structures. **Ecology and Society** **15** (1): 7. [online] URL: <http://www.ecologyandsociety.org/vol15/iss1/art7/>.
- CLEVENGER, A. P. & N. WALTHO. 2000. Factors influencing the effectiveness of wildlife underpasses in Banff National Park, Alberta, Canada. **Conservation Biology** **14** (1): 47-56.
- CLEVENGER, A. P. & N. WALTHO 2003. Long-term, year-round monitoring of wildlife crossing structures and the importance of temporal and spatial variability in performance studies, p. 293-302. In: C. L. Irwin, P. Garrett & K. P. McDermott (Eds) **Proceedings of the 2003 International Conference on Ecology and Transportation** Raleigh, NC, Center for Transportation and the Environment, North Carolina State University.
- CLEVENGER, A. P. & N. WALTHO. 2005. Performance indices to identify attributes of highway crossing structures facilitating movement of large mammals. **Biological Conservation** **121** (3): 453-464. doi: 10.1016/j.biocon.2004.04.025.
- CNUC-MMA 2012. **Cadastro nacional de Unidades de Conservação: Unidades de Conservação por bioma**. Available online at: www.mma.gov.br/cadastro_uc. [Accessed: 30 de maio de 2012].

- COELHO, I., A. KINDEL & A. COELHO. 2008. Roadkills of vertebrate species on two highways through the Atlantic Forest Biosphere Eeserve, southern Brazil. **European Journal of Wildlife Research** **54** (4): 689-699. doi: 10.1007/s10344-008-0197-4.
- COLINO-RABANAL, V. J., M. LIZANA & S. J. PERIS. 2011. Factors influencing wolf *Canis lupus* roadkills in northwest Spain. **European Journal of Wildlife Research** **57** (3): 399-409.
- COLLINGE, S. K. 2009. **Ecology of fragmented landscapes**. Baltimore, USA, The Johns Hopkins University Press, 340p.
- CORLATTI, L., K. HACKLANDER & F. FREY-ROOS. 2009. Ability of wildlife overpasses to provide connectivity and prevent genetic isolation. **Conservation Biology** **23** (3): 548-556. doi: 10.1111/j.1523-1739.2008.01162.x.
- COUNCIL, N. R. 2005. **Assessing and managing the ecological impacts of paved roads**. Washington, USA, National Academies Press, 324p.
- CUNHA, H. F. D., F. G. A. MOREIRA & S. D. S. SILVA. 2010. Roadkill of wild vertebrates along the GO-060 road between Goiânia and Iporá, Goiás state, Brazil. **Acta Scientiarum. Biological Sciences** **32** (3): 257-263. doi: 10.4025/actascibiolsci.v32i3.4752.
- CUNNINGTON, G. M. & L. FAHRIG. 2010. Plasticity in the vocalizations of anurans in response to traffic noise. **Acta Oecologica-International Journal of Ecology** **36** (5): 463-470. doi: 10.1016/j.actao.2010.06.002.
- CURETON II, J. C. & R. DEATON. 2012. Hot moments and hot spots: Identifying factors explaining temporal and spatial variation in turtle road mortality. **The Journal of Wildlife Management**: doi: 10.1002/jwmg.320.
- D'ANGELO, G. J., A. R. D. CHICCHIS, D. A. OSBORN, G. R. GALLAGHER, R. J. WARREN & K. V. MILLER. 2007. Hearing range of white-tailed deer as determined by auditory brainstem response. **Journal of Wildlife Management** **71** (4): 1238-1242. doi: 10.2193/2006-326.
- D'ANGELO, G. J., J. G. D'ANGELO, G. R. GALLAGHER, D. A. OSBORN, K. V. MILLER & R. J. WARREN. 2006. Evaluation of wildlife warning reflectors for altering white-tailed deer behavior along roadways. **Wildlife Society Bulletin** **34** (4): 1175-1183. doi: 10.2193/0091-7648(2006)34[1175:eowwrf]2.0.co;2.
- DAMARAD, T. & G. J. BEKKER 2003. Habitat fragmentation due to transportation infrastructure: Findings of the Cost Action 341. **Office for official publications of the European Communities**. Luxembourg, 16p.
- DIAZ-VARELA, E. R., I. VAZQUEZ-GONZALEZ, M. F. MAREY-PÉREZ & C. J. ÁLVAREZ-LÓPEZ. 2011. Assessing methods of mitigating wildlife-vehicle collisions by accident characterization and spatial analysis. **Transportation Research Part D: Transport and Environment** **16** (4): 281-287. doi: 10.1016/j.trd.2011.01.002.
- DNIT-UFSC/FAPEU 2011. Relatório trimestral de acompanhamento do Plano Básico Ambiental - BR 386/RS - dez/2010-mar/2011. Brasília/DF, Departamento

Nacional de Infraestrutura de Transportes / Fundação de Amparo à Pesquisa e Extensão Universitária – FAPEU/UFSC, 162p.

