

ANÁLISE ESPACIAL DA AVIFAUNA E SUA CORRELAÇÃO COM INDICADORES AMBIENTAIS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO UNA (SP)

Avifauna space analysis and its correlation with environmental indicators in the watershed of Una River (SP)

Jomil Costa Abreu Sales*
Darllan Collins da Cunha e Silva**
Roberto Wagner Lourenço*

***Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho - UNESP / Sorocaba, São Paulo**
jomilc@gmail.com
robertowl@sorocaba.unesp.br

****Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho - UNESP / Registro, São Paulo**
darllanamb@yahoo.com.br

RESUMO

A fragmentação de habitats e o isolamento de populações é uma das ameaças mais sérias à biodiversidade. Tais alterações afetam potencialmente a composição e a abundância de espécies da avifauna. Portanto, o objetivo do presente trabalho foi investigar como a biodiversidade se comporta em relação à matriz da paisagem para melhor compreender os processos de fragmentação florestal. Para isso, foram aplicadas técnicas de geoprocessamento, que permitiram avaliar fragmentos florestais quanto à forma e pressão das atividades antrópicas exercidas no seu entorno. Além das variáveis observadas foi realizado um levantamento da avifauna nas 15 unidades florestais estudadas. Como resultado foram observados 147 espécies de aves, com abundância de 6 mil indivíduos. Foi realizado um teste de regressão linear múltipla com os índices ecológicos e os valores de riqueza e abundância de aves, para avaliar a ocorrência de correlação entre as variáveis. Foi comprovada existência da relação entre o aumento ou diminuição do número de espécies com a abundância das aves, no entanto, não há relação direta entre a forma geográfica, NDVI, tipo de uso do solo associado ao fragmento ou nível de pressão antrópica das áreas florestadas com a riqueza e abundância de aves. Diante da complexidade de um ecossistema, é de fundamental importância o aprofundamento nos estudos de outras variáveis ambientais, a fim de encontrar um modelo matemático que permita estimar com maior eficiência a diversidade animal em função das características do ambiente.

Palavras-chave: Fragmentos florestais. Geoprocessamento. Biodiversidade. NDVI.

ABSTRACT

Fragmentation of habitats and isolation of populations is one of the most serious biodiversity threats. Such changes may affect the composition and abundance of avifauna species. Therefore, the aim of the present work was to investigate how biodiversity behaves in relation to the landscape matrix for a better understanding of the forest fragmentation processes. Thus, geoprocessing techniques were used to allow the evaluation of forest fragments regarding as to the form and pressure of the anthropic activities carried out in their surroundings. In addition to the observed variables, a survey of the avifauna was carried out in 15 forest units. As a result, 147 bird species were observed, with an abundance of 6,000 individuals. To evaluate the occurrence of correlation between the variables, a multiple linear regression test was performed with the ecological indexes and the values of richness and abundance of birds. Proven relationship between the increase or decrease in the number of species with the abundance of the birds was found. Additionally, no direct relationship between geographic form, NDVI, type of soil used in the fragments or level of anthropic pressure of forested areas with richness and abundance of birds. Considering the complexity of a whole ecosystem, it is essential to deepen

the studies of environmental variables in order to find a mathematical model which allows a more efficient estimation of animal diversity according to the characteristics of the environment.

Keywords: Forest fragments. Geoprocessing. Biodiversity. NDVI.

1. INTRODUÇÃO

A fragmentação de remanescentes florestais é considerada um dos principais fatores para a perda de espécies, levando grande parte da vasta biodiversidade das florestas a se tornarem ameaçadas de extinção, como a Mata Atlântica, atualmente um dos biomas mais ameaçados do mundo (CANALE et al., 2012).

Responsável pelo aumento da fragmentação das florestas, o crescimento das áreas urbanas tem como consequência outro fenômeno, o efeito de borda, que é o resultado da redução de habitats e perda de espécies locais em função da expansão antrópica e consequente aumento do isolamento dos remanescentes florestais (CORRÊA et al., 2011).

Pode-se acrescentar que, em longo prazo, o efeito de borda antecipa a extinção local, afetando as populações das espécies da fauna e flora e acarretando mudanças nos processos ecológicos, como a polinização, predação, comportamento territorial e hábitos alimentares das espécies remanescentes, causando alterações nos padrões de atividade e intensidade de frutificação (LOURENÇO et al., 2015; OLIVEIRA et al., 2016).

Por sua vez, as aves constituem o grupo de vertebrados mais estudados, devido aos seus hábitos alimentares e padrões populacionais, sendo de extrema importância para o equilíbrio ecológico. Atuam na dispersão de sementes e na verificação das condições de um determinado ambiente, pois são especialmente vulneráveis à perda de habitat. Desta forma acabam atuando como bioindicadores, servindo como base para planos de manejo de áreas de proteção (PENSE; CARVALHO, 2005; LIAO, 2013).

O estabelecimento de uma comunidade de aves está intrinsecamente relacionado com a cobertura vegetal (AMBUEL; TEMPLE, 1983). Nesse sentido, as áreas verdes desempenham um papel importante na manutenção da avifauna em zonas urbanas, uma vez que parques e praças podem ser utilizados como refúgios ou “ilhas” para as espécies que, pressionadas pela degradação ambiental das áreas naturais, consigam se ajustar às pressões da urbanização (FRANCHIN, 2009).

A ecologia da paisagem é uma perspectiva científica multidisciplinar consolidada, que compreende e ajuda a resolver alguns dos principais desafios ambientais contemporâneos na conservação da diversidade biológica baseado na hipótese de que as interações entre os componentes bióticos e abióticos são espacialmente mensuráveis (MARENZI; RODERJAN, 2005; RIBEIRO et al., 2009).

As muitas medidas quantitativas de composição da paisagem, conhecidas como métricas ou indicadores de paisagem ganham cada vez mais atenção, na medida em que ajudam a compreender a estrutura complexa da paisagem e a forma como esta influencia determinadas relações ecológicas (NUCCI, 2007; GOERL et al., 2011; YUAN; PAUDEL, 2012).

Associando os métodos quantitativos e a tecnologia, o geoprocessamento é um instrumento fundamental para o auxílio na interpretação dos dados obtidos através da paisagem (SANTOS; PENA, 2011; LOURENÇO et al., 2015). Tais técnicas e análises auxiliam no entendimento dos efeitos da urbanização nas populações nativas de avifauna (ALMEIDA, 2000; CHACE, 2006).

Assim, a integração entre estudos da ecologia da paisagem, biologia da conservação, ecologia da restauração por meio da modelagem espacial, utilizando os Sistemas de Informações Geográficas pode contribuir significativamente no desenvolvimento de práticas ambientais voltadas para a manutenção e recuperação da biodiversidade auxiliando na gestão de paisagens para a conservação biológica e uso dos recursos naturais ecologicamente sustentáveis (LINDENMAYER, 2008; OLIVEIRA et al., 2016).

