

Critérios para delimitação de bordas de estradas na análise de paisagem

Criterios para la delimitación de bordes de carreteras en el análisis de paisaje

Criteria for Delimitation of Edges on Roads in Landscape Analysis

Dinameres Aparecida Antunes

dinameres@hotmail.com

Curso de Engenharia Cartográfica - Universidade Federal do Piauí - UFPI

Rosemeri Segecin Moro

rsmoro@uepg.br

PPG em Geografia - Universidade Estadual de Ponta Grossa - UEPG

Resumo: Este trabalho discute aspectos metodológicos para se delimitar espacialmente extensões de borda ao longo de estradas, adequadas à resolução de problemas sob a ótica da Ecologia de Paisagens. São consideradas as características das vias e variáveis do ambiente de entorno. Uma vez que para o estabelecimento de uma faixa (*buffering*) não é possível utilizar valores padronizados, recomenda-se utilizar as distâncias em diferentes níveis de acordo com a interface das vias. Em linhas gerais, na ausência de estudos locais, e baseado na metanálise de alguns resultados, parece adequado utilizar as seguintes distâncias potenciais de borda: para um entorno predominante de áreas abertas mesófilas (campos naturais, pastagens ou lavouras), autores definem como de até 100 m o maior efeito de borda potencial sobre a vegetação herbáceo-arbustiva, e de até 700m para avifauna. Já áreas abertas hidrófilas podem exigir uma definição de borda de até 1.000 m para anuros, e até 700m para avifauna. Em se tratando de florestais nativas, há consenso em que os maiores efeitos de borda são sentidos até 70 m para a vegetação arbórea, em até 80 m para pequenos vertebrados, e até 100 m nas áreas ripárias com relação aos efeitos sobre a biota aquática. Para florestas exóticas homogêneas (reflorestamentos), este efeito cai para cerca de 40 m ao se analisar parâmetros da vegetação arbórea.

Palavras-chave: ecologia de paisagem, análise de entorno, *buffer*.

Resumen: Este trabajo aborda aspectos metodológicos para delimitar espacialmente extensiones de borde a lo largo de carreteras, adecuados para resolver problemas en la ecología del paisaje. Se consideran las características de los caminos y las variables de entorno circundante. Una vez que en la creación de una pista (*buffering*) no pueden utilizarse valores estandarizados, se recomienda el uso de las distancias en diferentes niveles según la interfaz. En general, en la ausencia de estudios locales, con bases en la metanálisis de algunos resultados, parece adecuado emplear las siguientes distancias potenciales de borde: para un ambiente abierto predominante mesófilo (campo natural, pasturas o cultivos), autores definen como hasta 100 m el más grande potencial efecto

de borde sobre la vegetación herbácea o arbustiva y a 700 m para la avifauna. Espacios hidrofílicos ya pueden requerir una definición de borde a 1.000 m para anuros y hasta 700 m para avifauna. Cuando se trata de bosque nativo, hay consenso en que los mayores efectos de borde son filtro hasta 70 m a la vegetación arbórea, hasta 80 m para pequeños vertebrados y hasta 100 m en las zonas ribereñas en relación con los efectos sobre la biota acuática. Para bosques plantados homogéneos (reforestación), este efecto se reduce a unos 40 a respecto a los parámetros de la vegetación arbórea.

Palabras-clave: ecología del paisaje, análisis de entorno, *buffer*.

Abstract: This work discusses methodological aspects to the spatial delimitation of edge extension along roads, suitable for solving Landscape Ecology questions. This consider the characteristics of the routes and surrounding environment variables. Once one could not use standardized values for setting buffers, it is recommended to use distances at different levels according to the road interfaces. In general, when local data are absent, it means suitable these results from a metanalysis: for a predominant environment of mesophilic open areas (natural fields, pastures or crops), authors define as up to 100 m the biggest potential edge effect on vegetation herbaceous or shrubs, and up to 700 m for avian. Open hydrophilic areas already may require a definition of up to 1,000 m edge for Anurans, and up to 700 m for avian. Relating to native forest, there is consensus that the greatest edge effects could be felt up to 70 m to the arboreal vegetation, up to 80 m for small vertebrates, and up to 100 m in riparian areas in relation to the effects on aquatic biota. For exotic homogeneous forests (plantations), this effect drops to about 40 m according tree parameters.

Keyword: Landscape Ecology, edge analysis, buffer.

