

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

FABIO GUERRA SANTOS

**MONITORAMENTO DE ÁREAS EMBARGADAS ATRAVÉS DE ÍNDICE DE  
VEGETAÇÃO NA REGIÃO SUDOESTE DO PARÁ**

CURITIBA

2016

FABIO GUERRA SANTOS

MONITORAMENTO DE ÁREAS EMBARGADAS ATRAVÉS DE ÍNDICE DE  
VEGETAÇÃO NA REGIÃO SUDOESTE DO PARÁ

Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito parcial à obtenção do grau de Especialista MBA em Gestão Florestal no curso de Pós-Graduação em Gestão Florestal, Departamento de Economia Rural e Extensão, Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Nelson Yoshihiro Nakajima

CURITIBA

2016

## DEDICATÓRIA

*A minha família, em especial ao meu filho Davi Guerra que renovou minhas esperanças e força de vontade para alcançar meus objetivos.*

## **AGRADECIMENTOS**

Ao curso de MBA em Gestão Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná.

Aos Prof. Dr. Yosio Edemir Shimabukuro pelas contribuições e sugestões.

Aos colegas do IBAMA Santarem que propiciaram excelentes discussões práticas para melhoria do nosso trabalho cotidiano.

Aos colegas de equipe pelas proveitosas discussões em tempo hábil para entrega de trabalho em grupo.

O agradecimento especial ao meu orientador Prof. Dr. Nelson Yoshihiro Nakajima que acompanhou o processo de elaboração deste trabalho, acreditando na concretização e nos resultados.

*“...Se você quiser alguém em quem confiar  
Confie em si mesmo  
Quem acredita sempre alcança!”*

Renato Russo e Flavio Venturini

## RESUMO

A evolução do desmatamento na Amazônia oscilou nos últimos anos devido a utilização desordenada dos recursos florestais. A oscilação do desmatamento está atrelada a vários fatores, dentre eles a expansão da fronteira agrícola, pecuária extensiva e a exploração ilegal de madeira, entretanto, a presença dos órgãos fiscalizadores em regiões críticas do avanço do desmatamento possibilita a redução dos ilícitos ambientais, porém, a fiscalização e o monitoramento das áreas desmatadas até a devida adequação ambiental do imóvel rural, exige um dispêndio elevado de recursos públicos, tais como: aeronaves, viaturas e agentes ambientais. No presente trabalho como proposta alternativa para redução de recursos públicos utilizados nas vistorias *in loco* em áreas embargadas, utilizou-se o *Normalized Difference Vegetation Index* – NDVI para monitorar áreas embargadas pelo IBAMA no período de 2002 a 2006, especificamente na região da base operativa de Novo Progresso – PA. A cena utilizada foi a 227/065 do satélite LANDSAT 8. Os dados foram processados no software livre QGIS 2.16. O NDVI expressou com muita clareza os alvos previamente conhecidos, ao se comparar a imagem em falsa-cor com o NDVI. Pode-se concluir, que apenas 18,9 % das poligonais monitoradas possuem indícios de cobertura vegetal, o restante apresenta características de solo exposto e a continuidade na utilização do solo, o que denota que somente a sanção de embargo não garantiu a recuperação da cobertura vegetal.

Palavras-chave: Exploração ilegal, Fiscalização ambiental, Classificação supervisionada.

## ABSTRACT

The evolution of deforestation in the Amazon has fluctuated in recent years due to the disorderly use of forest resources. The oscillation of deforestation is linked to several factors, among them the expansion of the agricultural frontier, extensive cattle raising and illegal logging, however, the presence of monitoring agencies in critical regions deforestation advance makes it possible to reduce environmental illicit taxes, but the supervision and monitoring of deforested areas until the environmental suitability of rural property, requires a high expenditure of public resources, such as: aircraft, vehicles and environmental agents. In this paper as an alternative proposal to reduce public resources used in site surveys, it was used the Normalized Difference Vegetation Index - NDVI to monitor areas embargoed by IBAMA between 2002 and 2006, specifically in the area of operational base of Novo Progresso - PA. The scene used was 227/065 satellite Landsat 8. Data were processed in the free software QGIS 2.16. The NDVI expressed very clearly the targets previously known, by comparing the image in false-color with NDVI. It can be concluded that only 18.9% of the monitored polygonal has evidence of vegetation cover, the rest has bare soil characteristics and continuity of land use, which indicates that only the embargo sanctions does not guarantee recovery of vegetation cover.

Keywords: Illegal logging, Environmental monitoring, Supervised classification.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	9
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	10
2.1 GERAL.....	10
2.2 ESPECIFICOS.....	10
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	11
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	14
4.1 Área de estudo.....	14
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	18
<b>6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES</b> .....	23
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	24



## 1 INTRODUÇÃO

O combate ao desmatamento e degradação florestal na Amazônia é uma luta muito árdua, e envolve uma série de esforços dos órgãos governamentais, e esta luta depende do uso de recursos públicos materiais e humanos, tais como: aeronaves, viaturas e agentes ambientais.

Observa-se que apesar dos esforços empenhados no combate ao desmatamento na Amazônia, as taxas de desmatamento oscilaram ao longo dos anos desde o início do monitoramento da evolução do desmatamento pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE.

O Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA tem como uma de suas competências a fiscalização e o controle ambiental, e trabalha em parceria com o INPE. O IBAMA após ciência das áreas desmatadas através do Projeto de Detecção do Desmatamento em Tempo Real – DETER conduzido pelo INPE, realiza incursões *in loco* e procede com as medidas administrativas, as tais: multa, embargo e reparação de danos ambientais.

