

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS

DIANA LETÍCIA KRUEGER PACHECO CARVALHO

INFLUÊNCIA DO ESFORÇO AMOSTRAL NA DETECÇÃO DO PADRÃO
ESPACIAL DE MORTALIDADE DA FAUNA ATROPELADA NA RODOVIA
ROTA DO SOL

Porto Alegre, 2013

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS

DIANA LETÍCIA KRUEGER PACHECO CARVALHO

INFLUÊNCIA DO ESFORÇO AMOSTRAL NA DETECÇÃO DO PADRÃO
ESPACIAL DE MORTALIDADE DA FAUNA ATROPELADA NA RODOVIA
ROTA DO SOL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Instituto de Biociências – UFRGS, como
requisito parcial para obtenção do título de
Bacharela em Ciências Biológicas.

Orientador: Prof. Dr. Andreas Kindel

Co-orientadora: MSc. Fernanda Zimmermann
Teixeira

Banca examinadora:

Dr. Clara Bentes Grilo

Centro de Estudos do Ambiente e do Mar
Universidade de Aveiro, Portugal

Dr. Jan Karel Felix Mahler Junior

Consultor Ambiental Autônomo

Porto Alegre, 2013

AGRADECIMENTOS

Àquele por quem todas as coisas foram feitas, e sem Ele nada do que foi feito se fez.

Ao meu pai, por ter me despertado para a beleza da vida a partir de uma formiguinha quando eu era criança, o que me inspirou anos mais tarde a estudar a vida.

À minha mãe, que me ensinou e incentivou sempre a fazer o meu melhor e não a tentar ser melhor do que os outros.

Ao meu irmão, por me ensinar a ter argumentos consistentes quando me posiciono sobre algo.

Ao meu amor, por estar sempre ao meu lado ensinando valores importantíssimos, como simplicidade e atenção ao próximo.

A toda minha família, avós, tios e primos, por todo carinho e torcida.

À minha amiga e companheira de longa data, Maysa, por estar até hoje presente em minha vida.

À minha amiga mais que especial, Larissa Zeid, que mesmo de longe consegue ser muito presente. Saudades!

Aos meus amigos de fora da Bio: Fabiano, Lilian, Natália, Gerson, Lucas, Rafaella, Melita, Eduardo, Gen Kallinie, Diego, Francine, Josué, por me aturarem falando do que eu amo e vivo sempre que nos encontramos!

Aos queridos Adelson, Jaque, Paulo Fernando, Neila, Fernando, Janete, Eneias e Raquel, por todas as nossas conversas e experiências trocadas, minha formação não teria sido a mesma sem nossas reflexões.

Ao meu professor Fabiano Antunes, por ter me influenciado de maneira muito positiva a escolher a Biologia durante o meu ensino médio.

Aos meus colegas do NERF: Brenda, Igor, Isadora, Larissa, Nicole e Paula, pelos momentos de aprendizado e diversão.

Aos demais colegas da Bio, que em algum momento durante a graduação fizeram parte da minha trajetória e que, mesmo longe, ainda hoje fazem a diferença: Thamyres Pacheco, Mel Pacheco, Karine Costa, Davi Silveira, Michele Silveira, Fernanda Ribeiro, Roberta dos Anjos, Camila Leão, Camila Santos, Raquel Paulsen, Larissa Biasotto e Thaniele Muller.

À minha supervisora no estágio supervisionado obrigatório, Gabriele Volkmer, com quem aprendi e me diverti muito nestes últimos meses.

À minha co-orientadora Fernanda por ter me auxiliado tanto neste trabalho e por estar sempre disposta a ajudar.

Ao meu orientador, Andreas, com quem aprendi muito durante toda a graduação. Você é um exemplo de que podemos fazer a diferença.

À banca, Jan e Clara, por ter aceitado o convite, pelas correções e sugestões.

Aos apoiadores pelos dados concedidos e ajuda na identificação das carcaças: Instituto de Biociências, Secretaria Estadual do Meio Ambiente e Biolaw Consultoria Ambiental Ltda.

RESUMO

Análises espaciais de atropelamento podem ser utilizadas no licenciamento para que medidas mitigadoras sejam aplicadas nos locais com maior agregação e recursos não sejam desperdiçados. Porém, não se sabe quanto é necessário coletar de informações: quantas campanhas, por quanto tempo e quando a rodovia deve ser monitorada. Por isso, nosso objetivo foi avaliar a influência do esforço amostral (frequência e período de observações e número de indivíduos registrados) sobre a estabilidade dos padrões espaciais detectados. Utilizamos a base de dados da rodovia Rota do Sol (ERS-486/RST-453) para comparar padrões espaciais obtidos a partir de diferentes esforços amostrais. A coleta de dados ocorreu durante quatro dias consecutivos por mês durante um ano. Além do conjunto completo de dados (referência), dividimos os dados em outros 15 subconjuntos de esforços menores, três com esforço mensal, quatro com esforço trimestral e oito com esforço semestral. Para testar a presença de agregação ao longo da rodovia com cada conjunto amostral foi utilizado o teste K de Ripley; e para localizar as agregações na rodovia foi utilizada a análise *Hotspot* bidimensional, ambas realizadas no *software* Siriema. Por fim, foi testada a similaridade entre os padrões espaciais detectados com cada esforço e o conjunto referência, através de um teste de correlação com aleatorizações utilizando os valores de intensidade de agregação de cada conjunto obtidos na análise *Hotspot*. Quanto maior o número de dias monitorados e maior o número de carcaças, maior a correlação entre os *hotspots* encontrados nos conjuntos amostrais com o conjunto total de dados. Conjuntos de dados com baixo esforço amostral tiveram baixa estabilidade nos valores de correlação, enquanto conjuntos com maior esforço tiveram menor variação. Para esta rodovia, a partir do conjunto de dados mensal que considerou apenas o primeiro dia de monitoramento foi obtido um valor bastante alto de correlação (0,89), indicando que o monitoramento em dias consecutivos não é importante para aumentar a estabilidade em monitoramentos mensais. Comparações de conjuntos de dados de outras estradas e com outros esforços devem ser realizadas. A Instrução Normativa IBAMA 13/2013 indica monitoramentos mensais durante um ano, entretanto, caso monitoramentos mais curtos sejam satisfatórios para indicar os locais para mitigação, recursos e tempo podem ser poupados.

