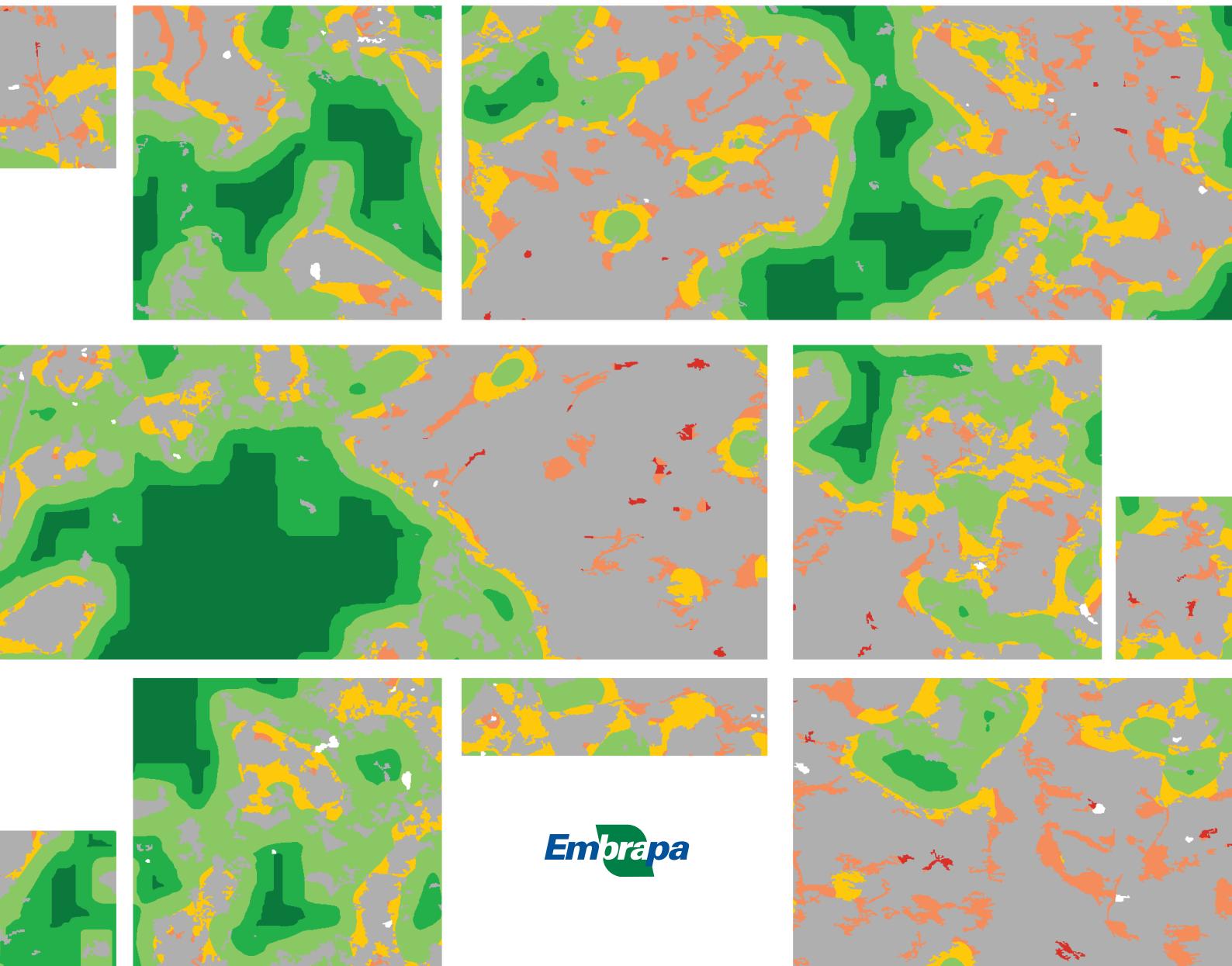


Densidade de área florestal como
indicador da fragmentação nos
Biomas Mata Atlântica, Pampa e Caatinga



DOCUMENTOS 359

**Densidade de área florestal
como indicador da fragmentação nos
Biomas Mata Atlântica, Pampa e Caatinga**

*Maria Augusta Doetzer Rosot
Marilice Cordeiro Garrastazú
Luziane Francison
Jéssica Caroline Maran
Yeda Maria Malheiros de Oliveira*

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Florestas

Estrada da Ribeira, km 111, Guaraituba,
Caixa Postal 319
83411-000, Colombo, PR, Brasil
Fone: (41) 3675-5600
www.embrapa.br/florestas
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações da
Embrapa Florestas

Presidente

Patrícia Póvoa de Mattos

Vice-Presidente

José Elidney Pinto Júnior

Secretária-Executiva

Elisabete Marques Oaida

Membros

Annette Bonnet

Cristiane Aparecida Fioravante Reis

Elenice Fritzsons

Krisle da Silva

Marcelo Francia Arco Verde

Marilice Cordeiro Garrastazu

Susete do Rocio Chiarello Penteado

Valderêis Aparecida de Sousa

Supervisão editorial e revisão de texto

José Elidney Pinto Júnior

Normalização bibliográfica

Francisca Rasche

Projeto gráfico da coleção

Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Editoração eletrônica

Neide Makiko Furukawa

1ª edição

Versão digital (2021)

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte,
constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Embrapa Florestas

Densidade de Área Florestal (Forest Area Density – FAD) como
indicador da fragmentação nos Biomas Mata Atlântica, Pampa e
Caatinga. [recurso eletrônico] / Maria Augusta Doetzer Rosot ... [et
al.]. - Colombo : Embrapa Florestas, 2021.

PDF (26 p.) - (Documentos / Embrapa Florestas, ISSN 1980-3958
; 359)

Modo de acesso: World Wide Web:

<<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/item/221>>

1. Monitoramento ambiental. 2. Paisagem. 3. Cobertura do solo.
 4. Densidade do povoamento. 5. Sistemas de informação geográfica.
- I. Rosot, Maria Agusta Doetzer. II. Garrastazu, Marilice Cordeiro. III. Franciscon, Luziane. IV. Maran, Jéssica Caroline. V. Oliveira, Yeda Maria Malheiros de. VI. Série.

CDD (21. ed.) 621.3678

Autores

Maria Augusta Doetzer Rosot

Engenheira Florestal, doutora em Engenharia Florestal, pesquisadora da Embrapa Florestas, Colombo, PR

Marilice Cordeiro Garrastazu

Engenheira Florestal, mestre em Engenharia Agrícola, pesquisadora da Embrapa Florestas, Colombo, PR

Luziane Franciscon

Estatística, mestre em Estatística e Experimentação Agronômica, analista da Embrapa Florestas, Colombo, PR

Jéssica Caroline Maran

Engenheira Florestal, mestre em Ciências Florestais, proprietária da empresa JCM Serviços de Mapeamento Remoto Ltda., Curitiba, PR

Yeda Maria Malheiros de Oliveira

Engenheira Florestal, doutora em Ciências Florestais, pesquisadora da Embrapa Florestas, Colombo, PR

Apresentação

Em fragmentos florestais, a perda de área core (ou habitat interior) constitui um dos processos que contribuem para a fragmentação. Embora inúmeros métodos quantitativos para estimar a fragmentação tenham sido desenvolvidos no âmbito da ecologia de paisagens, frequentemente as métricas tradicionalmente empregadas fornecem índices ou valores globais por fragmento ou paisagem. Além disso, a percepção da fragmentação varia com a escala e possui diferentes graus, dependendo do organismo objeto da análise. Neste trabalho são abordados aspectos metodológicos para avaliar a fragmentação de habitats florestais com base no cálculo da densidade de área florestal, que provê informação espacializada não disponível quando se utiliza apenas índices ou estatísticas. A metodologia - aplicada a um conjunto de unidades amostrais de paisagem (UAPs) do Inventário Florestal Nacional - considerou diretamente variáveis como a área e a forma da floresta contínua e, indiretamente, a integridade da floresta (quantidade, forma e área de perfurações dentro de florestas intactas), bem como a distribuição espacial dos fragmentos separados por áreas não florestais. Os resultados mostraram que mais de 40% das UAPs amostradas se encontram na classe de fragmentação severa. Essa mesma prevalência foi observada nos biomas Mata Atlântica (56%) e Pampa (89%), quando analisados separadamente. Na Caatinga essa tendência se inverte, com apenas 9% das UAPs apresentando fragmentação severa. Apenas 8% de todas as UAPs possuem cobertura florestal que pode ser considerada contínua, pertencendo à classe de fragmentação leve. A técnica pode ser empregada para a localização de hotspots de fragmentação, com a vantagem de não apresentar restrições de escala e utilizar software livre.

Marcílio José Thomazini

Chefe Adjunto de Pesquisa e Desenvolvimento
Embrapa Florestas

Sumário

Introdução	9
Métodos	10
Área de estudo.....	10
Resultados.....	15
Densidade de área florestal para UAPs individuais.....	15
Densidade de área florestal para o conjunto de unidades amostrais de paisagem	21
Classificação das unidades amostrais de paisagem de acordo com a intensidade de fragmentação	22
Considerações finais	25
Agradecimentos.....	25
Referências	26

Introdução

Em um número crescente de países no mundo, uma das questões prioritárias em termos de gestão ambiental é a perda de floresta interior que, quando analisada sob a perspectiva da paisagem, constitui um dos processos incluídos no conceito de fragmentação florestal (Grebner et al., 2013). Segundo CBD (2006), denomina-se *fragmentação florestal* qualquer processo que resulte na conversão de uma floresta anteriormente contínua para fragmentos de floresta separados por áreas não florestais. Além da conversão direta de uso da terra para atividades agropecuárias, por exemplo, uma gama de outros fatores contribui para o aumento da fragmentação, incluindo-se aí desde o aumento populacional (Riitters et al., 2002) até a compra e venda – e consequente desmembramento – de propriedades rurais que contêm fragmentos de floresta (Wear et al., 2007).