O monitoramento de áreas embargadas até a regularização do imóvel rural carece de recursos públicos para vistoria *in loco*, e aliado a esse fator novas áreas desmatadas surgem, e que também devem ser monitoradas até a reparação do dano ambiental.

O mapeamento de áreas desmatadas nas ações de fiscalização são realizados pela interpretação visual das imagens orbitais em falsa-cor, o que induz o observador a erros na delimitação da poligonal com maior precisão e definição dos fragmentos de vegetação, porém, índices de vegetação podem ser utilizados para realçar a cor da vegetação baseado na resposta espectral dos alvos.

Diante do exposto, nota-se que os índices de vegetação desenvolvidos através de modelos matemáticos de bandas espectrais são importantes ferramentas que podem ser utilizadas como medida alternativa à realização de vistorias *in loco*, logo, o monitoramento de áreas embargadas poderá ser realizado através de sensoriamento remoto mediante critérios técnicos-científicos pela compreensão da resposta espectral dos alvos.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Monitorar áreas embargadas pelo IBAMA no período de 26/05/2002 a 24/11/2006 através do *Normalized Difference Vegetation Index* – NDVI.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar a eficiência do NDVI no monitoramento de áreas embargadas.
- Analisar a eficiência da sanção de embargo como medida promotora da regeneração natural.
- Quantificar áreas cobertas por vegetação.
- Quantificar áreas de solo exposto.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

As taxas de desmatamento na Amazônia Legal apresentaram oscilações ao longo dos últimos anos, desde o início do Projeto de Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite (Projeto PRODES), sendo os pontos críticos em 1995 e 2004, onde a taxa de desmatamento chegou a 29.059 km<sup>2</sup>.ano<sup>-1</sup> e 27.772 km<sup>2</sup>.ano<sup>-1</sup> respectivamente, em 2012, obteve-se a melhor redução na taxa de desmatamento, alcançando o valor de 4.571 km<sup>2</sup>.ano<sup>-1</sup>, segundo o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE (INPE, 2016).

A supressão da floresta amazônica, ocorre devido a varios fatores, dentre os quais: a expansão da fronteira agrícola, incêndios florestais, exploração ilegal com propósitos comerciais e pecuária extensiva. Para Arraes et al. (2012) a evolução do desmatamento na Amazônia possui forte relação com a presença de órgãos ambientais fiscalizadores na regulação do meio ambiente, em regiões em que o Estado não se faz presente, a taxa de desmatamento tende a aumentar.

Conforme a Lei 7.735 (BRASIL, 1989), o Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renovais (IBAMA), criado em 22 de fevereiro de 1989, tem como uma de suas competências a fiscalização e o controle ambiental.

O exercício da atividade de fiscalização ambiental no combate ao desmatamento na Amazônia Legal, é formado por diversos atores de governo (BRASIL, 2013), dentre esses atores, observa-se uma forte relação de trabalho entre o INPE e o IBAMA, pois basicamente o *modus operandi* de combate ao desmatamento consiste na divulgação dos potenciais polígonos de desmatamento por parte do INPE no âmbito do projeto de Detecção do Desmatamento em Tempo Real (DETER) à fiscalização do IBAMA.

O IBAMA de posse dos polígonos de potenciais áreas desmatadas, realiza incursões em áreas previamente selecionadas. Após a identificação dos responsáveis pela supressão vegetal, lavra-se os termos administrativos referente a infração ambiental constatada (IBAMA, 2016). A partir deste momento, estes polígonos serão monitorados para averiguar o cumprimento de embargo e a reparação do dano ambiental.

O monitoramento de áreas embargadas é realizado mediante a inclusão dos polígonos em rotas aéreas e terrestres de novos focos de desmatamentos, porém, o custo de monitoramento *in loco* envolve uma série de esforços, tais como, uso de viaturas, aeronaves e equipe de agentes ambientais federais e policiais, o que torna uma ação fiscalizatória para averiguar cumprimento de embargo extremamente onerosa ao poder público. Portanto, várias técnicas de processamento de imagens poderiam ser utilizadas para exploração dos dados de sensores remotos, por exemplo, os índices de vegetação que possibilitam a identificação de vegetação fotossinteticamente ativa e solo exposto.

Segundo Marcussi et al. (2010); Ponzoni e Rezende (2004), os índices de vegetação são modelos matemáticos desenvolvidos para avaliar remotamente a cobertura vegetal e diagnosticar índice de área foliar, biomassa, porcentagem de cobertura do solo, atividade fotossintética e produtividade; e têm sido utilizados com sucesso para o monitoramento de mudanças na vegetação em escala continental, regional e global, dentre os quais, o *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), um índice muito utilizado na literatura (GAVANIN et al., 2014).

O NDVI é um índice proposto por Rouse et al. (1973) e, baseia-se no comportamento espectral da vegetação, separa a vegetação verde do brilho do solo de fundo. É expresso como a diferença entre a banda do infravermelho próximo e vermelho normalizada pela soma das bandas, oscilando em -1 a 1.

Na faixa espectral do vermelho a clorofila absorve a energia solar ocasionando uma baixa reflectância, enquanto na faixa do infravermelho próximo, tanto a morfologia interna das folhas quanto a estrutura da vegetação ocasionam alta reflectância da energia solar incidente. Quanto maior o contraste, maior o vigor da vegetação na área imageada e, a combinação destas duas faixas espectrais realçam as áreas de vegetação nas imagens, sendo neste princípio que se baseiam os índices de vegetação (LOURENÇO e LANDIM, 2004). No caso do NDVI, quanto mais próximo de 1, maior será a presença de vegetação fotossinteticamente ativa.