Palavras-chave: ecologia de estradas, suficiência amostral, agregação de atropelamento, licenciamento ambiental, mitigação.

ABSTRACT

INFLUENCE OF SAMPLING EFFORT ON DETECTION OF ROADKILL SPATIAL PATTERN AT ROTA DO SOL HIGHWAY

Spatial analysis of road-kill can be used during environmental assessment for locating mitigation measures at sites with greater aggregation and not wasting resources. However, no one knows how much information need to be collected, for how many surveys, for how long and when the road should be monitored. Therefore, our goal in this study was to evaluate the influence of sampling effort (frequency and period of observations and number of individuals recorded) on the stability of spatial patterns detected. We used a database of Rota do Sol highway (ERS-486/RST-453) to compare spatial patterns identified from different sampling efforts. Data were collected over four consecutive days per month for a year. We divided the database in the following data sets: the complete data set (reference set, totaling 41 days), three data sets with monthly effort, four data sets with quarterly effort and eight data sets with semiannual effort. To test if there is aggregation along the highway with each data set we used the K Ripley's test, and to locate aggregations along the highway we used bidimensional Hotspot analysis, both available at Siriema software. Finally, we used a correlation test with randomizations to test the similarity between hotspot intensity values obtained with each data set and the one obtained with the reference data set. As the number of days and carcasses increase, the greater the correlation between hotspots of different data sets and the complete data set. Data sets with low sampling effort had low stability in correlation values, while sets with greater effort had less variation. For this road, the monthly data set that considered only the first day of monitoring showed a very high correlation (0.89), indicating that monitoring during consecutive days was not important to increase stability on results in monthly monitoring. Comparisons of data sets from other roads and with other efforts should be performed. The IBAMA Normative Instruction 13/2013 indicates monthly monitoring for one year, however, if shorter monitoring is satisfactory to indicate the locations for mitigation, resources and time can be saved.

Keywords: road mortality, sampling efficiency, hotspots, environmental licensing, mitigation.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	7
2. MÉTODOS	9
<i>Área de estudo</i>	9
<i>Obtenção dos dados</i>	10
<i>Análise de dados</i>	11
3. RESULTADOS	13
4. DISCUSSÃO	16
REFERÊNCIAS	19

1. INTRODUÇÃO

Dentre os diversos impactos causados por rodovias, a mortalidade por atropelamento é considerada um dos impactos mais relevantes. Jackson & Fahrig (2011) indicam que a retirada (ou morte) de indivíduos da população pode ser pior do que o isolamento delas, por evitamento e até mesmo cercas. O declínio da diversidade genética da população causada pela mortalidade de indivíduos é mais importante para a probabilidade de persistência da população do que a perda genética pelo isolamento (Jackson & Fahrig, 2011).

Embora a contagem de carcaças seja útil para avaliar a magnitude deste impacto, ela é inadequada para a compreensão da relação entre a rodovia e a paisagem (Clevenger et al. 2003). Sendo as rodovias empreendimentos lineares de grandes distâncias, a paisagem no entorno delas pode variar muito em toda a sua extensão e a fauna silvestre tende a ser ligada a habitats específicos e aos tipos de uso da terra adjacentes. Por isso, espera-se que em trechos de rodovias inseridos em paisagens com maior abundância de fauna haja maior probabilidade de tentativa de travessia e conseqüentemente maior chance de atropelamento. Além dos fatores espaciais já mencionados, Seiler (2005) cita outros fatores importantes, como a existência de assentamentos humanos, as características da topografia da paisagem, o trânsito de veículos (velocidade e fluxo) e a presença de cerca.

Assim, se espera que a paisagem desempenhe um papel importante na determinação de locais de atropelamentos (Forman & Alexander, 1998) e, conseqüentemente, que em alguns trechos ocorra agregação de atropelamentos, que são chamados de pontos quentes de atropelamento, ou *hotspots*. Neste sentido, modelos que predizem os pontos de colisão mais prováveis são de grande valor prático (Malo et al., 2004).

Glista (2009) afirma que a frequência com que são implantadas medidas de mitigação de mortalidade rodoviária não se correlaciona com a sua eficácia percebida; as medidas mais promissoras muitas vezes são as menos utilizadas. Além disso, as avaliações de sucesso da mitigação muitas vezes são baseadas mais em opinião, do que em pesquisa (Forman et al., 2003). Neste contexto, a avaliação espacial da mortalidade é considerada

muito importante como subsídio à implantação de medidas de mitigação pontuais (Taylor & Goldingay, 2010). Malo et al. (2004) fala da importância da localização precisa das medidas de mitigação, pois o custo elevado das estruturas físicas (por exemplo, viadutos) limita a sua instalação a apenas alguns lugares e outras medidas menos onerosas (por exemplo, sinalização) não são eficazes se instaladas em longos trechos de rodovias.

