

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**  
**CENTRO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (CDS)**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM**  
**DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (PPG - CDS)**

**MAPEAMENTO DE PEQUENAS ÁREAS DE**  
**DESMATAMENTO EM FLORESTA PRIMÁRIA: UM ESTUDO**  
**DE CASO NAS RESERVAS DE DESENVOLVIMENTO**  
**SUSTENTÁVEL DO RIO E NEGRO E PURANGA CONQUISTA**

**SAMIRA PINHO BEZERRA DE ANDRADE**

**ORIENTADOR: CARLOS HIROO SAITO**  
**COORIENTADOR: ROMERO GOMES PEREIRA DA SILVA**

**BRASÍLIA/DF, 22 de dezembro de 2023**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**  
**CENTRO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (CDS)**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM**  
**DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (PPG - CDS)**

**MAPPING SMALL DEFORESTATION IN PRIMARY FOREST:  
A CASE STUDY IN RIO NEGRO AND PURANGA CONQUISTA  
SUSTAINABLE DEVELOPMENT RESERVES**

**SAMIRA PINHO BEZERRA DE ANDRADE**

**ORIENTADOR: CARLOS HIROO SAITO**  
**COORIENTADOR: ROMERO GOMES PEREIRA DA SILVA**

**BRASÍLIA/DF, 22 de dezembro de 2023**

## **AGRADECIMENTOS**

Esta dissertação reflete o trabalho de muitas pessoas. Portanto, ofereço minha sincera gratidão:

À Deus, pois Ele é meu refúgio e amparo, e sem Ele nada sou.

Aos meus pais e à minha irmã, que não mediram esforços para que eu pudesse chegar até aqui.

Ao meu companheiro e esposo, pelo amor e suporte diário.

Aos meus orientadores Carlos Saito e Romero Gomes, apoiadores do início ao fim desse processo, que me mostraram que pesquisa científica se faz com parceria, respeito e trocas. Demonstrando empatia e encorajando mesmo nos momentos mais difíceis, muito obrigada.

À toda equipe PROGYSAT que mostrou como a pesquisa é um belo caminho a ser seguido.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro.

A todos os amigos que me ajudaram ou me apoiaram de alguma maneira para concluir este trabalho.

À minha filha Rachel que como um presente deu sentido  
em muitas coisas na etapa final deste trabalho.

## RESUMO

O controle do desmatamento é fundamental para evitar os impactos da perda de floresta no bioma amazônico. Por isso, compreender o processo de abertura de pequenas áreas em floresta primária é essencial para o desenvolvimento de modelos mais detalhados, de forma que sejam mais representativos do contexto local, mais refinados e que possam subsidiar a construção de políticas públicas como o Programa Bolsa Floresta (PBF). Nesse contexto, o sensoriamento remoto (SR) aparece como uma ferramenta promissora, fornecendo cobertura espacial e temporal suficiente para o acompanhamento de pequenas aberturas em floresta na região amazônica. O objetivo deste trabalho foi identificar e quantificar o desmatamento em áreas a partir de 0,5 ha de florestas primárias antes e após a implementação do Programa Bolsa Floresta (PBF) nas reservas de Desenvolvimento Sustentável (RDS) do Rio Negro e Puranga Conquista, no estado do Amazonas. Para tal finalidade, a metodologia consistiu em utilizar índices espectrais de vegetação como o Índice de Umidade por Diferença Normalizada (NDMI) que é sensível aos níveis de umidade na vegetação, e a implantação do PBF como marcador temporal inicial para cada RDS com três períodos subsequentes. O mapeamento mostrou, de maneira geral, que há uma tendência de queda quanto a abertura de novas áreas em floresta primária. Porém, quando comparado aos dados oficiais a metodologia utilizada neste trabalho é mais sensível, apresentando incrementos de desmatamento por período com valores que chegam a ser dez vezes maiores. Os resultados mostram os esforços das famílias locais para cumprir as regras de desmatamento zero do PBF e como consequência, os dados mais detalhados, com o uso desta metodologia, se mostram essenciais para entender a dinâmica de desmatamento em pequenas áreas.

Palavras-chave: Desmatamento, Sensoriamento Remoto, Programa Bolsa Floresta., Amazônia, NDMI, Reserva de Desenvolvimento Sustentável.

## **ABSTRACT**

Deforestation control is essential to avoid the impacts of forest loss. Therefore, understanding the process of opening small areas in primary forest is essential for the development of more detailed models, so that they are more representative of the local context, more refined and can support the construction of public policies such as the Bolsa Floresta Program (PBF). In this context, remote sensing (SR) appears as a promising tool, providing sufficient spatial and temporal coverage for the monitoring of small forest openings in the Amazon region. The objective of this work was to identify and quantify deforestation in areas larger than 0.5 ha of primary forests before and after the implementation of: Bolsa Floresta Program (PBF) in the Sustainable Development Reserves (RDS) of Rio Negro and Puranga Conquista, in the state of Amazonas. For this purpose, the methodology consisted of using spectral indices of vegetation such as the Normalized Difference Moisture Index (NDMI) that is sensitive to moisture levels in the vegetation, and the implementation of the PBF as the initial temporal marker for each RDS with three subsequent periods. The mapping showed, in general, that there is a downward trend regarding the opening of new areas in primary forest. However, when compared to the official data, the methodology used in this study is more sensitive, presenting increases in deforestation per period with values ten times higher. The results show the efforts of local families to comply with the rules of zero deforestation of the PBF and, as a consequence, the more detailed data, using this methodology, are essential to understand the dynamics of deforestation in small areas.