Lourenço e Landim (2004); Silva e Pinto (2014); Fragal et al. (2015) analisaram dados de NDVI para interpretação da cobertura vegetal. Lobato et al. (2010) afirma que o NDVI é uma técnica possível de sistematização computacional e barata em relação a outros métodos, contudo, o NDVI não pode

ser considerado determinístico e muito menos o único parâmetro a ser utilizado para estudos sobre alterações ocorridas em áreas de cobertura vegetal.

Lima et al. (2013) conseguiram classificar através da técnica do NDVI solo descoberto, pastagem degradada, pastagem não degradada e cobertura arbórea. Galvanin et al. (2014) cita que o NDVI apresentou maior poder de discriminação das fitofisionomias dos diferentes ambientes de cobertura vegetal analisados.

Mather (1999); Sanches et al. (2011) enfatizam que é necessária a correção atmosférica para o cálculo de índices de vegetação computados a partir de duas ou mais bandas espectrais, visto que as bandas são afetadas diferentemente pelo espalhamento atmosférico. A correção atmosférica de imagens de satélite é feita com a intenção de minimizar os efeitos atmosféricos na radiância de uma cena, visto que a atmosfera, por causa dos fenômenos de espalhamento, absorção e refração da energia eletromagnética, afetam a radiância refletida pela superfície que é captada pelo sensor (SANCHES et al., 2011).

Um método muito utilizado para correção dos efeitos atmosféricos é o Dark Object Subtraction (DOS). Neste método desenvolvido por Chavez (1989) apenas o processo de espalhamento atmosférico é corrigido na imagem, porém possui a vantagem de fácil aplicabilidade. Adotando o método DOS Fragal e Montanher (2011); Sanches et al. (2011) concluíram que os dados corrigidos pela correção atmosférica DOS são adequados para caracterização do comportamento dos alvos.

Desta forma, considerando os resultados satisfatórios em literatura no uso de índices de vegetação, o presente trabalho propõe monitorar remotamente através do NDVI áreas embargadas pelo IBAMA no período de 26/05/2002 a 24/11/2006, como metodologia alternativa ao monitoramento de áreas embargadas através de vistorias *in loco*.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Área de estudo

Foram selecionados cinquenta polígonos embargados no período de 26/05/2002 a 24/11/2006 constante no banco de dados público de áreas embargadas. O critério utilizado para seleção dos polígonos consistiu no fato do polígono estar inserido no raio de ação da aeronave, possuir data de embargo, poligonal definida sem sobreposição com outras poligonais, e estar na área de abrangência da cena 227/065 do satélite LANDSAT 8.

Os polígonos de desmatamento utilizados neste trabalho fazem parte de um raio de ação de 150 km, a partir da base operativa do IBAMA em Novo Progresso – PA, demonstrado na Figura 1 através do círculo e o ponto central corresponde a base do IBAMA. O raio de ação foi definido considerando a distância ótima operacional das aeronaves utilizadas pelo IBAMA nas incursões em áreas de desmatamento, e abrange os municípios de Novo Progresso, Altamira e Itaituba no Estado do Pará (Figura 1).

O conjunto de polígonos possuem em média 287,75 hectares e somam no total 14.387,82 hectares, em um intervalo de 8,01 hectares o menor polígono a 1.764,22 o maior polígono.

