



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



Regeneração Natural de Clareiras Usando Imagens de Satélites em Área de Manejo Florestal na Floresta Nacional do Jamari, RO

Carolaine Maia de Souza¹, Gean Paulino de Montagnolli², Marta Silvana Volpato Scoti³

¹Universidade Federal de Rondônia, e-mail: carol.afol2@gmail.com (autor correspondente)

²Universidade Federal de Rondônia – UNIR, e-mail: geanpaulinom@gmail.com

³Universidade Federal de Rondônia – UNIR, e-mail: martascoti@unir.br

Artigo aceito em 02/08/2024 e aceito em 25/02/2025

RESUMO

O monitoramento florestal é essencial para avaliar as mudanças na floresta manipulada. Os pátios de estocagem, parte da infraestrutura do manejo florestal, causam impactos na floresta pela supressão da vegetação e compactação do solo. Diante disso, o objetivo desse trabalho foi avaliar a regeneração de clareiras provenientes da construção de pátios de estocagem usando imagens de alta resolução espacial na FLONA do Jamari. As imagens foram reprojetaadas para a área de estudo, e foi realizada a classificação supervisionada por Random Forest. Foram selecionados aleatoriamente 30 pátios, mensurados e classificados conforme o tamanho de clareira (muito pequena, pequena, média). Em seguida, foi calculado o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) a fim de obter a média dos pixels do NDVI para os pátios em quatro períodos 2020 (ano de abertura dos pátios), 2021 (período da exploração da madeira), 2022 e 2023 (períodos um e dois anos pós-exploração, respectivamente). A classificação supervisionada identificou 90, 101, 97, 78 pátios para os anos de 2020, 2021, 2022, 2023, respectivamente. Por meio das classes de tamanho de clareiras, verificou-se a diminuição no tamanho das clareiras após dois anos da exploração, indicando a presença e o avanço da regeneração natural nos pátios monitorados. O ano de 2021 apresentou os menores valores de NDVI, indicando maior exposição do solo. Já nos demais períodos avaliados houve o aumento significativo dos valores de NDVI. De forma geral, as imagens Planet apresentaram uma boa eficiência no monitoramento do processo de regeneração de clareiras em áreas de pátio de estocagem.

Palavras Chaves: Geoprocessamento; Floresta Ombrófila Aberta; Manejo Florestal Sustentável; Sensoriamento Remoto; Pátios de Estocagem.

Natural Regeneration of Clearings Using Satellite Images in a Forest Management Area in the Jamari National Forest, RO

ABSTRACT

Forest monitoring is essential to evaluate changes in the manipulated forest. Stockyards, part of the forest management infrastructure, cause impacts on the forest by suppressing vegetation and compacting the soil. Therefore, the objective of this work was to evaluate the regeneration of clearings resulting from the construction of storage yards using high spatial resolution images in FLONA do Jamari. The images were reprojected to the study area, and classification supervised by Random Forest was performed. 30 yards were randomly selected, measured and classified according to the size of the clearing (very small, small, medium). Then, the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) was calculated in order to obtain the average NDVI pixels for the yards in four periods: 2020 (year of opening of the yards), 2021 (wood harvesting period), 2022 and 2023 (periods one and two years post-exploration, respectively). The supervised classification identified 90, 101, 97, 78 yards for the years 2020, 2021, 2022, 2023, respectively. Using clearing size classes, a decrease in the size of clearings was verified after two years of exploration, indicating the presence and advancement of natural regeneration in the monitored yards. The year 2021 presented the lowest NDVI values, indicating greater soil exposure. In the other periods evaluated, there was a significant increase in NDVI values. In general, Planet images showed good efficiency in monitoring the regeneration process of gaps in storage yard areas.

Keywords: Geoprocessing; Open Ombrophylous Forest; Sustainable Forest Management; Remote sensing; Storage Yards.

Introdução

As técnicas de produção de madeiras nativas na Amazônia seguem um conjunto de regras determinadas por atos normativos. A Instrução Normativa nº 05 aborda a produção madeireira sob a ótica da redução de impactos, onde a exploração é feita por meio do planejamento e monitoramento da floresta (Instrução normativa nº 5, 2006).

O monitoramento envolve a avaliação da floresta à curto e a longo prazo, permitindo entender o crescimento e a produção após a colheita (Souza & Soares, 2013; d'Oliveira et al., 2021). O monitoramento pode ser realizado em parcelas permanentes usadas para avaliar as mudanças ocorridas, ao longo do tempo, na arquitetura, na estrutura e na composição florística da floresta, bem como avaliar os danos causados à floresta remanescente devido às atividades de exploração (Jacobsen et al., 2020; Ruschel et al., 2022). Neste contexto, as tecnologias na área de sensoriamento remoto por meio do uso de sensores ativos e passivos têm demonstrado enorme potencial para aplicações florestais (Coops et al., 2020), possibilitando uma análise em maior escala no terreno.

Os parâmetros técnicos gerados do monitoramento são importantes para orientar ações nos planos de manejo visando melhorar as técnicas de colheitas, crescimento da floresta e tempo de recuperação de clareiras. As clareiras abertas nas áreas de manejo florestal madeireiro são provenientes da infraestrutura necessária para a colheita da madeira (pátios, estradas e ramais) e abate das árvores (d'Oliveira et al., 2021; Gouveia et al., 2025).

Os pátios de estocagem são áreas abertas, designados para o armazenamento de toras de madeiras extraídas da floresta, com localização estratégica próximas as vias de acessos, sejam estradas secundárias ou primárias. Essa organização tem como finalidade otimizar o transporte das toras até a indústria, melhorando a logística de movimentação desses recursos florestais (Sabogal et al., 2000; Gouveia et al., 2025). Os pátios são construídos utilizando tratores esteiras em áreas com clareiras ou com espécies de menor diâmetro, logo os materiais removidos são dispostos em dois lados adjacentes da área destinada aos pátios, facilitando a operação de arraste (Instrução Normativa SEMA nº 5, 2015).

A utilização de sensores passivos de alta resolução tem sido explorada por diversas organizações e pesquisadores em estudos

ambientais. Um estudo realizado por Silva et al. (2021) no Parque Estadual da Lapa Grande no norte de Minas Gerais, utilizou técnicas de sensoriamento remoto para a análise da regeneração da vegetação natural em área antrópica. Por meio dos dados obtidos foi possível analisar e mapear mudanças na vegetação bem como a compreensão mais abrangente e clara da disposição do processo de recuperação do ecossistema após perturbações e intervenções humanas.

Outro estudo conduzido por Moraes et al. (2016) em área de concessão florestal em Mamuru-Arapiuns no Pará, utilizou fotografias hemisféricas para verificar a relação entre imagem NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada), MLME (Modelo Linear de Mistura Espectral) e fração de abertura de dossel. A integração dessas tecnologias permite uma análise detalhada das mudanças na estrutura do dossel e possibilita maior eficiência em áreas de concessão florestal.

As cenas disponibilizadas pela plataforma Planet têm se destacado na identificação e monitoramento em áreas florestais (Bezerra et al., 2022). Isso é fundamental para o controle e fiscalização das atividades madeireiras, possibilitando a avaliação da extensão, evolução e impacto no ambiente perturbado. Logo, o uso das imagens dos satélites Planet na identificação de pátios de estocagem pode contribuir para o monitoramento ambiental e na gestão sustentável dos recursos florestais.

Diante do exposto, o objetivo geral do trabalho foi avaliar a dinâmica da regeneração de clareiras causadas pela construção de pátios de estocagem em área de manejo florestal usando imagens de alta resolução do satélite Planet na FLONA do Jamari.

Material e métodos

O estudo foi realizado na Unidade de Produção Anual (UPA) XV, na Unidade de Manejo Florestal (UMF) IV, Floresta Nacional do Jamari-RO (Figura 1), sob regime de concessão florestal. A UPA XV encontra-se situada a oeste da UMF IV, abrangendo uma área total de 1.140,83 ha, com uma área efetiva de exploração de 956,55 há (MADEFLONA, 2021). O período de exploração compreendeu os meses de abril a setembro de 2021, empregando técnicas de exploração de impacto reduzido, com uma taxa de corte de 18,29 m³ ha⁻¹.

