



**Análisis de la Cobertura de la Tierra en
Torno de una Hidroeléctrica en la Amazonía Brasileña**
Analysis of the Land Cover Around a Hydroelectric Power Plant in the Brazilian Amazon

Andrés Danilo Velástegui Montoya¹; Aline Maria Meiguins de Lima² & Marcos Adami³

¹ *Escuela Superior Politécnica del Litoral, Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra,
09-01-5863, Campus Gustavo Galindo Velasco Km 30.5 Vía Perimetral, Guayaquil – Guayas, Ecuador*

² *Universidade Federal do Pará, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais,
1611, Campus Universitário do Guamá Rua Augusto Corrêa 1, 66075-110, Belém – PA, Brasil*

³ *Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Centro Regional da Amazônia, Parque de Ciência e Tecnologia do Guamá
Avenida Perimetral 2651, 66077-830, Belém – PA, Brasil*

E-mails: dvelaste@espol.edu.ec; ameiguins@ufpa.br; marcos.adami@inpe.br

Recebido em: 06/09/2018 Aprovado em: 21/01/2019

DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2019_1_74_86

Resumen

El artículo analiza el patrón espacial de las alteraciones en la cobertura de la tierra en los municipios directamente afectados por el embalse de Tucuruí. Este análisis se realizó mediante el uso de imágenes del satélite Landsat. Se efectuó el mapeo de las clases de cobertura de la tierra y la caracterización cuantitativa de las clases presentes en la región, entre los períodos de inicio de II fase y conclusión de construcción de la central hidroeléctrica de Tucuruí. El estudio se realizó en dos etapas, la primera corresponde a la aplicación del modelo lineal de mezcla en imágenes Landsat-TM y ETM+ segmentadas, ejecutado para el mapeo de las clases de cobertura de la tierra. La segunda, para el cálculo de las métricas de paisaje, con el propósito de caracterizar cuantitativamente las clases. Los resultados revelaron alteraciones en el patrón espacial de cobertura forestal alrededor del lago Tucuruí. El municipio de Novo Repartimento fue el que presentó la mayor expansión de áreas deforestadas, siendo éste, el municipio que alberga la mayor parte del embalse. El alto nivel de fragmentación está asociado a carreteras y caminos vecinales trazados en la región, lo que permite la conectividad entre las manchas urbanas, facilitando el acceso a nuevas áreas y conversión de bosques en extensas áreas destinadas al agronegocio.

Palabras clave: Cobertura de la tierra; Central hidroeléctrica; Represa; Tucuruí

Abstract

The article analyzes the spatial pattern of alterations in land cover in the municipalities directly affected by the Tucuruí reservoir. This analysis was carried out by using Landsat satellite images. The mapping of the land cover classes and the quantitative characterization of the classes present in the region were carried out between the start period of the II phase and the conclusion of the construction of the Tucuruí hydroelectric power plant. The study was carried out in two phases, the first one corresponds to the application of the linear model of mixing in Landsat-TM and ETM+ segmented images, executed for the mapping of the land cover classes. The second, corresponds to the calculation of landscape metrics, with the purpose of quantitatively characterizing the classes. The results revealed alterations in the spatial pattern of forest cover around the Tucuruí Lake. The municipality of Novo Repartimento was the one that presented the largest expansion of deforested areas and is also the municipality that houses most of the reservoir. The high level of fragmentation is associated with highways and country roads in the region, which allow connectivity between urban spots, facilitating access to new areas and conversion of forests into large areas for agribusiness.

Keywords: Land cover; Hydroelectric power plant; Dam; Tucuruí

1 Introducción

La planificación y construcción de emprendimientos hidroeléctricos en la Amazonía es de gran interés regional, por ser cada vez más atractiva como fuente de energía, al englobar todos los principales afluentes del río Amazonas (Finer & Jenkins, 2012; Fearnside, 2014). La región amazónica andina presenta gran potencial de generación de energía hidroeléctrica, por sus altos índices pluviométricos y topografía montañosa, en cuanto la Amazonía brasileña es menos favorable por su configuración geomorfológica, con gradientes de altura que requieren de grandes áreas de acumulación, propensos a la sedimentación e inundación de extensas áreas (Junk & Mello, 1990; Finer & Jenkins, 2012).

La crisis del petróleo entre 1972 y 1979 y el estímulo del gobierno japonés, llevaron a la construcción de la central hidroeléctrica de Tucuruí, al sureste del Estado de Pará. El objetivo era desarrollar la industria electro-intensiva del aluminio en la Amazonia brasileña (Silva, 2001; Coelho *et al.*, 2010; Fearnside, 2016). Los recursos hídricos en la región son estratégicos para el desarrollo socioeconómico, dada la extensión de las áreas potencialmente irrigables para la agricultura, agronegocio, navegación, pesca y turismo, además de su gran potencial hidroenergético (ANA, 2009).

La energía hidroeléctrica es renovable, limpia, eficiente y permite el uso múltiple del agua (Blanco *et al.*, 2008, Pottmaier *et al.*, 2013). Sin embargo, se sabe que la instalación de este tipo de emprendimiento en la Amazonia conlleva alteraciones en la cobertura de la tierra, relacionadas a los cambios de la dinámica poblacional e infraestructuras complementarias. Resultando en degradación y pérdida de bosques, lo que fragmenta el paisaje alrededor de estos megaproyectos y perjudica el modo de vida de las poblaciones locales, mientras que los beneficios energéticos acontecen en otras regiones (Fearnside, 1999, 2001; Sperling, 2012; Ferreira *et al.*, 2013; Finer & Jenkins, 2012).

De esta manera, se destaca la importancia del mapeo de la cobertura de la tierra, como mecanismo de identificación y espacialización del paisaje. En este caso de estudio, se propuso la combinación de

sensoramiento remoto, sistema de información geográfica y métricas del paisaje. El propósito fue determinar y evaluar los patrones de deforestación, altamente concentrados alrededor del lago de Tucuruí, a lo largo de un período de once años de funcionamiento y ampliación de la central hidroeléctrica de Tucuruí. Es importante tener en cuenta que, la central hidroeléctrica de Tucuruí fue el primer proyecto hidroeléctrico a gran escala en la región amazónica (Souza, 2008; Chen *et al.*, 2015); y por sus 32 años de funcionamiento, es un caso ideal para comprender los impactos de los grandes embalses a lo largo del tiempo en la Amazonía. Lo que posibilita prever posibles impactos ambientales y sociales de futuros emprendimientos hidroeléctricos en la región.

Este artículo tuvo como objetivo evaluar los patrones espacio-temporales de deforestación, provocados por la construcción de la hidroeléctrica de Tucuruí, en el periodo posterior a la fase inicial de ampliación de la hidroeléctrica e inauguración de las esclusas de Tucuruí, de 1999 a 2010, respectivamente. El estudio corresponde a la segunda etapa de un completo análisis multi-temporal de la cobertura de la tierra, en los 32 años de funcionamiento de la central hidroeléctrica. De este modo, fue posible verificar las alteraciones ambientales ocasionadas por la implementación de la represa, en relación con la fragmentación forestal alrededor del embalse.

2 Materiales y Métodos

El área de estudio es delimitada entre las latitudes 03° 24' y 05° 28' S e 48° 22' y 50° 59' W. Corresponde a todos los municipios afectados por el embalse de Tucuruí, siendo estos: Nova Ipixuna, Itupiranga, Jacundá, Goianésia do Pará, Novo Repartimento, Breu Branco y Tucuruí (Figura 1). Es una región de bosque tropical y clima tropical húmedo (según clasificación Köeppen), con moderado periodo de sequía entre julio y septiembre (ANA, 2009).