- DNIT 2006. **Manual de drenagem de rodovias**. Rio de Janeiro, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, Instituto de Pesquisas Rodoviárias, 304p.
- DNIT 2012. **Rede rodoviária do SNV - divisão em trechos 2011** (atualizada até 03/02/2012). Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - Diretoria de Planejamento e Pesquisa, 350p.
- DODD JR, C. K., W. J. BARICHIVICH & L. L. SMITH. 2004. Effectiveness of a barrier wall and culverts in reducing wildlife mortality on a heavily traveled highway in Florida. **Biological Conservation** **118** (5): 619-631. doi: 10.1016/j.biocon.2003.10.011.
- DODD, N. L., J. W. GAGNON, A. L. MANZO & R. E. SCHWEINSBURG. 2007. Video surveillance to assess highway underpass use by elk in Arizona. **Journal of Wildlife Management** **71** (2): 637-645. doi: 10.2193/2006-340.
- DRUCKER, D. P. 2011. Avanços na integração e gerenciamento de dados ecológicos. **Natureza & Conservação** **9** (1): 115-120. doi: 10.4322/natcon.2011.016.
- EIGENBROD, F., S. J. HECNAR & L. FAHRIG. 2008. The relative effects of road traffic and forest cover on anuran populations. **Biological Conservation** **141** (1): 35-46. doi: 10.1016/j.biocon.2007.08.025.
- EILERTS, B. 2009. **"Electric crosswalk" cuts elk roadkill by 96 percent**. Available online at: <http://www.fhwa.dot.gov/environment/wildlifeprotection/index.cfm?fuseaction=home.viewArticle&articleID=135>. [Accessed: 04/ de abril de 2011].
- EPPS, C. W., P. J. PALSBOELL, J. D. WEHAUSEN, G. K. RODERICK, R. R. RAMEY II & D. R. MCCULLOUGH. 2005. Highways block gene flow and cause a rapid decline in genetic diversity of desert bighorn sheep. **Ecology Letters** **8** (10): 1029-1038. doi: 10.1111/j.1461-0248.2005.00804.x.
- ERICKSON, W. P., G. D. JOHNSON & D. P. YOUNG JR. 2005. A summary and comparison of bird mortality from anthropogenic causes with an emphasis on collisions, p. 1029-1042. C. J. Ralph & T. D. Rich (Eds) **Bird Conservation Implementation and Integration in the Americas: Proceedings of the Third International Partners in Flight Conference. 2002 March 20-24** Asilomar, California, USA, Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-191. Albany, CA: U.S. Dept. of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station.
- ERRITZOE, J., T. D. MAZGAJSKI & Ł. REJT. 2003. Bird casualties on european roads - a review. **Acta Ornithologica** **38** (2): 77-93.
- 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/>.
- FINDLAY, C. S. & J. BOURDAGES. 2000. Response time of wetland biodiversity to road construction on adjacent lands. **Conservation Biology** **14** (1): 86-94.

- FORD, A. T., A. P. CLEVINGER & A. BENNETT. 2009. Comparison of methods of monitoring wildlife crossing-structures on highways. **Journal of Wildlife Management** **73** (7): 1213-1222. doi: 10.2193/2008-387.
- FORMAN, R. T. T. & L. E. ALEXANDER. 1998. Roads and their major ecological effects. **Annual Review of Ecology and Systematics** **29**: 207-231.
- FORMAN, R. T. T. & R. D. DEBLINGER. 2000. The ecological road-effect zone of a Massachusetts (USA) suburban highway. **Conservation Biology** **14** (1): 36-46.
- FORMAN, R. T. T., D. D. SPERLING, J. BISSONETTE, A. P. CLEVINGER, C. D. CUTSHALL, V. H. DALE, L. FAHRIG, R. FRANCE, C. R. GOLDMAN, K. HEANUE, J. A. JONES, F. J. SWANSON, T. TURRENTINE & T. C. WINTER 2003. **Road ecology: Science and solutions**. Washington, Island Press, 481p.
- FU, W., S. LIU & S. DONG. 2010. Landscape pattern changes under the disturbance of road networks. **Procedia Environmental Sciences** **2**: 859-867. doi: 10.1016/j.proenv.2010.10.097.
- GAGNON, J. W., R. E. SCHWEINSBURG, N. L. DODD & A. L. MANZO 2005. **Use of video surveillance to assess wildlife behavior and use of wildlife underpasses in arizona**. Road Ecology Center, John Muir Institute of the Environment, UC Davis.
- GAISLER, J., Z. ŘEHÁK & T. BARTONIČKA. 2009. Bat casualties by road traffic (Brno-Vienna). **Acta Theriologica** **54** (2): 147-155. doi: 10.1007/bf03193170.
- GIBBS, J. P. & W. G. SHRIVER. 2002. Estimating the effects of road mortality on turtle populations. **Conservation Biology** **16** (6): 1647-1652. doi: 10.1046/j.1523-1739.2002.01215.x.
- GLISTA, D. J., T. L. DEVAULT & J. A. DEWOODY. 2009. A review of mitigation measures for reducing wildlife mortality on roadways. **Landscape and Urban Planning** **91** (1): 1-7. doi: 10.1016/j.landurbplan.2008.11.001.
- GRAY, M. 2009. Advances in wildlife crossing technologies. **Public Roads** **73** (2).
- GRILO, C., F. ASCENSÃO, M. SANTOS-REIS & J. BISSONETTE. 2011. Do well-connected landscapes promote road-related mortality? **European Journal of Wildlife Research** **57** (4): 707-716. doi: 10.1007/s10344-010-0478-6.
- GRILO, C., J. BISSONETTE & M. SANTOS-REIS. 2008. Response of carnivores to existing highway culverts and underpasses: Implications for road planning and mitigation. **Biodiversity and Conservation** **17** (7): 1685-1699. doi: 10.1007/s10531-008-9374-8.
- GUMIER-COSTA, F. & C. F. SPERBER. 2009. Atropelamentos de vertebrados na Floresta Nacional de Carajás, Pará, Brasil. **Acta Amazonica** **39**: 459-466. doi: 10.1590/S0044-59672009000200027.
- GUNSON, K., A. P. CLEVINGER, A. FORD, J. BISSONETTE & A. HARDY. 2009. A comparison of data sets varying in spatial accuracy used to predict the occurrence of wildlife-vehicle collisions. **Environmental Management** **44** (2): 268-277. doi: 10.1007/s00267-009-9303-y.

