

**ANÁLISE DO USO DA TERRA EM UMA SECÇÃO ÀS MARGENS
DO RIO TOCANTINS AUXILIADA POR ÍNDICE DE
VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA – NDVI**

**LAND USE ANALYSIS IN A SECTION OF TOCANTINS'S RIVER
MARGINAL STRIP SUPPORTED BY NORMALIZED DIFFERENCE
VEGETATION INDEX (NDVI)**

**ANÁLISIS DEL USO DE LA TIERRA EN UNA SECCIÓN LOS MARGENES
DEL RÍO TOCANTINS AUXILIADOS POR ÍNDICE DE VEGETACIÓN POR
DIFERENCIA NORMALIZADA – NDVI**

Rodrigo Lima Santos

Doutorando e Mestre em Geografia pela Universidade Federal de Goiás – UFG. Bolsista CAPES.
rlimasantos3@gmail.com / <http://orcid.org/0000-0002-6424-6582>

Fabrizia Gioppo Nunes

Doutora e Mestra em Geologia pela Universidade Federal do Paraná – UFPR. Professora da
Universidade Federal de Goiás – IESA/UFG.
fabrizia.iesa.ufg@gmail.com / <http://orcid.org/0000-0001-6159-4701>

Recebido para avaliação em 02/09/2018; Aceito para publicação em 06/11/2018.

RESUMO

O mapeamento de uso e cobertura da terra é um instrumento indispensável para uma boa gestão do ambiente em geral, podendo obedecer diferentes recortes espaciais. A adoção de alternativas para aperfeiçoar esse produto, tais como a leitura de dados anuais de Índices de Vegetação torna-o mais efetivo e capaz de oferecer respostas a determinadas questões. Nesta perspectiva, o presente estudo tem como objetivo o mapeamento e reconhecimento de áreas degradadas e de áreas preservadas, em uma seção delimitada as margens do Rio Tocantins, auxiliados por séries temporais de *NDVI*. A metodologia incluiu o mapeamento de uso e cobertura da terra no ano de 2015; delimitação da Área de Proteção Ambiental (APP) e; a utilização de séries anuais de *NDVI*, disponibilizadas pela plataforma *online* do *Google Earth Engine*. A ferramenta de *NDVI* é apresentada como uma alternativa a avaliação da conversão de coberturas naturais para diferentes tipologias de uso da terra. Como exemplos, são retratados três pontos de conversões de uso: solo exposto para vegetação regenerada; vegetação natural para tanques de pisciculturas e; solo exposto intercalado à vegetação rasteira para área urbanizada. Os resultados apontam que a APP analisada se encontra em estado de alerta, uma vez que sua conversão em áreas degradadas ultrapassa cerca de 50%, e a ferramenta de *NDVI* foi essencial para determinar quando ocorreram essas modificações em distintas classes de uso.

Palavras-chave: Uso da Terra; Séries Temporais; Rio Tocantins; Imperatriz-MA.

ABSTRACT

The mapping of land use and land cover is an indispensable tool for good management of the environment in general, and can obey different spatial cutouts. Adopting alternatives to improve this product, such as reading annual Vegetation Index data makes it more effective and able to provide answers to certain questions. In this perspective, the present study aims to map and recognize degraded areas and preserved areas, in a section delimited the banks of the Tocantins

River, aided by NDVI time series. The methodology included land use and land cover mapping in 2015; delimitation of the Environmental Protection Area (APP) and; use of annual NDVI series made available through the Google Earth Engine online platform. The NDVI tool is presented as an alternative to evaluate the conversion of natural coverages for different land use typologies. As examples, three points of use conversions are depicted: exposed soil for regenerated vegetation; natural vegetation for fish ponds and; exposed soil interspersed with undergrowth to urbanized area. The results indicate that the analyzed APP is in a state of alert, since its conversion to degraded areas exceeds about 50%, and the NDVI tool was essential to determine when these changes occurred in different classes of use.

Keywords: Land Use; Time Series; Tocantins River; Imperatriz-MA.

RESUMEN

El mapeo del uso de la tierra y la cobertura de la tierra es una herramienta indispensable para la buena gestión del medio ambiente en general, y puede obedecer a diferentes recortes espaciales. Adoptar alternativas para mejorar este producto, como leer los datos anuales del Índice de Vegetación, lo hace más efectivo y capaz de proporcionar respuestas a ciertas preguntas. En esta perspectiva, este estudio apunta a mapear y reconocer áreas degradadas y áreas preservadas, en una sección delimitada a orillas del río Tocantins, ayudado por series de tiempo NDVI. La metodología incluyó el uso del suelo y el mapeo de la cobertura del suelo en 2015; delimitación del Área de Protección Ambiental (APP) y; uso de la serie anual NDVI disponible a través de la plataforma en línea Google Earth Engine. La herramienta NDVI se presenta como una alternativa para evaluar la conversión de coberturas naturales para diferentes tipologías de uso de la tierra. Como ejemplos, se representan tres conversiones de puntos de uso: suelo expuesto para vegetación regenerada; vegetación natural para estanques de peces y; suelo expuesto intercalado con maleza en el área urbanizada. Los resultados indican que la aplicación analizada se encuentra en estado de alerta, ya que su conversión a áreas degradadas supera aproximadamente el 50%, y la herramienta NDVI fue esencial para determinar cuándo ocurrieron estos cambios en diferentes clases de uso.

Palabras clave: Uso de la Tierra; Series Temporales; Río Tocantins; Imperatriz-MA.

INTRODUÇÃO

O mapa de uso e cobertura da terra é um importante instrumento para avaliação, detecção e monitoramento das mudanças na paisagem ao longo do tempo. Tão importante quanto mapear essas conversões é saber quando ocorreram. Isso constitui uma grande dificuldade, visto que a apropriação do espaço pelas atividades antrópicas é dinâmica. Geralmente, acontece com uma frequência elevada e nem sempre pode ser registrada pelos diferentes tipos de sensores orbitais ou mesmo percebidas pelos recortes temporais adotados.

Neste desígnio, um instrumento bastante utilizado e que vem auxiliando a entender a dinâmica de uso e cobertura da terra são os mapeamentos multitemporais (IBGE, 2013). Tais mapas são capazes de relevarem mudanças na paisagem de acordo com intervalos previamente definidos pelo pesquisador. O problema, no entanto, é que estes intervalos por melhor delimitados que sejam, ainda sim, estão subordinados a datas e períodos estáticos. De acordo com Santos (2004), como solução, muitos pesquisadores têm adotado

vários intervalos para fazer a leitura temporal do processo, identificando avanços e recuos de determinados usos, sobre outros.