No entanto, não existe um consenso sobre o esforço que deve ser empregado na amostragem da fauna atropelada visando à obtenção de um volume adequado de dados para avaliar a distribuição espacial dos atropelamentos. Os resultados das análises espaciais podem indicar locais inadequados para aplicação das medidas de mitigação quando baseadas em dados escassos. Adicionalmente, no âmbito do licenciamento, existe a preocupação em relação ao tempo e aos recursos que serão despendidos no monitoramento, havendo grande interesse em dar celeridade ao processo de licenciamento, sem diminuir a qualidade dos estudos.

O licenciamento de implantação, pavimentação e duplicação de rodovias normalmente prevê a realização do levantamento da fauna atropelada para a emissão da Licença Prévia (LP) e também o monitoramento da fauna atropelada após a realização da obra. Em todos os casos, a coleta de dados tem o potencial de influenciar nas decisões sobre a realização ou não da obra, a implantação de medidas de mitigação e a mudança de traçado, sendo esta última não aplicável em rodovias já pavimentadas.

No caso das medidas de mitigação, elas só poderão ser escolhidas e aplicadas em locais onde é maior a probabilidade de serem efetivas se soubermos quais são os locais críticos de atropelamento. Entretanto, os padrões espaciais detectados podem ser dependentes do esforço amostral empregado no monitoramento da fauna atropelada, sendo importante identificar qual o esforço amostral mais adequado.

A nova Instrução Normativa (IN) do IBAMA nº 13, de 19 de julho de 2013, estabelece os procedimentos para padronização metodológica dos planos de amostragem da fauna exigidos nos estudos ambientais necessários para o licenciamento ambiental de rodovias e ferrovias pelo IBAMA no Brasil. A IN indica que devem ser realizadas campanhas mensais para o monitoramento de fauna atropelada, sendo seis campanhas antes da Licença Prévia (LP) e seis campanhas antes da Licença de Instalação (LI) como forma

de avaliar os impactos sobre a fauna e subsidiar a proposição de medidas de mitigação. É importante saber se esse esforço indicado é necessário e por outro lado suficiente. Se tal esforço for além do necessário, podem ser gastos tempo e recursos em vão. Se não for suficiente, as medidas podem ser instaladas em locais inadequados a partir da identificação de pontos de agregação de atropelamentos espúrios. Em ambos os casos, além de ser desperdiçada a oportunidade de tornar mais efetivo o processo de licenciamento, corremos o risco de perder a confiança dos empreendedores e gestores e da população em geral.

O efeito do esforço amostral sobre os padrões detectados em ecologia de rodovias foi abordado previamente apenas por Malo et al (2005) que avaliou sua influência na estimativa de uso das passagens de fauna, por Bager & Rosa (2011) que o relacionaram com a riqueza de espécies registradas, e também por Santos et al. (2012), que abordaram a importância da frequência de amostragem sobre os padrões espaciais de atropelamentos.

O nosso objetivo neste trabalho foi testar a influência dos diferentes esforços, definidos por distintas combinações de época, intervalo e intensidade (número de dias consecutivos) de amostragem, sobre os padrões espaciais de mortalidade. Buscamos responder: 1) Qual a influência do esforço amostral sobre a estabilidade dos padrões espaciais detectados? e 2) Qual o esforço mínimo que pode ser empregado para se chegar a um resultado satisfatório?

2. MÉTODOS

Área de estudo

A área do estudo se localiza na região nordeste do estado do Rio Grande do Sul, os dados foram coletados em um trecho de 66 quilômetros da rodovia ERS-486 / RST-453, conhecida como Rota do Sol (50W 19' 12", 29S 15' 58"/49W 57'29", 29S 36' 59"). Este trecho da rodovia é considerado de interesse para a conservação por situar-se na zona núcleo da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica (MMA, 2000). Ela cruza a Área de Proteção Ambiental Rota do Sol (APA Rota do Sol, 54.670,5 ha) e a Reserva Biológica Estadual Mata Paludosa (REBIO Mata Paludosa, 113 ha), assim como margeia a Estação Ecológica Estadual de Aratinga (ESEC Aratinga, 5.882 ha) (Figura

1). Em sua extensão ocorrem três regiões geomorfológicas: planalto com Floresta Ombrófila Mista e fragmentos de Campos, encosta da serra e planície com Floresta Ombrófila Densa, sendo a planície a região mais fragmentada pela ocupação humana e com predominância da agricultura.