Tipicamente, a fragmentação é um descritor relacionado a vários atributos espaciais de um mapa florestal, tais como área total de floresta, tamanho médio dos fragmentos, número de fragmentos florestais, agregação ou dispersão espacial dos fragmentos, compacidade, quantidade de bordas florestais, quantidade de perfurações e conectividade entre fragmentos, entre outros (Vogt, 2018). Além da perda de habitat, o processo de fragmentação causa aumento no número e no grau de isolamento de fragmentos e, também, decréscimo no tamanho de fragmentos, embora nem sempre esses efeitos sobre a configuração dos habitats sejam levados em conta (Fahrig, 2003).

Métodos quantitativos para estimar a fragmentação são fundamentais para que organizações florestais e de conservação possam analisar, avaliar e controlar a fragmentação em paisagens florestais (Kucas et al., 2011). McIntyre e Hobbs (1999) desenvolveram, conceitualmente, um modelo que classifica o grau de alteração na paisagem, de acordo com percentuais de retenção do habitat original. Riitters et al. (2000) operacionalizaram esse modelo para quantificar a fragmentação em múltiplas escalas a partir de mapas de uso e cobertura da terra em estrutura matricial: cada pixel é classificado de acordo com o tipo de fragmentação que ocorre na paisagem do entorno, para múltiplos tamanhos de paisagem. A proporção de floresta contínua, vizinha a determinado pixel, denominada densidade de área florestal (Riitters et al., 2012), é empregada para determinar os limites que definem as classes de fragmentação de uma paisagem (Pearson et al., 1996). A densidade de área florestal pode ser entendida como a densidade espacial da cobertura florestal (Riitters et al., 2002) e os valores a ela atribuídos permitem classificar as florestas como intactas, dominantes ou fragmentadas, por exemplo, eliminando a subjetividade de tais caracterizações.

Métodos computacionais baseados em princípios geométricos foram customizados para avaliar a fragmentação com base na densidade de área florestal. Nesse trabalho, pretende-se demonstrar o uso da análise denominada FAD (*Forest Area Density*), presente no software GuidoToolBox (Vogt; Riitters, 2017), para o cálculo da densidade de área florestal em diversas escalas, empregando como estudo de caso unidades amostrais de paisagem dos biomas Pampa, Mata Atlântica e Caatinga. São descritos detalhes do processamento, procedimentos específicos adotados, os tipos de resultados gerados e sua aplicação, como indicativo do grau de fragmentação das florestas existentes nas áreas amostradas.

Métodos

Área de estudo

As unidades amostrais de paisagem (UAPs) – integrantes da componente de paisagem do Inventário Florestal Nacional (IFN-BR) – consistem em áreas quadradas de 100 km², distribuídas sistematicamente sobre um grid nacional de 40 km x 40 km. As UAPs têm sido objeto de diversos estudos relacionados a aspectos estruturais da paisagem, principalmente os que dizem respeito à aplicação de operadores morfológicos, para obtenção de índices de paisagem. No presente trabalho, a quantificação da densidade de área florestal foi efetuada sobre uma subamostra de 29 UAPs no Pampa, 261 na Mata Atlântica e 137 na Caatinga, totalizando 427 UAPs (Figura 1) – o que representa cerca de 2% da área de cada bioma.

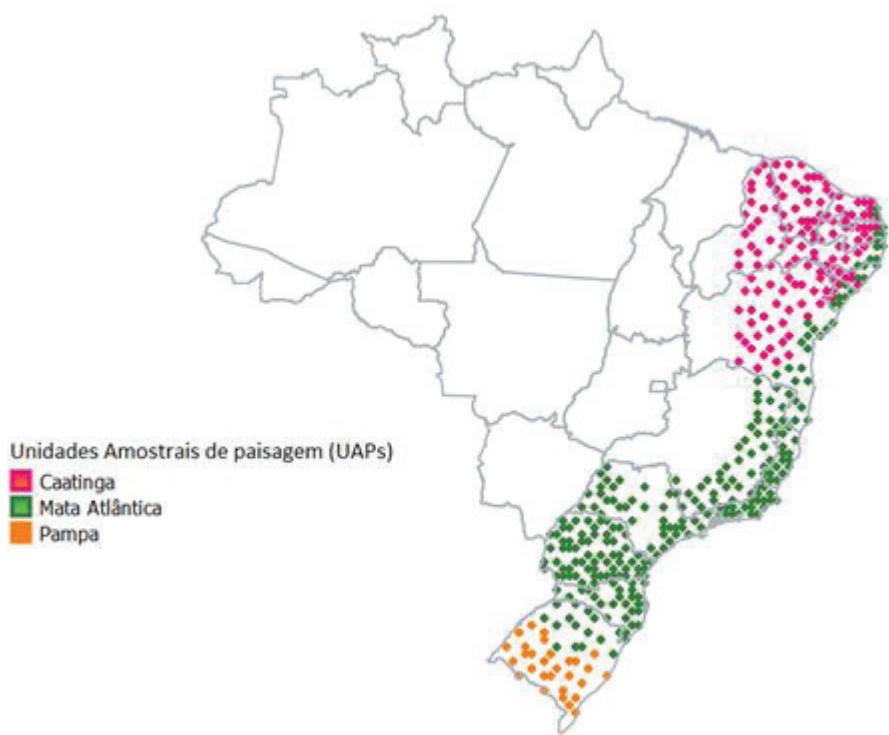


Figura 1. Subamostra do conjunto de unidades amostrais de paisagem (UAPs) do Inventário Florestal Nacional do Brasil (IFN-BR) usadas no estudo, distribuídas por bioma.

Como *inputs* iniciais, foram empregados os mapas de uso e cobertura da terra disponíveis para as 427 UAPs, gerados com base em imagens RapidEye com 5 m de resolução para o ano de 2014, conforme metodologia descrita em Luz et al. (2018a). As classes de mapeamento das UAPs mostradas na Tabela 1 (Luz et al., 2018b) constituem a base desse e de outros estudos abordando a temática de avaliação da fragmentação e conectividade da paisagem.

A quantificação da superfície de floresta contínua e da fragmentação sobre os mapas de uso e cobertura das UAPs foi obtida pelo cálculo da proporção de pixels de floresta, em uma vizinhança determinada por diferentes tamanhos de janelas móveis. A cobertura florestal incluiu as classes *floresta natural*, *outras terras com vegetação lenhosa* e *outras terras com árvores*, conforme descrição na Tabela 1.

Tabela 1. Descrição e codificação das classes de uso e cobertura presentes nas UAPs.

Classe	Símbolo/ código	Descrição
Floresta natural	F 01	Áreas estendendo-se por mais de 0,5 ha ocupadas por árvores com mais de 5 m de altura, com uma cobertura de copa maior que 10%, ou árvores capazes de atingir estes limiares <i>in situ</i> (FAO, 2012), de origem natural. Não incluem áreas de uso predominantemente agrícola ou urbano. São definidas tanto pela presença de árvores quanto pela ausência de outros usos da terra predominantes.
Outras terras com vegetação lenhosa	VL 02	Áreas não classificadas como florestas, que se estendem por mais de 0,5 ha, com árvores maiores que 5 m e cobertura de copas entre 5% e 10%; ou árvores capazes de atingir estes limiares <i>in situ</i> ; ou com uma combinação de indivíduos arbóreos, arbustivos e de árvores com mais de 10% de cobertura do dossel (FAO, 2012).
Outras terras com árvores	OTA 03	Contempla árvores isoladas, ou agrupadas, que não se enquadram na definição de floresta, ocorrendo associadas a outros usos, como áreas de agricultura e pastagem, ou influência urbana. Correspondem a áreas que tenham abrangência superior a 0,05 ha (500 m ²) e inferior a 0,5 ha (5.000 m ²).
Gramíneas e herbáceas	C 04	Áreas naturais, caracterizadas por um estrato predominantemente herbáceo, com eventual ocorrência de elementos arbóreo/arbustivo, desde que esparsamente distribuídos, sobre um tapete gramíneo-lenhoso. Encontram-se disseminadas por diferentes regiões fitogeográficas, compreendendo diferentes tipologias, com diversos graus de antropização (IBGE, 2013).
Floresta plantada	R 05	Classe relativa aos plantios ou formações de maciços com espécies florestais nativas ou exóticas, puros ou consorciados. Nesta definição não se considera se o plantio é realizado em áreas anteriormente povoadas com espécies florestais ou não; considera-se como floresta plantada todas as áreas povoadas com essências florestais, independentemente do ambiente. Inclui estradas florestais, barreiras de proteção contra incêndios e quebra-ventos.
Solo exposto	S 06	Áreas sem cobertura vegetal, devido a influência antrópica, podendo estar ocupadas por atividades de mineração, exploração de jazidas, lavras ou extração de areia.
Agricultura e pastagem	A 07	Áreas utilizadas para a produção de alimentos, fibras e <i>commodities</i> do agronegócio, incluindo todas as terras cultivadas, ou em descanso, podendo também compreender áreas alagadas (IBGE, 2013) que sejam utilizadas para essa mesma finalidade. Classe constituída por culturas temporárias, cíclicas e permanentes. Inclui, ainda, as plantas hortícolas, floríferas, medicinais, aromáticas e condimentares de pequeno porte. Inclui lavouras semipermanentes e plantios lenhosos perenes definidos como agricultura, como os de frutíferas (pomares).
Influência urbana	U 08	A essa nomenclatura estão associados os tipos de uso da terra de natureza antrópica intensiva, estruturadas por edificações e sistema viário, onde predominam as superfícies artificiais não agrícolas. Estão incluídas nesta categoria as metrópoles, cidades, vilas, áreas de rodovias, serviços e transporte, energia, comunicações e terrenos associados, bem como edificações presentes no meio rural (casas, galpões, estabulos, entre outras).
Superfície com água	H 09	Áreas compostas pelo oceano, rios, lagos, lagoas, barragens, represas, canais naturais ou artificiais, tanques d'água, com área igual ou superior a um hectare.
Dunas e afloramentos rochosos	D 10	Áreas referentes a ambientes naturais, sem cobertura vegetal, como afloramentos rochosos, praias, dunas e extensões de areia ou seixos (IBGE, 2013).
Área não observada	NO 00	Área de desinformação, não observada por impedimentos tais como erro no sistema de imageamento, obstruções como nuvens e sombra de nuvens e demais condições de observação desfavoráveis.