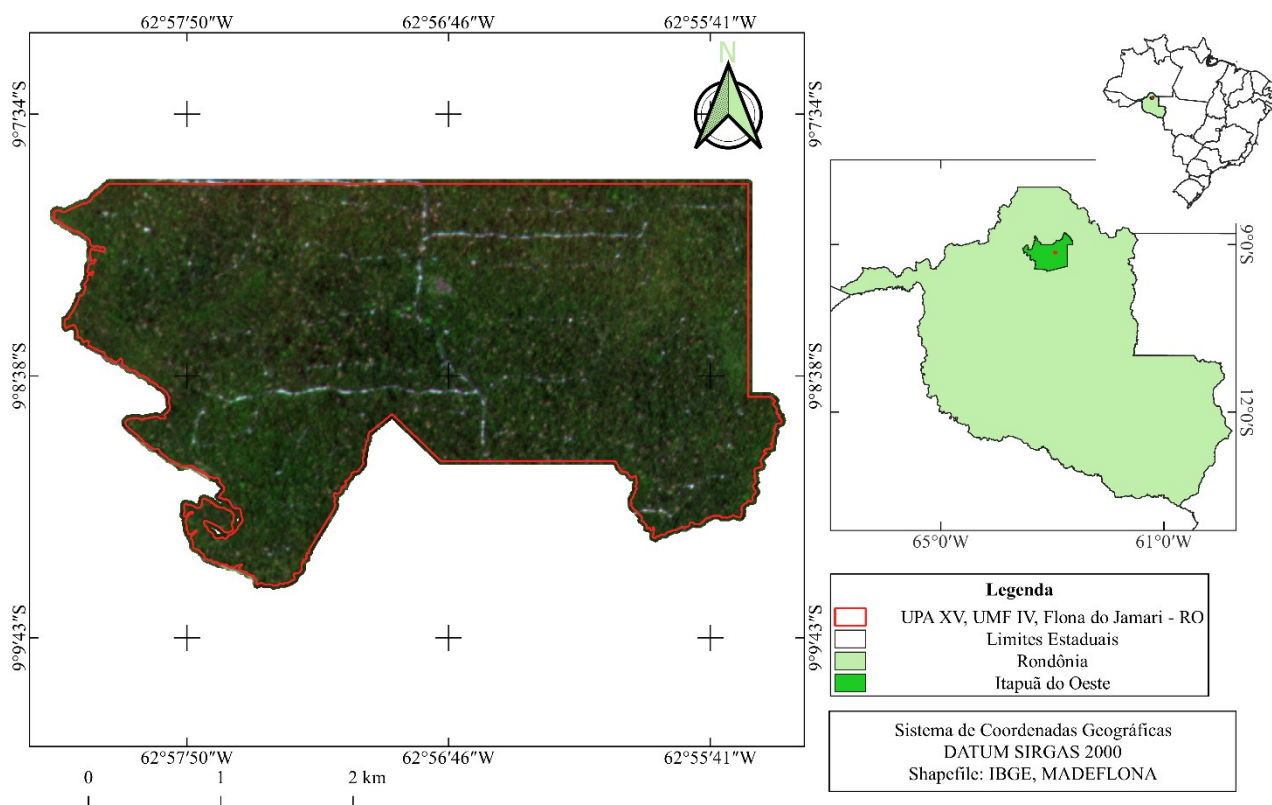


Figura 1. Localização da Unidade de Produção Anual XV na Unidade de Manejo Florestal IV, Floresta Nacional do Jamari, Rondônia.

Segundo a classificação de Köppen Geiger, o clima da região é do tipo Am (Monson), apresentando período de seca bem definido, com temperatura média anual em torno de 26,7 °C a 38,4 °C (Alvares et al., 2013; INMET, 2025). A vegetação predominante na área é a Floresta Ombrófila Aberta (IBGE, 2012). O solo da região foi classificado em Neossolos distróficos, de caráter concrecionários, Latossolos Amarelos distróficos, Latossolos Vermelho-Amarelos

distróficos, Latossolos Vermelho-Escuros distróficos (IBAMA & MMA, 2005; Santos et al., 2018).

As imagens de satélite foram adquiridas da empresa Planet Labs. As cenas adquiridas correspondem a quatro marcos temporais (Tabela 1), e foram obtidas por meio do download da base de dados da Planet, disponível em <https://www.planet.com/>.

Tabela 1. Fases do monitoramento e data das cenas obtidas do satélite Planet para a área da Unidade de Produção Anual XV, Unidade de Manejo Florestal IV, Floresta Nacional do Jamari, Rondônia.

Fase do monitoramento	Data(mês/ano)
Pré-exploração	10/2020
Exploração	10/2021
Um ano do término das atividades de exploração	10/2022
Dois anos do término das atividades de exploração	10/2023

Os dados obtidos foram processados e manipulados utilizando o Software livre QGIS 3.28.3 (Versão Firenze com a criação de um buffer de 30 m na área). Iniciou-se com a delimitação da UPA XV, a fim de dirimir os erros causados pelo posicionamento do GPS, proporcionando uma margem para assegurar que os pixels na borda da

área de interesse dos limites da UPA XV fossem representativos. Logo em seguida, reprojeteu-se todas as imagens para o mesmo Sistema de Coordenadas Sirgas 2000, UTM zona 20S. Os dados da localização dos pátios de estocagem foram fornecidos pela empresa Madeflona em formato Shapefile (shp.).

Para a identificação e avaliação da regeneração natural nos pátios de estocagem foi gerado o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) conforme proposto por Rouse et al. (1974), pelo software livre QGIS 3.28.3 (Versão Firenze) (Equação 1).

$$NDVI = \frac{(\rho_{IVP} - \rho_V)}{(\rho_{IVP} + \rho_V)} \quad (1)$$

Onde:

ρ_{IVP} = Reflectância no Infravermelho próximo;

ρ_V = Reflectância no Vermelho.

Posteriormente, as imagens reprojetadas para cada período de monitoramento foram submetidas a classificação supervisionada utilizando-se o plugin do Qgis denominado DZetsaka: classification tool, no qual utilizou o classificador Random Florest (árvore aleatória). Esse classificador é baseado no princípio de árvores de decisão, onde são utilizadas subamostras selecionadas aleatoriamente com repetições que são empregadas como variáveis preditivas para o treinamento do classificador (Breiman, 2001). Durante o processo de classificação, cada árvore seleciona, para cada pixel, a classe temática com maior probabilidade de acurácia, logo, a informação contida no ambiente analisado mais votada é então retornada pelo classificador (Han et al., 2011).

Assim, foi tomado um total de 60 amostras rotuladas e categorizada em dois grupos distintos: Floresta e Clareiras/Solo expostos. A partir disso, realizou-se a classificação supervisionada das imagens em cada período de monitoramento e, posteriormente para os pátios de estocagem foi calculado a área de abertura de clareira.

Após a classificação supervisionada das imagens, tornou-se necessário avaliar a acurácia do modelo de classificação, empregando, neste caso, métricas derivadas da matriz de confusão. As principais métricas adotadas incluem o Índice de Exatidão Global e o Índice Kappa (Pereira et al.,

2023), no qual o Índice de Exatidão Global foi calculado pelo Software livre QGIS 3.28.3 (Versão Firenze) e o Índice Kappa pelo Software de planilhas eletrônicas Excel.

O Índice de Exatidão Global (Equação 2) é calculado mediante a divisão do número total de pixels classificados corretamente pelo número total de pixels presentes na imagem. A exatidão global, embora seja uma métrica simples, é importante pois fornece uma medida geral da qualidade do modelo de classificação supervisionada.

$$EG = \frac{A}{n} \times 100 \quad (2)$$

Onde:

EG = Exatidão Global;

A = Total de Acertos;

n = Número Total de Pontos Amostrais.

Em adição, o Índice Kappa (Equação 3) foi empregado como uma métrica de concordância interavaliadores, visando avaliar a confiabilidade das classificações realizadas. Através da análise da matriz de confusão, é possível quantificar o Índice Kappa, uma métrica que avalia a qualidade da classificação, refletindo o nível de concordância dos dados (Landis & Koch, 1977).

$$K = \frac{[N \times \sum_{i=1}^r x_{ij} - \sum_{i=1}^r (x_i \times x_j)]}{N^2 - \sum_{i=1}^r (x_i \times x_j)} \quad (3)$$

Onde:

K = É o Índice de Exatidão Kappa;

N = É o Número Total de Observações;

R = É o Número de Linhas na Matriz

X_{ij} = O Número de Observações na Linha (i) e Coluna (j).

Seu valor varia de zero a um, onde zero indica ausência de concordância entre as classes rotuladas, enquanto um indica total identidade entre as classes rotuladas manualmente e aquelas determinadas pelo algoritmo de classificação (Tabela 2).

Tabela 2. Valores de Índice Kappa (Fonte: Landis e Koch, 1977).

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

Após a classificação supervisionada para os quatros períodos de monitoramento foram selecionados de forma aleatória 30 pátios de estocagem, que foram classificados em três classes de tamanho de clareira (Tabela 3). Optou-se por trabalhar com uma amostra de 30 pátios devido ao

fato de que as imagens referentes ao período de 2023, em uma porção da área de estudo apresentou uma imperfeição, que ao classificar a imagem, gerou um quantitativo de clareiras que não refletia a realidade da área.

Tabela 3. Classes de tamanho de clareiras (**Fonte:** Adaptado, Jardim et al., 2007)

Classe de Tamanho	Área (m ²)
Muito Pequena	< 200
Pequena	201 - 400
Média	401 - 600

A regeneração natural ocorrente nos pátios de estocagem foi avaliada por meio dos valores do NDVI, para a amostra e para os quatros períodos de monitoramento. Foi gerado para cada pátio de estocagem a média dos pixels do NDVI por meio da ferramenta Add Raster Values to Features no software SAGA na interface do Qgis, com o intuito de avaliar o avanço da presença da vegetação nos pátios de estocagem monitorados.

Concomitante a análise obtida das imagens classificadas, utilizou-se os dados de avaliação de impactos mensurados no campo para os 30 pátios. A avaliação de danos é realizada pela empresa concessionária por meio do relatório de avaliação de danos resultante da exploração florestal. Essa avaliação é realizada para a obtenção da bonificação constante no Contrato de Concessão Florestal nº 01/2019. Diante disso, a empresa avalia as áreas de clareiras formadas pelas infraestruturas (ramais de arraste, estradas secundárias e os pátios de estocagem) e das árvores exploradas. A avaliação é realizada após a finalização das atividades de exploração madeireira.

Ressalta-se que a Norma de Execução/IBAMA nº1 de 24 de abril de 2007 prevê que o tamanho ideal de pátio de estocagem em planos de manejo florestal sustentável seja de 20x25 m, isso equivale a 500 m². Assim, os danos mensurados em campo, pós-colheita florestal, na UPA XV, utilizados nesse estudo, foram correspondentes aos 102 pátios de estocagem de 20x25 m construídos para a colheita da madeira na área de estudo. O dano calculado pelos 102 pátios foi correspondente a 4,85 ha, o que equivale a 0,49% da área efetiva de exploração da UPA XV (956,55 ha).

A metodologia utilizada pela empresa para a medição das áreas afetadas pelos pátios de estocagem consiste na mensuração das duas laterais (comprimento e largura) (Figura 2), onde são fixadas estacas de madeira no centro do pátio de estocagem e no meio das laterais dos pátios, que servem como ponto de referência para as medições (centroides do pátio). A partir da estaca do centro do pátio de estocagem, seguindo um ângulo de 90°, é determinada a largura e o comprimento (Figura 3).