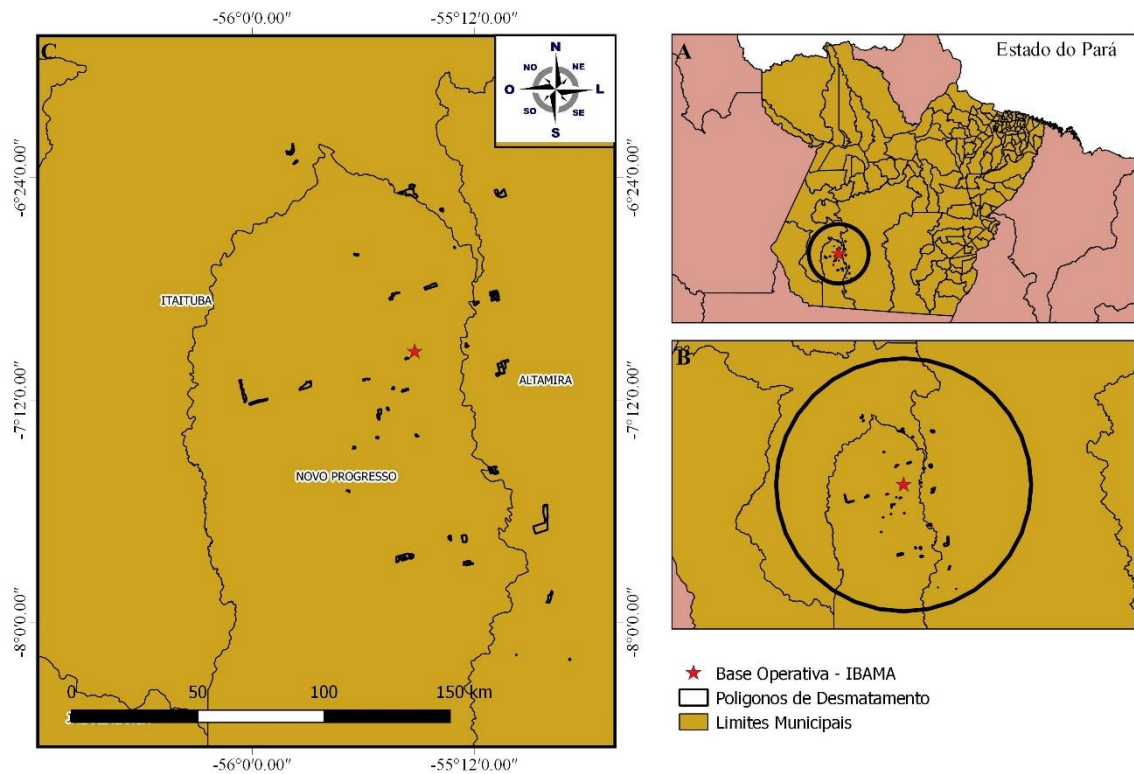


Figura 1. Espacialização dos polígonos abrangendo os municípios de Itaituba, Novo Progresso e Altamira.

A disponibilidade das cenas do satélite LANDSAT 8, possuem ortorretificação de acordo com a área imageada. O processo de correção geométrica utilizado consiste na aquisição de pontos de controle a partir das bases de dados disponíveis pelo projeto Global Land Surveys 2000 (USGS, 2013). Adicionalmente, foi avaliada a localização dos polígonos, considerando imagens anteriormente georreferenciadas com dados de receptor GPS obtidos *in loco* para geração de autuações por infrações ambientais.

No Quadro 1 é demonstrado as características espectrais das bandas LANDSAT 8. Para o cálculo do NDVI foram utilizadas as bandas 4 e 5, vermelho e infravermelho respectivamente da órbita/ponto 227/065 imageada em 15/07/2016. A falsa cor foi composta pelas bandas 4, 5 e 6 como referência para identificação dos alvos.

Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) And Thermal Infrared Sensor (TIRS)  Launched February 11, 2013	Bands	Wavelength (micrometers)	Resolution (meters)
	Band 1 - Coastal aerosol	0.43 - 0.45	30
	Band 2 - Blue	0.45 - 0.51	30
	Band 3 - Green	0.53 - 0.59	30
	Band 4 - Red	0.64 - 0.67	30
	Band 5 - Near Infrared (NIR)	0.85 - 0.88	30
	Band 6 - SWIR 1	1.57 - 1.65	30
	Band 7 - SWIR 2	2.11 - 2.29	30
	Band 8 - Panchromatic	0.50 - 0.68	15
	Band 9 - Cirrus	1.36 - 1.38	30
	Band 10 - Thermal Infrared (TIRS) 1	10.60 - 11.19	100
	Band 11 - Thermal Infrared (TIRS) 2	11.50 - 12.51	100

Quadro 1. Características espectrais dos instrumentos imageadores OLI e TIRS do Satélite LANDSAT 8 (USGS, 2016).

As imagens LANDSAT 8 são orientadas ao norte verdadeiro, portanto, a cena utilizada foi reprojetaada ao Sistema de Referência de Coordenadas SIRGAS 2000 fuso 21 S.

Conforme orientação de USGS (2016) e a metodologia adotada por Silva e Andrade (2013), os números digitais das bandas foram convertidos em valores físicos de reflectância do objeto na superfície terrestre.

Segundo Mather (1999) e Sanches et al. (2011), utilizou-se o método Dark Object Subtraction (DOS) para correção atmosférica.

O cálculo do NDVI foi feito da seguinte forma:

$$NDVI = \rho_{NIR} - \rho_{red} / \rho_{NIR} + \rho_{red}$$

Onde:

$\rho_{NIR}$  = reflectância de superfície nas regiões espectrais do infravermelho próximo (banda 5);

$\rho_{red}$  = reflectância de superfície nas regiões espectrais do vermelho (banda 4).

O processamento de dados foi realizado através do software QGIS 2.16, onde a classificação supervisionada foi feita através do plugin dzetsaka classification tool. A classificação supervisionada foi realizada através do modelo de misturas de gaussianas, sendo utilizado 17 polígonos amostrais para solo



exposto e 14 para floresta. As poligonais geradas na classificação supervisionada foram vetorizadas, para propiciar o cálculo de área.

No Semi-automatic classification plugin – SCP, realizou-se a conversão dos números digitais em reflectância de superfície e a correção atmosférica pelo método DOS. Em seguida foram calculados a matriz de confusão e o coeficiente Kappa ( $k$ ).

A matriz de confusão consiste na representação da qualidade obtida de uma classificação digital de imagem, e pode ser representada através da correlação de informações dos dados de referência com os dados classificados (PRINA e TRENTIN, 2015).

O coeficiente Kappa é uma medida de concordância dos dados, e representa o quanto as observações esperadas fruto do acaso se assemelham às amostras previamente definidas, sendo assim, mostra um aspecto de confiabilidade e precisão dos dados classificados (PERROCA e GAIDZINSKI, 2003).

Desta forma, a matriz de confusão e o coeficiente Kappa ( $k$ ) foram utilizados para estimar a concordância entre as áreas amostrais e as observações esperadas para floresta e solo exposto em todas as poligonais embargadas.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Conforme verificado na Tabela 1, as amostras utilizadas apresentaram excelente representatividade para os alvos estudados, atingindo uma acurácia geral de 99,9 % e Coeficiente Kappa ( $k$ ) de 0,99, o que significa que os pixels amostrados possuem uma concordância quase perfeita (Tabela 2) com a escolha aleatória da classificação supervisionada pelo modelo de misturas de gaussianas.