INTRODUÇÃO

Na Ecologia de Paisagem, pesquisadores frequentemente debruçam-se sobre questões relativas à interação espacial entre componentes numa paisagem heterogênea. Estes fenômenos podem se referir tanto à fragmentação de habitats devido a processos imediatos de desmatamento, construção de estradas ou represamento de rios, quanto os relativos à construções sócio-econômico-culturais, como zoneamentos ecológico-econômicos, de amortecimento de unidades de conservação, corredores étnico-ambientais, entre outros. Podem ainda referir-se à delimitação de zonas de transição absolutamente naturais, intrínsecas ao fenômeno observado, como a zona ripária (limite imediato entre um curso de água e a paisagem do interflúvio), limites mais ou menos difusos entre áreas campestres e florestais, áreas intermarés, e tantas outras.

Os estudos dos efeitos de implantação de estradas no ambiente de entorno auxiliam na gestão, planejamento e tomada de decisões, conciliando tanto questões de conservação quanto da engenharia, visando diminuir os impactos causados (FORMAN, 2000). Para a previsão, e conseqüente gestão e atenuação dos impactos das estradas, é importante questionar a extensão de seus efeitos. Portanto, para identificar e avaliar setores de paisagens fragmentadas mais vulneráveis a este processo antrópico, são necessários estudos quantitativos relativos à extensão espacial potencialmente afetada (FREITAS; TEIXEIRA; METZGER, 2009). Nestas zonas há alterações em processos ecológicos, em extensões

variáveis, atingindo desde dezenas até centenas de metros além da região contígua à estrada, de acordo com as características intrínsecas das espécies e/ou de outros fatores considerados (FORMAN; ALEXANDER,1998).

Toda vez que um analista cartografar uma paisagem em mosaico, terá de enfrentar o problema da atribuição de limites em face do fenômeno que se quer estudar. Em estudos multiescalares de zoneamento, a adoção de uma extensão única de borda pode levar a resultados sub ou superdimensionados. Isto é particularmente verdadeiro para a análise de fluxos de matéria e energia entre unidades de paisagem. Levando em conta que as bordas ocasionadas por estradas diferem consideravelmente das bordas ocasionadas por outros processos (COFFIN, 2007), este trabalho aborda os níveis sucessivos de decisão do analista espacial no estabelecimento de bordas para análise da malha viária no contexto de paisagem e conservação.

O PROBLEMA DAS BORDAS NA ANÁLISE ESPACIAL

Segundo Murcia (2000), a quantidade de habitats para os organismos pode ser afetada pelo uso em áreas adjacentes, assim nas áreas de borda podem ocorrer diversas mudanças bióticas e abióticas. Dependendo da escala de análise, efeitos de borda incluem alterações nas interações e produtividade de espécies mediante processos como predação, competição, parasitismo, polinização e dispersão de sementes (MURCIA, 2000). Portanto, ambientes sob efeito de borda representam um desafio para a conservação e precisam ser levados em consideração nos planos de conservação e manejo.

Para Metzger (2001), as bordas são áreas de transição entre duas unidades de paisagem. No entanto, este conceito até certo ponto reducionista, não responde à todas as indagações do cartógrafo. Neste sentido, Milan e Moro (2016, p. 85), visando orientar aos geógrafos, apresentam uma revisão dos conceitos de ecótono, borda e fronteira (limite), respectivamente *ecotone*, *edge* e *boundary*. Para as autoras, “com relação ao termo ecótono, há um consenso em referir-se ao mesmo como uma zona de transição entre ecossistemas diferentes”, sendo um fenômeno funcional ecológico dependente da escala de análise, ou seja, multiescalar. Já o “conceito de borda estabeleceu-se como a delimitação espacial da variação de parâmetros entre ambientes diferentes a partir de uma linha limite”, sendo um conceito espacial geográfico. “A fronteira, entendida como a linha que coincide com a borda, é um artefato que permite uma série de inferências quantitativas acerca das relações geométricas entre áreas adjacentes”. Trata-se, portanto, de um “conceito cartográfico não-escalar, sujeito à resolução de análise”.

Milan e Moro (2016) deixam claro que borda não é sinônimo de ecótono, uma vez que a borda “só tem sentido [...] pela variação entre elementos adjacentes, pelos fluxos existentes, ou não, de energia ou matéria, pelo efeito do afastamento espacial gradual a partir de um limite” (MILAN; MORO, 2016 p.85). Enquanto para o ecótono é impossível uma delimitação espacial precisa, na borda utilizam-se variadas informações para traçar um limite interno a partir do limite externo de um dado polígono em análise.