No entanto, esta é uma leitura que se faz a partir do acompanhamento de momentos interrompidos e distintos, que não são reveladores da completa e complexa dinâmica das mudanças. Deixa de fora da análise, por exemplo, os intervalos entre os anos considerados no mapeamento, que por vez pode ser de cinco, oito ou dez anos, conforme a escolha metodológica empregada na pesquisa.

Uma alternativa para suprir essa carência seria considerar séries temporais de Índice de Vegetação por Diferença Normalizada – NDVI. Tal índice foi proposto por Rouse et al. (1973) e pode servir, como sustentáculo ao entendimento das conversões de uso da terra. No entanto, o *NDVI* quando considerado isoladamente cai na mesma armadilha dos mapeamentos multitemporais de cobertura da terra.

Buscando apresentar uma alternativa para esta problemática, o presente trabalho tem como objetivo o mapeamento e reconhecimento de áreas degradadas e de áreas preservadas, em uma secção delimitada as margens do Rio Tocantins, auxiliados por séries anuais de *NDVI*. Desta forma, a partir da seleção de pontos amostrais, de pixels representativos das principais tipologias diagnosticadas, procurou identificar pelos valores do *NDVI* os momentos que ocorreram as conversões de uso na paisagem.

Para atender a essa proposta, teve-se como base o reconhecimento do uso do solo, em um trecho de 29 km de APP do Rio Tocantins, localizado entre os municípios de Imperatriz do Maranhão e São Miguel do Tocantins. Assim, mais especificamente, as indagações que permearam esta análise foram: (1) Qual é a situação ambiental atual da Área de Preservação Permanente do Rio Tocantins, no trecho considerado? (2) Quais tipos de coberturas da terra são predominantes? e (3) Se a ferramenta *online* de *NDVI*, apresenta-se como uma alternativa na compreensão dos momentos de conversão de uso da terra?

Dentre os componentes de uma paisagem natural, a cobertura vegetal é sem dúvida o elemento mais abundante, e obedece diferentes padrões de acordo com a fitofisionomia considerada, no caso da microrregião oeste-maranhense, um padrão arbóreo de transição entre áreas de Cerradão e Floresta Amazônica (AB'SÁBER, 2003). Neste cenário, o momento da supressão vegetal, torna-se o indicativo mais adequado para avaliar quando ocorrem determinadas transformações na paisagem.

No caso das APPs de cursos d'água, estas desempenham um papel fundamental para o equilíbrio ambiental, destes ecossistemas de alta fragilidade. São consideradas como ambientes territoriais especialmente protegidos por lei, conforme previsto no Código Florestal Brasileiro, Lei Federal 12.651 de 25 de maio 2012. O caráter protecionista

atribuído a esses espaços é devido as múltiplas funções socioambientais que as APPs desempenham. Essas são dotadas pela função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, o fluxo genético de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações (BRASIL, 2012). Deste modo, a partir dos dados gerados, procurou-se avaliar neste artigo as condições de preservação da cobertura vegetal natural em uma área especialmente protegida por lei.

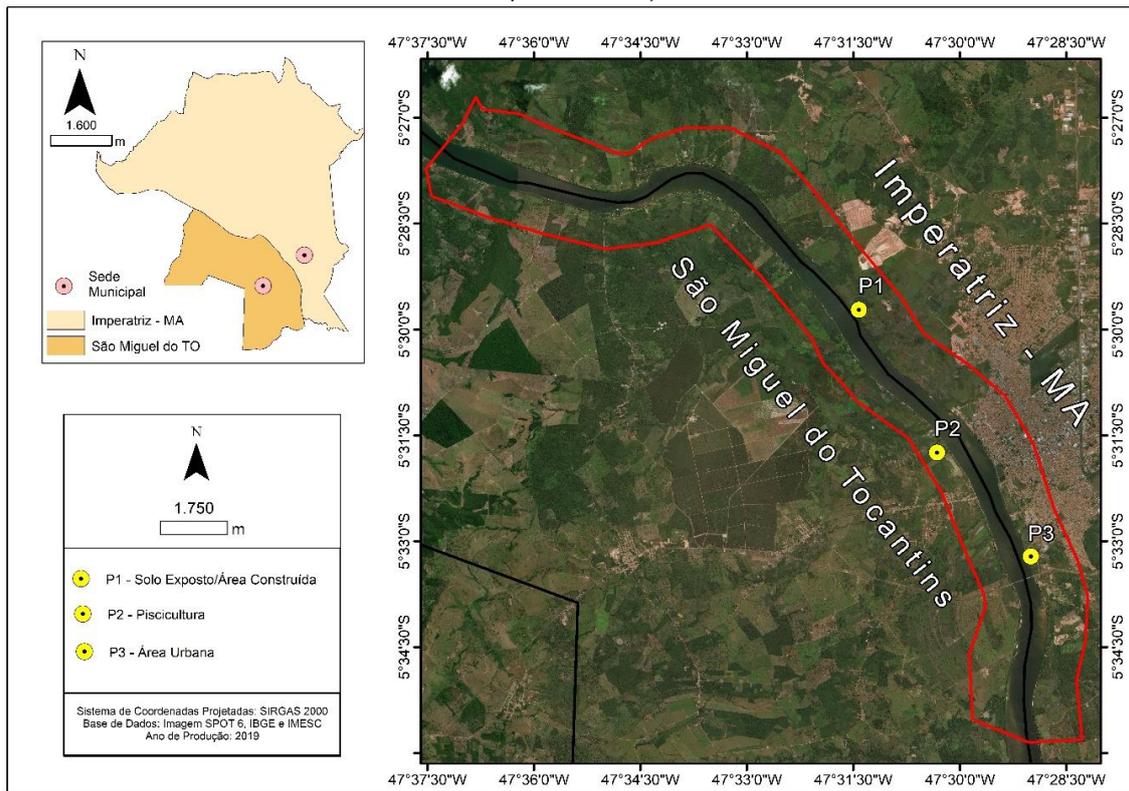
ÁREA DE ESTUDO

O recorte espacial constitui-se nas margens esquerda e direita do Rio Tocantins, no trecho compreendido entre a divisa do perímetro urbano do município de Imperatriz – MA, com o povoado de Bela Vista, pertencente ao município de São Miguel do Tocantins – TO (Figura 1).

Os municípios de São Miguel do Tocantins e de Imperatriz do Maranhão são marcados por diferentes frentes de ocupação conectadas às margens do Rio Tocantins, que no contexto histórico, apropriaram-se de modos diferenciados da Área de Preservação Permanente deste curso de água. Hoje, a região é caracterizada por interferências antrópicas, derivadas das especificidades de suas atividades econômicas. Segundo Sousa (2015), Imperatriz é uma cidade marcada pela hegemonia dos serviços urbanos, muitas vezes prestados a municípios vizinhos. Enquanto São Miguel do Tocantins tem na sua base econômica em atividades ligadas ao meio rural.

