



Mapeamento de clareiras em áreas de exploração madeireira na Amazônia utilizando tecnologias de sensoriamento remoto e machine learning

Gean Paulino Montagnolli¹ - Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-8724-5614>
Caroline Maia de Souza² - Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-5701-3350>
Suelen Tainã Silva Fagundes³ - Orcid: <http://orcid.org/0000-0002-2187-2567>
Jhony Vendruscolo⁴ - Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-3043-0581>
Marta Silvana Volpato Scoti⁵ - Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-5979-3218>

¹ Universidade Federal de Rondônia (UNIR), Rolim de Moura/RO, Brasil *

² Universidade Federal de Rondônia (UNIR), Rolim de Moura/RO, Brasil **

³ MADEFLONA Industrial Madeireira Ltda, Itapuã D'Oeste/RO, Brasil ***

⁴ Universidade Federal de Rondônia (UNIR), Rolim de Moura/RO, Brasil ****

⁵ Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria/RS, Brasil *****

Artigo recebido em 23/05/2024 e aceito em 16/12/2025

RESUMO

O sensoriamento remoto é amplamente utilizado para o monitoramento das florestas tropicais. No Brasil o Projeto PRODES é uma referência de controle e monitoramento do desmatamento, que fazia uso de imagens Landsat 5 com média resolução espacial (de 10 a 30 m). Ao longo dos anos, outras ferramentas foram aprimoradas, gerando dados de melhor qualidade e em menor tempo. Atualmente, mapas básicos mensais de 64 países tropicais, com alta resolução espacial (de 1 a 5 m), e permitem mapear clareiras na vegetação. Assim, este estudo teve por objetivo avaliar a eficiência das imagens Planet para quantificar clareiras formadas pela exploração madeireira. A área estudada foi uma Unidade de Produção Anual (UPA), na Floresta Nacional do Jamari, sob regime de concessão florestal. As imagens foram tratadas e, em seguida, aplicou-se o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) e a classificação supervisionada pelo modelo probabilístico Gaussian mixture model para identificar clareiras provenientes de exploração. Concomitante às imagens de satélite, utilizou-se dados de levantamento de danos a

* Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Universidade Federal de Rondônia (UNIR), Rolim de Moura/RO. E-mail: geanpaulinom@gmail.com.

** Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Universidade Federal de Rondônia (UNIR), Rolim de Moura/RO. E-mail: carol.af012@gmail.com.

*** Engenheira Florestal da Empresa Madeflona Industrial madeireira. E-mail: taynanfag@hotmail.com

**** Doutor em Ciência do Solo (UFPB), Professor do Departamento Acadêmico de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Rondônia (UNIR), Rolim de Moura/RO, E-mail: jhony@unir.br.

***** Doutora em Engenharia Florestal (UFSM), Professora do Departamento de Engenharia Florestal na Universidade Federal de Santa Maria. E-mail: martascoti@unir.br



campo coletados pela empresa concessionária. A classificação das imagens apontou 9,43% da área de efetiva exploração da UPA com abertura de dossel e a quantificação dos danos em campo contabilizou, 11,91%. Não foi possível classificar as clareiras provenientes de ramais de arraste e clareiras de abate com copas pequenas pelas imagens. No entanto, o estudo se mostrou eficaz no monitoramento de clareiras causadas por estradas e abate de árvores com copas grandes. Isso destaca sua importância no controle e monitoramento do desmatamento na Amazônia.

Palavras-chave: geoprocessamento; recursos florestais; silvicultura; sustentabilidade; Amazônia.

Mapping of clearings in logging areas in the Amazon using remote sensing and machine learning technologies

ABSTRACT

Remote sensing is widely used to monitor tropical forests. In Brazil, the PRODES Project is a benchmark for controlling and monitoring deforestation, which used Landsat 5 images with medium spatial resolution (from 10 to 30 m). Over the years, other tools have been improved, generating better quality data in less time. Currently, monthly base maps of 64 tropical countries have high spatial resolution (1 to 5 m) and make it possible to map vegetation gaps. The aim of this study was to evaluate the efficiency of Planet images in quantifying clearings formed by logging. The area studied was an Annual Production Unit (UPA) in the Jamari National Forest, under a forest concession regime. The images were processed and then the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and supervised classification using the probabilistic Gaussian mixture model were applied to identify clearings caused by logging. In addition to the satellite images, field damage survey data collected by the utility company was used. The classification of the images showed that 9.43% of the area of effective exploitation of the UPA had been cleared of canopy and the quantification of damage in the field showed 11.91%. It was not possible to classify clearings from skid trails and felling clearings with small canopies using the images. However, the study proved to be effective in monitoring clearings caused by roads and the felling of trees with large crowns. This highlights its importance in controlling and monitoring deforestation in the Amazon.

Keywords: geoprocessing; forest resources; forestry; sustainability; Amazon.

Maapeo de claros en zonas madereras de la Amazonia mediante tecnologías de teledetección y aprendizaje automático

RESUMEN

La teledetección se utiliza ampliamente para vigilar los bosques tropicales. En Brasil, el Proyecto PRODES es una referencia para el control y seguimiento de la deforestación, que utilizaba imágenes Landsat 5 con una resolución espacial media (de 10 a 30 metros). A lo largo de los años, se han mejorado otras herramientas, generando datos de mejor calidad en menos tiempo. Actualmente, se dispone de mapas base mensuales de 64 países tropicales, con alta resolución espacial (de 1 a 5 metros), que permiten cartografiar los claros de vegetación. El objetivo de este estudio era evaluar la eficacia de las imágenes Planet para cuantificar los claros formados por la tala. El área estudiada fue una Unidad de Producción Anual (UPA) de la Selva Nacional de Jamari, en régimen de concesión forestal. Las imágenes se procesaron y, a continuación, se aplicaron el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) y la clasificación supervisada mediante el modelo probabilístico de mezcla gaussiana para identificar los claros causados por la tala. Además de las imágenes de satélite, se utilizaron los datos del estudio de daños sobre el terreno recogidos por la empresa de servicios públicos. La clasificación de las imágenes mostró que el 9,43% de la superficie de explotación efectiva de la UPA había sido desbrozada y la cuantificación de los daños sobre el terreno mostró un 11,91%. No fue posible clasificar con las imágenes los claros de pistas de arraste y los claros de tala con copas pequeñas. Sin embargo, el estudio demostró ser eficaz para controlar los claros causados por carreteras y la tala de árboles con copas grandes. Esto pone de relieve su importancia para el control y la vigilancia de la deforestación en la Amazonia.

Palabras clave: geoprocasamiento; recursos forestales; silvicultura; sostenibilidad; Amazon.

INTRODUÇÃO

O uso de sistemas de monitoramento florestal via satélite na Amazônia, teve um papel fundamental no controle do desmatamento. Implementado em 1998, o projeto PRODES, gerou dados de aproximadamente, 490.871 km² de desmatamento na Amazônia Legal (INPE, 2023). A metodologia PRODES, utiliza imagens de satélites da classe LANDSAT (20 a 30 metros de resolução espacial e taxa de revisita de 16 dias), baseia-se na interpretação visual das classes de uso do solo e permite a identificação de polígonos de desmatamento com área mínima a partir de 6,25ha (INPE, 2023).

Outros programas foram implementados como DETEX (INPE, 2008) e DETER (Diniz et al., 2015) que passaram a proporcionar a detecção de desmatamento e outras alterações na cobertura vegetal com melhor resolução espacial e temporal. Essas ações foram importantes para o controle do desmatamento na Amazônia (Assunção, 2023) e subsidiar outras políticas públicas no Brasil.

Nesse contexto, a empresa Planet Labs, possui um projeto financiado pela Iniciativa Climática e Florestal da Noruega (NICFI). O projeto disponibiliza acesso a mapas básicos mensais de alta resolução de 64 países tropicais para ajudar a combater o desmatamento. As cenas são capturadas por meio de uma constelação com mais de 130 satélites, as imagens possuem resolução espacial de até 5 metros e são ortorretificadas, a resolução espacial varia conforme o satélite e a órbita no qual foi posicionado (SCCON, 2023).

