

SIMULAÇÃO ESPACIAL DE UMA PAISAGEM SOB O EFEITO BORDA

Lucas Rezende Gomide¹, Christel Lingnau²

¹Eng. Florestal, Doutorando em Engenharia Florestal, UFPR, Curitiba, PR, Brasil - lrgomide@hotmail.com

²Eng^a. Florestal, Dr^a., Depto. de Ciências Florestais, UFPR, Curitiba, PR, Brasil - lingnau@ufpr.br

Recebido para publicação: 12/12/2007 – Aceito para publicação: 17/09/2008

Resumo

Este trabalho teve como objetivo compreender e analisar através das métricas de paisagem, a atual situação dos fragmentos florestais na Fazenda Experimental do Canguiri e sua sustentabilidade temporal na matriz paisagística, frente à simulação de diferentes intensidades do efeito borda. A área de estudo foi a Fazenda Experimental do Canguiri/UFPR, localizada no município de Pinhais (PR), que compreende uma área de 440 ha. Foram simuladas 3 intensidades do efeito borda, a 10, 30 e 50 metros, e para cada situação foram calculados 11 índices de paisagem. A definição das classes de fragilidade foi proporcionada pela análise de agrupamento, utilizando-se a distância euclidiana e o método de *ward*, a partir do índice FRAG. Assim, o efeito borda simulado provocou mudanças na paisagem, na qual o número de fragmentos passou de 14 no estágio atual, para 19 (10 m), 18 (30 m) e 9 (50 m). Os fragmentos foram classificados em três classes de fragilidade à fragmentação, pela análise de agrupamento. A simulação do efeito borda, juntamente com o cálculo dos índices de paisagem, auxiliou na determinação de fragmentos mais suscetíveis a fragmentação.

Palavras-chave: Fragmentação; análise espacial; análise multivariada; geodatabase.

Abstract

Spatial simulation analysis of the landscape under edge effect. This work had as objective to understand and to analyze the actual stage of the forest fragment from Canguiri Experimental Farm and its temporal sustainability in the landscape matrix through the landscape metrics, and under the different intensities of the edge effect simulation. The area of study was the Canguiri Experimental Farm located in Pinhais (PR), with an area of 440 ha. Three edge effect intensities were simulated the 10, 30 and 50 meters and for each scenery 11 landscape indexes were calculated. The fragility classes were determined by the cluster analysis using the *ward* method and Euclidean distance based on the FRAG index. The results showed that edge effect simulation promoted changing in the landscape, where the number of fragments was 14 in actual stage and it changed to 19 (10 m); 18 (30 m) and 9 (50 m). The fragments were classified in 3 classes of the fragmentation fragility by the cluster analysis. The edge effect simulation combined with the calculated landscape indexes guided to determine which fragments were more fragile to the fragmentation process.

Keywords: Fragmentation; spatial analysis; multivariate analysis; geodatabase.

INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas e os efeitos do aquecimento global têm provocado uma série de discussões a respeito da preservação do meio ambiente. Esse tema inclui ainda questões ligadas ao abastecimento hídrico de grandes regiões, bem como a problemas de poluição e desmatamento. O recurso hídrico é sem dúvida um dos grandes desafios para os gestores públicos, que por sua vez estabelecem medidas que garantam o uso para toda a população. A criação do decreto nº 1.753, de 06/05/1996, não fuge dessa lógica, tendo como princípio a criação da área de preservação ambiental de Iraí. Essa área possui uma extensão de 11.536 hectares e abrange os municípios de Pinhais, Colombo, Quatro Barras e Campina Grande do Sul (IPARDES, 2006).

A APA de Iraí é responsável pelo abastecimento de água potável para a região metropolitana de Curitiba (PR) (DONHA *et al.*, 2006), sendo parte integrante do plano de recursos hídricos da bacia

hidrográfica do Alto Iguaçu e do sistema integrado de proteção dos mananciais da região metropolitana de Curitiba (PR). Essa área encontra-se inserida em uma paisagem heterogênea de usos do solo, onde os agentes externos definem o grau de degradação temporal e espacial do ambiente.

Segundo Forman; Godron (1986), a paisagem é uma unidade cuja estrutura pode ser definida pela área, forma e disposição espacial de suas unidades, sendo ainda formada por um complexo de unidades interativas, como ecossistemas, unidades de vegetação e uso do solo. Apesar da importância para a manutenção e conservação da biodiversidade, a paisagem só foi considerada como objeto de estudo em 1939, por Carl Troll, um biogeógrafo alemão (GOLLEY, 1994). Entretanto, apenas na década de 1980 foi possível observar as primeiras teorias de forma mais ampla e aplicada (HERSBERGER, 1994).

Metzger (2001) afirma que a ecologia de paisagem é marcada pela existência de duas principais abordagens: uma geográfica, que privilegia o estudo da influência do homem sobre a paisagem e a gestão do território; e a outra ecológica, que enfatiza a importância do contexto espacial sobre os processos ecológicos e a importância dessas relações em termos de conservação biológica.

Existe um ponto em comum entre essas duas abordagens, e que exerce uma grande influência no modelo paisagístico atual e futuro. Esse *link* é definido pelas alterações causadas por processos de fragmentação. Vogelmann (1995) comenta que a fragmentação se caracteriza por ser um processo degenerativo, composto pela eliminação de grandes áreas contíguas de tipos similares de vegetação nativa, em vários segmentos menores e distantes. De acordo com Diamond (1992), esse mecanismo tem se tornado um dos mais fortes agentes na extinção de espécies.

Diversos estudos têm contribuído para comprovar a interrupção de fluxo e perda genética, extinção de espécies florestais e da fauna, bem como ainda impactos visuais negativos sobre a identidade paisagística local, entre os quais, Viana (1990), Viana; Tabanez, (1996) e Machado *et al.* (1998). Um ponto notório e de importância contextual para o desenvolvimento e evolução desses estudos se maximiza de forma plena no uso de ambientes ligados ao Sistema de Informação Geográfica (SIG).

Um sistema de informações geográficas é composto por uma série de instrumentos, responsáveis pela coleta, armazenamento, recuperação, transformação e apresentação de dados espaciais do mundo real. Essa caracterização espacial auxilia na compreensão da estrutura e do padrão da paisagem, permitindo a identificação e criação de unidades de conservação para espécies ameaçadas (DOBSON *et al.*, 1997).

Segundo Câmara *et al.* (2004), a análise espacial de dados tem como objetivo mensurar as propriedades e relacionamentos do objeto, a partir de uma localização conhecida. Além disso, o mais importante é incorporar as questões ligadas ao espaço, para que surjam outras análises e interpretações do fenômeno estudado.

Para Johnson (1990), os estudos de ecologia de paisagens e biodiversidade, na sua grande maioria, utilizam o SIG na estimativa de comprimento e área, nas análises de proximidade ou vizinhança, nas funções de interseção espacial, na análise de coincidência espacial, na detecção de mudanças temporais, no cálculo de medidas específicas, bem como na simulação de dados de entrada em modelos de crescimento.

Os modelos de simulação são amplamente utilizados no meio científico. Através dessa técnica é possível descrever a evolução de processos que muitas vezes demandaria um longo período de tempo real. Segundo Soares-Filho *et al.* (2002), a importância da simulação advém de sua capacidade de testar uma infinidade de opções e experiências, e acaba sendo vista como um instrumento de aquisição de conhecimento de sistemas dinâmicos.