- HALFWERK, W., L. J. M. HOLLEMAN, C. M. LESSELLS & H. SLABBEKOORN. 2011. Negative impact of traffic noise on avian reproductive success. **Journal of Applied Ecology** **48** (1): 210-219. doi: 10.1111/j.1365-2664.2010.01914.x.
- HANSEN, M. J. & A. P. CLEVINGER. 2005. The influence of disturbance and habitat on the presence of non-native plant species along transport corridors. **Biological Conservation** **125** (2): 249-259. doi: 10.1016/j.biocon.2005.03.024.
- HARDY, A., S. LEE & A. F. AL-KAISY. 2006. Effectiveness of animal advisory messages on dynamic message signs as a speed reduction tool: Case study in rural Montana. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board** **1973**: 64-72. doi: 10.3141/1973-10.
- HASKELL, D. G. 2000. Effects of forest roads on macroinvertebrate soil fauna of the southern Appalachian mountains. **Conservation Biology** **14** (1): 57-63.
- HAYWARD, M. W., G. J. HAYWARD & G. I. H. KERLEY. 2010. The impact of upgrading roads on the conservation of the threatened flightless dung beetle, *Circellum bacchus* (f.) (Coleoptera: Scarabaeidae). **Coleopterists Bulletin** **64** (1): 75-80. doi: 10.1649/0010-065x-64.1.75.
- HELMS, T. & E. BUCHWALD. 2001. The effect of road kills on amphibian populations. **Biological Conservation** **99** (3): 331-340. doi: 10.1016/s0006-3207(00)00215-9.
- HILTY, J. A., W. Z. LIDICKER JR. & A. M. MERENLENDER 2006. **Corridor ecology: The science and practice of linking landscapes for biodiversity conservation**. Washington, USA, Island Press, 323p.
- HUIJSER, M. P., J. FULLER, M. E. WAGNER, A. HARDY & A. P. CLEVINGER 2007. **Animal-vehicle collision data collection: A synthesis of highway practice**. Washington, USA, Transportation Research Board, 107p.
- HUIJSER, M. P., T. D. HOLLAND, A. V. KOCIOLEK, A. M. BARKDOLL & J. D. SCHWALM 2009. **Animal-vehicle crash mitigation using advanced technology. Phase II: System effectiveness and system acceptance**. Washington, D.C., 162p.
- HUIJSER, M. P., P. T. MCGOWEN, W. CAMEL, A. HARDY, P. WRIGHT & A. P. CLEVINGER 2006. **Animal-vehicle crash mitigation using advanced technology .Phase I: Review, design and implementation**. Washington, D.C., 214p.
- HURLEY, M. V., E. K. RAPAPORT & C. J. JOHNSON. 2009. Utility of expert-based knowledge for predicting wildlife–vehicle collisions. **Journal of Wildlife Management** **73** (2): 278-286. doi: 10.2193/2008-136.
- IBAMA-ICMBio 2009. **Grupo de trabalho para integração de sistemas de informações em biodiversidade. Relatório final**. Brasília/DF, Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis / Instituto Chico Mendes para Conservação da Biodiversidade, 55p.
- IBAMA 2011. **Procedimento para emissão de autorizações de captura, coleta e transporte de material biológico no âmbito do processo de licenciamento ambiental**. Brasília, DF, Diretoria de Licenciamento Ambiental - IBAMA, 14p.

- IUELL, B., G. J. BEKKER, R. CUPERUS, J. DUFEK, G. FRY, C. HICKS, V. HLAVÁČ, V. B. KELLER, C. ROSELL, T. SANGWINE, N. TØRSLØV & B. L. M. WANDALL 2003. **Wildlife and traffic: A European handbook for identifying conflicts and designing solutions**. Brussels, European Co-operation in the Field of Scientific and Technical Research.
- JACKSON, N. D. & L. FAHRIG. 2011. Relative effects of road mortality and decreased connectivity on population genetic diversity. **Biological Conservation** **144** (12): 3143-3148. doi: 10.1016/j.biocon.2011.09.010.
- JACOBSON, S. L. 2005. Mitigation measures for highway-caused impacts to birds, p. 1043-1050. In: C. J. Ralph & T. D. Rich (Eds) **Bird Conservation Implementation and Integration in the Americas: Proceedings of the Third International Partners in Flight Conference**. Asilomar, California, USA, U.S. Dept. of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station.
- JAEGER, J. A. G. & L. FAHRIG 2001. Modeling the effects of road network patterns on population persistence: Relative importance of traffic mortality and "fence effect", p. 298-312. In: **Proceedings of the International Conference on Ecology and Transportation** Keystone, CO, Raleigh, NC: Center for Transportation and the Environment, North Carolina State University.
- JAEGER, J. A. G. & L. FAHRIG. 2004. Effects of road fencing on population persistence. **Conservation Biology** **18** (6): 1651-1657. doi: 10.1111/j.1523-1739.2004.00304.x.
- JAREN, V., R. ANDERSEN, M. ULLEBERG, P. H. PEDERSEN & B. WISETH. 1991. Moose-train collisions: The effects of vegetation removal with a cost-benefit analysis. **Alces** **27**: 93-99.
- JONES, D. N. 2010. **Safer, more permeable roads: Learning from the European approach**. Brisbane, Environmental Futures Centre, Griffith University, 65p.
- JONES, D. N., M. BAKKER, O. BICHET, R. COUTTS & T. WEARING. 2011. Restoring habitat connectivity over the road: Vegetation on a fauna land-bridge in south-east Queensland. **Ecological Management and Restoration** **12** (1): 76-79. doi: 10.1111/j.1442-8903.2011.00574.x.
- JONES, D. N. & A. R. F. BOND. 2010. Road barrier effect on small birds removed by vegetated overpass in south east Queensland. **Ecological Management and Restoration** **11** (1): 65-67. doi: 10.1111/j.1442-8903.2010.00516.x.
- KELLER, I. & C. R. LARGIADÈR. 2003. Recent habitat fragmentation caused by major roads leads to reduction of gene flow and loss of genetic variability in ground beetles. **Proc Biol Sci.** **270** (1513): 417-423. doi: <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2002.2247>.
- KELLER, K., L. EXCOFFIER & C. R. LARGIADÈR. 2005. Estimation of effective population size and detection of a recent population decline coinciding with habitat fragmentation in a ground beetle. **Journal of Evolutionary Biology** **18** (1): 90-100. doi: 10.1111/j.1420-9101.2004.00794.x.

