

Monitoramentos de Efeito de Borda: uma abordagem integrativa de avaliação dos impactos de empreendimentos lineares em áreas florestais.

RAFAEL PONTES, CAMILA MATTEDI, NAYRA GOMES, RICARDO FURTADO, MARIA JOSEFINA REYNA KURTZ

Área Temática: Boas práticas e inovações procedimentais em AIA e licenciamento ambiental

Resumo

Neste estudo apresentamos um conceito alternativo para o tradicional desenho implantado nos monitoramentos de fauna e flora no contexto de licenciamentos ambientais de empreendimentos lineares. Utilizando como base para o delineamento a avaliação do maior impacto associado a este tipo de empreendimento, o efeito de borda, foram estudadas por meio de métodos diversos aspectos da fauna, flora, temperatura e umidade de fragmentos de vegetação nativa ao longo da Amazônia, Cerrado e Mata Atlântica no contexto da implantação de uma Linha de Transmissão. Ao contrário do esperado, não houve decréscimo ou alteração significativa dos índices monitorados ao longo do tempo em comparação ao cenário anterior. Como conclusão, pode se conjecturar que a implantação de linhas de transmissão no contexto dos remanescentes estudados, com histórico de alterações, não provocou alterações significativas. De maneira não padronizada e incorporada às análises, notou-se forte interferência de moradores locais como queimadas e desmatamentos ilegais, culminando em perda de áreas e aumento da degradação no contexto local. O desenho amostral, apesar de possuir limitações, deverá ser aprimorado no sentido de abarcar estas avaliações, bem como ser replicado em diferentes cenários para se construir um panorama mais conciso acerca do tema.

Abstract

In this study, we present an alternative concept to the traditional methods applied in fauna and flora studies during environmental licensing of linear projects. The assessment of the edge effect, pointed as negative effect of linear projects, were studied through several field and analytical methods of fauna, flora, temperature, and humidity in native vegetation fragments along the Amazon, Cerrado, and Atlantic Forest in the context of the implementation of a Transmission Line. Unlike our expectations, there was no decrease or significant change in the monitored indices over the time in comparison to the previous scenario. We inferred that the construction of transmission lines, in some specific scenarios, may not cause relevant changes in monitored aspects of fauna and flora. Also, we observed local interference from residents as fires and illegal deforestation, resulting in loss of areas and increased degradation in the local area, not assessed by methodology. The proposed method, despite some limitations, must be improved to encompass these social variables, as well as being replicated in different biomes to build a more concise overview.

Introdução

Na implantação de empreendimentos lineares existem impactos associados ao desmatamento de uma longa faixa de vegetação nativa. Isto pode ocasionar, sobretudo, aumento do efeito de borda por meio da fragmentação e isolamento de ambientes outrora íntegros, causando alterações bióticas e abióticas. Dentre estes efeitos podem

ser listados aumento de temperatura, mudança de dinâmica de ventos, insolação, perda de riqueza, abundância e diversidade de fauna e flora (TOBOUTI & SANTOS, 2014). Embora possa haver uma regeneração natural da vegetação após a implantação, as estruturas ecológicas podem não voltar às condições semelhantes ao original, o que pode estar intimamente relacionado ao tipo de matriz circundante (BARANEK, 2014).

Apesar do efeito de borda se dar através de uma teia de relações complexas, neste trabalho buscou-se compreender e mensurar essa dinâmica por meio do Programa de Monitoramento do Efeito de Borda (PMEB). No contexto do licenciamento ambiental este programa é desenvolvido pelo empreendedor em colaboração com o órgão ambiental e comunidade acadêmica, cujo objetivo principal é avaliar temporalmente se as condições pré-existentes à implantação do empreendimento sob avaliação retornam a condições semelhantes à original e, quando possível, quantificar a sua magnitude.

As avaliações se deram por meio de do monitoramento de três principais classes de fatores associados ao efeito de borda: efeitos abióticos, efeitos sobre a fauna e efeitos sobre a flora. Estas variáveis foram estudadas em uma perspectiva quali quantitativa, locacional e temporal, surgindo como alternativa aos tradicionais desenhos amostrais aplicados em monitoramentos de fauna e flora no contexto de licenciamentos ambientais.