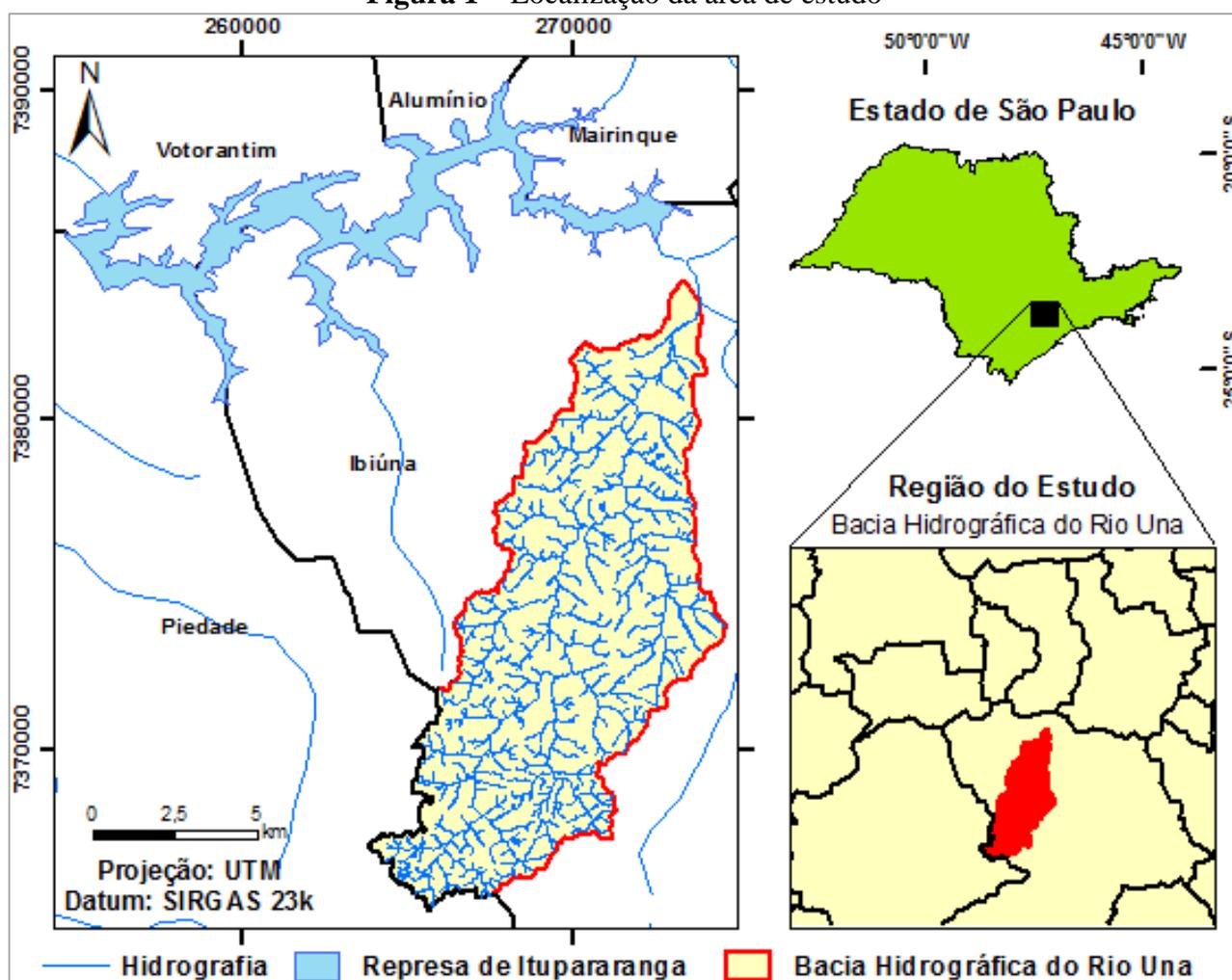
Neste contexto, o presente trabalho tem o objetivo de identificar se há correlação espacial entre as espécies da avifauna com a situação em que se encontram os fragmentos florestais da Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna/SP. Para isso, foi estudada a relação de dependência entre a diversidade e abundância das espécies da avifauna e as métricas da paisagem que compõem o Índice de Exposição Antrópica (IEA) e a qualidade florestal, através do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) dos fragmentos utilizando técnicas de geoprocessamento.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Área de Estudo

A Bacia Hidrográfica do Rio Una faz parte da décima Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Sorocaba e Médio Tietê (UGHRI 10), localizada no interior do Estado de São Paulo a aproximadamente 75 km da capital do Estado, entre os municípios de Ibiúna e Piedade (Figura 1), conforme carta de São Roque SF-23-Y-C-V-2 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 1979). Suas águas contribuem para garantir a regularidade hídrica do reservatório de Itupararanga. Visto que é um dos mais importantes mananciais de captação de água da região, a área de estudo possui significativa importância, uma vez que abastece uma população estimada em mais de 1,5 milhões de pessoas, além de conter extensas faixas de matas nativas e estágios diversificados de regeneração (CAVANI; ALBUQUERQUE-FILHO, 2008; SILVA et al., 2016).

Figura 1 – Localização da área de estudo



Fonte: Silva et al. (2016)

2.2. Obtenção e tratamento de dados

A base cartográfica digital foi elaborada contendo informações relevantes sobre os limites da área de estudo, rede hidrográfica, curvas de nível e pontos cotados e demais informações relevantes que serviu para o reconhecimento cartográfico da área.

A partir das informações vetoriais foi realizada a compartimentação morfométrica da bacia hidrográfica do Rio Una, segmentando a área de estudo em três unidades estruturais, sendo elas, Baixo, Médio e Alto Una.

As áreas de cobertura vegetal foram segmentadas com o intuito de identificação de unidades amostrais para o levantamento da diversidade e riqueza das espécies da avifauna. Foi utilizado o SIG ArcGIS 10.3 para o tratamento e análise das imagens de satélite.

As unidades amostrais foram selecionadas de acordo com a sua localização geográfica, tamanho e composição vegetal. Nesta etapa foi utilizado o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) para identificar os fragmentos com características florestais mais homogêneas e de maior vigor vegetativo.

O NDVI foi elaborado a partir das bandas do infravermelho próximo e do vermelho segundo a fórmula (1):

$$NDVI = \frac{(NIR - VIS)}{(NIR + VIS)} \quad (1)$$

Sendo:

NDVI = Índice de Vegetação por Diferença Normalizada;

NIR = Banda do infravermelho próximo;

VIS = Banda do vermelho no comprimento do visível do sensor SPOT 5.

Foram selecionados 15 fragmentos com área superior a 10 hectares para levantamento de avifauna, considerando-se a homogeneidade florestal detectada no mapa de NDVI, a distribuição dos níveis altimétricos e declividades, subprodutos do mapa de relevo, e de acordo com o perfil topográfico longitudinal elaborado a partir das curvas de nível.

2.3. Índice de Exposição Antrópica (IEA)

O Indicador de Exposição Antrópica (IEA) foi criado a partir do Índice de Circularidade (IC) e do Índice de Efeito de Borda (IEB). A esses índices, foram estipulados pesos referentes à importância de cada um no fator de sustentabilidade dos fragmentos frente à exposição às atividades antrópicas desenvolvidas no seu entorno.

Segundo Viana e Pinheiro (1998), o IC é utilizado para demonstrar o potencial de interferência de seu entorno pela característica da forma circular ou alongada do fragmento. Este índice não se considera a importância ecológica do fragmento, apenas classifica-o quanto a sua geometria.

Os valores de IC são calculados em um intervalo entre 0 e 1, sendo que os valores que se aproximam de 1 indicam fragmentos com tendência a uma forma circular, e à medida que este valor se torna menor, o fragmento apresenta uma forma mais alongada.

Para avaliar o efeito causado pelo tipo de atividade antrópica desenvolvida no entorno dos fragmentos, foi calculado o Índice de Efeito de Borda (IEB) de Lourenço et al., (2014).

Este índice foi desenvolvido com base na medida da superfície de contato imediato dos diferentes tipos de uso do solo com o perímetro dos fragmentos, atribuindo-se pesos de acordo com seu grau de importância e de prejuízo, para as 9 classes de uso do solo (Tabela 1).

Os pesos variam de acordo com o número de classes de uso do solo e cobertura vegetal, ou seja, de 0 a 1, segundo a definição de importância e prejuízo (LOURENÇO et al., 2014).

Tabela 1 – Pesos atribuídos às classes de uso do solo

Uso do Solo	Valores
Matas	0
Ecosistemas Aquáticos	0
Campos Sujos	0,15
Agricultura de longo período	0,35
Pastagem	0,45
Agricultura de curto período	0,60
Solo exposto	0,75
Edificações Rurais	0,75
Edificações Urbanas	1

Para o cálculo da equação de exposição antrópica, o IC recebeu peso 1, enquanto que o IEB recebeu peso 2. Como o valor de IEB varia de 0 a 1 sendo 0 a condição de maior proteção, será subtraído 1 do valor do IEB, assim o IEA terá variação de 0 a 1, sendo 0 o cenário de maior exposição aos efeitos das atividades antrópicas sobre o fragmento e 1 o cenário de menor pressão das atividades antrópicas (LOURENÇO et al., 2014).