- LANGEN, T. A., K. M. OGDEN & L. L. SCHWARTING. 2009. Predicting hot spots of herpetofauna road mortality along highway networks. **Journal of Wildlife Management** **73** (1): 104-114. doi: 10.2193/2008-017.
- LANGLEY, R. L. 2005. Animal-related fatalities in the United States - an update. **Wilderness and Environmental Medicine** **16** (2): 67-74.
- LESBARRÈRES, D. & L. FAHRIG. 2012. Measures to reduce population fragmentation by roads: What has worked and how do we know? **Trends in Ecology and Evolution** (In Press): doi: 10.1016/j.tree.2012.01.015.
- LESBARRÈRES, D., T. LODÉ & J. MERILÄ. 2004. What type of amphibian tunnel could reduce road kills? **ORYX** **38** (2): 220-223. doi: 10.1017/s0030605304000389.
- LINDENMAYER, D. B. & J. FISCHER 2006. **Habitat fragmentation and landscape change: An ecological and conservation synthesis**. Washington, USA, Island Press, 328p.
- MAGNUS, Z., L. K. KRIWOKEN, N. J. MOONEY & M. E. JONES 2004. **Reducing the incidence of wildlife roadkill : Improving the visitor experience in Tasmania**. Southporth, Australia, Cooperative Research Centre for Sustainable Tourism, 42p.
- MALO, J. E., F. SUAREZ & A. DIEZ. 2004. Can we mitigate animal-vehicle accidents using predictive models? **Journal of Applied Ecology** **41** (4): 701-710. doi:
- MATA, C., I. HERVÁS, J. HERRANZ, J. E. MALO & F. SUÁREZ. 2009. Seasonal changes in wildlife use of motorway crossing structures and their implication for monitoring programmes. **Transportation Research Part D: Transport and Environment** **14** (7): 447-452. doi: 10.1016/j.trd.2009.05.001.
- MATA, C., I. HERVÁS, J. HERRANZ, F. SUÁREZ & J. E. MALO. 2008. Are motorway wildlife passages worth building? Vertebrate use of road-crossing structures on a spanish motorway. **Journal of Environmental Management** **88** (3): 407-415. doi: 10.1016/j.jenvman.2007.03.014.
- MATEUS, A., C. GRILO & M. SANTOS-REIS. 2010. Surveying drainage culvert use by carnivores: Sampling design and cost–benefit analyzes of track-pads vs. Video-surveillance methods. **Environmental Monitoring and Assessment**: 1-9. doi: 10.1007/s10661-010-1816-6.
- MCCOLLISTER, M. F. & F. T. VAN MANEN. 2010. Effectiveness of wildlife underpasses and fencing to reduce wildlife–vehicle collisions. **Journal of Wildlife Management** **74** (8): 1722-1731. doi: 10.2193/2009-535.
- MCGREGOR, R. L., D. J. BENDER & L. FAHRIG. 2008. Do small mammals avoid roads because of the traffic? **Journal of Applied Ecology** **45** (1): 117-123. doi: 10.1111/j.1365-2664.2007.01403.x.
- MUNN, R. E. 1975. **Environmental impact assessment: Principles and procedures. Scope report 5**. Toronto, John Wiley & Sons.
- NEWHOUSE, N. 2003. The wildlife protection system: Early successes and challenges using infrared technology to detect deer, warn drivers, and monitor deer

behavior. **Road Ecology Center, John Muir Institute of the Environment, UC Davis**: 6.

- ONU 1999. **The world at six billion**. New York, USA, United Nations Secretariat, 63p.
- ORŁOWSKI, G. 2008. Roadside hedgerows and trees as factors increasing road mortality of birds: Implications for management of roadside vegetation in rural landscapes. **Landscape and Urban Planning** **86** (2): 153-161. doi: 10.1016/j.landurbplan.2008.02.003.
- ORŁOWSKI, G. & L. NOWAK. 2006. Factors influencing mammal roadkills in the agricultural landscape of south-western Poland. **Polish Journal of Ecology** **54** (2): 283-294. doi:
- PEREIRA, A. P. F. G., F. A. G. ANDRADE & M. E. B. FERNANDES. 2006. Dois anos de monitoramento dos atropelamentos de mamíferos na rodovia PA-458, Bragança, Pará. **Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi, Ciências Naturais** **1** (3): 77-83.
- PINOWSKI, J. 2005. Roadkills of vertebrates in Venezuela. **Revista Brasileira de Zoologia** **22**: 191-196. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-81752005000100023>.
- RAMP, D. & D. B. CROFT. 2006. Do wildlife warning reflectors elicit aversion in captive macropods? **Wildlife Research** **33** (7): 583-590. doi: 10.1071/wr05115.
- RAO, R. S. P. & M. K. S. GIRISH. 2007. Road kills: Assessing insect casualties using flagship taxon. **Current Science** **92** (6): 830-837.
- REA, R. V., E. K. RAPAPORT, D. P. HODDER, M. V. HURLEY & N. A. KLASSEN. 2006. Using wildlife vehicle collision data, expert opinions and GPS technology to more accurately predict and mitigate vehicular collisions with wildlife in northern British Columbia. **Wildlife Afield** **3** (Supplement): 39-42.
- ROEDENBECK, I. A., L. FAHRIG, C. S. FINDLAY, J. E. HOULAHAN, J. A. G. JAEGER, N. KLAR, S. KRAMER-SCHADT & E. A. VAN DER GRIFT. 2007. The Rauschholzhausen Agenda for road ecology. **Ecology and Society** **12** (1):11. [online] URL: <http://www.ecologyandsociety.org/vol12/iss1/art11/>.
- ROGER, E. & D. RAMP. 2009. Incorporating habitat use in models of fauna fatalities on roads. **Diversity and Distributions** **15** (2): 222-231. doi: 10.1111/j.1472-4642.2008.00523.x.
- ROSA, A. O. & J. MAUHS. 2004. Atropelamento de animais silvestres na rodovia RS - 040. **Caderno de Pesquisa Sér. Bio.** **16** (1): 35-42.
- ROSA, C. A. & A. BAGER. 2012. Seasonality and habitat types affect roadkill of neotropical birds. **Journal of Environmental Management** **97** (0): 1-5. doi: 10.1016/j.jenvman.2011.11.004.
- RYTWINSKI, T. & L. FAHRIG. 2007. Effect of road density on abundance of white-footed mice. **Landscape Ecology** **22** (10): 1501-1512. doi: 10.1007/s10980-007-9134-2.