Iniciativas como o projeto Alerta MapBiomass utiliza machine learning para a elaboração automatizada de laudos periciais com base em imagens de alta resolução (Planet Labs) (Gonzaga et al., 2022). Essas ferramentas de controle, ainda podem ser utilizadas para outras finalidades, como o monitoramento de alterações no dossel da floresta em áreas públicas de uso sustentável, submetidas à concessão florestal.

A concessão florestal foi uma ferramenta institucionalizada na estrutura da política florestal brasileira para atender as metas previstas firmadas em acordos internacionais, como o REDD+ (Redução de Emissões por Desflorestação e Degradação Florestal em Países em Desenvolvimento), e o PPG7 - Programa Piloto para Proteção das Florestas Tropicais do Brasil –PPG7 (Chaves, 2009; Silva, 2020).

Por outro lado, é necessário o uso de métodos confiáveis que gerem indicadores técnicos que possam mensurar a eficiência dessas políticas em atingir seus objetivos e metas (Goetz et al., 2015; Matricardi et al., 2020).

O monitoramento e avaliação constante da floresta são ferramentas previstas nos contratos de concessão, a fim de compreender os processos e impactos das atividades realizadas nas florestas manejadas (Alves et al., 2022). Nas áreas de exploração esse monitoramento é feito utilizando parcelas permanentes (De Oliveira, et al., 2019; Fagundes, et al., 2020; Felberg et al., 2021) e com uso de técnicas de

geoprocessamento que permitem avaliar uma extensão maior de área (Nery et al., 2013; Locks; Matricardi, 2019; Gomes et al., 2020).

De acordo com Matricardi et al. (2020), um desafio encontrado no monitoramento da degradação em áreas com corte seletivo, por meio do uso de imagens, é que nesse sistema de manejo o estoque permanente de biomassa e cobertura de copa pode dificultar a detecção dos danos.

O uso de sensores como o LiDar-Aéreo Transportado tem se mostrado uma alternativa eficiente para mapear distúrbios florestais antropogênicos em florestas tropicais (Gomes et al., 2020; Almeida et al., 2019). Por outro lado, as imagens de sensores orbitais de maior resolução espacial e temporal geralmente permitem a detecção de perturbações de maneira menos onerosa (Junior et al., 2017). Assim, o uso de imagens de satélite disponíveis gratuitamente é atualmente a forma viável de mapear mudanças em grandes áreas (Wang et al., 2019). No entanto, a capacidade dos métodos está relacionada à intensidade da degradação e às características da base de dados como a resolução espacial e temporal das imagens de satélite (Gao et al., 2020).

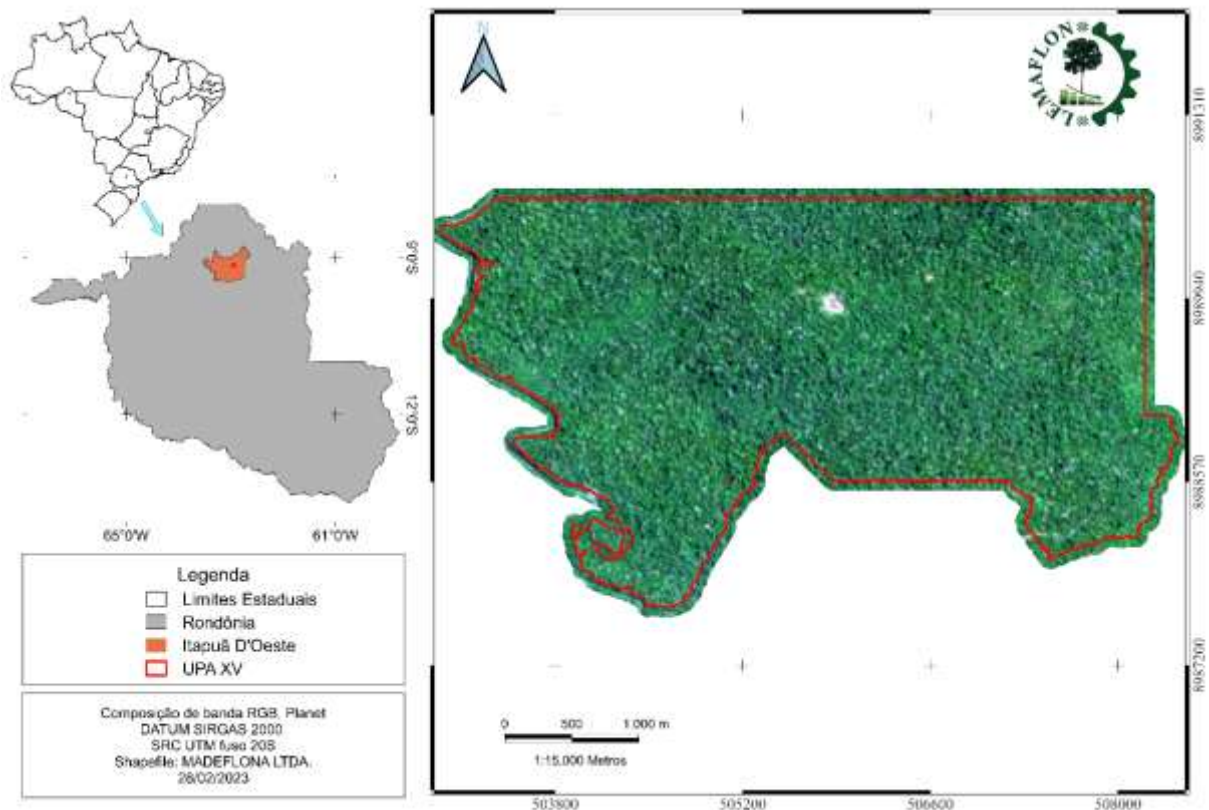
Diante desse cenário, é importante a análise da eficiência de outras técnicas de monitoramento. Assim, este estudo teve por objetivo quantificar as clareiras formadas por infraestruturas e corte de árvores da exploração florestal por meio de imagens de alta resolução espacial dos satélites Planet e comparando com medidas de campo em área de concessão na Floresta Nacional do Jamari localizada na Amazônia Sul-Occidental.

METODOLOGIA

Localização da área em estudo

O estudo foi desenvolvido na Unidade de Produção Anual (UPA) XV, na Unidade de Manejo Florestal (UMF) IV, na Floresta Nacional do Jamari, sob regime de concessão florestal (Figura 1). A UPA XV apresenta uma área total de 1.140,83 ha e área efetiva de exploração de 956,55 ha. A exploração ocorreu entre os meses de abril e setembro de 2021, utilizando técnicas de exploração de impacto reduzido, apresentando uma intensidade de corte de 18,29 m³·ha⁻¹.

Figura 1 - Localização da Unidade de Produção Anual (UPA) XV, Unidade de Manejo Florestal IV, Flona do Jamari, RO.



Fonte: Os autores (2023).

O clima da região é do tipo Am (monção), com média anual de temperatura variando entre 24 a 26 °C e período seco bem definido de junho a agosto, a média anual de precipitação varia de 1.440 a 2.600 mm ano-1 (Alvares et al, 2013; Rondônia, 2010).

A vegetação predominante na área é a Floresta Ombrófila Aberta (IBGE, 2012). Nas áreas de efetiva exploração ocorre o abate das árvores e a infraestrutura do manejo, compreendida pelas estradas principais e secundárias, pátios de estocagem e ramais de arraste. As principais espécies madeireiras colhidas na UPA XV, onde diâmetro mínimo de colheita é de 50 cm, foram *Dinizia excelsa* Ducke (Faveira-ferro), *Tabebuia serratifolia* (Vahl) G. Nichols. (Ipê-roxo), *Apuleia molaris* Spruce ex Benth. (Garapeira) com volume de 386,94 m³, 163,90 m³, 99,35 m³, respectivamente.