Metodologia

O delineamento amostral apresentado é o executado até o momento em um estudo de caso da execução da proposição metodológica do PMEB ao longo de 03 anos em uma Linha de Transmissão (LT) que perpassa os biomas Amazônia, Cerrado e Mata Atlântica. Foram definidos ao longo da diretriz fragmentos de vegetação mais relevantes ecologicamente (Áreas Amostrais – AA), com um cruzamento de informações de maior grau de conservação de vegetação nativa e situadas em áreas de relevante interesse ecológico (APCBs e UCs). Estes foram alocados de maneira a representar biomas e fitofisionomias interferidas pelo empreendimento: Amazônia (município de Anapu, PA – AA1 e AA2¹), Cerrado transicional com Amazônia (municípios de Barrolândia e Ipueiras, TO – AA3 e AA4) e Mata Atlântica (municípios de Itutinga e São Vicente de Minas, MG – AA5 e AA6). Cada AA foi dividida em Módulos Amostrais perpendiculares à diretriz do empreendimento, nos quais foram instaladas as Unidades Amostrais (UA) com pontos de coleta de dados. As diferentes distâncias nas quais foram instaladas as UAs permitiram um cenário comparativo entre tratamento (50 m da diretriz), e controle (no interior do fragmento, a 400 m da diretriz próximo ao núcleo do fragmento). Logo, foi possível traçar comparações espaciais através deste desenho e, com a adição de campanhas, avaliações de cunho temporal.

Entre abril de 2018 e dezembro de 2020 foram realizadas 05 campanhas com duração de 05 dias por área amostral para estudo, intercalando as estações regionais secas e chuvosas (semestrais). Por meio de uma campanha realizada antes da supressão da vegetação, obteve-se um *baseline* em relação às campanhas subsequentes, cujos índices e resultados obtidos serviram para nortear o cenário após a intervenção e potencial recuperação ao longo do tempo para acompanhar a e avaliar a possível redução do efeito de borda. A hipótese a ser testada era de que após a supressão de

¹ Incendiada por moradores após a 3ª campanha e não mais foi avaliada no escopo do monitoramento.

vegetação haveria uma queda nos índices monitorados em comparação a campanha *baseline*, com gradativa recuperação ao estado original ao longo do monitoramento.

Diferentes métodos de coleta e análise de dados foram aplicados nas UAs ao longo das campanhas. Para a amostragem da fauna de pequenos mamíferos utilizou-se de amostragens de *pitfalls traps* segundo metodologia adaptada de CECHIN & MARTINS, 2000. Em linhas paralelas à faixa de servidão nos transectos tratamento e controle foram instalados *grids* de 10 baldes, totalizando 12.000 dias/balde de esforço amostral (80 baldes * 06 AAs * 05 dias * 05 campanhas). *Live traps* (Sherman e Tomahawk) (VOSS et al., 2001) foram instaladas somando-se um total de 24.000 dias/trap (160 traps * 06 AAs * 05 dias * 05 campanhas). Os animais foram marcados com brincos metálicos numerados e seus deslocamentos entre a barreira da faixa de serviço suprimida avaliados com base na recaptura. A análise dos dados de fauna permeou os principais indicadores ecológicos como riqueza (Jackknife1), diversidade (Shannon-Wiener), dominância (Simpson) e equitabilidade (Pielou) em perspectivas temporais (campanhas) e locais (tratamento e controle).

Para a flora foram amostradas variáveis fitossociológicas em *quadrats* de 1 m² ao longo dos 50 primeiros metros da trilha perpendicular à faixa de servidão onde aspectos quali e quantitativos foram avaliados. Foram considerados integrantes do componente arbóreo das subunidades os indivíduos com circunferência à altura do peito (CAP) igual ou superior a 15 cm. Destes indivíduos, foram tomados os dados de CAP, ponto de inversão morfométrico (PIM) e altura total. A medição do CAP foi realizada com fita métrica. O critério para a inclusão de indivíduos arbóreos regenerantes nos *quadrats*, considerando a mensuração, foi altura mínima de 30 cm. A medição de diâmetro foi realizada com paquímetro e as alturas com fita métrica. Para as espécies herbáceas e lianas amostradas nos *quadrats*, foi realizada apenas a contagem dos indivíduos. A taxa de ingresso ou recrutamento, no caso da vegetação não arbórea, foi considerada como o número de indivíduos novos computados no interior das subunidades amostrais. Regressões lineares múltiplas e simples foram conduzidas de maneira a se entender a relação das variáveis coligadas. A cobertura de dossel foi avaliada por meio de fotografias hemisféricas GoPro®, e analisada por meio de *software* específico, para obter a taxa de cobertura de dossel por meio do Índice de Cobertura de Dossel (ICD).