A criação de cenários definidos pela simulação espacial confere uma alta capacidade de elaborar inúmeros efeitos de degradação ambiental sobre a matriz paisagística, sendo a fragmentação o mais comum em estudo de dinâmica de paisagem. Assim, o trabalho teve como objetivo compreender e analisar, através das métricas de paisagem, a atual situação dos fragmentos florestais na Fazenda Experimental do Canguiri e sua sustentabilidade temporal na matriz paisagística, frente a simulação de diferentes intensidades do efeito borda.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

A paisagem estudada compreende as terras pertencentes à Fazenda Experimental do Canguiri, gerenciada pelo Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná (UFPR). Sua localização

encontra-se a 18 km de distância de Curitiba, no município de Pinhais, nas coordenadas geográficas latitude 25°23'30"S e longitude 49°07'30"W (Figura 1). Na projeção UTM, suas coordenadas são 7190200 N e 688200 W (*Datum SAD-69, zona 22S*). A sua amplitude de terra abrange um total de 440 ha, onde são realizados os mais diversos estudos científicos, sendo que a atividade de silvicultura ocupa um total de 120 ha (RONZELLI JÚNIOR *et al.*, 1995).

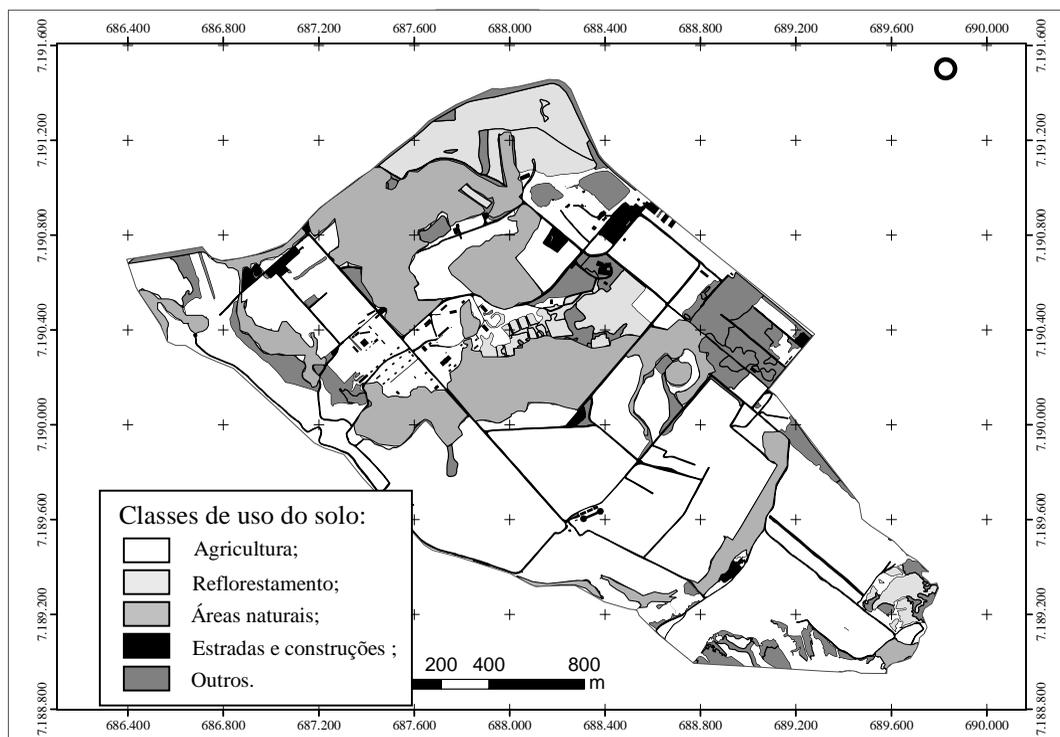


Figura 1. Mapa de classificação de uso do solo da Fazenda Experimental do Canguiri.
Figure 1. Map of the land use classification of Canguiri Experimental Farm.

O clima está classificado como Cfb, pela classificação de Köppen, com precipitação média anual de 1400 a 1600 mm, com temperaturas médias no mês mais frio abaixo de 18 °C e nos meses mais quentes inferiores a 22 °C (IAPAR, 2007). A área apresenta uma variação de classes de solo, como Cambissolos, Latossolos e suas associações, além de Organossolos e Gleissolos (Depto. de Solos–UFPR). A formação vegetal pode ser classificada como Floresta Ombrófila Mista, com a presença de campo limpo em alguns locais. A altitude média local é de 900 m e está situada no Planalto Sedimentar do Primeiro Planalto Paranaense.

A área de estudo possui diversos usos e atividades, com a classificação de uso do solo distribuída basicamente em 5 classes, sendo elas: reflorestamento (36,7 ha/8,34%), agricultura (246,5 ha/56,02%), estradas e construções (20,9 ha/4,75%), área natural (84,72 ha/19,25%) e outros usos (51,18 ha/11,63%), que incorporam áreas de lazer, lagoas, áreas de regeneração natural em estágio inicial de recobrimento do solo ou em estágio primário.

Análise dos dados

O procedimento de análise seguiu uma sequência composta por 4 fases (Figura 2). Na Fase I, a paisagem em estudo foi analisada e interpretada via ortofoto digital (filme colorido) na escala de 1:10.000. Nessa etapa, todos os fragmentos florestais foram identificados e interpretados pela fotointerpretação e na sequência digitalizados com o uso do software ArcGis 9.1.

Paralelamente foi criado um Geodatabase (banco de dados) estruturado para reconhecer os domínios presentes em cada polígono, seguindo a estrutura proposta pela Tabela 1. Ao criar um domínio, algumas considerações relevantes devem ser realizadas, como, por exemplo, a definição do nome do

domínio, o tipo de variável e o tipo de domínio. A definição da precisão de cada atributo ou tipo de variável no domínio teve como referência o conhecimento prévio da amplitude de valores dos índices. Sendo assim, apenas dois tipos foram usados, o primeiro (*Text*) que armazena basicamente valores alfanuméricos, e o segundo (*Float*, 'single') que armazena valores numéricos dentro do intervalo de aproximadamente $-3,4 \times 10^{38}$ a $1,2 \times 10^{38}$. A escolha do tipo correto de precisão permite uma facilidade na análise e controle durante o processamento da informação.

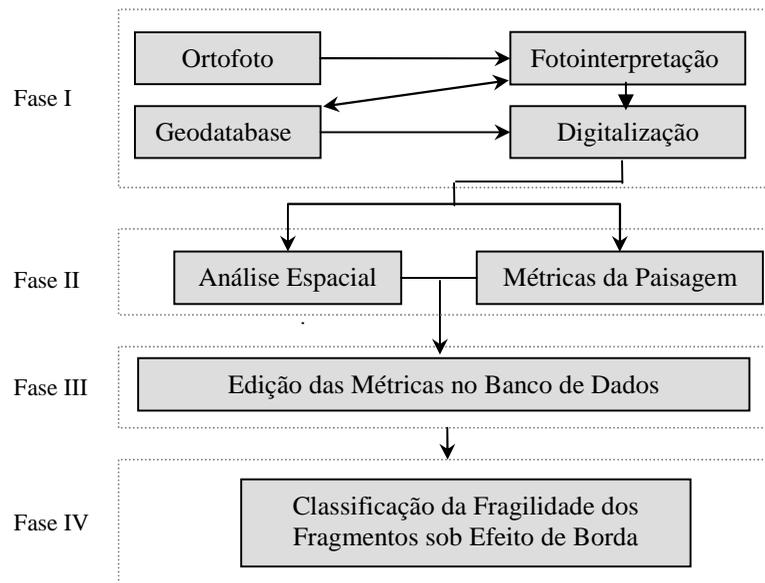


Figura 2. Organograma de aplicação da metodologia usada no estudo da paisagem.
Figure 2. Flowchart of the methodology applied to study the landscape.

Tabela 1. A estrutura dos domínios e suas propriedades no banco de dados.
Table 1. The domains structure and properties in data base.

Domínios	Propriedade do domínio	
	Tipo de variável	Tipo do domínio
Uso do Solo	Text	Coded value
Área	Float	Range
Perímetro	Float	Range
Razão perímetro/área	Float	Range
Forma	Float	Range
Dimensão fractal	Float	Range
Circularidade	Float	Range
Densidade de fragmentos	Float	Range
Borda total	Float	Range
Perímetro/área de dimensão fractal	Float	Range
Justaposição e interdispersão	Float	Range

Os tipos de domínios existentes no Geodatabase são *Coded values* e *Range*, sendo o primeiro responsável por expressar qualquer valor como, por exemplo, data, número, texto. Neste trabalho, utilizou-se o tipo *Coded values* apenas para o domínio uso do solo. Já a opção *Range* é expressa apenas por dados numéricos e por isso foi utilizada nos demais domínios.