- SALAFSKY, N., R. MARGOLUIS & K. REDFORD 2001. **Adaptive management: A tool for conservation practitioners**. Washington, Biodiversity Support Program, 100p.
- SÁNCHEZ, L. E. 2008. **Avaliação de impacto ambiental: Conceitos e métodos**. São Paulo, Oficina de Textos, 495p.
- SEILER, A. 2001. **Ecological effects of roads - A review**. Uppsala, Department of Conservation Biology, Swedish University of Agricultural Sciences SLU, 40p.
- SEILER, A. & J. HELLDIN 2006. Mortality in wildlife due to transportation, 165-189. In: J. Davenport & J. L. Davenport (Eds) **The ecology of transportation: Managing mobility for the environment**, Springer Netherlands.
- SIMMONS, J. M., P. SUNNUCKS, A. C. TAYLOR & R. VAN DER REE. 2010. Beyond roadkill, radiotracking, recapture and f-st-a review of some genetic methods to improve understanding of the influence of roads on wildlife. **Ecology and Society** **15** (1): 9. [online] URL: <http://www.ecologyandsociety.org/vol15/iss1/art9/>.
- SPELLERBERG, I. F. 2002. **Ecological effects of roads**. Enfield, USA, Science Publishers, 251p.
- SULLIVAN, J. M. 2011. Trends and characteristics of animal-vehicle collisions in the United States. **Journal of Safety Research** **42** (1): 9-16. doi: 10.1016/j.jsr.2010.11.002.
- TAYLOR, B. D. & R. L. GOLDINGAY. 2003. Cutting the carnage: Wildlife usage of road culverts in north-eastern New South Wales. **Wildlife Research** **30** (5): 529-537. doi: 10.1071/wr01062.
- TAYLOR, B. D. & R. L. GOLDINGAY. 2010. Roads and wildlife: Impacts, mitigation and implications for wildlife management in Australia. **Wildlife Research** **37** (4): 320-331. doi: 10.1071/wr09171.
- TEIXEIRA, F. Z. 2011. Fauna atropelada: Estimativas de mortalidade e identificação de zonas de agregação. In: **Programa de Pós-Graduação em Ecologia - Instituto de Biociências**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 64p.
- TROMBULAK, S. C. & C. A. FRISSELL. 2000. Review of ecological effects of roads on terrestrial and aquatic communities. **Conservation Biology** **14** (1): 18-30. doi: 10.1046/j.1523-1739.2000.99084.x.
- VALITZSKI, S. A. 2007. **Evaluation of sound as a deterrent for reducing deer-vehicle collisions**. Athens, Georgia, University of Georgia, 34p.
- VAN LANGEVELDE, F., C. VAN DOOREMALEN & C. F. JAARSMA. 2009. Traffic mortality and the role of minor roads. **Journal of Environmental Management** **90** (1): 660-667. doi: 10.1016/j.jenvman.2007.09.003.
- VAN WIEREN, S. E. & P. B. WORM. 2001. The use of a motorway wildlife overpass by large mammals. **Netherlands Journal of Zoology** **51** (1): 97-105. doi: 10.1163/156854201750210869.
- VEAGE, L.-A. & D. N. JONES 2007. **Breaking the barrier: Assessing the value of fauna-friendly crossing structures at Compton Road. Report for Brisbane City Council**. Brisbane, Centre of Innovative Conservation Strategies, Griffith University, 121p.
- WATHERN, P. 1988. An introductory guide to EIA., 3-30. In: P. Wathern (Ed) **Environmental impact assessment: Theory and practice**. London, Unwin Hyman.

7. Anexos

7.1. Zoologia: Normas para citação bibliográfica

INSTRUÇÕES AOS AUTORES

ORIENTAÇÕES GERAIS

ZOOLOGIA, periódico científico da Sociedade Brasileira de Zoologia (SBZ), publica artigos originais em Zoologia, de autoria de sócios e não-sócios da Sociedade. Membros da SBZ podem publicar sem taxas, no entanto, para não-sócios é requerido o pagamento de taxa por página publicada, conforme indicado em lista atualizada disponível na página eletrônica da Sociedade (<http://www.sbzoologia.org.br>).

Manuscritos devem ser preparados somente em inglês. A submissão de manuscritos para ZOOLOGIA está disponível somente através do endereço <http://submission.scielo.br/index.php/zool/index>. O sistema de submissão é amigável e permite aos autores monitorar o trâmite de publicação. Caso encontre alguma dificuldade para utilização do sistema, existem vários tutoriais no site da SBZ que o auxiliarão. Todos os documentos devem ser preparados através de programa um editor de textos (preferencialmente MS Word ou compatível).

ZOOLOGIA não publicará notas simples de ocorrência, novos registros (e.g. geográfico, hospedeiro), nota de distribuição, estudos de caso, lista de espécies e estudos similares meramente descritivos, a não ser que bem justificados pelos autores. Justificativas devem ser enviadas ao Editor-Chefe antes da submissão.

