

O papel das estradas na conservação da vegetação nativa no Estado de São Paulo

Cláudia Orsini Machado de Sousa¹

Simone Rodrigues Freitas^{1,2}

Arnaldo Aparecido Dias¹

André Borella Pereira de Godoy³

Jean Paul Metzger¹

¹ Universidade de São Paulo - USP

Instituto de Biociências, Departamento de Ecologia

Rua do Matão, 321, travessa 14 - 05508-900 - São Paulo – SP, Brasil

claudia.sousa@usp.br, arnaldoad@ig.com.br, jpm@ib.usp.br

² Universidade Federal do ABC - UFABC

Rua Catequese, 242, Bairro Jardim - 09090-400 - Santo André – SP, Brasil

simone.freitas@ufabc.edu.br

³ Universidade de São Paulo - USP

Instituto de Ciências Biomédicas, Departamento de Fisiologia

Av. Lineu Prestes, 1524 - 05508-900 - São Paulo - SP, Brasil

andre.borella.godoy@usp.br

Abstract. Roads affect the environment in different distances and intensities. Understanding the relationship between roads and the distribution of native vegetation can be a useful tool for decision making in planning, not only for transportation, but also for environmental issues, for example, defining priority areas for conservation and restoration. This work aims to: 1) estimate the area ecologically affected by roads in the whole State of São Paulo, in each type of vegetation and in all reserves; and, 2) verify the influence of road distance on native vegetation cover and on reserves. The study area was the State of São Paulo, southeastern Brazil, where two biodiversity hotspots biomes occur – Brazilian Atlantic Forest and Brazilian Savanna (Cerrado). About 4% of São Paulo is ecologically affected by roads, being dense ombrophylous forest and many reserves highly affected. Neither the area of native vegetation nor the area of reserves have increased exponentially with the exponential increase of road distance. However, there are remarkable similarities between the observed and the expected curves near the roads, which indicate that road distance may be a relevant factor to explain the distribution of native vegetation and of reserves in São Paulo. In conclusion, in order to improve conservation and restoration strategies, we suggest that roads be considered, prioritizing those sites far from them.

Palavras-chave: road density, road ecology, landscape ecology, forest fragmentation, southeastern Brazil, densidade de estradas, ecologia de estradas, ecologia de paisagens, fragmentação florestal, sudeste do Brasil.

1. Introdução

Estradas servem para conectar centros urbanos e para acessar e dar suporte a atividades de uso da terra. Elas se conectam em rede e variam em forma e propósito (Forman et al., 2003). Entretanto, as estradas afetam a atmosfera, o solo, a vegetação, a fauna e as comunidades humanas que estão em sua proximidade. O efeito imediato da construção de uma estrada é a fragmentação das paisagens naturais, que subsequentemente causa o efeito de borda e o isolamento de populações (Murcia, 1995; Develey e Stouffer, 2001; Forman et al., 2003). Além disso, as estradas levam ao atropelamento de animais silvestres, à emissão de gases poluentes e facilitam o aumento de focos de incêndios (Forman et al., 2003). Algumas populações animais apresentam um comportamento de evitar as estradas, reduzindo assim a conectividade da paisagem (McGregor et al., 2008), *i.e.* a capacidade desta paisagem facilitar fluxos biológicos

(Taylor et al., 1993). A área pela qual se estendem os efeitos ecológicos de uma estrada depende do fator biótico e abiótico considerado (Forman e Deblinger, 1999). A invasão de plantas exóticas, por exemplo, pode atingir até 100 m de distância da estrada, enquanto que os ruídos do tráfego podem chegar até algumas centenas de metros, afetando especialmente aves (Reijnen et al., 1995; Forman e Deblinger, 1999; Trombulak e Frissel, 2000; Palomino e Carrascal, 2007). A proximidade de estradas em relação aos fragmentos florestais pode alterar sua riqueza e composição de espécies animais e vegetais (Hansen e Clevenger, 2005; Palomino e Carrascal, 2007).

