

# INDICADORES DE INDÍCIOS DE INCONFORMIDADE EM PLANOS DE MANEJO POR ANÁLISE DE CONSISTÊNCIA UTILIZANDO SENSORIAMENTO REMOTO E MOVIMENTAÇÃO DE CRÉDITOS FLORESTAIS: UM ENSAIO NO ESTADO DO PARÁ.

Afonso Henrique Moraes Oliveira<sup>1</sup>, João Ricardo Vasconcellos Gama<sup>2</sup>, Mauro Mendonça Magliano<sup>3</sup>, Lucas Mazzei<sup>4</sup>, Iara Musse Félix<sup>5</sup> e Gabriel Máximo da Silva<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal do Oeste do Pará, 68040-255 – Santarém – PA, Brasil, afonsoholiveira@gmail.com; <sup>2</sup>In memoriam  
<sup>3</sup>Polícia Federal, 70037-900, Brasília – DF, mauromagliano@gmail.com; <sup>4</sup>Embrapa Amazônia Oriental, 68020-640; Santarém – PA, lucas.mazzei@embrapa.br; <sup>5</sup>SCCON Geospatial, 04602-000 - São Paulo, iara.musse@sccon.br; e <sup>6</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 12.227-010 - São José dos Campos – SP, gabriel.maximo@inpe.br.

## RESUMO

As florestas são importantes para o bem-estar da humanidade e cerca de 1,6 bilhão de pessoas dependem diretamente da floresta. A indústria florestal madeireira contribui diretamente com US\$ 661 bilhões para o PIB global e as florestas absorvem 7,6 bilhões de toneladas de CO<sub>2</sub> por ano, mitigando 20% de emissões. No entanto, há desafios no monitoramento para o uso sustentável dos recursos florestais. Neste contexto, buscou-se propor uma metodologia do uso de Sensoriamento Remoto no monitoramento e na identificação de irregularidades em PMFS. Utilizou-se imagens da constelação PlanetScope e dados de movimentação de créditos florestais do Sistema de Comercialização e Transporte de Produtos Florestais do estado do Pará- Sisflora-PA. A avaliação preliminar da metodologia, ou seja, a análise combinada das imagens de satélite e da movimentação dos créditos florestais indicam resultados promissores do seu uso.

**Palavras-chave** — fraudes, perícia ambiental, monitoramento, exploração seletiva.

## ABSTRACT

*Forests are important for the well-being of humanity and about 1.6 billion people depend directly on the forest. The forest lumber industry directly contributes US\$ 661 billion to the global GDP and forests absorb 7.6 billion tons of CO<sub>2</sub> per year, mitigating 20% of emissions. However, there are challenges in monitoring for the sustainable use of forest resources. In this context, we sought to evaluate a case study of two areas in the state of Pará submitted to the PMFS and generically propose a methodology for monitoring and identifying non-compliance indicators and to evaluate the potential for detecting Remote Sensing fraud. Images of the PlanetScope constellation and data on the movement of forestry credits from Forest Products Trading and Transport System in the state of Pará Sisflora-PA were used. Both areas showed some level of irregularity and the combined analysis of satellite images, and the movement of forest credits proved to be promising for studies of this nature.*

**Key words** — fraud, environmental forensics, monitoring, selective logging.

## 1. INTRODUÇÃO

As florestas são importantes para o bem-estar da humanidade e cerca de 1,6 bilhão de pessoas dependem diretamente da floresta. A indústria florestal madeireira contribui diretamente com US\$ 661 bilhões para o PIB global e as florestas absorvem 7,6 bilhões de toneladas de CO<sub>2</sub> por ano, mitigando 20% de emissões [1, 2, 3]. Por isso, estudos que viabilizam o uso e a conservação da floresta em pé, notadamente no monitoramento da exploração florestal em PMFS são fundamentais para avaliar o cumprimento da legislação vigente, em complemento a sistemas de detecção de desflorestamento ilegal.

Sabe-se que a maior parte da atividade madeireira na região Amazônia é conduzida de forma ilegal e desordenada, principalmente em virtude de sua alta rentabilidade a curto prazo e da dificuldade de controle da atividade pelo Estado [4]. Neste contexto, a detecção remota tem o potencial de identificar áreas de extração seletiva de madeira devido aos distúrbios provocados no dossel florestal pela derrubada das árvores, o que possibilita o monitoramento de toda etapa da exploração madeireira no interior da floresta [5]. Assim, imagens de alta resolução espacial e temporal geradas por constelações de nanosatélites convertem-se em ferramenta importante para o monitoramento e combate de fraudes em planos de manejo florestal sustentável (PMFS) [6].