Imperatriz do Maranhão, é a segunda maior cidade do Estado, originou-se às margens do Rio Tocantins em 1852, sendo elevada à categoria de cidade apenas em 22/04/1924 pela Lei estadual nº. 1.179. Hoje, segundo a estimativa do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE para o ano 2018, possui 258.016 habitantes, uma extensão territorial de 1.368 km² e uma densidade demográfica, de 188,6 hab./km². Sua renda per capita, calculada no último censo demográfico, era de 613,87 reais, para o ano de 2010 e IDHM de 0,731 no mesmo ano.

Figura 1 – Localização da área de estudo, margem esquerda (São Miguel do Tocantins - TO) e direita Imperatriz - MA).



Fonte: elaborado pelos autores (2017).

O município de São Miguel do Tocantins – TO foi instituído em 1991 pelo Decreto-Lei nº 251, de 20/02/1991. Muito embora sua ocupação tenha começado a partir de 1940, possui de acordo com estimativa do IBGE para o ano 2019 um total de 11.967 habitantes, uma extensão territorial de 398.820 km² e uma densidade demográfica de 33,3 hab./km². Sua renda per capita era de 298,31 reais no ano de 2010 e IDHM de 0,623 no mesmo ano. Embora os dados apresentados sejam referentes aos municípios em sua totalidade, e a área delimitada seja um recorte de extensão de 1 km, para cada margem, os mesmo se revelam importantes para frisar a conjuntura e o perfil socioeconômico destes municípios.

PRESSUPOSTOS SOBRE MAPEAMENTO DE USO E COBERTURA DA TERRA E ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA – NDVI

No campo institucional brasileiro, pode-se citar o papel do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, em particular no desenvolvimento dos manuais técnicos de uso da terra. Keller (1969) ao discutir a primeira proposta de mapeamento da utilização da terra na escala 1:250.000, a ser adotada pelo Instituto Brasileiro de Geografia (IBG), atual

IBGE, propôs que deveria ser seguida as diretrizes da Comissão de Utilização da Terra da União Geográfica Internacional, com algumas adaptações.

Neste sentido, a autora *op. cit.* (1969, p. 152), chama a atenção quanto a importância que o mapeamento de uso da terra, tem para um território, ao ressaltar que “[...] este produto pode ter usos variados, muitos dos quais não aparecem à primeira vista”. E exemplifica sua afirmação quando lembra:

Do levantamento detalhado da Grã-Bretanha realizado no período entre-guerras, no qual se indicavam áreas cultivadas e áreas agricolamente submarginais [...]. O mapeamento mostrou as áreas onde a expansão agrícola, tornou-se possível ou necessária. [...], sendo mais tarde utilizado para indicar áreas que podiam ser aproveitadas na expansão das indústrias, na instalação de residências e etc. [...] (KELLER, 1969, p. 152).

Desta forma, segundo relatos do IBGE (1999), o país permaneceu por muito tempo utilizando essas diretrizes. Em sua primeira versão o manual leva em conta “o tipo de uso da terra” da data mapeada, o manejo empregado e a estrutura de produção. Traz embutido a concepção de “terra” da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (FAO), que envolve atributos físicos como o relevo, vegetação, suprimento de água e outros fatores (IBGE, 1999, p. 13). Ao todo, o manual reconhece 7 grandes classes, pertencentes a 26 tipos, divididos em 41 subtipos.

Na sua segunda edição (IBGE, 2006), avança no sentido de trazer a discussão uma nova concepção de mapeamento, onde o aspecto teórico-metodológico aparece com mais expressividade. Percebe-se, dentre outros fatos a preocupação com a adoção de princípios básicos, nomenclaturas e ênfase ao procedimento metodológico, que inclui os ferramentais de Sistema de Informações Geográficas – SIG, como um elemento do processo. São detalhados no manual, 8 classes, 10 subclasses e 124 níveis de mapeamento.

Atualmente, o manual do IBGE (2013), apresenta uma concepção aprimorada dos seus anteriores. Percebe-se uma preocupação ainda maior, em dialogar com os procedimentos técnicos, refletido na inserção plena do SIG e de seu manuseio, por parte dos usuários. Traz também um aspecto conceitual, traduzido na apresentação de ilustrações. Nesta versão são reconhecidas 5 classes de uso, compartimentadas em 12 subclasses, divididas em 87 unidades de mapeamento.

Santos (2004) ressalta que esses trabalhos de mapeamento geralmente identificam os tipos de uso, espacializam, caracterizam e quantificam tais classes. Assim, para a autora, as informações sobre seus temas devem descrever não só a situação atual, mas as mudanças recentes e o histórico de ocupação (SANTOS, 2004, p. 97).

Já no estudo de áreas naturais como a vegetação, que geralmente antecede a transição para usos antrópicos, pode-se realizar o cálculo do índice de vegetação para avaliar e monitorar as transições de uso do solo. O *Normalized Difference Vegetation Index* – *NDVI*, proposto por Rouse et al. (1973), é um índice empregado para este tipo de estudo. É calculado por meio da refletância das bandas do vermelho e infravermelho próximo, tal como expresso na equação:

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} \quad \text{Equação (1)}$$

Conforme destacado por Weier e Herring (2000), os índices de vegetação obtidos via imagens de satélite, na sua maioria, costumam empregar essa fórmula. Os valores de *NDVI* variam de -1 a +1 de acordo com a variação da refletância do dossel na cobertura vegetal.

Segundo os autores citados (2000), nenhuma vegetação em estado saudável e verde apresenta valor próximo e abaixo de zero, tal valor significaria ausência de vegetação enquanto valores aproximados de +1, são capazes de indicar densidade de folhas verdes em estado normal de desenvolvimento. Geralmente o resultado dessa equação em SIG, gera como produto uma imagem índice ou procede-se a extração dos valores em formato numérico, para geração de gráficos e tabelas.

Por sua vez, Jackson e Huete (1991) destacam que este índice tem trazido benefícios para diversas disciplinas e salientam as seguintes aplicações: avaliação de biomassa, uso da água e produção vegetal. A contribuição maior dos autores se dá pelo fato de sustentarem a importância de conhecer as variáveis de entrada, usadas para compor tal índice, bem como a forma que as características do ambiente em análise e da cobertura vegetal, geram influências sobre os valores de *NDVI* calculados. Em outras palavras, para os autores, há necessidade de conhecer a fitofisionomia vegetal da área a ser mapeada.

Como experiência, Bayma e Sano (2015) utilizam séries temporais de índice de vegetação por meio do sensor *MODIS* para detecção de desmatamentos no Bioma Cerrado. A abordagem utilizada permitiu identificar que para as formações florestais e savânicas os limiares de identificação de áreas desmatadas se mostraram aceitáveis, o mesmo não ocorre com a formação campestre, ou seja, não é possível gerar um limiar único para este bioma.