Fonte: Modificado de Luz et al. (2018b).

A Figura 2 exemplifica a forma de cálculo da proporção de cobertura florestal (quadrados em cor verde), com relação a outras classes (quadrados em cinza), usando uma janela móvel de 7 pixels x 7 pixels (em vermelho). A relação entre o número de pixels de cobertura florestal e o número total de pixels da janela, na posição destacada em cor branca na Figura 2, é 28/49, o que representa aproximadamente 57% de proporção de cobertura florestal, valor este que será atribuído ao pixel central da janela na imagem resultante. O deslocamento da janela sobre toda a imagem permite calcular as proporções para todos os pixels centrais que representem áreas de cobertura florestal.

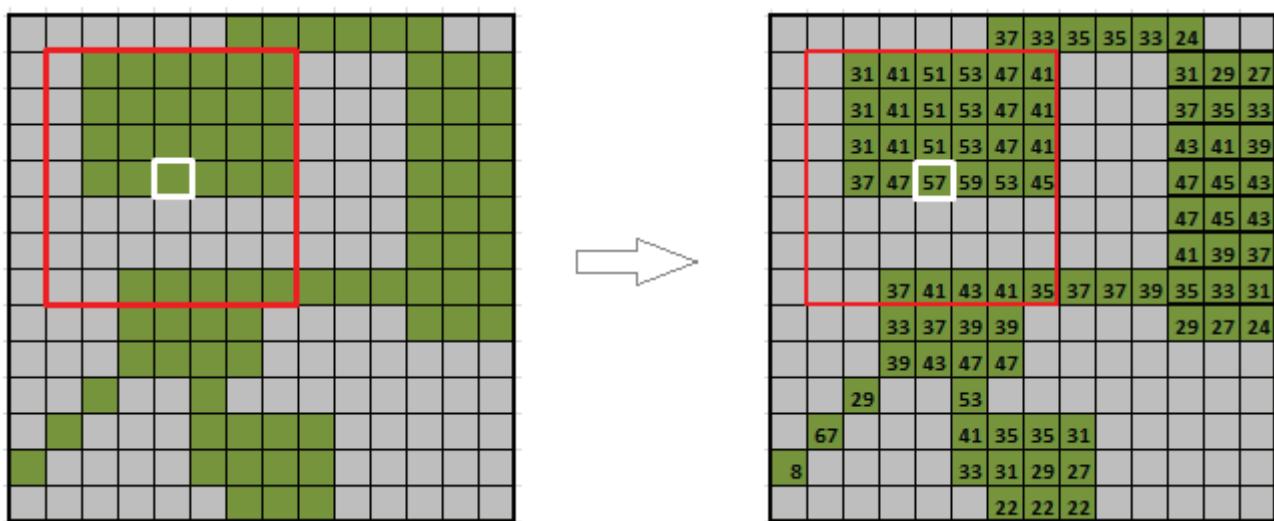


Figura 2. Representação esquemática dos resultados obtidos para a densidade de área florestal (pixels em verde) usando janela móvel de 7 pixels x 7 pixels (em vermelho), com destaque para o pixel central da janela (em branco). Os números representam a proporção de cobertura florestal para o pixel central, considerando o deslocamento da janela móvel sobre a imagem.

O cálculo da densidade de área florestal no GuidosToolBox (GTB) foi realizado por meio do módulo denominado FAD (*Forest Area Density*), disponível no submenu *MultiScale* (Figura 3). Previamente ao processamento do módulo FAD propriamente dito, os mapas de uso e cobertura, em formato raster, foram reclassificados usando a ferramenta *Recode*, disponível no GTB, atribuindo-se valores de 2 byte para o primeiro plano ou *foreground*, representado pelas classes de cobertura florestal e de 1 byte para as demais classes agrupadas, consideradas como o conjunto de classes fragmentadoras do *foreground*. O valor de 0 byte foi atribuído aos dados ausentes.

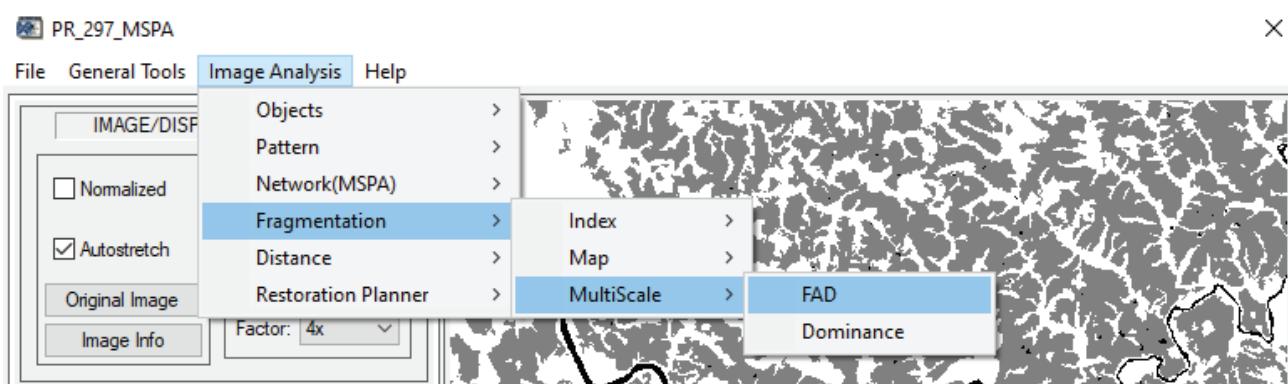


Figura 3. Janela do software GuidosToolBox (GTB), mostrando o acesso ao módulo *Forest Area Density* (FAD), para avaliação da fragmentação.

A ferramenta utiliza, como padrão, cinco escalas de observação, representadas por janelas móveis de diferentes dimensões, correspondentes a cinco diferentes tamanhos de área no terreno (Tabela 2). Essas dimensões estão associadas à origem do mapa de uso e cobertura, elaborado a partir de imagens do sensor RapidEye, com 5 m de resolução espacial, o que faz com que cada pixel represente 25 m² no terreno. As diferentes áreas de vizinhança disponíveis no software foram selecionadas visando abranger uma ampla gama de escalas, de modo a estabelecer uma progressão geométrica aproximada das áreas das janelas, juntamente com a escala (Vogt, 2018).

Tabela 2. Dimensões e áreas das janelas móveis empregadas no cálculo da densidade de área florestal.

Janela	Dimensões (pixels)	Área correspondente (hectares)
1	7x7	0,1225
2	13x13	0,4225
3	27x27	1,8225
4	81x81	16,4025
5	243x243	147,6225

Com o deslocamento das cinco janelas móveis sobre a imagem recodificada, foram obtidos cinco *rasters* para cada UAP, contendo os valores da densidade de área florestal de cada pixel do primeiro plano, para as diferentes áreas de vizinhança. Usando os valores de FAD como limites, foram definidas seis classes que caracterizam a cobertura florestal quanto à intensidade da fragmentação (Tabela 3), gerando cinco mapas para cada UAP.

Tabela 3. Divisão das classes de cobertura florestal quanto à intensidade da fragmentação, de acordo com a amplitude da Densidade de Área Florestal (FAD) e as respectivas tonalidades de cores adotadas na legenda.

Valor nominal da classe	Nome da classe	R	G	B	Cor	Amplitude de FAD
1	<i>Rara</i>	215	000	000	■	FAD < 10%
2	<i>Fragmentada</i>	245	140	090	■	10% ≤ FAD < 40%
3	<i>Transição</i>	255	200	000	■	40% ≤ FAD < 60%
4	<i>Dominante</i>	135	200	100	■	60% ≤ FAD < 90%
5	<i>Interior</i>	000	175	000	■	90% ≤ FAD < 100%
6	<i>Intacta</i>	000	120	000	■	FAD = 100%

Fonte: Adaptado de Vogt (2018).

Como a escolha de uma determinada escala de observação para análise de resultados é diretamente dependente dos objetivos do estudo, optou-se, nesse trabalho, por utilizar uma abordagem integrada multiescala, também disponível no módulo FAD do software GTB. Dessa forma, para cada UAP, os cinco mapas da cobertura florestal em relação à intensidade de fragmentação foram agregados em um único mapa sumário multiescala. Para esse mapa, as novas classes são derivadas da comparação entre a soma do valor nominal observada para as classes nas diferentes escalas de observação e a soma de um valor estabelecido como linha de base, conforme apresentado na Tabela 4. Assim, por exemplo, a um determinado polígono no mapa agregado será atribuída a classe “Floresta fragmentada” se, para as escalas de observação 1 a 5, os valores nominais forem, respectivamente, 2 – 2 – 3 – 2 – 2, com soma igual a 11.