Portanto, o IEA é a média ponderada dos valores do IC e IEB como mostrado a seguir (Equação 2).

$$IEA = \frac{1 \times \left(\frac{2\sqrt{\pi A}}{P} \right) + 2 \times \left(1 - \left[\frac{Pu \times Pi}{P} \right] \right)}{3} \quad (2)$$

Sendo:

IEA = Indicador de Exposição Antrópica;

A = Área do fragmento;

P = Perímetro do fragmento;

Pu = Perímetro do uso do solo no entorno do fragmento;

Pi = peso atribuído a classe de uso do solo

2.4. Diversidade e riqueza das espécies da avifauna

O levantamento da avifauna foi realizado pelo método clássico de observação direta. As observações das espécies foram realizadas com auxílio de dois binóculos um com lentes de 50 mm e potencial de aumento de 4x, e outro de 50 mm com aumento de 10x e zoom ótico de 30x além da técnica de *playback*, para atrair as aves (POZZA; PIRES, 2003).

Para a identificação das espécies foram utilizados os Guias de Campo Aves da Grande São Paulo - Guia de Campo (BECKER; DALPONTE, 1991) e Avis Brasiliis: Avifauna Brasileira (SIGRIST, 2013). Foram realizadas quatro repetições amostrais de 8 horas nos horários matutino e vespertino em cada uma dos fragmentos nas quatro primeiras horas do dia e quatro horas no período da tarde encerrando sempre com o pôr-do-sol nos meses de verão e primavera (BECKER; DALPONTE, 1991; DEVELEY; MARTENSEN, 2006; CARVALHO-JÚNIOR; LUZ, 2008).

2.5. Análise da correlação entre as variáveis estudadas

É um conjunto de métodos que permite a análise simultânea de medidas múltiplas para cada objeto em análise, ou seja, permite a análise simultânea de duas ou mais variáveis (HAIR et al., 2009).

Assim, para relacionar a riqueza da avifauna (número de espécies - Ne) em função da abundância (número de indivíduos - Ni), IEA e NDVI das unidades amostrais, foi utilizada uma análise de regressão linear múltipla para gerar uma equação com variáveis independentes que possam explicar a variação de uma variável dependente (Equação 3).

$$Y = a + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 \quad (3)$$

Onde: Y é a variável dependente dos eventos relacionados com o Número de Espécies (Ne), enquanto, o Número de Indivíduos (Ni), IEA e o NDVI (x_1 , x_2 , e x_3) são as variáveis independentes, onde a é o intercepto e (b_1 , b_2 , e b_3) são os coeficientes individuais de explicação das variáveis independentes, que definem o aumento (ou diminuição) da influência na variável Y . Para avaliar a significância do teste foi utilizada a distribuição de probabilidade de F para um nível de decisão $\alpha=0,05$, utilizando o *software* Bioestat 5.3 (SILVA et al., 2014).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Como resultado da construção de uma base de dados digitalizada e da compartimentação morfométrica da área de estudo, foi possível obter o mapa de uso do solo e cobertura vegetal da bacia hidrográfica do Rio Una.

Em uma análise geral da bacia, a classe de uso do solo e cobertura vegetal mais presente ao longo da Bacia Hidrográfica é de matas, que corresponde aproximadamente a 41% da área de estudo, o que indica que a Bacia Hidrográfica está bem preservada. Entretanto, a área ocupada por agricultura de curto período (culturas temporárias) é relativamente alta e corresponde a aproximadamente 23% da área de estudo, indicando que a Bacia Hidrográfica é predominantemente rural e está sujeita a processos erosivos devido à rotatividade de culturas em expor o solo a processos erosivos de origem hídrica.

De acordo com as unidades morfométricas, foi observada a presença predominante de área urbana seguida de áreas de agricultura de curto período e campos sujos na região do Baixo Una, região norte da bacia localizada próximo ao centro urbano de Ibiúna.

Aproximadamente 75% das áreas ocupada por agricultura de curto e longo período estão localizadas no Médio Una, além de edificações rurais e campos sujos. Ao sul da bacia, aproximadamente 50% das áreas de pastagem de toda a bacia estão localizadas no Alto Una, além de 551 hectares de área florestal, representando 48% da área total de matas, com pouca presença de agricultura de longo e curto período é a região mais conservada da bacia.

3.1. Seleção dos fragmentos florestais

Após a obtenção do mapa de usos do solo e cobertura vegetal, a aplicação do NDVI na classe de uso do solo denominada matas, auxiliou na seleção dos fragmentos florestais mais homogêneos, baseados nos valores da média e desvio padrão do NDVI.

O NDVI é uma ferramenta que permite o monitoramento da vegetação podendo ser utilizado para detectar variações na fenologia, crescimento, mudanças fisiológicas das folhas e períodos de senescência em escala regional, continental e global (FODDY et. al., 2003; LU et. al., 2005; PONZONI, 2007).

As Figuras 2, 3 e 4 mostram as respectivas regiões do Baixo, Médio e Alto Una e os respectivos fragmentos selecionados como unidade amostral.