A compreensão das relações entre as estradas e o ambiente, incluindo o homem, pode servir como ferramenta para a tomada de decisão em planejamento não só de transportes, mas também ambiental (Dramstad et al., 1996; Forman, 2004). Em particular, a delimitação de áreas prioritárias para conservação ou restauração pode ser aprimorada com a inclusão dos conhecimentos sobre os efeitos das estradas. Geralmente, a delimitação destas áreas é definida pela ocorrência de espécies (presença/ausência, distribuição geográfica; Williams et al., 2002; Van Teeffelen et al., 2006), sem considerar sua persistência ao longo do tempo (Cabeza, 2003). Para amenizar essa lacuna, estudos recentes sugerem considerar a dinâmica das populações e informações espaciais, tais como fragmentação e conectividade (Briers, 2002; Cabeza, 2003; Van Teeffelen et al., 2006). As estradas podem alterar a conectividade entre populações animais e vegetais, e desta forma influenciar na persistência das espécies na paisagem, assim estas deveriam ser consideradas na delimitação de áreas prioritárias para conservação e restauração ambiental e na avaliação da efetividade de Unidades de Conservação.

O Estado de São Paulo é um objeto de estudo interessante devido à excelente base de dados disponível, à grande malha rodoviária e ao apoio de Órgãos Governamentais e Não-Governamentais sobre questões de conservação ambiental. Além disso, o Estado de São Paulo possui em seu território dois biomas considerados como *hotspots*, devido ao seu grande grau de endemismo e destruição: a Mata Atlântica e o Cerrado (Myers et al., 2000). O bioma Mata Atlântica foi tombado como patrimônio natural em 1985, e em 1991 ela foi designada Reserva da Biosfera, com o objetivo de conservar a biodiversidade, promover o desenvolvimento sustentável e ser utilizada para a pesquisa científica e educação em suas áreas de abrangência (Leite, 2007). Já o bioma Cerrado é caracterizado como um tipo de savana que cobre aproximadamente um quinto do território brasileiro (Furley & Ratter, 1988; Ratter et al., 1997). Além disso, é considerada a maior, mais rica e, provavelmente, a mais ameaçada formação savânica, apresentando uma alta biodiversidade.

O presente estudo investigou a influência das estradas no Estado de São Paulo discutindo suas implicações na conservação da vegetação nativa, tendo como objetivos específicos: 1) estimar a área de influência ecológica das estradas em todo o Estado de São Paulo, nos tipos de vegetação e nas unidades de conservação; e, 2) verificar a influência da distância das estradas na cobertura vegetal nativa e nas unidades de conservação.

2. Metodologia de Trabalho

O estudo foi realizado em todo o Estado de São Paulo, sudeste do Brasil, no qual a vegetação natural de Mata Atlântica e Cerrado cobre apenas 13,9% do território.

Foram utilizados o mapa rodoviário do Estado de São Paulo (DER, 2008); o mapa das unidades de conservação (UCs) federais e estaduais; e o mapa do inventário florestal realizado pelo Instituto Florestal em 2005, onde foram representados os tipos fisionômico-ecológicos dos fragmentos de vegetação natural do estado de São Paulo (na escala 1:20.000) (Kronka et al., 2005).

Para estimar a área de influência ecológica das estradas em todo o Estado de São Paulo, nos tipos de vegetação e nas Unidades de Conservação (UCs), seguimos a metodologia de Forman (2000). A área de influência ecológica foi calculada com base na distância em que as

espécies de aves mais sensíveis são afetadas, já que são aquelas que apresentam uma relação comprovadamente adversa com as estradas, inclusive nos trópicos (Reijnen et al., 1995; 1997; Forman, 2000; Develey e Stouffer, 2001; Laurance et al. 2004). Considerando que estradas com maior tráfego apresentam maior influência ecológica, aumentou-se o tamanho da faixa (*buffer*) dependendo do tipo de estrada (Forman, 2000). Dessa forma, considerou-se para estradas não-pavimentadas, a área afetada de 100 m para cada lado entorno da estrada, para estradas simples, 200 m, e para estradas duplas, considerou-se a área afetada de 400 m.

Para avaliar a relação da distância das estradas com os tipos de vegetação nativa e as unidades de conservação, foram feitas faixas de distância (*buffers*) em relação às estradas. Esses *buffers* são de diferentes larguras, aumentando exponencialmente quanto mais distantes das estradas, uma vez que se espera um maior efeito nas áreas mais próximas destas (Teixeira et al., no prelo). Dessa forma, as larguras das faixas foram 55m, 148m, 403m, 2891m e 8103m. Em cada uma das faixas foi quantificada a área de cada tipo de vegetação (Floresta Ombrófila Densa, Floresta Ombrófila Mista, Floresta Estacional, Formações Savânicas e Restinga/Mangue) e a área das unidades de conservação. O teste Qui-quadrado (χ^2) foi utilizado para testar a hipótese de aumento exponencial da área de cada tipo de vegetação e das unidades de conservação à medida que se aumenta exponencialmente a distância das estradas (Zar, 1996). A diferença foi considerada significativa para o teste de Qui-quadrado com nível de significância de 5% ($p \leq 0,05$).