Figura 2. Mensuração da área do pátio de estocagem após o término das atividades de exploração florestal, na Flona do Jamari - RO.

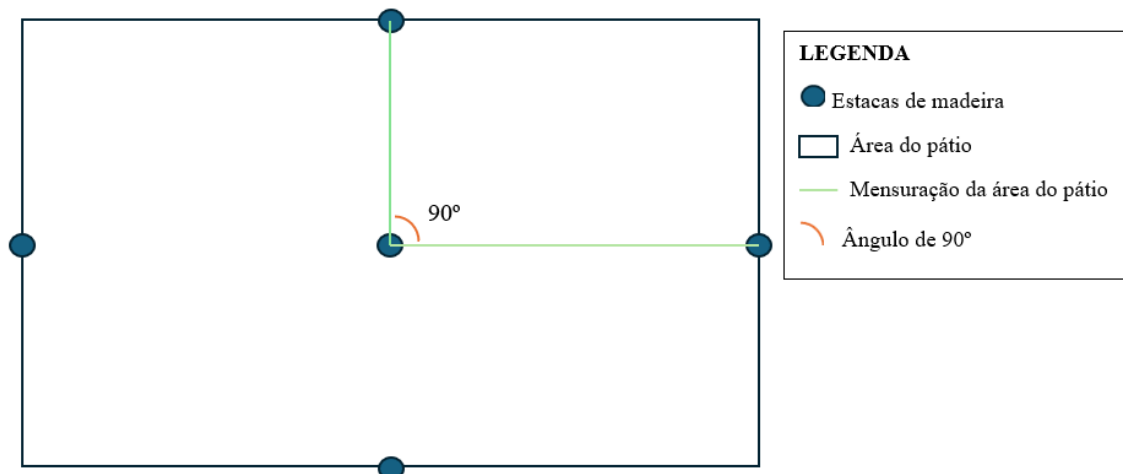


Figura 3. Croqui de mensuração das áreas dos pátios de estocagem.

Os dados de tamanho das clareiras e valores de NDVI para a amostra de 30 pátios foram caracterizados por meio dos descritores básicos da estatística descritiva (Média, valores Mínimo e Máximo; Desvio Padrão e Coeficiente de Variação), utilizou-se ainda gráficos boxplot. Para comparar o tamanho das clareiras obtidas pela classificação supervisionada em cada ano e dados de campo utilizou-se o teste não paramétrico de Friedman a 95% de probabilidade. Para comparar as médias de NDVI foi utilizado teste de Tukey a

95% de probabilidade. As análises estatísticas foram geradas pelo programa estatístico Biostat 5.0 (Ayres et al., 2007).

Resultados e discussão

A Figura 4 ilustra as alterações do dossel da UPA XV nos anos de 2020 a 2023. É notável que no ano da exploração (2021) houve maior alteração no dossel, causada pelas atividades do manejo florestal.

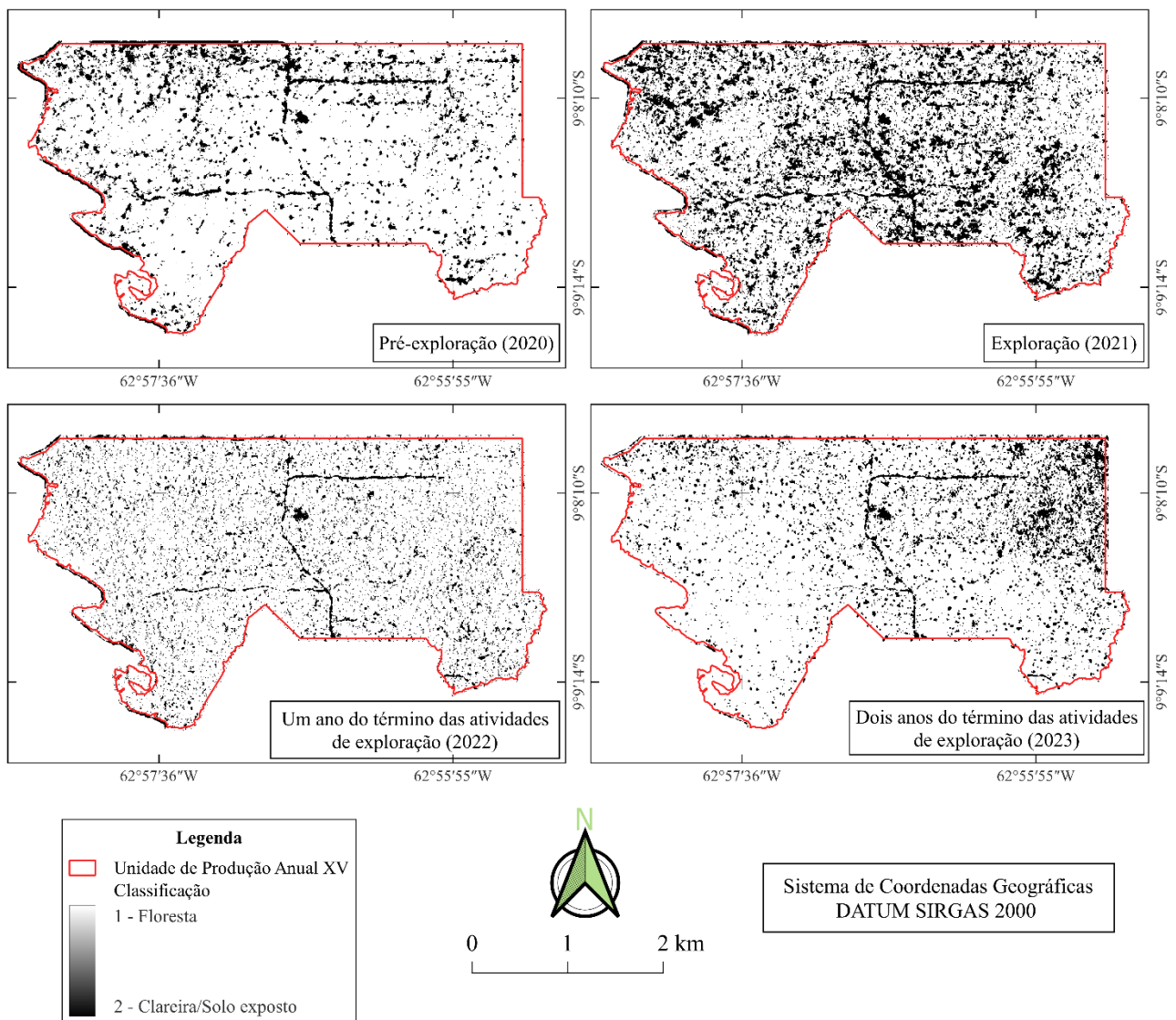


Figura 4. Classificação supervisionada por Random Forest das alterações do dossel da floresta na Unidade de Produção Anual XV para os anos de Pré-exploração (2020), Exploração (2021), um ano do término das atividades de exploração (2022), e dois anos do término das atividades de exploração (2023), da Unidade de Manejo Florestal IV na Floresta Nacional do Jamari - Rondônia.

Em 2020 a empresa concessionária Madeflona construiu 102 pátios de estocagem de aproximadamente 20x25 m. Com a classificação supervisionada das imagens, verificou a presença de 90, 101, 97, 78 pátios de estocagem para os anos

de pré-exploração (2020), exploração (2021), um ano do término das atividades de exploração (2022), e dois anos do término das atividades de exploração (2023), respectivamente (Figura 5).