La central hidroeléctrica de Tucuruí fue el primer proyecto hidroeléctrico de gran escala en la región amazónica (Manyari & Carvalho Jr, 2007; Fearnside, 2014). El embalse de Tucuruí formado por el represamiento del río Tocantins, un afluente del río Amazonas en el Estado de Pará (Figura 1),

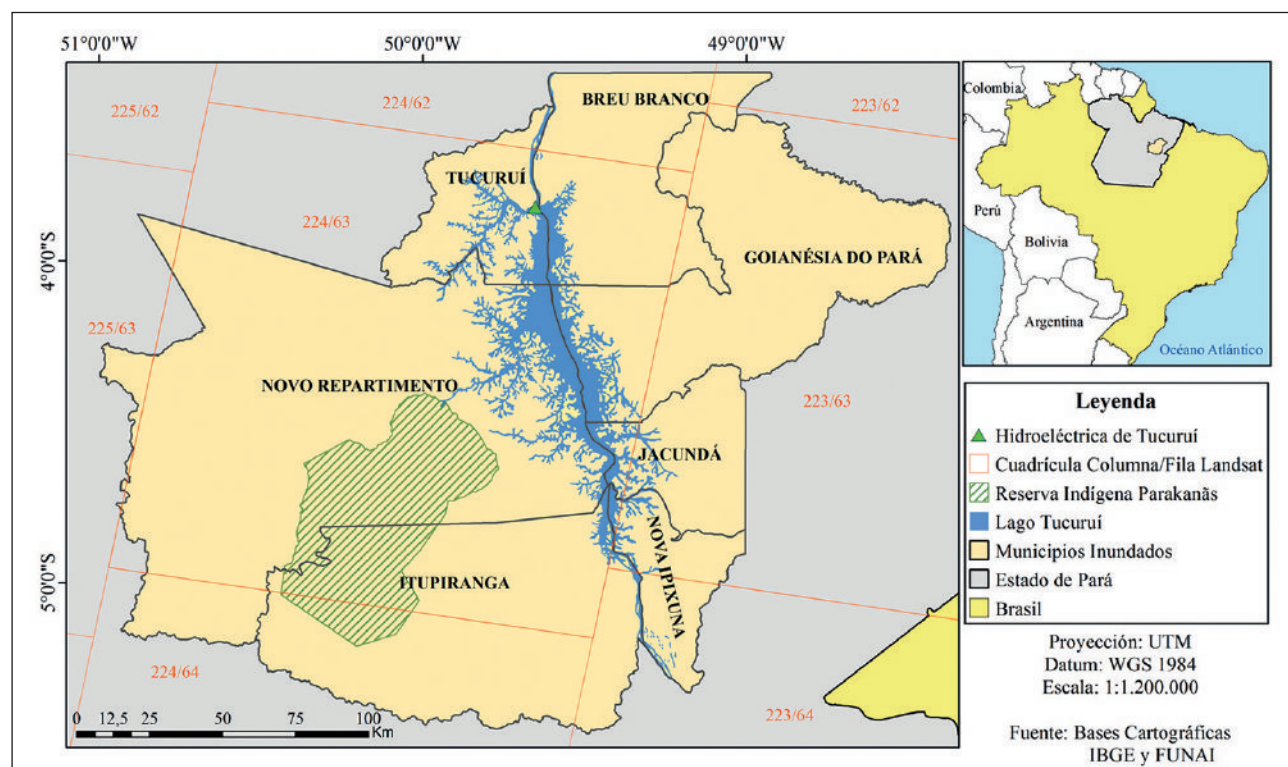


Figura 1 La represa de Tucuruí y los siete municipios afectados por el embalse.

fue llenado e inaugurado en 1984, creando un área de 2.430 km² de lámina de agua embalsada (Fearnside, 1999, 2002; La Rovere & Mendes, 2000). Los bosques tropicales de la región experimentaron alto grado de fragmentación, algunos árboles fueron inundados por la presa. Sin embargo, la deforestación ocurrió alrededor del embalse (Fearnside, 2002; Manyari & Carvalho Jr, 2007).

En la primera fase de construcción, la central hidroeléctrica de Tucuruí tenía una capacidad instalada de 4.000 MW (megawatts) de energía eléctrica (Fearnside, 1999; La Rovere & Mendes, 2000). En 1998 inició su ampliación, etapa que finalizó en 2007, alcanzando una capacidad instalada de 8.370 MW de energía eléctrica (Fearnside, 2002). En el año de 2010, se inauguraron las esclusas de Tucuruí, lo que permitió retomar la navegabilidad por el Rio Tocantins, por consiguiente, la finalización completa del proyecto hidroeléctrico de Tucuruí (Eletronorte, 2010; MPDG, 2012).

2.1 Procesamiento de Datos de Ssensores Remotos

Se utilizó imágenes del satélite Landsat, adquiridas del acervo de imágenes del Servicio Geoló-

gico Americano, con nivel de corrección L1T (*Level 1 Terrain*), ortorectificadas con proyección en UTM y datum WGS1984 (USGS, 2017a). Las imágenes corresponden a los meses de julio y agosto de 1999, y de mayo a septiembre de 2010. Los datos de 2010 fueron colectados por el sensor TM (*Thematic Mapper*) - Landsat 5, mientras que los datos de 1999 fueron adquiridos por los sensores TM-Landsat 5 y ETM+ (*Enhanced Thematic Mapper Plus*) - Landsat 7. Si bien fueron utilizados dos sensores en la adquisición de datos, la extensión de las imágenes, la geometría, la resolución espacial y la calidad de estas, se mantuvieron consistentes, en virtud de la coherencia del programa Landsat, sistema de satélites más antiguo de los Estados Unidos para la observación de la Tierra, adquiriendo datos desde 1972 (USGS, 2017b).

Con la finalidad de englobar los siete municipios de interés, fueron adquiridas siete escenas de imágenes adyacentes para cada año de análisis, siendo las columnas/filas: 223/62 de los días 05/07/99 y 03/07/10 (USGS, 1999a, 2010a), 223/63 de los días 13/07/99 y 05/09/10 (USGS, 1999b, 2010b), 223/64

de los días 21/07/99 y 03/07/10 (USGS, 1999c, 2010c), 224/62 de los días 28/07/99 y 26/07/10 (USGS, 1999d, 2010d), 224/63 de los días 05/08/99 y 26/07/10 (USGS, 1999e, 2010e), 224/64 de los días 28/07/99 y 26/07/10 (USGS, 1999f, 2010f) y 225/63 de los días 04/08/99 y 15/06/10 (USGS, 1999g, 2010g). Debido al alto porcentaje de cobertura de nube en la región, se requirió el uso complementario de una segunda imagen dentro de los meses de interés para cinco escenas, siendo las columnas/filas: 223/62 del día 17/08/09 (USGS, 2009a), 223/63 de los días 29/07/99 y 16/05/10 (USGS, 1999h, 2010h), 223/64 del día 01/08/09 (USGS, 2009b), 224/63 de los días 12/07/99 y 21/06/09 (USGS, 1999i, 2009c) y 224/64 del día 08/08/09 (USGS, 2009d). Luego de la adquisición de las imágenes de satélite, se creó una base para almacenar los datos procesados. Para esto, se utilizaron los programas TerraAmazon (TerraAmazon, 2016) y PostgreSQL (PostgreSQL, 2012).

Primero se creó un proyecto en TerraAmazon con la finalidad de establecer la proyección geográfica a ser utilizada e importar los límites municipales en formato vectorial, en escala 1:250.000, suministrados por el Instituto Brasileiro de Geografía y Estadística (IBGE, 2015). Además, fueron elaboradas las composiciones coloridas RGB utilizando las bandas infrarrojo cercano (NIR – *Near Infrared*), infrarrojo medio (SWIR-1 – *Shortwave Infrared*) y rojo (R – *Red*) respectivamente, y el realce de contraste lineal de las imágenes, para discriminar mejor las clases. Se generó también las imágenes-fracción de suelo, sombra y vegetación, mediante el modelo lineal de mezcla espectral de las bandas NIR, SWIR-1 y R, en las imágenes de los sensores TM-Landsat 5 y ETM+-Landsat 7. Fue necesario seleccionar píxeles puros referentes de los componentes suelo, sombra y vegetación, utilizando los mismos valores de escala de grises en los años analizados (Shimabukuro *et al.*, 1997).

