

INDICADORES DE PAISAGEM DA BACIA DO RIO IRAÍ NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA, PR

Cilmar Antônio Dalmaso^{1*}, Renato Marques², Christel Lingnau³, Vânia Rossetto Marcelino⁴, Carolina Benghi Pinto⁵, Jonas Eduardo Bianchin⁵

¹Universidade Federal do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Curitiba, Paraná, Brasil - cilnard@gmail.com*

²Universidade Federal do Paraná, Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, Curitiba, Paraná, Brasil - rmarques1961@gmail.com

³Universidade Federal do Paraná, Departamento de Ciências Florestais, Curitiba, Paraná, Brasil - lingnau@ufpr.br

⁴Universidade Estadual do Centro-Oeste, Departamento de Engenharia Florestal, Irati, Paraná, Brasil - vania@irati.unicentro.br

⁵Universidade Federal do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Curitiba, Paraná, Brasil - carolbenghi@gmail.com, jonasbianchin@gmail.com

Recebido para publicação: 01/03/2017 – Aceito para publicação: 17/10/2017

Resumo

Este trabalho teve como objetivo caracterizar a bacia hidrográfica do rio Iraí por meio de indicadores métricos da paisagem. A bacia do rio Iraí está localizada na região metropolitana de Curitiba (PR) e compreende uma área de 11.178 hectares nos municípios de Pinhais, Piraquara, Quatro Barras, Campina Grande do Sul e Colombo. O mapeamento da cobertura do solo da bacia, realizado no ano 2000, com escala de 1:20.000, foi utilizado para calcular indicadores de borda, área, forma, área central e agregação. A cobertura com campo, juntamente com as outras duas classes de vegetação natural, arbórea e arbustiva, representam 68,9 % da cobertura do solo, enquanto as classes associadas principalmente às transformações antrópicas da cobertura do solo somam 31,1%. Os campos se apresentaram como a matriz da paisagem, pela dominância de área e maior conectividade. A cobertura arbórea natural foi bastante expressiva com uma área de 1.886 ha em fragmentos maiores de 100 ha, o que mostra dados favoráveis para a conservação de espécies raras e ameaçadas de extinção que requerem maiores extensões de área. Com a descrição dos indicadores da paisagem foi possível comparar os padrões das classes de cobertura do solo e disponibilizar uma fonte de informação para tomadores de decisão e para monitoramento ambiental da bacia, bem como para auxiliar na definição de pesquisas mais específicas.

Palavras-chave: Métricas da paisagem; bacia hidrográfica; padrões da paisagem; estrutura da paisagem.

Abstract

Landscape indexes in Iraí river basin in metropolitan region of Curitiba (PR). This study aimed to characterize the landscape of Iraí River hydrographic basin through metric landscape indicators. The Iraí River hydrographic basin is located in metropolitan region of Curitiba (capital of Paraná State) and covers an area of 11,178 hectares in the municipalities of Pinhais, Piraquara, Quatro Barras, Campina Grande do Sul and Colombo. The land cover mapping of the basin, made in the year 2000, with the scale of 1:20,000, was used to calculate edge metrics, area, shape, central area and clumpiness. The coverage with grassland, together with the other two classes of natural vegetation, arboreal and shrub, represent 68,9% of the soil coverage, while the classes associated mainly to the anthropic transformations of the soil coverage amount to 31,1%. The grassland presented as a matrix, due the dominance of area and greater connectivity. The natural tree cover was significant and appeared well maintained, with an area of 1,886 hectares in remaining forest over 100 ha, showing favorable for the conservation of rare and endangered species that require larger areas. With the description of landscape metric indicators, it was possible to compare the patterns of land cover classes and provide a source of information for decision makers and for environmental monitoring of the hydrographic basin, and for defining more specific researches.

Keywords: Landscape metrics; hydrographic basin; landscape patterns; landscape structure.

INTRODUÇÃO

A bacia hidrográfica é adotada como unidade básica de planejamento e gestão de recursos hídricos, sendo que o conhecimento dos indicadores de sustentabilidade e de pressão sobre os recursos naturais é um instrumento fundamental para o seu gerenciamento (KEMERICH *et al.*, 2013).

Indicadores de paisagem são primordiais para o ordenamento e o planejamento espacial. Atualmente, há um vasto acervo disponível de dados cartográficos e de sensoriamento remoto de domínio público, o qual permite, após o seu processamento, a geração de informações nas mais diversas escalas. O banco de dados gerado com os arquivos do Cadastro Ambiental Rural (CAR) é um exemplo com enorme potencial para ser

analizado e utilizado no ordenamento e planejamento territorial. O CAR foi criado pela LEI nº 12.651 de 2012 no âmbito do Sistema Nacional de Informação sobre Meio Ambiente – SINIMA e permite o registro público eletrônico de dados cadastrais e espaciais com a finalidade de integrar as informações ambientais das propriedades e posses rurais (BRASIL, 2012).

A paisagem pode ser considerada uma unidade espacial, cuja heterogeneidade é modificada principalmente pelas relações entre a sociedade e a natureza, o que caracteriza uma configuração marcada pela fragmentação ou conexão entre seus elementos (GOERL *et al.*, 2011). Forman e Godron (1986) ecólogos da paisagem, usaram uma variedade de termos para se referir aos elementos ou unidades básicas que compõem uma paisagem, e uma das maneiras de se analisar a estrutura de uma paisagem é identificar suas unidades constituintes denominadas de manchas, corredores e matriz. A tecnologia de criação de imagens e mapeamento promoveu naturalmente uma abordagem de mancha-corredor-matriz (CLARK, 2010), com possibilidades de melhor entendimento das funções da paisagem. As manchas são definidas como superfícies não lineares que diferem da sua vizinhança e são conectadas pelos corredores que promovem a mobilidade através da paisagem, enquanto a matriz é o tipo de cobertura mais extensa, ou seja, é a unidade dominante e mais conectada, que exerce um maior controle na dinâmica da paisagem (CASIMIRO, 2009). A mobilidade pelos corredores ecológicos (identificados pela forma linear de uma área de vegetação natural) é mais facilmente entendida quando se pensa nesses elementos como influenciadores da dinâmica de dispersão de plantas e animais entre as manchas da paisagem (HADDAD *et al.*, 2003). A definição da matriz é subjetiva, e esta dará origem a paisagem futura (CASIMIRO, 2009).