A condução e manejo florestal é a forma de utilização das florestas autorizada pelo Código Florestal de 1965 (art.15) e regulamentada originalmente pelo Decreto nº 1.282, de 19 de outubro de 1994, que instituiu o Plano de Manejo Florestal Sustentável. O PMFS é o documento técnico básico que contém as diretrizes e procedimentos para a administração da floresta, visando a obtenção de benefícios econômicos, sociais e ambientais, observada a definição de manejo florestal sustentável [7]. A quase totalidade da produção madeireira de florestas naturais da região Amazônica é originada do manejo florestal [8].

A Autorização de Exploração Florestal (AUTEF) o documento lançado no SISFLORA que autoriza o início da extração florestal nas áreas a serem manejadas com um período de validade definido. A AUTEF contém informações sobre as espécies que serão extraídas bem como a volumetria total autorizada. Este é um marco

temporal fundamental para o monitoramento, uma vez que a partir da autorização de corte nessa data, as alterações no dossel da floresta serão detectadas pelo sensoriamento remoto. Para a comercialização da madeira extraída é necessário inserir o volume total autorizado no SISFLORA/PA. Finalizada a inserção do volume autorizado no sistema, o produtor estará apto para efetuar a comercialização da madeira extraída [7]. Esse volume de madeira autorizado será identificado no sistema como Crédito Florestal, segundo determina o artigo 38º da IN 05 [7].

O presente trabalho buscou avaliar por meio de imagens de satélites e da movimentação de créditos florestais o uso de uma metodologia de monitoramento e identificação de indícios de irregularidades em PMFS na região Amazônica.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Área de estudo

A região de estudo localiza-se às margens da BR-230 (transamazônica), no oeste do estado do Pará, ao leste do município de Uruará (long: 53°21'18''W e lat: 3°44'10''S).

Um PMFS constante no SISFLORA com AUTEF ativa foi escolhido de forma aleatória dentre as 457 ativos no ano de 2022 no Estado do Pará (área 01). Após o sorteio, foi selecionado um segundo PMFS vizinho ao primeiro, conforme apresenta a Figura 1 (área 02).

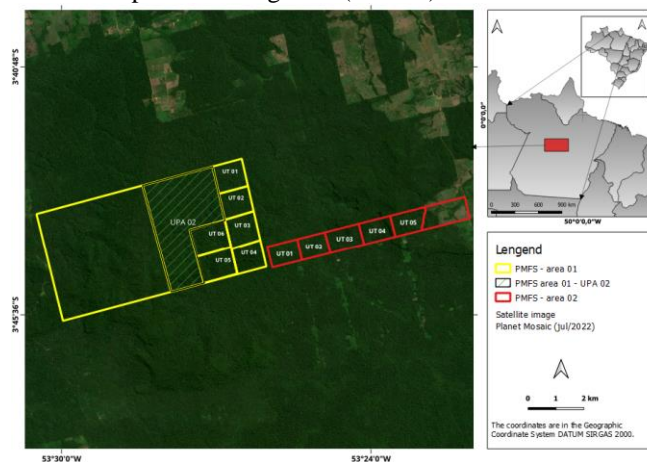


Figura 1. Área de estudo, com 2 PMFS aprovados e em execução.

### 2.2 Base de dados

#### 2.2.1 Imagens PlanetScope

A constelação de satélites *PlanetScope* consiste em vários lançamentos de grupos de satélites individuais (DOVES) que incluem uma constelação de CubeSats 3U (ou seja, 10 × 10 x 30 cm) com mais de 120 DOVES ativos. Estes sensores operam no mínimo em quatro bandas espectrais, azul (455–515 nm), verde (500–590 nm), vermelho (590–670 nm) e infravermelho próximo (780–860 nm)), com 3 m de resolução espacial e 12 bits de resolução

radiométrica. Os satélites da constelação Planet operam em órbita sol síncrona e capturam imagens da superfície terrestre diariamente [6].