A continuación, se empleó el algoritmo de segmentación de imágenes por crecimiento de regiones. Este algoritmo agrupa los píxeles considerando como base los umbrales de similitud y de área. El umbral de similitud indica la distancia en que un píxel puede pertenecer al agrupamiento y el umbral

de área establece el área mínima de cada grupo de píxeles (Shimabukuro *et al.*, 1997). En particular, se utilizó umbrales de similitud y de área de 8 y 16, respectivamente. Esta combinación fue aplicada con buenos resultados por Vasconcelos & Novo (2004) en tres municipios de la región de estudio, como también empleado en el proyecto de monitoreo del bosque amazónico brasileiro por satélite (PRODES Digital) (Câmara *et al.*, 2013).

Las imágenes-fracción (sombra y suelo) segmentadas fueron clasificadas polígono a polígono, de manera que la llave de interpretación de las clases fue basada en el PRODES Digital y en el comportamiento espectral de los objetos. Las clases seleccionadas fueron: 1) bosque – todo tipo de formación forestal que no presenta interferencia antrópica; 2) área antropizada – comprende las interferencias en las formaciones forestales, relacionadas directamente con actividades humanas (ganadería, agricultura, mosaicos de ocupación, áreas deforestadas) y suelos expuestos, relacionados a llanuras aluviales y bancos de arena; 3) área inundada – cubre toda el agua del río Tocantins aguas arriba de la represa; 4) área no inundada – considera toda el agua del río Tocantins aguas abajo de la presa; 5) agua – engloba a los demás cuerpos de agua (ríos, lagos, charcas y pozos); 6) área urbana – comprende las manchas urbanas, y grandes emprendimientos de ingeniería como la represa de Tucuruí y aeropuertos; 7) nube y sombra de nube – sin información espectral de los objetos encubiertos.

Para la clasificación polígono a polígono de los segmentos de las imágenes-fracción suelo y sombra, fueron seleccionados y clasificados, según la respuesta espectral de los objetos en la composición colorida RGB de las bandas NIR, SWIR-1 y R, de los sensores TM-Landsat 5 y ETM+-Landsat 7. La clasificación fue realizada en escala 1: 30.000, a fin de distinguir el contorno de los segmentos que demarca cada clase. Los polígonos de la segmentación de la imagen-fracción sombra permitieron identificar bien las clases agua, nube (sombra) y área antropizada (agricultura). Los polígonos de la segmentación de la imagen-fracción suelo, permitieron identificar las manchas urbanas, y nubes, como también reconocer áreas antropizadas (pastos y suelos expuestos),

que no fueron discriminadas en la imagen-fracción sombra segmentada. Por último, se realizó la edición matricial de las áreas mal clasificadas, mediante clasificación visual en escala 1:30.000.

2.2 Métricas para Análisis Espacial del Paisaje

La estructura del paisaje de la región en análisis fue cuantificada utilizando el programa FRAGSTATS (McGarigal *et al.*, 2012), en el cual se determinaron métricas de clases y paisaje. De este modo, fueron consideradas algunas métricas usadas por Valente (2001), Ferraz & Vettorazzi (2003) y Vidolin *et al.* (2011), se calcularon las métricas de área de fragmentos (AREA), área de fragmentos por clases (CA), número de fragmentos por clases (NP), densidad de fragmentos por clases (PD) y tamaño medio de fragmentos por clases (MPS).

3 Resultados y Discusión

En este apartado se presentan los mapas temáticos de cobertura de la tierra y su proporción, en los siete municipios directamente afectados por la represa de Tucuruí, para los años 1999 y 2010 (Figuras 2 y 3). Los mapas temáticos propician información del modelo espacial de cobertura en la región, durante el periodo de ampliación de la central hidroeléctrica, hasta su conclusión e inauguración de las esclusas de Tucuruí. Del análisis de los mapas temáticos, se percata alteraciones en las áreas ocupadas por cada clase, información detallada en las Tablas 1, 2, 3 y 4.

Conforme los resultados del mapeo de la región de estudio, se constata que las áreas urbanas en 2010 experimentaron una expansión de 1,9 veces, y las áreas antropizadas de 1,5 veces, con relación al año 1999. De esta manera, la clase área urbana pasó

de 2.824 hectáreas (ha) (0,07%) a 5.266 ha (0,13%), y la clase antropizada pasó de 1.493.687 ha (37,48%) a 2.251.999 ha (56,50%), produciendo la reducción la cobertura forestal y predominio las áreas antropizadas en toda la región (Tabla 1). En el año 1999 aproximadamente la mitad de la región era cubierta por bosque (2.211.279 ha), mientras que en el año de 2010 esa cobertura disminuyó al 36,42% de todo el paisaje (1.451.470 ha). Nuevo Repartimento, Itupiranga, Goianésia de Pará y Breu Branco fueron los municipios con las mayores pérdidas de bosque.

El municipio de Novo Repartimento experimentó la mayor extensión de áreas deforestadas entre 1999 y 2010, las áreas deforestadas pasaron de 357.000 ha (23,23%) en 1999 a 745.814 ha (48,53%) en 2010. Para el año de 2010, las manchas urbanas se expandieron 4,2 veces, y sus áreas antropizadas fueron duplicadas en relación con el año 1999; pasando de 211 ha (0,01%) a 890 ha (0,06%) en áreas urbanas, y de 356.789 ha (23,22%) a 744.924 ha (48,47%) en áreas antropizadas (Tabla 1). Según el mapeo del año 2010, este municipio concentra la mayor parte del embalse de Tucuruí, correspondiendo al 42,10% del lago (7,15% del municipio). En la parte sur del municipio Novo Repartimento se encuentra una región de mínima interferencia forestal, que corresponde a parte de la reserva indígena Parakanãs (Figuras 2a y 2b). En cuanto que, toda la región localizada del lado oeste y suroeste del municipio experimentó alta pérdida de cobertura forestal.

En el municipio de Itupiranga se produjo la segunda mayor propagación de áreas deforestadas durante los once años de análisis, las áreas deforestadas pasaron de 315.914 ha (40,18%) en 1999 a 478.975 ha (60,91%) en 2010. Con respecto a las áreas urba-

CLASES	GLOBAL				NOVO REPARTIMENTO			
	Área [ha]		Part. Relt. [%]		Área [ha]		Part. Relt. [%]	
	1999	2010	1999	2010	1999	2010	1999	2010
Área inundada	264.227	262.637	6,63	6,59	110.578	109.874	7,20	7,15
Área no inundada	6.537	6.641	0,16	0,17	-	-	-	-
Agua	6.740	7.718	0,17	0,19	1.533	1.656	0,10	0,11
Bosque	2.211.279	1.451.470	55,48	36,42	1.067.255	679.458	69,45	44,21
Área antropizada	1.493.687	2.251.999	37,48	56,50	356.789	744.924	23,22	48,47
Área urbana	2.824	5.266	0,07	0,13	211	890	0,01	0,06
Nube	436	-	0,01	-	436	-	-	-

Figura 2 Mapas temáticos de cobertura de la tierra en los municipios de Nova Ipixuna, Itupiranga, Jacundá, Goianésia do Pará, Novo Repartimento, Breu Branco y Tucuruí, referente a los años de 1999 (a) y 2010 (b).