Este resultado é interessante para concretização da classificação automatizada de diversas poligonais, pois, uma vez definido as amostras dos alvos que se deseja classificar, pode-se gerar a classificação supervisionada para toda a cena em análise, otimizando o monitoramento das área embargadas.

Tabela 1. Matriz de Confusão

<b>Classificação</b>	<b>Floresta</b>	<b>Solo exposto</b>	<b>Total</b>
Floresta	952	2	954
Solo exposto	3	8659	8662
Total	955	8661	9616
Acurácia Geral	99,9 %		
Coeficiente Kappa ( $k$ )	0,99		

Tabela 2. Escala de valor Kappa

<b>Coeficiente Kappa (<math>k</math>)</b>	<b>Força de concordância</b>
<0	Sem concordância
0-0,19	Fraca
0,20-0,39	Suave
0,40-0,59	Moderada
0,60-0,79	Grande
0,80-1,00	Quase perfeita

A Figura 2 reflete uma imagem muito utilizada em ações de fiscalização ambiental para o envio de agentes ambientais à áreas desmatadas, e também possibilita o melhor entendimento das informações por parte dos agentes ambientais em campo, porém, o uso de outras técnicas de sensoriamento poderá auxiliar o agente ambiental na interpretação dos alvos.

Conforme citado por Lourenço e Landim (2004), a técnica do NDVI realça a vegetação fotossinteticamente ativa, facilitando a interpretação dos alvos, o que possibilita a delimitação do polígono de desmate com maior precisão.

No caso da base operativa de Novo Progresso com raio de ação de 150 km, foi possível conciliar a interpretação através do NDVI com a classificação supervisionada pelo modelo de misturas de gaussianas, possibilitando o monitoramento de 50 polígonos de desmate de forma automatizada.

É importante considerar o entendimento de Lourenço e Landim (2004); Silva e Pinto (2014); Fragal et al. (2015), que a interpretação de alvos terrestres não deve ser determinística, e estar atrelada apenas a uma forma de análise. No presente trabalho, a proposta é conciliar as técnicas utilizadas pela fiscalização do IBAMA, ou seja, a delimitação de poligonais por meio da falsa-cor de imagens orbitais (Figura 2), e através de critérios técnicos-científicos, reduzir os recursos materiais e humanos utilizados no monitoramento de áreas embargadas mediante vistoria *in loco*.

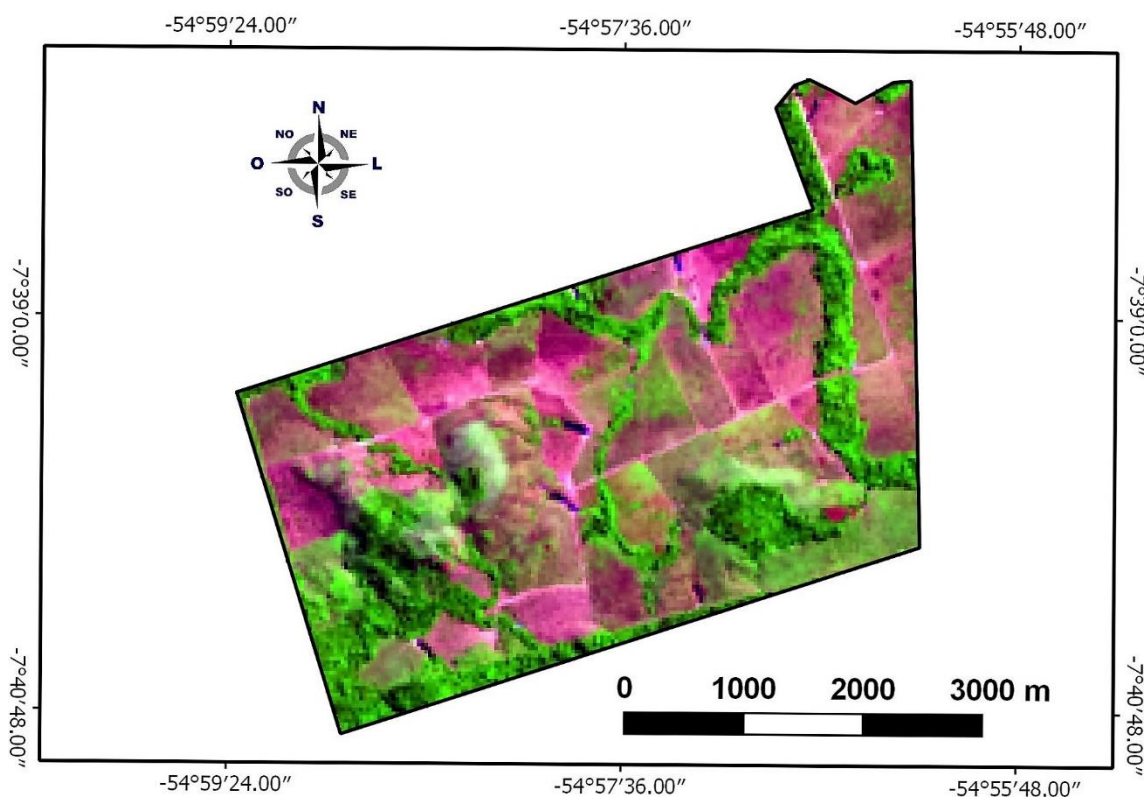


Figura 2. Polígono demonstrativa de 1.764,22 hectares, em falsa-cor, embargada em 16/09/2005

Conforme relatado por Marcussi et al. (2010); Ponzoni e Rezende

(2004), os índices de vegetação são modelos matemáticos que servem para avaliar remotamente a cobertura vegetal. Esta argumentação confirma as informações encontradas na Figura 3, pois, pode-se observar claramente as diferentes respostas espectrais dos alvos (LOURENÇO e LANDIM, 2004).