Tabela 4. Classes cumulativas da cobertura florestal em relação à intensidade de fragmentação para cinco escalas de observação, com os respectivos valores de linha de base para cada classe sumária (no mapa agregado) e a tonalidade de cor adotada na legenda.

Classes de cobertura florestal em relação à intensidade de fragmentação	Linha de base	Classe sumária	Cor
1 – 1 – 1 – 1 – 1	5 – 9	Floresta rara	
2 – 2 – 2 – 2 – 2	10 – 14	Floresta fragmentada	
3 – 3 – 3 – 3 – 3	15 – 19	Floresta de transição	
4 – 4 – 4 – 4 – 4	20 – 24	Floresta Dominante	
5 – 5 – 5 – 5 – 5	25 – 29	Floresta Interior	
6 – 6 – 6 – 6 – 6	30	Floresta Intacta	

Fonte: Adaptado de Vogt (2018, 2020).

Na etapa seguinte, para o mapa FAD agregado de cada UAP, foi calculada a proporção de pixels de floresta em cada classe de cobertura florestal associada à intensidade de fragmentação (Tabela 3). Esse conjunto de dados em formato tabular – ao qual se agregou a proporção da área de cada UAP ocupada pelas classes *floresta natural*, *outras terras com vegetação lenhosa* e *outras terras com árvores* - foi submetido a uma análise de *clustering* aglomerativo hierárquico, pelo método de Ward, com o objetivo de identificar grupos naturais, formados por UAPs homogêneas com relação à distribuição de área entre as classes de densidade florestal e a proporção de área com cobertura arbórea/arbustiva. Os grupos criados foram, então, associados a gradientes de intensidade da fragmentação, atribuídos às 427 UAPs do estudo.

Resultados

Densidade de área florestal para UAPs individuais

A primeira etapa do processamento FAD consistiu na reclassificação dos mapas de uso e cobertura da terra, preparando-os para o cálculo da densidade de área florestal. Nas Figuras 4A e 4B pode-se observar, respectivamente, a distribuição das classes de uso e cobertura da terra e a máscara da cobertura arbórea para uma UAP localizada no bioma Mata Atlântica, estado do Paraná. As respectivas áreas de cada classe (em ha) encontram-se listadas na Tabela 5. Nessa UAP predominam as classes de uso agropecuário, ocupando mais de 45% da área total. A classe de cobertura florestal é a segunda maior em superfície, representando quase 38% da área da unidade amostral. Os maiores fragmentos de floresta natural estão localizados na porção noroeste da imagem, com grandes superfícies de contato com florestas plantadas. A região nordeste da imagem é toda ocupada por áreas de influência urbana (sede do município de Castro, PR). Na porção centro-sul também se observam alguns fragmentos maiores, porém com extensas interfaces de borda com agricultura e pastagem.

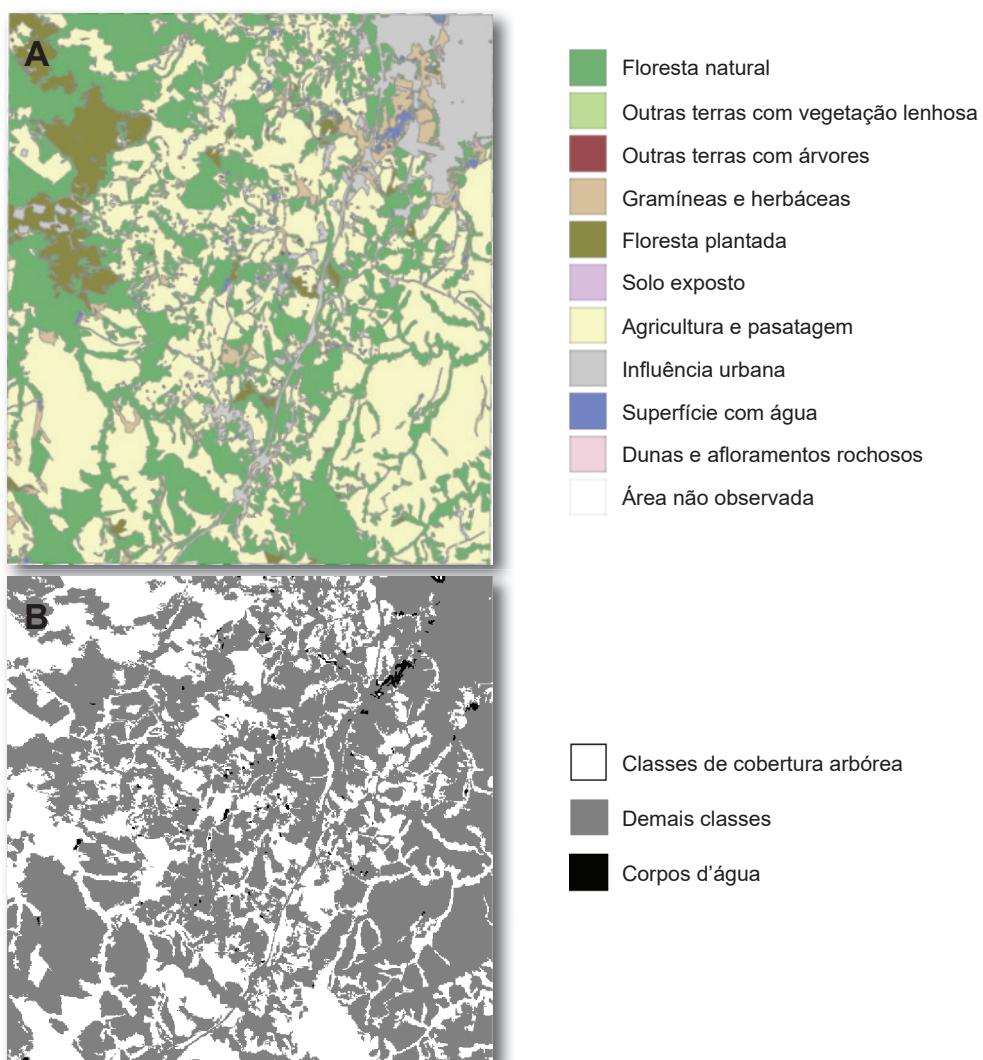


Figura 4. Classes de uso e cobertura da terra (A) e máscara da cobertura arbórea (B) de uma unidade amostral de paisagem (UAP) localizada no bioma Mata Atlântica, estado do Paraná.

Tabela 5. Classes de uso e cobertura da terra para uma unidade amostral de paisagem (UAP) localizada no bioma Mata Atlântica, estado do Paraná, e respectivas áreas (em hectares e em percentagem).

Classes de uso e cobertura	Área (ha)	Área (%)
Floresta natural	3.748,25	37,5
Outras terras com árvores	48,53	0,5
Gramíneas e herbáceas	294,32	2,9
Floresta plantada	528,69	5,3
Solo exposto	8,16	0,1
Agricultura e pastagem	4.550,10	45,5
Influência urbana	772,39	7,7
Superfície com água	49,55	0,5
Total	10.000,00	100,0

Os valores da densidade de área florestal - resultantes das janelas móveis aplicadas sobre o mapa de uso e cobertura da terra recodificado - foram, então, usados para gerar os mapas de classes de cobertura florestal quanto à intensidade da fragmentação. A distribuição dessas classes em cinco diferentes tamanhos de vizinhança é mostrada nas Figuras 5A a 5E, correspondendo às diferentes janelas móveis. Na Figura 5F é mostrado o resultado da agregação multiescala. A proporção das classes - considerando as cinco escalas de observação e também os valores do mapa multiescala - é mostrada na Tabela 6. Essa mesma informação é representada visualmente nos gráficos mostrados na Figura 6, em que as diferentes escalas de observação são rotuladas nominalmente como 1, 2, 3, 4, e 5, correspondendo às dimensões das diferentes janelas (Tabela 2). O emprego de seis classes de cobertura florestal quanto à intensidade de fragmentação permite localizar desde áreas florestais altamente fragmentadas (classe de floresta “rara”, na cor vermelha), por exemplo, até florestas intactas (em verde).

Pode-se observar que, para a UAP considerada, locais onde a densidade de área florestal é inferior a 10% (classe “rara”) representaram sempre menos de 1% da área amostrada, independentemente da escala.

Em escalas maiores (Figura 5A e Figura 5B), a maior proporção de cobertura florestal se concentra na classe “Intacta”, com 67% e 48%, respectivamente. Na vizinhança de 1,8 ha (Figura 5C) a densidade de área florestal dos fragmentos menores e mais alongados diminui, fazendo com que tais polígonos migrem para a classe “transição”. As variações mais abruptas para polígonos que pertenciam às classes “fragmentada” e “transição” ocorreram entre as janelas 3 e 4.

Na escala representada pela janela 4 (Figura 5D), os fragmentos médios de floresta “intacta” também sofrem migração para a classe “transição” e as bordas dos maiores fragmentos mudam para a classe “dominante”. Na janela 5 - a de maior tamanho de vizinhança (Figura 5E) - praticamente não existe mais a classe “intacta”, havendo apenas grandes fragmentos pertencentes à classe “dominante” e uma predominância de área na classe “transição”. De maneira geral, pode-se afirmar que as classes menos afetadas pela escala de observação, no exemplo apresentado, foram a “Dominante” e “Interior”, não apresentando tendência definida com o gradiente de escala.

