



ARTIGO ORIGINAL

Bruno Wendell de Freitas Pereira<sup>1\*</sup>  
Maria de Nazaré Martins Maciel<sup>1</sup>  
Francisco de Assis Oliveira<sup>1</sup>  
Hugo Amancio Sales Silva<sup>2</sup>  
Thais Gleice Martins Braga<sup>1</sup>  
Deivisson Bacha Figueiredo<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA,  
Av Perimetral, 2501, 66077 530, Belém, PA,  
Brasil

<sup>2</sup> Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita  
Filho” – UNESP, Rua José Barbosa de Barros,  
1780, 18610-307, Botucatu, SP, Brasil

\*Autor Correspondente:

E-mail: [brunowendell@yahoo.com.br](mailto:brunowendell@yahoo.com.br)

**PALAVRAS-CHAVE**

Ecologia de paisagem  
Bacia hidrográfica  
Fragmentação de ecossistemas

**KEYWORDS**

Landscape ecology  
Watershed  
Fragmentation of ecosystems

## Estrutura da paisagem da bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi com base na fragmentação da vegetação

### *Landscape structure analysis of the watershed of the Peixe-Boi river based in fragmentation of vegetation*

**RESUMO:** A relevância ambiental das bacias hidrográficas no contexto da manutenção e conservação da biodiversidade tem se tornado cada vez mais notória. A compreensão dos processos antrópicos nas áreas das bacias serve como subsídio para implementação de políticas públicas mitigatórias aos danos ambientais. O objetivo foi realizar, a partir de técnicas e produtos de sensoriamento remoto e geoprocessamento, a análise da estrutura da paisagem da bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi, nordeste do estado do Pará, Brasil. Para tanto, será descrita a configuração de seus elementos através de diferentes métricas de paisagem visando à vegetação arbórea. Os resultados indicaram que a paisagem da bacia de estudo é fortemente marcada pela atividade pecuária, pois 36% de suas terras são destinados a este uso produtivo. A vegetação arbórea encontra-se bastante fragmentada, com grande parte desses fragmentos acompanhando os canais fluviais. Verificou-se também que a paisagem da bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi está muito comprometida em sua integridade ecológica, pois 79,24% da área de vegetação arbórea é constituída de ambiente de borda, fator que afeta fortemente a qualidade dos ecossistemas existentes.

**ABSTRACT:** *The watersheds environmental importance for the maintenance and conservation of biodiversity has become more evident. The comprehension of watersheds areas anthropic processes are a subsidy for implementation of mitigation policies to environmental damage. The aim was to analyze the Peixe-Boi river watershed landscape structure, at Northeast Pará, Brazil, using remote sensing techniques and products and geoprocessing. To do so, a configuration of its elements will be described by different landscapes metrics aiming the arboreal vegetation. The results indicated that the landscape of the study basin is strongly marked by the livestock, since 36% of its land is assigned for productive uses. The arboreal vegetation is highly fragmented, with most of these fragments following the rivers. It was also found that the Peixe-Boi river watershed landscape is threatened concerning its ecological integrity as 79.24% of the area covered by arboreal vegetation consists of border environment, a factor that strongly affects the quality of existing ecosystems.*

## 1 Introdução

A expansão das fronteiras agrícolas, assim como a modernização da agricultura e da pecuária, está entre os fatores que mais contribuem para a descaracterização da vegetação original. O acelerado processo de substituição das paisagens naturais ocorre de fato em função da intensificação do antropismo, normalmente visando ao uso do solo, o que por sua vez ocasiona a formação de pequenos fragmentos florestais onde anteriormente existiam áreas de florestas contínuas (Valente & Vettorazzi, 2002).

Preservar a cobertura vegetal de uma área é extremamente importante, uma vez que é responsável pela proteção física e mecânica do solo, regula a temperatura e a microbiota do solo, protege o relevo, a biodiversidade, o clima, os mananciais e os lençóis freáticos (Mascarenhas et al., 2009). Dessa forma, a vegetação funciona como um indicador das condições ambientais de uma região e do equilíbrio dos ecossistemas.

Dentre os elementos naturais afetados pelo processo de interferência humana, destaca-se a rede de drenagem como um dos parâmetros mais importantes a serem avaliados, já que refletem claramente o grau de antropização local. Assim, nos últimos anos tem se acentuado a preocupação dos pesquisadores em trabalhar em nível de bacias hidrográficas, para o maior conhecimento ecológico da terra, que possa servir de base para a utilização, de acordo com suas possibilidades de uso e manejo. O estudo das relações espaciais e interações entre os fragmentos florestais e das alterações estruturais das paisagens em diversas escalas possibilita a melhor compreensão da dinâmica destas correlações, das funções e das mudanças de uma paisagem (Fischer & Lindenmayer, 2007).

Nas avaliações espaciais e estruturais das problemáticas ambientais, recomendam-se o uso de geotecnologias relacionadas aos produtos e técnicas de sensoriamento remoto e o geoprocessamento, na aplicação de avaliações de sistemas de ocupação antrópica (Lorena et al., 2004). Em particular, o geoprocessamento a partir de ferramentas conhecidas por sistemas de informações geográficas (SIGs) tem-se destacado pela sua grande capacidade de interação e de análise dos diferentes elementos que compõem as paisagens.

Este trabalho teve como objetivo a realização do levantamento e estudo da estrutura da paisagem da bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi, nordeste do estado do Pará, utilizando como ferramentas as técnicas e produtos de sensoriamento remoto e geoprocessamento. Serão descritos a estrutura e a configuração dos elementos componentes da bacia hidrográfica em questão por meio de métricas de paisagem com foco à vegetação arbórea.

## 2 Material e Métodos

A bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi (Figura 1) possui uma área de 1.044,32 km<sup>2</sup>. Está localizada na mesorregião do nordeste paraense, estado do Pará, Brasil, mais precisamente na microrregião denominada Bragantina. Estende-se entre as coordenadas 0° 53' 57" S e 1° 26' 10" S e 47° 24' 29" W e 47° 7' 24" W. Sua área abrange um total de seis municípios, com 40,44% de sua área pertencendo ao município de Peixe-Boi, 10,33% ao município de Capanema, 4,75% a Santarém Novo, 18,30% a Nova Timboteua, 22,79% a Bonito e 3,06% ao município de Primavera. Apenas um percentual inexpressivo

(0,33%) pertence ao município de São João de Pirabas, o que fez tal município ser desconsiderado nas análises.