Análise de detecção de distúrbios do dossel usando imagens do satélite Planet

As imagens de satélite utilizadas neste trabalho foram obtidas da base de dados do Planet, disponível em <https://www.planet.com/> (Quadro 01).

Quadro 1 - Especificações técnicas das cenas obtidas através do satélite Planet.

Instrumento	Bandas Espectrais	Domínio Espectral (nm)	Resolução Espacial (metros)	Resolução Temporal (dias)	Resolução Radiométrica (bits)
Super Dove (PSB.SD)	Blue	455 – 515	4,7	Diária	12 bits
	Green	500 – 590			
	Red	590 – 670			
	NIR	780 – 860			

Fonte: Adaptado Secon geoespacial (2023).

As imagens obtidas para a área da UPA XV correspondem a três marcos temporais (Quadro 2).

Quadro 2 – Período e data correspondente das cenas do satélite Planet utilizadas para estudos de alterações no dossel em área de manejo florestal na Flona do Jamari, RO.

Período	Data da cena
Floresta sem intervenção	Setembro de 2020
Após construção de estradas principais, secundárias e pátios	Outubro de 2020
Após abate de árvores	Outubro de 2021

Fonte: Os Autores (2023).

Os dados foram processados e manipulados utilizando o *software* livre QGIS 3.28.3-Firenze. Iniciou-se com a criação de um buffer na área da UPA, dando uma margem de modo que os pixels da borda da área de interesse fossem representativos. Em seguida, reprojetou-se todas as imagens para o mesmo Datum Sirgas 2000, UTM zona 20S.

Para avaliar a área explorada calculou-se o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), desenvolvido por Rouse et al. (1974) (Equação 1).

Equação 1 - Índice de Vegetação da Diferença Normalizada

$$NDVI = \frac{(\rho_{IVP} - \rho_V)}{(\rho_{IVP} + \rho_V)}$$

Onde: ρ_{IVP} = reflectância no infravermelho próximo e ρ_V = reflectância no vermelho.

O método utilizado para classificação das imagens foi a classificação supervisionada por Gaussian mixture model, um tipo de algoritmo de aprendizado de máquina (machine learning), que começa com um

conjunto de dados rotulados, que consiste em amostras das classes às quais pertencem cada feição da imagem. Essas amostras são então utilizadas para estimar as probabilidades das diferentes classes que ocorrem em uma determinada região da imagem (Venturieri e Santos, 1998; Scikit-Learn, 2019). Neste estudo, foram rotuladas 80 amostras, divididas em floresta e clareiras/solo exposto para as definições das classes.

Com as imagens classificadas é necessário avaliar a acurácia do modelo de classificação, neste caso a métrica utilizada foram os índices gerados a partir da matriz de confusão. Sendo os principais: o índice de exatidão global (Equação 2) e o índice Kappa. A exatidão global é calculada dividindo o número total de pixels classificados corretamente pelo número total de pixels na imagem.

Equação 2 - Índice de exatidão global

$$EG = \frac{A}{n} \times 100$$

Onde: EG = Exatidão Global, A = Total de acertos, n= Número total de pontos amostrais.

A exatidão global é uma métrica simples, porém importante, pois fornece uma medida geral da qualidade do modelo de classificação supervisionada. O índice Kappa (Equação 3) foi utilizado como métrica de concordância interavaliadores, a fim de avaliar a confiabilidade das classificações realizadas.

Equação 3 - Índice Kappa

$$K = \frac{[N \times \sum_{i=1}^r x_{ij} - \sum_{i=1}^r (x_i * x_j)]}{N^2 - \sum_{i=1}^r (x_i * x_j)}$$

Onde: K é o índice de exatidão Kappa, N é o número total de observações, r é o número de linhas na matriz, e x_{ij} o número de observações na linha (i) e coluna (j).

A partir da matriz de confusão pode ser quantificado o índice Kappa, que atesta a qualidade da classificação, retratando o grau de concordância dos dados (Quadro 3) (Landis e Koch, 1977).

Quadro 3 - Valores de Índice Kappa.

Índice Kappa	Desempenho
< 0	Péssimo
$0 < k \leq 0,2$	Ruim
$0,2 < k \leq 0,4$	Razoável
$0,4 < k \leq 0,6$	Bom
$0,6 < k \leq 0,8$	Muito Bom
$0,8 < k \leq 1,0$	Excelente

Fonte: Landis e Koch (1977).

Após atestada a acurácia dos dados foi realizada a medição das áreas classificadas pelo algoritmo que identificou as clareiras na área estudada, classificando as alterações no dossel da floresta de acordo com a influência antrópica, assim podendo comparar os resultados obtidos com dados em campo.

Análise da abertura de clareiras por meio de avaliação em campo

As informações coletadas em campo sobre a abertura de clareiras provenientes da exploração florestal na área de manejo florestal sustentável da UPA XV foram realizadas pela empresa MADEFLONA Industrial Madeireira Ltda. concessionária da Unidade de Manejo (UMF) IV na Floresta Nacional do Jamari. Neste relatório são gerados dados das clareiras provenientes da infraestrutura do manejo florestal (ramais de arraste, estradas secundárias e os pátios de estocagem) e das árvores abatidas.

A quantificação de clareiras provenientes da abertura de estradas secundárias e pátios de estocagem foi avaliada em toda a área da UPA XV. Ao total foram avaliados 102 pátios de estocagem e suas respectivas estradas.

Nos pátios mediu-se o comprimento e a largura e foram fixadas estacas de madeira no centro de cada extremidade medida, que serviram como ponto de referência (Figura 2).

Figura 2 - Mensuração da largura de um pátio de estocagem com auxílio de fita métrica e estacas fixadas no centro da lateral do pátio.

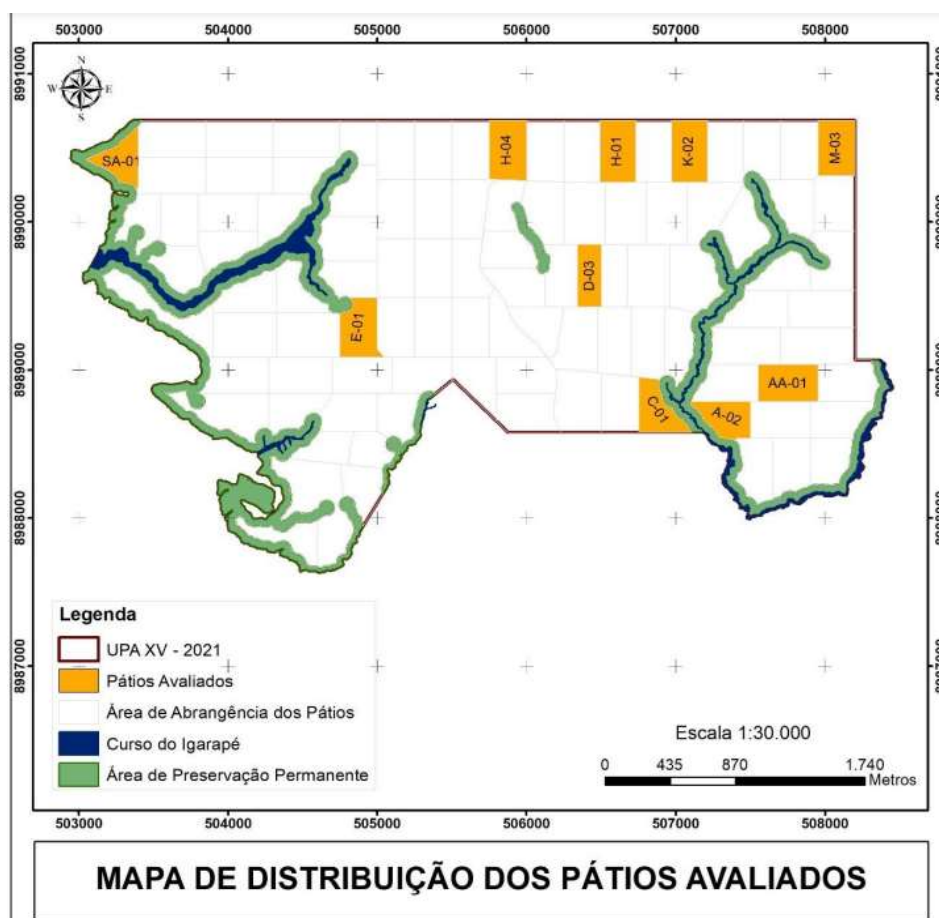


Fonte: Os Autores (2021).