Em complemento a essa questão, Ferreira et al. (2006) analisam as fitofisionomias do Bioma Cerrado no estado de Goiás, utilizando dentre outros índices o *NDVI* obtido por meio de produtos do sensor *MODIS* e validados com dados Landsat. Dos resultados,

os autores aduzem que o *NDVI* respondeu melhor quando usado na identificação e separabilidade de fitofisionomias de Cerrado, configurando 97% de acerto.

Para a agricultura, o *NDVI* permite a separabilidade entre os principais estágios fenológicos das culturas de soja em campos irrigados, como afirmam Bariani et al. (2015). Os autores alertam que esse tipo de identificação pode vir a substituir o monitoramento em campo e apoiar o gerenciamento da irrigação. Vicente et al. (2012), usando séries temporais de *NDVI* para o monitoramento da cana-de-açúcar no estado de São Paulo, concluem que é possível, utilizando o algoritmo *SAM* (*spectral angle mapper*), mapear áreas pertencentes a essa cultura e que os dados oriundos foram concordantes com os dados oficiais de área plantada da cultura em todo o estado.

No semiárido brasileiro, Silva e Almeida (2015) mapearam valores de *NDVI* para diferentes tipologias de uso e cobertura do solo. Segundo os autores, os valores encontrados podem ser agrupados nas seguintes classes: água/nuvem de -1 a 0; solo exposto de 0 a 0,10; vegetação arbustiva aberta de 0,10 a 0,20; vegetação arbustiva fechada de 0,20 – 0,30; vegetação arbustivo-arbórea-fechada de 0,30 – 0,40 e; vegetação arbóreo-arbustiva-fechada >0,40.

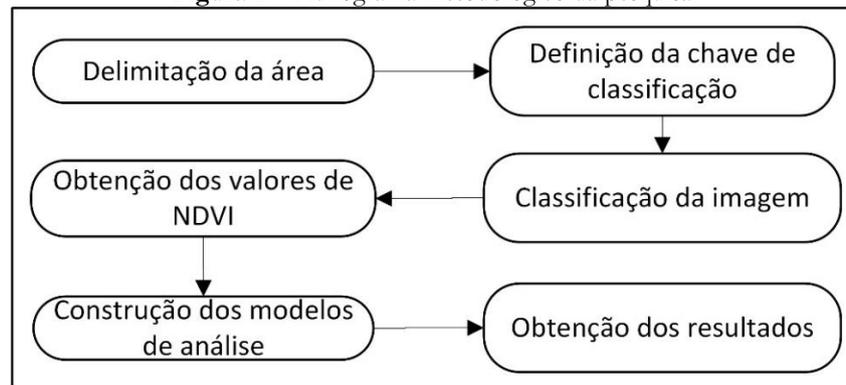
PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O procedimento metodológico adotado e resumido por meio da Figura 2 baseou-se inicialmente na definição do recorte espacial das áreas a serem mapeadas. Desta forma, foram delimitados dois distanciamentos a partir das margens do Rio Tocantins, um de 1 km e o outro que atendesse à legislação ambiental brasileira, Lei nº 12.651/2012. Tal legislação, conhecida como Código Florestal, define as áreas de preservação permanente como sendo “as faixas marginais de qualquer curso d’água natural perene e intermitente, excluídos os efêmeros, desde a borda da calha do leito regular” com uma delimitação mínima de “200 (duzentos) metros, para os cursos d’água que tenham de 200 (duzentos) a 600 (seiscentos) metros de largura” (BRASIL, 2012, p. 5), caso de enquadramento do Rio Tocantins.

A área de estudo totaliza 52,50 km² considerando o recorte espacial de 1 km e 10,85 km², considerando a APP, segundo a legislação vigente. A necessidade de um recorte mais amplo surgiu do interesse da determinação de uma área de amortecimento, para averiguar se as condições encontradas na APP se estendem para além desta. Tanto a APP da faixa marginal, bem como a área de amortecimento, foram delimitadas a partir da aplicação de *buffers*.

Para a confecção do mapa de uso e cobertura da terra, a classificação da imagem teve como suporte básico o manual técnico de uso e cobertura da terra, disponibilizado pelo IBGE (2013). Foi utilizada uma única cena do satélite Spot 6, que recobrisse toda a área de estudo referente ao mês de julho e datada do ano de 2015, com resolução espacial de 1,5 metros.

Figura 2 – Fluxograma metodológico da pesquisa.



Fonte: elaborado pelos autores (2019).

Sua classificação foi realizada no Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas – SPRING, por meio de método supervisionado, utilizando o algoritmo *Máxima Verossimilhança - Maxver*. Como procedimento de validação, adotou-se a técnica de pós-classificação, por inspeção visual, em que o analista percorre toda a imagem classificada comparando-a com a imagem original e corrigindo as áreas mapeadas erroneamente. Esse procedimento foi facilitado graças ao tamanho discreto da área de estudo.

Para a confecção do mapeamento de uso e cobertura da terra, foram adotadas as tipologias indicadas na chave de classificação do Quadro 1. Este apresenta as principais características usadas na interpretação da imagem e os critérios definidos pelos autores, para a determinação de cada classe.

Quadro 1 – Chave de classificação adotada no processo de interpretação da imagem.

<i>Classes</i>	<i>Padrão para Interpretação</i>	<i>Definição do Interprete</i>
	<p>Tanques de piscicultura</p> <p>Áreas geometricamente similares; Geralmente guardam proximidade com o rio; Água com presença de sedimentos ou microflora; Aspecto de rugosidade lisa.</p>	<p>Áçudes destinados a execução de atividade econômica, com represamento de águas para a construção de tanque de piscicultura.</p>
	<p>Area urbana</p> <p>Presença de casas, ruas e avenidas; Elementos geometricamente identificáveis; Tonalidades claras de telhados; Aspecto rugoso não natural.</p>	<p>Áreas loteadas com uso urbanos.</p>
	<p>Vegetação degradada</p> <p>Vegetação de porte rasteiro, permeada por árvores isoladas; Aspecto de rugosidade lisa; Geralmente com colorações menos intensas.</p>	<p>Áreas desmatadas por exploração madeireira e de vegetação arbórea e arbustiva, intercaladas a prática de pastagens naturais.</p>
	<p>Vegetação natural</p> <p>Vegetação de elevado porte; Formação vegetal densa; Áreas com rugosidade natural; Coloração intensa.</p>	<p>Vegetação nativa da região. Geralmente sem alterações antrópicas.</p>

Fonte: Elaborado pelos autores.