A região tem o clima do tipo Am, segundo a classificação de Köppen. A precipitação pluviométrica média está em torno de 2.200 mm anuais. A temperatura varia entre 26 e 31 °C, com temperatura média em torno de 27 °C. Também apresenta elevada umidade, oscilando em torno de 75 a 92%, e o relevo apresenta formas suaves de tabuleiros e elevações ligeiramente colinoformes, além de planaltos e planícies fluviais (IBGE, 2011).

Os solos que abrangem a área da bacia do rio Peixe Boi são representados pelos Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico típico, com estrutura média de nível plano e suavemente ondulado tendo ainda a presença de Plintossolo Pétrico Concrecionário Argissólico (FFc). São encontrados também em alguns municípios que fazem parte da bacia o Gleissolo Háptico Eutrófico típico, muito argiloso e relevo plano (IBGE, 2012).

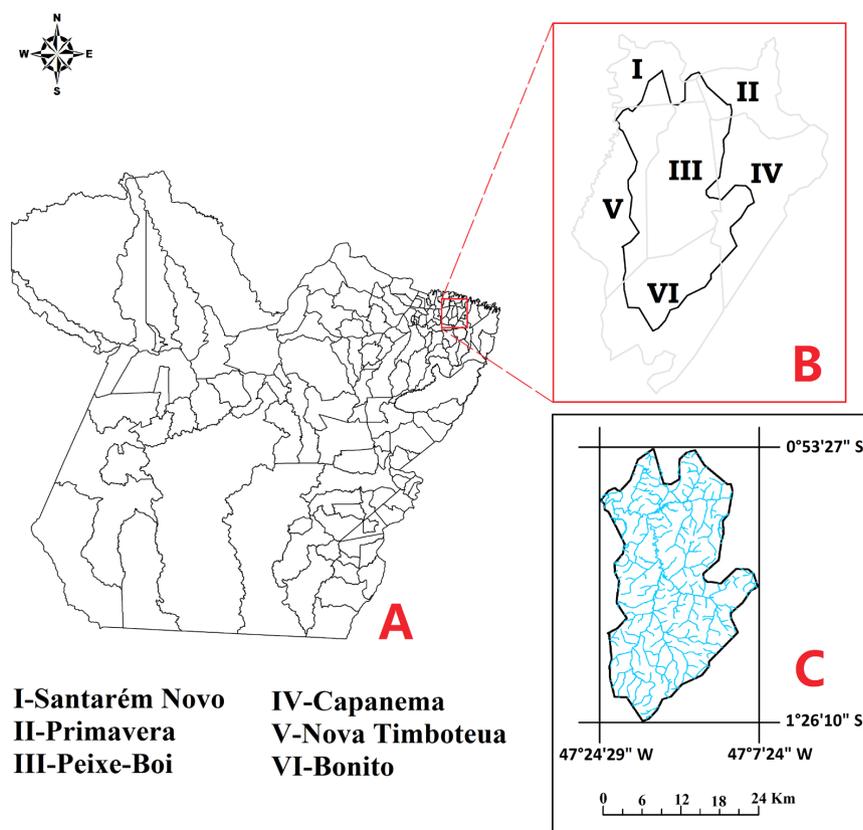
O trabalho foi realizado no período de setembro de 2013 a fevereiro de 2014, contando desde o levantamento dos dados em campo até a tabulação das informações e confecção dos mapas temáticos.

Como suporte cartográfico, foram utilizados dados adquiridos de cartas topográficas da Diretoria do Serviço Geográfico DSG do IBGE, folha SA-23-V-C-II, na escala de 1:100.000, referente aos municípios de Peixe-Boi, Capanema, Nova Timboteua e Bonito, assim como a folha SA-23-V-A-V, referente aos municípios de Santarém Novo e Primavera. Adicionalmente, foi utilizada base cartográfica digital, na escala de 1:100.000, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, contendo entre outros elementos, a rede de drenagem e a malha viária da área de estudo.

Para o levantamento do uso e cobertura do solo, bem como para o detalhamento da rede hidrográfica e malha viária da área de estudo, foi empregada imagem orbital digital obtida pelo sensor TM (Thematic Mapper) a bordo do satélite LANDSAT-5. A imagem selecionada refere-se à órbita/ponto 223/061, bandas TM 3, 4 e 5, do ano de 2008 com baixo percentual de cobertura por nuvens (<2%), sendo adquirida a partir da página eletrônica da National Aeronautics and Space Administration – NASA dos Estados Unidos. Imagens dos sensores TM LANDSAT 7 e LANDSAT 8 apresentaram uma taxa de cobertura de nuvens inviáveis de mais de 30% de cobertura para a área de estudo (NASA, 2010).

Os softwares empregados no desenvolvimento da pesquisa foram: o Environment For Visualizing Images, Envi 4.5, para o tratamento e processamento digital da imagem de satélite; o software ArcGis 9.3, para a análise da estrutura da paisagem e confecção dos mapas, e o Google Earth (2013), para a validação e correlação temporal entre o cenário da imagem obtida e o cenário atual. No auxílio à navegação em tempo real com o GPS em campo, e na descarga dos pontos com coordenadas geográficas coletadas *in loco*, foi empregado o GPS Trackmaker Free V.13.0.

Inicialmente fizeram-se duas incursões em campo com o objetivo de correlacionar as diversas feições espectrais presentes na imagem TM (composição 5R/4G/3B com realce do tipo equalização) com os padrões de cobertura vegetal e uso do solo observado *in loco*. Foram feitos levantamentos a partir de pontos de referências, coletados por GPS de navegação, em cada feição presente na paisagem da bacia do rio Peixe-Boi,



**Figura 1.** A) Estado do Pará, Brasil; B) municípios abrangidos pela análise; C) limites da bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi.