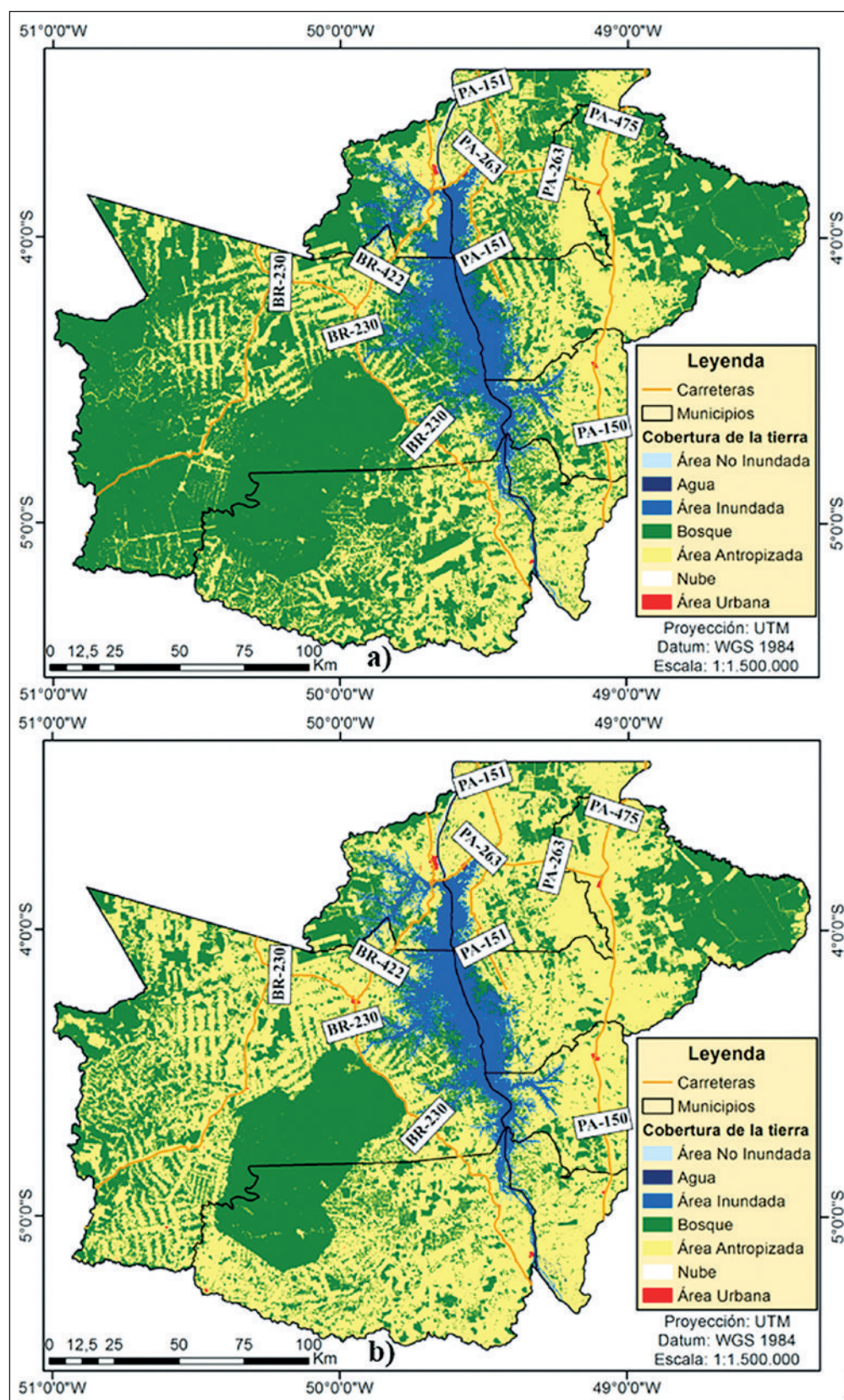


Figura 2 Mapas temáticos de cobertura de la tierra en los municipios de Nova Ipixuna, Itupiranga, Jacundá, Goianésia do Pará, Novo Repartimento, Breu Branco y Tucuruí, referente a los años de 1999 (a) y 2010 (b).

Análisis de la Cobertura de la Tierra en Torno de una Hidroeléctrica en la Amazonía Brasileña

Andrés Danilo Velástegui Montoya; Aline Maria Meiguins de Lima & Marcos Adami

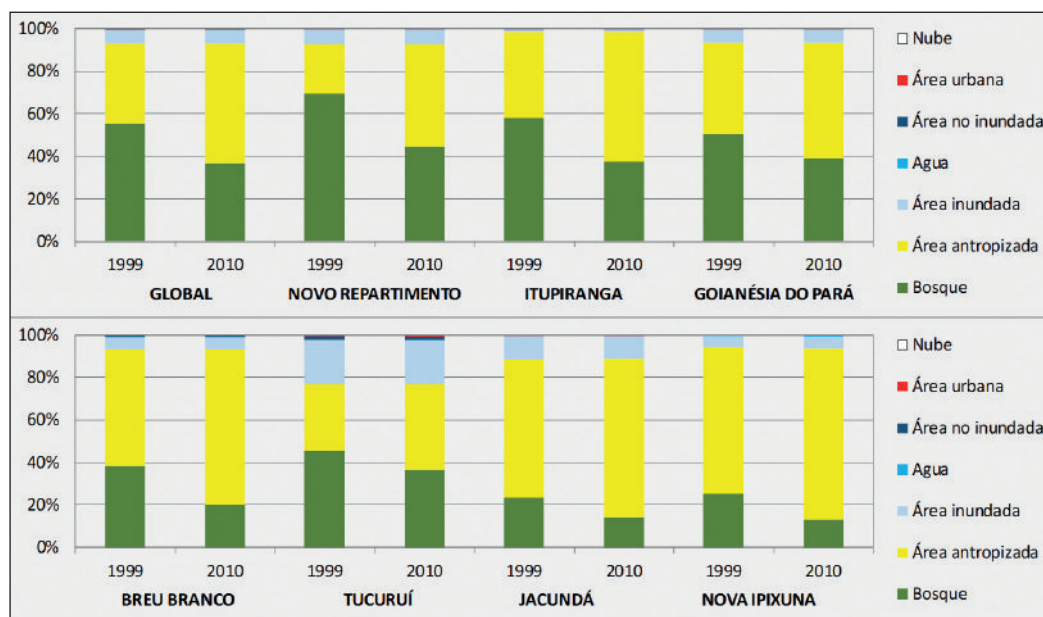


Figura 3 Proporción de las áreas de cobertura de la tierra en los años 1999 y 2010.

nas y antropizadas, estas se expandieron 1,91 y 1,52 veces respectivamente; pasando de 339 ha (0,04%) a 647 ha (0,08%) en áreas urbanas, y de 315.574 ha (40,13%) a 478.328 ha (60,83%) en áreas antropizadas (Tabla 2). Conforme al mapeo del año 2010, este municipio aloja 4,12% del lago de Tucuruí (1,37% del municipio), correspondiendo a la segunda menor área inundada por el embalse. En la parte noroeste del municipio se encuentra una región prácticamente sin afectación, que corresponde a parte de la reserva indígena Parakanãs (Figuras 2a y 2b).

Los municipios de Novo Repartimento e Itupiranga, localizados al margen izquierdo del lago de Tucuruí (Figura 1), revelaron contener las mayores expansiones de áreas antropizadas. En el año 1999, las áreas antropizadas siguen un patrón disperso a

los alrededores de la BR-230 (Transamazónica), BR-422 y caminos vecinales que conectan los pequeños poblados con la Transamazónica. Esta expansión demarcó las fronteras noroeste, norte, este y sur de la reserva indígena de los Parakanãs (Figura 2a). En los municipios de Itupiranga y Novo Repartimento se identificaron ocho y seis manchas urbanas respectivamente, ligadas mediante vías a las áreas urbanas próximas a la BR-230, donde las sedes de Itupiranga (200 ha) y de Novo Repartimento (141 ha) corresponden a las manchas urbanas de mayor tamaño.