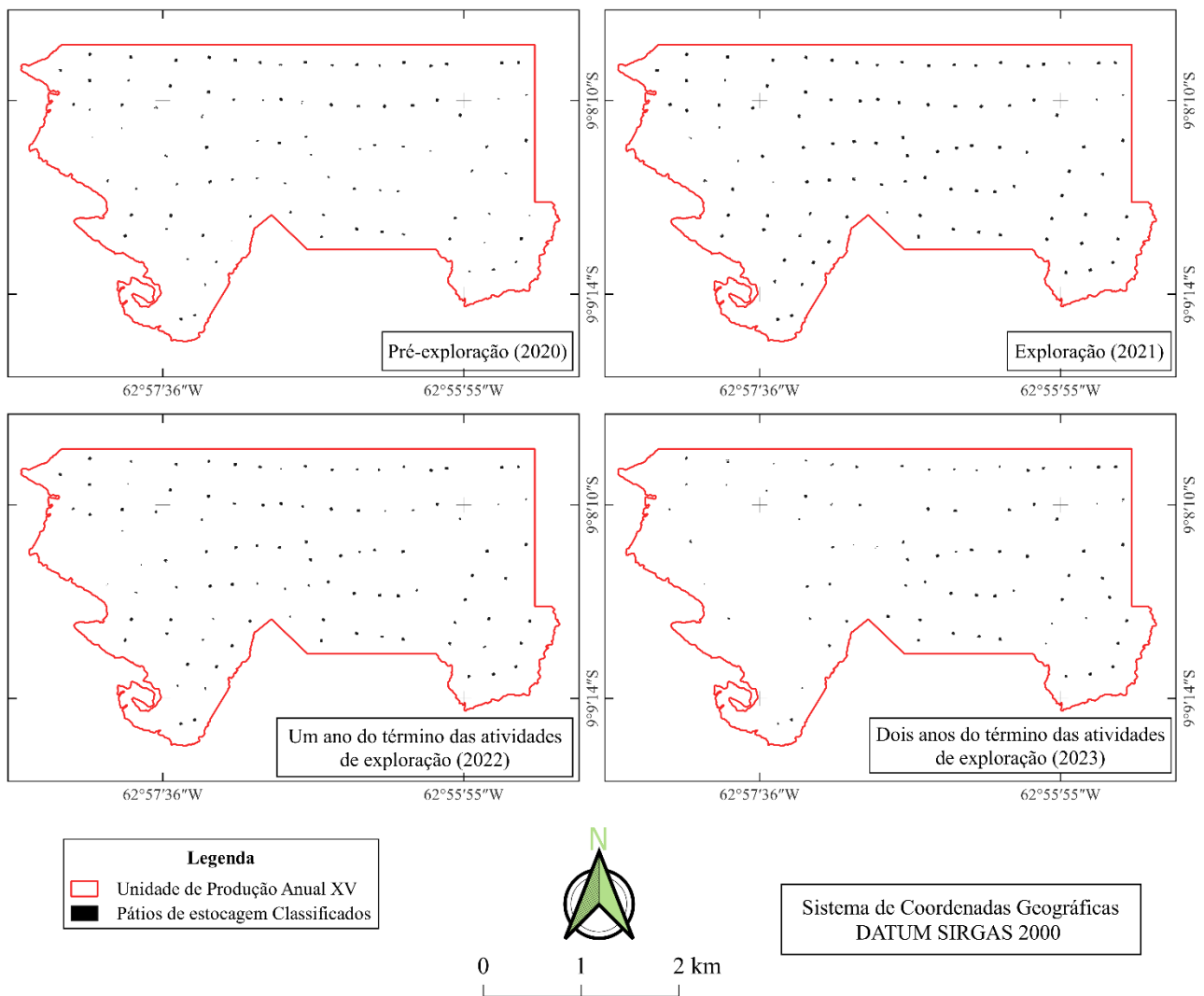


Figura 5. Classificação supervisionada por Random Forest dos pátios de estocagem para os anos de Pré-exploração (2020), Exploração (2021), Um ano do término das atividades de exploração (2022), e Dois anos do término das atividades de exploração (2023), da Unidade de Produção Anual XV, Unidade de Manejo Florestal IV na Floresta Nacional do Jamari - Rondônia.

Conforme os critérios de desempenho de Landis e Koch (1977), o índice Kappa foi excelente, apresentando valores de 1 e 0,9894 para os anos de monitoramento (Tabela 4). Esses resultados evidenciam a alta precisão e

confiabilidade do método empregado, indicando que o modelo de classificação supervisionada foi capaz de identificar com alta acurácia as áreas de clareiras na área de estudo.

Tabela 4. Acurácia da classificação supervisionada por Random Forest para os anos de Pré-exploração (2020), Exploração (2021), Um ano do término das atividades de exploração (2022), e Dois anos do término das atividades de exploração (2023), da Unidade de Produção Anual XV, Unidade de Manejo Florestal IV na Floresta Nacional do Jamari - Rondônia.

Ano	Exatidão Global	Índice Kappa
2020	100%	1
2021	99.47%	0,9894
2022	100%	1
2023	100%	1

Após a validação da eficácia da classificação supervisionada, foi possível avaliar as áreas de clareiras formadas pela amostra de 30 pátios de estocagem, onde no ano de exploração, verificou-se a maior área de clareiras por meio da classificação supervisionada (14.877 m²) (Figura 6). O maior quantitativo de clareiras verificada para os pátios de estocagem em 2021 se justifica pelo fato de ser o ano em que ocorreu a exploração da madeira. Outros trabalhos apontam para a maior alteração do dossel no ano da exploração da madeira, reduzindo as áreas de clareiras já nos primeiros anos pós-exploração (Francez et al., 2013; Jacobsen et al., 2020).

Corroborando com essa dinâmica, um estudo de Carvalho et al. (2020), que monitorou a regeneração natural em uma floresta na Amazônia

Ocidental (Antimari, Acre), observaram que, embora os pátios de estocagem e estradas secundárias representassem as maiores perturbações, a floresta demonstrou uma notável capacidade de recuperação. Após oito anos, a densidade de plantas e a composição de espécies nas áreas impactadas já se assemelhavam às de áreas não exploradas, indicando um rápido fechamento do dossel impulsionado pelo crescimento de espécies pioneiras e a expansão das copas de árvores remanescentes. Esse processo evidencia que, embora o impacto inicial seja severo, a resiliência da floresta promove uma rápida cicatrização das clareiras, estabilizando a estrutura do dossel já nos primeiros anos pós-exploração.

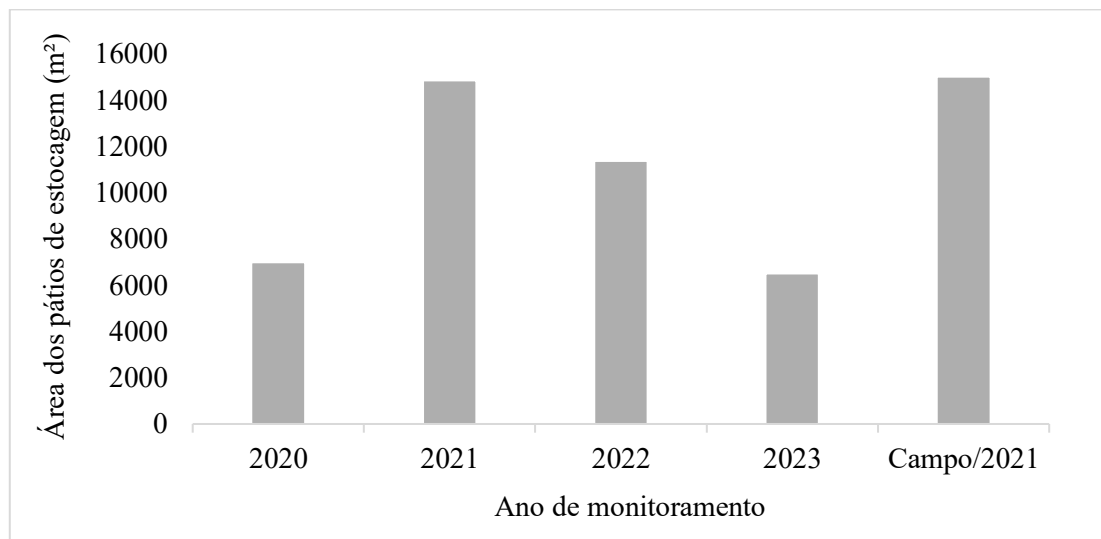


Figura 6. Área total da amostra dos 30 pátios de estocagem para os anos de Pré-exploração (2020), Exploração (2021), um ano do término das atividades de exploração (2022), e dois anos do término das atividades de exploração (2023), da Unidade de Produção Anual XV, Unidade de Manejo Florestal IV na Floresta Nacional do Jamari - Rondônia.

Já a área total mensurada a campo pela empresa após o término das operações florestais (2021) para os mesmos 30 pátios de estocagem foi de 15.038,11 m², uma diferença de 161,11 m² quando comparada com o total obtido da classificação supervisionada para o ano de

exploração (2021). Essa diferença entre os dados de campo e a classificação supervisionada não foi diferente estatisticamente pelo teste de Friedman ($p > 0,05$), o que contribui para uma alta confiabilidade dos resultados obtidos pela imagem (Figura 7).

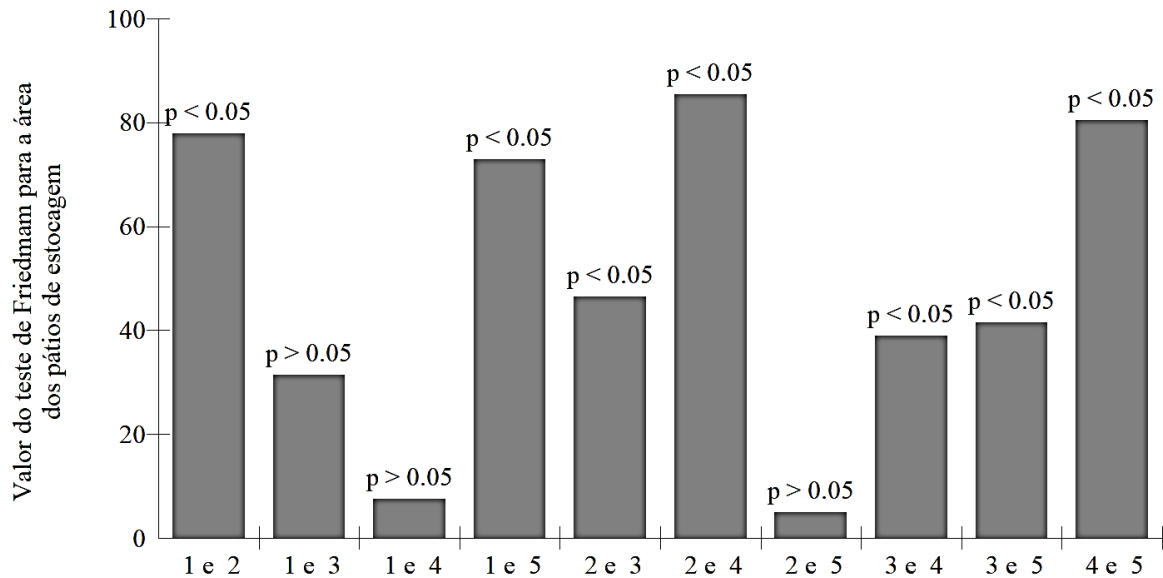


Figura 7. Teste estatístico de Friedman para o tamanho das clareiras formadas pelos pátios de estocagem por meio da classificação supervisionada por Random Forest e dados de campo na Unidade de Produção Anual XV, Unidade de Manejo Florestal IV na Floresta Nacional do Jamari - Rondônia. **Onde.** 1 - Clareiras classificadas em 2020; 2 - Clareiras classificadas em 2021; 3 - Clareiras classificadas em 2022; 4 - Clareiras classificadas em 2023; 5 - Clareiras amostradas no campo em 2021.