**Figure 1.** A) State of Pará; B) covered municipalities; C) limits of the watershed of the Peixe-Boi river.

bem como registro em imagens fotográficas. Posteriormente, o comportamento de uso e cobertura do solo foi validado para a imagem de 2008, sendo correlacionada com o observado no Google Earth em 2013.

A delimitação da área da bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi foi efetuada utilizando-se o arquivo digital em formato *shapefile* da base hidrográfica ortocodificada disponibilizado pela Agência Nacional das Águas – ANA (BRASIL, 2013)

De posse da imagem georreferenciada pelo software ENVI, através de 24 pontos de controle e erro médio final RMS inferior a 0,08 km<sup>2</sup>, este produto foi submetido ao processo de classificação, que foi conduzido a partir do algoritmo de máxima verossimilhança, que por ser ligado ao método supervisionado necessita de um conhecimento prévio das feições ocorrentes na área de estudo.

Assim sendo, para a classificação da imagem definiram-se as seguintes classes de cobertura vegetal e uso do solo:

- A. Vegetação arbórea: áreas ocupadas por diferentes formações florestais existentes na bacia, sendo composta por áreas de florestas nativas e áreas associadas à vegetação secundária em diferentes estágios de sucessão.
- B. Campos naturais: apresenta vegetação composta por gramíneas onde os terrenos baixos estão sujeitos a inundações periódicas e quase toda a vegetação fica submersa, mas a profundidade chega a pouco mais de

meio metro. Já as áreas mais elevadas formam ilhotas onde podem ser encontrados muitos arbustos e algumas palmeiras.

- C. Agricultura: são as áreas onde o solo estava coberto ou parcialmente coberto com alguma cultura agrícola (perene ou anual) no momento da tomada da imagem.
- D. Pastagem: áreas utilizadas pela pecuária intensiva e extensiva, dominadas por espécies forrageiras.
- E. Solo exposto: diz respeito à situação da ausência de cobertura do solo no momento da tomada da imagem, contudo, para uma melhor caracterização, essa classe precisou ser criteriosamente analisada, uma vez que apresenta uma relativa semelhança à classe Agricultura e Pastagem em fase de implantação.
- F. Área urbana: são as áreas ocupadas pelas sedes dos municípios que compõem a bacia, os bairros rurais, as construções mais afastadas dos centros urbanos, e outros tipos de ocupação do solo onde existe a predominância de construções, com área igual ou maior que a resolução espacial da imagem utilizada.
- G. Água: refere-se a todos os corpos d'água presentes na imagem (rios, lagos, córregos, canais, áreas alagadas, etc.).

Após a coleta de amostras das classes de interesse, analisaram-se o desempenho destas, sendo a seguir gerada a classificação final, visando obter o maior índice Kappa. O Kappa é um índice utilizado para se avaliar e validar o resultado obtido pela classificação, ele informa o grau de confiança do produto classificado.

Para reduzir a quantidade de pontos isolados observados nas imagens classificadas e, conseqüentemente, promover maior uniformidade nas classes definidas, aplicou-se um filtro de mediana, através de uma máscara de convolução de dimensão 3 x 3. Nesse tipo de filtro, o pixel central da máscara é substituído pelo valor mediano dos seus vizinhos. A partir do resultado do processo de classificação e pós-classificação da imagem, elaborou-se então o mapa de cobertura vegetal e uso do solo da bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi.

A configuração da paisagem e dos fragmentos de vegetação natural pertencente à bacia hidrográfica foram analisados pelo software ArcGis 9.3, utilizando-se a extensão PATCH ANALYST 4. Tal programa é frequentemente usado para análises do padrão espacial, em apoio à modelagem, conservação da biodiversidade e manejo florestal, uma vez que calcula diversas métricas em nível de mancha (*patch*), classe (*class*) e paisagem (*landscape*). Por meio dessa ferramenta é possível analisar métricas que quantificam a composição e/ou a configuração da paisagem, que afetam de forma significativa os processos ecológicos, tanto independente quanto simultaneamente.

As métricas analisadas nesta pesquisa estão descritas a seguir:

A. Métricas de paisagem: Área total – Soma das áreas de todos os elementos que compõem a área de estudo; Número de fragmentos – Soma do número total de elementos que compõem a área de estudo; Tamanho médio dos fragmentos – Soma do número total dos elementos que compõem área de estudo dividida pela área em questão; Distância média entre os fragmentos – É a média da distância de manchas de uma mesma classe; Índice de diversidade de Shannon – O índice será igual a 0, quando há apenas mancha de uma única classe na paisagem e aumenta conforme o número de classes de manchas na paisagem, ou distribuição proporcional das diferentes classes de manchas na paisagem; Índice de uniformidade de Shannon – Ele é igual a 1 quando a distribuição de área entre manchas é exatamente a mesma, e tende a 0 quando a distribuição de espaço entre as manchas torna-se cada vez mais dominado por uma classe de mancha.

B. Métricas de classe: Área total – Soma das áreas de todos os fragmentos que compõem a vegetação arbórea da área de estudo; Número de fragmentos – Soma do número total de fragmentos que compõem a vegetação arbórea da área de estudo; Tamanho médio dos fragmentos – Soma do número total de fragmentos que compõem a vegetação arbórea da área de estudo dividido pela área desta; Comprimento total de borda – Soma dos perímetros de todos os fragmentos que compõem a vegetação arbórea da área de estudo; Dimensão fractal média – Mede a complexidade da forma dos fragmentos que compõem a vegetação arbórea da área de estudo. Varia de 1 (para manchas com formas mais simples e regulares) a 2 (para manchas com formas mais complexas); Área de

interior (core) – soma de todas as áreas de interior dos fragmentos que compõem a vegetação arbórea da área de estudo. Considerou-se 100 m de profundidade de borda, devido ao modelo agropecuário local, caracterizado pelo uso abusivo de herbicidas e pastoreio na borda dos remanescentes de vegetação arbórea; Número de áreas de interior (N° core) – equivale ao número de áreas de interior disjuntas contidas dentro do limite dos fragmentos que compõem a vegetação arbórea da área de estudo.