3. Resultados e Discussão

3.1. Influência ecológica

Cerca de 4% do território do Estado de São Paulo está sob influência ecológica das estradas. As estradas simples são aquelas com maior área de influência no estado (2,27%), seguidas pelas estradas duplas (1,54%), e por último pelas estradas não-pavimentadas (0,06%) (Figura 1). Esse resultado está relacionado ao fato de as estradas simples serem as mais abundantes no Estado. As densidades para estradas simples, duplas e não pavimentadas são respectivamente 0,054, 0,014 e 0,001.

Nos Estados Unidos, 20% de todo território americano é afetado pelas estradas (Forman, 2000). O efeito bem inferior encontrado em São Paulo pode ser explicado pelo fato da densidade de estradas paulistas (0,08 km/km²) ser reduzida em relação à densidade das estradas em, por exemplo, estados da região centro-oeste dos Estados Unidos que varia de 0,65 a 1,89 km/km² (LaRue e Nielsen, 2008).

Em relação à vegetação nativa, apenas 1,71% da área em que ela ocorre é afetada pelas estradas. A maior proporção da área de influência ecológica das estradas ocorre em outros tipos de uso e cobertura da terra, como urbanização, agricultura ou reflorestamento. A fitofisionomia mais abundante no território paulista (44,70%) - Floresta Ombrófila Densa - é também aquela mais afetada pelas estradas (52,62%). Já as formações savânicas, que ocupam 5,84% da área total do Estado, são menos afetadas pelas estradas (1,51%). A baixa influência das estradas sobre as formações savânicas pode ser explicada pela baixa densidade de estradas, especialmente na região mais central do Estado, onde ocorre o bioma Cerrado. Como esperado quanto maior a área ocupada por cada tipo de vegetação, maior a proporção dessas afetada por estradas ($r = 0,9628$, $p = 0,00$). Entretanto, se as Florestas Ombrófilas Densas não forem consideradas, essa relação positiva desaparece ($r = 0,6629$, $p = 0,07$). Dessa forma, as estradas não afetam em maior proporção as florestas com maior área, apenas na Floresta Ombrófila Densa que ocorre no litoral do Estado de São Paulo e é a mais afetada pelas estradas (52,62%)

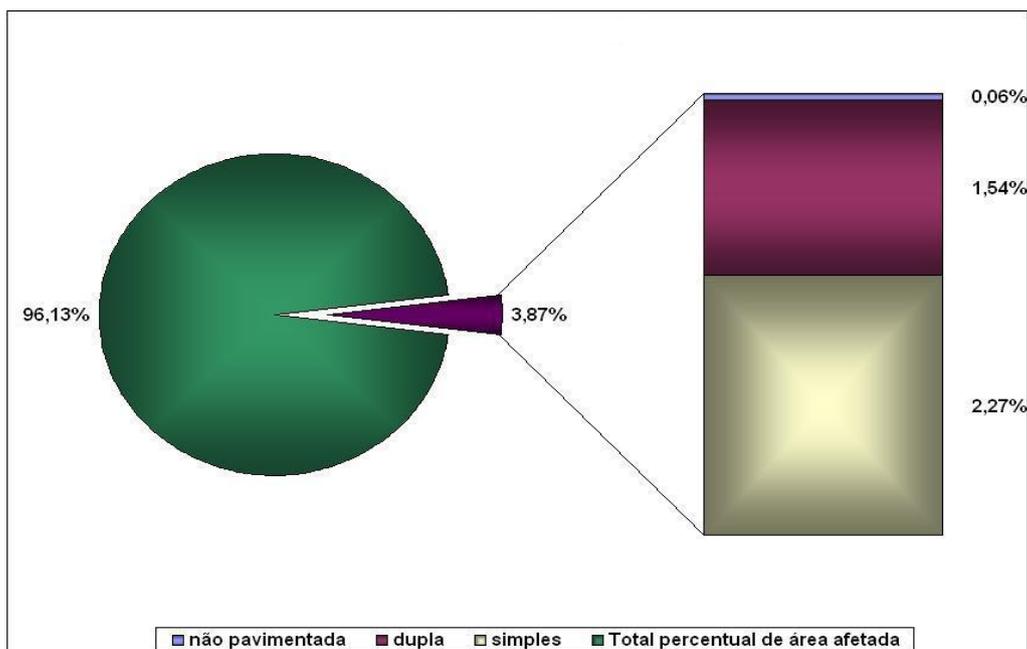


Figura 1. Influência total e por tipo das estradas no Estado de São Paulo.