Para el año 2010, las áreas antropizadas se expandieron a lo largo y a lo ancho de los dos municipios, este fenómeno, demarco perfectamente todas las fronteras de la reserva indígena de los Parakanãs (Figura 2b). El municipio de Novo Repartimen-

CLASES	ITUPIRANGA				GOIANÉSIA DO PARÁ			
	Área [ha]		Part. Relt. [%]		Área [ha]		Part. Relt. [%]	
	1999	2010	1999	2010	1999	2010	1999	2010
Área inundada	10.568	10.740	1,34	1,37	45.618	45.219	6,51	6,45
Área no inundada	-	-	-	-	-	-	-	-
Agua	1.000	1.054	0,13	0,13	1.867	2.084	0,27	0,30
Bosque	458.847	295.561	58,35	37,59	352.962	273.299	50,35	38,99
Área antropizada	315.574	478.328	40,13	60,83	300.264	379.844	42,83	54,19
Área urbana	339	647	0,04	0,08	267	532	0,04	0,08
Nube	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 2 Áreas (en hectáreas) y participación relativa de las clases de cobertura de la tierra, para los municipios de Itupiranga y Goianésia do Pará.

to presentó cinco nuevas manchas urbanas, donde la sede de Novo Repartimento continúa siendo la mayor área urbana (525 ha). En cuanto que, en Itupiranga surgieron tres nuevas manchas urbanas, donde su sede principal continúa como el área urbana de mayor tamaño (310 ha).

El municipio de Goianésia do Pará reveló experimentar la tercera mayor propagación de áreas deforestadas, pasando de 300.531 ha (42,9%) en 1999 a 380.376 ha (54,3%) en 2010. Conforme el mapeo del año 2010, el municipio concentra la segunda mayor parte del lago de Tucuruí, correspondiendo al 17,33% del embalse (6,45% del municipio) (Tabla 2). Este municipio presenta una región con reducida interferencia forestal durante los 11 años de análisis, localizada al este del municipio (Figuras 2a y 2b). En lo que concierne al municipio de Breu Branco, sus áreas deforestadas pasaron de 217.344 ha (55,29%) a 288.677 ha (73,43%), y contiene el 8,12% de la represa de Tucuruí (5,39% del municipio) (Tabla 3).

Los municipios de Goianésia do Pará y Breu Branco, situados al margen derecho y superior del embalse de Tucuruí (Figura 1), manifestaron ser el segundo grupo de municipios de mayores expansiones de áreas antropizadas. Para el año 1999, las áreas antropizadas están dispersas en torno al embalse, alrededor de las carreteras PA-263, PA-151, PA-150, PA-475 y caminos vecinales de la región (Figura 2a). En los municipios de Goianésia do Pará y Breu Branco se detectaron dos y cinco manchas urbanas respectivamente, donde cuatro de estas áreas están interconectadas por las carreteras PA-263, PA-475 y PA-150. La sede de Goianésia do Pará (236 ha) y la ciudad de Breu Branco (284 ha) corresponden a las áreas urbanas de mayor tamaño.

En el año 2010, las áreas antropizadas predominan en toda la región localizada entre el lago de Tucuruí y las carreteras PA-475 y PA-150, y de igual manera en los alrededores de estas carreteras en un radio de 12 km. En el municipio de Goianésia do Pará se detectó dos nuevas manchas urbanas, donde la sede Goianésia do Pará es la mayor área urbana (525 ha). En el municipio de Breu Branco, se identificaron cuatro nuevas manchas urbanas, y su ciudad principal continúa siendo la de mayor tamaño (460 ha).

Los municipios de Tucuruí, Jacundá y Nova Ipixuna presentaron los menores incrementos de áreas deforestadas en los once años de análisis, pasando de 66.274 ha (31,9%) a 85.545 (41,2%) en Tucuruí, de 129.863 ha (64,9%) a 149.613 ha (74,7%) en Jacundá y de 107.642 ha (69,1%) a 126.210 ha (81,0%) en Nova Ipixuna (Tablas 3 y 4). Según el mapeo del año 2010, el municipio de Tucuruí alberga la tercera mayor parte del lago, correspondiendo al 16,55% (20,79% del municipio). A su vez, el 8,57% del embalse (11,17% del municipio) es alojado por el municipio de Jacundá, y el 3,21% del lago (5,38% del municipio) es albergado por el municipio de Nova Ipixuna. De todos los municipios estudiados, Tucuruí fue el que presentó las mayores manchas urbanas, pasando de 1.079 ha (0,52%) en 1999 a 1.618 ha (0,78%) en 2010.

En los municipios de Jacundá y Nova Ipixuna, localizados al sureste del lago de Tucuruí, en el año 1999 las áreas antropizadas ya estaban dispersas por todo el territorio. Las únicas manchas urbanas de-

CLASES	BREU BRANCO				TUCURUÍ			
	Área [ha]		Part. Relt. [%]		Área [ha]		Part. Relt. [%]	
	1999	2010	1999	2010	1999	2010	1999	2010
Área inundada	21.311	21.196	5,42	5,39	43.305	43.189	20,85	20,79
Área no inundada	2.917	2.974	0,74	0,76	3.415	3.454	1,64	1,66
Agua	1.478	1.632	0,38	0,42	141	219	0,07	0,11
Bosque	150.070	78.639	38,17	20,00	94.608	75.335	45,54	36,26
Área antropizada	216.976	288.041	55,19	73,27	65.195	83.927	31,38	40,40
Área urbana	368	637	0,09	0,16	1.079	1.618	0,52	0,78
Nube	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 3 Áreas (en hectáreas) y participación relativa de las clases de cobertura de la tierra, para los municipios de Breu Branco y Tucuruí.

CLASES	JACUNDÁ				NOVA IPIXUNA			
	Área [ha]		Part. Relt. [%]		Área [ha]		Part. Relt. [%]	
	1999	2010	1999	2010	1999	2010	1999	2010
Área inundada	23.022	22.371	11,50	11,17	8.165	8.373	5,24	5,38
Área no inundada	-	-	-	-	-	-	-	-
Agua	64	83	0,03	0,04	655	990	0,42	0,64
Bosque	47.243	28.125	23,60	14,05	39.287	20.176	25,22	12,95
Área antropizada	129.415	148.874	64,65	74,37	107.532	126.006	69,04	80,90
Área urbana	449	739	0,22	0,37	110	204	0,07	0,13
Nube	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 4 Áreas (en hectáreas) y participación relativa de las clases de cobertura de la tierra, para los municipios de Jacundá y Nova Ipixuna.

tectadas fueron sus sedes principales, que mediante la carretera PA-150 que atraviesa de norte a sur los municipios, interconecta la sede de Nova Ipixuna (110 ha) con la ciudad de Jacundá (449 ha). En Tucuuruí, localizado al noroeste del embalse, presenta extensas áreas antropizadas, altamente concentradas alrededor de la central hidroeléctrica, como también en las regiones noreste, este y sureste del municipio (Figura 2a). Se detectaron cuatro manchas urbanas, donde dos de estas áreas están interconectadas por la carretera BR-422, que corresponden a la ciudad de Tucuuruí (789 ha) y el barrio Vila Permanente (236 ha), sector construido por la Eletronorte para alojar a sus obreros estables, personal de administración y jefaturas (Caramelo & Cidade, 2004; Rocha, 2008). Las otras dos manchas urbanas corresponden al aeropuerto y parte de la hidroeléctrica de Tucuuruí.

Para el año 2010, continuó la extensión de las áreas antropizadas en todo el territorio de los municipios de Jacundá y Nova Ipixuna, como también en la región central, noroeste, noreste, este y sureste del municipio de Tucuuruí (Figura 2b). En ninguno de los tres municipios se multiplicó el número de áreas urbanas, pero cuatro de estas áreas crecieron consi-

derablemente, siendo estas las ciudades de Tucuuruí (1.249 ha), de Jacundá (739 ha), la sede de Nova Ipixuna (204 ha) y el barrio Vila Permanente (296 ha). Al mismo tiempo, las ciudades de Tucuuruí y Jacundá representan las áreas urbanas de mayor tamaño en toda la región de estudio a lo largo de los once años de análisis.