C. Métricas de fragmentos por classe de tamanho: Número de fragmentos agrupados para cada classe e área total ocupada pelos fragmentos.

### 3 Resultados e Discussão

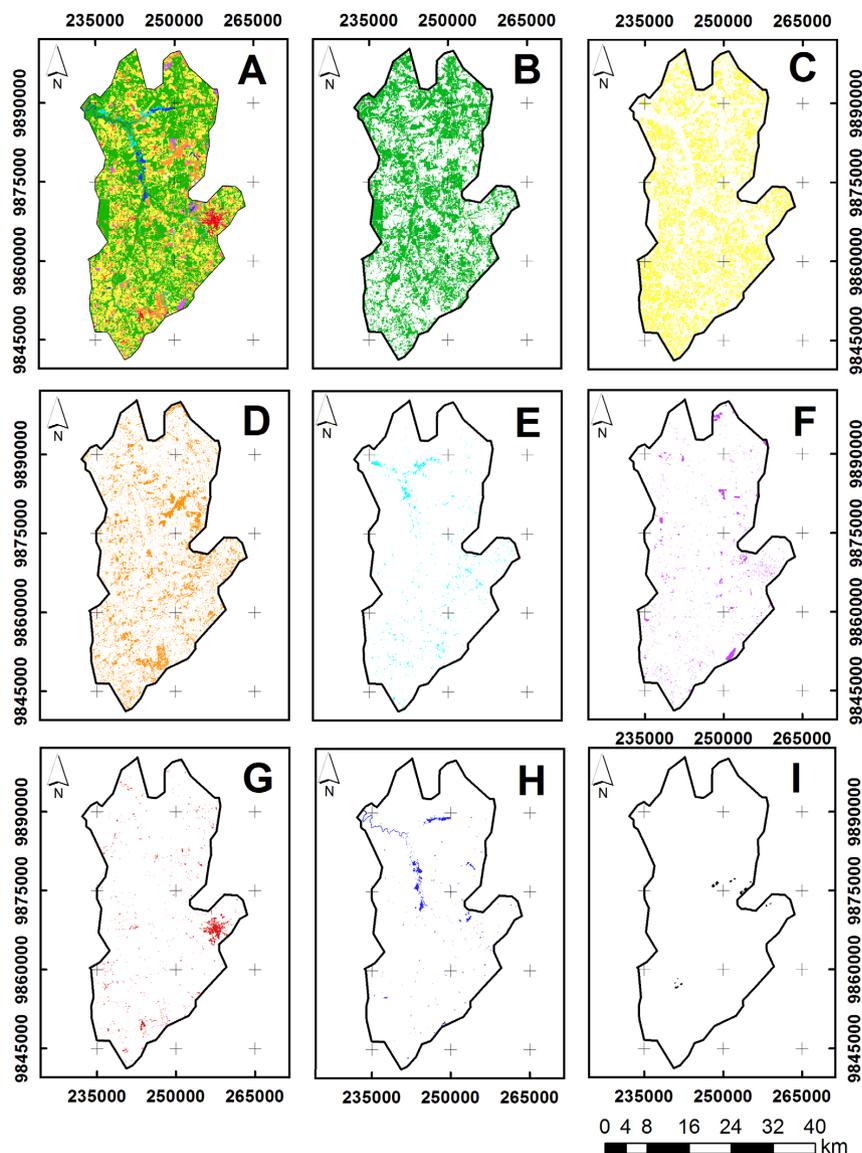
Na caracterização do uso e cobertura do solo da bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi, foram identificados sete tipos de feições, sendo elas: água, vegetação arbórea, área urbana, solo exposto, agricultura, pastagem e campos naturais.

O mapa temático de cobertura vegetal e uso do solo representa as feições identificadas na área de estudo e permitiu caracterizar a disposição de cada componente formador da paisagem, servindo como ferramenta para a análise da estrutura da paisagem e suas relações ecológicas (Figura 2).

A área da bacia é ocupada pela classe Vegetação arbórea, composta basicamente pelo agrupamento de tipologias de florestas nativas ou primárias, bem como as áreas em diferentes estágios de sucessão secundária (capoeiras), é 43,91% (Figura 2, Tabela 1). Isto indica uma significativa mudança na paisagem original, alterada principalmente pela criação de pastagens devido ao avanço da pecuária.

A presença das formações secundárias está associada às áreas de ocupação antrópica, normalmente relacionadas à baixa sustentabilidade do sistema de agricultura tradicional praticado na região. Tais formações dependem principalmente de períodos de pousios suficientemente longos para restabelecer os estoques de nutrientes e matéria orgânica utilizados e/ou perdidos no período agrícola. Trabalhos realizados em outras bacias hidrográficas localizadas no Nordeste paraense também apontaram valores próximos ao encontrados neste estudo em relação à presença expressiva da vegetação secundária. Jesuíno (2010) verificou que 35% da área da bacia do rio Apeú é representada por vegetação arbórea. A área com pastagem corresponde a 35,63% da área da bacia, o que evidencia uma forte atividade pecuária. A presença de grandes áreas de pastagens é uma realidade observada em todo o Nordeste paraense, evidenciada em diversos estudos, como Almeida & Vieira (2008) e Watrin et al. (2009). Tal padrão é observado em toda a Amazônia, onde as áreas de pastagem cultivada são o uso de terra dominante.

A Agricultura ocupa 13,68% da área, sendo representada tradicionalmente pela agricultura de pequeno e médio porte (Tabela 1). Segundo o IBGE (2008), a agricultura praticada no Nordeste paraense ainda apresenta como base predominante o sistema de subsistência, cujos principais produtos são: o feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), a mandioca (*Manihot esculenta* Crantz), o milho (*Zea mays* L.), o dendê (*Elaeis guineensis* Jacq.) e a pimenta-do-reino (*Piper nigrum* L.).



**Figura 2.** Representação da cobertura vegetal e uso do solo da bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi. **A)** Paisagem completa; **B)** Vegetação arbórea; **C)** Pastagem; **D)** Agricultura; **E)** Campos naturais; **F)** Solo exposto; **G)** Área urbana; **H)** Água; **I)** Nuvem/Sombra.