Setenta das 112 Unidades de Conservação (UCs) são afetadas pelas estradas. Cerca de 0,02% da área em que elas ocorrem está sob influência das estradas. Quanto maior a área das UCs, maior a área absoluta afetada pelas estradas ($r = 0.9311$, $p = 0,00$). Ao analisar a área relativa (área afetada/área total), seis UCs apresentaram mais de 30 % de sua área afetada pelas estradas (Águas da Prata, Bauru, Bebedouro, Casa Branca, Jaraguá e Santa Rita; Figura 2). Das seis UCs mais afetadas, 5 estão no Cerrado e 1 na Mata Atlântica (Figura 3). Áreas afetadas pelas estradas, especialmente aquelas localizadas em UCs, podem sofrer com a perda de biodiversidade e a invasão de espécies exóticas vegetais e animais (Forman et al., 2003; Geneletti, 2004).

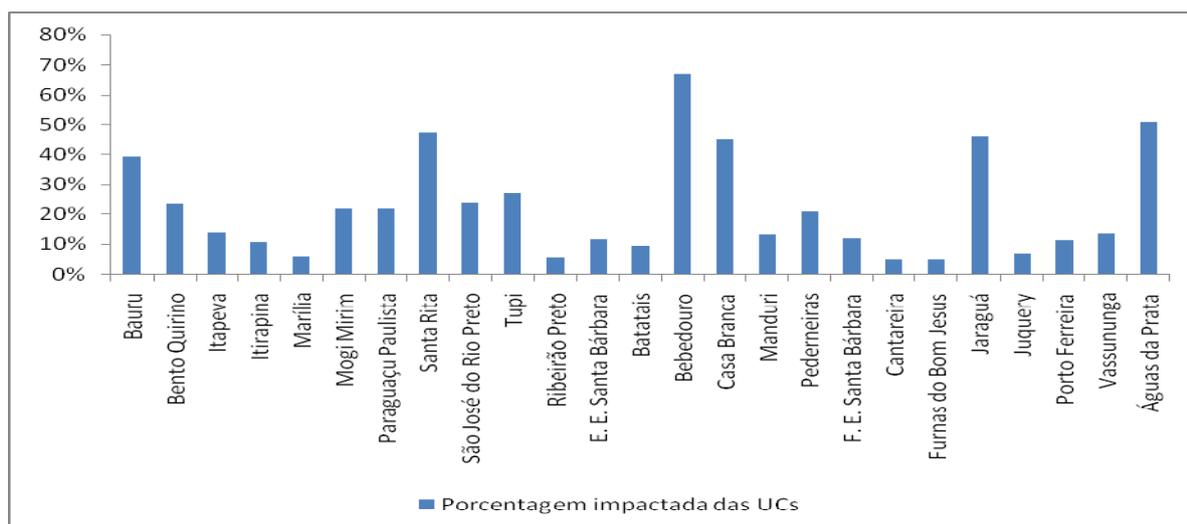


Figura 2. Proporção da área de Unidades de Conservação paulistas afetada pelas estradas. São exibidas apenas as UCs com mais de 5% de sua área total afetada por estradas.