O entendimento da resposta espectral dos alvos é uma excelente ferramenta para avaliação e monitoramento de ambientes onde ocorreram ilícitos ambientais mediante corte raso ou degradação da floresta, o que possibilita a criação de modelos matemáticos de bandas espectrais, tais como: o NDVI.

O NDVI tem um intervalo de -1 a 1 (ROUSE et al., 1973), quanto mais próximo de 1, maior o índice de presença de vegetação fotossinteticamente ativa. Na Figura 3, nota-se que as áreas em tom esverdeado, o NDVI é 0,89 e corresponde ao mesmo formato presente na Figura 2, ou seja, possui um forte índice de presença de vegetação fotossinteticamente ativa.

A Figura 3 possui cinco classificações que no intervalo do vermelho ao verde (0,40 a 0,89), quanto mais próximo do vermelho, maior o índice de solo exposto, e possivelmente descumprimento de embargo.

Os resultados encontrados corroboram com Lobato et al. (2010); Lima et al. (2013) e Galvanin et al. (2014), os quais conseguiram classificar a cobertura vegetal com a técnica do NDVI.

O uso de modelos matemáticos de bandas espectrais, como o NDVI, reduz o erro de interpretação visual apenas baseado na falsa-cor da composição das imagens de satélite, pois os índices de vegetação são definidos em critérios técnicos-científicos, portanto, realçam as áreas de vegetação e solo exposto (LOURENÇO e LANDIM, 2004), o que garante melhor definição na delimitação das poligonais de áreas desmatadas.

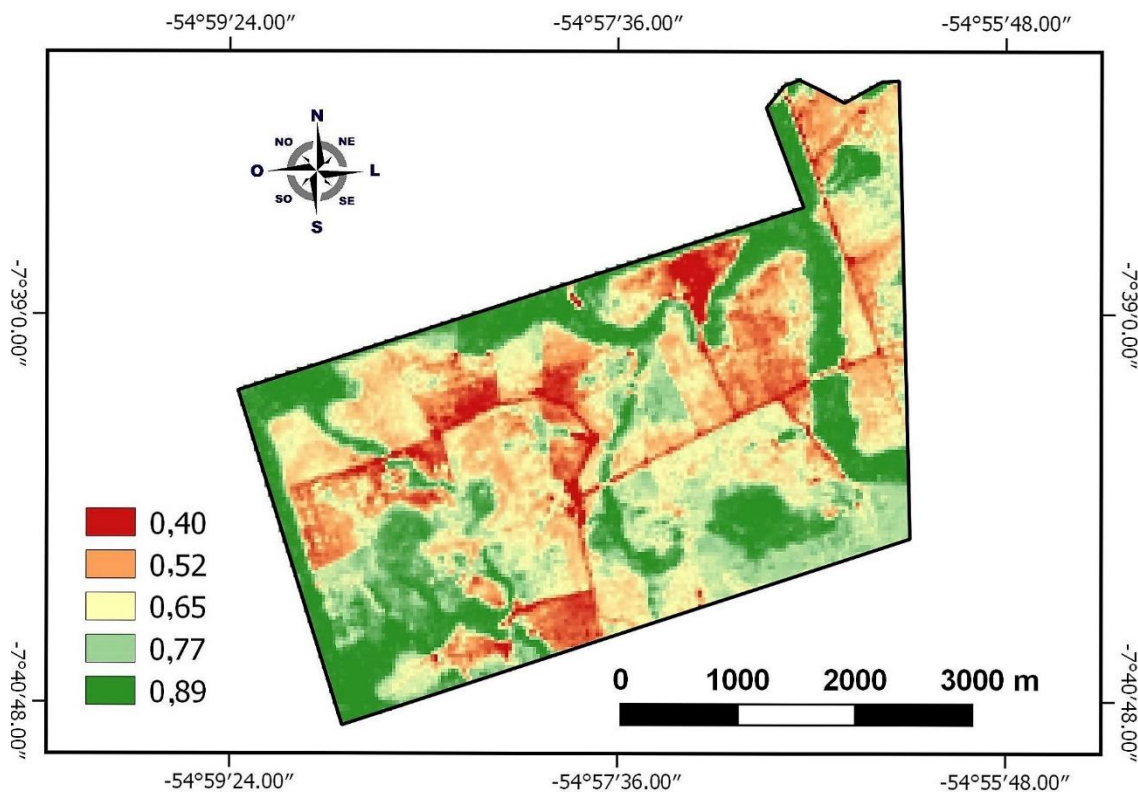


Figura 3. Poligonal demonstrativa de 1.764,22 hectares, em NDVI, embargada em 16/09/2005.

O total de áreas embargadas monitoradas neste trabalho corresponde a 14.387,82 hectares, porém, observou-se que após a vetorização (Figura 4) apenas 18,75 % (2.696,32 hectares) possui cobertura vegetal, o restante 81,25 % (11.691,50 hectares) apresentam indícios de solo exposto, possivelmente o descumprimento de embargo.

Conforme mencionado por Arraes et al. (2012), a evolução do desmatamento tem forte correlação com a presença de órgãos fiscalizadores, portanto, a dificuldade de monitorar todas as áreas embargadas *in loco* e a condução célere dos processos administrativos por parte dos órgãos ambientais, após o embargo, pode ter gerado uma sensação de impunidade ao longo de aproximadamente 10 a 14 anos, possibilitando ao infrator a continuidade de uso da área embargada, conseqüentemente, o custeio de defesa administrativa e judicial.