**Figure 2.** Representation of vegetation cover and land use of the watershed of the Peixe-Boi river. **A)** Complete landscape; **B)** Arboreal vegetation; **C)** Grassland; **D)** Agriculture ; **E)** Natural fields; **F)** Bare soil; **G)** Urban area; **H)** Water; **I)** Cloud / Shadow.

**Tabela 1.** Cobertura vegetal e uso do solo na bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi.

**Table 1.** Land cover and land use in the catchment area of the watershed of the Peixe-Boi river.

CLASSES	ha	%
Nuvem/Sombra	209,63	0,19
Água	1203,67	1,09
Área urbana	1723,27	1,57
Solo exposto	2292,41	2,09
Agricultura	14994,78	13,68
Pastagem	39260,35	35,63
Campos naturais	2008,69	1,83
Vegetação arbórea	47888,72	43,91
<b>TOTAL</b>	<b>109581,52</b>	<b>100</b>

Entretanto, a partir da visita em campo, identificou-se que desde 2001 se instalou no município de Bonito a empresa produtora e processadora de dendê MERJE, responsável por extensas áreas de cultivo de dendê no âmbito da bacia estudada.

A classe Solo exposto representa apenas 2,09% da área total da bacia. Esta classe está dissociada das áreas urbanas, representando tão somente áreas com exposição significativa do solo que se encontram associadas ao sistema produtivo. Estas áreas normalmente estão associadas às culturas anuais que no momento da tomada das imagens se encontram na fase de implantação, colheita ou pós-colheita, havendo assim pequena resposta espectral de cobertura vegetal em relação ao solo, caracterizando-o como Solo exposto (Poletto et al., 2004).

Na classe Campos Naturais, verifica-se que ocupa 1,83% da área da bacia, estando localizados principalmente em pequenas faixas próximas às margens do rio Peixe-Boi, apresentando um comportamento espectral bem diferente da classe Pastagem, justamente pelo seu elevado grau de umidade em função dos alagamentos sazonais característicos da tipologia de Campos naturais. Segundo Bernacci et al. (2006), esses ecossistemas atuam como excelentes corredores ecológicos em faixas.

A Área urbana cobre 1,57% da área total da bacia e representa principalmente os núcleos urbanos e as sedes municipais dos municípios de Peixe-Boi, Capanema e Bonito. A classe Água ocupa 1,09% do total da área de estudo, tendo como representação principal o leito do rio Peixe-Boi.

A caracterização e quantificação espacial da estrutura da paisagem, através de métricas da paisagem, são de grande relevância no estudo da relação entre a heterogeneidade paisagística e as propriedades ecológicas locais.

A paisagem que compõe a bacia do rio Peixe-Boi apresenta área total de 109.581,52 ha distribuída ao longo dos seis municípios que a integram. Esta paisagem apresenta um total de 23.012 fragmentos, compondo as oito classes de cobertura vegetal e uso do solo presentes na bacia, caracterizando-se como muito fragmentada. Segundo Casimiro (2000), quanto maior a subdivisão da paisagem, maior o número de manchas, maior a resistência potencial à propagação de perturbações como doenças e fogo, podendo as manchas persistir mais facilmente do que se o número fosse diminuto.

Estes fragmentos ou manchas apresentam uma dimensão média de 460 ha e a média de isolamento dos fragmentos, que é a distância média entre fragmentos similares de 983 m. Este relativo afastamento entre os fragmentos similares denota uma elevada e significativa variabilidade espacial das unidades que compõem a paisagem (Holanda et al., 2011).

Como manchas da paisagem, têm-se as unidades que formam as classes de Pastagem, Agricultura, Solo exposto e Área urbana. Por fim, tem-se a rede de drenagem, caracterizada pela classe Água, bem como a classe Campos naturais, formando os corredores naturais da paisagem (Muchailh et al., 2010).

O Índice de Uniformidade de Shannon foi de 0,62, indicando uma paisagem de complexidade mediana em relação às distribuições da abundância de manchas das classes de Cobertura vegetal e Uso da terra. O valor do Índice de Diversidade de Shannon de 1,29 denota a baixa diversidade dos usos na área analisada, e tal afirmação consiste em um maior predomínio de vegetação arbórea e pastagem na área avaliada.

A classe de Vegetação arbórea, como classe dominante, representa a matriz, ou seja, a cobertura de fundo da paisagem. Ainda que caracterizada como matriz, salienta-se que a vegetação arbórea se apresenta em acentuado estágio de fragmentação, com 5.411 fragmentos (Figura 3). Embora o processo de fragmentação possa ocorrer naturalmente em função da ação do tempo acrescida dos intemperismos, a ação antrópica, neste caso, vem atuando decisivamente no sentido de acelerar tal processo.

Para Bender et al. (1998), nos casos em que a fragmentação cria um grande número de fragmentos a partir de um sistema contínuo, as espécies do interior normalmente podem sofrer um declínio em sua população, pois estarão atuando em conjunto os efeitos do tamanho do fragmento e da perda de hábitat. Este

padrão continuará com o declínio do tamanho do fragmento, até que todo o fragmento seja constituído inteiramente por habitats com características de borda, que são áreas com pouca variabilidade genética, pouco fluxo gênico e grande fragilidade ambiental por estar sofrendo diretamente o impacto do meio externo ao fragmento.

Os fragmentos apresentam um tamanho médio de 8,12 ha, sendo que o maior fragmento apresentou 15.044,40 ha e o menor fragmento 0,05 ha. Tal dado demonstra a elevada heterogeneidade espacial das manchas que compõem esta bacia.