Assim, uma paisagem pode apresentar extensões de borda variáveis. Por exemplo, o efeito de borda de estradas em relação ao entorno depende da qualidade da via – pavimentação, dimensões, declividade, densidade de trânsito, e quantas variáveis mais puderem ser determinadas. No entanto, esse efeito é relativo ao fenômeno observado – qualidade da vegetação, comportamento de animais terrestres, qualidade do solo, e quantos outros elementos estiverem envolvidos no fenômeno sob análise. Além do mais, as alterações ambientais devido à borda se processam no mais das vezes em gradientes, donde advém a dificuldade de se estabelecer um ‘limite’ onde o efeito de borda cessa. Nesses casos muitos autores preferem desdobrar as distâncias onde as alterações são mais evidentes como devidas a efeito de borda, e onde as alterações ainda se apresentam, porém mais atenuadas, como sob influência de borda (HARPER et al., 2005).

Neste estudo, está se levando em conta que critérios utilizar para estimar a extensão potencial paramétrica dos intervenientes mais frequentes das estradas na análise de fluxos em paisagens.

ESTRADAS E IMPACTOS SOBRE A CONSERVAÇÃO

A infraestrutura de transporte é um artefato da cultura que interage com a paisagem circundante - as estradas são manifestações físicas das conexões sociais e das decisões econômicas e políticas que levam a mudança do uso da terra (COFFIN, 2007). Os estudos de efeitos ambientais dos sistemas de transportes e em particular das estradas interessam a diversas áreas da ciência geográfica e ecológica.

Segundo Freitas, Teixeira e Metzger (2009) e Hawbaker et al. (2005), as estradas variam de forma e propósito, se conectando em redes com densidades diversas, determinadas pelo relevo e os serviços oferecidos pela rede. Os autores ressaltam a importância da compreensão da distribuição da malha viária em relação também ao uso e cobertura (florestas, cursos de água, terras agrícolas e instalações rurais e urbanas) para diagnosticar áreas de vulnerabilidade na paisagem. O microclima que circunda uma estrada difere da área vizinha, pois dependendo das propriedades térmicas do pavimento pode absorver mais calor da radiação solar, com isso afetam os solos e vegetação adjacentes (FORMAN et al., 2002).

A fragmentação causada por estradas é alternativamente medida pela quantidade de borda originada ao se criar novos usos pela interrupção de um habitat antes contínuo (FORMAN, 1995), criando mosaicos de habitats ao longo dos lados da estrada (REED; JOHNSON-BARNARD; BAKER, 1996). Portanto, as estradas implicam mudanças na estrutura das paisagens ocasionando diversos impactos, introduzem poluentes e elementos exóticos, fragmentam populações de plantas e animais, causando mudanças comportamentais e mortalidade (FORMAN et al., 2003).

As estradas ocasionam efeitos primários e secundários sobre a biota (BENNETT, 1991; COFFIN, 2007). Delgado, Arévalo e Fernández-Palacios (2001) e Coffin (2007) lembram que as estradas possuem comportamento de corredores na paisagem, como elementos lineares

que ligam dois fragmentos anteriormente conectados (METZGER, 2001). Âs (1999), Coffin (2007) e Mader et al. (1990) mencionam que as espécies invasoras de plantas e animais, facilitadas ao longo das bordas a partir dos corredores formados por estradas, reduzem a biodiversidade nativa. Também Yahner (1998) aponta que as espécies que dependem de habitats interiores relativamente extensos e não perturbados têm menor probabilidade de sobreviver em ambientes de borda. Segundo Warren et al. (2006), os ruídos tem um efeito variável sobre os animais. Normalmente os mais vulneráveis são os que dependem do som, como as aves, as quais podem ter afetados seu comportamento e sucesso reprodutivo.

Coffin (2007) ressalta que já há décadas se publicam pesquisas sobre os efeitos das estradas sobre as populações de animais selvagens, e que com o desenvolvimento das análises em escala de paisagem iniciou-se estudos voltados para os efeitos mais amplos das estradas na fragmentação da paisagem e na interação com os processos paisagísticos. Para avaliar as implicações de estradas na paisagem, Forman et al. (2003) criaram o termo *Ecologia dos Transportes*, que busca integrar os princípios da Ecologia da Paisagem com a engenharia rodoviária e automotiva, baseado na evidência de que as estradas causam efeitos nos componentes, processos e estruturas do ecossistema.

A Geografia têm dado pouca atenção às consequências não desejadas das estradas, no entanto a aplicação de teorias e métodos dos geógrafos do transportes poderia auxiliar no avanço da compreensão sobre a dinâmica dos sistemas rodoviários e paisagens, bem como tentar diminuir os efeitos ecológicos negativos das estradas no meio ambiente (COFFIN, 2007).