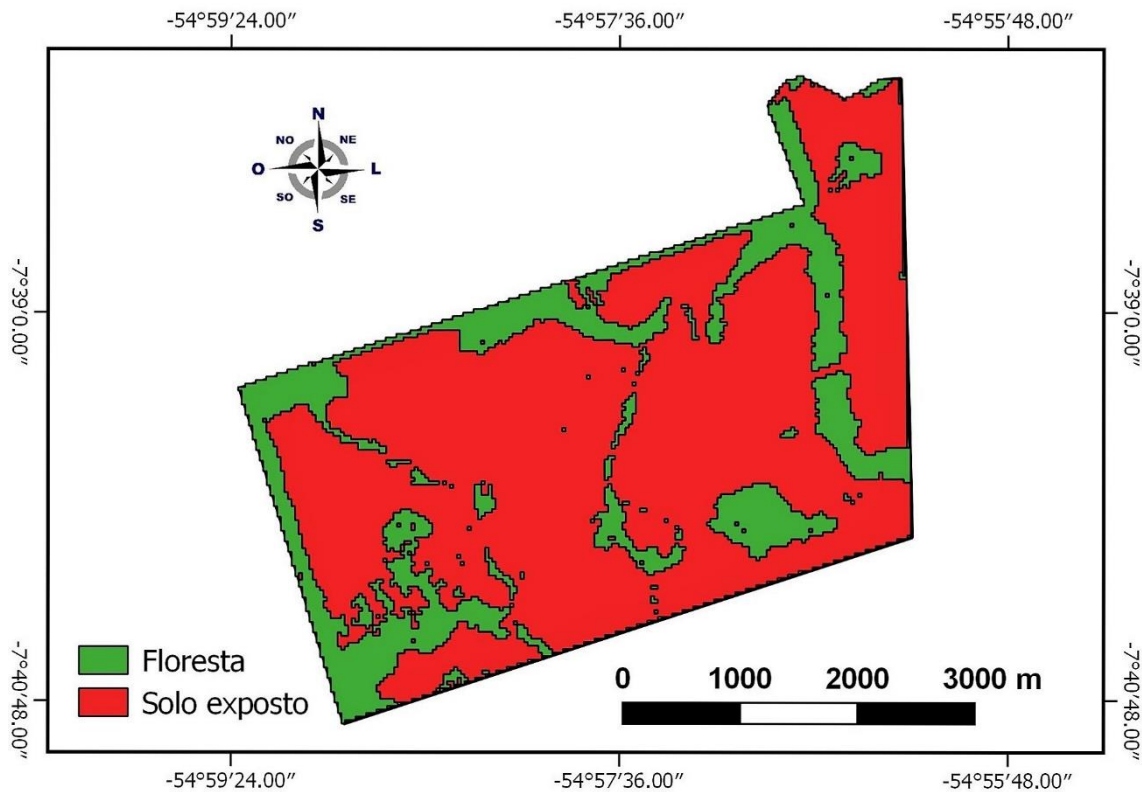


Figura 4. Poligonal demonstrativa de 1.764,22 hectares, vetorizada, embargada em 16/09/2005

A Figura 4 é uma representação vetorizada de uma poligonal embargada em 2005 devido a desmatamento ilegal para formação de pastagens. Pode-se observar que o autuado manteve apenas fragmentos de vegetação, sendo a região de Novo Progresso muito utilizada em atividade pecuária, possivelmente os fragmentos são para produzir sombra para rebanho bovino e/ou áreas de preservação permanente.

Vale ressaltar porém, que a análise através do NDVI mostra que o embargo não propiciou ao longo de aproximadamente 14 anos a recuperação da cobertura vegetal. Em análise preliminar, não foram eliminados os fatores de degradação que possibilitasse o franco desenvolvimento da regeneração natural.

Observa-se que nos polígonos monitorados remotamente, apesar da proximidade com fragmentos florestais, não foi possível a recuperação da cobertura florestal nessas áreas embargadas, isso pode ter ocorrido pela permanência dos fatores de degradação ambiental, cabendo nesses casos segundo Attanasio *et al.* (2006), intervenção com técnicas de recuperação de área degradada adequadas.

## 6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A classificação supervisionada dos alvos estudados, através do NDVI, mostrou-se uma excelente ferramenta para o monitoramento de áreas embargadas, corroborando com os resultados encontrados por Lobato *et al.* (2010); Lima *et al.* (2013) e Galvanin *et al.* (2014).

Somente a medida acautelatória de embargo não possibilitou a recuperação da cobertura vegetal e a eliminação de fatores de degradação para propiciar o desenvolvimento da regeneração natural. É necessário conciliar políticas públicas de fiscalização e controle, atrelada as técnicas de recuperação de áreas degradadas com regularização fundiária e ambiental.

Provavelmente, mesmo com o embargo de área e por outro lado, a ausência do poder público após a lavratura da multa, tem possibilitado ao infrator o uso contínuo da área, desta forma, é fato que o monitoramento do embargo é essencial para uma boa gestão de processos gerados pela fiscalização ambiental, sem necessidade de dispor de aeronaves e agentes ambientais *in loco*, o que pode reduzir o uso de recursos empenhados pela administração pública, e uma das ferramentas que podem ser utilizadas para o monitoramento dessas áreas embargadas é o NDVI.