Diversos indicadores que descrevem a estrutura da paisagem podem ser obtidos com análise espacial. Os mais usuais e sugeridos na literatura são: os indicadores de borda e de área, utilizados para descrever a quantidade de margens e o tamanho dos polígonos; os indicadores de forma, que medem a configuração da paisagem (CASIMIRO, 2009); os indicadores de área central, os quais são considerados medidas de qualidade de habitat, uma vez que indicam quanto há realmente de área nuclear efetiva de um fragmento, após descontar-se a área de borda (VIDOLIN *et al.*, 2011); e os indicadores de agregação, proximidade e isolamento, que se baseiam na distância entre os polígonos da mesma classe.

Dessa forma, o objetivo deste estudo é caracterizar e descrever a estrutura da paisagem na bacia hidrográfica do rio Iraí por meio de um conjunto de indicadores obtidos da análise espacial da cobertura do solo.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

A bacia hidrográfica do rio Iraí está localizada na região metropolitana de Curitiba e comprehende uma área de 111,78 km² nos municípios de Pinhais, Piraquara, Quatro Barras, Campina Grande do Sul e Colombo. O estudo da paisagem foi realizado com base no mapeamento da cobertura do solo desenvolvido pela Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental na escala de 1:20.000 (SUDERHSA, 2000). Para atender melhor o propósito do estudo de paisagem, algumas classes de cobertura do solo foram reagrupadas, resultando em apenas nove classes principais, sendo elas apresentadas na Tabela 1 e figura 1.

Tabela 1. Classes de cobertura do solo consideradas na área de estudo e as respectivas classes originais.
Table 1. Land-cover classes considered in the study area and the respective original classes.

| Classes consideradas neste estudo | Classe original (SUDERHSA, 2000) |
|-----------------------------------|--|
| Agricultura | Cultura permanente Cultura temporária |
| Água | Água |
| Área alagada | Área alagada |
| Área urbana | Área urbana baixa Vila Área industrial Armazéns / silos |
| Campo | Campo |
| Solo exposto | Mineração / areia Mineração / outros Solo exposto |
| Vegetação arbórea natural | Vegetação arbórea natural |
| Vegetação arbórea plantada | Vegetação arbórea plantada |
| Vegetação arbustiva natural | Vegetação arbustiva natural |

A altitude na bacia varia entre 880 e 1.420 m. O clima da região de acordo com a classificação de Köppen é caracterizado como Cfb.

A vegetação original da bacia do rio Iraí está inserida nos domínios Floresta Ombrófila Mista Aluvial (8%), Floresta Ombrófila Mista Montana (12,9%), Floresta Ombrófila Mista Alto Montana (6,5%) e Estepe Gramíneo-Lenhosa (72,5%) (ITCG, 2009). Portanto, a fitofisionomia original que predominou na área é campestre.

Os tipos de solos e a proporção de área ocupada na paisagem, conforme ITCG (2008), são: afloramentos de rocha (12,96%); Argissolos Vermelho-Amarelos Distróficos (2,27%); Cambissolos Húmicos Alumínicos (14,97%); Gleissolos Melânicos (1,9%); Latossolos Brunos Ácricos (7,22%); Latossolos Vermelhos Distróficos (39,18%) e Organossolos Mésicos (21,5%).

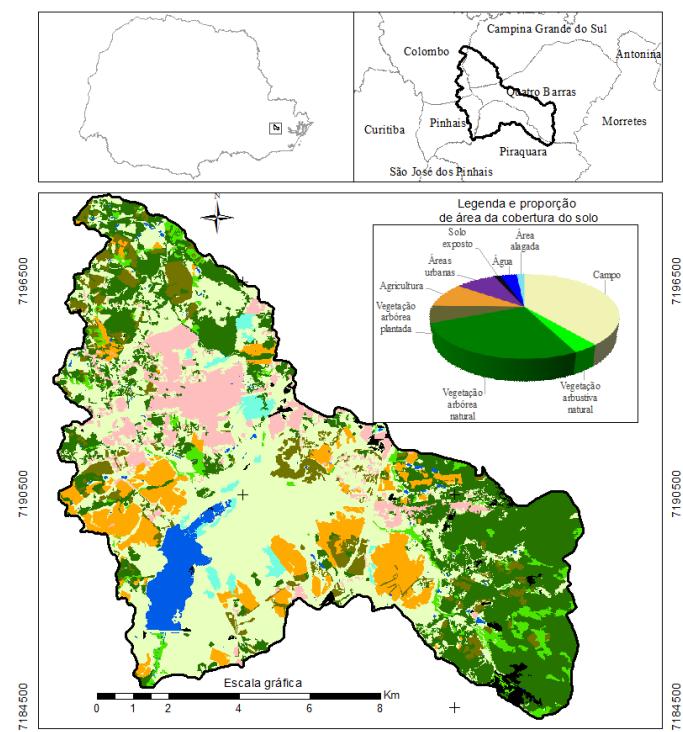


Figura 1. Área de estudo: cobertura do solo da bacia do rio Iraí, região metropolitana de Curitiba, PR. FONTE: Adaptado de SUDERHSA (2000) com base no mapeamento da cobertura do solo, na escala de 1:20.000.