Neste estudo, imagens *PlanetScope* foram adquiridas com nível de refletância da superfície dentro do período de validade das AUTEFs. Para detecção da mudança utilizou-se o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI). O NDVI é obtido a partir da seguinte equação:

$$NDVI = \left( \frac{NIR-RED}{NIR+RED} \right) \quad [9]$$

Após a realização do cálculo do NDVI, procedeu-se a binarização do raster buscando separar áreas de floresta densa de áreas com solo exposto. O limiar utilizado variou entre 0.5 e 0.7 e foi definido com base na literatura [9]. Então, as áreas com solo exposto foram vetorizadas para quantificar a exploração florestal.

#### 2.2.1 Dados de Créditos Florestais

A movimentação de créditos florestais foi obtida por meio da plataforma de monitoramento da Secretaria de Meio Ambiente do estado do Pará – SEMAS/PA (<https://monitoramento.semas.pa.gov.br/monitoramento/#/sig>). Essa plataforma disponibiliza informações espaciais referentes aos PMFS ativos do Estado. A partir destes dados, foram utilizadas as seguintes informações:

- Número da AUTEF* - Código que liga a AUTEF ao SISFLORA e possibilita buscas no sistema sobre o PMFS.
- Data Vencimento* - Prazo de validade da AUTEF.
- Produto* - Tipo de produto florestal que está sendo licenciado.
- Autorizado* - Volume total autorizado para exploração (mesmo volume que consta da AUTEF).
- Debitado* - Volume de madeira restante no sistema disponível para movimentação.
- Saldo* - Volume de madeira que já foi comercializada.

### 2.3. Procedimento de análise

A ocorrência da exploração florestal foi avaliada por meio das imagens *PlanetScope* durante o horizonte temporal de validade da AUTEF e, conseqüentemente, durante o período provável de movimentação dos créditos florestais do SISFLORA-PA. Analisou-se os seguintes parâmetros para detectar indícios de inconformidade:

- Movimentação de créditos florestais no SISFLORA dentro da área autorizada;
- Observância ao prazo de validade da AUTEF;
- Alteração da cobertura florestal dentro e fora dos limites autorizados na AUTEF.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 Área 01

A análise da movimentação dos créditos florestais no sistema mostrou que dos 14.934,3 m<sup>3</sup> de madeira em tora autorizados para extração, foram comercializados apenas 6.479,9 m<sup>3</sup>, cerca de 43% do total, dentro do período de validade da AUTEF (04/11/2019 a 03/11/2021). Dessa forma, havia *saldo* ao final do período de validade de 8.454,4 m<sup>3</sup> (67% do total).

Identificou-se as primeiras alterações na cobertura florestal no dia 07 de novembro de 2019, ou seja, dentro do prazo de vigência da AUTEF, 3 dias após a emissão da autorização (Figura 02). A utilização das imagens de alta resolução espacial permitiu identificar por meio do limiar definido de NDVI as alterações na cobertura vegetal no interior das Unidades de Trabalho (UTs).

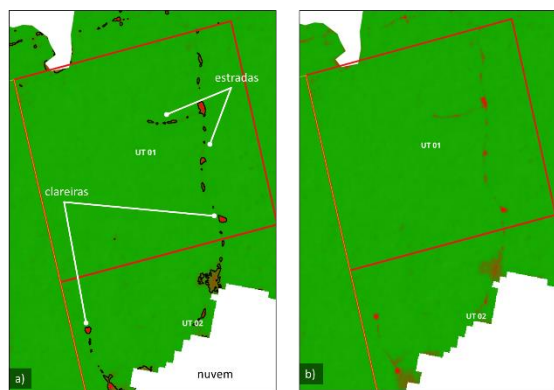


Figura 02. a) Detecção do início das operações nas UTs 1 e 2 da área 1 b) NDVI da área (07/11/2019).

No mês de setembro de 2020 identifica-se avanço da extração de madeira para as UTs 03, 04 e 05 (Figura 03). Nos meses subsequentes, não se identifica alterações da cobertura florestal nas UTs, sugerindo paralisação das atividades na Unidade de Produção Anual (UPA).