## REFERÊNCIAS

ARRAES, R. A.; MARIANO, F. Z.; SIMONASSI, A. G. Causas do desmatamento no Brasil e seu ordenamento no contexto mundial. *Rev. Econ. Sociol. Rural*, Brasília, v. 50, n. 1, p. 119-140, Mar. 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-20032012000100007>.

ATTANASIO, C. M.; RODRIGUES, R. R.; GANDOLFI, S.; NAVE, A. G. Adequação ambiental de propriedades rurais: recuperação de áreas degradadas e restauração de matas ciliares: ESALQ, Piracicaba – SP, 65p.

BRASIL. Casa Civil. Grupo Permanente de Trabalho Interministerial para a Redução dos Índices de Desmatamento da Amazônia Legal. Plano de ação para a prevenção e controle do desmatamento na Amazônia Legal [PPCDAM]: 3ª fase (2012-2015). Brasília, 2013. 174 p.

BRASIL. Lei 7.735, de 22 de fevereiro de 1989. Dispõe sobre a extinção de órgão e de entidade autárquica, cria o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis e dá outras providências. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L7735.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L7735.htm)>. Acesso em: 22 jun. 2016.

CHAVEZ JR., P.S. Radiometric calibration of Landsat thematic mapper multispectral images. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, v. 55, p. 1285-1294, 1989.

FRAGAL, E. H.; MONTANHER, O. C. Correções atmosféricas 6s e DOS na caracterização espectral de alvos naturais de Ilha Grande utilizando dados do sensor TM 5. In: *Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR*, Curitiba, PR, Brasil, 2011, p.7456.

FRAGAL, E. H.; MORAES NOVO, E. M. L.; SILVA, T. S. F. Análise de bandas espectrais e índices de vegetação NDVI e NBR para a reconstrução histórica da alteração da floresta de várzea do Baixo Amazonas através de série temporal Landsat In: *Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR*, Curitiba, PR, Brasil, 2015.

GALVANIN, E. A. S.; NEVES, S. M. A. S.; CRUZ, C. B. M.; NEVES, R. J. JESUS, P. H. H.; KREITLOW, J. P. Avaliação dos índices de vegetação ndvi, sr e tvi na discriminação de fitofisionomias dos ambientes do pantanal de Cáceres/MT. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 24, n. 3, p. 707-715, jul.-set., 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (IBAMA). Manual de fiscalização ambiental: Procedimentos para operação do sistema de Auto de Infração Eletrônico (AI-e). Brasília – DF:IBAMA, 2016, 43p.



INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. Coordenação Geral de Observação da Terra – OBT. Projeto PRODES: monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite. Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/prodes/>> . Acesso em: 01 jun. 2016.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). Sistema DETER: detecção do desmatamento em tempo real. 2012b. Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/deter/index.html>>. Acesso em: 18 ago. 2016.

LIMA, G. C.; SILVA, M. L. M.; CURI, N.; SILVA, M. A.; OLIVEIRA, A. H.; AVANZI, J. C.; UMMUS, M. E. Avaliação da cobertura vegetal pelo índice de vegetação por diferença normalizada (IVDN). Revista Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science: v. 8, n. 2, 2013.

LOBATO, R.; MENEZES, J. LIMA, L. A.; SAPIENZA, J. A. Índice de vegetação por diferença normalizada para análise da redução da mata atlântica na região costeira do distrito de tamoios –Cabo Frio/RJ. Caderno de Estudos Geoambientais – CADEGEO v.01, n.01, p.14-22, 2010.

LOURENÇO, R. W.; LANDIM, P. M. B. Estudo da variabilidade do “índice de vegetação por diferença normalizada/NDVI” utilizando krigagem indicativa. HOLOS environment, v. 4, n. 1, p. 38-35, 2004.

MARCUSSI, Aline Braga; BUENO, Célia Regina Paes; MIQUELONI, Daniela Popim; ARRAES, Christiano Luna. Utilização de índices de vegetação para os sistemas de informação geográfica. Rev. Caminhos de Geografia, Uberlândia, v. 11, n. 35, p. 41-53, Set. 2010.

MATHER, P.M. Computer processing of remotely-sensed images: an introduction. New York: John Wiley & Sons, 1999, 292p.

PERROCA, M. G.; GAIDZINSKI, R. R. Avaliando a confiabilidade interavaliadores de um instrumento para classificação de pacientes - coeficiente Kappa. Rev. Esc. Enferm. USP, 2003; 37 (1): 72-80. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/reeusp/v37n1/09.pdf> . Acesso em 02 dez.16.

PRINA, B. Z.; TRENTIN, R. GMC: Geração de Matriz de Confusão a partir de uma classificação digital de imagem do ArcGIS®. Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, João Pessoa, PB, Brasil, 2015.

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, n. 3, 1973. Proceedings... Washington, p. 309–317, 1973.

SANCHES, I. D. A.; ANDRADE, R. G.; QUARTAROLI, C. F.; RODRIGUES, C. A. G. Análise comparativa de três métodos de correção atmosférica de imagens Landsat 5 – TM para obtenção de reflectância de superfície e NDVI. In: Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, Curitiba, PR, Brasil, 2011, p.7564.

SILVA, F. S.; PINTO, J. L. C. Comparativo estatístico multitemporal entre acp e NDVI na detecção de supressão da vegetação em Imagens landsat 5 TM. In: I Simpósio mineiro de geografia, Alfenas, MG, 2014.

SILVA, M. A. O.; ANDRADE, A. C. Geração de imagens de reflectância no topo da atmosfera e na superfície de um ponto de vista geométrico. Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 2013.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS). Landsat Project Description. Disponível em: <<http://landsat.usgs.gov>> Acesso em: 19 jul. 2016.