Alguns pátios de estocagem apresentaram tamanho menor na imagem classificada no ano da exploração (2021) quando comparada com a medida obtida no campo (2021) em função de que, na etapa de planejamento, os pátios são georreferenciados em imagens de satélite na área

da UPA. Os pontos marcados na imagem podem conter erros de deslocamento no campo e, quando ocorre a análise de danos no campo, a área mensurada correspondente ao local onde ocorreu a abertura da clareira para instalação do pátio de estocagem (Figura 8).

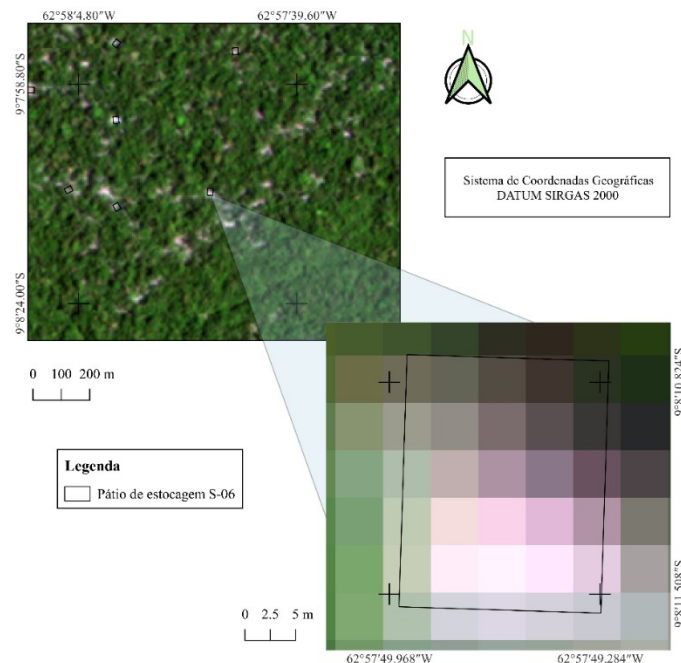


Figura 8. Visualização do deslocamento da área de um pátio de estocagem definido na etapa de planejamento da Unidade de Produção Anual XV, Unidade de Manejo Florestal IV na Floresta Nacional do Jamari – Rondônia.

Os pátios de estocagem, quando analisados com base em classes de tamanho, no ano de pré-exploração (2020) apresentou clareiras com tamanho que variaram de muito pequenas a média, onde aproximadamente, 79% apresentaram tamanho menor que 400 m² (Tabela 5). Já no ano da exploração (2021), houve a ocorrência de 100%

de clareiras médias (401-600 m²). Em dois anos do término das atividades de exploração (2022), das clareiras identificadas na imagem de satélite, 66,7% se concentraram entre clareiras muito pequena e pequena, demonstrando uma redução no tamanho das clareiras.

Tabela 5. Classes de tamanho de clareiras dos pátios de estocagem para os anos de pré-exploração (2020), Exploração (2021), um ano do término das atividades de exploração (2022), e dois anos do término das atividades de exploração (2023), da Unidade de Produção Anual XV, Unidade de Manejo Florestal IV na Floresta Nacional do Jamari - Rondônia. **Onde:** CV: Coeficiente de variação.

Tamanho da clareira (m ²)	2020	2021	2022	2023
< 200 (muito pequena)	11	0	3	10
201-400 (pequena)	11	0	10	6
401-600 (média)	6	30	17	8
Total	28	30	30	24
Média e Desvio Padrão (m²)	249,96±26,38	495,90±1,62	379,66±20,75	271,54±32,08
Mediana (m²)	233	500	415	269
CV (%)	55,85	1,80	29,94	57,89

Na Figura 9 é possível verificar as mudanças nos valores da mediana para área de clareiras em cada ano de monitoramento. As fases de pré-exploração e dois anos do término das atividades de exploração (2023) exibem menor valor da mediana para o tamanho das clareiras e

maior dispersão dos dados. Em contraste, o ano de exploração (2021), demonstra menor amplitude e consequentemente, menor coeficiente de variação, visto que todas as clareiras provenientes dos pátios foram maiores que 400 m².

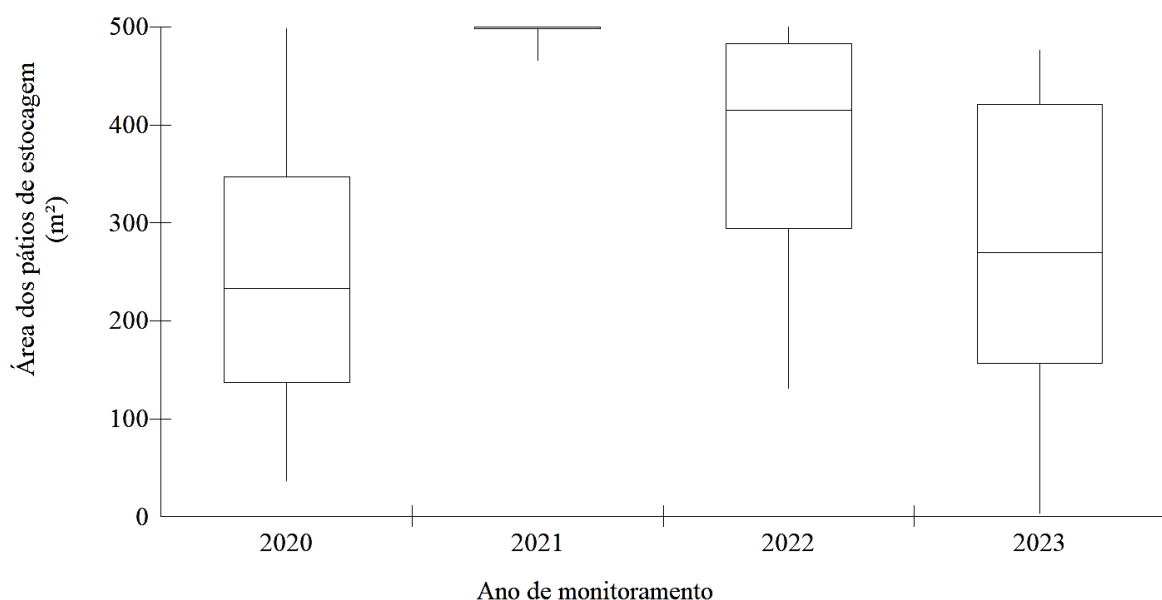


Figura 9. Boxplot da mensuração da área dos pátios de estocagem realizada por meio da classificação supervisionada Random Forest para os anos de pré-exploração (2020), Exploração (2021), um ano do término das atividades de exploração (2022), e dois anos do término das atividades de exploração (2023), da Unidade de Produção Anual XV, Unidade de Manejo Florestal IV na Floresta Nacional do Jamari – Rondônia.

Em um ano do término das atividades de exploração (2022), ainda se percebe maior influência de clareiras médias, no entanto com maior variação em torno do valor da mediana, quando comparado com o ano de 2021, indicando

a migração das clareiras da classe 401-600 m² para as classes inferiores, caracterizando o processo de fechamento do dossel, principalmente pelo crescimento das copas das árvores localizadas nas bordas das clareiras (Figura 10).

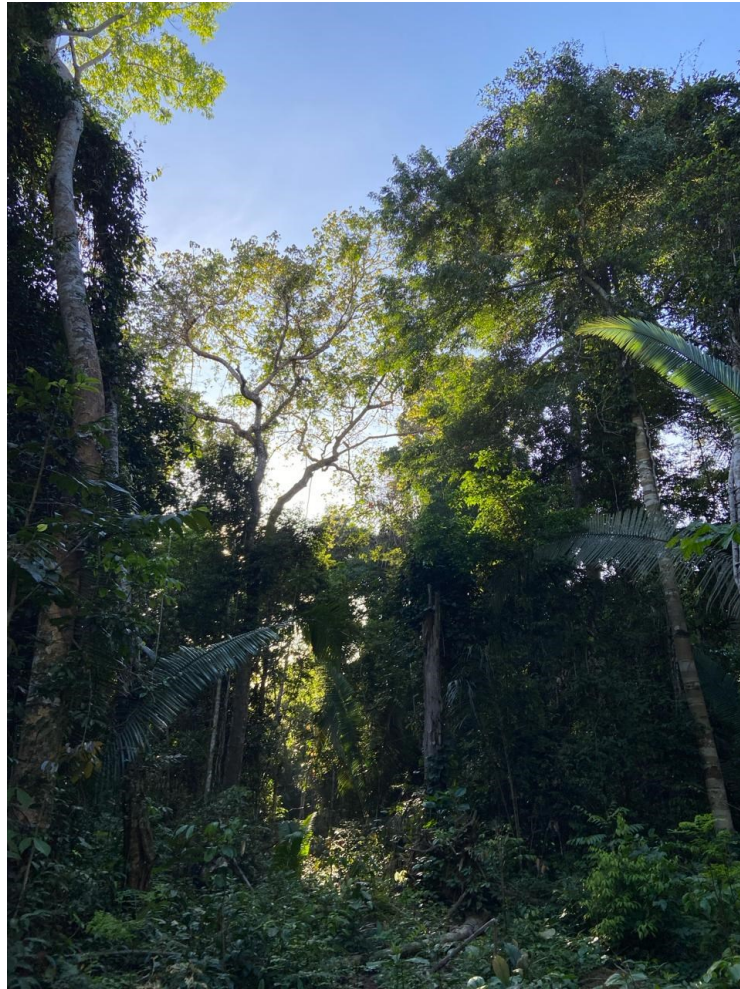


Figura 10. Avanço das copas das árvores em direção as áreas de clareira, na Floresta Nacional do Jamari - Rondônia.

O teste estatístico de Friedman também corrobora para essa análise, onde apontou diferenças nos valores de mediana para o tamanho das clareiras nos anos monitorados pós exploração (um ano do término das atividades de exploração (2022) e dois anos do término das atividades de exploração (2023) em relação ao verificado na imagem classificada no ano da exploração (2021) e dados de campo (2021) (períodos em que se tem a maior área de clareiras). A diferença se dá pela redução da área das clareiras um e dois anos após término das atividades de exploração.