A Fase II se caracterizou pela análise espacial e pelo cálculo das métricas de paisagem. Sendo assim, a análise espacial consistiu na simulação do efeito borda a partir da geração de *buffers* internos a 10,

30 e 50 metros no entorno dos fragmentos florestais, além de considerar o estágio atual sem a simulação. A seleção das intensidades do efeito borda foi proposta levando-se em consideração a legislação (30 metros), pois alguns fragmentos enquadram-se na categoria de áreas de preservação permanente. Já os valores 10 e 50 metros foram selecionados exatamente para se conhecer um efeito mais brando e outro mais intenso na área, ambos distanciando 20 metros do limite exigido pela legislação para a localidade.

No cálculo das métricas, os dados em formato vetorial foram transformados em raster e ASCII, para que pudessem ser processados no ambiente do Fragstat. No Fragstat foram calculados os seguintes índices: Forma, Justaposição e Interdispersão, Circularidade e Perímetro/área de dimensão fractal. Ainda na Fase II, outros índices foram calculados pelo ArcGIS, como Área, Perímetro, Razão perímetro-área, Dimensão fractal, Densidade de fragmentos, Borda e Borda total (Tabela 2). A escolha desses índices teve como critério mensurar a forma e a disposição dos fragmentos na paisagem. Por exemplo, os índices Forma, Circularidade, Perímetro/área de dimensão fractal, Dimensão fractal, Perímetro e Razão perímetro/área expressam o comportamento da forma dos fragmentos frente à resistência de efeitos negativos. Segundo Forman; Godron (1986), a forma é influenciada por fatores externos, o que afeta a biodiversidade e a resistência à fragmentação. O mesmo pode-se dizer para o tamanho do fragmento, captado pelo índice de Área. Os índices de Densidade de fragmentos e Justaposição e interdispersão ajudam a delimitar o grau de isolamento dos fragmentos dispersos na paisagem. Metzger (1999) comenta que o grau de isolamento é um fator importante para a redução da diversidade e dos processos de migração entre áreas.

Tabela 2. Índices de paisagem utilizados para analisar a fragmentação florestal segundo Mcgarigal e Marks (1995).

Table 2. Landscape indexes used to analyze the forest fragmentation according to Mcgarigal e Marks (1995).

Ambiente	Medidas	Formulação
Fragmento e Paisagem	Área	A
	Perímetro	P
Fragmentos	Razão perímetro-área	$RPA = \frac{A}{P}$
	Forma	$FF = \frac{P_{ij}}{\min p_{ij}}$
	Dimensão fractal	$FD = \frac{2 \cdot \ln(P_{ij})}{\ln(a_{ij})}$
	Circularidade	$C = \sqrt{\frac{a_{ij}}{a_{ij}^s}}$
Paisagem	Densidade de fragmentos	$PD = \frac{N_i}{A} (10.000)(100)$
	Borda total	$BT = \sum_{i=1}^N P_i$
	Perímetro/área de dimensão fractal	$PAF = \frac{2}{\left[N \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^n (\ln P_{ij} \ln a_{ij}) \right] - \left[\left(\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^n \ln P_{ij} \right) \left(\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^n \ln a_{ij} \right) \right]}$
Justaposição e interdispersão	$III = \frac{\left(N \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^n \ln P_{ij}^2 \right) - \left(\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^n \ln P_{ij} \right)^2 - \sum_{i=1}^N \sum_{k=i+1}^N \left[\left(\frac{e_{ik}}{E} \right) \ln \left(\frac{e_{ik}}{E} \right) \right]}{\ln(0,5(N(N-1)))} (100)$	

P_i - proporção da paisagem ocupada pelo fragmento i ; N : número de fragmentos presentes na paisagem; e_{ik} : perímetro total (m) do fragmento i na classe k ; E : perímetro total (m) da paisagem; a_{ij} : área (m^2) do fragmento i na classe j ; P_{ij} : perímetro (m) do fragmento i na classe j ; a_{ij}^s : área (m^2) do menor fragmento circunscrito no círculo; p_{ij} : perímetro do fragmento em relação ao número de células; $\min p_{ij}$: perímetro mínimo em relação ao número de células, obtido por: $\min-p_{ii} = 4n$, se $m = 0$; ou se $\min-p_{ii} = 4n + 2$, quando $n^2 < a_{ij} \leq n(1+n)$; ou ainda $\min-p_{ii} = 4n + 4$, quando $a_{ij} > n(1+n)$, sendo que $m = a_{ij} - n^2$ e n é o maior lado inteiro do menor fragmento; a_{ij}^s - área de um círculo com o mesmo perímetro do fragmento i na classe j .

A Fase III foi empregada para editar os valores calculados na Fase II e abastecer o banco de dados com as informações providas de cada fragmento, com base nos critérios estabelecidos durante a criação do geodatabase.

A próxima etapa do fluxograma (Fase IV) resultou na classificação da fragilidade dos fragmentos ao efeito borda. Nesse ponto, os índices ligados à fragilidade de fragmentação, como Razão perímetro-área (RPA), Forma (FF), Dimensão fractal (FD) e Circularidade (C), foram agrupados em um único índice, o FRAG (índice de fragilidade a fragmentação), desenvolvido para o estudo. Esse índice foi então usado para descrever e indicar uma ordem de fragilidade dos fragmentos estudados. O índice criado indica que quanto maior o seu valor, maior é a fragilidade à fragmentação, já que ele contempla uma série de características providas dos outros índices.

A formulação do índice FRAG encontra-se a seguir:

$$\text{FRAG} = \text{RPA} + \text{FF} + \text{FD} + \text{C}$$

Em que:

FRAG - índice de fragilidade à fragmentação;

RPA - valor da posição ordenada do fragmento pelo índice Razão perímetro-área;

FF - valor da posição ordenada do fragmento pelo índice de Forma;

FD - valor da posição ordenada do fragmento pelo índice Dimensão fractal;

C - valor da posição ordenada do fragmento pelo índice de Circularidade.

Completando o processamento dos dados, foi aplicada uma análise de agrupamento, utilizando-se a distância euclidiana e o método da soma de erros quadráticos ou variância (*Ward*). A variável utilizada na análise foi o valor do índice FRAG de cada fragmento estudado, considerando-se apenas o período atual. Esse procedimento teve como objetivo agrupar os fragmentos em classes de fragilidade e mensurar quais devem ter uma atenção especial a processos de fragmentação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os fragmentos estudados (Figura 3) apresentaram uma cobertura do terreno, em área, de 84,71 ha, um valor que corresponde a 19,25% do total de toda a Fazenda Canguiri. Esses números sugerem uma deficiência em área a ser preservada na Fazenda Experimental. O trabalho de Nascimento *et al.* (2007), conduzido no mesmo local, constatou que há 22,8 ha da área de preservação permanente que devem ser recuperados e preservados, além de um extra de 22,2 ha para suprir as exigências do Código Florestal. Os mesmos autores ainda relatam os principais usos da área, incluindo agricultura (223 ha), reflorestamento (36,7 ha), solo exposto (23,4 ha), construções (9,6 ha) e estradas (11,3 ha).

A paisagem da Estação Experimental Canguiri apresentou uma grande variação na forma e área dos fragmentos. Essa variação demonstra claramente a existência de fragmentos que sofrem maior impacto do efeito borda frente a outros na mesma paisagem. O efeito borda é um dos principais agentes causadores da degradação gênica e diminuição da diversidade vegetal e da fauna (VIANA, 1990). O maior fragmento (fragmento 11) possuiu uma área de 27,8 ha, e o menor, 0,6374 ha (fragmento 5), o que representa uma variância de 59,14% entre o conjunto de dados.