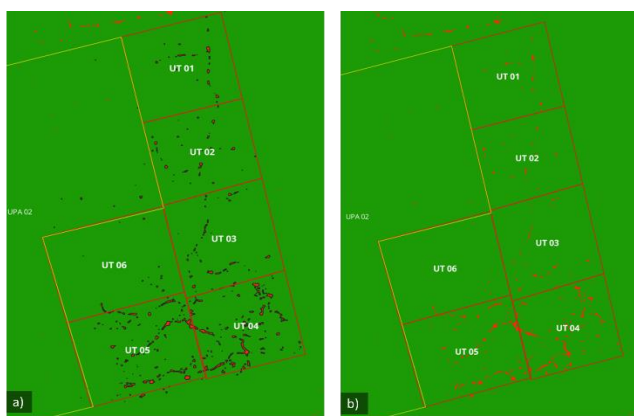


Figura 03. a) Detecção da continuação das operações na UPA; b) NDVI da área (16/09/2020).

Em julho de 2021 foi detectado o início de uma desconformidade com a AUTEF emitida. A UPA 02, que teoricamente deveria ser explorada na próxima safra, inicia a extração em sua porção norte, sem que toda a UPA 01 tenha sido manejada, sem que os créditos tenham sido movimentados no sistema e sem que tenha sido emitida uma nova AUTEF para UPA 02 (Figura 04). Em agosto de 2021 foi detectada a intensificação da exploração na porção norte da UPA-02 e a abertura de uma estrada para acesso a um PMFS adjacente.

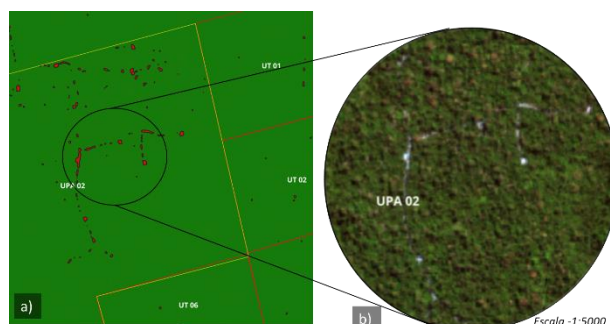


Figura 04. a) Detecção do início da extração na UPA 02; b) imagens RGB no detalhe (01/07/2021).

A partir dessa data, não foram identificadas alterações na cobertura florestal, sugerindo que as operações de extração de madeira na UPA 2 foram finalizadas, culminando com a expiração da AUTEF em novembro de 2021, restando um saldo vencido de 8.454,4 m<sup>3</sup> de madeira no sistema, conforme apresenta a Figura 05.

Data Vencimento:	03/11/2021		
Quantificação autorizada			
Produto	Autorizado	Debitado	Saldo
Tora	14.934,3 M3	6.479,9 M3	8.454,4 M3

Figura 05. Movimentação dos créditos florestais no sistema (consultado dia 12/07/2022).

#### 3.2 Área 02

A análise da movimentação dos créditos florestais no sistema mostrou que dos 6.494,3 m<sup>3</sup> de madeira em tora autorizados para extração, foram comercializados todos os créditos, ou seja, 100% da madeira foi movimentada no sistema. Ressalta-se que a AUTEF tem validade de 27/07/2021 a 27/07/2023 e todo crédito florestal já foi transacionado.

Um mês após a AUTEF ter sido aprovada (agosto/2021), foi aberto um acesso do PMFS da área 01 para a área 02.

No mês de setembro de 2021 a abertura do acesso alcança outras UTs e chega até a UT 04. No entanto, não observa-se sinais de extração de madeira, tais como abertura de pátios e estradas secundárias (Figura 06).



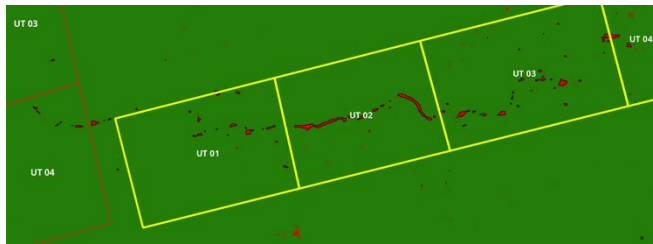


Figura 06. Abertura de acesso ao longo da UPA1 da área 2 (16/09/2021).

Não se identificou outras mudanças nas imagens nos meses subsequentes, sugerindo que a área interrompeu a exploração precocemente. No entanto, mesmo não identificando-se alterações nas imagens compatíveis com a exploração completa do volume autorizado, todo crédito florestal foi movimentado no sistema e o saldo encontra-se zerado, conforme apresenta a figura 07.

Data Vencimento:	27/07/2023		
Quantificação autorizada			
Produto	Autorizado	Debitado	Saldo
Tora	6.494,3 M3	0,0 M3	6.494,3 M3

Figura 07. Movimentação dos créditos florestais no sistema (consultado dia 12/07/2022).