Os dados abióticos de temperatura (°C), umidade relativa do ar (%RH) e luminosidade (lux) foram coletados por meio de termo-higro-luxímetro digital Lutron LM-8000. As medidas foram tomadas de maneira contínua, em cada um dos *quadrats* (ou seja, a cada 10 m) de todos os módulos, sempre no momento da avaliação do transecto, evitando assim variações temporais na medição dos parâmetros.

Resultados e discussão

Para a fauna registrou um total de 33 espécies de pequenos mamíferos pertencentes a duas ordens e três famílias, incrementando substancialmente o conhecimento sobre os pequenos mamíferos nos locais estudados. Temporalmente os resultados demonstram que após a supressão não houve uma queda substancial na riqueza geral de espécies ao longo das AAs como esperado, obtendo-se, inclusive, índices maiores na campanha imediatamente após a supressão. Nas campanhas subsequentes houve um resultado menos expressivo dos índices estudados, semelhante aos registrados na campanha *baseline*, oscilando de acordo com a sazonalidade com picos associados à estação chuvosa e vales à estação seca.

Quando avaliado da perspectiva locacional a riqueza das unidades amostrais controle e tratamento, observamos que nas unidades tratamento, próximas à borda da faixa suprimida, houve um aumento de riqueza e abundância após a supressão, e, na terceira e quarta campanha, a riqueza diminuiu para um valor próximo à riqueza da primeira campanha, porém com a abundância ainda maior (Figura 1). Na quinta e última campanha houve o menor registro de riqueza entre todas as campanhas, tanto nas unidades controle, quanto tratamento. Nas unidades controle, a riqueza foi similar durante as cinco campanhas com um pico de abundância na segunda e uma queda na última campanha (Figura 1). Nesta avaliação os dados se comportaram de maneira diferente da hipótese inicial, havendo um incremento seguido de oscilações. Os resultados podem encontrar base em literatura onde há relação entre uma maior disponibilidade de ambientes e uma maior riqueza e abundância de espécies (RICKLEFS, 2001), entretanto, com índices que consideram a relação entre estes fatores, como equitabilidade, baixa, denotando ambientes com predominância de algumas poucas espécies (MAGURRAN, 1986). Ainda, os resultados podem ser fruto de um viés amostral causado pela sazonalidade, visto que a segunda campanha foi realizada no início da estação chuvosa após o período seco onde, sabidamente, comunidades de pequenos mamíferos estão em maior atividade e, portanto, são mais registradas. Entretanto, não observamos o mesmo padrão durante a quarta campanha (realizada no mesmo período).