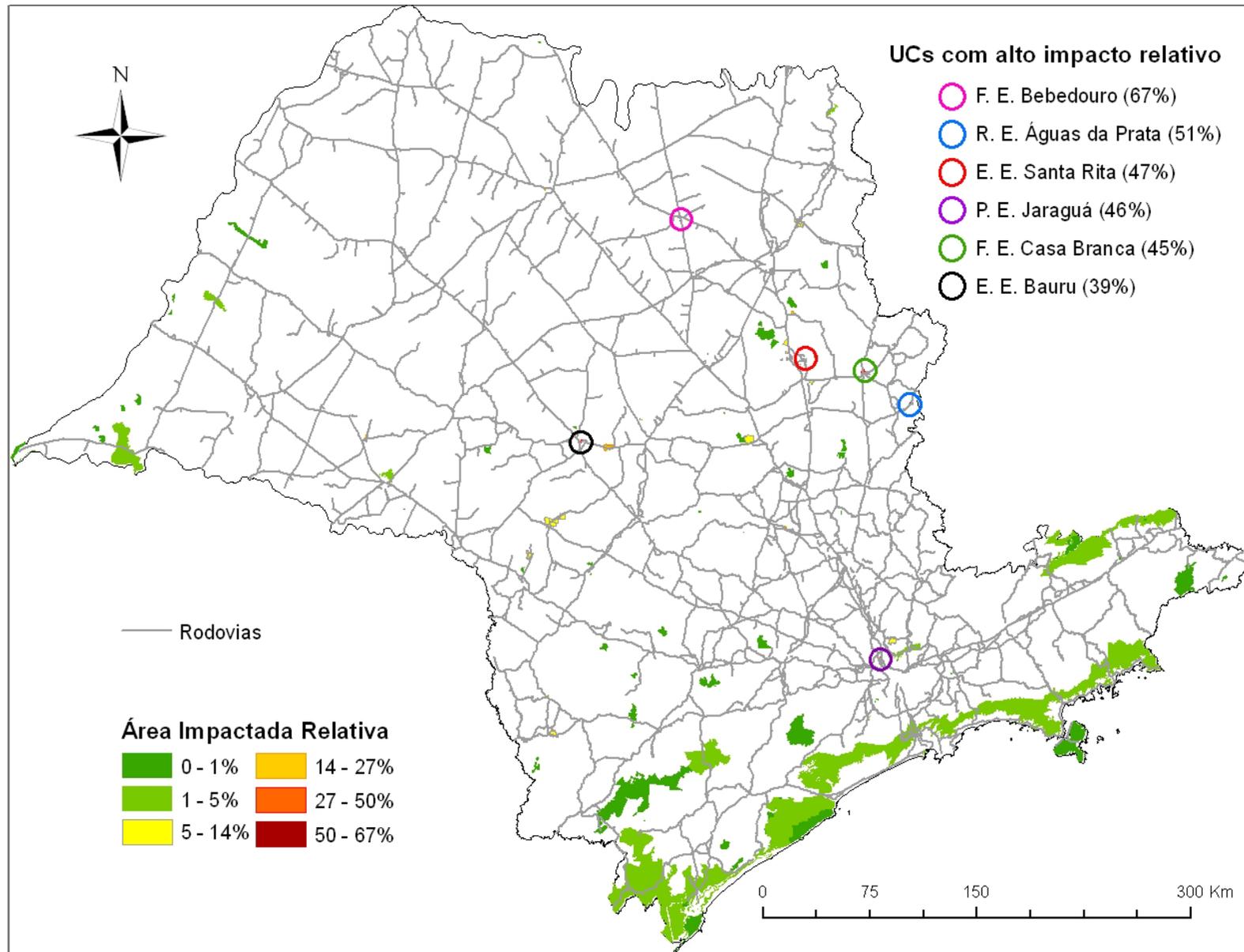


Figura 3. Unidades de conservação proporcionalmente afetadas pelas estradas: as seis UCs mais afetadas estão em destaque (círculos).

3.2. Efeito da distância das estradas

A área da vegetação nativa não aumenta exponencialmente com o aumento exponencial da distância das estradas ($\chi^2 = 1382,69$, $p = 0,00$). Nota-se que quanto mais distante das estradas, maior a área ocupada por vegetação (Figura 4). No entanto, a área da vegetação é maior do que o esperado nos locais mais distantes das estradas (Figura 4). O mesmo padrão foi observado nos diferentes tipos de vegetação, exceto na Transição Floresta/Floresta: Floresta Ombrófila Densa ($\chi^2 = 1306,6$; $p < 0,000$), Transição Floresta/Floresta ($\chi^2 = 529,4$; $p < 0,000$), Floresta Estacional ($\chi^2 = 334,3$; $p < 0,000$), Transição Floresta/Savana ($\chi^2 = 332,0$; $p < 0,000$), Formações Savânicas ($\chi^2 = 101,6$; $p < 0,000$), Restinga/ Mangue ($\chi^2 = 33,8$; $p < 0,000$), Floresta Ombrófila Mista ($\chi^2 = 16,2$; $p < 0,006$).