As estradas secundárias existentes na UPA XV foram rastreadas com uso de GPS e medidas a sua largura. Para a determinação da área, foi medido a largura ao longo da estrada secundária, a cada 30 metros dos pátios de estocagem. Nesse sentido, foram realizados 102 pontos de medição da largura nas estradas secundárias, e o comprimento foi medido utilizando o aparelho de GPS.

A quantificação de clareiras formadas pela abertura dos ramais de arraste foram provenientes de um sorteio aleatório de 10 pátios (Figura 3). Dentro da área de abrangência de cada pátio sorteado todos os ramais de arraste (principal e secundário) foram mensurados, assim como as clareiras formadas pelas árvores exploradas. Entende-se como ramal principal aquele cujo planejamento é feito interligando o pátio de estocagem à árvore mais distante a ser arrastada e, o ramal secundário, aquele que inicia a partir de um ramal principal na forma de “espinha de peixe” e finaliza na borda da clareira da árvore explorada.

Figura 3 - Pátios sorteados para avaliação em campo de danos pós-colheita, na UPA XV, UMF IV Floresta Nacional do Jamari - RO.



Fonte: Madeflona (2022).

A medição do ramal principal iniciou-se no sentido pátio para toco da árvore cortada mais distante e dos ramais secundários sentido ramal principal para toco da árvore cortada. Para a determinação da largura foram fixadas estacas de madeira nas extremidades dos ramais a 10m do pátio e, a partir desse ponto, a cada 100m. Esse procedimento foi repetido até atingir a primeira borda da clareira de abate, onde fixa-se novamente as estacas sinalizando o fim de cada ramal. O comprimento de todos os ramais de arraste foram medidos com auxílio de GPS.

A medição das clareiras provenientes do abate de árvores consistiu na determinação do comprimento e largura da área compreendida pelo fuste e a copa da árvore explorada. Foi mensurado, para os 10 pátios, um total de 200 clareiras provenientes do corte de árvores. A partir da área de clareira encontrada para cada árvore foi determinado o valor de clareira por m³ de madeira explorado (CME_i), seguindo a fórmula:

$$CME_i = \frac{A_i}{v_i}$$

Onde: CME_i = Clareira por m^3 explorado para árvore i -ésima, A_i = Área em m^2 medida em campo para i -ésima árvore, e v_i = Volume Explorado da i -ésima árvore.

E para os ramais de arraste foi utilizada a seguinte fórmula:

$$RAA_i = \frac{\sum A_i}{R}$$

Onde: RAA_i = Ramal de arraste avaliado ($m^2/pátio$) no i -ésimo pátio, A_i = Área em m^2 medido para o i -ésimo ramal de arraste, e R = Número de ramais de arraste avaliados no i -ésimo pátio.

Com as medidas obtidas para os dez pátios, foi obtido o valor médio de CME e RAA e gerada a estimativa de clareiras para os 102 pátios da área efetiva de exploração.

Com as imagens classificadas e confirmadas a sua acurácia foi calculado as alterações de dossel para toda área da UPA XV e comparado com os dados observados em campo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados obtidos a partir da matriz de confusão comprovaram a acurácia do modelo de classificação para a detecção de clareiras em áreas de exploração florestal (Tabela 1).

Tabela 1 - Matriz de confusão da classificação supervisionada por machine learning realizada para detecção de clareiras provenientes do manejo florestal na Flona do Jamari, RO.

Classificação após a construção de estradas (P2)							
Dados de Referência				Acurácia do	Acurácia	Acurácia	Índice
Classificação	Floresta	Clareira	Total	Produtor	do Usuário	Global	Kappa
Floresta	3447	0	3447	99,09%	100%	99,143%	0,9247
Clareira	32	210	242	100%	86,77%		
Total	3479	210	3689	--			
Classificação Pós exploratória (P3)							
Dados de Referência				Acurácia do	Acurácia	Acurácia	Índice
Classificação	Floresta	Clareira	Total	Produtor	do Usuário	Global	Kappa
Floresta	3242	0	3242	99,94%	100%	99,945%	0,9964
Clareira	3	446	449	100%	99,33%		
Total	3245	446	3691	--			

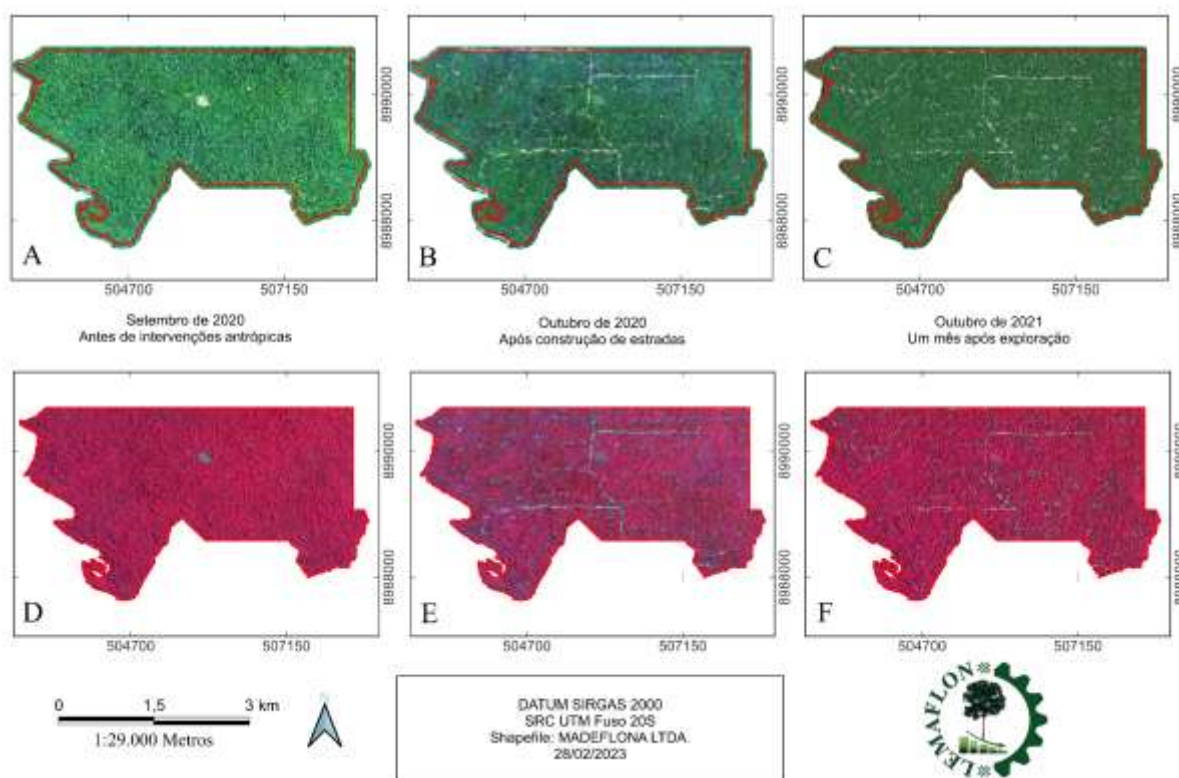
Fonte: Os Autores (2023).