O processo de cicatrização do dossel da floresta é esperado, como destacado por Francez et al. (2013), quando a floresta é deixada em estado de pousio, isso proporciona a sua regeneração, impulsionada pela presença de espécies remanescentes com elevadas taxas de crescimento,

juntamente com a emergência de lianas e espécies oportunistas demandantes de luz, culminando no processo de fechamento do dossel da floresta.

Após a identificação das áreas de clareira foi gerado o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) para os quatro anos de monitoramento nos 30 pátios estudados (Figura 11). A detecção dos pátios de estocagem por meio de imagens de satélite é mais fácil de ser mensurada, uma vez que, a exposição do solo leva a diminuição dos valores de NDVI (Morais et al., 2016).

Estudos recentes, como o de Costa et al. (2019), continuam a validar o uso técnicas de detecção de exploração florestal como ferramentas robustas para mapear e monitorar os impactos da exploração florestal, incluindo a formação de

clareiras e pátios, devido à sua capacidade de capturar com clareza áreas sem cobertura vegetal.

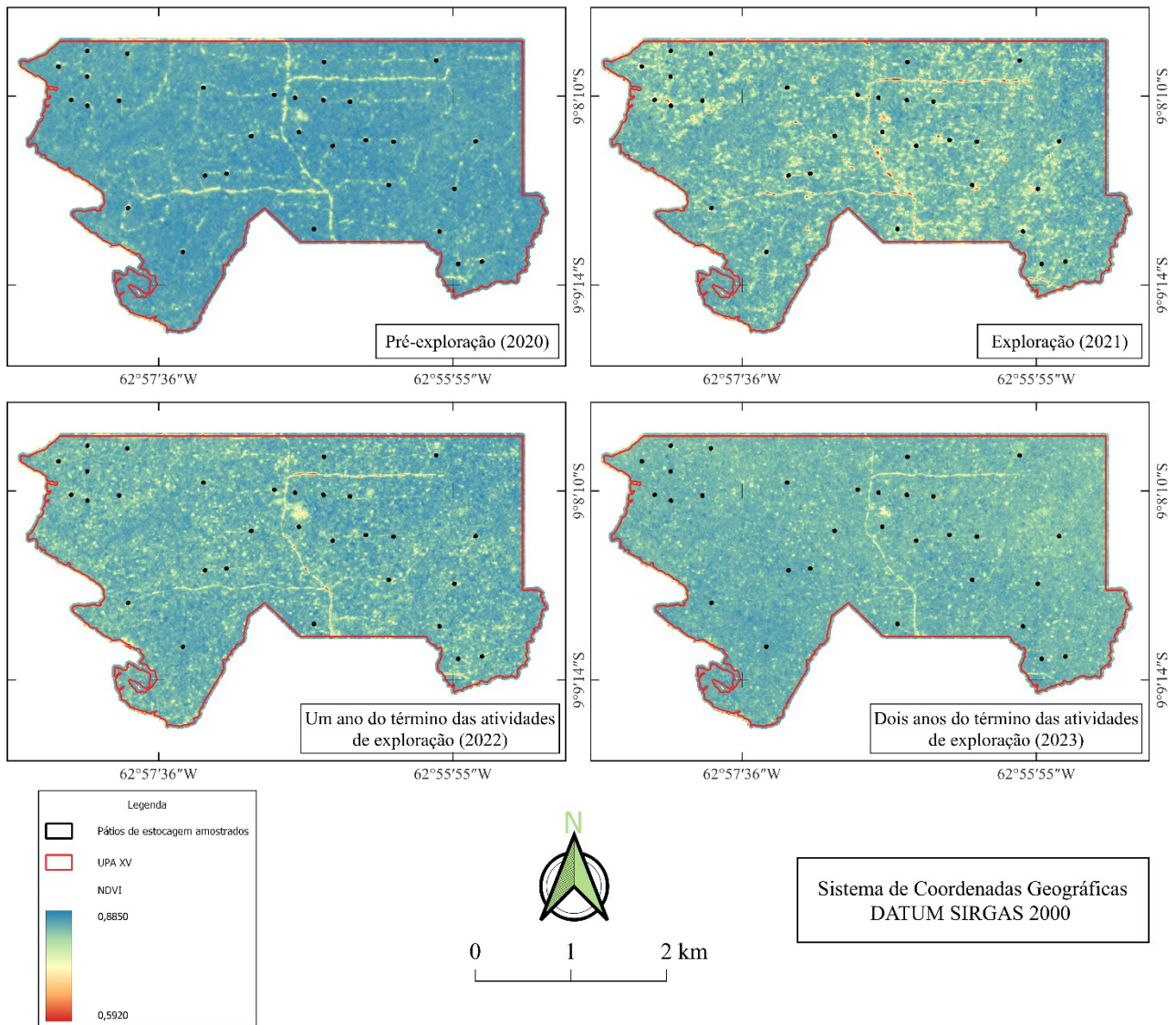


Figura 11. Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) dos pátios de estocagem amostrados para os anos de pré-exploração (2020), Exploração (2021), um ano do término das atividades de exploração (2022), e dois anos do término das atividades de exploração (2023), da Unidade de Produção Anual XV, Unidade de Manejo Florestal IV na Floresta Nacional do Jamari - Rondônia.

No ano em que houve a exploração da madeira (2021) a média para o NDVI indicou maior exposição do solo. Após dois anos do término das atividades de exploração houve

aumento significativo ($p < 0,05$) da média de NDVI (Tabela 6), indicando maior presença de vegetação nos pátios avaliados neste período quando comparado com o ano da exploração (2021).

Tabela 6. Análise de estatística descritiva para o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) para pátios de estocagem para os anos de pré-exploração (2020), exploração (2021), um ano do término das atividades de exploração (2022), e dois anos do término das atividades de exploração (2023), na Unidade de Produção Anual XV, Unidade de Manejo Florestal IV na Floresta Nacional do Jamari - RO. **Onde:** S: Desvio padrão; Sx: Erro padrão; CV: Coeficiente de variação. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%.

Análise	2020	2021	2022	2023
Tamanho da amostra	30	30	30	30
Valor Mínimo (m ²)	0,7620	0,5980	0,6800	0,7480
Valor Máximo (m ²)	0,8810	0,4420	0,8310	0,8850
Mediana (m ²)	0,8195	0,7065	0,7920	0,8425
Primeiro Quartil (25%)	0,8045	0,6685	0,7493	0,8170
Terceiro Quartil (75%)	0,8370	0,7225	0,8118	0,8610
Média (m ²)	0,8180a	0,6977b	0,7762c	0,8353a
S _x (m ²)	0,0049	0,0078	0,0075	0,0067
CV (%)	3,28	6,08	5,31	4,39

O menor valor de NDVI para o ano de exploração (2021) é esperado, uma vez que o trânsito de máquinas e depósito de toras dificulta o

estabelecimento da regeneração natural nos pátios de estocagem, como pode ser visto na Figura 12.



Figura 12. Depósito de toras e trânsito de máquinas em área de pátio de estocagem durante as atividades de exploração na Floresta Nacional do Jamari.

Na Figura 13 é possível observar que o NDVI obteve os valores máximos e mínimos superiores nos anos de pré-exploração (2020) e dois anos do término das atividades de exploração (2023), assim como menor dispersão dos dados a ponto de não apresentar média diferente pelo teste

Tukey, indicando maior influência de vegetação nos pátios de estocagem. Já, nos anos de exploração e um ano do término das atividades de exploração o NDVI apresentou-se maior dispersão dos dados, assim como menor valor médio.

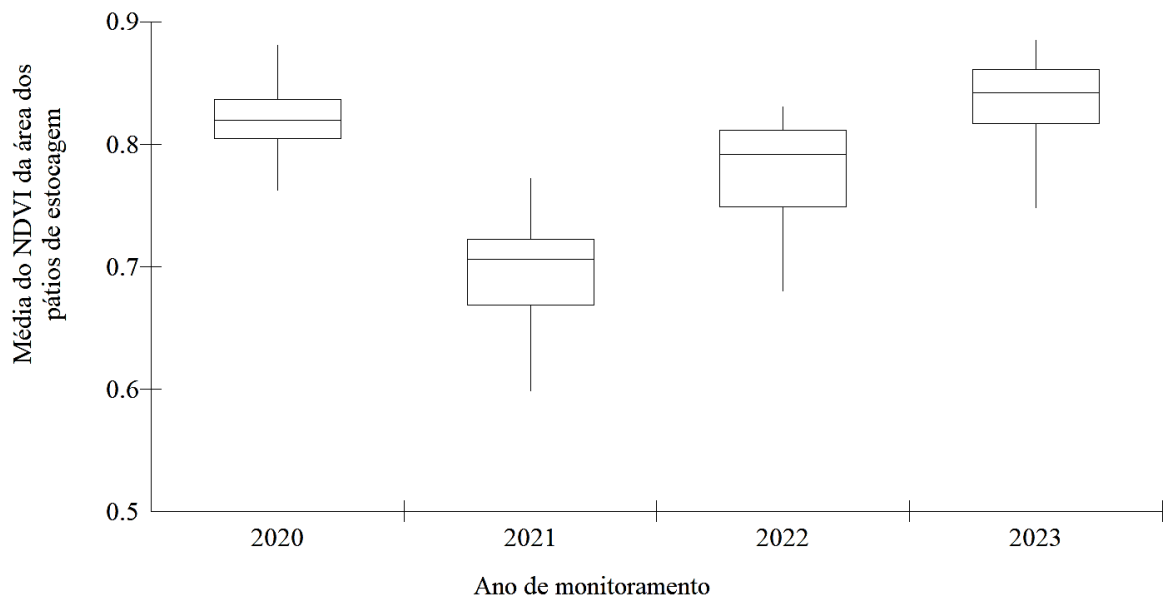


Figura 13. Boxplot da média do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) da área dos pátios de estocagem para os anos de Pré-exploração (2020), Exploração (2021), Um ano do término das atividades de exploração (2022), e Dois anos do término das atividades de exploração (2023), da Unidade de Produção Anual XV, Unidade de Manejo Florestal IV na Floresta Nacional do Jamari – RO.