FATORES CONSIDERADOS NO DIMENSIONAMENTO DE BORDA DE ESTRADAS

Os usos da terra e os padrões são importantes no estudo dos impactos das estradas na paisagem. Autores como Hawbaker et al. (2005) observaram que quanto maior a área com agricultura e densidade de moradias próximo as estradas, maior será a fragmentação da paisagem. Portanto, deve-se considerar a relevância das interfaces entre estradas e o ambiente circundante, se mesófilo, higrófilo¹ ou hidrófilo, florestal ou aberto, composto por espécies nativas ou exóticas.

O processo de delimitação de borda envolve a criação de uma área (*buffer*) em torno de determinada feição geográfica e, posteriormente, a identificação e análise dos elementos nele contidos (LIU et al., 2008). Essa análise é feita com o uso dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG), por meio de arquivo vetorial da feição geográfica e processamentos que contemplam a criação do *buffer*, muitas vezes sobreposto a imagens orbitais e classificações digitais que auxiliam a identificação de padrões e elementos. O tamanho do *buffer* é bastante variável, uma vez que o impacto de cada estrada pode se estender a dezenas ou

¹ De acordo com a Resolução 12/94 do CONAMA, áreas mesófilas são aquelas que contém vegetação adaptada ao ambiente com mediana disponibilidade de água, no solo e na atmosfera. São exemplos de classes de uso: florestas em interflúvios, campo seco ou rupestre, agricultura, pastagens, etc. Áreas higrófilas contém vegetação adaptada ao ambiente de elevado grau de umidade. São exemplos de classes de uso: florestas ao longo de flúvios (ripárias), campos úmidos, várzeas e outras áreas inundáveis. Para hidrófilos utiliza-se a definição de Lemos e Gomes (2008): são áreas localizadas em lugares abundantes em água, aluviais ou em flúvios (aquíferos livres).

milhares de metros, dependendo das características da estrada e do hábitat perturbado (PALOMINO; CARRASCAL, 2007; LIU et al., 2008).

A seguir são apresentados alguns resultados de parâmetros significativos empregados para a definição de *buffers* nos principais temas relevantes à paisagem e conservação. Como nem todos os fenômenos variam em escala linear, são observadas discrepâncias entre as variadas leituras.

Em relação as mudanças para hidrologia e qualidade da água, Forman e Alexander (1998) afirmam que as estradas podem estender a rede de drenagem da rede de córregos quando há interseção entre eles. A água entra com maior energia nos canais de rios, aumentando a vazão, erodindo banco de canais, varrendo o canal e aumentando a probabilidade de inundação a jusante Além da erosão (XIAO; YANG; CAI, 2017), também há os impactos negativos provenientes de contaminação química. Forman et al. (2003) argumentam que há substâncias que afetam tanto as áreas mais próximas da própria estrada quanto as que podem ser transportadas por meio da água e do vento para distâncias maiores, percolando na paisagem mediante o escoamento das águas pluviais. Muitos contaminantes são introduzidos nas estradas mediante escoamento rodoviário (COFFIN, 2007). Xiao, Yang e Cai (2017) ressaltam que os solos das estradas e seu entorno podem estar altamente compactados, pobres em nutrientes e contaminados com metais e hidrocarbonetos. Há também problemas de contaminação nas valas de drenagem de escoadouros que resultam em corpos d'água temporários, cuja qualidade de água é fortemente afetada pelos contaminantes químicos da estrada. Além disso a superfície impermeável da estrada aumenta o volume de escoamento e pode gerar maior potencial para processos erosivos. Maia (2012) estimou a vulnerabilidade ao assoreamento dos cursos d'água num raio de 0 a 100 m, ressaltando que é neste intervalo em que há aumento da força hidráulica das enxurradas como elemento de remoção de material na direção dos cursos d'água. Para Jones et al. (2001), seria de 30 metros a distância média de retenção de nutrientes (e contaminantes) sobre cursos de água, e até 100 metros para Baker, Weller e Jordan (2006).

Com o objetivo de estudar as relações entre a estrada e a erosão no solo em uma larga escala, Xiao, Yang e Cai (2017) estabeleceram *buffers* com distâncias de 1000 m a 8000 m das estradas, consideraram na análise também a declividade e os mapas de distribuição espacial da erosão no solo sobre várias classes de uso. Os autores identificaram as distâncias mais significativas foram de 0 a 1000 metros, onde a erosão do solo foi mais severa, e que a erosão decresce a medida que a distância da estrada aumenta.