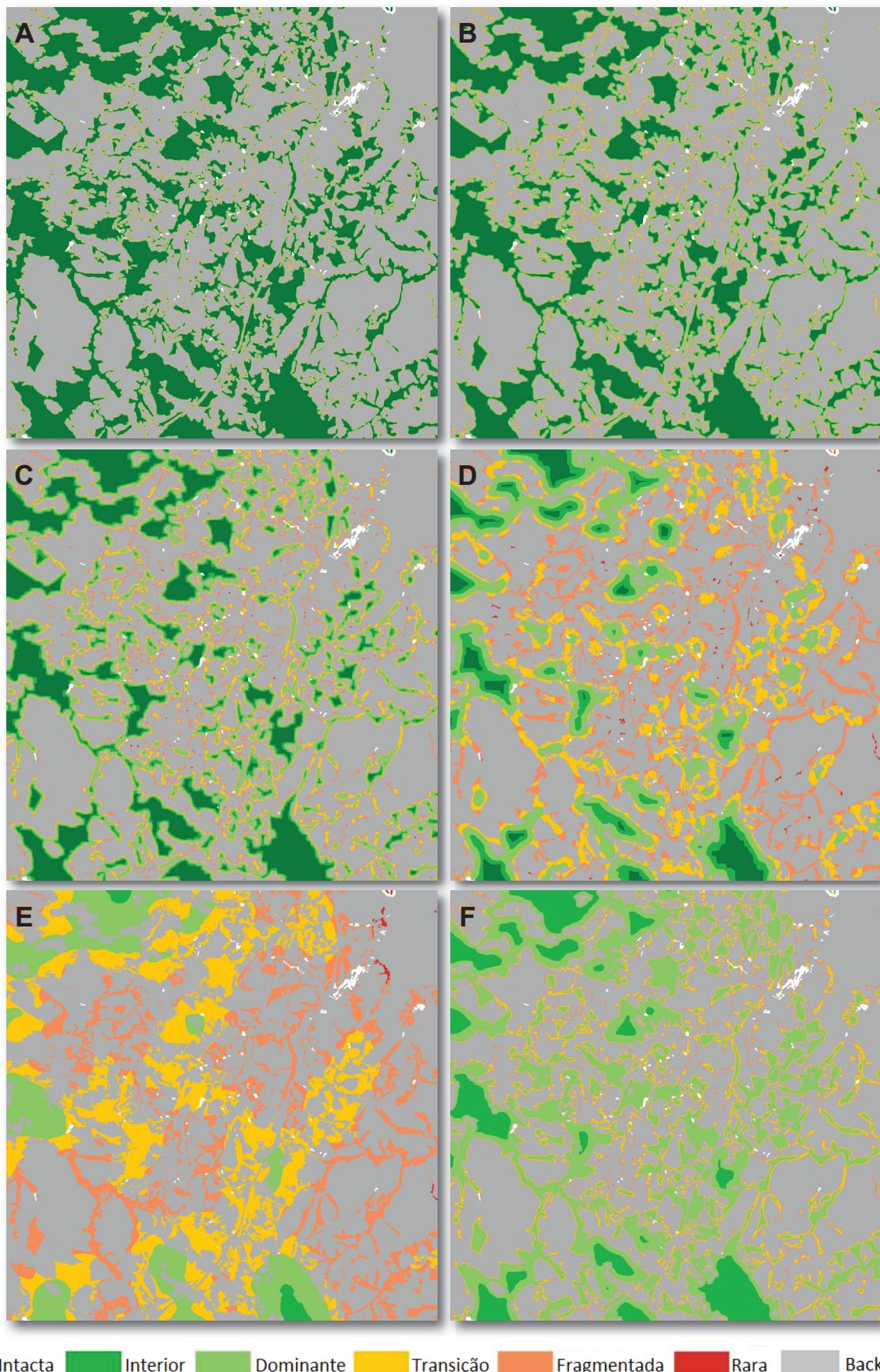


Figura 5. Classes de cobertura florestal quanto à intensidade da fragmentação para uma unidade amostral de paisagem (UAP) localizada no bioma Mata Atlântica, estado do Paraná, mapeadas em cinco escalas de observação, representadas por vizinhanças de: (A) 0,12 ha; (B) 0,42 ha; (C) 1,82 ha; (D) 16,40 ha; (E) 147,62 ha; (F) agregadas em mapa multiescalar.

Tabela 6. Proporção das áreas com floresta (%) ocupadas pelas seis classes de cobertura florestal em relação à intensidade de fragmentação, para cada escala de observação em unidade amostral de paisagem (UAP) localizada no bioma Mata Atlântica, estado do Paraná.

Classes de cobertura florestal em relação à intensidade de fragmentação	Área com floresta por classe de cobertura florestal, em relação à intensidade de fragmentação e por escala de observação (%)					
	1 (7x7)	2 (13x13)	3 (27x27)	4 (81x81)	5 (243x243)	Multiescala
Rara	0,0034	0,0219	0,1431	0,4216	0,2715	0,0003
Fragmentada	1,3097	3,2604	7,7172	22,1040	31,8636	3,9513
Transição	6,5716	9,8885	16,4743	29,2800	45,4691	18,8609
Dominante	16,6405	25,6803	34,6563	32,8438	21,0847	60,9246
Interior	8,3990	13,3274	13,8374	9,6794	1,3110	16,2628
Intacta	67,0759	47,8214	27,1717	5,6711	0,0000	0,0000

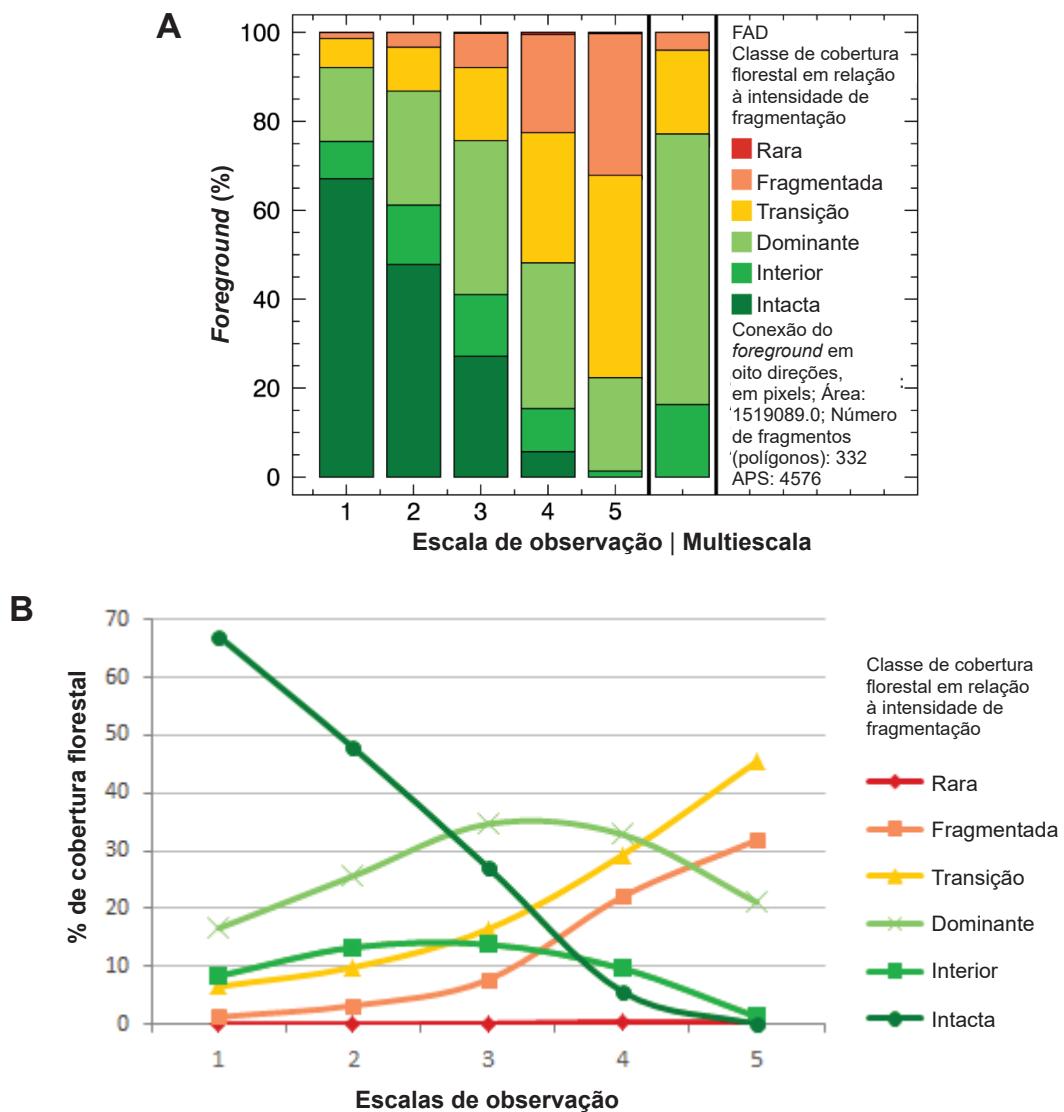


Figura 6. (A) Exemplo de gráfico de barras cumulativo gerado pelo módulo *Forest Area Density* (FAD), do software GuidosToolBox (GTB), para as cinco escalas de observação e multiescala, mostrando, também, a quantidade total (em pixels) de área florestal (*foreground*), número (# *Patches*) e tamanho médio (APS, em pixels) dos fragmentos, para uma unidade amostral de paisagem (UAP) localizada no bioma Atlântica, estado do Paraná; (B) Evolução dos percentuais de cobertura florestal de acordo com a escala de observação (tamanhos de janela de vizinhança). FAD = densidade de área florestal.