Esse cenário pode ser representado na Figura 14, onde tem-se a ampliação do pátio de estocagem B-03, que por ter valor próximo a média e mediana observado na amostra, foi escolhido para representar o processo de cicatrização do dossel da floresta após a construção dos pátios de estocagem nos quatro anos de monitoramento. No ano da pré-exploração (2020), observa-se que a abertura do pátio de estocagem pode promover a presença de algum tipo de vegetação que seja beneficiada pela entrada de luz após abertura da clareira. No ano da

exploração (2021), o trânsito das máquinas e depósitos de toras criam maior exposição do solo. Em um ano do término das atividades de exploração (2022), ocorre o crescimento das copas das árvores adjacentes a borda da clareira, aumentando o NDVI, e dois anos do término das atividades de exploração (2023), além do crescimento das copas das árvores, ocorre a maior presença de vegetação no solo, diminuindo a porção de solo exposto.

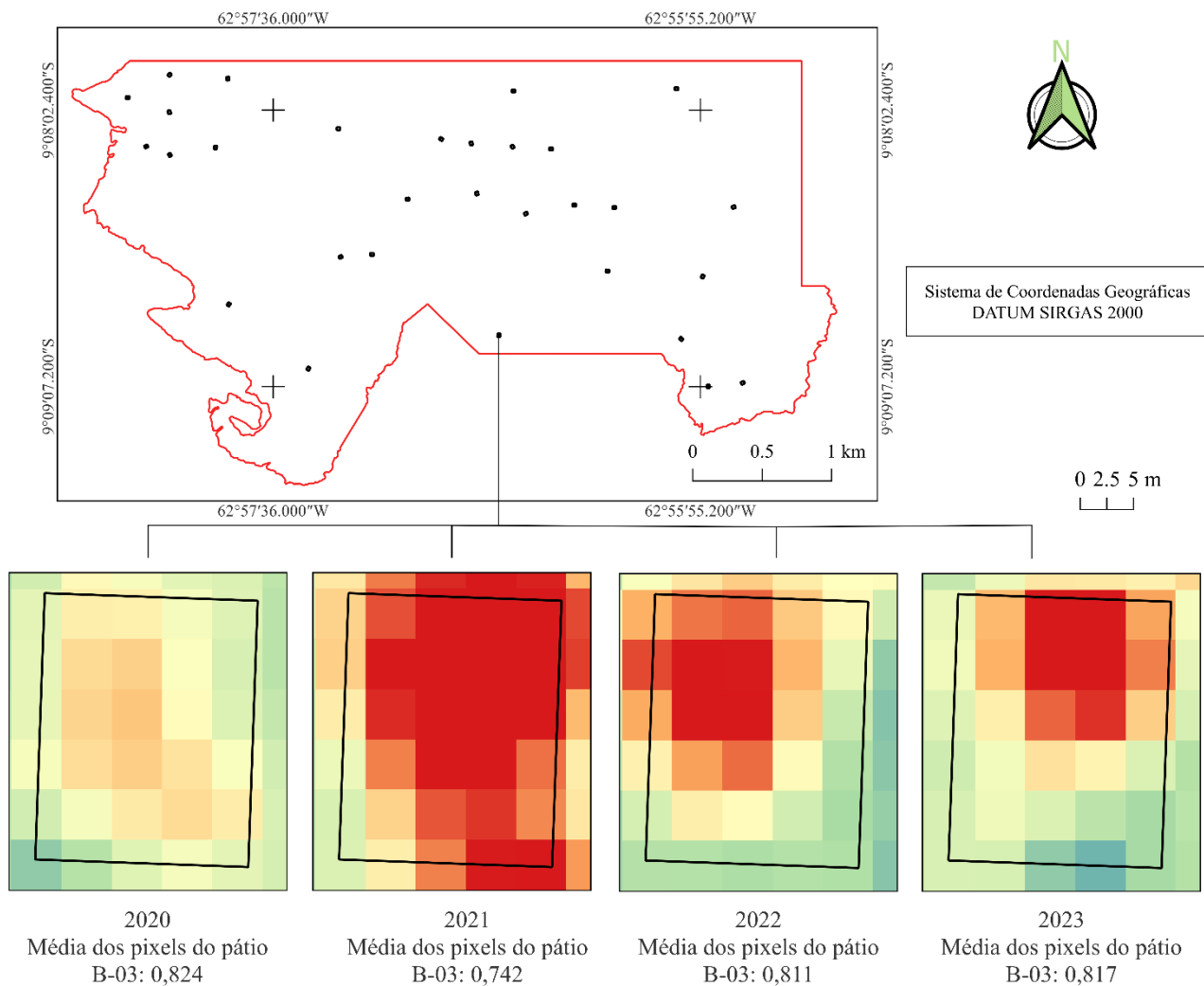


Figura 14. Ampliação do pátio de estocagem B-03 para os quatro anos de monitoramento da Unidade de Produção Anual XV, Unidade de Manejo Florestal IV na Floresta Nacional do Jamari - RO.

Durante as atividades de campo realizadas na área da UMF I, na Flona do Jacundá, foi observado a presença de vegetação pioneira em áreas de pátios de estocagem abertos antes da exploração (Figura 15). A presença de espécies pioneiras e outras de valor comercial são importantes indicadores da dinâmica e renovação de grupos florísticos em clareiras.

Estudos realizados na Amazônia demonstraram que essas espécies aceleram a

recuperação da dinâmica e diversidade, assim a coexistência de diferentes grupos funcionais indica resiliência ecossistêmica, sendo essencial para o manejo florestal sustentável. Logo, a dinâmica observada reforça a importância de práticas de baixo impacto para manter a produtividade e biodiversidade (Rivett et al., 2016; Barbosa et al., 2024)



Figura 15. Aspecto de estabelecimento de espécies demandante de luz após um ano da abertura dos pátios de estocagem, na Unidade de Produção Anual 23, Unidade de Manejo Florestal I, na Floresta Nacional de Jacundá - RO.

A figura 16 ilustra um pátio de estocagem após um ano do término das atividades de exploração com presença de vegetação. Essa

constatação corrobora com o aumento do NDVI após a exploração e diminuição no tamanho das clareiras formadas pelos pátios.



Figura 16. Aspecto de estabelecimento da regeneração natural nos pátios de estocagem após um ano do término das atividades de exploração, na Unidade de Produção Anual XV, Unidade de Manejo Florestal III, Floresta Nacional do Jamari - RO.

Na Figura 17 é apresentado um aspecto de um pátio de estocagem dois anos do término das atividades de exploração florestal. É notório já a

presença de regeneração natural composta por plantas com classes maior de tamanho favorecendo ainda mais, para o aumento no valor do NDVI.



Figura 17. Processo de cicatrização de clareira em área de pátio de estocagem, onde a regeneração natural avança para o centro do pátio de estocagem.

Pinto et al. (2025), verificaram a regeneração natural em clareiras após três décadas da exploração madeireira, observando a predominância de espécies tolerantes à sombra, seguidas por espécies intermediárias heliófilas. Os autores ressaltam que, além da ocorrência esperada de espécies demandantes de luz, foi registrada a presença de espécies tolerantes à sombra, sugerindo que a regeneração natural de distintos grupos ecológicos pode ser favorecida em ambientes perturbados (Bezerra et al., 2021; Pinto et al., 2025)

Segundo um estudo realizado por Carneiro (2019), que avaliou o comportamento do volume de madeira de espécies comerciais em áreas submetidas à exploração florestal de impacto reduzido, foi observado um aumento volumétrico significativo nos intervalos de 18, 26 e 30 anos após o término das atividades de exploração florestal. Esses resultados evidenciam a capacidade de resiliência e recuperação do ecossistema florestal pós-exploração.

A utilização de técnicas de Exploração por Impacto Reduzido permite a exploração dos recursos florestais mantendo a estrutura da floresta e minimizando os danos ocasionados pelas atividades de exploração, resultando na proteção das árvores comerciais remanescentes, pois ao manter a integridade da floresta, esta continua a desempenhar suas funções essenciais, tais como a proteção do solo contra a erosão, a preservação da qualidade da água, fornecimento de habitat para a biodiversidade, entre outros (Ferreira et al., 2015; Lima et al., 2021).

Conclusão

A classificação das alterações do dossel da floresta ocasionadas pela construção de pátios de estocagem demonstrou-se eficiente com o uso das imagens de alta resolução espacial Planet.

A variação no tamanho das clareiras dos pátios de estocagem ao longo dos quatro anos de monitoramento (pré-exploração, exploração, um ano do término das atividades de exploração e dois anos do término das atividades de exploração), sugere um processo dinâmico de cicatrização do dossel da floresta, indicando a recuperação do dossel da floresta.

A análise do NDVI durante os quatro anos de monitoramento corroborou de forma significativa com as mudanças na cobertura vegetal, indicando a resiliência do ecossistema florestal.

A utilização de técnicas de Exploração de Impacto Reduzido (EIR) mostrou-se eficiente, minimizando os danos da exploração florestal e contribuindo para a sustentabilidade.

A utilização de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento demonstraram eficácia no monitoramento do processo dinâmico da regeneração natural em áreas de pátio de estocagem.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao grupo de pesquisa do Laboratório de Ecologia e Manejo de Florestas Naturais (LEMAFLON), ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC), a Universidade Federal de Rondônia, e a empresa MADEFLONA e seus colaboradores que contribuíram para o desenvolvimento e realização deste projeto.