Já Saunders et al. (2002), para florestas nativas e exóticas, definiram diferentes medidas para *buffers* independente do nível de estrada, possibilitando analisar efeitos no distanciamento da estrada em *buffers* de 20 m, 50 m, 100 m e 300 metros, identificou que na profundidade de influência da borda de 50 m, > 10% das classes comuns de cobertura do solo estão no habitat de borda. Isso aumenta para > 30% em uma largura de efeito de 300 m, e pode ser tão alto quanto 60% para alguns tipos de cobertura. Lottering e Mutanga (2012) definiram que o efeito de borda sobre florestas de eucalipto varia até 40 metros, de acordo com o tipo de estrada, principal ou secundária, onde analisou as distâncias de 20, 40, 60, 80 e 100 metros da estrada.

Watkins et al. (2003) com o objetivo de relacionar a cobertura da vegetação, profundidade e solo e estradas florestais não pavimentadas, utilizaram 11 distâncias a partir da estrada, sendo elas: 0, 5, 10, 15, 20, 30, 45, 60, 90 metros. Identificou a existência de espécies exóticas no primeiros 5 metros da estrada e espécies nativas em 15 metros. Para Blumenfeld et al. (2016), os efeitos sobre a vegetação se estenderam além dos 100 m e foram mais intensos na tipologia agrícola. Os parâmetros abióticos foram percebidos como efeito de borda em profundidades menores que 70 metros. Delgado et al. (2007) não encontraram diferenças significativas entre estradas pavimentadas ou não na mudança de microclima da borda para o interior de florestas latifoliadas e de coníferas². Em qualquer dos casos, as temperaturas apresentam-se inalteradas por apenas 3 m, enquanto a luminosidade persiste até 6 m, e a cobertura vegetal só apresenta alterações a partir dos 10 metros.

Para comparar diferentes rotas de transporte (estradas e ferrovias) e seus efeitos à diversidade da paisagem, Su, Xiao e Li (2013) utilizaram análise de *buffer* que variaram de 200 a 2.000 metros, identificaram que a uma distância superior a 200m, os valores das métricas de diversidade aumentaram gradualmente e tornaram-se estáveis após o pico na distância de 400-600 m.

Palomino e Carrascal (2007), procurando identificar distancias limiaries entre cidades e estradas e como alteram os padrões de espécies da avifauna nativa, como regra geral utilizaram *buffer* de 400m para cidades e 300m para as estradas, concluíram que a avifauna, mata e pastagens suportam uma menor riqueza de espécies quando uma estrada fica a menos de 110 m de distância e que os efeitos negativos da presença da estrada desaparecem a baixas distâncias de 60 m.

Marsh et al. (2016) e Eigenbrod, Hecnar e Fahrig (2009), analisando a distribuição espacial de anuros, verificaram os maiores efeitos negativos nas distâncias de 250 a 1000m.

Delgado, Arévalo e Fernández-Palacios (2001) observaram que a penetração de ratos nas florestas latifoliadas se dava mais rapidamente e mais para o interior do que em florestas de coníferas, independente da topografia, mas definiram um *buffer* de 60m como viável para avaliar este efeito de borda em ambas as coberturas florestais. Wunderle Júnior (1997) registrou que a movimentação de agentes dispersores da fauna se concentrou até 80 metros a partir da borda de uma floresta nativa, ainda que para pequenas aves, dispersores extremamente importantes, Farwig, Schabo e Albrecht (2017) não tenham encontrado barreiras entre fragmentos. Para áreas abertas, tanto mesófilas quanto hidrófilas, Wilson et al. (2014) definiram em 700 m a área de maior influência de borda sobre aves.

Em linhas gerais, na ausência de estudos locais sobre os elementos envolvidos, e baseado na metanálise de alguns resultados, parece adequado utilizar as seguintes distâncias potenciais de borda:

- interface estrada/áreas abertas mesófilas: até 100 metros para vegetação herbácea ou arbustiva; até 700 metros para aves.
- interface estrada/áreas abertas hidrófilas: até 1.000 metros para anuros; até 700 metros para aves.

² No contexto deste estudo, latifoliadas podem ser consideradas sinônimo de florestas nativas, e coníferas como compoendo florestas exóticas.

- interface estrada/áreas florestais nativas: até 70 metros para a vegetação arbórea; até 80 metros para pequenos vertebrados;
- interface estrada/áreas florestais exóticas (plantadas): até 40 metros para a vegetação arbórea.
- interface estrada/flúvios (cursos de água): até 100 metros, com relação à qualidade da água e da biota aquática.