Figura 2 – NDVI do Baixo Una e unidades amostrais

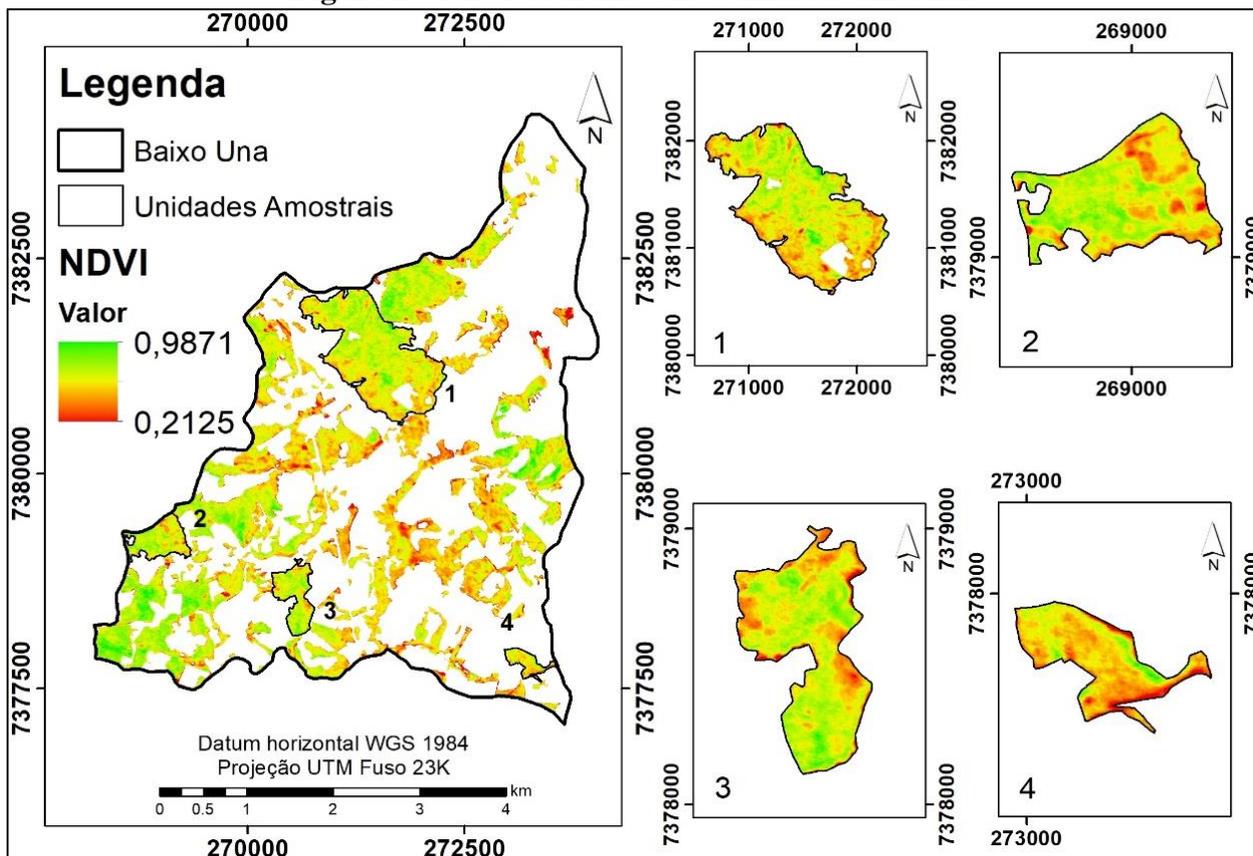


Figura 3 – NDVI do Médio Una e unidades amostrais

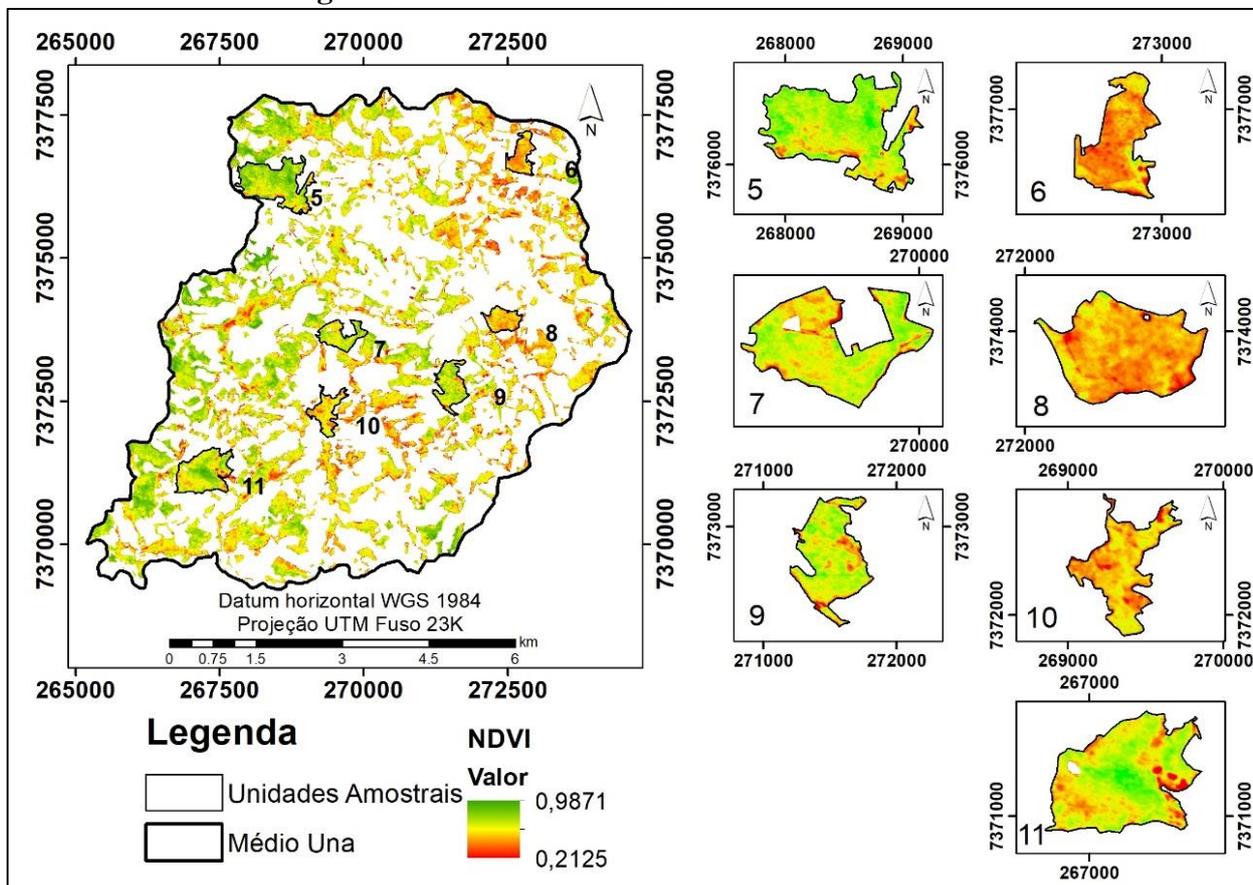
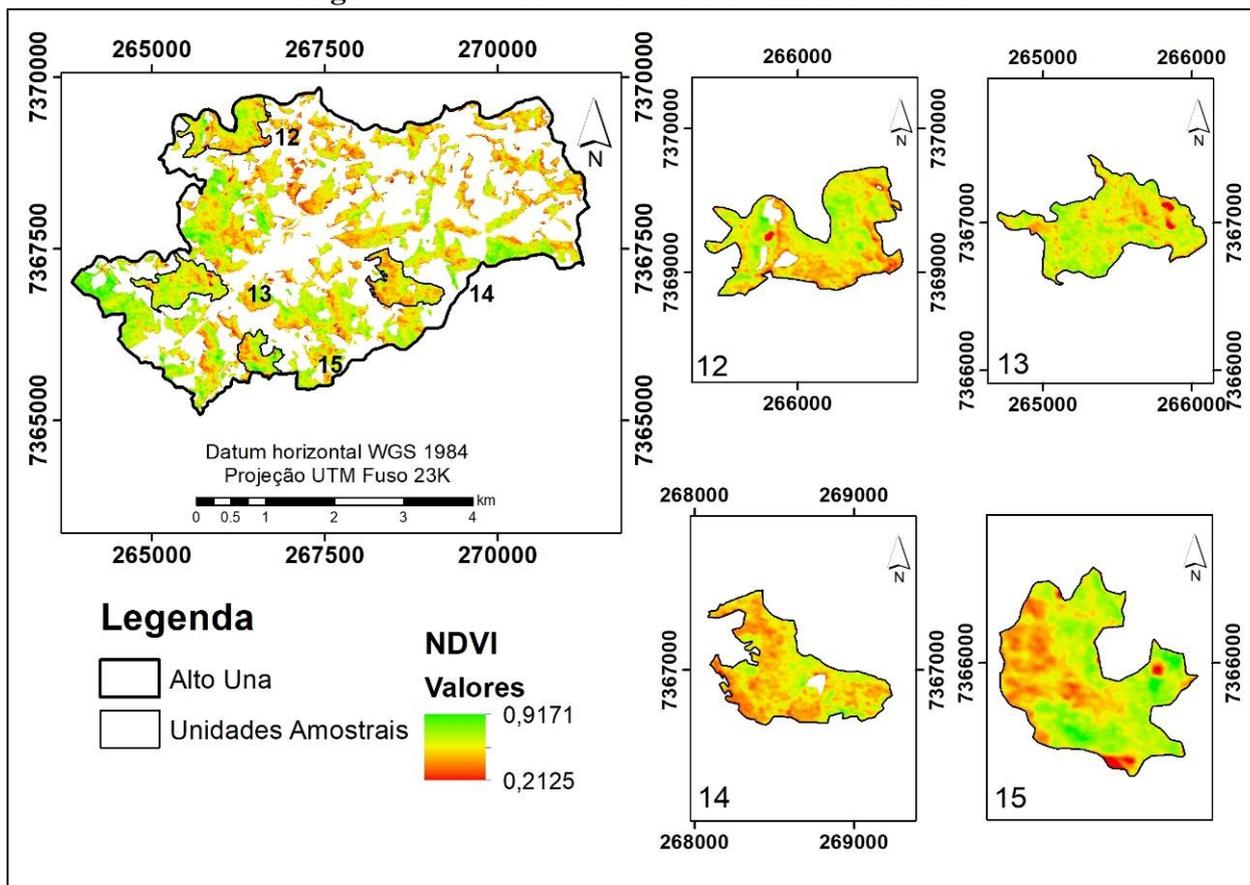


Figura 4 – NDVI do Alto Una e unidades amostrais

De acordo com a Weier e Herring (2000) os valores de NDVI variam de (-1) a (+1), entretanto para utilizar os valores de NDVI em correlações estatísticas, os resultados foram normalizados, variando entre 0 e 1, sendo zero a ausência total de vegetação e 1 vegetação em estágio avançado de regeneração ou climácicas.