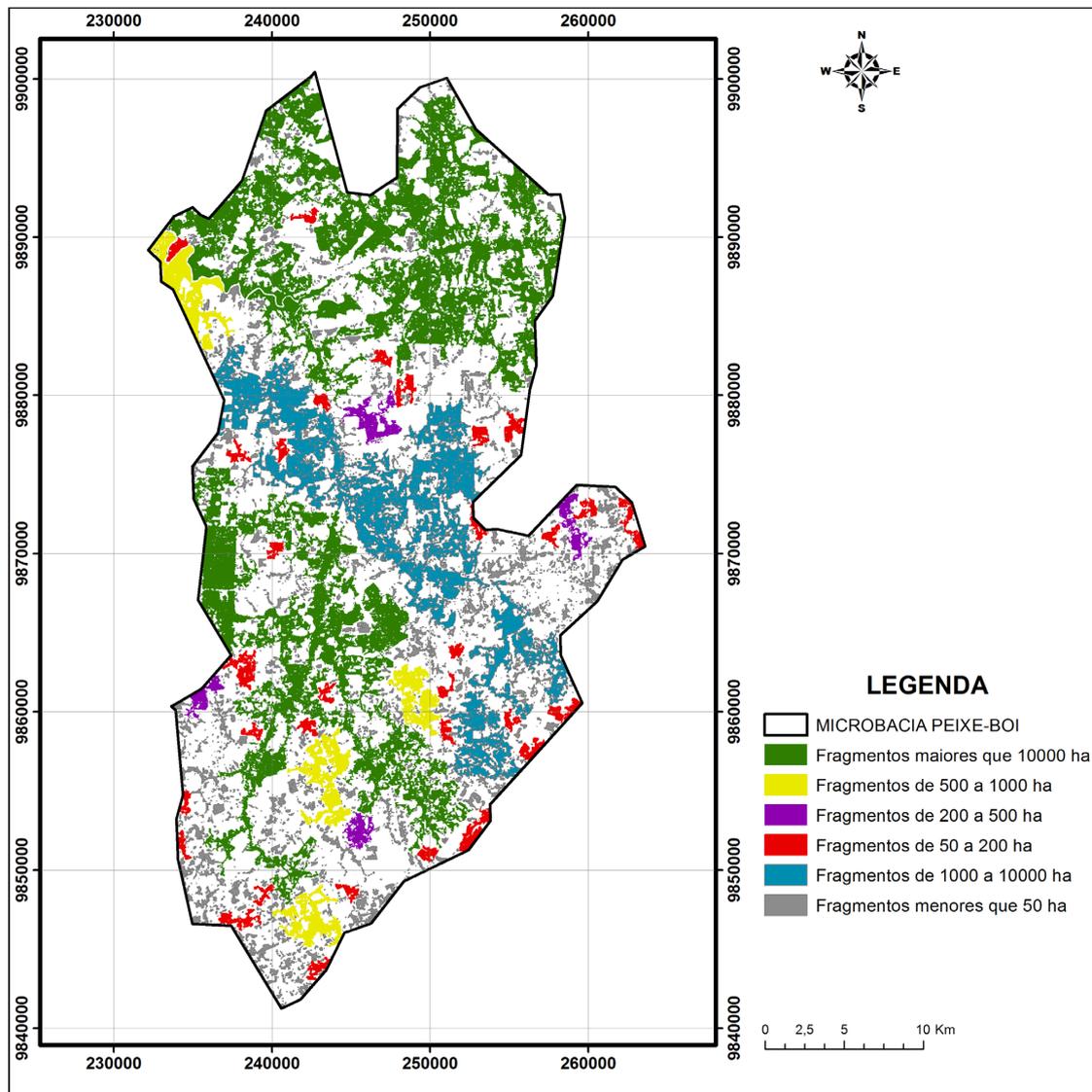
Fragmentos de grandes dimensões são muito importantes para a manutenção da biodiversidade e dos processos ecológicos em larga escala, por outro lado, os pequenos fragmentos (remanescentes) também cumprem funções relevantes ao longo da paisagem, uma vez que funcionam como elementos de ligação, “trampolins ecológicos” (*stepping stones*) entre grandes áreas e fragmentos maiores (Mcgarigal et al., 2009).

O comprimento total de bordas foi de 6.313.394,50 m (6.313,39 km<sup>2</sup>), o que revela o elevado grau de fragmentação da bacia, pois quanto maior for o total de margens, maior a fragmentação da paisagem. Assim, a quantidade total de margens é um excelente indicador da configuração da paisagem. A importância das margens é muito elevada, pois há uma importante interação da flora e da fauna nestas áreas de margem, que podem constituir habitats por si só, além de serem claramente frentes de interface: predação e refúgio, dispersão de sementes e recolonização, proteção do vento, etc. (Holanda et al., 2010).

A dimensão fractal média dos fragmentos de vegetação arbórea foi de 1,40, demonstrando assim que, em geral, os fragmentos apresentam-se com pouca complexidade de suas bordas, tendendo a formas regulares, o que evidencia a forte presença humana na paisagem da bacia. A forma dos fragmentos florestais é um importante parâmetro a ser considerado, pois está diretamente relacionado ao efeito de borda, determinando o grau com que esse efeito age sobre o fragmento e a maior ou menor influência dos fatores externos sobre a sua biodiversidade (Turner & Ruscher, 1988).

É necessário compreender que a análise da forma de um fragmento florestal não pode ser feita de maneira isolada, uma vez que devem ser considerados outros aspectos desses fragmentos, entre os quais o seu efeito de borda. Para análise do efeito de borda, considerou-se uma margem de borda de 100 m. Essa margem refere-se a um raio de 100 m, contando a partir da borda na direção da área central do fragmento, formando uma área que é tida como zona de amortecimento das influências externas ao fragmento. Os resultados mostram uma área total de interior dos fragmentos de 9.994,52 ha, o que representou apenas 20,87% do total da vegetação arbórea da bacia. Tem-se então que 79,13% da área dos fragmentos de vegetação arbórea que compõem a bacia hidrográfica são constituídas por ambiente de borda, o que evidencia a presença de fragmentos pequenos e alongados, uma vez que em grande parte eles acompanham a rede de drenagem, tornando a paisagem da bacia prejudicada quanto à qualidade do hábitat, que fica mais exposto aos efeitos de borda.

A área nuclear de um fragmento de floresta é, segundo Wu (2004), um melhor indicativo da qualidade dos fragmentos do que sua área total, sendo afetada diretamente pela forma e



**Figura 3.** Fragmentos da vegetação arbórea da bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi, Nordeste Paraense por classe de tamanho em ha.