UTILIZANDO AS DISTÂNCIAS DE BORDA NA ANÁLISE MULTICRITÉRIO

Como constatado na literatura, o uso da análise de entorno para a criação de *buffers* é bastante recomendada e cabe ao pesquisador selecionar a distância mais adequada ao seu objeto de estudo. O *buffer* pode ser sobreposto a temas de análise ambiental, como por exemplo, geomorfologia, uso e ocupação da terra, tipologia de solos, etc. Os dados geomorfológicos e de declividade são considerados indispensáveis para estudos integrados da malha viária e paisagem, pois permitem relacionar às configurações do terreno, a distribuição dos núcleos e elementos antrópicos, e os usos da terra em função das limitações conferidas pelo relevo (SANTOS, 2004; MIRANDA et al., 2017).

Na análise da área de entorno de estradas, os *buffers* delimitados sob as temáticas declividade, uso da terra e tipo de solo devem receber diferentes pesos em função da sua potencialidade e fragilidade. Um método para esse procedimento é a análise multicritério, aplicada para a determinação de áreas mais sensíveis e com maior risco ambiental. Esta, ao analisar alternativas para a resolução de problemas, permite a análise conjugada de critérios que podem interferir no suporte à tomada de decisão, tornando possível identificar alternativas prioritárias para o objeto considerado (FRANCISCO et al., 2007). Após a preparação da base digital, são desenvolvidas as seguintes etapas metodológicas: a) definição de variáveis (que podem ser classes de declividade, tipo de cobertura e uso da terra, etc); b) atribuição de notas para as classes de feição das variáveis; c) álgebra de mapas com atribuição de pesos para as variáveis já reclassificadas com notas; d) geração dos mapas finais para cenários distintos (CAMPOS, AZEVEDO; VASCONCELOS, 2013).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As estradas são elementos antrópicos indiscutivelmente fundamentais para as atividades humanas, mas também fatores de impacto negativo sobre a paisagem. Portanto, a análise do efeito da malha viária sobre porções do espaço geográfico não podem ser superficiais sob pena de super, ou mais frequentemente, subdimensionamento de seus efeitos. Estudos sobre a compreensão, quantificação e minimização destes efeitos fazem parte do planejamento, gestão e tomada de decisões, na tentativa de conciliar as questões de conservação à necessidade da existência de estradas. A delimitação de uma extensão única e fixa de borda para uma estrada que atravesse paisagens heterogêneas, largamente empregada nos mapeamentos atuais, não responde às questões de efetividade e custo.

Contudo, é uma questão muitas vezes difícil ao analista a atribuição de limites em face do fenômeno que se quer estudar.

Dentre os fatores a serem considerados na definição das bordas está o tipo de cobertura vegetal em relação ao coeficiente hídrico, como áreas mesófilas, hidrófilas, higrófilas (ou ainda xerófilas, aqui não consideradas); ao porte da vegetação, se aberta ou florestal; à heterogeneidade das florestas nativas em ambiente tropical e subtropical, ou a homogeneidade de florestas plantadas, em geral com espécies exóticas (isto é, não nativas); tipos de solo; classes de declividade e uso e ocupação da terra nesses espaços. Tudo isso interfere na fragilidade e probabilidade de impactos em níveis díspares, por isso a importância da atribuição de diferentes pesos para as variáveis.

O resultado final da Análise Multicritério de entorno, além de estimar a extensão do *buffer*, que representa a extensão da borda mínima onde os efeitos das estradas são mais sentidos, permite também uma gradação destes efeitos a partir do cruzamento entre variáveis distintas.