Referências

- Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., Gonçalves, J. D. M., & Sparovek, G. (2013). Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische zeitschrift*, 22, 711-728. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- Ayres, M., Ayres Júnior, M., Ayres, D. L., & Santos, A. A. (2007). BIOESTAT –Aplicações estatísticas nas áreas das ciências bio-médicas. *Ong Mamiraua*. Belém, PA.
- Barbosa, H. C. D. C. B., Ruschel, A. R., de Freitas, L. J. M., de Souza Barbosa, R., & Nascimento, R. G. M. (2024). Três décadas de dinâmica das árvores remanescentes após exploração na Floresta Nacional do Tapajós, Brasil. *Pesquisa Florestal Brasileira*, 44. <https://doi.org/10.4336/2024.pfb.44e202202264>
- Bezerra, T. G., Ruschel, A. R., Emmert, F., & Nascimento, R. G. M. (2021). Changes caused by forest logging in structure and floristic diversity of natural regeneration: Relationship between climate variables and forest dynamics in the eastern Amazon. *Forest Ecology and Management*, 482, 118862. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118862>
- Bezerra, I. C. G., Mendonça, A. L. A., Freitas, F. C., & Vinhote, E. G., 2022. Detecção de exploração em planos de manejo florestal em pequena escala com imagens Planet e Sentinel no Amazonas. In: 9º Congresso Florestal Brasileiro, 1, 115-118. <https://doi.org/10.55592/CFB.2022.5707744>
- Instrução normativa nº 5, de 11 de dezembro de 2006. Dispõe sobre procedimentos técnicos para elaboração, apresentação, execução e avaliação técnica de Planos de Manejo Florestal Sustentável-PMFSS nas florestas primitivas e suas formas de sucessão na Amazônia Legal, e dá outras providências. https://snif.florestal.gov.br/images/pdf/legislacao/normativas/in_mma_05_2006.pdf
- Breiman, L. (2001). 'Random Forests'. *Machine Learning*, 45, 5–32.
- Carneiro, F. da S., Ruschel, A. R., de Freitas, L. J. M., Pinheiro, K. A. O., & Maestri, M. P. (2019). Resiliência do volume de madeira de espécies comerciais em diferentes áreas experimentais na Amazônia Oriental. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, 10(6), 15-31.
- Costa, O. B. D., Matricardi, E. A. T., Pedlowski, M. A., Miguel, E. P., & Gaspar, R. D. O. (2019). Selective logging detection in the Brazilian Amazon. *Floresta e Ambiente*, 26, e20170634.
- Carvalho, A. L., d'Oliveira, M. V., Oliveira, L. C. (2020) Avaliação da Regeneração Natural após Exploração Florestal na Floresta Estadual do Antimary, Acre. *Embrapa Acre*, 28 p.
- Coops, N. C., Shang, C., Wulder, M. A., Branco, J. C., & Hermosilla, T. (2020). Change in forest condition: Characterizing non-stand replacing disturbances using time series satellite imagery. *Forest Ecology and Management*, 474, 118370. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118370>
- d'Oliveira, M. V. N., Figueiredo, E. O., de Almeida, D. R. A., Oliveira, L. C., Silva, C. A., Nelson, B. W., da Cunha, R. M., Papa, D. de A., Stark, S. C., & Valbuena, R. (2021). Impacts of selective logging on Amazon forest canopy structure and biomass with a LiDAR and photogrammetric survey sequence. *Forest Ecology and Management*, 500, 119648. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119648>
- Ferreira, B. M., Ribeiro, E. G. P., Pereira, B. W. F., Pinheiro, P. F. V., & Maciel, M. N. M. (2015). Imagens orbitais na análise da degradação florestal e qualidade do manejo em áreas de exploração no município de Paragominas-pa. *Enciclopedia Biosfera*, 11, 3151-3165.
- Francez, L. M. de B., Carvalho, J. O. P. de, Batista, F. de J., Jardim, F. C. da S., & Ramos, E. M. L. S. (2013). Influência da exploração florestal de impacto reduzido sobre as fases de desenvolvimento de uma floresta de terra firme, Pará, Brasil. *Ciência Florestal*, 23(4), 743-753. <https://doi.org/10.5902/1980509812358>
- Gouveia, D. M., Arce, J. E., da Silva Lopes, E., Guimaraes, F. A. R., dos Santos Lima, & R., Pereira, L. D. P. A. (2024). Optimization of storage yards in sustainable forest management in the amazon. *Journal of Environmental Management*, 372, 123280. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.123280>
- Han, J., Kamber, M., & Pei, J., (2011). Data Mining: Concepts and techniques. Morgan Kaufmann Publishers, Waltham, MA, USA. 3 ed.
- IBGE, 2012. Manual técnico da vegetação brasileira. Rio de Janeiro. <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv63011.pdf>
- Instrução Normativa SEMA nº 5 de 10 de setembro de 2015. Dispõe sobre procedimentos técnicos para elaboração, apresentação, execução e avaliação técnica de Plano de Manejo Florestal Sustentável - PMFS nas florestas nativas exploradas ou não e suas formas de sucessão no Estado do Pará, e dá outras providências. <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=303363>

- Instituto Nacional de Meteorologia. (2025). Balanço da Primavera de 2024. INMET/CAPRE/MAPA. https://portal.inmet.gov.br/uploads/Primavera-2024_Porto-Velho.pdf
- Jacobsen, R. H. F., Scctoti, M. S. V., Fagundes, S. T. S., Junior, J. F. B., Biazatti, S. C. (2020). Impactos na vegetação após corte seletivo em área de concessão florestal no sudoeste da Amazônia brasileira. *Floresta*, 50, 1778-1787. <https://doi.org/10.5380/rf.v50i4.65680>
- Jardim, F. C. S., Serrão, D. R., Nemer, T. C. (2007). Efeito de diferentes tamanhos de clareiras, sobre o crescimento e a mortalidade de espécies arbóreas, em Moju-PA. *Acta Amazonica*, 37, 37-47. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672007000100004>
- Landis, J. R., & Koch, G. G. (1997). The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, 33, 159-174.
- Lima, B. A., Nicoletti, M. F., Stepka, T. F., Carvalho, S. P. C., Melo, L. O., & Cruz, G. S. (2021). Efeitos da exploração de impacto reduzido (EIR) na composição florística e estrutura de uma floresta ombrófila densa na Amazônia Brasileira. *Scientia Forestalis*, 49, 3635. <https://doi.org/10.18671/scifor.v49n131.23>
- IBAMA & MMA. (2005). Plano de Manejo da Floresta Nacional do Jamari. Brasília. https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/biodiversidade/unidade-de-conservacao/unidades-de-biomas/amazonia/lista-de-ucs/flona-do-jamari/arquivos/flona_jamari_pm_anexos.pdf
- MADEFLONA. (2021). Plano Operacional Anual 2021.
- Moraes, I. S., Lima, A. M. M., Adami, M., & Andrade, M. T. V. S. (2016). Monitoramento da abertura no dossel a partir de fotografias hemisféricas com NDVI e MLME em área de concessão florestal: Mamuru-Arapiuns/PA. *Revista Brasileira de Cartografia*, 68, 1303-15.
- Pereira, P. R. M., Oliveira, M. M. N., Bolfe, E. L., Macarringue, L. S. (2023). Comparação da classificação do uso e cobertura da terra em imagens Lantsat-8 e Sentinel-2 no cerrado Maranhense. *Geo UERJ*, 42, 66306. <https://doi.org/10.12957/geouerj.2023.6630>
- Pinto, R. C., Gorgens, E. B., de Almeida, D. R. A., Peña-Claros, M., Schwartz, G., & Vidal, E. (2025). Natural regeneration responses of tree species at the end of the first timber harvesting cycle in the Eastern Amazon. *Forest Ecology and Management*, 594, 122947. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2025.122947>
- Rivett, S. L., Bicknell, J. E., & Davies, Z. G. (2016). Effect of reduced-impact logging on seedling recruitment in a neotropical forest. *Forest Ecology and Management*, 367, 71-79. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.02.022>
- Ruschel, A. R., Silva, U. S. da C., Ferreira, F. N., Melo, L. de O., Silva, J. N. M., Carvalho, J. O. P. de, Soares, M. H. M., Pereira, J. F., Freitas, L. J. M. de, & Kanashiro, M. (2022). Monitoramento florestal na Amazônia Oriental: histórico e importância da ferramenta para estudo da dinâmica florestal. Embrapa Amazônia Oriental.
- Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., & Deering, D. W. (1974). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *NASA Spec. Publ.*, 351, 309.
- Sabogal, C., Silva, J. N. M., Zweede, J., Júnior, R. P., Barreto, P., & Guerreiro, C. A. (2000). Diretrizes técnicas para a exploração de impacto reduzido em operações florestais de Terra Firme na Amazônia. Embrapa Amazônia Oriental.
- Santos, H. G., Jacomine, P. K. T., Anjos, L. H. C., Oliveira, V. A., Lumberras, J. F., Coelho, M. R., Almeida, J. A., Araujo Filho, J. C., Oliveira, J. B., & Cunha, T. J. F. (2018). Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. EMBRAPA Solos, Brasília.
- Sccon. Imagens PLANET. (2023). <https://www.sccon.com.br/produtos/imagens-planet/>
- Silva, R. F., Santos, M. S., Santana, F. D., Oliveira, Y. S., & Souza, B. T. (2021). Sensoriamento Remoto aplicado à análise da regeneração da vegetação natural do Parque Estadual da Lapa Grande, Montes Claros, Minas Gerais. *Caderno de Geografia*, 31, 304-317. <https://doi.org/10.5752/P.2318-2962.2021v31n65p304>
- Souza, A. L., & Soares, C. P. B. (2013). Florestas Nativas: Estrutura, Dinâmica e Manejo. Editora UFV: Viçosa.