RESPONSABILIDADE

Manuscritos são recebidos por ZOOLOGIA com o entendimento que:

- todos os autores aprovaram a submissão;
- os resultados ou idéias contidas são originais;
- o manuscrito não foi publicado anteriormente, não está sendo considerado para publicação por outra revista e não será enviado a outra revista, a menos que tenha sido rejeitado por ZOOLOGIA ou retirado do processo editorial por notificação por escrito do Editor-Chefe;
- foram preparados de acordo com estas Instruções aos Autores;
- se aceito para publicação e publicado, o artigo ou parte deste, não será publicado em outro lugar a menos que haja consentimento por escrito do Editor-Chefe;
- a reprodução e uso de artigos publicados em ZOOLOGIA é permitido para comprovados fins educacionais e não-comerciais. Todos os demais usos requerem consentimento e taxas serão aplicadas quando apropriado; - os custos para publicação por páginas e de revisão de texto são aceitos pelos autores;
- os autores são inteiramente responsáveis pelo conteúdo científico e gramatical do artigo;
- os autores concordam com possíveis taxas adicionais associadas à revisão de língua inglesa, se considerada necessária.

FORMAS DE PUBLICAÇÃO

Artigos: artigos originais em todas as áreas da Zoologia.

Comunicações Breves: esta forma de publicação representa sucinta e definitiva informação (opondo-se a resultados preliminares) que não proporcione sua inclusão em um tópico, mais abrangente artigo. Uma técnica nova ou modificada pode ser apresentada com uma nota de pesquisa somente se a técnica

não utilizada em estudos em andamento. Geralmente, técnicas são incorporadas na seção Material e Métodos de um artigo formal.

Artigos de Revisão: somente são publicadas revisões sob convite. Revisões não solicitadas não devem ser submetidas, no entanto, tópicos podem ser sugeridos ao editor ou membros do corpo editorial.

Opinião: cartas ao editor, comentários sobre outras publicações ou opiniões, visões gerais e outros textos que caracterizem-se como opinião de um ou um grupo de cientistas.

Resenha de Livros: livros que possuam amplo interesse para os membros da Sociedade serão resenhados sob convite.

Biografias Curtas/Obituários: biografia e/ou obituário de importantes zoólogos com significativa contribuição para o conhecimento da Zoologia.

MANUSCRITOS

O texto de ser justificado à esquerda e páginas e linhas devem ser numeradas. Utilize fonte Times New Roman tamanho 12. A primeira página deve incluir: 1) o título do artigo incluindo o nome(s) da(s) maior(es) categoria(s) taxonômica(s) do(s) animal(ais) tratado(s); 2) o nome(s) do(s) autor(es) com sua afiliação profissional, somente com o propósito de correspondências, afiliações adicionais devem ser incluídas na seção Agradecimentos; 3) nome do autor correspondente com endereço completo para correspondência, incluindo e-mail; 4) um resumo em inglês; 5) até cinco palavras-chave em inglês, listadas em ordem alfabética e diferentes daquelas utilizadas no título. A informação total dos itens 1 a 5 não devem exceder 3,500 caracteres incluindo espaços, exceto se autorizado pelo Editor-Chefe.

Citações bibliográficas devem ser digitadas em caixa alta reduzida (verselete), como indicado: SMITH (1990), (SMITH 1990), SMITH (1990: 128), SMITH (1990, 1995), LENT & JURBERG (1965), GUIMARÃES *et al.* (1983). Artigos de um mesmo autor ou seqüências de citações devem ser em ordem cronológica.

Somente nomes de gêneros e espécies devem ser digitados em itálico. A primeira citação de um táxon animal ou vegetal deve ser acompanhado pelo nome do autor, data (de plantas se possível) e família, seguindo a padronização determinada pelo Código Internacional de Nomenclatura Zoológica.

O manuscrito de artigos científicos deve ser organizado como indicado abaixo. Outras seções e subdivisões são possíveis mas o Editor-Chefe e Corpo Editorial deverão aceitar o esquema proposto.

ARTIGOS E REVISÕES SOLICITADAS

Título. Evite verbosidades tais como "estudos preliminares sobre...", "aspectos de..." e "biologia ou ecologia de...". No título, não utilize citações de autor e data em nomes científicos. Quando nomes de táxons forem mencionados no título, deverão ser seguidos pela indicação de categorias superiores entre parênteses.

Resumo. O resumo deve ser relativo aos fatos (contrapondo-se a indicativo) e deve delinear os objetivos, métodos usados, conclusões e significância do estudo. O texto do resumo não deve ser subdividido nem conter citações bibliográficas (exceções serão analisadas pelos editores). Deve constituir-se em um único parágrafo.

Palavras-chave. Utilizar até cinco palavras-chave em inglês, dispostas em ordem alfabética, diferentes daquelas contidas no título e devem ser separadas por ponto e vírgula. Evite o uso de expressões compostas.

Introdução. A introdução deve estabelecer o contexto do documento expressando a área de interesse geral, apresentando resultados de outros que serão contestados ou expandidos e descrevendo a questão específica a ser abordada. Explicações de trabalho anterior devem ser limitadas ao mínimo de elementos necessários para dar uma perspectiva adequada. A introdução não deve ser subdividida.

Material e Métodos. Esta seção deve ser curta e concisa. Deve fornecer informação suficiente que permita a repetição do estudo por outros. Técnicas padronizadas ou previamente publicadas podem ser referenciadas, mas não detalhadas. Se a seção Material e Métodos for curta, não deve ser subdividida. Evite extensiva divisão em parágrafos e subitens.

Resultados. Esta seção deve restringir-se concisamente sobre novas informações. Tabelas e figuras devem ser utilizados apropriadamente, mas as informações apresentadas nelas não devem ser repetidas no texto. Evite detalhamento de métodos e interpretação dos resultados nesta seção.