Se as florestas não fossem fragmentadas, a densidade de área florestal não diminuiria com o aumento do tamanho de vizinhança, representado por janelas maiores (Riitters et al., 2002). Entretanto, a evolução das classes ao longo do gradiente das escalas de observação depende da configuração local da paisagem (Vogt, 2018) e da distância entre fragmentos. Para um determinado ponto, uma tendência de mudança de floresta contínua para classes mais fragmentadas, à medida que a janela de vizinhança aumenta (e a escala diminui), pode ser interrompida em função da proximidade de fragmentos maiores. No exemplo apresentado na Figura 7, o avanço da classe “Fragmentada” observado com o aumento da janela 3 (Figura 7C) para 4 (Figura 7D) é revertido quando se passa à janela 5 (Figura 7E), retornando para a classe “Transição”. Isso se explica pelo fato de a distância do pixel central à borda da janela passar de 290 m para 863 m (Tabela 7) e, com isso, um fragmento grande, situado à direita da área destacada em vermelho, passa a ser incluído no cálculo de vizinhança (Figura 7G).

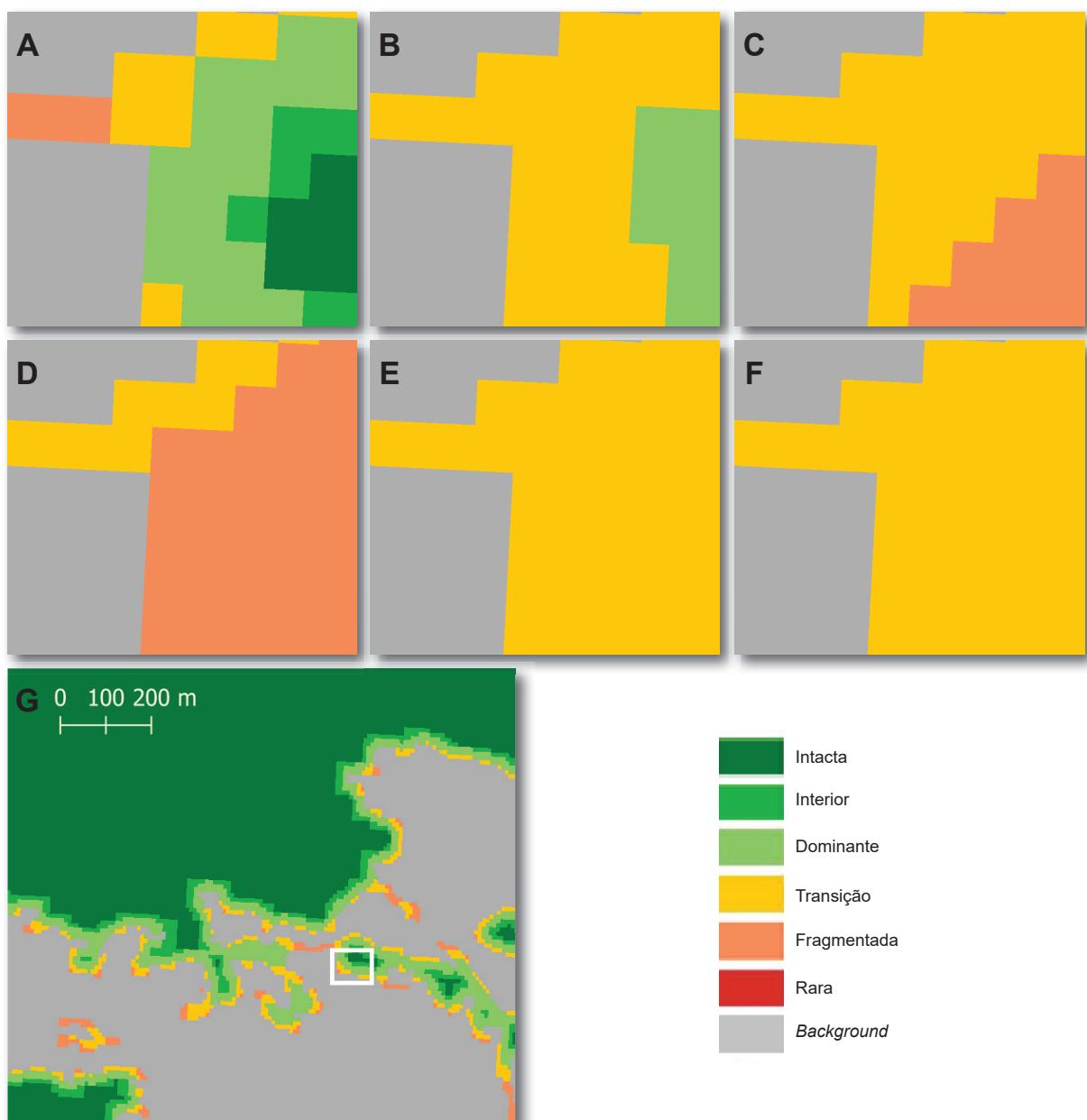


Figura 7. Transições das classes de cobertura florestal em relação à intensidade de fragmentação, conforme a escala de observação para as janelas: (A) 2; (B) 2; (C) 3; (D) 4; (E) 5; (F) agregadas em mapa multiescala; da área realçada em branco (G) do recorte ampliado de uma unidade amostral de paisagem (UAP) localizada no bioma Mata Atlântica, no estado do Paraná.

Tabela 7. Exemplo de cálculo de sumarização de densidade de área florestal (FAD), a partir de valores em cinco escalas de observação (janelas).

Escala de observação	1	2	3	4	5	Multiescala
Distância máxima do pixel central à borda da janela móvel (m)	28	50	99	290	863	
Classe de cobertura florestal em relação à intensidade de fragmentação	6	5	2	2	3	3

2 = fragmentada; 3 = transição; 5 = dominante; 6 = intacta.

No mapa agregado multiescala (Figura 5F), observa-se que as classes predominantes são a “dominante” (61%), “transição” (19%) e “interior” (16%). O processo de cálculo dos valores que compõem o mapa sumarizado é demonstrado na Figura 7, onde as imagens de (a) a (e) mostram ampliações do recorte da UAP utilizada como exemplo, correspondentes à área destacada em branco na Figura 7G, para as janelas 1 a 5, respectivamente, e a Figura 7F mostra o mesmo local para o mapa agregado multiescala. Nesse exemplo, um determinado ponto enquadrado na classe “Intacta” na janela 1 passa a pertencer a outras classes, à medida que a janela de vizinhança aumenta e a escala diminui. Na Tabela 7 pode-se observar que a classe de cobertura florestal em relação à intensidade de fragmentação para esse ponto no mapa sumário multiescala é obtida pela soma dos valores nominais das classes 6-5-2-2-3 (igual a 18). Vê-se, na Tabela 4, que tal valor se enquadra na linha de base 15 a 19, correspondendo à classe “Transição” no mapa agregado multiescala.

No exemplo apresentado, a distribuição das classes de uso e cobertura da terra sugere que “agricultura e pastagem” e “floresta plantada” sejam, potencialmente, os maiores agentes fragmentadores da paisagem amostrada. Assim, empregou-se uma opção disponível no software GTB, denominada “background específico”, que possibilita visualizar esse comportamento no mapa. Para tanto, em um novo processamento do módulo FAD, foi atribuído o valor de 3 byte, separadamente, às classes de “floresta plantada” e, depois, às de “agricultura e pastagem”, mostrados apenas para a abordagem multiescala, nas Figuras 8A e 8B, respectivamente.

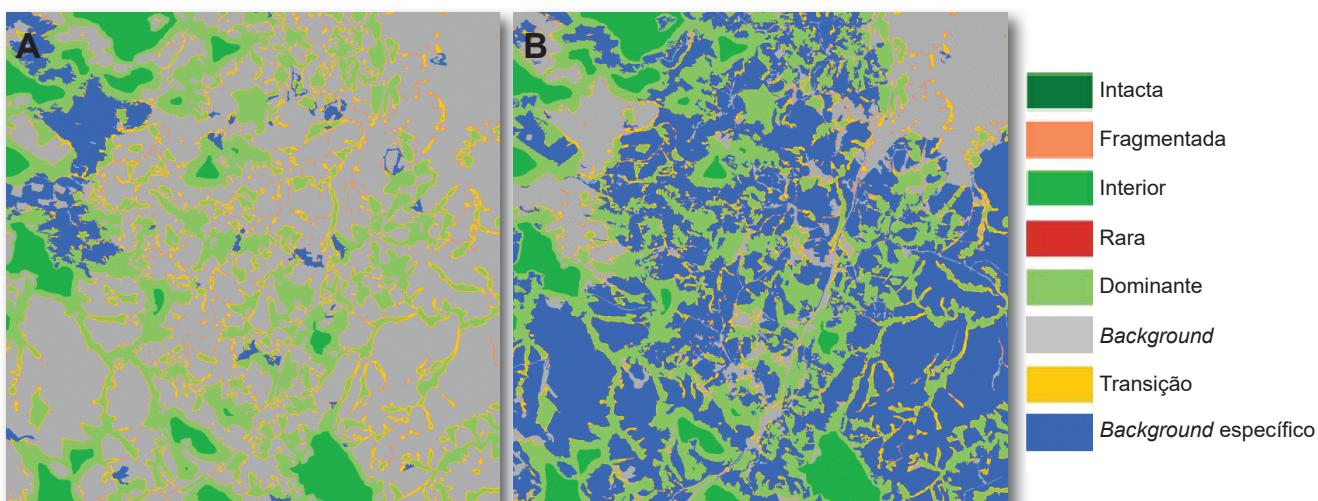


Figura 8. Mapa agregado da cobertura florestal em relação à intensidade de fragmentação em uma unidade amostral de paisagem (UAP) localizada no bioma Mata Atlântica, estado do Paraná, considerando como *background* específico fragmentador a classe “floresta plantada” (A) e “agricultura e pastagem” (B), ambas realçadas em azul.