Figure 1. Study area: land cover of Iraí River hydrographic basin, metropolitan region of Curitiba, PR. Source: adapted from SUDERHSA (2000), land cover map, scale 1:20.000.

A bacia do Iraí está situada sobre os Domínios dos Planaltos Subtropicais com Araucária que conforme Ab'Saber (2005), trata-se de planaltos de altitude média, variando entre 800 e 1300 m, cobertos por bosques de araucárias de diferentes densidades e extensões, incluindo mosaicos de pradarias mistas, que aparecem tanto em galerias, como em encostas, ocorre a presença de rochas sedimentares e basálticas, e na estrutura superficial da paisagem casos de colúvios de encostas.

Análise dos indicadores da paisagem

Os índices discriminados abaixo foram calculados por meio do software Fragstat v.4 (McGARIGAL *et al.*, 2012):

Indicadores de área e de borda

- PLAND indica a percentagem da paisagem composta pelo tipo de cobertura (classe) correspondente;
- LPI indicador de área do maior polígono da classe na paisagem, sendo igual à área (m^2) do maior polígono da classe dividido pela área total da paisagem (m^2), multiplicado por 100 (para converter a percentagem);
- ED indica a densidade de bordas, que corresponde à proporção de bordas (m) por unidade de área (ha), ou seja, m/ha;

- GYRATE_MN indica a média da área de giro, que pode ser interpretada como uma medida da continuidade da paisagem. Especificamente, dá a distância média que um organismo pode se mover de um ponto de partida aleatório e viajar em uma direção aleatória, sem sair do polígono (McGARIGAL *et al.*, 2012). A Equação 1 utilizada para calcular esse índice é expressa abaixo:

Equação 1.

$$GYRATE = \frac{\sum_{r=1}^z h_{ijr}}{Z}$$

em que: h_{ijr} = distância (m) entre a célula ijr [localizada dentro do polígono ij] e o centróide do polígono ij (posição média), com base na distância do centro da célula; z = número de células do polígono ij .

A extensão MN (GYRATE_MN) representa a média, pois é a soma dos valores de todos os polígonos dividido pelo número de polígonos correspondentes à mesma classe.

Indicadores de forma

- SHAPE_MN (Equação 2) está relacionada à semelhança dos polígonos com um quadrado, quanto mais próximo de 1, mais semelhante.

Equação 2.

$$SHAPE = \frac{.25 p_{ij}}{\sqrt{a_{ij}}}$$

em que: p_{ij} = perímetro (m) do polígono ij ; a_{ij} = área (m^2) do polígono ij .

A extensão MN (SHAPE_MN) representa a média, pois é a soma dos valores de todos os polígonos dividido pelo número de polígonos correspondentes à mesma classe.

- O indicador do círculo médio circunscrito CIRCLE (Equação 3) baseia-se na relação da área do fragmento com a área do menor círculo que o circunscreve.

Equação 3.

$$CIRCLE = 1 - \left[\frac{a_{ij}}{a_{ijs}} \right]$$

em que: a_{ij} = área (m^2) do polígono ij ; a_{ijs} = área (m^2) do menor círculo circunscrito ao redor do polígono ij .

A extensão MN (CIRCLE_MN) representa a média, pois é a soma dos valores de todos os polígonos dividido pelo número de polígonos correspondentes à mesma classe.

Indicadores de área central

- O indicador NDCA é igual à soma do número de áreas centrais separadas, contido dentro da paisagem.
- O indicador TCA trata do tamanho dos polígonos, eliminando uma faixa de borda de todas os polígonos.

Os indicadores de área central são considerados medidas de qualidade de habitat, uma vez que indicam quanto existe realmente de área nuclear efetiva de um fragmento, após descontar-se a área de borda, sendo que neste estudo foi considerada uma borda de 30 m, largura também utilizada por Vidolin *et al.* (2011) em Floresta de Araucária.

Indicadores de agregação

- O indicador CLUMPY (Equação 4) pode variar de -1, quando o tipo de polígono é maximamente desagrupado, a 1 quando o tipo de polígono é maximamente agrupado. O valor zero significa que a distribuição é aleatória.

$$\begin{aligned}
 \text{Equação 4.} \quad & Given G_i = \left(\frac{g_{ii}}{\sum_{k=1}^m g_{ik}} \right) \quad CLUMPY = \begin{cases} \frac{G_i - P_i}{1 - P_i} \text{ for } G_i \geq P_i \\ \frac{g}{1 - P_i} \text{ for } G_i < P_i; P_i \geq .5 \\ \frac{G_i - P_i}{-P_i} \text{ for } G_i < P_i; P_i < .5 \end{cases} \\
 & \text{Em que: } g_{ii} = \text{número de adjacências juntas entre pixels do tipo de polígono (classe) } i \text{ com base no método de dupla contagem; } g_{ik} = \text{número de adjacências (juntas) entre pixels dos tipos de polígonos (classe) } i \text{ e } k \text{ com base no método de dupla contagem; } P_i = \text{proporção da paisagem ocupada pelo tipo de polígono (classe) } i.
 \end{aligned}$$

- A média da distância do vizinho mais próximo ENN_MN (Equação 5) é definida utilizando a geometria euclidiana simples, sendo a distância mais curta em linha reta entre o polígono e seu vizinho mais próximo da mesma classe.

$$\text{Equação 5.} \quad ENN_MN = h_{ij}$$

Em que h_{ij} = distância (m) a partir de um polígono h_{ij} para o vizinho mais próximo do mesmo tipo (classe), com base na distância de borda a borda, calculada a partir do centro da célula para o centro da célula do polígono vizinho.

Os resultados foram organizados na forma gráfica para permitir a comparação e quantificação dos padrões apresentados pelas diferentes classes de cobertura do solo.