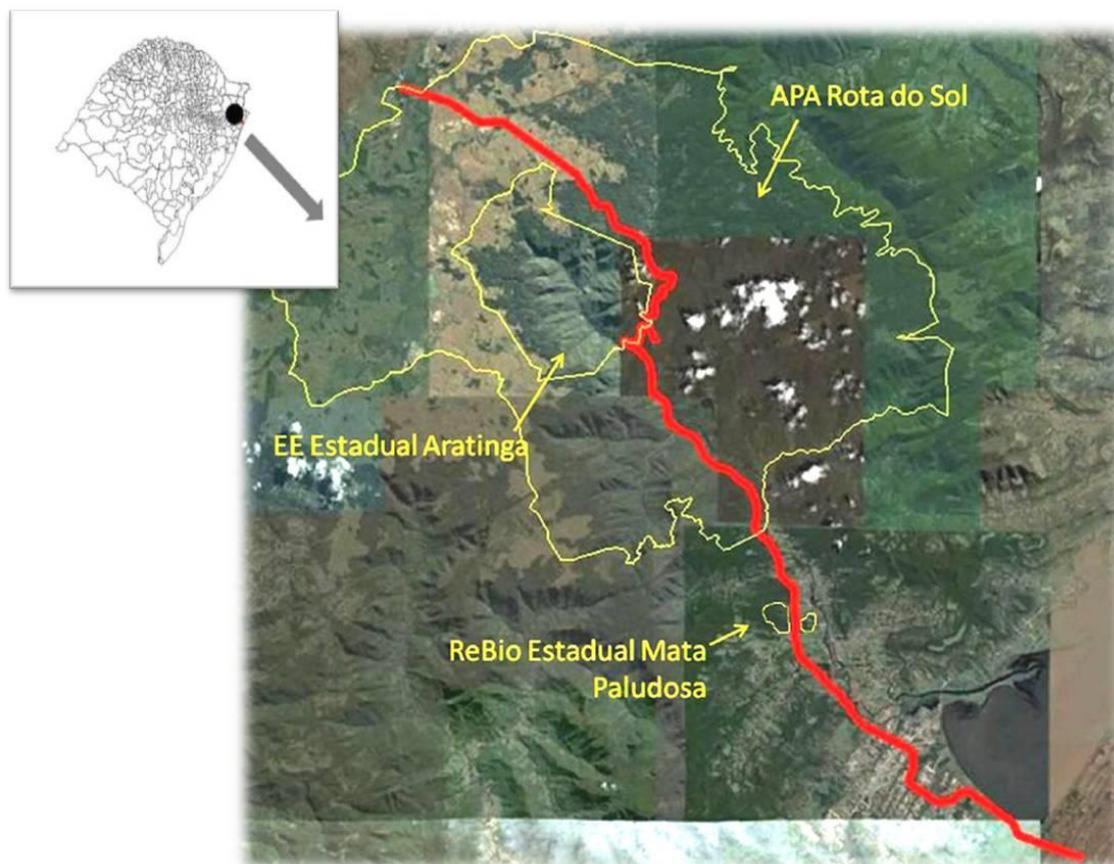


Figura 1. Imagem do trecho da Rodovia Rota do Sol, onde o estudo foi realizado. Estão indicadas as unidades de conservação próximas ao local de estudo.

Obtenção dos dados

Nós utilizamos a mesma base de dados adotada por Teixeira & Kindel (2012). Entre agosto de 2009 e julho 2010, com frequência mensal e duração de quatro dias, a rodovia foi monitorada por dois observadores, em veículo a uma velocidade de 40 a 50 km/h. Em virtude do bloqueio da rodovia em setembro de 2009 devido a desabamentos de terra e a realização de apenas um dia de monitoramento em março de 2010, o esforço total foi de 41 dias distribuídos em 11 meses. Para cada carcaça de animal silvestre detectada foi registrada a coordenada geográfica através de GPS (Garmin 60CSx, UTM, datum SAD 69).

Análise de dados

Para testar o efeito do esforço amostral sobre o padrão espacial da mortalidade, subconjuntos de dados, representando um gradiente de intensidade de amostragem (número de dias consecutivos) e intervalos e épocas do ano distintas, foram comparados com o conjunto completo (41 dias de amostragem). Foram testados subconjuntos mensais, trimestrais e semestrais, que correspondem a regimes amostrais usualmente adotados em avaliações de impacto ambiental no Brasil (obs. pess.).

Os conjuntos mensais foram testados considerando-se o primeiro dia de monitoramento, dois dias de monitoramento e três dias de monitoramento de cada mês, totalizando três subconjuntos de dados mensais. Os conjuntos trimestrais tiveram três combinações de meses e cada combinação foi testada considerando o primeiro dia de monitoramento e quatro dias de monitoramento de cada mês, totalizando seis subconjuntos de dados trimestrais. Os conjuntos semestrais tiveram seis combinações de meses e cada combinação foi testada considerando o primeiro dia de monitoramento e os quatro dias de monitoramento de cada mês, totalizando 12 subconjuntos de dados semestrais. Devido à falta de dados do mês de setembro e dos dias 2, 3 e 4 do mês de março, alguns subconjuntos foram excluídos das análises. Outros subconjuntos de dados foram excluídos quando não foram detectadas agregações significativas em escalas inferiores a 1000 m através da estatística K de Ripley. Um resumo dos diferentes esforços amostrais testados é apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Diferentes intervalos e intensidades amostrais (número de dias consecutivos) utilizados para testar o efeito do esforço amostral (número total de dias e de carcaças) sobre o padrão espacial de mortalidade e menores escalas significativas para o conjunto total de dados (mensal, quatro dias) e para cada subconjunto de dados. As escalas espaciais de significância foram obtidas através da estatística K de Ripley; ND = dados de setembro e março não disponíveis; NS = agregações não significativas nas escalas de interesse (ver métodos).