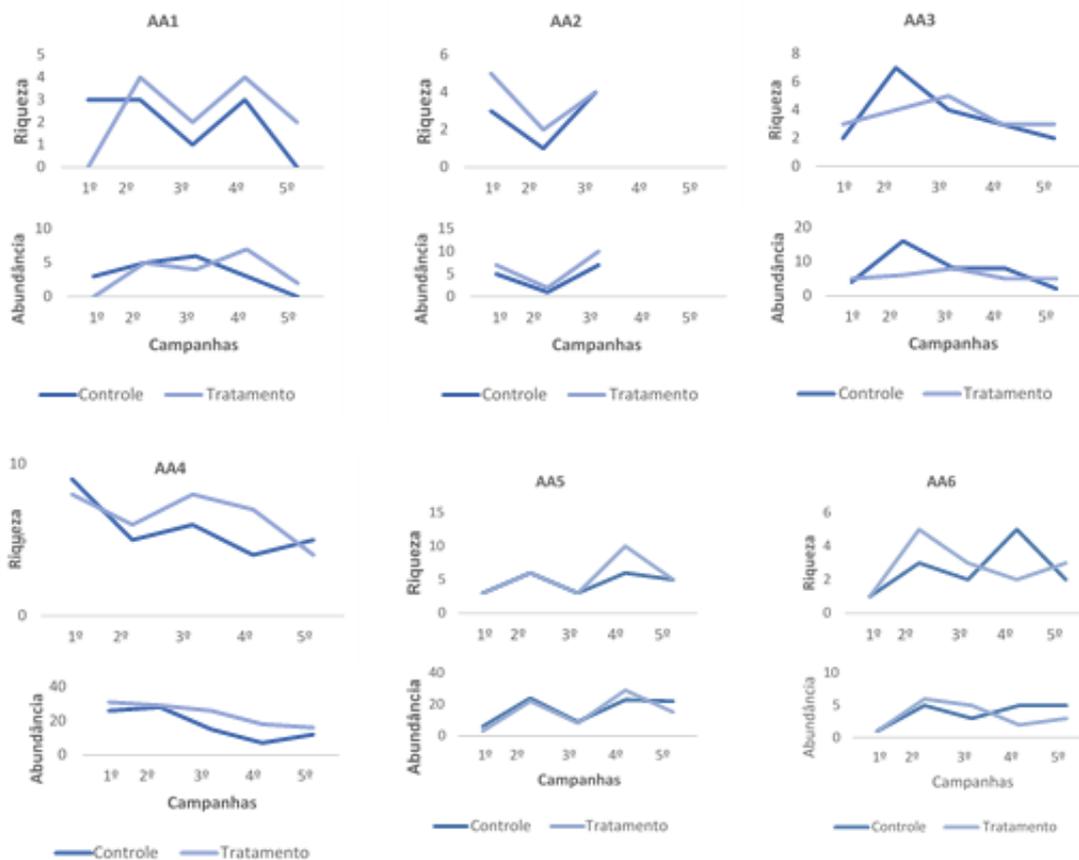


Figura 1. Gráficos de riqueza e abundância da mastofauna registrados no PMEB. Legenda: supressão ocorreu entre a 1ª e a 2ª campanha.

Quando comparados, os resultados mostram um mesmo número de deslocamentos através da faixa aberta e entre as parcelas em matriz florestada de um mesmo módulo, o que poderia indicar que as espécies têm a mesma capacidade de se deslocar dentro da área vegetada quanto pela área aberta da faixa. É plausível assumir que, apesar das espécies serem capazes de atravessar a faixa suprimida da LT, elas optam prioritariamente por se deslocar pelos ambientes vegetados, evitando em algum grau atravessar a área da faixa. Para este tema, esperava-se que as espécies, adaptadas aos ambientes florestados e sombreados, encontrassem na faixa suprimida uma barreira para os deslocamentos. Apesar de quantitativamente haver paridade nos deslocamentos entre áreas florestadas e abertas, avaliando-se qualitativamente os deslocamentos, notou-se que as espécies capazes de deslocar através da faixa suprimida foram aquelas pouco exigentes ambientalmente e com adaptações a áreas abertas.

Para flora a composição florística global (considerando todas as espécies arbóreas, regenerantes, herbáceas e lianas) é de 431 espécies, distribuídas em 262 gêneros de 83 famílias botânicas distintas, considerando as espécies amostradas em todos os biomas. A média dos parâmetros da vegetação regenerante, para cada campanha de campo, é apresentada no Quadro 1. Para as áreas da Amazônia, apesar de os parâmetros serem maiores na quinta campanha, não houve diferença estatística ($p < 0,05$) para os valores amostrados nas campanhas anteriores. Para as áreas do Cerrado, apenas a área basal e o número de espécies variaram significativamente ($p < 0,05$) entre as campanhas, sendo que os menores valores foram observados na campanha 1 (pré-supressão). Já nas áreas da Mata Atlântica, verificou-se variação estatística significativa ($p < 0,05$) em todos os parâmetros entre as campanhas de amostragem, exceto o diâmetro médio. A densidade de indivíduos e o número de espécies foram maiores na terceira campanha, enquanto a área basal foi maior na quarta campanha. Já a altura média foi maior na primeira campanha, decrescendo nas campanhas posteriores.

Quadro 1. Média dos parâmetros da vegetação regenerante amostradas no Programa de Monitoramento do Efeito de Borda.