Os valores de NDVI, que variam entre -1 e 1, foram obtidos com a utilização de ferramenta de série temporal *online*. Tal ferramenta é fornecida pelo Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento - LAPIG <<https://www.lapig.iesa.ufg.br/lapig/>>, e consiste em um recurso que possibilita ao usuário visualizar dados previamente processados, com valores de *NDVI* em intervalos de tempo selecionados e consecutivos, para a construção de gráficos ilustrativos. O sistema funciona com a possibilidade de o usuário definir uma coordenada geográfica ou selecionar um conjunto de pixels por meio de mapa interativo.

As imagens que alimentam essa ferramenta, para a estimativa do *NDVI*, são processadas pela plataforma *online* do *Google Earth Engine*, que disponibiliza toda a série temporal dos valores de *NDVI*, que são posteriormente exportados em planilhas de *Excel*. Tais imagens são da série Landsat, dos sensores *TM* e *OLI*, ambos com resolução espacial de 30 m. O período considerado para esta análise foi o recorte temporal entre os anos de 2000 e 2016, sendo os valores estimados a partir das imagens-índices referentes, a média mensal para cada um dos 12 meses, de cada ano analisado. Esses dados foram

normalizados segundo a média anual e organizados em forma de gráficos, pela própria plataforma.

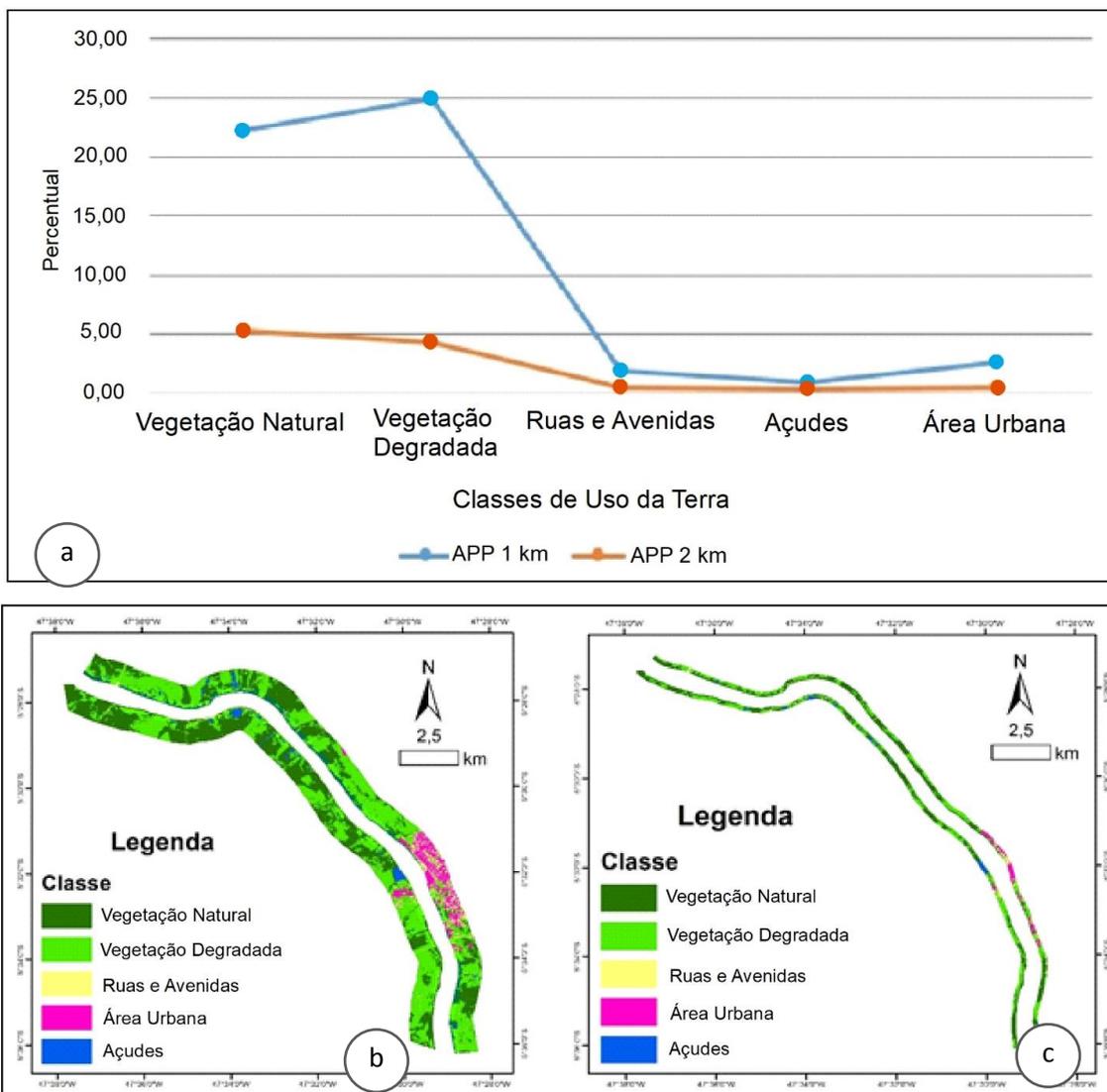
Em seguida, foram baixadas imagens do *Google Earth Pro*, com a finalidade de ilustrar cada conjunto de pixels antes, durante e após a conversão do uso atual, com informações extraídas das discontinuidades da linha de *NDVI*, conforme são mostradas segundo os modelos gráficos construídos e representados no item dos resultados e discussões. Assim, foram selecionados três pontos amostrais representativos de diferentes transformações de uso e cobertura da terra, para exemplificar a confecção dos referidos gráficos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise de Uso e Cobertura da Terra na APP do Rio Tocantins

Os dados de uso e cobertura da terra apresentados na Figura 3 demonstram tanto para o recorte de 1 km (Figura 3b), como para o de 200 metros de APP (Figura 3c), áreas com elevado grau de ocupação antrópica, portanto, áreas degradadas. A Figura 3a corrobora para tal constatação, indicando a partir do gráfico que há somente uma pequena diferença do quantitativo da vegetação preservada em relação à vegetação degradada, na APP de 2000 m. Disso depende-se que a APP, pressionada por diversas atividades, não consegue mais manter em sua completude a função protetora de um ecossistema de elevada relevância socioambiental.

Figura 3 – Mapa de uso e cobertura da terra das margens do Rio Tocantins. (a) Buffer de 1 km, (b) APP de 200 m.



Fonte: Imagens Spot 6, jul./ago. 2015; elaborado pelos autores (2017).

Fato que se agrava quando consideramos o recorte mais amplo, onde a quantidade de vegetação degradada, já se sobrepõe à vegetação natural, indicando maior nível de interferência à medida que há um distanciamento do leito do rio, portando, da APP.