REFERÊNCIAS

- ÅS, Stefan. Invasion of Matrix Species in Small Habitat Patches. **Conservation Ecology**, v. 3, n. 1, 1999. Disponível em: <<https://www.ecologyandsociety.org/vol3/iss1/art1/>>. Acessado em: 23 jun. 2017.
- BAKER, Matthew E.; WELLER, Donald E.; JORDAN, Thomas E. Improved methods for quantifying potential nutrient interception by riparian buffers. **Landscape Ecology**, v. 21, p.1327-1345, 2006.
- BENNETT, Andrew F. Roads, roadsides and wildlife conservation: a review. In: SAUNDERS, Dennis A.; HOBBS, R.J. (Eds.). **Nature Conservation 2: The Role of Corridors**. Chipping Norton: Surrey Beatty, 1991. p. 99-117. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/279896887_Roads_roadsides_and_wildlife_conservation_a_review>. Acessado em: 23 jun. 2017.
- BLUMENFELD, Esther C.; SANTOS, Rozely F. dos; THOMAZIELLO, Sueli A.; RAGAZZI, Sidnei. Relações entre tipo de vizinhança e efeitos de borda em fragmento florestal. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 4, p. 1301-1316, 2016.
- CAMPOS, Rachel R. de; AZEVEDO, Úrsula Ruchkys de; VASCONCELOS, Marcelo F. de. Análise de elementos da diversidade natural na proposição de conectividade de habitats da porção sudeste do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. **Geonomos**, v. 21, n. 2, 2013. Disponível em: <<http://www.igc.ufmg.br/portaldeperiodicos/index.php/geonomos/article/view/275>>. Acessado em: 25 jun. 2017.
- COFFIN, Alisa. From roadkill to road ecology: a review of the ecological effects of roads. **Journal of Transport Geography**, v. 15, p. 396-406, 2007.
- DELGADO, Juan D.; ARÉVALO, José R.; FERNÁNDEZ-PALACIOS, José M. Road and topography effects on invasion: edge effects in rat foraging patterns in two oceanic island forests (Tenerife, Canary Islands). **Ecography**, v. 24, n. 5, p.539-546, 2001.
- DELGADO, Juan D.; ARROYO, Natalia L.; ARÉVALO, José R.; FERNÁNDEZ-PALACIOS, José M. Edge effects of roads on temperature, light, canopy cover, and canopy height in laurel and pine forests (Tenerife, Canary Islands). **Landscape and Urban Planning**, v. 81, n. 4, p. 328-340, 2007.
- EIGENBROD, Felix; HECNAR, Stephen J.; FAHRIG, Lemoire. Quantifying the road-effect zone: threshold effects of a motorway on anuran populations in Ontario, Canada. **Ecology and Society**, v. 14, n. 1, p. 24, 2009. Disponível em: <<http://www.glel.carleton.ca/PDF/roadPub/09/09EigenbrodetalEcolAndSoc.pdf>>. Acessado em: 15 jun. 2017.

- FARWIG, Nina; SCHABO, Dana G.; ALBRECHT, Georg. Trait-associated loss of frugivores in fragmented forest does not affect seed removal rates. **Journal of Ecology**, v. 105, n. 1, p. 20-28, 2017.
- FORMAN, Richard 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, Richard T.T. **Land Mosaics: The Ecology of Landscapes and Regions**. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1995.
- FORMAN, Richard T.T.; ALEXANDER, Lauren E. Roads and their major ecological effects. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 29, p. 207-232, 1998.
- FORMAN, Richard T.T. et al. **Road Ecology: Science and Solutions**. Washington: Island Press, 2003.
- FRANCISCO, Carlos E. da Silva; COELHO, Ricardo M.; TORRES, Roseli Buzanelli; ADAMI, Samuel F. Espacialização de análise multicriterial em SIG: prioridades para recuperação de Áreas de Preservação Permanente. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13, 2007, Florianópolis. **Anais ...** p. 2643-2650. Disponível em: <<http://martem.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.15.18.13.55/doc/2643-2650.pdf>>. Acessado em: 18 jun. 2017.
- FREITAS, Simone de R.; TEIXEIRA, Ana Maria de G.; METZGER, Jean-Paul. Estudo da relação entre estradas, relevo, uso da terra e vegetação natural de Ibiúna - SP, com enfoque na ecologia da paisagem. **Natureza & Conservação**, v. 7, n.2, p. 44-56, 2009.
- HARPER, Karen A. et al. Edge influence on forest structure and composition in fragmented landscapes. **Conservation Biology**, v.19, n.3, p.768-782, 2005.
- HAWBAKER, Todd J. et al. Road Density and Landscape Pattern in Relation to Housing Density, and Ownership, Land Cover, and Soils. **Landscape Ecology**, v. 20, n. 5, p. 609-625, 2005.
- JONES, Bruce K. et al. Predicting nutrient discharges and sediment loadings to streams from landscape metrics: a multiple watershed study from the United States Mid-Atlantic Region. **Landscape Ecology**, v. 16, p.301-312, 2001.
- LEMOES, Carlos Fernando; GOMES, Juliana Jéssica. **Glossário de Meio Ambiente**. [s.l.]: Clube de Autores, 2008. Disponível em: https://books.google.com.br/books?id=DpZMBQAAQBAJ&pg=PA99&lpg=PA99&dq=vegeta%C3%A7%C3%A3o+hidr%C3%B3fila&source=bl&ots=XDBvznvevW&sig=hlIgdzAGzV4oOy_pga6oJChSdlw&hl=pt-BR&sa=X&ved=0ahUKewiG3sDi5dvUAhVM4SYKHeoiCsw4FBDoAQhQMAk#v=onepage&q=vegeta%C3%A7%C3%A3o%20hidr%C3%B3fila&f=false Acessado em: 18 jun. 2017.
- LIU, Shiliang et al. Evaluating the influence of road networks on landscape and regional ecological risk: a case study in Lancang River Valley of Southwest China. **Ecological Engineering**, v. 34, p. 91-99, 2008.
- LOTTERING, Romano; MUTANGA, Onesimo. Estimating the road edge effect on adjacent *Eucalyptus grandis* forests in KwaZulu-Natal, South Africa, using texture measures and an artificial neural network **Journal of Spatial Science**, v. 57, n. 2, p. 153-173, 2012.
- MADER, H.-J.; SCHELL, C.; KORNACKER, Patrick. Linear barriers to arthropod movements in the landscape. **Biological Conservation**, v. 54, n. 3, p. 209-222, 1990. Disponível em: <<http://moscow.sci-hub.io/e2bc7b89fc6a20c75f797b74b20a072e/mader1990.pdf>>. Acessado em: 18 jun. 2017.
- MAIA, Luizete M. da Silva. **BR 319: impacto da estrada na qualidade ambiental nos cursos d'água**. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, 2012. Disponível em: <<http://repositorio.ufla.br/jspui/handle/1/534>>. Acesso em: 23 jun. 2017.
- MARSH, David M.; COSENTINO, Bradley J.; JONES, Kara S. Effects of roads and land use on frog distributions across spatial scales and regions in the Eastern and Central United States. **Diversity and Distributions**, v. 23, n. 2, p. 158-170, 2017.
- METZGER, Jean-Paul. O que é Ecologia de Paisagens. **Biota neotropica**, v.1, n.1, p. 1-9, 2001.
- MILAN, Elisana; MORO, Rosemeri S. O conceito biogeográfico de ecótono. **Terr@ Plural**, v.10, n.1, p. 75-88, 2016.