Conforme Yang et al (2015), o NDVI têm sido amplamente aceitos como uma abordagem promissora para a monitorização da mudança dinâmica da vegetação.

3.2. Índice de Exposição Antrópica (IEA)

O índice de circularidade ou da relação borda/interior foi determinado para avaliar a tendência da forma de um fragmento. A importância dessa análise para os estudos de dinâmica e estruturas de fragmentos florestais evidencia-se na possibilidade de indicar o nível de proteção de seu interior em relação ao efeito de borda.

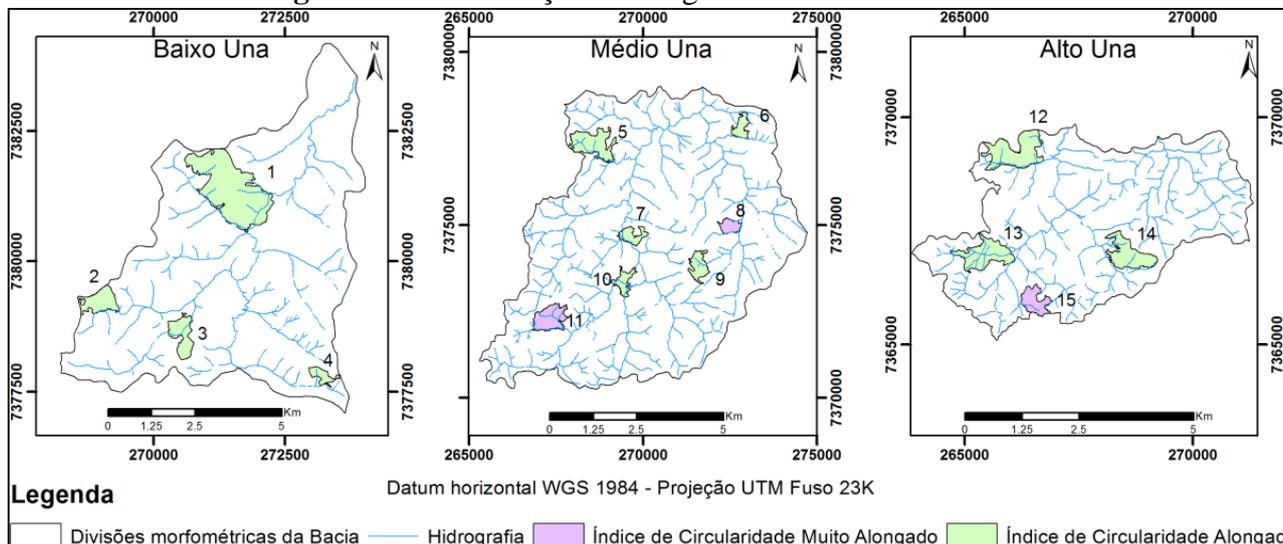
Portanto, apenas os fragmentos 8, 11 (Médio Una) e 15 (Alto Una), foram classificados como fragmentos alongados, pois apresentaram um IC entre 0,6 e 0,8. Os demais fragmentos apresentam IC inferior a 0,6, sendo classificados como muito alongados. O fragmento 10, localizado no Médio Una, é a unidade mais frágil, com IC de 0,45, conforme é possível observar na Figura 5.

O IEB é resultado da soma dos respectivos pesos de cada classe de uso do solo, sendo a soma total dos valores igual a 1. Atribuindo-se características de maior restrição à conservação ambiental, fragmentos com valores próximos a 1 e 0 para as categorias de menor impacto ambiental. Portanto, os valores menores que 0,3 foram classificados como fragmentos de Baixa Pressão Antrópica, os valores maiores que 0,3 e menor ou igual a 0,7, foram considerados de Média Pressão Antrópica.

O IEB é resultante da fragmentação e causa a redução de habitats e perda de espécies locais em função do aumento do isolamento dos remanescentes florestais (LAURENCE; YENSEM, 1991).

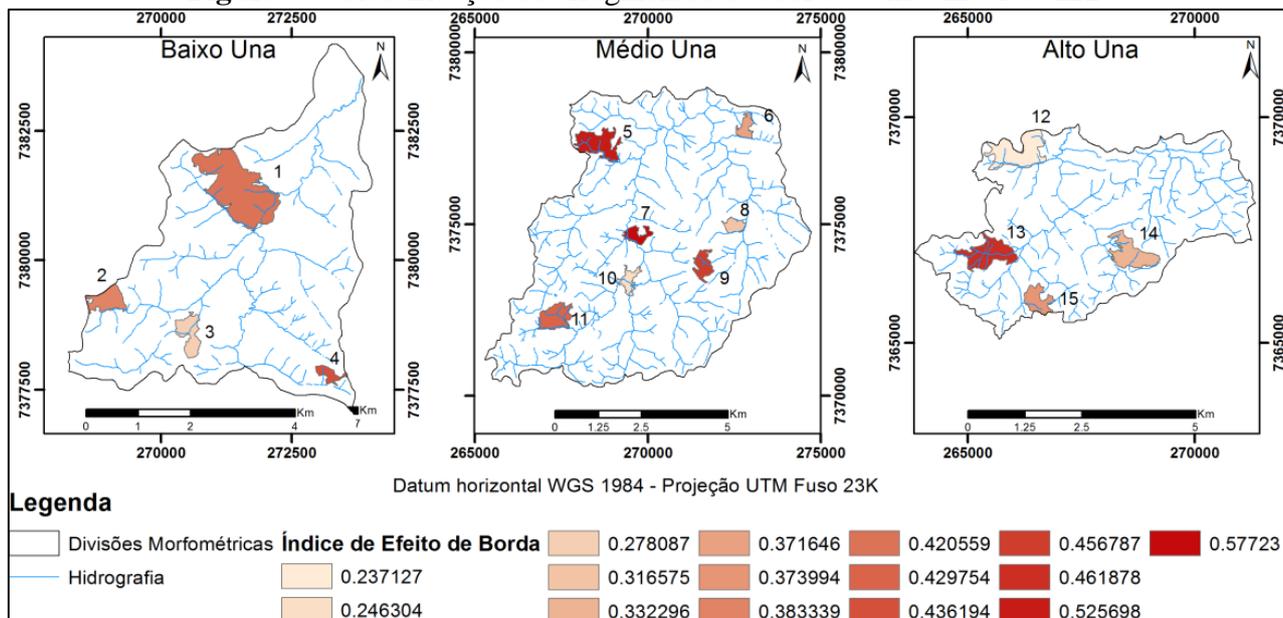
O efeito de borda causado pelo isolamento também é capaz de afetar o microclima local e as interações abióticas, como mudanças na incidência solar, padrões de umidade e vento nas bordas dos fragmentos, também causam potencial perturbação nos padrões de comportamento da biodiversidade (BARRERA, 2004).

Figura 5 – Classificação dos fragmentos de acordo com IC



A Figura 6 mostra os fragmentos florestais e seus respectivos valores de IEB. Podendo ser observado que os fragmentos com maior interferência do seu entorno são os que estão localizados no Médio Una e os fragmentos 1 e 4 do Baixo Una. Isso deve-se ao fato que os fragmentos do Médio Una estão cercados por áreas predominantemente de agricultura e pastagem, assim como os respectivos fragmento do Baixo Una estão localizadas próximo ao centro urbano do município.