A tabela 3 mostra os índices calculados para descrever a estrutura paisagística, no estágio atual e para os 3 cenários simulados do efeito borda. Analisando-se os resultados, percebeu-se que existe uma densidade (D) de 3,18 fragmentos, com um perímetro de borda (BT) de 25.696,00 metros, desconsiderando-se as bordas vizinhas semelhantes entre áreas. Porém, quando se analisa os cenários criados, notou-se que a densidade de fragmentos aumentou de 18 (efeito borda = 10 m) para 19 (efeito borda = 30 m), demonstrando que a forma e o tamanho dos fragmentos atuais podem levá-los à extinção e/ou à fragmentação, de acordo com a intensidade do efeito borda. No caso de um efeito borda de 50 m, a densidade diminuiu para apenas 9 fragmentos.

A borda total dos fragmentos (BT) ou perímetro, como esperado, apresentou uma redução do seu valor na medida em que a paisagem sofria a ação do efeito borda. A sua redução promoveu uma oscilação no número de fragmentos na área.

A variação do número de fragmentos demonstra que, nos dois primeiros momentos (10 m e 30 m), a paisagem ganha mais fragmentos (Figura 4). Isso promove uma espécie de espalhamento da vegetação e aumenta a densidade de fragmentos na paisagem. Se analisarmos apenas esse índice, falsas interpretações

podem facilmente ser realizadas, o que demonstra a necessidade de se utilizar esse índice em conjunto com outros, principalmente os índices que refletem o tamanho e a forma dos fragmentos.

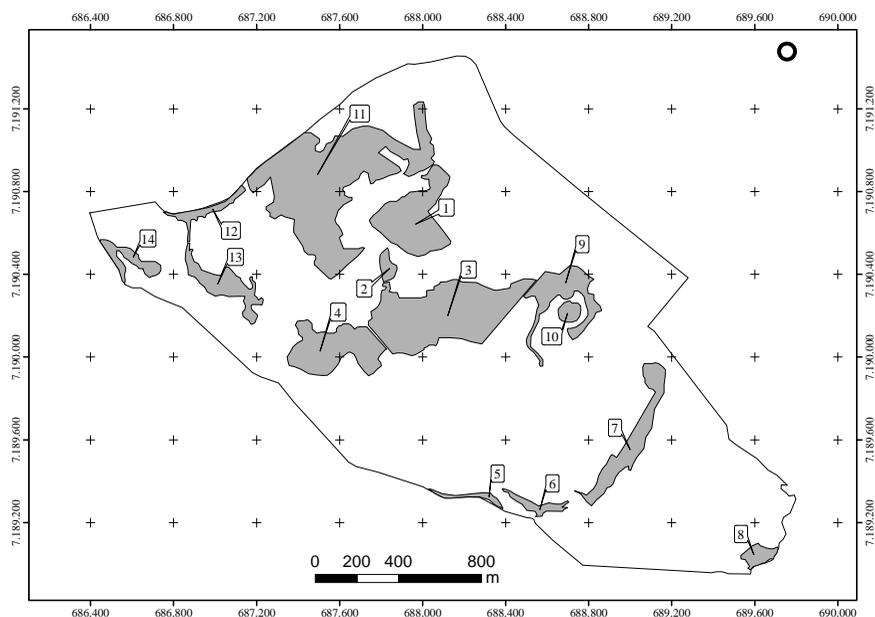


Figura 3. Mapa da distribuição dos fragmentos na matriz paisagística.
Figure 3. Map of the fragments distribution in the landscape matrix.

Tabela 3. Índices de paisagem calculados para a paisagem da Fazenda Experimental Canguiri considerando-se o estado atual e o efeito borda simulado para 10, 30 e 50 m.

Table 3. Landscape indexes calculated to Canguiri experimental farm landscape considering the actual stage and the edge effect simulation of 10, 30 and 50 m.

Métrica	Situação	Efeito borda		
	Atual	10 m	30 m	50 m
Número de fragmentos – <i>N</i>	14	18	19	9
Densidade de fragmentos – <i>D</i>	3,18	4,09	4,31	2,04
Borda total dos fragmentos – <i>BT</i>	25.696,00	17.143,95	10.096,08	5.883,87
Perímetro/área de dimensão fractal – <i>PAF</i>	1,17	1,19	1,14	1,11
Justaposição e interdispersão – <i>IJI</i>	52,14	47,51	44,45	42,48

Considerando um efeito de borda de 50 metros, a paisagem passa a englobar o menor número de fragmentos (9). Esse resultado parece muito óbvio, entretanto demonstra uma grande fragilidade desse ambiente à fragmentação, já que apenas 50 metros foram suficientes para reduzir em 35,71% o total de fragmentos na área. Caso se pense em valores de área, esse número torna-se mais assustador e chega a apenas 23,09 ha ou 72,74% de perda em área.

Para ajudar a explicar melhor o efeito da fragmentação, o índice Perímetro/área de dimensão fractal foi empregado e o valor obtido foi de 1,17 para a paisagem. Esse índice identifica o padrão da forma gerada pelos fragmentos, e seus valores variam de 1 a 2. Assim, para valores próximos de 1, como o ocorrido, a forma da paisagem tende a linhas (bordas) com direção mais retilínea. Na natureza, esse tipo de padrão não é muito interessante, pois descaracteriza o ambiente, tornando-o mais artificial. Segundo Krummel *et al.* (1987), paisagens com padrões mais simples, ou mais perturbadas, apresentam formas mais lineares do que áreas naturais preservadas, que tendem a configurar mosaicos com formas irregulares. Azevedo; Ferreira (2005) chegaram às mesmas conclusões ao estudarem perturbações sofridas em fragmentos de mata ripária. Essa forma encontrada é resultado do planejamento dos talhões/glebas usadas nos experimentos atuais e do passado. Os cenários simulados do efeito borda

obtiveram essa mesma tendência, já que o efeito borda gerado foi considerado constante ao longo dos fragmentos. Porém, apenas na simulação de 10 metros de efeito borda foi que o índice melhorou, mas não de forma significativa, conforme a figura 4. Essa melhora pode ser considerada como ocasional, devido à combinação dos novos fragmentos formados.

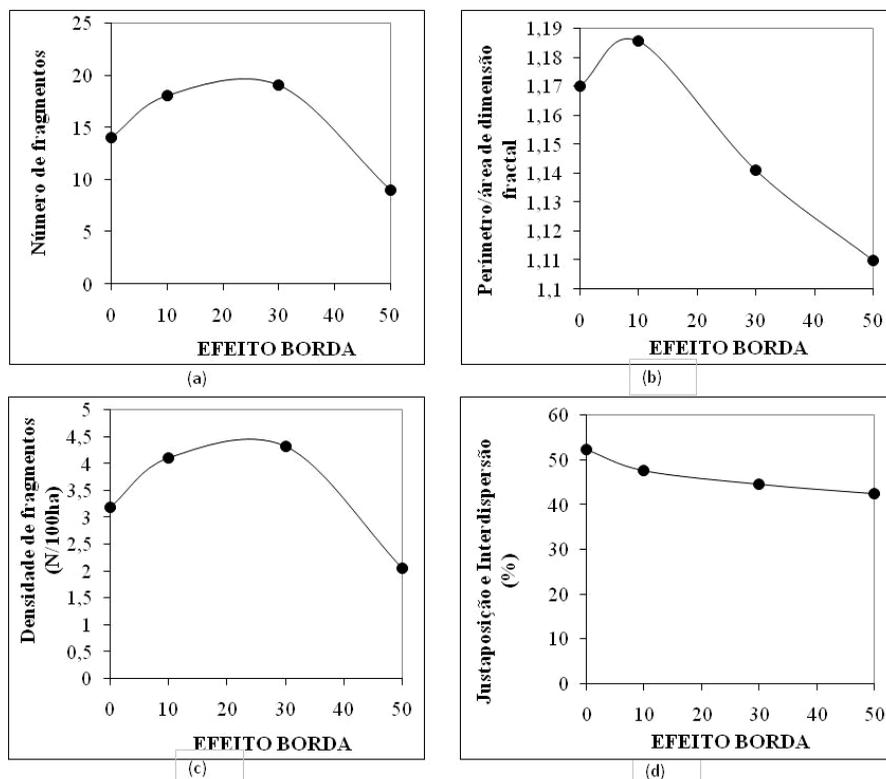


Figura 4. Análise gráfica da simulação do efeito borda de 10, 30 e 50 metros considerando-se a paisagem, em que: a = Número de fragmentos; b = Perímetro/área de dimensão fractal; c = Densidade de fragmento; d = Índice de Justaposição e interdispersão.