Tendo em vista o *buffer* de 1 km (Figura 3b), a vegetação nativa da região já foi reduzida a ponto de ocupar apenas 22,23 km² de extensão, o equivalente a 42 % da área considerada. Ao observar a interferência antrópica nota-se que 58% da área (30,28 km²) não apresenta mais característica natural. Os motivos se referem tanto à ocupação urbana quanto à utilização econômica derivada das atividades de piscicultura, desmatamento para a exploração madeireira e de pastagem natural intercalada à vegetação arbustiva.

Situação semelhante pode ser observada quando analisada a APP de 200 m (Figura 5b), na qual somente 49% da área encontra-se preservada, o que perfaz 51% da área com

algum tipo de uso antrópico, sinalizando um alerta no que diz respeito aos conceitos conservacionistas de uma APP. Ainda em relação a este recorte espacial, a Tabela 1 traz uma análise individualizada das características de uso e cobertura da terra de cada uma de suas margens. Margem esquerda São Miguel do Tocantins e margem direita, Imperatriz do Maranhão.

Tabela 1 – Uso do solo as margens do Rio Tocantins. Margens esquerda: São Miguel do Tocantins - TO, margem direita: Imperatriz - MA

Classes	APP 200 m					Categorias	
	Esquerda S. M. do TO		Total (%)	Direita Imperatriz MA			Total (%)
	Áreas (km ²)	Área (%)		Áreas (km ²)	Área (%)		
Vegetação Natural	2,61	49,2	49,2	2,69	48,5	48,5	Preservado
Vegetação Degradada	2,20	42	50,8	2,09	38	51,5	Degradada
Ruas e Avenidas	0,16	3		0,28	5		
Açudes	0,29	5		0,05	1		
Áreas Urbanas	0,04	1		0,43	8		
Total	5,30	100	100	5,54	100	100	

Fonte: Mapas de uso e cobertura da terra, elaborado pelos autores (2017).

A análise das margens separadamente revela sobremaneira as especificidades de cada um dos municípios abrangidos. Desta forma, considerando as áreas da APP até o momento preservadas, observa-se que essas se encontram levemente iguais em termos percentuais em ambos os municípios, com valores variando em menos de 1%. Todavia são valores que se aproximam de menos de 50%, conforme Tabela 1.

Por outro lado, as áreas que já se encontram em estado de degradação dentro da APP indicam percentuais já superiores aos 50%. De acordo com a Tabela 1, a margem mais degradada é à direita, ocupada por 38% de vegetação degradada. Além desta, apresenta uma área urbana densamente ocupada, representada pelo núcleo central de Imperatriz-MA, que somada às ruas e avenidas possuem juntas um percentual de 13% das classes de APP degradadas. Em contraposição, na margem esquerda, o total destas duas classes foi somente 4%, sobressaindo a classe de vegetação degradada com 42%.

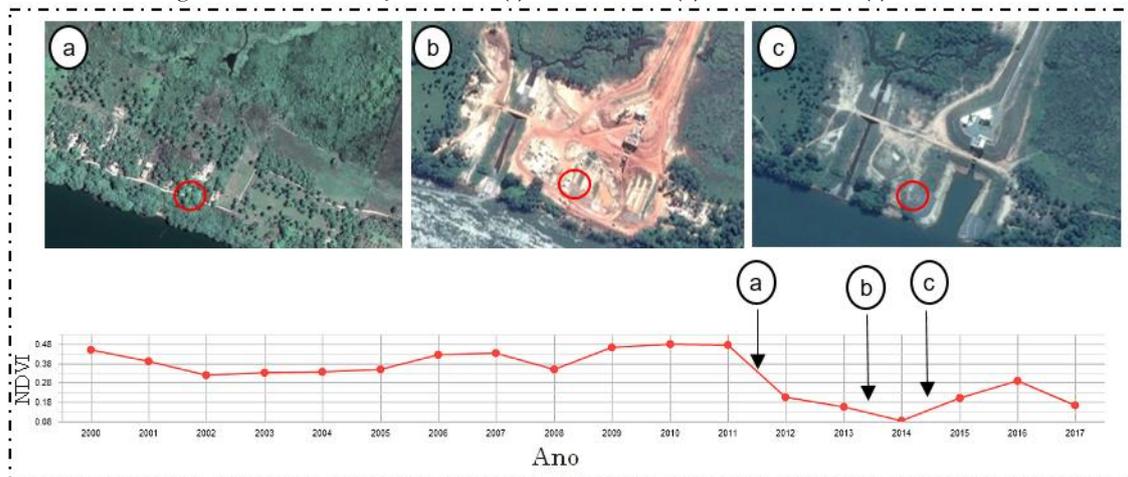
Ainda sobre as áreas de degradação, a margem esquerda da APP, expõe uma particularidade quanto as áreas destinadas ao desenvolvimento da atividade piscicultura, marcada pela presença de açudes, que são responsáveis por 5% da utilização com atividades econômicas dentro da APP do município de São Miguel do TO. Esse valor representa cinco vezes, o total referente à outra margem.

Mudanças de Uso do Solo com Séries Temporais de NDVI

Os modelos gráficos abaixo desenvolvidos e empregados na análise da conversão de uso e cobertura da terra são compostos pela linha temporal do *NDVI*, entre os anos de 2000 e 2017, onde são identificadas as quebras de descontinuidades deste índice. Além das imagens retiradas do *Google Earth Pro*, com a finalidade de ilustrar períodos anteriores, durante e após as referidas conversões. Assim, os círculos vermelhos plotados sobre estas imagens representam as coordenadas centrais das amostras de pixels utilizadas na obtenção de séries temporais do *NDVI*, utilizadas para retratar as principais mudanças das tipologias consideradas.

O primeiro local de análise (Figuras 4) representa o tipo de uso e cobertura marcado pela presença da vegetação degradada à área de vegetação em processo de regeneração. Este ponto está localizado à margem direita da APP, no município de Imperatriz-MA, e consiste na borda de um reservatório de captação de água de uma grande empresa de papel e celulose, que começou a ser projetado no ano de 2008, com inauguração em dezembro de 2013. Nota-se que as modificações da vegetação para a consolidação da área do reservatório ocorreram no intervalo compreendido entre 2011 e 2015, que envolveu as etapas de retirada da vegetação, terraplanagem e efetivação da obra.

Figura 4 – Local de captação e depósito de água no Rio Tocantins da empresa Suzano Papel e Celulose. Série de Imagens de Alta Resolução. Ponto (a) 14/06/2011, (b) 15/05/2013 e (c) 23/06/2014.