A classificação após a abertura das estradas e pátios apresentou índice de exatidão global de 99,14% demonstrando que mais de 99% das amostras foram identificadas corretamente. Para a classificação

correspondente a todo período da Exploração por Impacto Reduzido (EIR), o índice de exatidão global foi de 99,94% e o índice Kappa de 99,64% foi classificado como excelente. Esses valores demonstram que as amostras utilizadas para a classificação supervisionada são representativas e os resultados decorrentes desta classificação são acurados e precisos.

Comprovada a eficiência da classificação supervisionada, foi possível identificar a abertura de dossel na UPA XV para quatro estruturas, sendo elas: estrada principal, estrada secundária, pátios e clareiras de exploração. O Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) (Figura 4), enfatiza as áreas de cobertura vegetal e aberturas de dossel nos três períodos de análise (P1, P2 e P3).

Figura 4 - Composição de bandas em cores verdadeiras (A, B e C) e NDVI (D, E e F) correspondente aos períodos sem intervenções (P1), após construção de estradas e pátios (P2) e após o abate de árvores (P3), respectivamente, na UPA XV, UMF IV na FLONA do Jamari - RO.



Fonte: Os Autores (2023).

Houve uma diminuição gradual das áreas de floresta para os três períodos analisados (Tabela 2), essa diminuição se deve as operações decorrentes da exploração de impacto reduzido. As intervenções pela construção de estradas e pátios e exploração das árvores geraram uma diminuição na ordem de 9,43% da cobertura florestal.

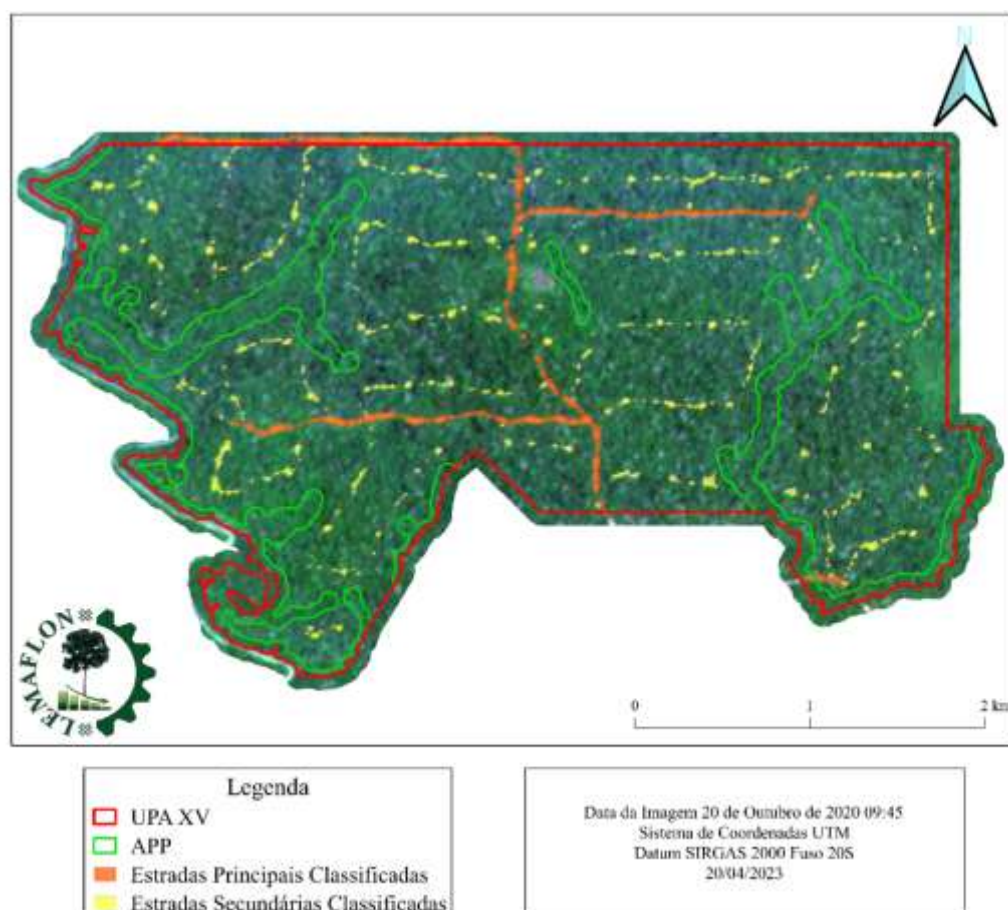
Tabela 2 - Áreas remanescentes de vegetação decorrentes do manejo florestal, obtido através da classificação supervisionada, na UPA XV, UMF IV, Flona do Jamari - RO.

Período	Área de remanescente de vegetação (ha)
Floresta sem intervenção (P1)	1.140,83
Após construção de estradas principais, secundárias e pátios (P2)	1.084,73
Após exploração das árvores (P3)	1.033,19

Fonte: Os Autores (2023).

A partir da classificação realizada para o mês de outubro de 2020 é possível observar as aberturas no dossel, rotuladas como estradas principais e secundárias na UPA XV (Figura 5).

Figura 5 - Mosaico das imagens Planet identificando a Estradas principais (A) e secundárias (B) classificadas no mês de outubro de 2020 (B), para UPA XV, UMF IV, FLONA do Jamari - RO.

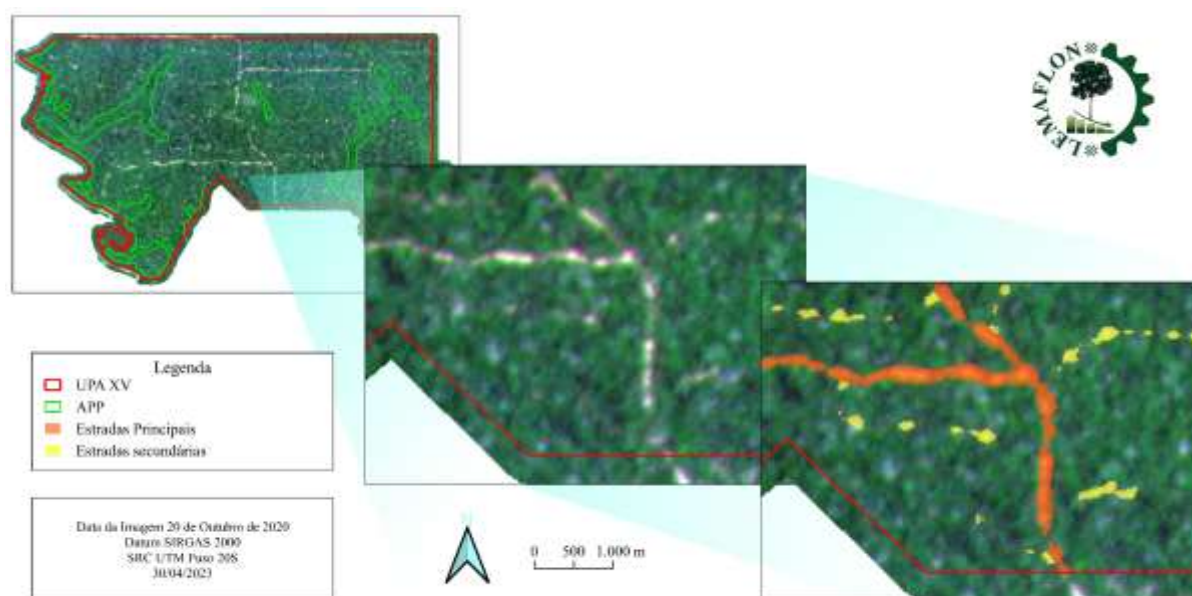


Fonte: Os Autores (2023).