Figure 4. Graphical analysis of the edge effect simulation of 10, 30 and 50 meters considering the landscape, where: a = Number of fragments; b = Perimeter/ Fractal Area Dimension; c = Density of fragments; d = Interspersion and Juxtaposition Index.

O índice de Justaposição e Interdispersão (Figura 4d) é responsável por quantificar a configuração da paisagem, tendo como comportamento a análise da adjacência entre os fragmentos na paisagem. O valor obtido para a situação atual foi de 52,14%, um valor máximo encontrado na área, após as simulações espaciais do efeito borda. A redução gerada do índice ao longo do aumento do efeito ajuda a compreender melhor como funciona a perda de conectividade entre ambientes. A simulação mostrou ainda que na pior intensidade do efeito (50 metros), além da perda da conexão, a densidade de fragmentos passou a um nível bastante baixo (2,04/100 ha). Logo, a paisagem pode perder a conectividade com o aumento do efeito borda. Assim, de acordo com as figuras 5, 6 e 7, foram criados os cenários da paisagem, a partir da análise espacial de simulação do efeito borda.

Um estudo de fragilidade desenvolvido na mesma área por Donha (2006) classificou a área pertencente à Fazenda Experimental Canguiri em fragilidade potencial baixa e fragilidade emergente baixa, na sua maioria. Esses valores ajudam a mostrar que, apesar da forma indesejável na maioria dos fragmentos, a agregação/conexão entre fragmentos ainda é uma característica importante na área. Essa baixa fragilidade é confirmada ao se simular o efeito borda de 10 metros, em que nenhum fragmento desaparece do sistema. O único efeito percebido foi o surgimento de outros novos fragmentos, derivados dos fragmentos 3, 13 e 14, que se dividem em dois.

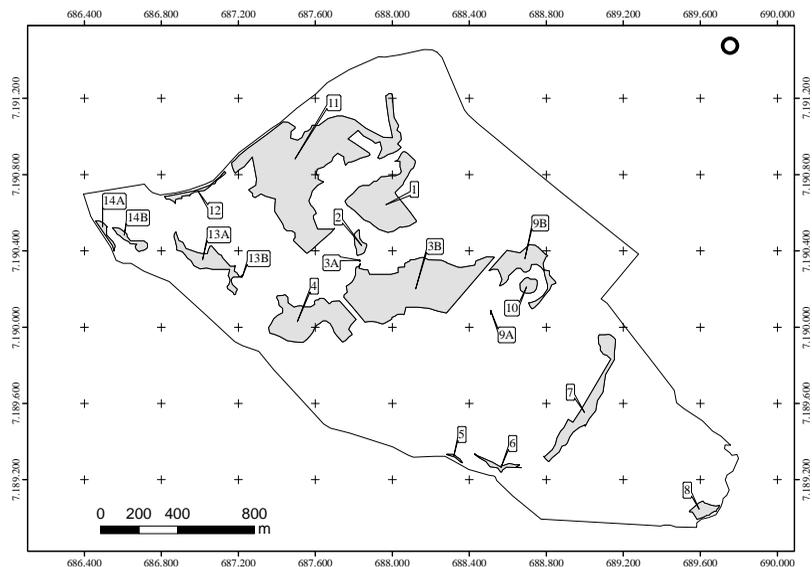


Figura 5. Simulação espacial do efeito borda de 10 metros.
 Figure 5. Spatial simulation of the edge effect of 10 meters.

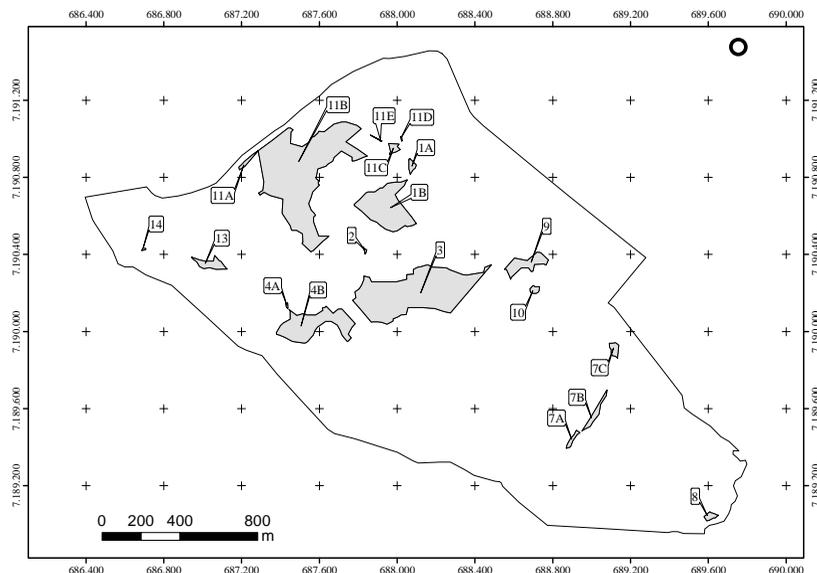


Figura 6. Simulação espacial do efeito borda de 30 metros.
 Figure 6. Spatial simulation of the edge effect of 30 meters.

Entretanto, a baixa fragilidade pode ser comprometida caso os fragmentos estejam expostos a agentes de degradação mais intensos. Essa hipótese pode ser percebida facilmente, pois os fragmentos 5, 6 e 12 desaparecem do sistema com um efeito de 30 metros. O mesmo efeito promove a divisão do fragmento 11 em um conjunto de 5 novos fragmentos. Considerando um efeito borda de 50 metros, 8 fragmentos desaparecem, sendo eles: 2, 5, 6, 7, 8, 10, 12 e 14.

A transição do efeito borda simulado entre 10 e 30 metros foi o ponto de maior impacto na paisagem, principalmente em termos de área. A evolução da perda simulada pode ser vista na Figura 8.

A tabela 4 apresenta as métricas calculadas e usadas para se compreender a forma dos fragmentos, indicando áreas mais frágeis ao processo de fragmentação para o estágio atual e para os 3 cenários simulados (10, 30 e 50 metros).

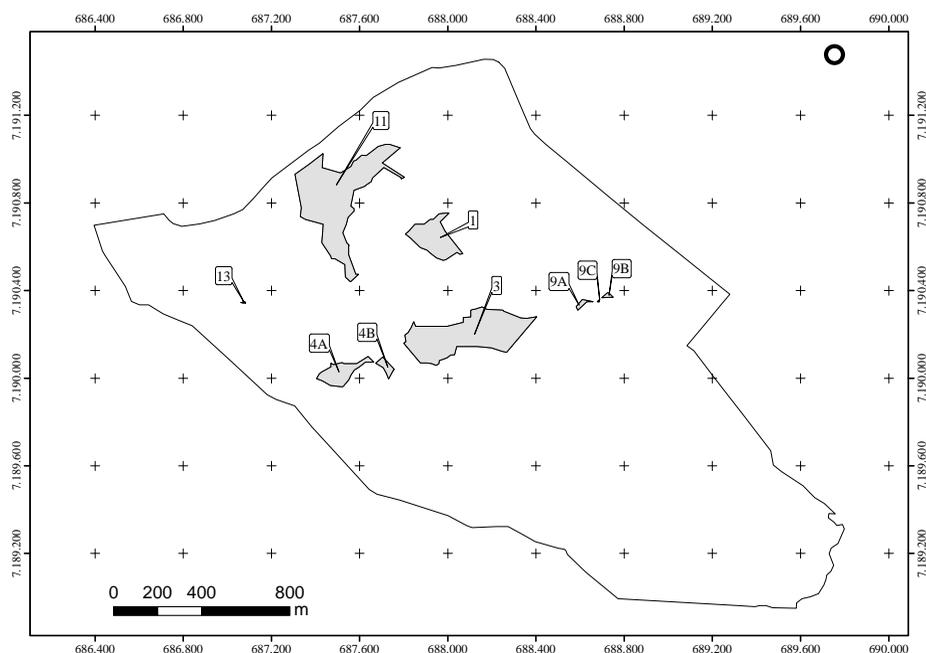


Figura 7. Simulação espacial do efeito borda de 50 metros.
 Figure 7. Spatial simulation of the edge effect of 50 meters.