Amostragem	Nº de Dias	Nº de carcaças	Menores escalas de agregação (m)
Mensal			
4 dias	41	581	100, 500
3 dias	31	506	100, 500
2 dias	21	418	100, 500
1º dia	11	250	100, 500
Trimestral			
4 dias Fev-Mai-Ago-Nov	16	380	100, 500
4 dias Jan-Abr-Jul-Out	16	113	100, 500

4 dias Mar-Jun-Set-Dez	9	88	ND
1º dia Fev-Mai-Ago-Nov	4	177	100, 500
1º dia Jan-Abr-Jul-Out	4	33	500
1º dia Mar-Jun-Set-Dez	3	40	ND
Semestral			
4 dias Mai-Nov	8	194	100, 500
4 dias Ago-Fev	8	186	100, 500
4 dias Jul-Jan	8	72	500
4 dias Jun-Dez	8	70	100, 500
4 dias Abril-Out	8	41	500
1º dia Ago-Fev	2	110	500
1º dia Mai-Nov	2	67	100, 500
1º dia Jul-Jan	2	26	500
1º dia Jun-Dez	2	22	NS
1º dia Abr-Out	2	7	NS
1º dia Mar-Set	1	18	ND
4 dias Mar-Set	1	18	ND

A primeira etapa da análise foi para nos certificarmos de que ocorrem agregações significativas de mortalidade nos diferentes esforços empregados. Utilizamos a estatística K de Ripley modificada (Coelho et al., 2008) para avaliar a não-aleatoriedade da distribuição espacial dos atropelamentos ao longo de diversas escalas para cada subconjunto de dados com diferentes esforços amostrais. Esta estatística centra um círculo de raio definido pelo usuário em cada evento de atropelamento e soma o número de outros eventos dentro desta área. Depois que todos os eventos são avaliados, é feito um somatório geral que corresponde à intensidade de agregação para aquele tamanho de raio (a escala avaliada). A análise é repetida para tamanhos de raio cada vez maiores e assim é possível avaliar a formação de agrupamentos em diversas escalas espaciais. Para avaliar se os valores de K são significativos, utiliza-se a função L, que é a diferença entre o valor da estatística K observada para determinada escala e um valor de K gerado para a mesma escala através de simulações de Monte Carlo. São estabelecidos limites de confiança para a interpretação da significância da função L e os valores de K acima dos valores superiores do intervalo de confiança indicam escalas com agrupamento significativo. Neste trabalho foi utilizado um raio inicial de 100 m, incrementos de 400 m e 100 simulações para obtenção dos intervalos de confiança (IC=99%).

Depois de averiguada a ocorrência de agregações de atropelamentos, nós descrevemos a variável de interesse deste estudo, que é a intensidade de agregação de atropelamentos, para descrever o padrão de distribuição espacial da mortalidade, através da análise *Hotspot* Bidimensional (Coelho et al., 2011). Nesta análise, a rodovia é dividida em segmentos de mesmo tamanho (quanto menor o segmento, maior será a precisão da localização dos *hotspots*) e um círculo de raio definido pelo usuário é centrado em cada segmento, somando-se o número carcaças dentro da área do círculo. Neste trabalho a rodovia foi dividida em 444 segmentos (cada segmento com 150 m), e o raio do círculo foi definido a partir da menor escala que teve agregações significativas para todos os conjuntos amostrais avaliados, ou seja, 500 m (Tabela 1). O resultado obtido é a intensidade de agregação em cada local para cada subconjunto com diferente esforço amostral. Os *hotspots* são definidos como os locais que tiveram somatório de eventos de atropelamentos dentro dos círculos maior do que o limite superior do intervalo de confiança (95%), obtido a partir de 1000 simulações, com redistribuição aleatória das carcaças. O software utilizado para estas análises espaciais foi o Siriema (Coelho et al., 2008; 2011), disponível em www.ufrgs.br/biociencias/siriema.

Utilizando os valores de intensidade de agregação de cada segmento da rodovia, para cada subconjunto de dados, obtidos na análise *Hotspot* Bidimensional, foi testada a similaridade entre os padrões espaciais detectados com cada esforço amostral e o padrão espacial detectado com o conjunto completo. A similaridade foi avaliada através de um teste de correlação com 1000 aleatorizações ($\alpha=0.05$) entre os valores de intensidade de agregação de cada conjunto amostral utilizando o software Multiv 2.4 (Pillar, 2006). A partir dos resultados obtidos no teste de correlação, foi avaliada a relação entre os valores de correlação e o número de dias de amostragem e entre os valores de correlação e o número de carcaças dos subconjuntos de dados a partir do ajuste de equações logarítmicas no programa Statistica v.6 (STATSOFT, 2004).

3. RESULTADOS

Através da análise K de Ripley identificamos a menor escala com agregação significativa comum entre todos os conjuntos para utilizá-la na análise de *hotspots*. A maior parte dos subconjuntos teve a distribuição da mortalidade agregada em

praticamente todas as escalas avaliadas. Dos 21 subconjuntos formados, quatro foram excluídos das análises por faltarem os dados referentes a setembro e março e dois foram excluídos por não terem agregações nas escalas mais refinadas, restando 15 subconjuntos. Estes 15 subconjuntos tinham a escala de 500 m com agregação significativa e apenas 10 deles tinham a escala de 100 m com agregação significativa (Tabela 1).

Na análise de correlação encontramos que o conjunto de 31 dias (amostragem mensal de três dias) apresentou a maior correlação com o conjunto referência (0,98) e o conjunto de dois dias (amostragem semestral de um dia, maio e novembro) apresentou a menor correlação (0,45), obtendo $p < 0,001$ para todos os testes de correlação realizados (Figura 2).