De acuerdo con el IBGE (2000), en el año 2000 los municipios de Nova Ipixuna, Itupiranga, Jacundá, Goianésia do Pará, Novo Repartimento, Breu Branco y Tucuuruí tenían una población de 11.866, 49.655, 40.546, 22.685, 41.817, 32.446 y 73.798 habitantes respectivamente, y para el año 2010 la población paso para 14.645, 51.220, 51.360, 30.436, 62.050, 52.493 y 97.128 habitantes (IBGE, 2010). Durante los once años de análisis, se fortaleció la expansión de las áreas antropizadas en toda la región de estudio, relacionada a la consolidación del poblamiento como manifiesto del avance económico y tecnificación de la agroindustria en la región, de esta forma, el suelo no es más ocupado como reserva de valor, sino como uso productivo del mismo (Becker, 2005).

MUNICIPIOS	1999				2010			
	<1	1-5	5-50.000	>50.000	<1	1-5	5-50.000	>50.000
	ha	ha	ha	ha	ha	ha	ha	ha
Global	205	1.287	3.656	4	709	1.772	5.519	4
Novo Repartimento	58	362	941	1	155	684	1.973	3
Itupiranga	31	248	717	1	103	314	1.208	1
Goianésia do Pará	78	210	587	2	442	309	760	1
Breu Branco	34	155	511	0	35	225	672	0
Nova Ipixuna	18	156	357	0	12	103	356	0
Tucuuruí	17	82	254	0	12	80	321	0
Jacundá	21	95	363	0	12	87	307	0

Tabla 5 Número de fragmentos de bosque en los años 1999 y 2010.

A nivel regional, en el año de 1999 el 36,03% del paisaje era cubierto por cuatro fragmentos forestales de gran tamaño (> 50.000 ha), igualmente para el año de 2010 se identificaron los mismos fragmentos forestales, sin embargo, estos cubren solo el 17,01% del paisaje (Tabla 5 y Figura 4). Este resultado confirma la reducción de los bosques en toda la región de estudio, produciendo la fragmentación de grandes áreas de bosque, incremento del número de fragmentos, pero de menor tamaño, es decir, más fragmentos en pocas áreas de bosque.

En el año de 1999, los municipios de Novo Repartimento, Itupiranga y Goianésia do Pará son los únicos con fragmentos forestales de gran tamaño (> 50.000 ha), y engloban respectivamente el 54,69%, 40,59% y 33,39% del paisaje de los municipios (Figura 4). Al considerar todos los fragmentos forestales, la suma de todas estas áreas fue superior al 50% del paisaje de cada uno de los tres municipios. Para el año de 2010, estos municipios manifestaron una cobertura forestal inferior al 25% del paisaje de los municipios, mediante sus segmentos de bosque mayores a 50.000 ha. Los municipios de Novo Repartimento y Goianésia do Pará presentaron áreas de bosque adicionales mayores a 50.000 ha. No obstante, comprometieron la cobertura del paisaje municipal.

Para el año de 1999, la suma de todos los fragmentos forestales de los municipios de Breu Branco, Tucuruí, Nova Ipixuna y Jacundá, cubrían respectivamente el 38,17%, 45,54%, 25,22% y 23,60% del paisaje municipal (Figura 4). En cuanto al año 2010, la suma de todos los fragmentos forestales de estos municipios, cubrieron respectivamente el 20,00%, 36,26%, 12,95% y 14,05% del paisaje de los municipios. Esto confirma la acentuada deforestación provocada en estos cuatro municipios, especialmente en los municipios de Jacundá y Nova Ipixuna que para el 2010 sus áreas forestales ya eran inferiores al 15% del paisaje. Este efecto puede estar asociado a la proximidad y conectividad con la dinámica ciudad de Marabá, por la carretera PA-150 (Rocha, 2008).

De toda la región de estudio en el año de 1999, Novo Repartimento fue el municipio que englobó el mayor número de fragmentos de bosque, seguido por los municipios de Itupiranga, Goianésia do Pará, Breu Branco, Nova Ipixuna, Jacundá y Tucuruí (Tabla 6). Sin embargo, cinco municipios exhiben fragmentos forestales adicionales para el año 2010, como es el caso de Novo Repartimento, Itupiranga, Goianésia do Pará, Breu Branco y Tucuruí (Tabla 6). Este fenómeno corrobora la fragmentación forestal en la región, convirtiendo las grandes áreas de bosque, en numerosos segmentos forestales de tamaño inferior.

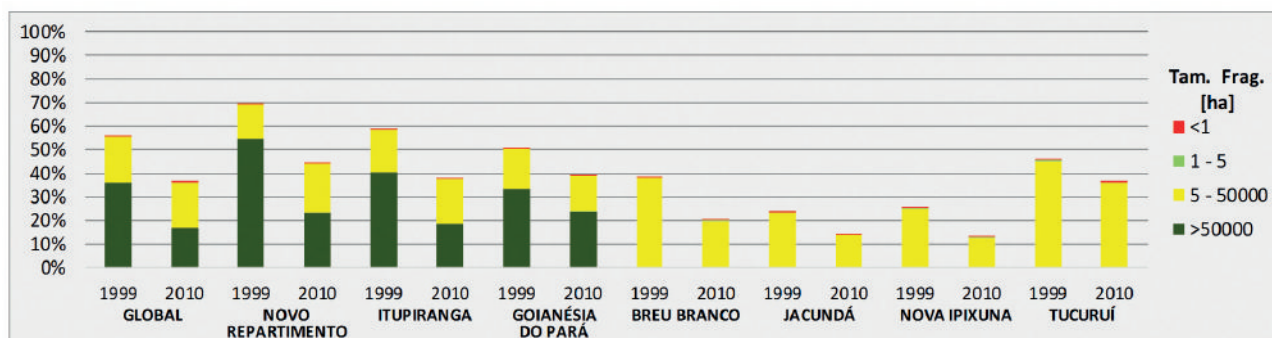


Figura 4 Tasas de cobertura de la tierra por fragmentos de bosque en los años 1999 y 2010.

MUNICIPIOS	1999			2010		
	NP [unid.]	PD [frag./100ha]	MPS [ha]	NP [unid.]	PD [frag./100ha]	MPS [ha]
Global	5.152	0,13	429,21	8.004	0,20	181,34
Nova Ipixuna	531	0,34	73,99	471	0,30	42,84
Jacundá	479	0,24	98,63	406	0,20	69,27
Breu Branco	700	0,18	214,39	932	0,24	84,38
Tucuruí	353	0,17	268,01	413	0,20	182,41
Goianésia do Pará	877	0,13	402,47	1.512	0,22	180,75
Itupiranga	997	0,13	460,23	1.626	0,21	181,77
Novo Repartimento	1.362	0,09	783,59	2.815	0,18	241,37

Tabla 6 Número (NP), densidad (PD) y tamaño medio (MPS) de fragmentos forestales en los años 1999 y 2010.

Los municipios de Novo Repartimento, Itupiranga, Goianésia do Pará experimentaron la mayor proliferación de reducidos fragmentos de bosque durante los once años de estudio. La fragmentación forestal, incluso, puede extinguir segmentos de bosque, como aconteció en Nova Ipixuna y Jacundá, que para el año 2010 se redujo el número de fragmentos de bosque en estos municipios (Tabla 6).

Para McGarigal & Marks (1995), los paisajes con mayor fragmentación son los de menor tamaño medio de fragmento forestal, puesto que relaciona el número de fragmentos y el área ocupada de todo el bosque, considerándose como buen indicador del nivel de fragmentación. Según Valente (2001), es posible comprender mejor diferentes aspectos del paisaje, si el tamaño medio de fragmento es analizado en conjunto con la densidad de los fragmentos. Los resultados de la tabla 6 revelan la fragmentación en toda la región de estudio, evidenciado por el aumento de la densidad (PD = 0,34 frag./100ha en 1999 y 0,30 frag./100ha en 2010), y disminución de los tamaños medios (MPS = 73,99 ha en 1999 y 42,84 ha en 2010) de fragmentos forestales.