**Figure 3.** Fragments of vegetation arboreal of the watershed of the Peixe-Boi river, Northeast Pará by size class in ha.

borda dos fragmentos. Dessa maneira, um fragmento pode ser largo o suficiente para sustentar algumas espécies, mas não conter área nuclear suficiente para sustentar essas espécies e, sobretudo, manter a integridade de sua estrutura natural.

As áreas de interior dos fragmentos apresentam uma média de 6,16 ha, o que segundo Metzger (2003) não é suficiente para manter a sustentabilidade de algumas espécies e a integridade de sua estrutura natural, pois o mínimo necessário para isso seria uma área de aproximadamente 25 ha. O estabelecimento de uma estrutura interna está, portanto, relacionada a uma área mínima, capaz de manter as espécies típicas do tipo de formação florestal a que o fragmento pertence.

A subdivisão dos fragmentos por classes de tamanhos possibilitou uma análise estrutural mais pontual para cada tipologia de classes, tendo em vista a grande diversidade de tamanhos dos fragmentos (Tabela 2 e Figura 3).

Os dois maiores fragmentos da paisagem (área maior que 10.000 ha) estão localizados: um na parte norte da bacia e o outro na porção sudoeste (Figura 3). Estes fragmentos da bacia encontram-se nas áreas menos povoadas, evidenciada pelo menor número de localidades e vilarejos, o que em consequência acarreta um menor impacto ambiental. Eles representam aproximadamente 53% da área de vegetação arbórea, ou seja, da matriz da paisagem.

Em geral, os maiores fragmentos possuem maior biodiversidade, uma vez que possibilitam espacialmente o desenvolvimento e perpetuação das espécies. Assim, quanto maior o fragmento, maior a possibilidade do desenvolvimento de populações mais complexas e plurais (Ewers & Didham, 2006).

Pode-se observar que grande parte dos fragmentos de tipologia florestal está localizada junto aos recursos hídricos, por isso apresenta formas mais alongadas, formando corredores denominados de mata ciliar (Figura 2A, B).

**Tabela 2.** Área ocupada por fragmentos de vegetação arbórea distribuídos por classe de tamanho na paisagem da bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi, Nordeste Paraense.**Table 2.** Area occupied by trees in fragments spread over class size in the landscape of the watershed of the Peixe-Boi river, Northeast Pará.

CLASSES	Número de fragmentos	Área de fragmentos (ha)	Área dos fragmentos (%)
< 50	5.364	6.332,55	13,78
50 – 200	34	2.494,38	5,18
200 – 500	4	1.156,40	2,4
500 – 1000	4	2.664,27	5,53
1000 – 10000	3	9.862,82	20,49
> 10000	2	25.610,02	52,62
<b>TOTAL</b>	<b>5.411</b>	<b>47.888,72</b>	<b>100</b>

## 4 Conclusões

A pecuária é a principal atividade responsável pela alteração da paisagem da bacia, visto que 36% de suas terras são destinados a este uso produtivo.

O grande número de fragmentos pequenos demonstra um forte impacto da atividade humana na área da bacia, levando a um aumento do índice de dimensão fractal com o aumento da área. Dessa forma, os fragmentos maiores tenderam a possuir formas mais complexas, ficando assim mais expostos aos efeitos de borda.

O comprometimento ambiental da paisagem da bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi no que tange à integridade ecológica tornou-se notório, uma vez que 79,24% da sua área de vegetação arbórea é constituída de ambiente de borda, fator que afeta significativamente a qualidade dos ecossistemas ali existentes.

A presença de alguns fragmentos mais conservados, com expressivas áreas centrais e bem conectados, são muito importantes para a conservação da biodiversidade na área de estudo, apesar de não serem em grande número, cumprindo um importante papel na manutenção da estabilidade da biodiversidade local.

Considerando o contexto em que se encontra a bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi, fazem-se necessárias medidas de planejamento estratégico vinculado à gestão e manejo deste, para contribuir no processo de recuperação e conservação dos fragmentos remanescentes e com isso viabilizar a manutenção dos ecossistemas e sua biodiversidade.

## Referências

ALMEIDA, A. S.; VIEIRA, I. C. G. Dinâmica da cobertura vegetal e uso da terra no município de São Francisco do Pará (Pará, Brasil) com o uso da técnica de sensoriamento remoto. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*, v. 3, n. 1, p. 81-92, 2008.

BENDER, D. J.; CONTRERAS, T. A.; FAHRIG, L. Habitat loss and population decline: a metaanalysis of patch size effect. *Ecology*, v. 79, n. 2, p. 517-533, 1998. [http://dx.doi.org/10.1890/0012-9658\(1998\)079\[0517:HLAPDA\]2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1890/0012-9658(1998)079[0517:HLAPDA]2.0.CO;2).

BERNACCI, L. C.; FRANCO, G. A. D. C.; ÁRBOCZ, G. F.; CATHARINO, E. L. M.; DURIGAN, G.; METZGER, J. P. O efeito da fragmentação florestal na composição e riqueza de árvores na região da Reserva Morro Grande (Planalto de Ibiúna, SP). *Revista do Instituto Florestal*, v. 18, p. 121-166, 2006.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente – MMA. Agência Nacional de Águas – ANA. *GeoNetwork opensource*. 2013. Disponível em: <<http://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/main.home>>. Acesso em: 06 Julho 2015.

CASIMIRO, P. C. Uso do solo – ecologia da paisagem, perspectivas de uma nova abordagem do estudo da paisagem em geografia. *Geolnova*, v. 2, p. 45-65, 2000.

EWERS, R. M.; DIDHAM, R. K. Confounding factors in the detection of species responses to habitat fragmentation. *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society*, v. 81, n. 1, p. 117-142, 2006. <http://dx.doi.org/10.1017/S1464793105006949>. PMID:16318651.

FISCHER, J.; LINDENMAYER, D. B. Landscape modification and habitat fragmentation: a synthesis. *Global Ecology and Biogeography*, v. 16, n. 3, p. 265-280, 2007. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1466-8238.2007.00287.x>.

Google Earth. *Software free version – Google*. 2013. Disponível em: <<http://www.google.com.br/intl/pt-BR/earth/>>. Acesso em: 06 julho 2015.