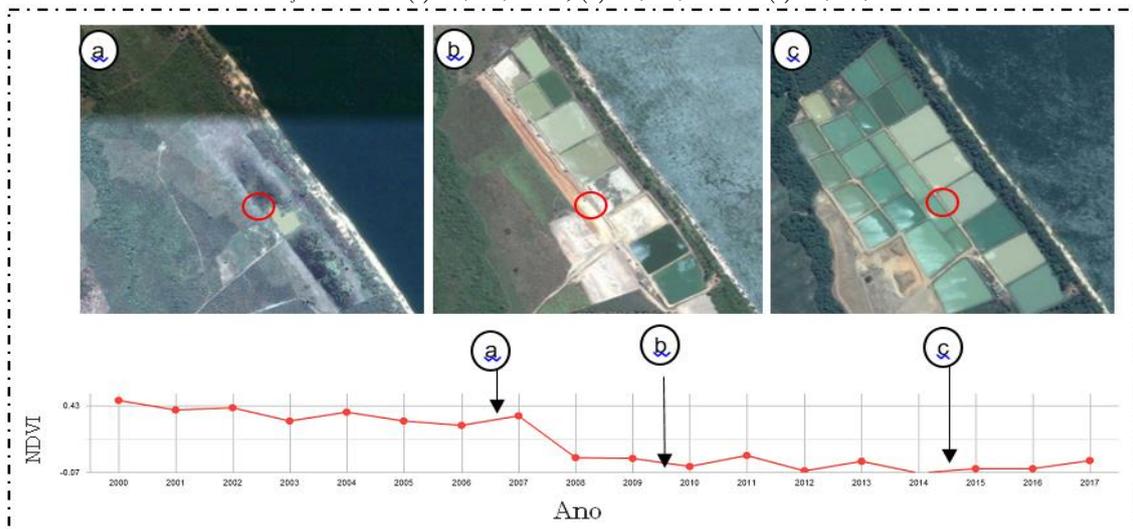
Fonte: *Google Earth Pro* e Portal do LAPIG (Ferramenta de Séries Temporais). Elaborado pelos autores (2017).

Ao longo da linha temporal de *NDVI*, percebe-se uma variação pouco acentuada anualmente até meados do ano de 2011 (Figura 4a), quando ainda havia uma cobertura vegetal típica de transição Cerrado/Amazônia, com extrato arbóreo pouco elevado e valor de *NDVI* igual a 0,33. Valor este, detectado pelos reflexos sensoriais dos pixels amostrais, representando a partir de meados do ano de 2011 uma tendência de declínio.

Em maio de 2013 a obra de construção já se demonstrava em estágio avançado (Figura 4b). Pôde-se perceber na imagem e pelo valor do *NDVI* em 0,13, o indicativo da elevação do nível de antropização. No início de 2014 com a instalação já concluída é possível notar o menor valor do *NDVI* registrado, da ordem de 0,10, voltando a área, a regenerar-se somente a partir de junho de 2014 (Figura 4c).

O segundo local de análise (Figura 5), representa a tipologia de uso e cobertura marcada pela atividade piscicultora. Este ponto está localizado no município de São Miguel do Tocantins - TO, situado à margem esquerda do rio e se constitui no ponto mais expressivo, de áreas utilizadas para o desenvolvimento desta atividade. Nota-se que as modificações analisadas ocorreram, no intervalo compreendido entre 2007 e 2015.

Figura 5 – Tanques para atividade piscicultora, às margens do Rio Tocantins. Série de Imagens de Alta Resolução. Ponto (a) 07/08/2006, (b) 08/08/2009 e (c) 23/06/2014.



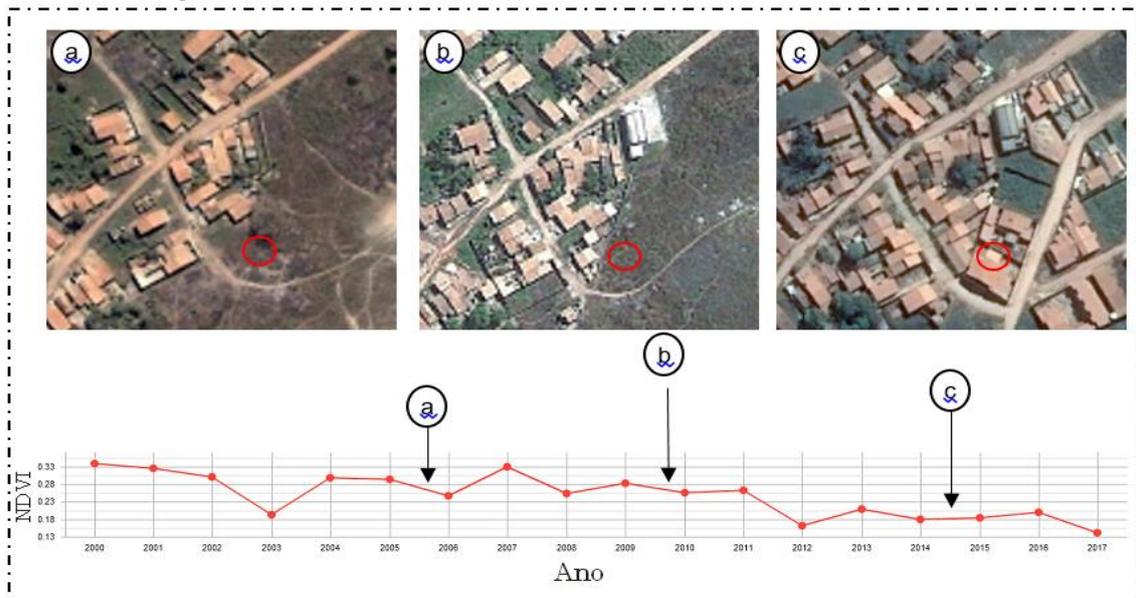
Fonte: *Google Earth Pro* e Portal do LAPIG (Ferramenta de Séries Temporais). Elaborado pelos autores (2017).

Em agosto de 2006, como demonstrado na Figura 5a, a área ainda estava constituída por formação vegetal, com *NDVI* relativamente alto, próximo de 0,43 e com a presença de apenas um tanque de piscicultura. Em 2008/2009 a área passa a ser caracterizada pela grande quantidade de tanques destinados à atividade piscicultura, fato este notado pela considerável queda do valor de *NDVI*, que passou a exibir índices próximos aos negativos. Por seu turno, em junho de 2014, essa prática de uso se apresenta bastante intensificada, com uma elevação significativa da presença de tanques, resultando em um *NDVI* próximo de -0,05, ou seja, indicando ausência total de vegetação convertida na baixa refletância da água.

A terceira classe de uso e cobertura analisada foi a urbana (Figura 6), que está localizada em uma das principais áreas urbanas de consolidação recente no município de

Imperatriz-MA, APP da margem direita do rio Tocantins. Tal área ilustra avanços da expansão urbana no bairro da Caema, um dos mais próximos do leito do rio e que está sujeito às constantes cheias do Tocantins (SANTOS, 2017). O mesmo ainda é conhecido por abrigar moradores de baixa renda, apresentar padrão de urbanização disperso, encontrando-se distante apenas dois quilômetros do centro da cidade.