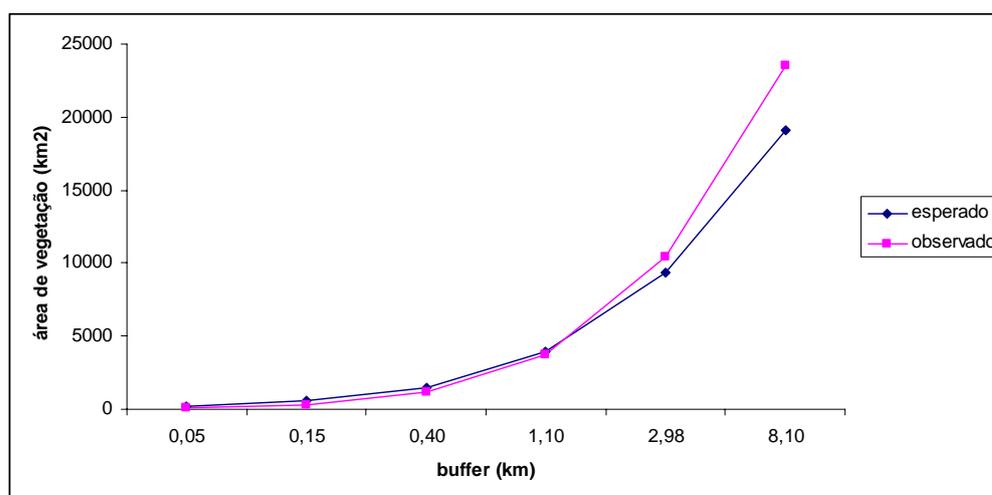


Figura 4. Área de vegetação nativa total observada e esperada em diferentes distâncias das estradas (*buffers*).

A área das Unidades de Conservação não aumenta exponencialmente com o aumento exponencial da distância das estradas ($\chi^2 = 318,36$, $p = 0,00$). Observa-se que a área das UCs é menor do que o esperado nas distâncias intermediárias das estradas (Figura 5).

Apesar do crescimento exponencial da área de vegetação nativa e das UCs não corresponder precisamente ao crescimento exponencial da distância das estradas, é notável a semelhança das curvas nas proximidades das estradas. A distância das estradas pode ser um dos fatores relevantes que determinam a distribuição da vegetação nativa e das Unidades de Conservação do Estado de São Paulo. Dessa forma, as estradas são um fator que deveria ser considerado no planejamento ambiental e na definição de áreas prioritárias para conservação e restauração, já que geram tanto fatores diretos (perda de habitat) quanto indiretos (fragmentação e degradação do habitat) para a redução de ecossistemas (Geneletti, 2004). Quando a vegetação é fragmentada por estradas, ela fica mais vulnerável a impactos: aumenta-se o efeito de borda, a invasão de espécies exóticas e torna-se mais fácil o acesso humano em áreas antes remotas (Goosem, 2007). Dessa forma, a vegetação é mais instável e possui menor capacidade de se recuperar de distúrbios em regiões mais próximas às estradas (Saunders et al., 1991). Portanto, para o sucesso de ações para conservação é importante priorizar áreas que estão distantes dos distúrbios causados pelas estradas (Valente e Vettorazzi, 2008).