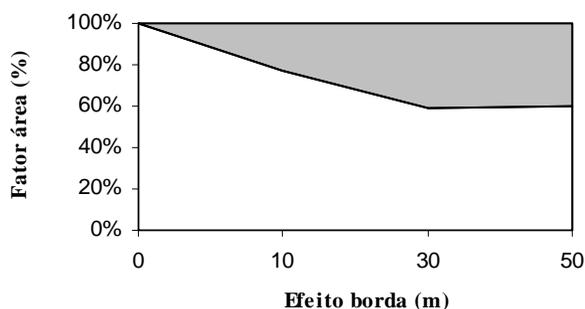


Figura 8. Simulação do efeito borda e o padrão de perda em área.
 Figure 8. The edge effect simulation and the pattern of loss in area.

Os fragmentos 3A e 13B (10 m); 2, 4A, 11D, 11E e 14 (30 m) e 9C e 13 (50 m) foram considerados desprezíveis, pois apresentaram um perímetro muito pequeno, menor que 100 m, e o valor de seus índices não entraram no cálculo do FRAG (índice de fragilidade a fragmentação). Entretanto, seus índices foram calculados e mantidos, porém não comparados durante as análises.

A razão entre perímetro-área (RPA) é uma das métricas que fornece uma importante informação em relação à compactação do fragmento e sua distribuição de extensão ao longo do terreno. Entretanto, esse índice pode gerar facilmente resultados não muito verdadeiros, principalmente quando dois fragmentos apresentam a mesma forma, porém com áreas diferentes. Os fragmentos 7 e 13 apresentam área e perímetro um pouco semelhantes, com uma pequena vantagem de valores para o primeiro. O mesmo ocorre para o índice razão perímetro/área (Tabela 3). Contudo, ao aplicar a simulação do efeito borda de 50 metros, o fragmento 7 desaparece do sistema, mesmo sendo considerado mais resistente que o fragmento 13. Esse último ainda permanece na paisagem, mas com um valor de área e perímetro muito baixo.

Tabela 4. Resultado dos índices de paisagem para uma simulação do efeito borda de 0, 10, 30 e 50 metros.
 Table 4. Results of the landscape indexes for the edge effect simulation by 0, 10, 30 and 50 meters.

Efeito Borda	N	A (ha)	P (m)	RPA	FF	FD	C	FRAG
Sem Efeito	1	8,71	1498,17	171,98	1,66	1,29	0,70	14
	2	0,84	403,70	482,95	1,36	1,33	0,80	20
	3	17,60	2223,34	126,32	1,64	1,28	0,67	11
	4	8,09	1512,47	186,94	1,72	1,30	0,67	20
	5	0,64	790,01	1239,37	2,94	1,52	0,36	55
	6	1,08	828,13	768,71	2,50	1,45	0,44	41
	7	5,50	1917,09	348,81	2,65	1,39	0,43	35
	8	1,21	506,13	418,19	1,50	1,33	0,77	20
	9	0,89	348,30	392,27	1,12	1,29	0,96	24
	10	5,21	2155,24	413,83	3,06	1,41	0,38	31
	11	27,80	4274,34	153,75	2,61	1,33	0,44	29
	12	1,40	1128,73	803,92	2,93	1,47	0,37	51
	13	3,87	1573,64	406,70	2,48	1,39	0,44	32
	14	1,88	1077,91	572,62	2,48	1,42	0,45	37
10 m	1	7,25	1421,84	196,15	1,72	1,10	0,51	27
	2	0,47	326,74	694,40	1,43	1,09	0,68	25
	3A	0,0018	20,51	11055,09	1,00	1,09	0,52	-
	3B	15,41	2081,96	135,15	1,63	1,08	0,70	15
	4	6,61	1439,58	217,75	1,80	1,11	0,60	29
	5	0,06	199,23	3189,89	2,33	1,27	0,90	41
	6	0,36	592,53	1644,70	2,88	1,26	0,92	41
	7	3,68	1731,18	470,22	2,91	1,20	0,91	34
	8	0,75	395,34	526,09	1,47	1,09	0,62	27
	9	3,24	1492,78	460,84	2,65	1,19	0,67	36
	10	0,57	280,14	488,68	1,12	1,03	0,27	24
	11	23,56	4206,91	178,60	2,77	1,16	0,67	32
	12	0,43	773,36	1789,03	3,64	1,31	0,95	45
	13A	2,38	1237,79	519,10	2,46	1,18	0,85	33
13B	0,0046	33,93	7247,43	1,00	1,06	0,51	-	
14A	0,28	406,74	1456,69	2,39	1,22	0,89	38	
14B	0,58	503,40	872,44	2,08	1,17	0,83	33	
30 m	1A	0,17	192,42	1105,39	1,34	1,09	0,63	19
	1B	4,42	987,77	223,44	1,55	1,08	0,50	28
	2	0,02	87,07	3587,88	1,70	1,20	0,77	-
	3	11,50	1848,28	160,78	1,67	1,09	0,73	23
	4A	0,02	69,40	3490,88	1,40	1,15	0,74	-
	4B	3,86	1200,58	311,02	1,96	1,13	0,71	34
	7A	0,16	243,56	1522,09	2,00	1,19	0,82	35
	7B	0,38	510,87	1348,99	2,68	1,24	0,92	40
	7C	0,26	218,95	831,36	1,20	1,05	0,55	25
	8	0,18	184,02	1035,48	1,38	1,09	0,60	32
	9	1,20	627,97	522,16	1,81	1,13	0,71	38
	10	0,14	147,66	1029,75	1,12	1,04	0,40	29
	11A	0,16	283,30	1773,74	2,37	1,24	0,89	44
	11B	15,23	2586,56	169,78	2,10	1,12	0,60	46
11C	0,20	214,62	1050,57	1,42	1,10	0,50	42	
11D	0,01	52,12	7593,86	1,50	1,22	0,81	-	
11E	0,01	135,49	16193,38	1,25	1,22	0,71	41	
13	0,59	452,14	766,94	1,79	1,14	0,79	41	
14	0,02	53,30	3421,66	1,22	1,08	0,56	-	
50 m	1	2,64	784,79	296,93	1,58	1,09	0,56	15
	3	8,16	1531,93	187,64	1,61	1,08	0,72	9
	4A	1,39	640,69	460,18	1,71	1,11	0,76	15
	4B	0,31	265,15	853,28	1,55	1,12	0,61	18
	9A	0,11	195,68	1802,41	1,68	1,15	0,73	20
	9B	0,06	118,48	2054,72	1,38	1,10	0,64	16
	9C	0,004	32,69	7585,81	1,40	1,18	0,69	-
	11	10,40	2262,20	217,47	2,22	1,14	0,69	19
13	0,01	52,28	6741,09	1,17	1,07	0,43	-	

N: número do fragmento; A: área; P: perímetro; RPA: razão perímetro área; FF: forma; FD: dimensão fractal; C: circularidade; FRAG: fragilidade.