De acordo com a norma de execução das Diretrizes Técnicas para Elaboração dos Planos de Manejo Florestal Sustentável - PMFS IBAMA nº 1 de 24/04/2007, prevê uma faixa de abertura de largura máxima de 6 m para as estradas secundárias, e uma largura máxima de 4 m para o leito de rodagem. Essa

mesma norma do IBAMA ainda prevê uma abertura em largura máxima de 6 m para o leito da estrada principal e a faixa de abertura uma largura máxima de 10 m. A classificação em um ponto ampliado da área da UPA (Figura 6), mostra a classificação gerada para as feições de estradas primárias e secundárias. A classificação para abertura de dossel das estradas principais indicou uma área de 27,08 ha, representando 2,37% da área total, esse percentual não é considerado para a medição de danos da exploração, pois a estrada principal é considerado uma infraestrutura permanente e que não se limita a exploração de uma única UPA.

Figura 6 - **Ampliação em ponto de classificação das estradas principal e secundária da UPA XV, UMF IV, FLONA do Jamari - RO.**

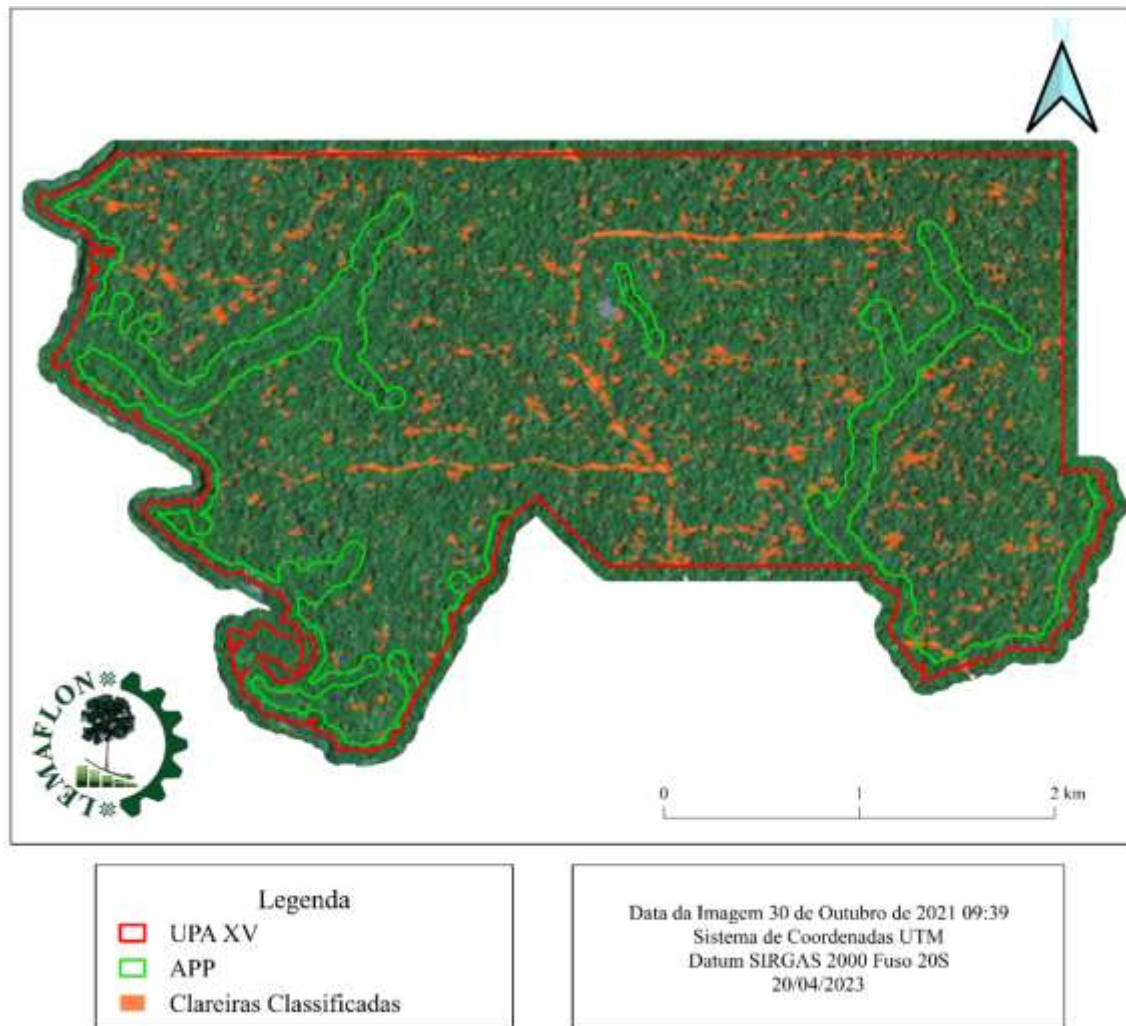


Fonte: Os Autores (2023).

Alguns pontos, as estradas secundárias não foram classificadas nas imagens, isso aconteceu devido ao encontro de copas das árvores mais altas. Esse resultado corrobora com a afirmação defendida por D'Oliveira et al. (2012) de que as alterações ocasionadas pela extração seletiva estão dentro da variabilidade natural encontrada em áreas de floresta primária, quando o dossel é visto de cima pelos sensores ópticos se torna limitada a distinção de mudanças abaixo do topo do dossel.

As áreas de clareiras observadas para outubro de 2021 (P3), após o término das etapas de exploração de impacto reduzido (EIR) foram de 80,56 ha na área de efetiva exploração da UPA XV (Figura 7).

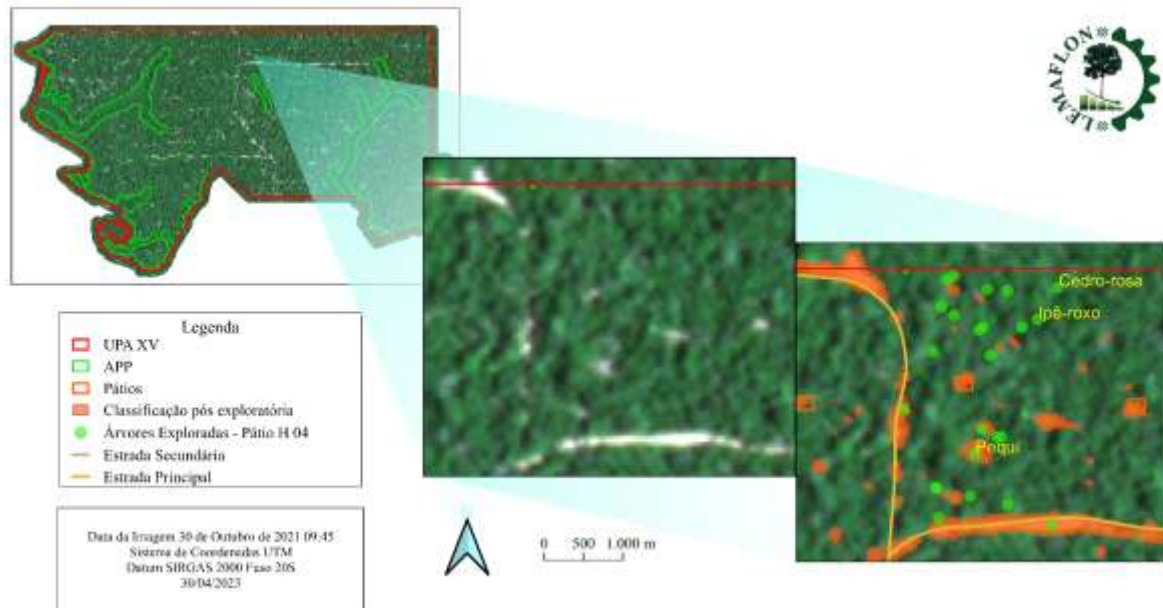
Figura 7 - Mosaico das Imagens Planet de Outubro de 2021 (A), Áreas de clareiras classificadas após o término das atividades da exploração por impacto reduzido (B) na UPA XV, UMF IV FLONA do Jamari - RO.



Fonte: Os Autores (2023).