Parâmetro	C1	C2	C3	C4	C5
AMAZÔNIA					
Densidade (ind. ha ⁻¹)	25500 a (53)	25789 a (51)	34091 a (58)	36522 a (71)	38000 a (65)
Área basal (m ² ha ⁻¹)	9,48 a (113)	14,09 a (119)	13,65 a (86)	15,06 a (94)	20,64 a (95)
DAB médio (cm)	1,71 a (48)	1,96 a (57)	1,99 a (49)	1,88 a (41)	2,18 a (38)
Altura média (m)	1,74 a (56)	2,03 a (74)	1,81 a (81)	1,42 a (57)	1,89 a (42)
Número de espécies	2,10 a (46)	2,42 a (46)	2,73 a (53)	3,00 a (66)	3,20 a (60)
CERRADO					
Densidade (ind. ha ⁻¹)	43721 b (58)	55217 b (54)	74043 a (54)	55745 b (54)	55745 b (54)
Área basal (m ² ha ⁻¹)	3,73 b (119)	6,27 ab (104)	7,13 ab (104)	7,52 a (103)	7,52 a (103)
DAB médio (cm)	0,77 a (57)	0,94 a (42)	0,91 a (42)	0,98 a (49)	0,98 a (49)
Altura média (m)	1,07 a (37)	1,05 a (39)	0,95 a (46)	0,95 a (49)	0,95 a (49)
Número de espécies	2,91 b (42)	3,41 ab (45)	4,38 a (46)	3,72 ab (51)	3,72 ab (51)
MATA ATLÂNTICA					
Densidade (ind. ha ⁻¹)	41739 d (71)	53478 bcd (67)	72609 a (60)	61957 ab (62)	58696 bc (61)
Área basal (m ² ha ⁻¹)	6,80 c (126)	10,05 b (97)	10,91 ab (95)	13,6 a (108)	11,70 ab (107)
DAB médio (cm)	1,14 a (74)	1,28 a (43)	1,14 a (41)	1,24 a (38)	1,22 a (43)
Altura média (m)	1,64 a (53)	1,34 bc (53)	1,07 d (36)	1,12 bcd (38)	1,08 d (40)

Parâmetro	C1	C2	C3	C4	C5
Número de espécies	3,15 d (54)	3,96 c (52)	5,33 a (46)	4,91 ab (54)	4,65 b (54)

Para o grupo das espécies regenerantes, a densidade de pioneiras cresceu ao longo do tempo, para todos os biomas. O parâmetro de área basal tem aumentado entre as campanhas para todos os biomas, indicando o incremento em circunferência das espécies regenerantes. A riqueza de espécies vem aumentando ao longo do tempo na Amazônia e no Cerrado; enquanto na Mata Atlântica houve um incremento em riqueza na comparação da situação pré-supressão (primeira campanha) para a primeira situação pós-supressão (segunda campanha), e encontra-se estabilizado. De modo geral, o Índice de Diversidade de Shannon aumentou para todos os biomas, o que se deve ao incremento de indivíduos e espécies. Para as regenerantes do bioma Amazônia, foi observado efeito de borda sobre a riqueza (desde a segunda campanha) e sobre a densidade de indivíduos, com a diminuição desses parâmetros no sentido borda-interior. Além disso, também se observa uma tendência de diminuição da área basal e aumento do diâmetro médio e altura média com aumento da distância da borda.

Para o grupo das espécies herbáceas e lianas, a densidade de indivíduos e a riqueza de espécies aumentaram entre as campanhas de campo para todos os biomas. Os valores do Índice de Diversidade de Shannon para as espécies herbáceas e lianas foram maiores ao longo do tempo. Para as áreas amazônicas, observou-se uma tendência de diminuição da densidade e riqueza no sentido borda-interior, no entanto, o coeficiente de correlação não foi significativo. Para as áreas de Cerrado não se verifica evidência significativa deste efeito. Para as áreas de Mata Atlântica, observa-se efeito de borda sobre a densidade de indivíduos durante a segunda campanha e sobre a riqueza durante a segunda, terceira e quarta campanhas, de modo que os valores destes parâmetros são maiores no interior do que na borda dos fragmentos, para as respectivas campanhas.