RESULTADOS

A superfície total da bacia hidrográfica do rio Iraí é de 11.178 hectares. A medida relativa da composição da paisagem, obtida pelo indicador PLAND (Figura 2A), descreve as classes e as respectivas proporções: campo (39,1%), vegetação arbórea natural (26,2%), agricultura (9,4%), áreas urbanas (8,5%), vegetação arbórea plantada (6,7%), vegetação arbustiva natural (3,6%), água (3,5%), área alagada (1,7%) e solo exposto (1,3%). As classes que apresentam transformação recente pelas atividades antrópicas (agricultura, áreas urbanas e vegetação arbórea plantada) representam aproximadamente $\frac{1}{4}$ da superfície da bacia e as demais classes (água, área alagada e solo exposto) ocupam menor proporção.

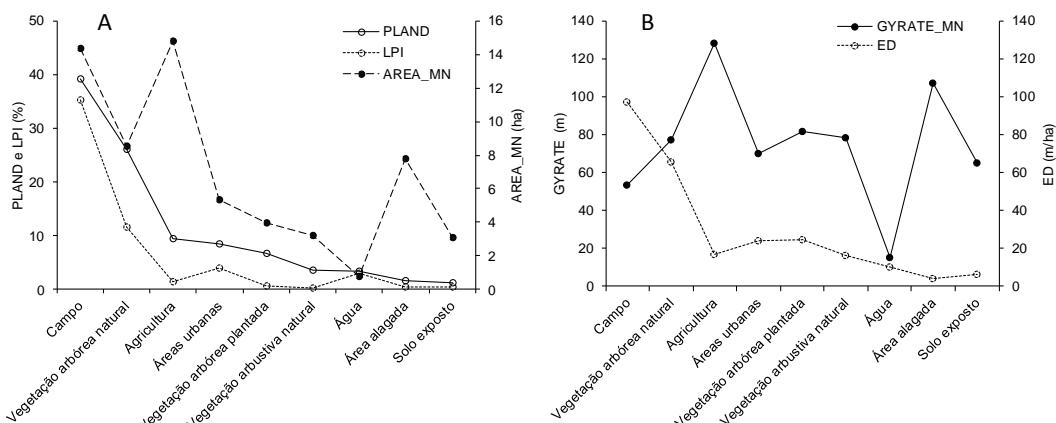


Figura 2. Indicadores de borda e área para as classes de cobertura do solo da bacia do rio Iraí. PLAND - Percentagem de paisagem com cada classe; LPI - Indicador do maior polígono; AREA_MN - Média do tamanho dos polígonos; GYRATE_MN - Distribuição média do raio de giro; ED - Densidade de bordas.

Figure 2. Edge and area indexes for land-cover classes of Iraí River basin. PLAND - Percentage of Landscape; LPI - Larger Patch Index; AREA_MN - Area Mean; GYRATE_MN - Gyrate Mean; ED - Edges Density.

Pelo resultado do indicador LPI (Figura 2A), nota-se que o maior polígono da paisagem é de campo e representa aproximadamente 35% da área da bacia, sendo que esse único polígono corresponde a 90% da área

total da respectiva classe. O segundo maior polígono é de vegetação arbórea natural, que corresponde à fitofisionomia de Floresta Ombrófila Mista, e representa aproximadamente 10% de toda a paisagem. Áreas urbanas e água também estão concentradas em polígonos grandes dentro da bacia.

Já o tamanho médio dos polígonos de cada classe (AREA_MN), na mesma figura, foi superior para agricultura, com média de 14,77 ha, seguida por campo, com média de 14,34 ha, e vegetação arbórea natural, com média 8,53 ha. Apesar da agricultura representar uma pequena proporção da paisagem, o tamanho médio dos polígonos é maior do que as principais classes (campo e vegetação arbórea natural), sendo que tal aspecto está relacionado com a distribuição de terras cultivadas em áreas mais contínuas.

Pelo indicador GYRATE (Figura 2B), podemos observar que a distância média entre cada célula de um polígono e o centroide do polígono foi maior para agricultura e para área alagada. Apesar de haver grandes polígonos de campo e água (represa do Iraí), o valor baixo de GYRATE_MN ocorre devido à maior proporção de polígonos pequenos e que não atingem uma grande extensão.

As classes campo e vegetação arbórea natural possuem as maiores densidades de borda ED (Figura 2B), como resultado da maior cobertura do solo, da fragmentação desses elementos e da forma dos polígonos. Os valores relativos apresentados nos gráficos podem ser úteis para comparação com outras paisagens de tamanhos diferentes.

Na distribuição da área para classes de tamanho dos polígonos, foi observado que a área total da bacia do Iraí está compreendida sobretudo em polígonos grandes (com mais de 100 ha), principalmente as formações de campo e de vegetação arbórea natural, além de água, agricultura e áreas urbanas (Tabela 2). O somatório dos polígonos com tamanho até 5 ha corresponde à segunda maior proporção de área.

Tabela 2. Distribuição de área e número de polígonos da cobertura do solo por classes de tamanho na bacia do rio Iraí.