Os fragmentos com os maiores índices de razão perímetro/área foram 5, 6 e 12, indicando que apresentam um alto valor de perímetro frente à área e uma maior fragilidade. De acordo com o resultado da simulação do efeito borda de 30 metros, esses mesmos fragmentos desaparecem da paisagem, e dessa forma podem sofrer uma maior ação do efeito borda, em virtude do seu espalhamento sobre a cobertura na paisagem. O oposto se observa nos fragmentos 1, 3, 4 e 11, que poderão sofrer menor influência desse fator negativo de desagregação. O fragmento 11, por sua vez, foi a área que mais fragmentou (5 novos fragmentos), atingindo o seu máximo de fragmentação com um efeito de 30 metros.

Borges *et al.* (2004) realizaram uma simulação do efeito borda de 50 metros em remanescentes de cerrado e afirmam que, pelo índice de circularidade, os fragmentos com valores inferiores a 0,70 merecem atenção na paisagem, principalmente os de menor área. O mesmo pode ser observado neste estudo.

O índice de forma (FF) controla o problema gerado pelo índice anterior, e sua ideia expressa a mesma lógica do índice razão perímetro/área. Dessa maneira, uma pequena mudança na ordenação dos fragmentos ocorreu, e os fragmentos com maior influência de um possível efeito borda foram 5, 10 e 12. Já no lado oposto dessa situação encontram-se os fragmentos 2, 8 e 9. Destes possíveis resistentes à fragmentação, apenas o fragmento 9 permaneceu no sistema após um efeito borda simulado de 50 metros.

Seguindo a mesma ideia anterior de forma do fragmento, o índice dimensão fractal (FD) apresentou um resultado mais similar ao índice de forma (FF), recomendando uma maior atenção aos fragmentos 5, 12 e 6 aos possíveis problemas de fragmentação que possam ocorrer no futuro.

Fushita (2006), estudando a dinâmica da paisagem em áreas de cerrado, mata ripária e semidecídua para os anos de 1962, 1972 e 2002, encontrou índices médios de dimensão fractal de 1,1263, 1,1192 e 1,1325, respectivamente. Comparando esses valores com os encontrados para os fragmentos da Fazenda Experimental do Canguiri, percebe-se que os 14 fragmentos do estudo apresentam uma forma menos resistente ao efeito borda.

O índice de circularidade (C) foi mensurado com o propósito de se conhecer o grau de compactação de cada fragmento, tendo em vista que esse índice se baseia na comparação da área do fragmento a uma figura geométrica (círculo). Assim, novamente os fragmentos 5 e 12 foram indicados com um grande potencial de sofrerem fragmentação, adicionando-se ainda os fragmentos 10, 7, 11, 13 e 6 à lista. Porém, dessa lista apenas os fragmentos 11 e 13 permaneceram na paisagem, considerando-se um efeito borda simulado de 50 metros.

O índice FRAG (índice de fragilidade à fragmentação) foi calculado para cada cenário simulado, e assim, devido a mudanças na forma dos fragmentos, a fragilidade à fragmentação entre os fragmentos sofreu alterações em sua ordem. Essa alteração foi esperada, pois alguns fragmentos, ao sofrerem pressão do efeito borda, passaram a assumir uma nova forma, e essa nova forma proporcionou mudanças na ordem de alguns índices, como no caso do fragmento 11 situação atual (FRAG = 29) e 11 após o efeito de 10 m (FRAG = 15, ou seja, uma melhora). Devido a uma falta de tendência no comportamento do índice FRAG, nas diferentes simulações do efeito borda, apenas para a situação atual foi proposta uma classificação em grupos de fragilidade.

A partir da análise em cluster na situação atual (Figura 9), fica clara a existência de grupos bem distintos, ligados à fragilidade à fragmentação. Esses valores retratam uma paisagem com características heterogêneas de resistência ao processo de fragmentação, e que medidas para a sua contenção devem ser específicas para cada grupo, a um grau de ação temporal diferenciado. No dendrograma, percebe-se que 2 grupos são formados no início, e dos 14 fragmentos, apenas os fragmentos 1, 2, 3, 4, 8 e 9 podem ser considerados mais resistentes à fragmentação. Entretanto, a classificação da fragilidade à fragmentação pode ser mais restrita ao se considerar um total de 3 grupos: *grupo I* – formado pelos fragmentos 1, 2, 3, 4, 8 e 9; *grupo II* – com os fragmentos 6, 7, 14, 10, 11 e 13; e *grupo III* – composto apenas pelos fragmentos 5 e 12. Essa classificação foi usada para a composição do mapa final de fragilidade, no qual o grau de fragilidade segue a seguinte ordem crescente: I, II e III.

A figura 10 apresenta um mapa discriminando as classes de fragilidade à fragmentação dentro da paisagem estudada. Esse mapa vem elucidar e complementar todas as afirmativas apresentadas até o momento. O grau de fragilidade à fragmentação entre os fragmentos na paisagem apresentou um comportamento diferenciado ao longo das simulações e principalmente na situação atual, representado no mapa de fragilidade.

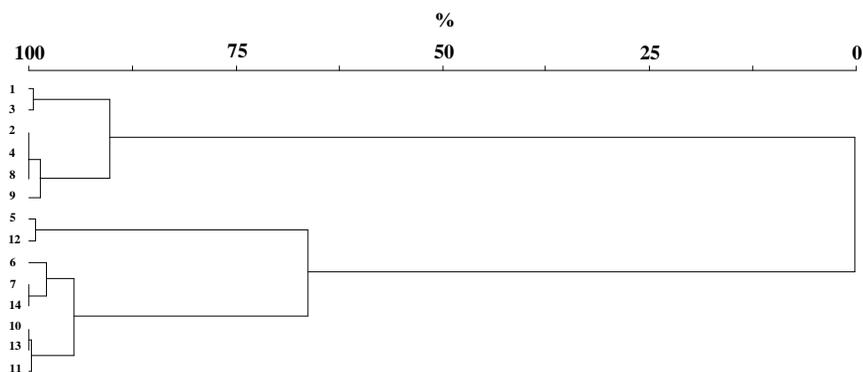


Figura 9. Dendrograma utilizado na classificação dos grupos de fragilidade.
 Figure 9. Dendrogram used to classify the fragility of the groups.

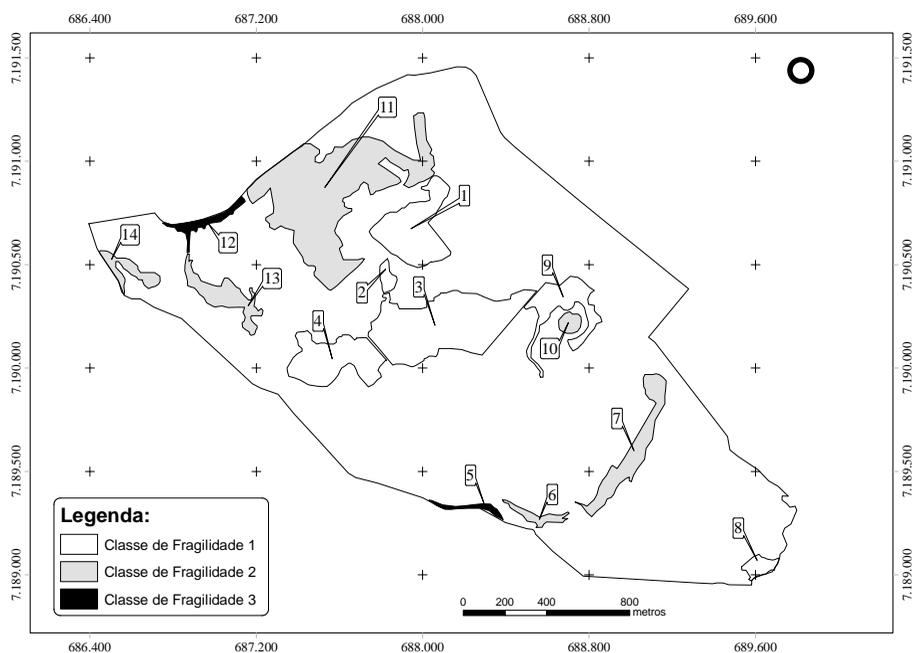


Figura 10. Mapa de fragilidade à fragmentação dos fragmentos com base no índice FRAG.
 Figure 10. Map of the fragmentation fragility based on FRAG index.