Conjuntos de dados com baixo esforço amostral tiveram menor estabilidade nos valores de correlação: os subconjuntos semestrais de um dia variaram entre 0,45 e 0,69, os subconjuntos semestrais de quatro dias variaram entre 0,51 e 0,87, os subconjuntos trimestrais de um dia variaram entre 0,58 e 0,81. Já os subconjuntos com maior esforço tiveram menor variação: os subconjuntos trimestrais de quatro dias variaram entre 0,86 e 0,96. A partir do subconjunto de dados mensal que considerou apenas o primeiro dia de monitoramento foi obtido um valor bastante alto de correlação (0,89). Estes dados são apresentados na Figura 2.

Em relação ao número de carcaças, observamos que quanto maior o número de carcaças, maior a similaridade entre os subconjuntos e o conjunto total, como representado na Figura 3 a seguir.

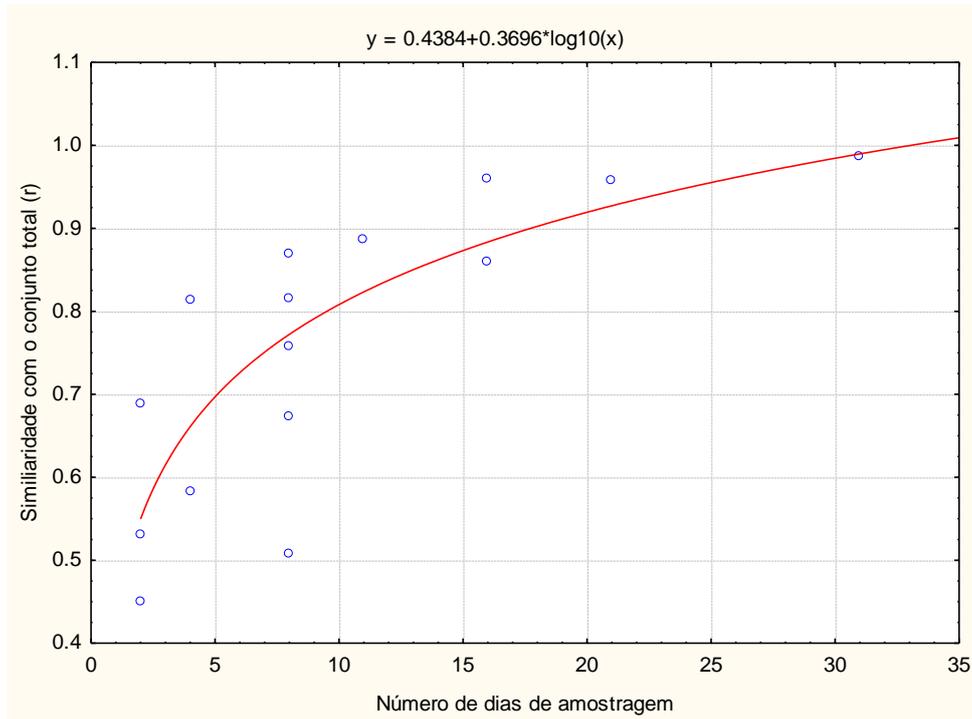


Figura 2. Similaridade entre os subconjuntos amostrais e o conjunto total de dados de acordo com o número de dias monitorados, avaliada através de correlação (r).

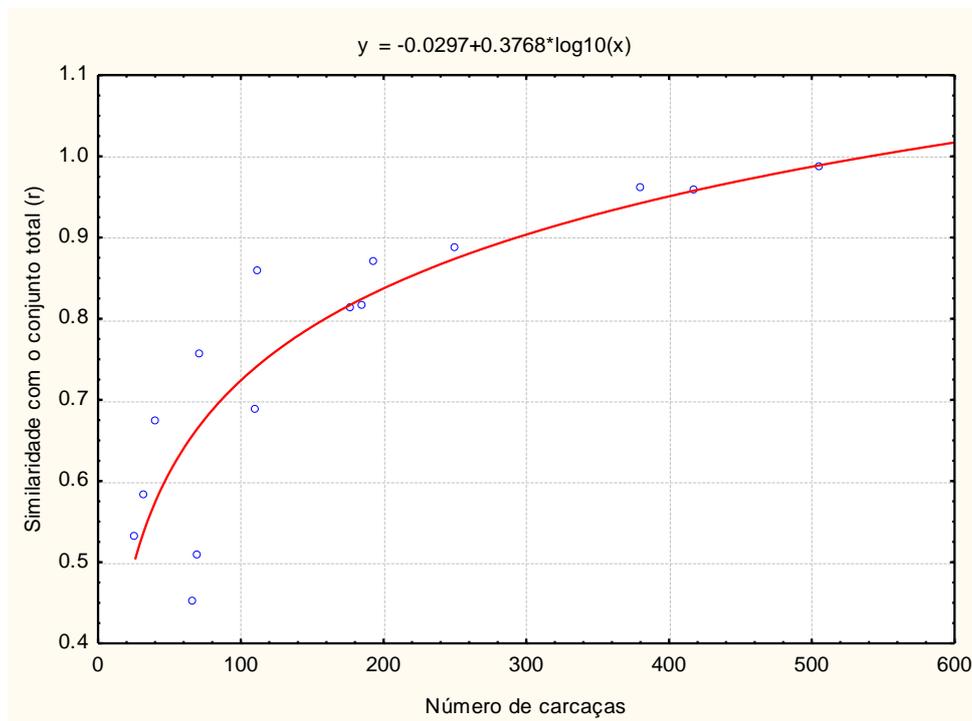


Figura 3. Similaridade entre os subconjuntos amostrais e o conjunto total de dados de acordo com o número de carcaças, avaliada através de correlação.