Table 2. Area distribution and number of patches of each land-use categories for patch size classes on Iraí River basin.

| Cobertura do solo | Área total (ha) / Número de polígonos | | | | | | | | |
|-----------------------------|---------------------------------------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|
| | Classes de área (ha) | | | | | | | | |
| | <5 | 5-10 | 10-20 | 20-30 | 30-40 | 40-60 | 60-80 | 80-100 | >100 |
| Agricultura | 59/39 | 71/10 | 135/10 | 79/3 | 104/3 | 49/1 | 66/1 | 90/1 | 398/3 |
| Água | 60/330 | - | - | - | - | - | - | - | 328/1 |
| Área alagada | 30/14 | 37/5 | 46/3 | 27/1 | - | 48/1 | - | - | - |
| Áreas urbanas | 182/160 | 11/2 | 77/6 | 48/2 | 71/2 | 106/2 | - | - | 456/1 |
| Campo | 175/259 | 52/7 | 77/6 | 57/2 | - | 42/1 | - | 83/1 | 3889/3 |
| Solo exposto | 46/40 | 41/6 | - | - | - | - | 62/1 | - | - |
| Vegetação arbórea natural | 363/304 | 164/22 | 131/9 | 72/3 | 33/1 | 46/1 | 66/1 | 165/2 | 1886/5 |
| Vegetação arbórea plantada | 245/159 | 126/17 | 93/7 | 98/4 | 40/1 | - | 152/2 | - | - |
| Vegetação arbustiva natural | 144/111 | 89/13 | 53/4 | 77/3 | 37/1 | - | - | - | - |

Considerando apenas polígonos menores que 5 ha, a cobertura de campo apresenta-se altamente fragmentadas pela área relativamente pequena para um grande número de polígonos, relação inferior a 1 ha por polígono. A área alagada apresentou a maior relação, com aproximadamente 2,1 ha por polígono, enquanto a classe de vegetação arbórea plantada e vegetação arbórea natural apresentaram uma relação de aproximadamente 1,5 ha por polígono.

Na Figura 3 são apresentados os indicadores de forma que descrevem a complexidade geométrica geral dos polígonos. O indicador SHAPE_MN pode dar informações da influência humana sobre paisagens, porque o seu valor é significativamente menor para áreas com padrão de paisagem mais homogêneo (UEMAA *et al.*, 2011). Portanto, o valor inferior apresentado pela água pode estar relacionado ao formato dos lagos e represas artificiais, como é o caso da represa do Iraí, que recobre uma área bastante expressiva. A vegetação arbustiva natural e a agricultura apresentaram polígonos com formas mais heterogêneas, enquanto as classes de área alagada e de solo exposto apresentaram formas menos complexas do que as demais classes.

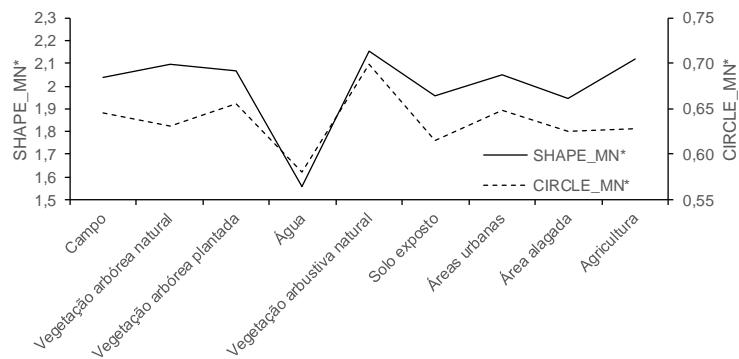


Figura 3. Indicadores de forma para a bacia do rio Iraí. SHAPE_MN - Indicador de forma; CIRCLE_MN - Relação da área do polígono para a área do menor círculo que a circunscreve.

Figure 3. Shape indexes for the Iraí River basin. SHAPE_MN - Shape Mean; CIRCLE_MN - the ratio Mean of patch area and the smallest Circle around it.

O método alternativo para avaliar a forma, baseado na relação da área do polígono para a área do menor círculo que a circunscreve (CIRCLE), apresentou um padrão semelhante ao SHAPE_MN (Figura 3). Os resultados indicam que os polígonos de vegetação arbustiva natural são geralmente estreitos e alongados e os polígonos com as classes água, solo exposto e área alagada são mais “compactos” ou circulares.

Os indicadores de área central e agregação na bacia do rio Iraí podem ser observados na Figura 4A e Figura 4B, respectivamente.

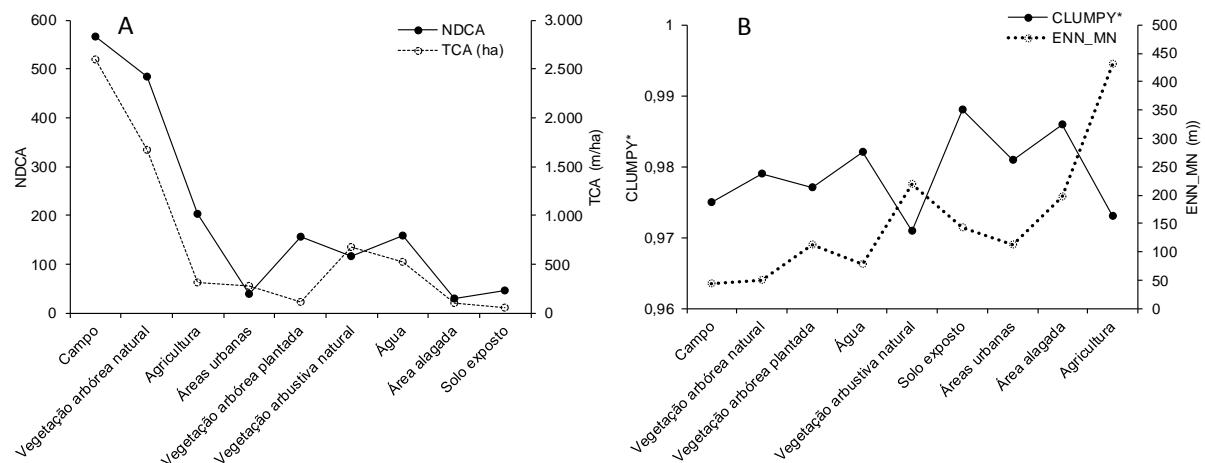


Figura 4. Indicadores de área central (A) e agregação (B) para a bacia do rio Iraí. NDCA - Número de áreas centrais disjuntas em cada classe; TCA - Área Central Total na paisagem; CLUMPY - Indicador de agregação; ENN_MN - Média da distância euclidiana do vizinho mais próximo.