Figura 6 – Expansão da malha urbana na borda direita do Rio Tocantins (Imperatriz - MA). Série de Imagens de Alta Resolução. Ponto (a) 13/07/2005, b) 08/08/2009 e c) 23/06/2014.



Fonte: *Google Earth Pro* e Portal do LAPIG (Ferramenta de Séries Temporais). Elaborado pelos autores (2017).

O período de ocorrência das modificações no uso e cobertura ocorreu em especial entre os anos de 2010 e 2017. A Figura 6 demonstra como a área sofreu um processo de incorporação à malha urbana ora existente, em perspectiva de um padrão de urbanização aleatória e sem planejamento (Figuras 6a, 6b e 6c). Desta forma, a Figura 6a representada em junho de 2005 possui a área urbanizada ainda pouco ocupada e com predominância de solos degradados permeados por vegetação rasteira, proporcionando um *NDVI* próximo de 0,26.

Em um segundo momento, em agosto de 2009 (Figura 6b), o padrão de urbanização pouco se alterou no conjunto de pixels em que foi realizada a leitura de *NDVI*, no entanto, quando comparada a junho de 2014 (Figura 6c), torna-se visível a modificação no padrão de uso pela presença dos aglomerados residenciais, com a diminuição do *NDVI* para valores próximos de 0,18.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Destaca-se que as predominâncias com relação aos tipos de uso e cobertura da terra são características e reflexos da própria economia local. São Miguel do Tocantins, com as atividades ligadas ao setor primário, predominantemente a atividade piscicultura, e Imperatriz do MA ligada ao setor de prestação de serviços urbanos.

Mesmo com as restrições de ocupação prevista por lei em APPs, o estado de conservação da área foco deste artigo encontra-se comprometido, com 51% de sua área em algum grau de degradação. As áreas consideradas de vegetação natural, por sua vez, totalizam menos de 50%. Quando considerado o distanciamento de 1 km da zona de amortecimento, a proporção entre áreas degradadas e áreas preservadas tende a agravar, indicando o papel protecionista que APP do Rio Tocantins ainda tenta desempenhar.

Entretanto, tal situação torna-se passível de não ser mais reestruturada ou mesmo sustentada, uma vez que as alterações realizadas no Código Florestal Brasileiro de 2012 prevê a anistia da obrigação da regeneração vegetativa de áreas já consolidadas, ou seja, daquelas que foram desmatadas antes de 22 de julho de 2008. Assim, para realizar uma avaliação crítica dos aspectos jurídicos que tutelam as APPs, é importante ter um diagnóstico das condições atuais de preservação destas áreas, os quais os mapas de uso e cobertura da terra tornam-se bons indicativos.

Em relação à ferramenta de análise temporal de *NDVI*, para a leitura das transições sofridas na cobertura vegetal e das transformações de outros tipos de ocupação do solo, demonstrou ser uma alternativa promissora. De modo que o procedimento utilizado configura-se em instrumento viável de inspeção das modificações sofridas no ambiente natural e consequentes conversões para classes de uso antrópicos. Tal ferramenta poderá auxiliar na identificação exata do momento em que ocorreu a conversão.

REFERÊNCIAS

AB’SÁBER, A. N. **Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003.

BARIANI, C. J. M. V.; KERSTEN, D. S.; VICTORIA, N. M.; CARLESSO, R.; PETRY, M. T.; PERIPOLLI, M. Monitoramento da fenologia da soja irrigada usando perfis de série temporal de NDVI. INOVAGRI International Meeting, 3., 2015, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza, 2015. p. 1610-1618.

BAYMA, A. P.; SANO, E. E. Séries temporais de índices de vegetação (NDVI e EVI) do sensor modis para detecção de desmatamentos no bioma cerrado. **Bol. Ciênc. Geod.**, v. 21, n. 4, p. 798-813, out./dez. 2015.

BRASIL. Lei 12.651/2012. **Código Florestal Brasileiro**, 2012 [on line]. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm>. Acesso em: 24 out. 2016.

FERREIRA, M. E.; FERREIRA, L. G.; HUETE, A. R.; PECCININI, A. A. Análise comparativa dos produtos MODIS Ecologia para o monitoramento biofísico ambiental do bioma Cerrado. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 24, n. 2, p. 251-260, 2006.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico de uso da terra**. 1. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1999.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico de uso da terra**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2006.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico de uso da terra**. 3. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2013.

JACKSON, R. D.; HUETE, A. R. Interpreting vegetation indices. **Preventive Veterinary Medicine**, n. 11, p. 185-200, 1991.

KELLER, E. Mapeamento da Utilização da Terra. **Revista Brasileira de Geografia**, IBGE, v. 31, n. 3, p. 151-160, 1969.

LAPIG – Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento. Portal LAPIG Maps. Análise de Séries Temporais. **Ferramenta Computacional Online**. Disponível em <<http://maps.lapig.iesa.ufg.br/lapig.html>>. Acesso em: 20 nov. 2017.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE-1 SYMPOSIUM, 3., 1973, Washington. **Proceedings...** Whashington: NASA, 1974, v. 1, p. 309-317.

SANTOS, R. F. dos. **Planejamento Ambiental: teoria e prática**. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.

SANTOS, R. L. **Dinâmica e qualidade ambiental urbana da paisagem no município de Imperatriz (MA)**. 2017. 192 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2017.

SILVA, G. J. F.; ALMEIDA, N. V. Degradação ambiental no município de Parari-PB: uma análise por meio de Sensoriamento Remoto. **Revista Geografar**, Curitiba, v. 10, n. 2, p. 140-164, dez. 2015.

SOUSA, J. de M. **Enredos da dinâmica urbano-regional Sulmaranhense: reflexões a partir da centralidade econômica de Açailândia, Balsas e Imperatriz**. 2015. 558 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2015.

VICENTE, L. E.; GOMES, D.; VICTORIA, D. de C.; GARÇON, E. A. M.; BOLFE, É. L.; ANDRADE, R. G.; SILVA, G. B. S. Séries temporais de NDVI do sensor SPOT Vegetation e algoritmo SAM aplicados ao mapeamento de cana-de-açúcar. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v. 47, n. 9, p. 1337-1345, set. 2012.

WEIER, J.; HERRING, D. Measuring Vegetation (*NDVI e EVI*). **Earth Observatory – NASA**, 2000. Disponível em: <https://earthobservatory.nasa.gov/Features/MeasuringVegetation/measuring_vegetation_1.php>. Acesso em 12 abr. 2017.