4. DISCUSSÃO

O estudo do padrão espacial do atropelamento da fauna nas rodovias é uma ferramenta muito importante no âmbito do licenciamento ambiental, podendo auxiliar nas tomadas de decisões quanto à localização das medidas mitigadoras. É importante avaliarmos qual é o esforço amostral adequado para realizar os monitoramentos e obter dados confiáveis que possam indicar esses locais críticos de atropelamento e, conseqüentemente, que os recursos não sejam desperdiçados.

De maneira geral, nossos resultados apontam que quanto maior o número de dias monitorados e maior o número de carcaças acumuladas, maior a similaridade entre os padrões encontrados nos subconjuntos amostrais e o conjunto de referência. Estas comparações não são independentes, uma vez que quanto menor o número de dias monitorados, menor será o número de carcaças encontradas e, conseqüentemente, menor será a correlação entre os esforços comparados. Além disso, quanto menor o esforço empregado no monitoramento, menor a estabilidade entre os subconjuntos de mesmo esforço. Para avaliar esse padrão em maior detalhe, seria interessante ter réplicas de subconjuntos de dados com esforços maiores para testar a variação nos valores de correlação destes subconjuntos. Para isso, seriam necessários dados de mais de um ano para obtermos réplicas de subconjuntos de dados mensais, por exemplo. Por outro lado, ao obter essas réplicas anuais poderíamos incluir um confundimento por possíveis variações temporais, já que seriam acumulados dados de períodos muito longos. Ainda faltam ser avaliados outros esforços, com outras intensidades, frequências e períodos de monitoramento, por exemplo, concentrando as amostragens em alguns poucos meses, ou mesmo um número equivalente de dias em um único mês. Se os padrões forem similares serão economizados recursos e tempo no licenciamento.

Santos et al. (2012), adotaram uma abordagem similar, contudo o conjunto de referência correspondia a amostragens diárias ao longo de um ano e foi comparado a quatro subconjuntos destes dados: intervalos de dois dias, semanal, quinzenal e mensal. Como esperado, também encontraram maior correlação do conjunto referência com as amostragens mais intensas (0,89 para intervalo de dois dias), com uma pequena variação quando comparado aos demais esforços (0,66 para semanal, 0,61 para quinzenal e 0,58 para mensal). Embora não disponível, por estes resultados é possível supor que o

padrão amostral resultante de amostragens semanais (52 dias) é muito similar ao obtido com intervalo mensal (12 dias) e provavelmente equivalentes ao que encontramos quando comparamos nosso conjunto de referência (41 dias) ao esforço mensal (11 dias). Amostragens diárias não são realistas na maioria dos contextos de licenciamento sendo um regime mensal uma opção aparentemente razoável. Contudo antes de uma definição dessa natureza, seria importante avaliar a generalidade deste padrão para diferentes grupos de espécies e como varia a similaridade de *hotspots* prioritários (com maior proporção das mortes ou com eventos das espécies mais sensíveis) com o esforço. Santos et al (2012) também testaram a discrepância dos resultados das correlações entre os diferentes grupos taxonômicos e verificaram que animais de pequeno porte tiveram os resultados das correlações mais discrepantes entre os subconjuntos. Isso indica que dependendo do grupo (ou grupos) que se objetiva monitorar, será necessário maior ou menor esforço para se chegar a um padrão espacial estável.

É importante salientar que a avaliação do esforço deve ser coerente com o objetivo do monitoramento. Se o objetivo é encontrar locais onde ocorre maior mortalidade de vertebrados, para diminuir a magnitude do impacto com medidas de mitigação, os dados de atropelamentos de vertebrados devem ser usados na avaliação do esforço (como no caso deste estudo). Se o objetivo for implantar medidas de mitigação para um determinado grupo ou espécie de interesse (considerado mais frágil ou mais impactado), o esforço amostral deve ser avaliado para esse grupo ou espécie especificamente. No entanto, Teixeira et al. (2013) apontam uma limitação importante em analisar dados espaciais para uma espécie específica, já que a análise só poderá ser realizada com espécies que tenham um elevado número de registros, ou seja, em geral espécies comuns, com menor interesse de conservação. No caso da rodovia Rota do Sol, onde muitos registros de atropelamentos são de gambás (*Didelphis* sp.), espécie muito abundante e sinantrópica, o impacto sobre a população supostamente não é tão importante quanto nas populações dos outros vertebrados, e talvez devêssemos excluí-los das análises espaciais e realizar a avaliação do esforço amostral sem considerá-los.

No Brasil, o órgão licenciador nacional (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA) recentemente publicou uma instrução Normativa (IN 13/2013) que determina o monitoramento mensal da mortalidade da fauna, seis meses antes da Licença Prévia e seis meses antes da Licença de Instalação.

Embora a generalização do padrão encontrado no nosso estudo deva ser feita com cautela, nossos resultados sustentam a recomendação dessa norma legal. Mais do que adotar uma regra geral para todos os estudos, seria interessante que cada um demonstrasse, através de correlogramas, por exemplo, como varia o padrão espacial com o incremento amostral, ou seja, uma análise de suficiência amostral.

As conclusões obtidas no nosso estudo devem ser interpretadas considerando que foram analisados dados de monitoramento de apenas uma rodovia durante um ano. Para a indicação de esforços mínimos a serem aplicado, seria interessante analisar dados de outras rodovias e ver se encontramos um padrão geral que indique um esforço adequado para todos (ou quase todos) os estudos de avaliação de padrão espacial nas rodovias. Isso auxiliaria os órgãos ambientais licenciadores a indicarem o esforço amostral necessário para a avaliação espacial de atropelamentos nos casos de licenciamentos de rodovias.