Figure 4. Central area (A) and clumping (B) indexes for Iraí River basin. NDCA - Number of Disjoint Central Areas in each class; TCA - Total Central Area on the landscape; CLUMPY - Clumpiness Index; ENN_MN - Euclidean Nearest-Neighbor distance Mean.

A linha continua do gráfico (Figura 4A) que corresponde ao NDCA descreve o número de áreas centrais disjuntas em cada classe. Os resultados mostram valores de 567 áreas centrais disjuntas na classe campo (densidade de 5,07 para cada 100 ha) e 484 áreas centrais disjuntas com vegetação arbórea natural (densidade de 4,33 áreas centrais para 100 ha). Os valores TCA (Figura 4A), que representam o tamanho dos polígonos eliminando uma faixa de borda (30m neste caso), indicaram que houve uma redução de 72% na área de vegetação arbustiva natural, 67% na área de agricultura, 59% em áreas de vegetação arbórea plantada, 46% em área alagada, 46% em área urbana, 43% de vegetação arbórea natural, 41% de campo, 35% de solo exposto e 28% menos de água.

Os indicadores de agregação calculados neste estudo (Figura 4B) referem-se à tendência de tipos de polígonos serem espacialmente agrupados. O indicador CLUMPY é considerado um índice bastante eficaz e demonstrou que as classes de vegetação arbustiva natural e agricultura estão agrupadas com maior intensidade,

enquanto solo exposto e área alagada estão da mesma forma agrupados, mas com menor intensidade. A média da distância euclidiana do vizinho mais próximo (ENN_MN) é considerada uma das medidas mais simples de isolamento de um polígono. A maior distância ENN_MN geralmente está associada a áreas bem distribuídas e com baixa frequência, portanto os resultados obtidos sugerem que as áreas de campo e vegetação arbórea natural estão mais conectadas do que as demais classes.

DISCUSSÕES

O conjunto de elementos naturais ou artificiais que constituem a paisagem é herança de processos de formação antiga, remodelados e modificados por processos de atuação recente (AB'SABER, 2005), sendo que um detalhamento da estrutura da paisagem é importante para o correto planejamento e zoneamento. Sobre a utilidade das informações quantitativas das diferentes classes de cobertura do solo podem ser encontrados inúmeros exemplos práticos como de Moraes *et al.* (2015) que analisam as condições atuais e simulam as condições legais para uma zona de amortecimento de uma unidade de conservação (Parque Estadual) e apresentam discussões e sugestões ao planejamento. Algumas métricas da paisagem foram utilizadas com sucesso para prever fatores socioeconômicos e indicar impactos das atividades humanas no padrão da cobertura do solo (GHAFOURI *et al.*, 2016). Outros estudos também tratam de como o uso da terra e as mudanças na paisagem afetam a biodiversidade (GACHET *et al.*, 2007; MENDENHALL *et al.*, 2016).

Na bacia hidrográfica do rio Iraí, as classes campo, vegetação arbórea natural e vegetação arbustiva natural, que provavelmente comportam formações secundárias das fitofisionomias originais (Estepe Gramíneo-Lenhosa e Floresta Ombrófila Mista), são predominantes. A classe campo foi definida como matriz por ser mais extensa e predominar originalmente na paisagem. Esta classe desempenha um papel determinante na estrutura e funcionamento da paisagem, e deve ser considerada no processo de parcelamento, fragmentação, e/ou alteração da cobertura do solo, de forma que as suas funções não sejam perdidas. Ainda que, originalmente, a fisionomia Estepe Gramíneo-Lenhosa predominasse na paisagem (ITCG, 2009), os valores dessa classe de cobertura do solo foram superestimados, pois na época da obtenção da imagem (junho de 2000) utilizada na classificação da cobertura do solo, a represa do Iraí, que ocupa uma área significativa da bacia, estava num nível muito inferior ao atual. Assim, parte da área do reservatório, que deveria estar ocupada com água, foi classificada como campo, o que causou um viés para alguns indicadores, com distorção na área dessa classe. Esta classe é mais vulnerável a ocupação e conversões do uso do solo além da sua localização próximo as áreas de agricultura e das áreas urbanas que aumentam sua suscetibilidade.

A vegetação arbórea natural apresentou cobertura do solo superior ao encontrado pelo IPARDES (2010), de 8,6%, e bem menor que o valor encontrado por Hentz *et al.* (2015) para a bacia hidrográfica do Alto Iguaçu (41%), à qual a bacia do rio Iraí faz parte. Esta área de vegetação natural é importante para a manutenção da biodiversidade e principalmente das espécies em risco de extinção que geralmente necessitam de uma área com extensão maior de florestas (MENDENHALL *et al.*, 2016), além da conservação dos solos e da qualidade da água. Considerando a soma de todas as classes, a vegetação arbórea natural apresentou o número de polígonos mais expressivo, que pode ser decorrente principalmente da fragmentação florestal causada por atividades antrópicas, mas que estão associadas também à própria fisionomia dos campos com agrupamentos arbóreos naturais (capões de mata).

As classes de campo e vegetação arbórea natural juntas representam 65,3% da cobertura do solo e 39,3% do total de polígonos, sendo um resultado positivo para a qualidade ambiental da bacia. A vegetação arbórea natural apesar de ocupar uma menor superfície na bacia e apresentar menor conectividade, exerce um importante papel na proteção das cabeceiras a sudeste e noroeste da bacia do rio Iraí. A bacia é amparada pela Área de Proteção Ambiental (APA) Estadual do Iraí, que tem por objetivo a proteção e a conservação da qualidade ambiental e dos sistemas naturais, especialmente a qualidade e a quantidade da água para fins de abastecimento público (PARANÁ, 1996).