Trabalhos taxonômicos têm um estilo distinto que deve ser considerado na elaboração do manuscrito. Em artigos taxonômicos a seção Resultados é substituída pela seção denominada TAXONOMIA, iniciando na margem esquerda. A descrição ou redescricao de espécies é acompanhada por um resumo taxonômico. A seção **resumo taxonômico** compreende uma lista de sítios, localidade e espécimes depositados (com os respectivos números de depósito em coleções científicas). A citação apropriada segue a seqüência e o formato: País, *Província* ou *Estado*: Cidade ou Região (localidades menores, redondezas e outros, latitude, longitude, todos entre parênteses), número de espécimes, sexo (se aplicável), data de coleta, coletor seguido pela palavra *leg.*, número de coleção. Este é um padrão geral que pode ser adaptado para diferentes situações e grupos. Inúmeros exemplos podem ser encontrados em fascículos anteriores de ZOOLOGIA. O resumo taxonômico é seguido pela seção comentários (Comentários). Os comentários substituem a discussão de outros tipos de artigos e fornecem comparações com taxa similares. São exigidos números de registro em coleções científicas para material-tipo (novas taxa) e para espécimes testemunha. Espécimes tipo, especialmente holótipos (síntipos, cótipos), parátipos e um amostra representativa de espécimes testemunha, não devem ser depositados em coleções particulares; é exigido o depósito dos espécimes em coleções oficiais não-particulares. Material fotográfico adequado deve ser depositado, se necessário. Para tecidos congelados também deve ser informado números de registro se depositados em um museu/coleção.

Discussão. Interpretação e explanação da relação entre resultados obtidos e o conhecimento atual deve existir na seção Discussão. Deve ser dada ênfase sobre novos achados importantes. Novas hipóteses devem ser claramente identificadas. Conclusões devem ser suportadas por fatos ou dados. Subdivisões são possíveis. Uma seção Conclusão não é permitida em Zoologia.

Agradecimentos. Devem ser concisos. A ética requer que colegas sejam consultados antes que seus nomes sejam citados pelo seu auxílio no estudo.

Literatura Citada. Citações são ordenadas alfabeticamente. Todas as referências citadas no texto devem ser incluídas na seção Literatura Citada e todos os itens nesta seção devem ser citados

no texto. Citação de estudos não publicados ou relatórios não são permitidas. Volume e número de páginas devem estar disponíveis para periódicos. Cidade, editora e paginação total para livros. Resumos não sujeitos ao processo de avaliação por pares não devem ser citados. Trabalhos podem ser citados excepcionalmente como "no prelo" somente até o estágio de revisão de texto, quando a referência deverá ser completada ou suprimida caso não ainda tenha sido publicada. Se absolutamente necessário, um relato pode ser documentado no texto do manuscrito como "pers. comm.", alertando a pessoa citada que sua comunicação pessoal será transcrita em seu artigo. Comunicações pessoais não deverão ser incluídas na seção Literatura Citada. As referências citadas no texto devem ser listadas no final do manuscrito, de acordo com os exemplos abaixo. O título de cada periódico deve ser completo e sem abreviações.

Periódicos

Sempre que disponível, inclua o DOI (Digital Object Identifier) como demonstrado abaixo.

GUEDES, D.; R.J. YOUNG & K.B. STRIER. 2008. Energetic costs of reproduction in female northern muriquis, *Brachyteles hypoxanthus* (Primates: Platyrrhini: Atelidae). *Revista Brasileira de Zoologia* 25 (4): 587-593. doi: 10.1590/S0101-81752008000400002.

LENT, H. & J. JURBERG. 1980. Comentários sobre a genitália externa masculina em *Triatoma Laporte, 1832* (Hemiptera, Reduviidae). *Revista Brasileira de Biologia* 40 (3): 611-627.

SMITH, D.R. 1990. A synopsis of the sawflies (Hymenoptera, Symphita) of America South of the United States: Pergidae. *Revista Brasileira de Entomologia* 34 (1): 7-200.

Livros

HENNIG, W. 1981. *Insect phylogeny*. Chichester, John Wiley, XX+514p.

Capítulo de livros

HULL, D.L. 1974. Darwinism and historiography, p. 388-402. In: T.F. GLICK (Ed.). *The comparative reception of Darwinism*. Austin, University of Texas, IV+505p.

Fontes eletrônicas

MARINONI, L. 1997. Sciomyzidae. In: A. SOLIS (Ed.). *Las Familias de insectos de Costa Rica*. Available online at: <http://www.inbio.ac.cr/papers/insectoscr/texto630.html> [Accessed: date of access].

Ilustrações. Fotografias, desenhos, gráficos e mapas devem ser designados como figuras. Fotos devem ser nítidas e possuir bom contraste. Por favor, sempre que possível, organize os desenhos (incluindo gráficos, se for o caso) como pranchas de figuras ou fotos, considerando o tamanho da página da revista. O tamanho de uma ilustração, se necessário, deve ser indicado utilizando-se barras de escala verticais ou horizontais (nunca utilize aumento na legenda). Cada figura deve ser numerada com algarismos arábicos no canto inferior direito. Ao preparar as ilustrações, os autores devem ter em mente que o tamanho do espelho da revista é de 17,0 por 21,0 cm e da coluna é de 8,3 por 21,0 cm, devendo ser reservado espaço para legendas e também devendo haver proporcionalidade a estas dimensões. Figuras devem ser citadas no texto em seqüência numeral. Para propósitos de revisão, todas as figuras devem ser inseridas no final do texto, após a seção Literatura Citada ou após as tabelas caso

existam. Os autores devem estar cientes que, se aceito para publicação em ZOOLOGIA, todas as figuras e gráficos deverão ser enviados ao editor com qualidade adequada (ver abaixo). Ilustrações devem ser salvas em formato TIF com modo de compressão LZW e enviados arquivos separados. A resolução final é de 600 dpi para ilustrações em preto e branco e de 300 dpi para as coloridas. Os arquivos de ilustrações devem ser inseridos no sistema de submissão como arquivos suplementares. O upload é limitado a 10 MB por arquivo. Figuras coloridas podem ser publicadas desde que o custo adicional seja assumido pelos autores. Alternativamente, os autores podem escolher por publicar ilustrações em preto e branco na versão impressa da revista e mantê-las em cores na versão eletrônica sem custo adicional. Independentemente da escolha, estas figuras devem ser incorporadas, em baixa resolução mas com boa qualidade, diretamente no manuscrito somente para os fins de revisão. Cada figura ou conjunto de figuras sob a mesma legenda (prancha), deve ser incluída no final do manuscrito, em páginas separadas. Legendas das figuras devem ser posicionadas logo após a seção Literatura Citada. Use parágrafos separados para cada legenda de figura ou grupo de figuras. Observe publicações anteriores e siga o padrão adotado para legendas.