A Figura 8, demonstra a classificação das clareiras abertas pela exploração de duas árvores na área do pátio H-04. Com as coordenadas coletadas durante o censo florestal de cada árvore explorada, é possível localizá-las nas imagens classificadas. Assim, verifica-se na imagem, por exemplo, a posição das árvores das espécies *Tabebuia serratifolia* (Ipê-roxo) e *Cedrela odorata* (Cedro-rosa), que apresentaram volume de madeira de 9,411 m³ e 9,610 m³, respectivamente. Neste caso, a classificação não identificou feições de clareiras provenientes do abate desses indivíduos. Já a espécie *Caryocar villosum* (Pequi) com um volume de 14,187 m³, teve uma clareira classificada com aproximadamente 900 m². Diante disso, verifica-se que a área de clareira identificada nas imagens é dependente de alguns fatores, principalmente as dimensões dos indivíduos que está associado a forma da copa e volume.

Figura 8 - Áreas classificadas como clareiras provenientes da exploração de árvores no pátio H-04 da UPA XV, UMF IV FLONA do Jamari - RO.



Fonte: Os Autores (2023).

A área total impactada avaliada em campo após as operações foi de 132,82 ha, ou seja 13,9% da área de efetiva exploração da UPA (Tabela 3). Para as imagens classificadas após um mês do término da colheita a área classificada como estradas secundárias, pátios e clareiras formadas pelo abate das árvores foi de 80,56 ha. Nas imagens de satélite os ramais de arraste e clareiras menores não foram identificados.

Tabela 3 - Avaliação da abertura do dossel por meio de dados de campo e classificação supervisionada a partir das imagens Planet em Unidade de Produção Anual XV, Unidade Manejo IV, Flona do Jamari, RO.

Levantamento	Estradas Secundárias (Hectare)	Pátios (Hectare)	Ramais de Arraste (Hectare)	Clareiras de Exploração (Hectare)	Área Total Impactada (Hectare)
Campo	12,83	4,86	40,76	74,37	132,82
Sensoriamento Remoto	29,02		-	51,54	80,56

Fonte: Os Autores (2023).

A área observada para as estradas secundárias e pátios, usando as imagens planet, somaram 29,02 ha, sendo 3,03% da área de efetiva exploração da UPA XV, não foi possível a diferenciação de área de estrada secundária e pátio de estocagem, visto que os pátios de estocagem são ligados as estradas secundárias, o que impossibilitou a identificar a abrangência de cada feição separadamente. Dentre as

clareiras classificadas foi possível, localizar utilizando as coordenadas geográficas, 92 pátios, entre um total de 102 pátios construídos na unidade de produção.

Os valores mensurados em campo para as estradas secundárias e para os pátios somados (17,68 ha), gerou uma diferença de aproximadamente, 39% a menos do que o observado pela imagem de satélite (29,02ha). Já, considerando as perturbações referentes as clareiras de exploração, a diferença encontrada foi de 22,83 ha, sendo que a classificação supervisionada não demonstrou eficiência para a captação de todas as clareiras, principalmente as árvores de menor volume, por ocasionarem menor dano no momento do corte.

Outro fator que contribuiu para a menor área total de clareira captada pela classificação foi a dos ramais de arraste, que não foram classificados com eficiência pelo método utilizado. Durante a abertura dos ramais é feito um caminho estreito, que compreende basicamente a largura do trator Skidder, que em sua maioria não ultrapassa 3,6m causando maior dano ao sub-bosque do que ao dossel da floresta (Figura 9). Segundo Coops et al. (2007) as alterações abaixo do dossel florestal são difíceis de serem capturados pelos sensores ópticos.

Figura 9 - Aspecto de ramal de arraste produzido por skidder no arraste da árvore da área de corte ao pátio.



Fonte: Os Autores (2022).

Um estudo realizado por Lima et al. (2019) utilizando imagens Sentinel-2 MSI e Landsat 8 OLI para monitoramento de exploração madeireira seletiva na Amazônia brasileira apontou que as estradas secundárias e ramais de arraste apresentaram valores percentuais de detectabilidade muito baixos. De forma geral, as imagens Planet não foram tão eficientes para detectar os ramais de arraste e clareiras de corte de

árvores com menor volume, mas geraram bons resultados para a avaliação das estradas e pátios de estocagem, o que demonstra a sua importância para o monitoramento e a gestão de danos ao dossel da floresta.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A classificação das alterações no dossel causadas pelas infraestruturas das estradas principais, estradas secundárias e pátio, se mostraram eficientes a partir das imagens Planet de alta resolução espacial.

Para os ramais de arraste a extração de informações a partir do índice NDVI e a classificação supervisionada, possui a limitação na captura de alterações abaixo do dossel florestal. A série temporal da classificação de estradas demonstrou bom resultado para o monitoramento da recuperação de áreas sob exploração florestal.

A classificação não identificou a clareira aberta por todos os indivíduos explorados, principalmente aqueles com menor volume.

No geral, as ferramentas de geoprocessamento se mostraram eficientes para o monitoramento das atividades realizadas no manejo florestal, e com limitações quanto à observação de atividades que causam pouca alteração no dossel florestal.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, D. R. A. D., STARK, S. C., CHAZDON, R., NELSON, B. W., CÉSAR, R. G., MELI, P.; BRANCALION, P. H. S. The effectiveness of lidar remote sensing for monitoring forest cover attributes and landscape restoration. **Forest Ecology and Management**, v. 438, p. 34-43, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.02.002>.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. D. M. & SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische zeitschrift**, 22(6), 711-728, 2013. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- ALVES, R. R.; JACOVINE, L. A. G.; NARDELLI, Á. M. B.; BASSO, V. M. & DA SILVA, F. L. **Certificação florestal: Da floresta ao consumidor final**. Digitaliza Conteúdo, 2022.
- ASSUNÇÃO, J.; GANDOUR, C.; ROCHA, R. DETER-ing deforestation in the Amazon: environmental monitoring and law enforcement. **American Economic Journal: Applied Economics**, v. 15, n. 2, p. 125-156, 2023. <https://doi.org/10.1257/app.20200196>.
- BECK, H. E.; ZIMMERMANN, N. E.; McVICAR, T. R.; VERGOPOLAN, N.; BERG, A. & WOOD, E. F. Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. **Scientific data**, v. 5, n. 1, p. 1-12, 2018. <https://doi.org/10.1038/sdata.2018.214>

COOPS N.C; HILKER T; WULDER M.A; ST-ONGE B; NEWNHAM G; SIGGINS A. Estimating canopy structure of Douglas-fir forest stands from discrete-return LIDAR. **Trees - Structure and Function** 2007; 21(3): 295-310. <http://dx.doi.org/10.1007/s00468-006-0119-6>.

BRASIL. **Constituição Federal**. Senado Federal. Brasília, DF, 1988.

D'OLIVEIRA, D'OLIVEIRA, M. V., REUTEBUCH, S. E., MCGAUGHEY, R. J., & ANDERSEN, H. E. Estimating forest biomass and identifying low-intensity logging areas using airborne scanning lidar in Antimary State Forest, Acre State, Western Brazilian Amazon. **Remote Sensing of Environment**, v. 124, p. 479-491, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.05.014>

DINIZ, C. G., DE ALMEIDA SOUZA, A. A., SANTOS, D. C., DIAS, M. C., DA LUZ, N. C., DE MORAES, D. R. V., ... & ADAMI, M. DETER-B: The new Amazon near real-time deforestation detection system. **IEEE Journal of selected topics in applied earth observations and remote sensing**, v. 8, n. 7, p. 3619-3628, 2015. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2015.2437075>.

FAGUNDES, S. T. S. Efeitos da exploração florestal a curto prazo na vegetação arbórea em unidade de produção na Flona do Jamari. **Relatório final de iniciação científica – PIBIC/UNIR/CNPQ, CICLO** 2017/2018, p. 35, 2018.