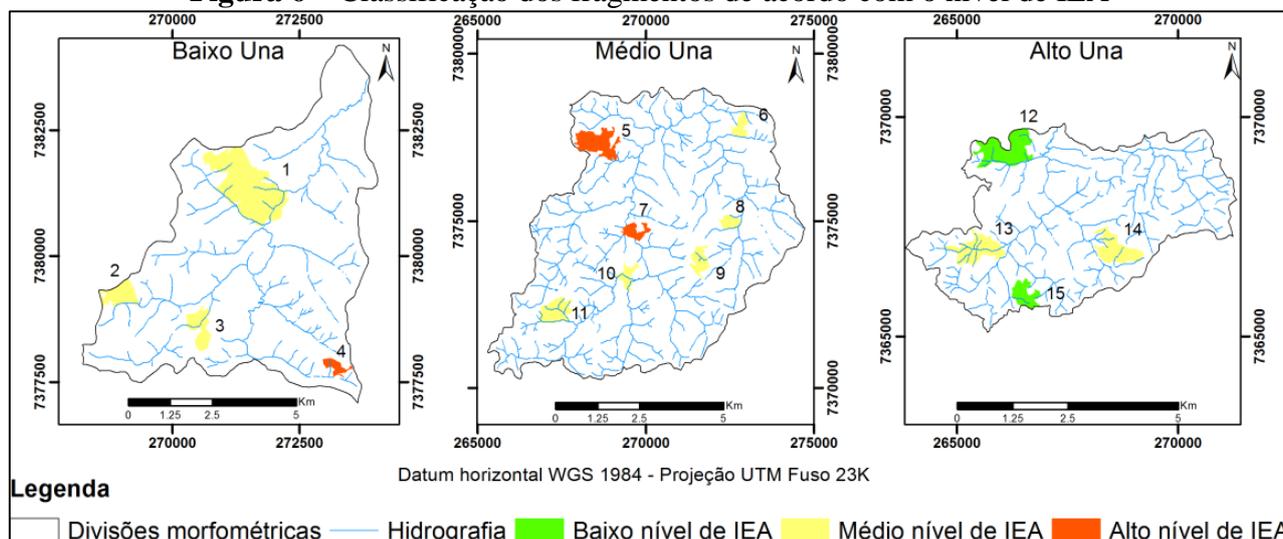
Figura 6 – Classificação dos fragmentos de acordo com o nível de IEB



O Indicador de Exposição Antrópica (IEA) é gerado a partir dos Índices de Circularidade e de Efeito de Borda. A Figura 7 mostra que de acordo com os resultados foi possível classificar os

fragmentos com valores entre 0 e 0,4 como fragmentos de baixa exposição antrópica, valores de 0,4 a 0,7 sendo de média exposição antrópica e valores acima de 0,7 alta exposição.

Figura 6 – Classificação dos fragmentos de acordo com o nível de IEA



Os fragmentos 2, 3, 6, 11, 12 e 15 foram classificados como de média exposição antrópica. As oito unidades restantes foram classificadas como alta exposição antrópica, pois nenhum dos fragmentos foi classificado como baixa exposição.

Em um trabalho semelhante, realizado no município de Sorocaba/SP, Lourenço et al. (2014), identificaram que 50% dos fragmentos florestais avaliados na região administrativa de Sorocaba foram classificados como sendo de médio e alta exposição antrópica, o autor ressalta que essas áreas merecem atenção especial, pois são limitadas e pressionadas de forma intensa por diferentes tipos de usos de solo, que acabam por limitar a regeneração natural florestal, impedindo a conectividade entre fragmentos e consequentemente afetando a diversidade local.

3.3. Estudo da diversidade e riqueza das espécies da avifauna

Com relação às espécies da avifauna, foram observadas 147 espécies, com abundância de 6.086 indivíduos visualizados. As espécies são representadas por 43 Famílias de 18 Ordens diferentes. Dentre as famílias, a que teve o maior Número de Espécies (Ne) avistadas foi a TYRANNIDAE com 23 espécies. Uma das principais características dessa família é o forrageamento, essencialmente alimentam-se de insetos, predominantemente de artrópodes, mas algumas espécies são frugívoras, granívoras e carnívoras.

As espécies com maior abundância e frequência de avistamentos foram *Pitangus sulphuratus* (Bem-te-vi), *Tyrannus melancholicus* (Suiriri) e *Tyrannus savana* (Tesoura), além de terem sido registradas em ambientes diversos como campo abertos, áreas mais urbanizadas e borda de matas.

Segundo Sigrist (2013), essas são uma das três espécies mais representativas da família Tyrannidae do Brasil, e por serem espécies pouco exigentes, conseguem se adaptar muito bem em uma variedade de ambientes, por exemplo, bordas de matas, clareiras de florestas, capoeiras, plantações, eucaliptais, cerrados, caatinga, pastos sujos, mangues, parques e ambientes antropizados.

Os representantes da família TYRANNIDAE, são geralmente insetívoros, mas apesar disso, algumas espécies como *Pitangus sulphuratus* são oportunistas e se alimentam também de peixes, ovos e até mesmo restos de alimentos e dessa forma conseguem se adaptar em qualquer ambiente, diferentemente das outras espécies que são mais especialistas, portanto, mais dependentes de ambientes abundantes em insetos (SICK, 1997).

A segunda família mais avistada foi a THRAUPIDAE, com o avistamento de 10 espécies diferentes. Esta família representa um vasto grupo composto principalmente de aves de copa, que ocorrem em bordas de florestas e áreas semi-abertas, com forrageamento em grupo e hábitos onívoros. Portanto, trata-se também de uma família com características generalistas, pouco exigentes com relação aos seus habitats (SIGRIST, 2009).

As espécies avistadas com maior frequência foram *Thraupis sayaca* (Sanhaçu-cinzeno) que ocorrendo em áreas antrópicas, jardins e bordas de mata e *Conirostrum bicolor* (Figurinha-do-rabo-castanho), ocorrendo em áreas de matas abertas e matas mesófilas. A família compreende um grupo de aves onívoras e seu forrageamento ocorre em grupos (casais, grupos gregários e até mesmo bandos mistos), além de solitariamente. Suas principais fontes de alimento são frutos, néctar e insetos (SIGRIST, 2009).

A terceira mais abundante, com 8 espécies cada, foram as famílias THROCHILIDAE e PICIDAE. Os THROCHILIDAE representam o grupo numericamente e ecologicamente dominante nas interações aves-flores na região Neotropical, onde desempenham um importante papel na polinização de diversas angiospermas, pois possuem hábitos nectarívoros e insetívoros, apresentando fácil adaptação em áreas antropizadas (MENDONÇA; DOS ANJOS, 2005).

A família PICIDAE é a família dos pica-paus. Possui hábito alimentar predominantemente insetívoro, alimentam-se de larvas, frutos, sementes e mel. Caçam insetos, especialmente sob a casca. Atacam ninhos de marimbondos e vespas.

Vivem em áreas campestres, pastos, eucaliptais, capoeiras ralas, buritizais, plantações, áreas rurais e bordas de mata. Vive também em cidades, parques, jardins, pomares, bordas de brejos arborizados, vive solitário ou aos pares dependendo da espécie (SICK, 1997).

A espécie mais abundante dessa família foi a *Melanerpes candidus* (Pica-pau-branco), sempre avistado em áreas de campo sujo e bordas de mata.

As famílias COLUMBIDAE e EMBEREZIDAE apresentaram 7 espécies cada uma. As pombas e os pardais representantes respectivos a cada uma das famílias também possuem hábitos associados a áreas antropizadas, campos e bordas de mata. A família ACCIPITRIDAE apresentou 6 espécies, tratam-se de predadores presentes em todo tipo de habitat.

Assim, baseado na riqueza de espécies acima, houve o predomínio de espécies generalistas, das quais, estão amplamente associadas à ocupação humana como áreas urbanas, áreas rurais, bordas de mata e áreas de campo sujo. Tais espécies representam 47,6% do total de espécies observadas.

As outras espécies que se distribuem pelas unidades amostrais, são representantes das famílias: ARDEIDAE, CUCULIDAE, FALCONIDAE, FURNARIDAE, HIRUNDINIDAE, ICTERIDAE, PAVONIDAE, PIRIDAE, PSITACIDAE, RALLIDAE e TURDIDAE não havendo grande variação na diversidade de espécies encontradas entre os fragmentos florestais, representam espécies com hábitos específicos de ambientes aquáticos, interiores de mata, matas mesófilas e dossel florestal.