É importante ressaltar que as estatísticas de densidade de área florestal, a distribuição espacial e os percentuais ocupados pelas classes de cobertura florestal em relação à intensidade de fragmentação, nos diferentes tamanhos de vizinhança, não são alterados com a opção de *background* específico, sendo o efeito apenas visual.

Densidade de área florestal para o conjunto de unidades amostrais de paisagem

Modelos teóricos da paisagem indicam que os organismos são, operacionalmente, não fragmentados, quando ainda há uma retenção de 60% do habitat (McIntyre; Hobbs, 1999). Em termos práticos, em paisagens com FAD superior a 60%, as classes não florestais aparecem como “ilhas” em meio à predominância de áreas com “floresta natural”, enquanto valores de FAD inferiores a 40% oferecem uma percepção inversa, em que as florestas é que aparecem como “ilhas” sobre áreas não florestais (Riitters et al., 2000).

Conforme se pode observar na Tabela 8A, mais de 42% (7.608 km²) de toda a área de cobertura florestal amostrada se enquadram na classe “dominante”, em que a densidade de área florestal varia entre 60% e 90%. O percentual somado das classes “interior” e “intacta” perfaz 33,5%, equivalendo a 6.022 km² de florestas com pouca ou nenhuma fragmentação (90% a 100% de densidade). Assim, os resultados indicam a condição satisfatória, em termos de densidade de área florestal, em mais de 75% da área de florestas amostrada no estudo. Deve-se ressaltar, no entanto, que apenas aspectos geométricos foram considerados na abordagem proposta, sem levar em conta as funções e a qualidade dos habitats.

Tabela 8. Proporção de ocorrência das classes de densidade de área florestal (FAD) para a área florestal amostrada total (A) e por bioma (B).

Classe FAD	Distribuição da cobertura florestal em classes FAD (%)			
	Por área florestal total amostrada ¹	MA ²	Pampa ³	Caa ⁴
Rara	0,01	0,01	0,14	0,00
Fragmentada	7,09	8,01	21,16	2,34
Transição	16,80	20,20	31,40	7,22
Dominante	42,48	48,65	42,16	30,78
Interior	24,65	18,06	5,12	41,33
Intacta	8,97	5,06	0,01	18,31

¹Área de cobertura florestal nas 427 unidades amostrais de paisagem (UAPs) = 17.911,20 km²; ²MA, Pampa, Caa = Área de cobertura florestal nas UAPs da Mata Atlântica (8.693,99 km²), ³Pampa (388,18 km²) e ⁴Caatinga (8.829,01 km²), respectivamente.

A somatória dos percentuais das classes “transição” e “fragmentada” é igual a aproximadamente 24%, representando 4.278 km² de áreas de média a baixa densidade florestal. Florestas na classe “rara” - em que a densidade de área florestal é inferior a 10% - correspondem a menos de 3 km² das florestas amostradas nas UAPs.

Ao se analisar a distribuição das classes FAD separadamente por bioma (Tabela 8B), verifica-se que a maior parte da cobertura florestal amostrada na Caatinga – praticamente 60% - apresenta uma densidade superior a 90%, representada pelo somatório das classes “interior” e “intacta”, com uma área de aproximadamente 5.266 km². Contribuiu para esse resultado o fato de a classe de uso e cobertura *outras terras com vegetação lenhosa* ter sido considerada como cobertura florestal.

No bioma Pampa, dos 388 km² de cobertura florestal amostrados, cerca de 42% pertencem à classe Dominante, com FAD entre 60% e 90%. Mais de 50% das florestas amostradas nesse bioma, entretanto, possuem uma densidade inferior a 60%. Na Mata Atlântica a classe “dominante” corresponde a cerca de 49% da área florestal; mais de 28% têm densidade menor que 60%; 23% da cobertura florestal ou 2.010 km² amostrados correspondem às classes de maior densidade (superior a 90%). Em todos os biomas a classe “rara”, com FAD menor que 10%, não chegou a 1% das respectivas coberturas florestais.

Classificação das unidades amostrais de paisagem de acordo com a intensidade de fragmentação

Considerando a densidade de área florestal como um indicador da intensidade de fragmentação, a forma de distribuição da cobertura florestal das UAPs entre as seis classes FAD permitiu a detecção de quatro grupos naturais homogêneos formados a 50% da distância máxima encontrada no espaço das variáveis. Para essa análise, também levou-se em conta o percentual de área ocupado pelas classes *floresta*, *outras terras com vegetação lenhosa* e *outras terras com árvores*, uma vez que toda e qualquer avaliação da fragmentação depende, basicamente, da quantidade de cobertura florestal existente na paisagem (Vogt, 2018). A resolução mais fina dos mapas de uso e cobertura e de vegetação – dada pelas imagens RapidEye (5 m) - possibilita a identificação de mais áreas não florestais em locais onde a cobertura florestal é dominante, porém não exclusiva (Riitters et al., 2000), o que também influenciou de forma decisiva a avaliação da fragmentação.

Analisando-se os percentuais ocupados pelas classes de densidade de área florestal das UAPs em cada grupo formado, foi possível ordená-los em uma escala crescente quanto à intensidade de fragmentação (Tabela 9), denominando-se as classes de intensidade de fragmentação como “leve”, “moderada”, “acentuada” e “severa”. Mais de 40% do total de 427 UAPs amostradas se encontram na classe de fragmentação severa. Essa mesma prevalência é observada nos biomas Mata Atlântica (56%) e Pampa (89%), quando analisados separadamente. Na Caatinga essa tendência se inverte, com apenas 9% das UAPs apresentando fragmentação severa.

Tabela 9. Número de unidades amostrais de paisagem (UAPs) (absoluto e percentual) por classe de intensidade de fragmentação, para os três biomas amostrados.

Classes de intensidade de fragmentação	Número de UAPs							
	Total		Biomias					
	UAPs	%	Mata Atlântica	%	Pampa	%	Caatinga	%
Severa	184	43,09	145	55,56	26	89,66	13	9,49
Acentuada	109	25,53	76	29,12	3	10,34	30	21,90
Moderada	98	22,95	28	10,73		0,00	70	51,09
Leve	36	8,43	12	4,60		0,00	24	17,52
Total	427	100,00	261	100,00	29	100,00	137	100,00

Praticamente, o mesmo percentual de UAPs apresentam intensidades de fragmentação acentuada e moderada (26% e 23%, respectivamente). Nas análises individuais por bioma, a Mata Atlântica possui 29% de suas UAPs na classe de fragmentação acentuada e 11% na classe de fragmentação moderada. O Pampa - onde naturalmente as florestas são mais escassas e intermeadas por áreas de campo e pastagem - possui cerca de 10% das UAPs sujeitas à fragmentação acentuada e ne-

nhuma UAP na classe moderada de fragmentação. Aproximadamente 22% das UAPs da Caatinga se encontram na classe de fragmentação acentuada, enquanto mais da metade (51%) apresenta intensidades de fragmentação moderadas.

Apenas 8% de todas as UAPs possuem cobertura florestal que pode ser considerada contínua, pertencendo à classe de fragmentação leve. Nas análises por bioma, esse percentual sobe a 18% das UAPs da Caatinga, porém se reduz a 5% das UAPs da Mata Atlântica e a 0% nas UAPs do Pampa.

A inclusão dos percentuais ocupados pelas classes de cobertura florestal na análise de agrupamento serviu como um fator de ponderação indireta, evitando que UAPs com extensa cobertura florestal distribuída uniformemente nas diversas classes de densidade florestal fossem consideradas mais intensamente fragmentadas do que UAPs com uma cobertura florestal muito reduzida, mas que concentrasse, por exemplo, maciços florestais bastante densos. Por outro lado, observou-se que, para UAPs com proporções aproximadamente iguais de cobertura florestal, a inclusão em grupos diferentes de intensidade de fragmentação foi influenciada pela maior ou menor presença (proporção) de uma determinada classe FAD.

Em termos gerais, as florestas têm maior possibilidade de sofrer distúrbios onde o clima é favorável, o solo é produtivo e o acesso é fácil (Ritters et al., 2000). Isso, de certa forma, explica por que as UAPs localizadas no bioma Caatinga, bem como as do bioma Mata Atlântica em uma região costeira específica nos estados de São Paulo e Paraná, aparecem como as menos fragmentadas, segundo se observa na Figura 9. De forma inversa, UAPs localizadas em regiões mais densamente povoadas ou com presença de agricultura e pastagem intensivas se concentram na classe de fragmentação mais intensa, como ocorre na maior parte do bioma Mata Atlântica. O bioma Pampa representa uma situação especial pelo fato de, naturalmente, conter escassa cobertura florestal, o que coloca as UAPs ali situadas nas mesmas condições de fragmentação observadas na Mata Atlântica (severa e acentuada). Ressalta-se, entretanto, que o ranqueamento das UAPs dos três biomas de forma conjunta teve como objetivo maior demonstrar as possibilidades de classificação, com base na intensidade de fragmentação. Uma análise individual para cada bioma, portanto, seria a mais recomendada em futuros trabalhos envolvendo a classificação da intensidade de fragmentação baseada na densidade de área florestal.