FAGUNDES, S. T. S., SCCOTI, M. S. V., LIMA, A. C. R., JUNIOR, J. F. B., & BIAZATTI, S. C. Monitoramento da floresta a curto prazo em área de concessão florestal na Amazônia Ocidental. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 11, n. 5, p. 55-62, 2020. <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2020.005.0006>.

FERREIRA GOMES, L., SEIXAS BRITES, R., JAHN LOCKS, C., & REZENDE DOS ANJOS, R. Estimativas das Alterações na Biomassa Florestal Utilizando LiDAR em Área de Manejo Florestal Sustentável na Amazônia Sul-Occidental. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 43, n. 3, 2020. https://doi.org/10.11137/2020_3_260_268.

GAO, Y.; SKUTSCH, M.; PANEQUE-GÁLVEZ, J.; & GHILARDI, A. Remote sensing of forest degradation: a review. **Environmental Research Letters**, v. 15, n. 10, p. 103001, 2020. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abaad7>.

GOMES, L. F., BRITES, R. S., LOCKS, C. J., & DOS ANJOS, R. R. Estimativas das alterações na biomassa florestal utilizando LiDAR em área de manejo florestal sustentável na Amazônia Sul-Occidental. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 43, n. 3, p. 260-268, 2020. http://doi.org/10.11137/2020_3_260_268.

GONZAGA, C. A. C; DE ASSIS FERNANDES, T.; BOLDRIN, J. L; CORREA, M. D. S. A; ROQUETTE, J.G; DA SILVA, N. M.; BARBOSA, D. S.; PESSI, D. D.; FILHO, A. C. P.; MIOTO, C. L.; & ANGEOLETTO, F. H.S. Sensoriamento remoto e monitoramento da manipulação florestal por entidades governamentais do Brasil. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, v. 11, n. 5, pág. e28811528323, 2022. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i5.28323>.

GONÇALVES, A. K.; DA SILVEIRA, G. R. P.; DE, Z. X.; CAMPOS, S. Métodos de classificação supervisionada de imagens de satélite aplicadas no mapeamento do uso do solo na bacia hidrográfica do

Ribeirão Santo Antônio, São Manuel/SP. **GEOSABERES: Revista de Estudos Geoeducacionais**, v. 6, n. 1, p. 52-62, 2015.

GOETZ, S. J.; HANSEN, M.; HOUGHTON, R. A.; WALKER, W.; LAPORTE, N.; & BUSCH, J. Measurement and monitoring needs, capabilities and potential for addressing reduced emissions from deforestation and forest degradation under REDD+. **Environmental Research Letters**, v. 10, n. 12, p. 123001, 2015. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/10/12/123001>.

IBGE, (2012). **Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro, IBGE.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS - IBAMA. **Norma de Execução nº 1, de 24 de abril de 2007**. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/legislacao/IBAMA/NE0001-240407.PDF>. Acesso em: 20 de Abril de 2023. Brasília, DF, 2007.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **PRODES — Coordenação-Geral de Observação da Terra**. Disponível em: <http://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/programas/amazonia/prodes>. Acesso em: 11 mar. 2024.

JUNIOR, N. S., CORTE, A. P., VASCONCELLOS, B., & SANQUETTA, C. R. Técnicas de sensoriamento remoto no âmbito do licenciamento de plano de manejo florestal madeireiro no estado de Mato Grosso. **Enciclopédia biosfera**, v. 14, n. 25, 2017. https://doi.org/10.18677/EnciBio_2017A97.

LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, p. 159-174, 1977. <https://doi.org/10.2307/2529310>.

LOCKS, C. J., & MATRICARDI, E. A. T. The estimation of selective logging impact in Amazon Forest using LIDAR data. **Ciência Florestal**, v. 29, p. 481-495, 2019. <https://doi.org/10.5902/1980509826007>

LIMA, R. A. Estrutura e regeneração de clareiras em Florestas Pluviais Tropicais. *Brazilian Journal of Botany*, v. 28, p. 651-670, 2005. <https://doi.org/10.1590/S0100-84042005000400002>

LIMA, T. A., BEUCHLE, R., LANGNER, A., GRECCI, R. C., GRIESS, V. C., & ACHARD, F. Comparing Sentinel-2 MSI and Landsat 8 OLI imagery for monitoring selective logging in the Brazilian Amazon. **Remote sensing**, 11(8), 961, 2019. <https://doi.org/10.3390/rs11080961>.

MATRICARDI, E. A. T.; SKOLE, D. L.; COSTA, O. B.; PEDLOWSKI, M. A.; SAMEK, J. H.; & MIGUEL, E. P. Long-term forest degradation surpasses deforestation in the Brazilian Amazon. **Science**, v. 369, n. 6509, p. 1378-1382, 2020. [10.1126/science.abb3021](https://doi.org/10.1126/science.abb3021)

CHAVES, C. **PPG7: duas décadas de apoio à proteção das florestas brasileiras**. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (MMA), 2009. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/noticias/ppg7-duas-decadas-de-apoio-a-protecao-das-florestas-brasileiras>. Acesso em: 18 de set. de 2023.

NERY, C. V. M.; BRAGA, F. L.; MOREIRA, A. A.; & FERNANDES, F. H. S. Aplicação do Novo Código Florestal na avaliação das Áreas de Preservação Permanente em topo de morro na sub-bacia do Rio Canoas no município de Montes Claros/MG. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, n. 6, p. 1673-1688, 2013.

OLIVEIRA, E. K. B. DE, REZENDE, A. V., DE FREITAS, L. J. M., JÚNIOR, L. S. M., BARROS, Q. S., & DA COSTA, L. S. Monitoramento da estrutura e caracterização ecológica em floresta tropical manejada na Amazônia Brasileira. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 14, n. 4, p. 1-12, 2019. <https://doi.org/10.5039/agraria.v14i4a6867>

RODRIGUES, M. I.; SOUZA, Á. N. D.; JOAQUIM, M. S.; LUSTOSA JÚNIOR, I. M.; & PEREIRA, R. S. Concessão florestal na Amazônia brasileira. **Ciência Florestal**, v. 30, p. 1299-1308, 2020. <https://doi.org/10.5902/1980509821658>.

RONDÔNIA. Secretaria de Estado do Desenvolvimento Ambiental (SEDAM). **Boletim Climatológico de Rondônia**. SEDAM, Porto Velho, 2010.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. **NASA Spec. Publ**, v. 351, n. 1, p. 309, 1974.

SCCON. **Imagens PLANET**. 2023. Disponível em: <https://www.sccon.com.br/produtos/imagens-planet/>. Acesso em: 18 de set. de 2023.

SCIKIT-LEARN. **Scikit-learn 0.21.3** [Software de computador]. Zenodo, 2019.

SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO – SFB. **Contrato de concessão florestal decorrente da concorrência Nº 01/2018 Floresta Nacional do Jamari – RO**, 2019.

SILVA, K. G. da. **Concessão florestal**: utilizando recursos de arrecadação para fortalecimento da política florestal e do desenvolvimento sustentável. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialista em Gestão de Políticas Ambientais), Escola Nacional de Administração Pública – ENAP, Brasília – DF, 2020.

VENTURIERI, A.; SANTOS, J.R. dos. Técnicas de classificação de imagens para análise da cobertura vegetal. In: ASSAD, E. D.; SANO, E. E. (Org.). **Sistemas de Informações Geográficas: Aplicações na Agricultura**. 2. ed. Brasília: EMBRAPA. p. 351-371, 1998.

WANG, Y.; ZIV, G.; ADAMI, M.; MITCHARD, E.; BATTERMAN, S. A.; BUERMANN, W.; MARIMON, B. S.; JÚNIOR, B. H. M.; REIS, S. M.; & GALBRAITH, D. Mapeamento de florestas tropicais perturbadas usando imagens ópticas de satélite multidecenais de 30 m. **Sensoriamento remoto do meio ambiente**, v. 221, p. 474-488, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.11.028>.