CONCLUSÕES

A simulação espacial do efeito borda na área contribuiu para se conhecer melhor o comportamento desse efeito na paisagem, mesmo sendo considerado constante no entorno dos fragmentos. Essa análise espacial apresentou um grande potencial para se conhecer a dinâmica da paisagem. Entretanto, como critério de melhoria, deve-se utilizar métodos que simulem a fragmentação ao longo dos anos, a partir de medições de campo dessas alterações ou via sensoriamento remoto, como encontrados na literatura.

O ambiente SIG ligado a um geodatabase facilitou a execução do processamento, bem como a elaboração dos mapas, devido principalmente à organização das informações.

Considerando uma simulação crescente do efeito borda até 30 metros, o número de fragmentos aumenta de 14 para 19, chegando a apenas 9 fragmentos quando o efeito é de 50 metros. Esse fato demonstra que a fragmentação pode ocorrer na Fazenda Experimental do Canguiri. Principalmente, se se levar em consideração a condução de novos experimentos que gerem riscos ambientais às formações

florestais presentes.

A conexão entre os fragmentos, dentro da paisagem, também se reduziu à medida que se aumentou a intensidade do efeito borda.

A situação atual da paisagem foi composta por 3 grupos de fragilidade, definidos pela análise em cluster, sendo eles o grupo I (formado pelos fragmentos 1, 3, 2, 4, 8 e 9), o grupo II (com os fragmentos 6, 7, 14, 10, 13 e 11) e o grupo III (composto apenas pelos fragmentos 5 e 12), com uma ordem crescente de fragilidade entre grupos.

A manutenção/expansão desses fragmentos permitirá aumentar o grau de conectividade, preservação/conservação, como ainda garantir uma melhora na capacidade de controlar o escoamento de sedimentos para o reservatório, já que este se encontra na área vizinha à Fazenda, beneficiando, assim, a qualidade da água para as comunidades locais.

REFERÊNCIAS

AZEVEDO, T. S.; FERREIRA, M. C. Evolução espaço temporal da dimensão fractal das matas ciliares na alta bacia do rio Passa Cinco, Ipeúna-SP. **Geografia**, Rio Claro, n. 3, v. 30, p. 525-542, 2005.

BORGES, L. F. R.; SCOLFORO, J. R.; OLIVEIRA, A. D.; MELLO, J. M.; ACERBI-JUNIOR, F. W.; FREITAS, G. D. Inventário de fragmentos florestais nativos e propostas para seu manejo e o da paisagem. **Cerne**, Lavras, v. 10, n. 1, p. 22-38, 2004.

CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M.; FUCKS, S. D.; CARVALHO, M. S. Análise espacial e geoprocessamento. In: DRUCK, S.; CARVALHO, M. S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. V. M. "**Análise Espacial de Dados Geográficos**". Brasília, DF: EMBRAPA, 2004, 209 p.

DOBSON, A. P.; BRADSHAW, A. D.; BAKER, A. J. M. Hopes for the future: restoration ecology and conservation biology. **Science**, Lancaster, v. 277, p. 515-522, 1997.

DONHA, A. G.; SOUZA, L. C. P.; SUGAMOSTO, M. L. Determinação da fragilidade ambiental utilizando técnicas de suporte à decisão e SIG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 1, p. 175-181, 2006.

DIAMOND, J. Overview of recent extinctions. In: WESTERN, D.; MARY, P. (Eds.) **Conservation for the twenty-first centu**. New York: New York Zoological Society, Oxford University Press, 1992. p. 37-41.

FORMAN, R. T. T, GODRON, M. **Landscape ecology**. New York: J. Wiley & Sons. 1986. 619 p.

FUSHITA, A. T. **Análise de fragmentação de áreas de vegetação natural e semi-natural do município de Santa Cruz da Conceição, São Paulo, Brasil**. 125 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federa de São Carlos, São Carlos, 2006.

GOLLEY, F. B. Development of landscape ecology and its relation to environmental management. In: JENSEN M.E.; BURGERON P.S. (Eds.). **Ecosystem management: principles and applications**. 1994. v. 2. p. 34-41. (PNW-GTR- 318).

HERSBERGER A. M. Landscape ecology and its potential application to planning. **Journal Planning Lit**, [S.l.], v. 9, p. 1-25, 1994.

IAPAR. Disponível em: <http://200.201.27.14/Site/Sma/Cartas_Climaticas/Cartas_Climaticas.htm>. Acesso em: 12/12/2007.

IPARDES. Disponível em: <http://www.ipardes.gov.br/anoario_2006/>. Acesso em: 28/05/2008.

JOHNSON, L. B. Analyzing spatial and temporal phenomena using geographical information systems. **Landscape Ecology**, Dordrecht, v. 4, n. 1, p. 31-43, 1990.

KRUMMEL, J. R.; GARDNER, R. H.; SUGIHARA, G.; O'NEILL, R. V.; COLEMAN, P. R. Landscape patterns in a disturbed environment. **Oikos**, Copenhagen, v. 48, p. 321-324, 1987.

- MACHADO, A. B. M.; FONSECA, G. A. B.; MACHADO, R. B.; AGUIAR, L. M. S.; LINS, L. V. **Livro vermelho das espécies ameaçadas de extinção da fauna de Minas Gerais**. 2. ed. Belo Horizonte: Fundação Biodiversitas, 1998. 503 p.
- MCGARIGAL, K.; MARKS, B. J. **FRAGSTATS**: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. Portland: Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station. 1995. 122 p. (PNW-GTR-351).
- METZGER, J. P. Estrutura da paisagem e fragmentação: análise bibliográfica. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 71, n. 3-I, p. 445-463, 1999.
- METZGER, J. P. O que é ecologia de paisagem? **Biota Neotrópica**, Campinas, v. 1, n. 1, p. 1-9. 2001.
- NASCIMENTO, L. A.; LINGNAU, C.; STOLLE, L. Diagnóstico da Reserva Legal e Área de Preservação Permanente em uma propriedade rural Estação Experimental Canguiri da Universidade Federal do Paraná. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis, Brasil. **Anais....** Florianópolis, 2007, p. 4081-4087.
- RONZELLI JR., P.; PERCY, L.; BONA FILHO, A.; LIMA NETO, V. da C. **O Centro de Estações Experimentais**. Curitiba: Fundação da Universidade Federal do Paraná, 1995. 24 p. Suplemento Especial da Revisa do Setor de Ciências Agrárias.
- SOARES-FILHO, B. S.; PENNACHIN, C.; CERQUEIRA, G. A stochastic cellular automata model designed to simulate the landscape dynamics in an Amazonian colonization frontier. **Ecological Modelling**, Amsterdam, v. 154, p. 217-235, 2002.
- VIANA, V. M. Biologia e manejo de fragmentos florestais naturais. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6., 1990, Campos do Jordão. **Anais...** Campos do Jordão: SBS/SBEF, 1990. p. 113-118.
- VIANA, V. M.; TABANEZ, A. J. A. J. Biology and conservation of forest fragments in the Brazilian Atlantic moist forest. In: SCHELHAS, J.; GREENBERG, R. (Ed.). **Forest patches tropical landscapes**. Washington, DC: Island Press, 1996. p. 151-167.
- VOGELMANN, J. E. Assessment of Forest Fragmentation in Southern New England using Remote Sensing and Geographic Information System's Technology. **Conservation Biology**, Boston, v. 9, n. 2, p. 439-449, 1995.