A área total de cada classe de cobertura do solo e o tamanho e a quantidade dos polígonos que a compõem são medidas úteis para avaliar a fragmentação e importantes de serem conhecidas, pois representam a quantidade de habitat disponível para a fauna. Estudos com morcegos e aves, por exemplo, sugerem que a biodiversidade responde às mudanças em pequenas áreas, como a área dentro de um círculo com 50 a 70 m de raio (MENDENHALL *et al.*, 2011; MENDENHALL *et al.*, 2014).

Considerar o efeito de borda é importante na conservação da biodiversidade, já que este tem maior influência em polígonos pequenos. A forma dos polígonos também tem grande influência sobre o efeito de borda, especialmente em fragmentos florestais; o ideal é que elas sejam mais circulares, pois esse formato aumenta a área central em relação à borda e tem potencialmente maior diversidade de espécies nucleares (mais adaptadas ao interior, especialmente o florestal), sendo assim eficiente na conservação dos seus recursos

interiores contra efeitos externos negativos (CASIMIRO, 2009). O indicador CIRCLE demonstrou que a vegetação arbórea plantada está geralmente em polígonos menos compactos do que as florestas nativas. Na paisagem compreendida na bacia do rio Iraí, os indicadores de forma não discriminaram as classes de vegetação arbórea natural e vegetação arbórea plantada com tanta evidência, mas o valor de SHAPE confirmou uma configuração dos polígonos mais homogênea para a vegetação arbórea plantada.

Mesmo fragmentada, quando analisado a cobertura do solo com vegetação arbórea natural, os fragmentos da paisagem podem estar conectados entre si pela rede de drenagem com vegetação ripária (GOERL *et al.*, 2011), o que provoca uma configuração mais irregular, mas auxilia no fluxo gênico entre as comunidades vegetais e animais e consequentemente na manutenção da biodiversidade local.

Os indicadores de áreas centrais demonstram que a maior área com as classes campo e vegetação arbórea natural está compreendida em área central, ou seja, fora das bordas dos polígonos, o que é ótimo para a conservação da biota. Para se entender melhor os indicadores de áreas centrais, pode-se afirmar que certos polígonos apresentam muita área, mas não possuem área central capaz de permitir a conservação de determinadas espécies. Neste contexto, o efeito de borda não se aplica às áreas mais antropizadas como áreas urbanas, agricultura, solo exposto e água.

Os resultados indicaram que as classes campo e vegetação arbórea natural possuem as menores médias de distância entre polígonos (fator positivo para o fluxo gênico da biota), enquanto agricultura possui média de distância maior entre os polígonos (fator positivo para o controle de pragas). Este índice que quantifica características fundamentais da paisagem é útil em várias análises estruturais da paisagem (UUEMAA *et al.*, 2011).

Novos mapeamentos de cobertura do solo com imagens de satélite ou fotografias aéreas em escalas de maior detalhe poderão permitir a análise mais aprofundada sobre as alterações no uso da terra e ser útil para o ordenamento e planejamento territorial e em ações de conservação dos elementos naturais da paisagem. Além do monitoramento da dinâmica temporal, os valores de um conjunto de indicadores podem responder questões gerais sobre a qualidade ambiental e específicas para determinados processos.

No bioma Mata Atlântica, a vegetação é extremamente fragmentada, sendo que mais de 83% de sua cobertura encontra-se em fragmentos menores que 50 hectares, em especial na Floresta Ombrófila Mista, cuja cobertura florestal remanescente é de cerca de 12,6% (RIBEIRO *et al.*, 2009) em diversos estados de conservação. O diagnóstico da fragmentação das florestas tropicais é certamente um passo crítico para propor soluções para a manutenção da estabilidade dos serviços florestais tropicais, incluindo armazenamento de carbono, ciclagem de nutrientes e água e biodiversidade (VEDOVATO *et al.*, 2016).

CONCLUSÕES

O conjunto de indicadores apresentados permitiu reconhecer os principais aspectos da estrutura e do padrão da paisagem da bacia hidrográfica do rio Iraí. A matriz é constituída por vegetação campestre natural e as florestas nativas tem a segunda maior expressividade, o que é favorável à conservação da biodiversidade e à ordenação correta da APA do Iraí, incluindo as Reservas Legais e Áreas de Preservação Permanente. Os indicadores evidenciaram também a alteração de pelo menos $\frac{1}{4}$ da cobertura original por classes de uso (agricultura, áreas urbanas, vegetação arbórea plantada, solo exposto, além da classe água pela formação de represas).

A cobertura arbórea natural foi bastante expressiva, com área de 1.886 ha em remanescentes florestais maiores que 100 ha, fato positivo para a conservação de espécies raras e ameaçadas de extinção que requerem maiores extensões de área.

Embora as condições atuais não permaneçam as mesmas, após 17 anos, e os indicadores observados isoladamente carecerem de informações qualitativas, eles podem auxiliar no monitoramento ambiental, na definição de pesquisas mais específicas e de políticas públicas. Dessa forma, os dados e informações gerados possuem aplicação prática especialmente no planejamento e na conservação ambiental.

REFERÊNCIAS

AB' SABER, A. N. **Os domínios de natureza no Brasil:** potencialidades paisagísticas. São Paulo: Ateliê Editorial, 3 ed. 2005, 159 p.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no

2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, vinte cinco de maio de 2012. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm>. Acesso em: 01/12/2014.

CASIMIRO, P. C. Estrutura, composição e configuração da paisagem: conceitos e princípios para a sua quantificação no âmbito da ecologia da paisagem. **Revista Portuguesa de Estudos Regionais**, Angra do Heroísmo, n. 20, p. 75 - 99, 2009.