HOLANDA, A. C.; FELICIANO, A. L. P.; MARANGON, L. C.; SANTOS, M. S.; MELO, C. L. S. M. S.; PESSOA, M. M. L. Estrutura de espécies arbóreas sob efeito de borda em um fragmento de floresta estacional semidecidual em Pernambuco. *Revista Árvore*, v. 34, n. 1, p. 103-114, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622010000100012>.

HOLANDA, F. S. R.; SANTOS, L. C. G.; ARAÚJO FILHO, R. N.; PEDROTTI, A.; GOMES, L. J.; SANTOS, T. O.; CONCEIÇÃO, F. G. Percepção dos ribeirinhos sobre a erosão marginal e a retirada da mata ciliar do Rio São Francisco no seu baixo curso. *Ra'e Ga*, v. 22, p. 219-237, 2011.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. *Banco de dados – notícias*. 2008. Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia\\_visualiza.php?id\\_noticia=1246&id\\_pagina=1](http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_visualiza.php?id_noticia=1246&id_pagina=1)>. Acesso em: 24 março 2010.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. *Manual técnico de geomorfologia*. 2011. Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/recursosnaturais/geomorfologia/manual\\_geomorfologia.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/recursosnaturais/geomorfologia/manual_geomorfologia.shtm)>. Acesso em: 06 abril 2014.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, *Manual técnico de pedologia*. 2012. Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/recursosnaturais/sistemizacao/manual\\_pedologia.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/recursosnaturais/sistemizacao/manual_pedologia.shtm)>. Acesso em: 12 junho 2013.

- JESUÍNO, S. A. *Análise ambiental da bacia hidrográfica do rio Apeú com base na fragmentação da vegetação*. 2010. 57 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais)-Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2010.
- LORENA, R. B.; SANTOS, J. R.; SHIMABUKURO, Y. E. Técnica de detecção de mudanças aplicada em imagens de satélite como ferramenta de monitoramento de uso e cobertura da terra na Amazônia Ocidental (Acre). *Espaço & Geografia*, v. 7, n. 1, p. 47-76, 2004.
- MASCARENHAS, L. M. A.; FERREIRA, M. E.; FERREIRA, L. G. Sensoriamento remoto como instrumento de controle e proteção ambiental: análise da cobertura vegetal remanescente na Bacia do Rio Araguaia. *Sociedade & Natureza*, v. 21, n. 1, p. 5-18, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S1982-45132009000100001>.
- MCGARIGAL, K.; TAGIL, S.; CUSHMAN, S. A. Surface metrics: na alternative to patch metrics for the quantification of landscape structure. *Landscape Ecology*, v. 24, n. 3, p. 433-450, 2009. <http://dx.doi.org/10.1007/s10980-009-9327-y>.
- METZGER, J. P. Estrutura da paisagem: o uso adequado de métricas. In: CULLEN JUNIOR, L.; RUDRAN, R.; VALLADARES-PÁDUA, C. (Eds.). *Métodos de estudos em biologia da conservação e manejo da vida silvestre*. Curitiba: Editora da UFPR, 2003. p. 423-453.
- MUCHAILH, M. C.; RODERJAN, C. V.; CAMPOS, J. B.; MACHADO, A. L. T.; CURCIO, G. R. Metodologia de planejamento de paisagens fragmentadas visando a formação de corredores ecológicos. *Floresta*, v. 40, n. 1, p. 147-162, 2010. <http://dx.doi.org/10.5380/ufv40i1.17106>.
- National Aeronautics and Space Administration – NASA. *The enhanced thematic mapper plus*. 2010. Disponível em: <<http://landsat.gsfc.nasa.gov/?p=3225>>. Acesso em: 16 novembro 2010.
- POLETO, C.; CARVALHO, S. L.; LIMA, E. A. C. F. *Problemas de degradação ambiental em uma Microbacia Hidrográfica situada no município de Ilha Solteira – SP.*, Brasil e sua percepção pelos proprietários rurais. *HOLOS Environment*, v. 4, n. 1, p. 68-80, 2004.
- TURNER, M. G.; RUSCHER, C. L. Changes in landscape patterns in Georgia, USA. *Landscape Ecology*, v. 1, n. 4, p. 241-251, 1988. <http://dx.doi.org/10.1007/BF00157696>.
- VALENTE, R. O. A.; VETTORAZZI, C. A. Análise da estrutura da paisagem na Bacia do Rio Corumbataí, SP. *Scientia Forestalis*, v. 62, p. 114-129, 2002.
- WATRIN, O. S.; GERHARD, P.; MACIEL, M. N. M. Dinâmica do uso da terra e configuração da paisagem em antigas áreas de colonização de base econômica familiar, no nordeste do estado do Pará. *Geografia*, v. 34, n. 3, p. 455-472, 2009.
- WU, J. Effects of changing scale on landscape pattern analysis: scaling relations. *Landscape Ecology*, v. 19, n. 2, p. 125-138, 2004. <http://dx.doi.org/10.1023/B:LAND.0000021711.40074.ae>.

---

**Contribuição dos Autores:** Maria de Nazaré M. Maciel: Orientações para o desenvolvimento do trabalho, ajustes metodológicos e revisão; Francisco de Assis Oliveira: Orientações para a condução e desenvolvimento do trabalho; Hugo Amancio Sales Silva: Auxílio na confecção dos mapas temáticos e Georreferenciamento das imagens de satélite; Thais Gleice Martins Braga: Levantamento dos dados em campo e tabulação dos dados digitais; Deivisson Bacha Figueiredo: Coleta dos dados em campo, mapeamentos e traduções do trabalho.

**Agradecimentos:** Ao CNPq e à PETROBRAS, pelo financiamento do projeto de pesquisa que originou o presente trabalho. À Universidade Federal Rural da Amazônia e ao seu corpo docente, por oportunizar a realização deste projeto de pesquisa. Ao Instituto Ciberespacial, pela disponibilização de toda logística necessária para a concretização deste trabalho.

**Fonte de financiamento:** PETROBRAS e CNPq.

**Conflito de interesse:** Os autores declaram não haver conflito de interesse.