- MIRANDA, Giovanni C.; RAMOS, Julio R.L.; PENA, Marcilla Silva; ELMIRO, Marcos Antonio T. Uso de imagens Rapideye e análise multicritério na construção de traçados para o contorno sul do rodoanel de Belo Horizonte. **Geografias**, p. 119-130, 2017.
- MURCIA, Carolina. Edge effects in fragmented forests: implications for conservation. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 10, p. 58-62, 2000.
- PALOMINO, David; CARRASCAL, Luis M. Threshold distances to nearby cities and roads influence the bird community of a mosaic landscape. **Biological Conservation**, v. 140, n. 1-2, p. 100-109, 2007.
- REED, Rebecca A.; JOHNSON-BARNARD, Julia; BAKER, W.L. Contribution of Roads to Forest Fragmentation in the Rocky Mountains. **Conservation Biology**, v.10, p 1098-1106, 1996.
- SANTOS, Rosely F. dos. **Planejamento Ambiental: teoria e prática**. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.
- SAUNDERS, Sari C. et al. Effects of roads on landscape structure within nested ecological units of the Northern Great Lakes Region, USA. **Biological Conservation**. v. 103, p. 209-225, 2002.
- SU, Shiliang et al. Impacts of Transportation Routes on Landscape Diversity: A Comparison of Different Route Types and Their Combined Effects. **Environmental Management**, v. 53, n. 3, p. 636-647, 2014.
- WARREN, Paige S.; KATTI, Madhusudan; ERMANN, Michael *et al.* Urban bioacoustics: it's not just noise. **Animal Behaviour**, v. 71, n. 3, p. 491-502, 2006.
- WATKINS, Radley Z. et al. Effects of Forest Roads on Understory Plants in a Managed Hardwood Landscape. **Conservation Biology**. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1046/j.1523-1739.2003.01285.x/full>>. Acessado em: 23 jun. 2017.
- WILSON, Jeremy D. et al. Modelling edge effects of mature forest plantations on peatland waders informs landscape-scale conservation. **Journal of Applied Ecology**, v. 51, p. 204-213, 2014.
- WUNDERLE JUNIOR, Joseph M. The role of animal seed dispersal in accelerating native forest regeneration on degraded tropical lands. **Forest Ecology and Management**, v.99, p.223-235, 1997.
- XIAO, Linlin; YANG, Xiaohuan.; CAI, Hongyan. The indirect roles of roads in soil erosion evolution in Jiangxi Province, China: a large scale perspective. **Sustainability**, p. 13, 2017.
- YAHNER, Richard H. Changes in Wildlife Communities near Edges. **Conservation Biology**, 1988. v.2, p.: 333-339.