Neste trabalho concluímos que, para a rodovia Rota do Sol, a partir do conjunto de dados mensal que considerou apenas o primeiro dia de monitoramento foi obtido um valor alto de correlação (0,89), indicando que o monitoramento em dias consecutivos quando o monitoramento é mensal não deve ser importante para aumentar a estabilidade. Ou seja, nos próximos monitoramentos realizados nesta rodovia, poderiam ser indicados monitoramentos mensais de um dia ao invés de mensais de quatro dias, desse modo seriam poupados tempo e recursos. Outra conclusão a que podemos chegar, mais abrangente do que a anterior, é a necessidade de incorporarmos ao planejamento do monitoramento da fauna atropelada a avaliação do efeito do esforço que foi realizado.

REFERÊNCIAS

- Bager, A. & Rosa, C. A. da. 2011. Influence of sampling effort on the estimated richness of road-killed vertebrate wildlife. *Environmental Management*, 47(5):851-858.
- BRASIL, Instrução Normativa IBAMA nº 13, de 19 de julho de 2013. Brasília, DF. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil* nº 140, de 23 de julho de 2013. Seção 1, p. 62-140.
- Clevenger, A. P.; Chruszcz, B.; Gunson, K. E. 2003. Spatial patterns and factors influencing small vertebrate fauna road-kill aggregations. *Biological conservation*, 109:15-26.
- Coelho, I. P.; Kindel, A.; Coelho, A. V. O. 2008. Roadkills of vertebrate species on two highways through the Atlantic Forest Biosphere Reserve, Southern Brazil. *European Journal of Wildlife Research*, 54(4):689-699.
- Coelho, I. P.; Kindel, A.; Coelho, A. V. P. 2011. SIRIEMA. Spatial Evaluation of Road Mortality Software. User's Guide V.1.1. UFRGS, Porto Alegre, Brazil.
- Forman, R. T. T. & Alexander, L. E. 1998. Roads and their major ecological effects. *Annual Review of Ecology and Systematics* 29:207-231.
- Forman, R. T. T.; Bissonette, J. A.; Clevenger, A. P.; Cutschall, 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. 2003. Road ecology: Science and Solutions. *Island Press: Washington, DC*. 481p.
- Glista, D. J.; DeVault, T. L.; DeWoody, J. A. 2009. A review of mitigation measures for reducing wildlife mortality on roadways. *Landscape and Urban Planning*, 91(1):1-7.
- Jackson, N. D. & Fahrig, L. 2011. Relative effects of road mortality and decreased connectivity on population genetic diversity. *Biological Conservation*, 144:3143-3148.
- Malo J.E.; Hervás, I.; Herranz, J.; Mata, C.; Suárez, F. 2006. How many days to monitor a wildlife passage? Species detection patterns and the estimation of the vertebrate fauna using crossing structures at a motorway. In: *Proceedings of the 2005*

International Conference on Ecology and Transportation, Eds. Irwin CL, Garrett P, McDermott KP. Center for Transportation and the Environment, North Carolina State University, Raleigh, NC: pp. 406-413.

Malo, J. E.; Suárez, F.; Díez, A. 2004. Can we mitigate animal-vehicle accidents using predictive models? *Journal of Applied Ecology*, 41:701-710.

MMA (Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal). 2000. Avaliação e ações prioritárias para a conservação da biodiversidade da Mata Atlântica e Campos Sulinos. *Conservation International Brasil, Fundação SOS Mata Atlântica e Fundação Biodiversitas, Brasília*. 46p.

Pillar, V. P. 2006. *Multivariate Exploratory Analysis, Randomization Testing and Bootstrap Resampling User's Guide v.2.4*. UFRGS.

Santos, S. M.; Lourenço, A.; Marques, J. T.; Medinas, D.; Mira, A. 2012. Hotspots maps of roadkills: how important is the sampling frequency? In: *Infra Eco Network Europe: International Conference – Safeguarding Ecological Functions Across Transport Infrastructure*, 2012. Berlin-Potsdam, Germany: Swedish Biodiversity Centre, 2012. p. 145. a57. Disponível em: http://iene2012.iene.info/wp-content/uploads/2013/07/IENE2012_Proceedings.pdf. Acesso em: 20 nov. 2013.

Seiler, A. 2005. Predicting locations of moose-vehicle collisions in Sweden. *Journal of Applied Ecology*, 42:371-382.

STATSOFT, INC. 2004. STATISTICA (data analysis software system), version 6. www.statsoft.com.

Taylor, B. D & Goldingay, R. L. 2010. Roads and wildlife: impacts, mitigation and implications for wildlife management in Australia. *Wildlife Research*, 37:320-331.

Teixeira, F. Z.; Kindel, A. 2012. Atropelamentos de animais silvestres na Rota do Sol: como minimizar esse conflito e salvar vidas? In: *Gestão ambiental e negociação de conflitos*, Org. Printes, R. C. Porto Alegre: Corag, 2012. cap. 5, p. 75-94.

Teixeira, F. Z.; Coelho, I. P.; Esperandio, I. B.; Oliveira, N. R.; Peter, F. P.; Dornelles, S.S.; Delazeri, N. R.; Tavares, M.; Martins, M. B.; Kindel, A. 2013. Are road-kill hotspots coincident among different vertebrate groups? *Oecologia Australis*, 17(1):36-47.