Tabelas. Tabelas devem ser geradas pela função de tabelas do processador de texto utilizado, são numeradas com algarismos romanos e devem ser inseridas após a lista de legendas de figuras. Não utilize marcas de parágrafo no interior das células da tabela. Legendas devem ser inseridas imediatamente antes de cada tabela.

COMUNICAÇÕES BREVES

Manuscritos devem ser organizados de maneira similar aos artigos originais com as seguintes modificações.

Texto. O texto de um nota científica (i.e. Introdução + Material e Métodos + Discussão) é escrito diretamente, sem divisão em seções. Agradecimentos podem ser fornecidos, sem cabeçalho, como o último parágrafo do texto. A literatura deve ser citada no texto como descrito para artigos.

Literatura Citada, legendas de figuras, tabelas e figuras. Estes itens seguem a forma e seqüência descrita para artigos.

OPINIÃO

Título. Basta fornecer um título para a opinião.

Text. Deve ser conciso, objetivo e sem figuras (a menos que seja absolutamente necessário).

Nome e endereço do autor. Esta informação segue o texto ou a seção Literatura Citada, caso esta exista. O nome do revisor deve estar em negrito.

RESENHAS DE LIVROS

Título. Fornecer o título do livro como indicado abaixo: **Toxoplasmosis of Animals and Man**, by J.P. DUBEY & C.P. BEATTIE. 1988. Boca Raton, CRC Press, 220p.

As palavras "edited by" são substituídas por "by" quando apropriado.

Texto. O texto geralmente não é subdividido. Caso seja necessário citar literatura, a seção Literatura Citada deverá ser incluída e seguir o mesmo estilo adotado para artigos. Figuras e tabelas não devem ser utilizadas.

Nome e endereço do autor. Esta informação segue o texto ou a seção literatura citada, caso presente. O nome do revisor deve ser digitado em negrito.

BIOGRAFIAS/OBITUÁRIOS

Título. O título inicia-se com o nome da pessoa cuja biografia /obituário está sendo escrita, em negrito, seguido pela data de aniversário ou morte (se for o caso), entre parênteses. Por exemplo: **Lauro Travassos (1890-1970)**

Texto. O texto usualmente não é subdividido. Caso seja necessário citar literatura, a seção Literatura Citada deverá ser incluída e seguir o mesmo estilo adotado para artigos. Figuras e tabelas não devem ser utilizadas.

Nome e endereço do autor. Esta informação segue o texto ou a seção literatura citada, caso presente. O nome do revisor deve ser digitado em negrito.

PRECEDIMENTOS

Manuscritos submetidos à ZOOLOGIA serão inicialmente avaliados pelos editores Chefe e Assistente quanto a adequação e para determinação da área específica. Um primeira avaliação da língua inglesa é efetuada neste momento. Manuscritos com problemas serão retornados aos autores. Uma vez que a área específica seja determinada/confirmada, o manuscrito é enviado, pelo Editor-Chefe, ao Editor de Seção apropriado. O Editor de Seção encaminha o manuscrito para os Revisores, no mínimo dois. Cópias do manuscrito com os comentários dos revisores e a decisão do Editor de Seção, serão retornados para o Autor correspondente para avaliação. Os autores terão até 30 dias para responder ou cumprir a revisão e retornar a versão revisada do manuscrito para a seção adequada no sistema eletrônico de submissão. Uma vez aprovado, o manuscrito original, os comentários dos revisores, os comentários do Editor de Seção, juntamente com a versão corrigida e os respectivos arquivos de figuras, devidamente identificados, são retornados ao Editor-Chefe. Excepcionalmente, o Editor-Chefe pode, após consulta aos editores de seção, modificar a recomendação dos Revisores e Editor de Seção, com base em justificativa adequada. Alterações *a posteriori* ou adições poderão ser recusadas. Uma versão de revisão do manuscrito será enviada aos autores para apreciação final. Este representa o último momento para alterações substanciais, desde que devidamente justificadas. A próxima etapa é restrita a correções tipográficas e de formatação. Provas eletrônicas serão submetidas ao Autor correspondente para apreciação antes da publicação.

SEPARATAS

O Autor correspondente receberá arquivo eletrônico (no formato PDF) do artigo após sua publicação. Autores poderão imprimir o arquivo e distribuir cópias impressas de seu artigo conforme sua necessidade. Autores também poderão distribuir eletronicamente o arquivo para terceiros, da mesma maneira. Entretanto, solicitamos que os arquivos PDF não sejam distribuídos através de grupos de discussão ou sistemas de envio de mensagens em massa (não faça SPAM). É importante para a revista ZOOLOGIA que os usuários visitem a página eletrônica do periódico na Scientific Electronic Library Online (SciELO) e acessem os artigos publicados para fins estatísticos. Atuando desta maneira, você estará auxiliando o incremento dos índices de qualidade de ZOOLOGIA.

ESPÉCIMES TESTEMUNHA E TIPOS

Os manuscritos devem informar os museus ou instituições onde os espécimes (tipos ou testemunha) estão depositados e seus respectivos números de depósito.