Comparando as campanhas, a temperatura nas áreas da Amazônia foi maior nas campanhas 3, 4 e 5, sem diferença estatística ($p < 0,05$) entre si. Para a umidade relativa do ar, o maior valor foi verificado na campanha 1 (pré-supressão), diminuindo para as demais campanhas, o que indica possível efeito da abertura da vegetação. Nas áreas do Cerrado, a flutuação da temperatura ao longo das campanhas não demonstrou tendência clara, enquanto a umidade relativa, de modo geral, diminuiu ao longo do tempo, com maior valor na campanha 2, decrescendo nas campanhas posteriores. Na Mata Atlântica, nem temperatura, nem umidade demonstram algum padrão de alteração. Em relação ao efeito de borda sobre a temperatura e a umidade, para as áreas da Amazônia e do Cerrado não há tendência definida e para as áreas de Mata Atlântica, embora haja tendência de diminuição da temperatura e aumento da umidade do ar com o aumento a distância da borda aumenta, os coeficientes de correlação lineares não foram significativos.

Consideração finais

É possível conjecturar que o efeito de borda não foi significativo em algumas situações isoladas quando há cruzamento das locações, biomas, sazonalidade e variáveis consideradas. De maneira consolidada, pode ser avaliado que as comunidades faunísticas e florísticas estudadas experienciaram momentos alterações em seus índices, no entanto, em momentos posteriores à supressão de vegetação, retornaram a patamares semelhantes ao estado anterior à intervenção. Vale ressaltar que o estado anterior diagnosticado já contemplava elementos de áreas alteradas, distantes de um

padrão clímax. Apesar de entender a limitação temporal da avaliação, que demandaria uma avaliação em longuíssimo prazo, distante da realidade do licenciamento ambiental, o estudo aqui conduzido lança luz sobre os fatores estudados da abertura de uma faixa de serviço que, em uma primeira aproximação ao tema, indicou após três anos de avaliação, pouca interferência sobre a vegetação e fauna. Além disso, mesmo nos casos dos parâmetros que variaram a partir da borda do fragmento, não é possível determinar se essa variação afetará negativamente a dinâmica ecológica e longo prazo. Adicionalmente, não se observou efeito estatisticamente significativo sobre os módulos inseridos em áreas de vãos ou de torres. Os valores de indicadores obtidos após o período de avaliação se assemelharam ou superaram àqueles obtidos na primeira campanha, pretérita à supressão, para a maioria das áreas estudadas, salvo aquelas com intervenções exógenas ao empreendimento. Entende-se que estes efeitos observados são de difícil mensuração e avaliações pouco objetivas no escopo deste estudo, devendo ser, portanto, considerado em futuras replicações do desenho amostral.

Possivelmente ações de mitigação a serem propostas devem estar mais relacionadas à educação ambiental das comunidades que vivem próximas ao empreendimento, no sentido de conscientizar sobre a preservação dos ambientes atravessados por ele. Espera-se ainda, colher dados suficientes para uma reflexão a respeito de efeitos irreversíveis desse tipo de perturbação além de propor medidas preventivas como lançamento de cabos por métodos alternativos e outras estratégias construtivas em áreas identificadas como sensíveis à fragmentação.

Referências bibliográficas

BARANEK, E.J. 2014. Análise do Efeito de Borda de Sistemas de Cultivo Orgânico e Convencional em Fragmentos Florestais do Centro-Oeste Paranaense. 71 f. Dissertação (Mestrado) – UFRRJ

CECHIN, S. Z., & MARTINS, M. (2000). Eficiência de armadilhas de queda (pitfall traps) em amostragens de anfíbios e répteis no Brasil. *Revista brasileira de zoologia*, 17, 729-740.

MAGURRAN, A.E. 1988. *Ecological diversity and its measurement*. New Jersey: Princeton University Press, 179 p.

MURCIA, C. 1995. Edge effects in fragmented forests: implications for conservation. *Trends in Ecology and Evolution* 10: 58-62.

RICKLEFS, R. 2001. *A Economia da Natureza*. Terceira Edição. Editora Guanabara Koogan. Pp. 470.

TOBOUTI, A.K., & SANTOS, V.L.P. 2014. Impactos ambientais causados na implantação de linhas de transmissão no Brasil/environmental impacts caused the establishment of transmission lines in Brazil. *Meio Ambiente e Sustentabilidade*, 4(3): 184-199.