#### 4. DISCUSSÃO

Ambas áreas avaliadas apresentam indícios de inconformidades relacionadas a execução do PMFS de acordo com os pontos analisados. Irregularidades em áreas autorizadas são utilizadas para acobertar o comércio de madeiras oriundas de áreas não autorizadas, conhecidas como “esquentamento de madeira”, por meio de fraudes e outras desconformidades detectadas na região amazônica, sobretudo em áreas remotas e de difícil acesso [2].

A ausência de pessoal suficiente em campo e as limitações dos mecanismos atuais de monitoramento contribuem para o crescimento e fortalecimento de ilícitos em áreas de PMFS [4].

Estudos que subsidiem novos mecanismos de combate e controle da exploração seletiva de madeira ilegal fazem-se necessários a medida em que os criminosos evoluem na forma de burlar as leis, adotando métodos cada vez mais sofisticados [4].

A estrutura de análise apresentada neste artigo já se mostra suficiente para detecção de indícios de inconformidade, embora não expliquem completamente a dinâmica de extração, como pode ser visto na Área 2, que teve um padrão compatível com a atividade de exploração seletiva, mas não corresponde, aparentemente, ao volume declarado de extração florestal.

O monitoramento remoto em áreas de PMFS utilizando imagens de alta resolução espacial e temporal mostraram-se

promissores como ferramenta efetiva no combate à crimes em áreas de PMFS, porém carecem estudos mais aprofundados sobre o tema [5].

#### 5. CONCLUSÕES

Dados de Sensoriamento Remoto de alta resolução espacial e temporal utilizados simultaneamente com informações sobre a movimentação de créditos no Sisflora, apresentaram-se promissores para o monitoramento e identificação de indícios de inconformidades em áreas submetidas ao PMFS.

O uso de imagens de alta resolução espacial e temporal são capazes de acompanhar nitidamente todo processo de extração de madeira em área com PMFS.

A materialidade de indícios de fraudes em PMFS detectadas por Sensoriamento Remoto precisam ser validadas com visita *in loco* para confirmação das informações, podendo servir *a priori* como indicador de áreas com suspeitas de irregularidades.

Espera-se com o trabalho contribuir com estudos aplicados ao fortalecimento dos órgãos de comando e controle que atuam na Amazônia e com a manutenção da sustentabilidade do setor florestal.

#### 6. REFERÊNCIAS

- [1] Harris, N.L., Gibbs, D.A., Baccini, A. et al. Global maps of twenty-first century forest carbon fluxes. *Nat. Clim. Chang.* 11, 234–240 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41558-020-00976-6>.
- [2] Hoare, A. (2015). *Illegal Logging and Related Trade: The Response in Cameroon*.
- [3] FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO), WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). *Food safety risk analysis. A guide for national food safety authorities*. Rome: FAO; 2006.[4] IMAZON. 2021. *Sistema de Monitoramento da Exploração Madeireira (Simex): Mapeamento da exploração madeireira na Amazônia – Agosto 2019 a Julho 2020* (p. 1). Belém: Imazon, Idesam, Imaflora e ICV. [5] C. D. Jones, A.B. Smith, and E. F. Roberts. *Título do Livro*. Ed.
- [5] INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). *Sistema de detecção do desmatamento em tempo real na Amazônia - DETER: aspectos gerais, metodológicos e plano de desenvolvimento*. São José dos Campos: INPE, 2008c. 16 p.
- [6] Petri, et al . Solar illumination effects on the dry-season variability of spectral and spatial attributes calculated from PlanetScope data over tropical forests of the Amazon. *INTERNATIONAL JOURNAL OF REMOTE SENSING*, v. 43, p. 4087-4116, 2022.
- [7 ] BRASIL. Governo Federal – Ministério do Meio Ambiente. Instrução Normativa 05, de 11 de dezembro de 2006. Diário Oficial da União: 13 dezembro 2006.
- [8] IBGE. Pesquisa da Extração Vegetal e da Silvicultura (PEVS). Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9105-producao-da-extracao-vegetal-e-da-silvicultura.html>? Acesso em: 01 set. 2022.
- [9] J. W. Rouse, et al. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. *Proceedings of the Third Earth Resources Satellite-1 Symposium* (Maryland: NASA SP-351) pp. 309–317, 1973.