Desta forma, analisando a bacia hidrográfica por setores, foi possível observar que a região com maior número de espécies observadas foi o Alto Una, com destaque para o fragmento número 15, onde foram observadas 80 espécies diferentes.

3.4. Análise da correlação entre as variáveis estudadas

A análise de regressão linear múltipla de uma forma geral refere-se a todos os métodos estatísticos que analisam simultaneamente múltiplas medidas em cada indivíduo ou objeto sob investigação (HAIR et al., 2009). A Tabela 2 mostra o Número de Espécies (Ne), Número de Indivíduos (Ni), Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e o Índice de Exposição Antrópica (IEA), relacionados aos seus respectivos fragmentos.

Tabela 2 – Resultado das variáveis dependentes e independente para a regressão linear múltipla

Rio Una	Fragmentos	Número de sp.	Abundância	NDVI	IEA
Baixo	1	76	809	0,67	0,54
	2	53	487	0,68	0,46
	3	52	449	0,68	0,46
	4	33	482	0,65	0,69
Médio	5	43	538	0,7	0,6
	6	44	430	0,63	0,53
	7	42	508	0,68	0,65
	8	44	776	0,63	0,6
	9	48	487	0,68	0,6
	10	52	634	0,64	0,54
	11	65	788	0,68	0,61
Alto	12	73	780	0,67	0,57
	13	65	656	0,68	0,67
	14	61	563	0,66	0,67
	15	80	624	0,68	0,62

O coeficiente de correlação (r) encontrado foi de 0,7223 ou 72,23%, demonstrando que o número de indivíduos (N_i) é dependente das variáveis NDVI e IEA. Entretanto, constata-se pelo coeficiente de determinação (r^2) que apenas 52,18% da variável dependente (N_e) é explicada pelas variáveis citadas anteriormente. Sugerindo que outros fatores externos, não avaliados no presente estudo possam atuar como preditores do aumento do número de indivíduos, uma vez que o valor de F (Regressão) encontrado foi de 4 com valor muito significativo ($p = 0.03$), rejeitando-se a hipótese de nulidade.

No entanto, houve correlação apenas entre a riqueza e a abundância da avifauna, $p = 0,03$. Ou seja, os números de indivíduos sofrem alteração à medida que cresce a variável abundância. Assim, essa correlação encontrada entre as variáveis estudadas pode ser considerada estatisticamente significante para o presente estudo.

A heterogeneidade ambiental tem sido reconhecida como uma das melhores explicações para a variação na diversidade de espécies (HUSTON, 1994). Diversos estudos desenvolvidos no Brasil (BERNARDE; KOKUBUM, 1999) apontaram que ambientes complexos permitem a coexistência de um número maior de espécies do que ambientes homogêneos, por disponibilizar maior número de microambientes. Entretanto, poucos realmente testaram esta correlação (ETEROVICK, 2003).

Dos Santos et al. (2007) faz um teste de correlação entre a riqueza de espécies de anuros e a complexidade estrutural dos corpos d'água, analisando a correlação da diversidade de espécies e a distância entre corpos d'água e também obteve uma correlação negativa.

Assim como foi averiguado no presente trabalho, onde não houve correlação direta entre abundância e diversidade da avifauna.

Uma das hipóteses a serem assumidas, é que, de acordo com a teoria de Williams (1964) a relação entre o número de espécies é obtida de uma correlação entre a área e a diversidade de habitats. Com o aumento da área também aumentaria a diversidade de habitats, cada um com um conjunto de espécies associadas, resultando em um aumento da riqueza de espécies. A variável do habitat mais relevante é o nível de heterogeneidade da vegetação, comumente estando diretamente relacionado à diversidade de aves.

Segundo Sacco, et al. (2013), em 12 meses de monitoramento, no município de Pelotas-RS, foram contabilizados quase 10.000 registros de aves, o que pode ser considerado um número bastante alto para área urbana. Esse resultado condiz com o padrão já observado em outros estudos que descrevem que a biomassa de aves é maior em áreas urbanizadas (CHACE; WALSH, 2006). O

inventário de aves de Pelotas caracterizou-se também pela dominância em termos numéricos e de baixa diversidade de espécies.

A comparação de dados de riqueza total obtidos em estudos realizados em diferentes pontos geográficos apresenta uma série de dificuldades relacionadas ao fato da riqueza ser uma característica de aglomerações de espécies condicionada por múltiplos fatores. A riqueza de aves em ambiente urbano pode ser influenciada, em primeiro lugar, pela latitude, ou seja, a posição geográfica da cidade, e por características regionais como a altitude, geomorfologia e vegetação característica (SACCO et al., 2013).

Assim, de acordo com os resultados obtidos pode-se interpretar que as variáveis avaliadas não foram o suficiente para explicar a complexidade do ecossistema local da Bacia Hidrográfica do Rio Una, e que a abundância de espécies generalista pode estar associada à proximidade com áreas urbanizadas.

4. CONCLUSÃO

De acordo com a análise dos indicadores ambientais analisados o IEA demonstrou com maior clareza o grau de interferência das atividades do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica, indicando o potencial de vulnerabilidade dos fragmentos.

Com relação aos testes de regressão, não obtiveram correlação positiva entre a riqueza e a abundância de espécies da avifauna. Ou seja, não foi comprovada a existência de relação entre o aumento ou diminuição da diversidade ou riqueza de aves com o aumento ou diminuição no número de aves que frequentam um habitat.

Apesar das técnicas empregadas não ter obtido sucesso na predição da diversidade da avifauna baseado em sua riqueza, um dos resultados secundários desse trabalho permite ter uma análise detalhada dos fragmentos florestais susceptíveis a pressão antrópica.

Desta forma, as técnicas de geoprocessamento e de análise espacial utilizadas podem ser úteis na gestão e na tomada de decisões para a conservação da biodiversidade animal e vegetal. Sendo de fundamental importância o aprofundamento nos estudos de outras variáveis ambientais, a fim de encontrar um modelo matemático que permita estimar com maior eficiência a diversidade animal em função das características morfométricas das áreas estudadas.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, D. S. **Recuperação Ambiental da Mata Atlântica**. Ilhéus: Editus, 2000. 130 p.

AMBUEL, B.; TEMPLE S. A. Area-Dependent Changes in the Bird Communities and Vegetation of Southern Wisconsin Forests. **Ecology**, v. 64, n.5, p.1057-1068. 1983.

BARRERA, L. F. Estructura y Función en Bordes de Bosques. **Ecossistemas**, v. 12, n. 1, p. 67-77, Enero 2004.

BECKER, M.; DALPONTE, J. C. **Rastros de Mamíferos Silvestres Brasileiros: Um guia de Campo**. 2. ed. Brasília: Universidade de Brasília, 1991. 180 p.

BERNARDE, P. S.; KOKUBUM, M. N. C. Anurofauna do Município de Guararapes, estado de São Paulo, Brasil (Amphibia, Anura). **Acta Biologia Leopoldensia**, v.21, n.1, p.89-97, 1999.

CANALE, C. A. et al. Pervasive defaunation of forest remnants in a tropical biodiversity hotspot. **PLoS ONE**, v. 7, n. 8, 2012.

CARVALHO JÚNIOR, O.; LUZ, N. C. **Pegadas**: Série Boas Práticas. Universitária UFPA, 2008. 64 p.

CAVANI, A. C. M.; ALBUQUERQUE-FILHO, J. L. **Plano de Bacias, Mapa Diagnóstico**. Comitê de Bacias Hidrográficas do Rio Sorocaba e Médio Tiete - CBH-SMT e Instituto de Pesquisas Tecnológicas da Universidade de São Paulo. São Paulo. 2008.

CHACE, J. F.; WALSH, J. J. Urban effects on native avifauna: a review. **Landscape And Urban Planning**, v. 74, n. 1, p.46-69, 2006.