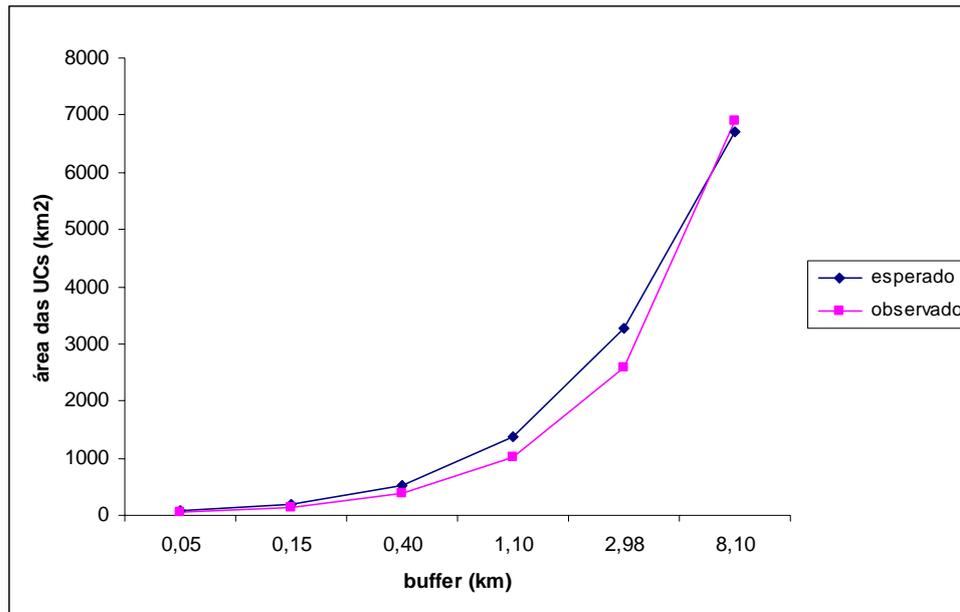


Figura 5. Área ocupada por UCs observada e esperada em diferentes distâncias das estradas (*buffers*).

4. Conclusões

Apesar de apenas 4% do Estado de São Paulo ser afetado ecologicamente por estradas, o efeito é consideravelmente alto na Floresta Ombrófila Densa (52,62%) e em muitas Unidades de Conservação. O efeitos em áreas contínuas de floresta, p.ex. Serra do Mar, e em UCs representam uma ameaça para a vegetação nativa e para a biodiversidade, especialmente as espécies mais sensíveis aos efeitos das estradas.

A distância das estradas pode ser um dos fatores relevantes que determinam a distribuição da vegetação nativa e das Unidades de Conservação do Estado de São Paulo. Dessa forma, as estradas devem ser consideradas no planejamento ambiental e na definição de áreas prioritárias para conservação e restauração, especialmente priorizando-se áreas que estão distantes das estradas.

Agradecimentos

Agradecemos a BIOTA-FAPESP e o Instituto Florestal do Estado de São Paulo pelos mapas digitais das unidades de conservação e do inventário florestal. Gostaríamos também de agradecer Beatriz Cantanhede Orsini Gebara pela revisão do inglês no *abstract*.

Referências Bibliográficas

- Briers, R. A. Incorporating connectivity into reserve selection procedures. **Biological Conservation**, v. 103, p. 77-83, 2002.
- Cabeza, M. Habitat loss and connectivity of reserve networks in probability approaches to reserve design. **Ecology Letters**, v. 6, p. 665-672, 2003.
- DER **Mapa rodoviário do Estado de São Paulo**. São Paulo: Departamento de Estradas de Rodagem, 2008. 1:1.000.000.
- Develey, P. F.; Stouffer, P. C. Effects of roads on movements by understory birds in mixed-species flocks in central Amazonian Brazil. **Conservation Biology**, v. 15, n. 5, p. 1416-1422, 2001.
- Dramstad, W. E.; Olson, J. D.; Forman, R. T. T. **Landscape ecology principles in landscape architecture and land-use planning**. Washington: Island Press, 1996. 80 p.
- Forman, R. T. T. Estimate of the area affected ecologically by the road system in the United States. **Conservation Biology**, v. 14, n. 1, p. 31-35, 2000.
- Forman, R. T. T. Road ecology's promise: What's around the bend? **Environment**, v. 46, n. 3, p. 8-21, 2004.
- Forman, R. T. T.; Deblinger, R. D. The ecological road-effect zone of a Massachusetts (U.S.A.) suburban highway. **Conservation Biology**, v. 14, n. 1, p. 36-46, 2000.