CLARK, W. **Principles of Landscape Ecology**. Nature Education Knowledge, 3(10):34, 2010. Disponível em <<https://www.nature.com/scitable/knowledge/library/principles-of-landscape-ecology-13260702>>. Acesso em: 02/03/2017.

FORMAN, T. T. R.; GODRON, M. **Landscape ecology**. New York: John Wiley & Sons, USA, 1986, 640 p.

GACHET, S.; LEDUC, A.; BERGERON, Y.; NGUYEN-XUAN, T.; TREMBLAY, F. Understory vegetation of boreal tree plantations: Differences in relation to previous land use and natural forests. **Forest Ecology Management**, Amsterdã, v. 242, n. 1, p. 49 - 57, 2007.

GHAFOURI, B.; AMIRI, B. J.; SHABANI, A. A.; SONGER, M. Examining Relationships Between Socioeconomic Factors and Landscape Metrics in the Southern Basin of the Caspian Sea. **Environmental Modeling and Assessment**, Dordrecht, v. 21, n. 5, p. 669 - 680, 2016.

GOERL, R. F.; SIEFERT, C. A. C.; SCHULTZ, 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**, Recife, v. 4, n. 5, p. 1000 - 1012, 2011.

HADDAD, N. M.; BOWNE, D. R.; CUNNINGHAM, A.; DANIELSON, B. J.; LEVEY, D. J.; SARGENT, S.; SPIRA, T. Corridor use by diverse taxa. **Ecology**, Washington, v. 84, n. 3, p. 609 - 615, 2003.

HENTZ, A. M. K.; CORTE, A. P. D.; BLUM, C. T.; SANQUETTA, C. R. Técnicas orientadas ao objeto para levantamento da fragmentação florestal na sub-bacia Alto Iguaçu, Paraná. **Geociências**, Rio Claro, v. 34, n. 4, p. 883 - 896, 2015.

IPARDES - Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social. **Indicadores de desenvolvimento sustentável por bacias hidrográficas do Estado do Paraná**. Curitiba: IPARDES, 2010. 223 p.

ITCG. **Solos, 2008**. Arquivo Shapefile. Disponível em: <<https://goo.gl/PnL93p>>. Acesso em: 07/01/2016.

ITCG. **Fitogeografia, 2009**. Arquivo Shapefile. Disponível em: <<https://goo.gl/K6qWAM>>. Acesso em: 10/09/2015.

KEMERICH, P. D. C.; MARTINS, S. R.; KOBAYAMA, M.; BURIOL, G. A.; BORBA, W. F.; RITTER, L. G. Avaliação da sustentabilidade ambiental em bacias hidrográficas mediante a aplicação do modelo P-E-R. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Santa Maria, v. 10, n. 10, p. 2140 - 2150, 2013.

McGARIGAL, K.; CUSHMAN, S. A.; ENE, E. 2012. **FRAGSTATS v4: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical and Continuous Maps**. Computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts, Amherst. Available at the following web site: <<https://goo.gl/5FMV0f>>.

MENDENHALL, C. D.; SEKERCIOGLU, C. H.; BRENES, F. O.; EHRLICH, P. R.; DAILY, G. C. Predictive model for sustaining biodiversity in tropical countryside. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, Washington, v. 108, n. 39, p. 16313 - 16316, 2011.

MENDENHALL, C. D.; KARP, D. S.; MEYER, C. F. J.; HADLY, E. A.; DAILY, G. C. Predicting biodiversity change and averting collapse in agricultural landscapes. **Nature**, Dordrecht, v. 509, n. 7499, p. 213 - 217, 2014.

MENDENHALL, C. D.; SHIELDS-ESTRADA, A.; KRISHNASWAMI, A. J.; DAILY, G. C. Quantifying and sustaining biodiversity in tropical agricultural landscapes. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, Washington, v. 113, n. 51, p. 14544 - 14551, 2016.

MORAES, M. C. P.; MELLO, K.; TOPPA, R. H. Análise da paisagem de uma zona de amortecimento como subsídio para o planejamento e gestão de unidades de conservação. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 39, n. 1, p. 1 - 8, 2015.

PARANÁ. Decreto Estadual, nº 1753 de 06 de maio de 1996. Institui a Área de Proteção Ambiental na área de manancial da bacia hidrográfica do rio Iraí, denominada APA Estadual do Iraí; e dá outras providências. **Diário Oficial**, Curitiba, PR, seis de maio de 1996. Disponível em: <http://www.comec.pr.gov.br/arquivos/File/Legislacoes/DecretoEstadual_1753_96.pdf>. Acesso em: 20/08/2017.

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**, Amsterdã, v. 142, n. 6, p. 1141 - 1153, 2009.

SUDERHSA. **Mapeamentos de abrangência da bacia do Alto Iguaçu, 2000**. Disponível em: <<https://goo.gl/MTCP3v>>. Acesso em: 11/09/2015.

UUEMAA, E.; ROOSAARE, J.; OJA, T.; MANDER, Ü. Analysing the spatial structure of the Estonian landscapes: which landscape metrics are the most suitable for comparing different landscapes? **Estonian Journal of Ecology**, Tallinn, v. 60, n. 1, p. 70 - 80, 2011.

VEDOVATO, L. B.; FONSECA, M. G.; ARAI, E.; ANDERSON, L. O.; ARAGÃO, L. E. O. C. The extent of 2014 forest fragmentation in the Brazilian Amazon. **Regional Environmental Change**. Dordrecht, v. 16, p. 2485 - 2490.

VIDOLIN, G. P.; BIONDI, D.; WANDEMURUCK, A. Análise da estrutura da paisagem de um remanescente de floresta com Araucária, Paraná, Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 35, n. 3, p. 515 - 525, 2011.