A nivel de municipios, es posible representar el grado de fragmentación forestal mediante la información de la tabla 6. Los municipios con el menor tamaño medio de fragmentos son los que presentaron la mayor densidad de fragmentos forestales, por lo tanto, más fragmentados. De esta manera, es posible organizar los municipios por su nivel de fragmentación. Para el año de 1999, de mayor a menor fragmentación tenemos a los municipios de: Nova Ipixuna, Jacundá, Breu Branco, Tucuruí, Goianésia do Pará, Itupiranga y Novo Repartimento. Así como para el año 2010, de mayor a menor fragmentación tenemos a los municipios de: Nova Ipixuna, Jacundá, Breu Branco, Goianésia do Pará, Itupiranga, Tucuruí y Novo Repartimento. El municipio de Goianésia do Pará en el año 2010, ingresó en el grupo de municipios con mayor fragmentación forestal, inclusive superando a Tucuruí.

Se sabe que un bosque dividido en pequeños fragmentos causa diversos efectos, altera el tamaño y dinámica de las poblaciones, las interacciones tróficas y los procesos ecosistémicos, a medida que

los fragmentos aislados se degradan (Laurance *et al.*, 2002; Laurance & Vasconcelos, 2009). En los once años de análisis, la región de estudio experimentó una alta fragmentación de sus bosques, produjo gran cantidad de pequeños fragmentos, incentivando a la reducción de la población de especies alojadas en el interior de cada fragmento forestal, dado que los efectos de pérdida de hábitat y tamaño de fragmento actúan en conjunto.

4 Conclusión

El mapeo de la cobertura de la tierra reveló modificaciones en el modelo espacial de la cobertura forestal alrededor del lago de Tucuruí, entre el periodo inicial de la segunda fase de construcción y finalización completa del megaproyecto hidroeléctrico de Tucuruí. La tasa de deforestación para toda la región fue de 69.074 ha/año, en cambio las tasas de deforestación para cada municipio fueron de 35.347 ha/año en Novo Repartimento, 14.824 ha/año en Itupiranga, 7.259 ha/año en Goianésia do Pará, 6.485 ha/año en Breu Branco, 1.752 ha/año en Tucuruí, 1.795 ha/año en Jacundá y 1.688 ha/año en Nova Ipixuna. Conviene destacar que la deforestación en los municipios no fue proporcional al porcentaje ocupado por el lago de Tucuruí en cada uno de ellos, a excepción de Novo Repartimento, que es el municipio que alberga la mayor parte del lago de Tucuruí, mayor expansión de áreas deforestadas y segunda mayor tasa de crecimiento poblacional; acontecimientos posiblemente vinculados a las actividades relacionadas al uso del agua, como extensión de áreas irrigables para actividades de agronegocio, pesca, entre otras.

El análisis de los niveles de fragmentación forestal del paisaje colocó a Nova Ipixuna, Jacundá y Breu Branco, como los municipios de mayor grado de fragmentación durante todo el periodo de estudio. Para el año 1999, estos tres municipios ya tenían entre el 55% a 69% de sus áreas deforestadas, y para el año 2010, sus áreas desforestadas pasaron a ocupar entre el 74% a 81% de sus territorios. Todos estos municipios altamente fragmentados coinciden en estar localizados al margen derecho del embalse de Tucuruí, región atravesada por las carreteras PA-150 y PA-263, vías por las cuales se interconectan las ciudades de Tucuruí y Marabá, los mayores cen-

tros urbanos del Sureste Paraense. En este sentido, el alto grado de fragmentación está asociado a las carreteras y caminos vecinales creados en la región, lo que permite la conectividad entre las manchas urbanas presentes en los municipios. Eso facilita el acceso a nuevas áreas y conversión de bosques en extensas áreas destinadas a la agricultura y pecuaria, actividades de agronegocio fomentadas alrededor de estas vías de acceso.

5 Referencias

- ANA – Agência Nacional de Águas. 2009. *Plano estratégico de recursos hídricos da bacia hidrográfica dos rios Tocantins e Araguaia: Relatório síntese*. Brasília, ANA/SPR, 256p.
- Becker, B.K. 2005. Geopolítica da Amazônia. *Estudos Avançados*, 19(53): 71-86.
- Blanco, C.J.C.; Secretan, Y. & Mesquita A.L.A. 2008. Decision support system for micro-hydro power plants in the Amazon region under a sustainable development perspective. *Energy for Sustainable Development*, 12(3): 25-33.
- Câmara, G.; Valeriano, D. & Vianei, J. 2013. *Metodologia para o Cálculo da Taxa Anual de Desmatamento na Amazônia Legal – Projeto PRODES*. São Jose dos Campos, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 37p.
- Caramelo, S.U.J. & Cidade, L.C.F. 2004. Gestão do território e conflitos ambientais na represa de Tucuruí na Amazônia brasileira. *POLÍGONOS. Revista de Geografia*, 14: 53-77.
- Chen, G.; Powers, R.P.; Carvalho, L.M.T. & Mora, B. 2015. Spatiotemporal patterns of tropical deforestation and forest degradation in response to the operation of the Tucuruí hydroelectric dam in the Amazon basin. *Applied Geography*, 63: 1-8.
- Coelho, M.C.N.; Miranda, E.; Wanderley L.J. & Garcia, T.C. 2010. Questão energética na Amazônia: disputa em torno de um novo padrão de desenvolvimento econômico e social. *Novos Cadernos NAEA*, 13(2): 83-102.
- Eletronorte – Centrais Elétricas do Norte do Brasil. 2010. *Eclusas de Tucuruí*. Obtenido de: <http://www.eln.gov.br/opencms/opencms/pilares/geracao/estados/tucuruí/eclusas/relatfotos.html>. Acceso: 22 nov. 2017.
- Fearnside, P.M. 1999. Social Impacts of Brazil's Tucuruí Dam. *Environmental Management*, 24(4): 483-495.
- Fearnside, P.M. 2001. Environmental Impacts of Brazil's Tucuruí Dam: Unlearned Lessons for Hydroelectric Development in Amazonia. *Environmental Management*, 27(3): 377-396.
- Fearnside, P.M. 2002. Greenhouse Gas Emissions from a Hydroelectric Reservoir (Brazil's Tucuruí Dam) and The Energy Policy Implications. *Water, Air, and Soil Pollution*, 133(1-4): 69-96.
- Fearnside, P.M. 2014. *Análisis de los principales proyectos hidro-energéticos en la región amazónica*. Lima, DAR/CLAES, 55p.
- Fearnside, P.M. 2016. Environmental and Social Impacts of Hydroelectric Dams in Brazilian Amazonia: Implications for the Aluminum Industry. *World Development*, 77: 48-65.
- Ferraz, S.F.B. & Vettorazzi, C.A. 2003. Identificação de áreas para recomposição florestal com base em princípios de ecologia de paisagem. *Revista Árvore*, 27(4): 575-583.
- Ferreira, L.V.; Cunha, D.A.; Chaves, P.P.; Matos, D.C.L. & Parolin, P. 2013. Impacts of hydroelectric dams on alluvial riparian plant communities in eastern Brazilian Amazonian. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 85(3): 1013-1023.
- Finer, M. & Jenkins, C.N. 2012. Proliferation of Hydroelectric Dams in the Andean Amazon and Implications for Andes-Amazon Connectivity. *PLoS ONE*, 7(4): e35126.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2000. *Censo demográfico: 2000*. Obtenido de: <https://www.ibge.gov.br>. Acceso: 15 nov. 2017.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2010. *Censo demográfico: 2010*. Obtenido de: <https://www.ibge.gov.br>. Acceso: 15 nov. 2017.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2015. *Malhas digitais: 2015*. Obtenido de: <https://mapas.ibge.gov.br>. Acceso: 30 mar. 2016.
- Junk, W.J. & Mello J.A.S.N. 1990. Impactos ecológicos das represas hidrelétricas na bacia amazônica brasileira. *Estudos Avançados*, 4(8): 126-143.
- La Rovere, E.L. & Mendes, F.E. 2000. *Tucuruí Hydropower Complex, Brazil*. Cape Town, World Commission on Dams, 195p.
- Laurance, W.F.; Lovejoy, T.E.; Vasconcelos, H.L.; Bruna, E.M.; Didham, R.K.; Stouffer, P.C.; Gascon, C.; Bierregaard, R.O.; Laurance, S.G. & Sampaio, E. 2002. Ecosystem Decay of Amazonian Forest Fragments: a 22-Year Investigation. *Conservation Biology*, 16(3): 605-618.
- Laurance, W.F. & Vasconcelos, H.L. 2009. Consequências ecológicas da fragmentação florestal na Amazônia. *Oecologia Brasiliensis*, 13(3): 434-451.
- Manyari, W.V. & Carvalho Jr, O.A. 2007. Environmental considerations in energy planning for the Amazon region: Downstream effects of dams. *Energy Policy*, 35(12): 6526-6534.
- McGarigal, K. & Marks, B.J. 1995. *FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Quantifying Landscape Structure*. Portland, Department of Agriculture/Forest Service/Pacific Northwest Research Station, 122p.
- McGarigal, K.; Cushman, S.A. & Ene, E. 2012. *FRAGSTATS v4: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical and Continuous Maps*. Amherst, University of Massachusetts. Obtenido de: <http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>.
- MPDG – Ministério do Planejamento, Desenvolvimento e Gestão. 2012. *11º Balanço Completo do PAC - 4 anos (2007 a 2010)*. Brasília, MPDG, 236p.
- PostgreSQL. 2012. *PostgreSQL version 9.4 for Windows*. Open Source Object-Relational Database System. Obtenido de: <https://www.postgresql.org>.
- Pottmaier, D.; Melo, C.R.; Sartor, M.N.; Kuester, S.; Amadio, T.M.; Fernandes, C.A.H.; Marinha, D. & Alarcon, O.E. 2013. The Brazilian energy matrix: From a materials science and engineering perspective. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 19: 678-691.
- Rocha, G.M. 2008. *Todos convergem para o lago!: Hidrelétrica Tucuruí, municípios e territórios na Amazônia*. Belém,