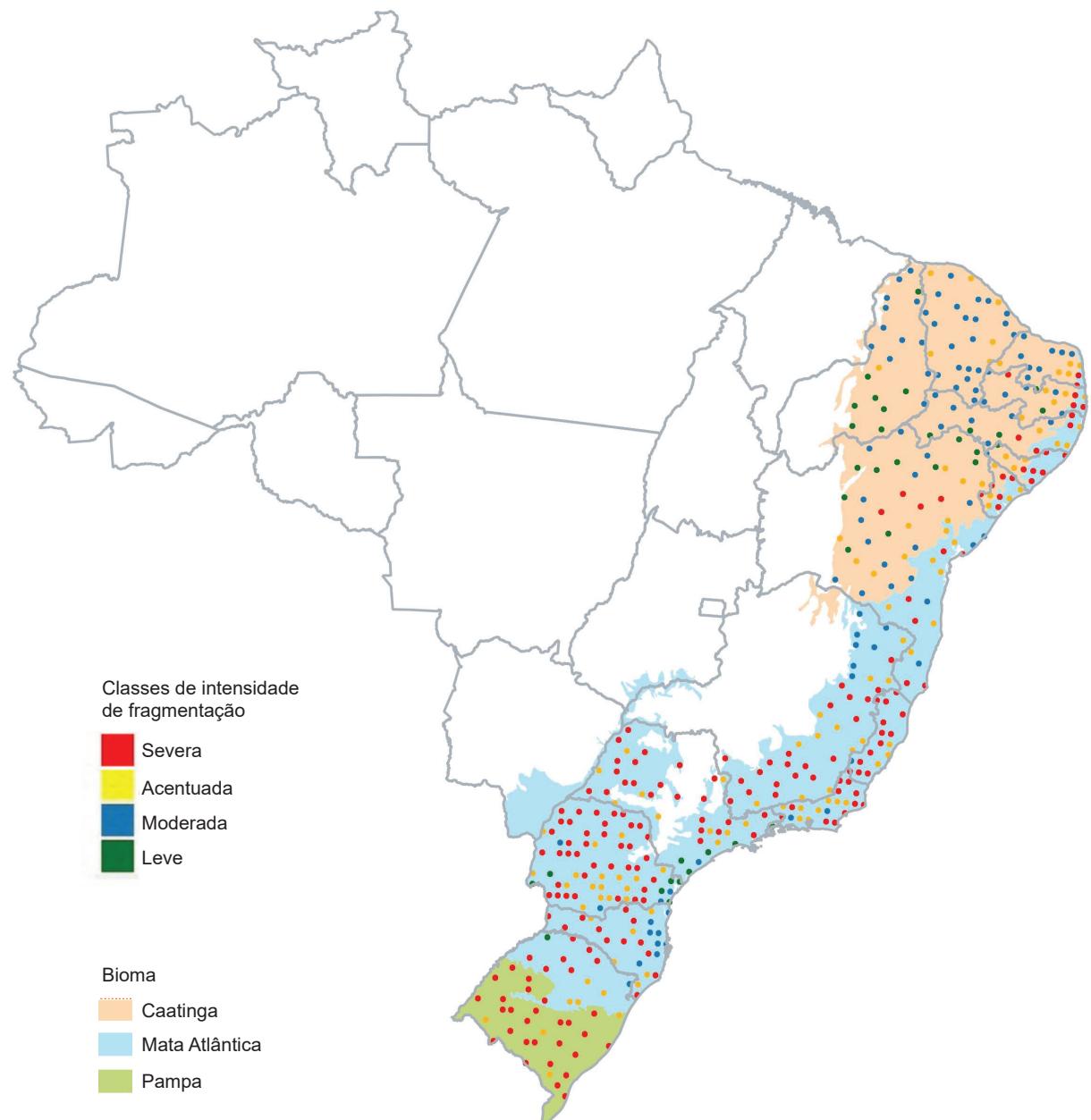


Figura 9. Classificação das UAPs segundo a intensidade de fragmentação.

Considerações finais

- O método disponível no software livre GuidosToolBox para avaliar a fragmentação considera diretamente aspectos-chave tais como a área e a forma da floresta contínua e, indiretamente, a integridade da floresta (quantidade, forma e área de perfurações dentro de florestas intactas), bem como a distribuição espacial dos fragmentos separados por áreas não florestais.
- Variantes do método – tais como a atribuição de *backgrounds* específicos – possibilitam análises visuais a respeito de agentes fragmentadores de maior impacto.
- Além das estatísticas geradas, os mapas produzidos constituem insumos importantes para a localização de *hotspots* de fragmentação, necessários ao planejamento de ações e avaliação de risco.
- As opções de diversos tamanhos de janela no programa GuidosToolBox, para o cálculo da densidade de área florestal, permitem a aplicação da metodologia para diferentes objetivos, em diversas escalas e níveis de abrangência (local, regional, nacional, continental, global).
- A distribuição das Unidades Amostrais de Paisagem em classes de intensidade de fragmentação possibilita comparar tanto diferentes paisagens entre si como uma mesma paisagem ao longo do tempo, para verificar resultados de processos de fragmentação ou a resposta a políticas e programas aplicados sobre determinada área.
- Embora a opção de se utilizar uma abordagem com base em padrões de uso e cobertura da terra para avaliar a fragmentação seja mais abstrata e não consiga captar aspectos de qualidade (p.e., biodiversidade) dos habitats, ainda assim oferece vantagens – como uma maior rapidez no processamento e menor quantidade de dados e recursos envolvidos – quando se deseja obter um diagnóstico visando à seleção de paisagens para estudos mais detalhados sobre a fragmentação orientada a espécies.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Frans Pareyn e José Luiz Vieira da Cruz Filho, da Associação de Plantas do Nordeste (APNE), pelos valiosos comentários e avaliações relativos à classificação do uso e cobertura da terra no bioma Caatinga e ao Dr. Peter Vogt, do *Joint Research Center (JRC)/European Comission*, pelo constante suporte técnico e customização de funções no programa GuidosToolBox.

Referências

- CBD. **Convention on biological diversity**: definitions. 2006. Disponível em: <https://www.cbd.int/forest/definitions.shtml>. Acesso em: 23 jul. 2020.
- FAHRIG, L. Effects of habitat fragmentation on biodiversity. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, v. 34, p. 487-515, 2003.
- GREBNER, D.; BETTINGER, P.; SIRY, J. P. **Introduction to forestry and natural resources**. Waltham: Elsevier Inc. 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-386901-2.00005-1>.
- KUCAS, A.; TRAKIMAS, G.; BALÈIAUSKAS, L.; VAITKUS, G. Multi-scale analysis of forest fragmentation in Lithuania. **Baltic Forestry**, v. 17, n. 1, p. 128–135, 2011.
- LUZ, N. B.; MARAN, J. C.; GARRASTAZÚ, M. C.; ROSOT, M. A. D.; FRANCISCON, L.; HOLLER, W. A.; GAIAD, N. P.; OLIVEIRA, Y. M. M.; FREITAS, J. V. **Manual de análise de paisagem**: volume 1: procedimentos para a execução do mapeamento de uso e cobertura da terra. Colombo: Embrapa Florestas, 2018a. 92 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 316). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1092205>. Acesso em: 13 jul. 2020.
- LUZ, N. B.; MARAN, J. C.; GARRASTAZÚ, M. C.; ROSOT, M. A. D.; OLIVEIRA, Y. M. M.; FRANCISCON, L.; FREITAS, J. V. **Manual de análise de paisagem**: volume 3: procedimentos para a geração de índices espaciais das unidades amostrais de paisagem. Colombo: Embrapa Florestas, 2018b. 93 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 321). Disponível em <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/184330/1/Livro-Doc-321-1542-corrigido-9out18.pdf>. Acesso em: 7 jul. 2020.
- MCINTYRE, S.; HOBBS, R. A framework for conceptualizing human effects on landscapes and its relevance to management and research models. **Conservation Biology**, v. 13, p. 1282–1292, 1999.
- PEARSON, S. M.; TURNER, M. G.; GARDNER, R. H.; O'NEILL, R. V. An organism-based perspective of habitat fragmentation. In: SZARO, R. C.; JOHNSTON, D. W. (ed.). **Biodiversity in managed landscapes**: theory and practice. New York: Oxford University Press, 1996. p. 77–95.
- RIITTERS, K. H.; WICKHAM, J. D.; O'NEILL, R. V.; JONES, K. B.; SMITH, E. R. Global-scale patterns of forest fragmentation. **Conservation Ecology**, v. 4, n.3, 2000.
- RIITTERS, K. H.; WICKHAM, J. D.; O'NEILL, R. V.; JONES, K. B.; SMITH, E. R.; COULSTON, J. W.; WADE, T. G. ; SMITH, J. H. Fragmentation of continental United States forests. **Ecosystems**, v. 5, p. 815-822, 2002.
- RIITTERS, K.; COULSTON, J. W.; WICKHAM, J. D. Fragmentation of forest communities in the Eastern United States. **Forest Ecology and Management**, v. 263, p. 85-93, 2012.
- VOGT, P. **Measuring forest area density to quantify forest fragmentation**. Brussels: Joint Research Centre, 2018. Disponível em: <https://ies-ows.jrc.ec.europa.eu/gtb/GTB/psheets/GTB-Fragmentation-FADFOS.pdf>. Acesso em: 7 jul. 2020.
- VOGT, P.; RIITTERS, K. GuidosToolbox: universal digital image object analysis. **European Journal of Remote Sensing**, v. 50, n. 1, p. 352-361, 2017.
- VOGT, P. **User guide of GuidosToolbox**. Ispra: Joint Research Center, 2020. Disponível em: https://ies-ows.jrc.ec.europa.eu/gtb/GTB/GuidosToolbox_Manual.pdf . Acesso em: 10 jun. 2020.
- WEAR, D.; CARTER, D.; PRESTEMON, P. **The US South's timber sector in 2005**: a perspective analysis of recent change. Asheville: US Department of Agriculture, Forest Service, Southern Research Station, 2007. 29 p. (US Department of Agriculture, Forest Service, Southern Research Station. General Technical Report, SRS-99).