CORRÊA, B. S.; PASSAMANI, M.; MOURA, A. S. Avaliação do efeito borda na distribuição da avifauna em fragmentos florestais de Cerrado. **Revista Agroambiental**. v.3, n.3, p. 37-41, 2011.

DEVELEY, P. F.; MARTENSEN, A. C. As aves da Reserva Florestal do Morro Grande (Cotia – SP). **Biota Neotropica**, v.6, n. 2. p. 1- 16, 2006.

DOS SANTOS, T. G.; FERES, D. C. R.; CASATTI, L. Diversidade e distribuição espaço-temporal de anuros em região com pronunciada estação seca no sudeste do Brasil. Iheringia, **Sér. Zool.**, Porto Alegre, v.97, n.1, p.37- 49, 2007.

ETEROVICK, P. C. Distribution of anuran species among montane streams in south-eastern Brazil. **Journal of Tropical Ecology**, v.19, n.1, p.219-228, 2003.

FODDY, G. M.; BOYD, D. S.; CLUTER, M. E. J. Predictive relations of tropical forest biomass from Landsat TM data and their transferability between regions. **Remote Sensing of Environment**. v. 85, p. 463-474, 2003.

FRANCHIN, A. G. **Avifauna em áreas urbanas brasileiras, com ênfase em cidades do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba**. 2009. 147 f. Diss. Tese (Doutorado em Ecologia e Conservação de Recursos Naturais) - Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação de Recursos Naturais, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2009.

GOERL, R. F.; SIEFERT, C. A. C.; SCULTZ, G. B.; SANTOS, C. S.; SANTOS, I. Elaboração e Aplicação de índices de fragmentação e conectividade da paisagem para análise de bacias hidrográficas. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.5, n.1, p.1000-1012, 2011.

HAIR, J. F.; BLACK, W. C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L. **Análise multivariada de dados**. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.

HUSTON, M. A. **Biological diversity**: the coexistence of species on changing landscapes. Cambridge, Cambridge University, 1994. 681p.

IBGE - Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE)**, 1979. Disponível em: <<http://biblioteca.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 17 Abr. 2016.

LAURENCE, W. F.; YENSEM, E. Predicting the impacts of edge effects in fragmented habitats. **Biological Conservation**, v. 55, p. 77-92, 1991.

LIAO, J. et al. Modelling plant population size and extinction thresholds from habitat loss and habitat fragmentation: Effects of neighbouring competition and dispersal strategy. **Ecological Modelling**, v.268, p.9–17. 2013.

LINDENMAYER, D. A Checklist for Ecological Management of Landscapes for Conservation. **Ecology Letter**, v. 11, p. 78-91, 2008.

LOURENÇO, R. W.; SILVA, D. C. C.; SALES, J. C. A. Development of a methodology for evaluation of the remaining forest fragments as a management tool and environmental planning. **Ambiência**, v. 10, p. 685-698, 2014.

LOURENÇO, R. W.; SILVA, D. C. C.; MARTINS, A. C. G.; SALES, J. C. A.; ROVEDA, S. R. M. M.; ROVEDA, J. A. F. Use of fuzzy systems in the elaboration of an anthropic pressure indicator to evaluate the remaining forest fragments. **Environmental Earth Sciences**, v. 73, p. 1-8, 2015.

LU, D.; BATISTELLA, M. e MORAN, E. Satellite estimation of aboveground biomass and impacts of forest stand structure. **Photogrammetric Engineering e Remote Sensing**, v. 71, n. 8, p.967-974, 2005.

MARENZI, R. C.; RODERJAN, C. V. Estrutura Espacial da Paisagem da Morraria da Praia Vermelha (SC): Subsídio à Ecologia da Paisagem. **Floresta**, v. 35, n. 2, p. 259-269, 2005.

MENDONÇA, L. B.; DOS ANJOS, L. Beija-flores (Aves, Trochilidae) e seus recursos florais em uma área urbana do Sul do Brasil. **Rev. Bras. Zool.** vol.22, n.1, p. 51–59, 2005.

NUCCI, J. C. Origem e desenvolvimento da ecologia e da ecologia da Paisagem. **Revista Eletrônica Geografar**, v. 2, n. 1, p.77-99, 2007.

OLIVEIRA, R. A.; SILVA, D. C. C.; SIMONETTI, V. C.; STROKA, E. A. B.; SABONARO, D. Z. Proposição de Corredor Ecológico entre duas Unidades de Conservação na Região Metropolitana de Sorocaba. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 32, p. 61-71, 2016.

PENSE, M. R.; CARVALHO, A. P. C. Biodiversidade de aves do Parque Estadual do Jaraguá (SP). **ConScientiae Saúde**, v. 4, p. 55-62, 2005.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação**. São José dos Campos, SP, Editora Parentese, 2007. 126p.

POZZA, F. R.; PIRES, J. S. P. Bird communities in two fragments of semideciduous forest in Rural São Paulo State. **Brazilian Journal of Biology**, São Carlos, v. 63, n. 2, p. 307-319, 2003.

RIBEIRO, M. C.; METZGER, J. P.; MARTENSEN, A. C.; PONZONI, F. J.; HIROTA, M. M.; The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. **Biological Conservation** v.142, n.6, p.1141- 1153. 2009.

SACCO, A. G. et al. Assembleia de aves na área urbana do município de Pelotas, Rio Grande do Sul, Brasil. **Biota Neotrop**, v.13, n.2, p.153-162, 2013.

SANTOS, J. T. S.; PENA, H. W. A. Geoprocessamento aplicado a ecologia de paisagem: uma análise da dinâmica espacial da Ilha do Papagaio–PA, Amazônia-Brasil. **Observatorio Iberoamericano del Desarrollo Local y la Economía Social**, Valencia, v. 11, n. 1, p.1-12, 2011.

SICK, H. **Ornitologia Brasileira** (Edição revista e ampliada por José Fernando Pacheco). Rio de Janeiro: Editora Nova Fronteira, 1997.

SIGRIST, T. **Avifauna Brasileira**. São Paulo – Avis Brasilis. 2009.

SIGRIST, T. **Guia de Campo Avis Brasilis: Avifauna Brasileira**. 3. ed. São Paulo: Avisbrasilis, 2013.

SILVA, D. C. C.; LOURENÇO, R. W.; DONALISIO, M. R.; CORDEIRO, R. Análise da relação entre a distribuição espacial das morbidades por obesidade e hipertensão arterial para o estado de São Paulo, Brasil, de 2000 a 2010. **Ciência & Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v. 19, n. 6, p.1709-1719, 2014.

SILVA, D. C. C.; ALBUQUERQUE FILHO, J. L.; SALES, J. C. A.; LOURENÇO, R. W. Uso de indicadores morfométricos como ferramentas para avaliação de bacias hidrográficas. **Revista Brasileira de Geografia Física**. v. 9, n. 2, p.627-642, 2016.

VIANA, V. M.; PINHEIRO, L. A. V. Conservação da biodiversidade em fragmentos florestais. **Série Técnica IPEF**, Piracicaba, v.12, n.32, p. 25-42, 1998.

WEIR J.; HERING, D. Measuring vegetation (NDVI & EVI). NASA Earth Observatory. 2012. Disponível em: <http://earthobservatory.nasa.gov/Features/MeasuringVegetation/measuring_vegetation_3.p>. Acesso em: 17 Abr. 2016.

WILLIAMS, C. B. **Patterns in the balance of nature**. New York: New York Academic Press, 1964. 324p.

YANG, G. et al. A Moving Weighted Harmonic Analysis Method for Reconstructing High-Quality SPOT VEGETATION NDVI Time-Series Data. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**. Wuhan, p. 6008-6021. 2015.

YUAN, F.; PAUDEL, S. Assessing landscape changes and dynamics using patch analysis and GIS modeling. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**. v.16, n.1, p.66-76, 2012.

Data de submissão: 26.06.2017

Data de aceite: 19.11.2019

License information: This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.