- Universidade Federal do Pará, 238p.
- Shimabukuro, Y.E.; Mello, E.M.K.; Moreira, J.C. & Duarte, V. 1997. *Segmentação e classificação da imagem sombra do modelo de mistura para mapear desflorestamento na Amazônia*. São Jose dos Campos, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 16p.
- Silva, J.B. 2001. A indústria do alumínio e a crise de energia. *Rem: Revista Escola de Minas*, 54(2): 95-96.
- Souza, A.C.C. 2008. Assessment and statistics of Brazilian hydroelectric power plants: Dam areas versus installed and firm power. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12(7): 1843-1863.
- Sperling, E.V. 2012. Hydropower in Brazil: Overview of Positive and Negative Environmental Aspects. *Energy Procedia*, 18: 110-118.
- TerraAmazon. 2016. *TerraAmazon version 4.6.2 for Windows*. São Jose dos Campos, INPE/FUNCATE. Obtenido de: <http://terraamazon.org/index.php>.
- USGS – United States Geological Survey. 1999a. Imagen Landsat 5 TM bandas 3, 4 e 5. Path/Row 223/62 de 05 de julio de 1999.
- USGS – United States Geological Survey. 1999b. Imagen Landsat 7 ETM+ bandas 3, 4 e 5. Path/Row 223/63 de 13 de julio de 1999.
- USGS – United States Geological Survey. 1999c. Imagen Landsat 5 TM bandas 3, 4 e 5. Path/Row 223/64 de 21 de julio de 1999.
- USGS – United States Geological Survey. 1999d. Imagen Landsat 5 TM bandas 3, 4 e 5. Path/Row 224/62 de 28 de julio de 1999.
- USGS – United States Geological Survey. 1999e. Imagen Landsat 7 ETM+ bandas 3, 4 e 5. Path/Row 224/63 de 05 de agosto de 1999.
- USGS – United States Geological Survey. 1999f. Imagen Landsat 5 TM bandas 3, 4 e 5. Path/Row 224/64 de 28 de julio de 1999.
- USGS – United States Geological Survey. 1999g. Imagen Landsat 5 TM bandas 3, 4 e 5. Path/Row 225/63 de 04 de agosto de 1999.
- USGS – United States Geological Survey. 1999h. Imagen Landsat 7 ETM+ bandas 3, 4 e 5. Path/Row 223/63 de 29 de julio de 1999.
- USGS – United States Geological Survey. 1999i. Imagen Landsat 5 TM bandas 3, 4 e 5. Path/Row 224/63 de 12 de julio de 1999.
- USGS – United States Geological Survey. 2009a. Imagen Landsat 5 TM bandas 3, 4 e 5. Path/Row 223/62 de 17 de agosto de 2009.
- USGS – United States Geological Survey. 2009b. Imagen Landsat 5 TM bandas 3, 4 e 5. Path/Row 223/64 de 01 de agosto de 2009.
- USGS – United States Geological Survey. 2009c. Imagen Landsat 5 TM bandas 3, 4 e 5. Path/Row 224/63 de 21 de junio de 2009.
- USGS – United States Geological Survey. 2009d. Imagen Landsat 5 TM bandas 3, 4 e 5. Path/Row 224/64 de 08 de agosto de 2009.
- USGS – United States Geological Survey. 2010a. Imagen Landsat 5 TM bandas 3, 4 e 5. Path/Row 223/62 de 03 de julio de 2010.
- USGS – United States Geological Survey. 2010b. Imagen Landsat 5 TM bandas 3, 4 e 5. Path/Row 223/63 de 05 de septiembre de 2010.
- USGS – United States Geological Survey. 2010c. Imagen Landsat 5 TM bandas 3, 4 e 5. Path/Row 223/64 de 03 de julio de 2010.
- USGS – United States Geological Survey. 2010d. Imagen Landsat 5 TM bandas 3, 4 e 5. Path/Row 224/62 de 26 de julio de 2010.
- USGS – United States Geological Survey. 2010e. Imagen Landsat 5 TM bandas 3, 4 e 5. Path/Row 224/63 de 26 de julio de 2010.
- USGS – United States Geological Survey. 2010f. Imagen Landsat 5 TM bandas 3, 4 e 5. Path/Row 224/64 de 26 de julio de 2010.
- USGS – United States Geological Survey. 2010g. Imagen Landsat 5 TM bandas 3, 4 e 5. Path/Row 225/63 de 15 de junio de 2010.
- USGS – United States Geological Survey. 2010h. Imagen Landsat 5 TM bandas 3, 4 e 5. Path/Row 223/63 de 16 de mayo de 2010.
- USGS – United States Geological Survey. 2017a. *Landsat processing details*. Obtenido de: <https://landsat.usgs.gov/landsat-processing-details>. Acceso: 25 ago. 2017.
- USGS – United States Geological Survey. 2017b. *Landsat missions timeline*. Obtenido de: <https://landsat.usgs.gov/landsat-missions-timeline>. Acceso: 25 ago. 2017.
- Valente, R.O.A. 2001. *Análise da estrutura da paisagem na bacia do Rio Corumbataí, SP*. Programa de Pós-graduação em Recursos Florestais, Universidade de São Paulo, Dissertação de Mestrado, 144p.
- Vasconcelos, C.H. & Novo, E.M.L.M. 2004. Mapeamento do uso e cobertura da terra a partir da segmentação e classificação de imagens - fração solo, sombra e vegetação derivadas do modelo linear de mistura aplicado a dados do sensor TM/Landsat5, na região do reservatório de Tucuruí - PA. *Acta Amazônica*, 34(3): 487-493.
- Vidolin, G.P.; Biondi, D. & Wandembruck, A. 2011. Análise da estrutura da paisagem de um remanescente de floresta com Araucária, Paraná, Brasil. *Revista Árvore*, 35(3): 515-525.