- Forman, R. T. T.; Sperling, D.; Bissonette, J. A.; Clevenger, A. P.; Cutshall, C. D.; Dale, V. H.; Fahrig, L.; France, R.; Goldman, C. R.; Heanue, K.; Jones, J. A.; Swanson, F. J.; Turrentine, T.; Winter, T. C. **Road ecology: science and solutions**. Washington: Island Press, 2003. 481 p.
- Furley, P. A.; Ratter, J. A. Soil resources and plant communities of the central Brazilian cerrado and their development. **Journal of Biogeography**, v. 15, p. 97-108, 1988.
- Geneletti, D. Using spatial indicators and value functions to assess ecosystem fragmentation caused by linear infrastructures. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 5, n. 1, p. 1-15, 2004.
- Goosem, M. Fragmentation impacts caused by roads through rainforests. **Current Science**, v. 93, n. 11, p. 1587-1595, 2007.
- Hansen, M. J.; Clevenger, A. P. The influence of disturbance and habitat on the presence of non-native plant species along transport corridors. **Biological Conservation**, v. 125, p. 249-259, 2005.
- Kronka, F. J. N.; Nalon, M. A.; Matsukuma, C. K.; Kanashiro, M. M.; Ywane, M. S. S.; Pavão, M.; Durigan, G.; Lima, L. M. P. R.; Guillaumon, J. R.; Baitello, J. B.; Borgo, S. C.; Manetti, L. A.; Barradas, A. M. F.; Fukuda, J. C.; Shida, C. N.; Monteiro, C. H. B.; Pontinha, A. A. S.; Andrade, G. G.; Barbosa, O.; Soares, A. P. **Inventário florestal da vegetação natural do Estado de São Paulo**. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente; Instituto Florestal, 2005. 200 p.
- LaRue, M. A.; Nielsen, C. K. Modelling potential dispersal corridors for cougars in midwestern North America using least-cost path methods. **Ecological Modelling**, v. 212, p. 372-381, 2008.
- Laurance, S. G.; Stouffer, P. C.; Laurance, W. F. Effects of road clearings on movement patterns of understory rainforest birds in Central Amazonia. **Conservation Biology**, v. 18, n. 4, p. 1099-1109, 2004.
- Leite, M. **Nos caminhos da biodiversidade paulista**. São Paulo: Secretaria de Estado do Meio-Ambiente, Instituto Amigos da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica, Imprensa Oficial do Estado de São Paulo, 2007. 268 p.
- Mcgregor, R. L.; Bender, D. J.; Fahrig, L. Do small mammals avoid roads because of the traffic? **Journal of Applied Ecology**, v. 45, p. 117-123, 2008.
- Murcia, C. Edge effects in fragmented forests: implications for conservation. **Trends in Ecology and Evolution**, v. 10, n. 2, p. 58-62, 1995.
- Myers, N.; Mittermeier, R. A.; Mittermeier, C. G.; Fonseca, G. A. B.; Kent, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, p. 853-858, 2000.
- Palomino, D.; Carrascal, L. M. Threshold distances to nearby cities and roads influence the bird community of a mosaic landscape. **Biological Conservation**, v. 140, p. 100-109, 2007.
- Ratter, J. A.; Ribeiro, J. F.; Bridgewater, S. The Brazilian Cerrado vegetation and threats to its biodiversity. **Annals of Botany**, v. 80, p. 223-230, 1997.
- Reijnen, R.; Foppen, R.; Ter Braak, C.; Thissen, J. The effects of car traffic on breeding bird populations in woodland. III. Reduction of density in relation to the proximity of main roads. **Journal of Applied Ecology**, v. 32, p. 187-202, 1995.
- Reijnen, R.; Foppen, R.; Veenbaas, G. Disturbance by traffic of breeding birds: evaluation of the effect and considerations in planning and managing road corridors. **Biodiversity and Conservation**, v. 6, p. 567-581, 1997.
- Saunders, D. A.; Hobbs, R. J.; Margules, C. R. Biological consequences of ecosystem fragmentation: a review. **Conservation Biology**, v. 5, n. 1, p. 18-32, 1991.
- Taylor, P. D.; Fahrig, L.; Henein, K.; Merriam, G. Connectivity is a vital element of landscape structure. **Oikos**, v. 68, p. 571-573, 1993.
- Teixeira, A. M. G.; Soares-Filho, B. S.; Freitas, S. R.; Metzger, J. P. Modeling landscape dynamics in an Atlantic Rainforest region: Implications for conservation. **Forest Ecology and Management**, no prelo.
- Trombulak, S. C.; Frissell, C. A. Review of ecological effects of roads on terrestrial and aquatic communities. **Conservation Biology**, v. 14, n. 1, p. 18-30, 2000.
- Valente, R. O. A.; Vettorazzi, C. A. Definition of priority areas for forest conservation through the ordered weighted averaging method. **Forest Ecology and Management**, v. 256, p. 1408-1417, 2008.
- Van Teeffelen, A. J. A.; Cabeza, M.; Moilanen, A. Connectivity, probabilities and persistence: comparing reserve selection strategies. **Biodiversity and Conservation**, v. 15, p. 899-919, 2006.
- Williams, P. H.; Margules, C. R.; Hilbert, D. W. Data requirements and data sources for biodiversity priority area selection. **Journal of Biosciences**, v. 27, n. 4, p. 327-338, 2002.
- Zar, J. H. **Biostatistical Analysis**. New Jersey: Prentice Hall, 1999. 929 p.