**Keywords:** Deforestation, Remote Sensing, Bolsa Floresta Program, Amazon, NDMI, Sustainable Development Reserve.

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| <a href="#">Figura 1 Área de estudo do PROGYSAT no Brasil. Fonte: Autoria própria.</a>  | 5  |
| <a href="#">Figura 2 Unidades de Conservação no estado do Amazonas. Fonte: (SEMA, 2023).</a>  | 10 |
| <a href="#">Figura 3 Mapa da Amazônia Legal. Fonte: (IBGE, 2022)</a>  | 14 |
| <a href="#">Figura 4 Taxa anual de desmatamento desde 1988 na ALB. Em preto, referente ao ano de 2021. Fonte: (PRODES, 2022).</a>           | 16 |
| <a href="#">Figura 5 Incrementos de desmatamento nas UCs da Amazônia Legal entre os anos de 2008 e 2022. Fonte: (PRODES, 2022)</a>          | 17 |
| <a href="#">Figura 6 Unidades de Conservação da Natureza com desmatamento no Brasil em 2021. Fonte: (MAPBIOMAS, 2022)</a>                   | 18 |
| <a href="#">Figura 7 Abordagem sistêmica do Programa Floresta em pé, o qual o PBF faz parte. Fonte: (FAS, 2021).</a>                        | 24 |
| <a href="#">Figura 8 As 16 UCs estaduais atendidas pelo PBF no Amazonas. Fonte: FAS,(2021b).</a>  | 25 |
| <a href="#">Figura 9 Espectro Eletromagnético. Fonte: DORNELLES, (2008).</a>  | 27 |
| <a href="#">Figura 10 Visão geral do editor de código do Earth Engine.</a>  | 30 |
| <a href="#">Figura 11 Mapa de Localização das áreas de estudo. Fonte: Autoria própria (Imagem Landsat 9/2022).</a>                          | 31 |
| <a href="#">Figura 12 Localização da Reserva de Desenvolvimento Sustentável do Rio Negro. Fonte: SEMA (2016).</a>                           | 32 |
| <a href="#">Figura 13 Localização da Reserva de Desenvolvimento Sustentável Puranga Conquista. Fonte: SEMA (2016).</a>                      | 33 |
| <a href="#">Figura 14 Fluxograma metodológico utilizado. Fonte: Autoria própria.</a>  | 36 |
| <a href="#">Figura 15 Ambientes utilizados para cada etapa metodológica. Fonte: Autoria própria.</a>  | 37 |
| <a href="#">Figura 16 Anos selecionados para a análise do desmatamento em pequenas áreas para cada RDS.</a>                                 | 38 |
| <a href="#">Figura 17 Algoritmo de busca para imagens sem cobertura de nuvens na área de interesse pelo GEE. Fonte: Elaboração própria.</a> | 38 |
| <a href="#">Figura 18 Rotina metodológica aplicada no GoogleEarthEngine (GEE). Fonte: Autoria própria.</a>                                  | 40 |
| <a href="#">Figura 19 NDVI para cada ano da análise na Reserva de Desenvolvimento Sustentável do Rio Negro.</a>                             | 42 |

|   |    |
|---|----|
| <a href="#"><u>Figura 20 NDVI para cada ano da análise na Reserva de Desenvolvimento Sustentável Puranga Conquista.</u></a>   | 43 |
| <a href="#"><u>Figura 21 NDMI para cada ano da análise na Reserva de Desenvolvimento Sustentável do Rio Negro.</u></a>  | 44 |
| <a href="#"><u>Figura 22 NDMI para cada ano da análise na Reserva de Desenvolvimento Sustentável Puranga Conquista.</u></a>   | 44 |
| <a href="#"><u>Figura 23 Áreas abertas desmatadas identificadas na Reserva de Desenvolvimento Sustentável do Rio Negro.</u></a>   | 45 |
| <a href="#"><u>Figura 24 Áreas abertas desmatadas identificadas na Reserva de Desenvolvimento Sustentável do Rio Negro.</u></a>   | 46 |
| <a href="#"><u>Figura 25 Dados do desmatamento na RDS do Rio Negro.</u></a>   | 47 |
| <a href="#"><u>Figura 26 Áreas abertas em floresta primária nos anos de 2009, 2011, 2015 e 2022 na RDS do Rio Negro.</u></a>  | 48 |
| <a href="#"><u>Figura 27 Comparação dos dados de desmatamento da metodologia com o PRODES na RDS do Rio Negro.</u></a>  | 49 |
| <a href="#"><u>Figura 28 Gráfico com dados de desmatamento na RDS do Rio Negro.</u></a>   | 49 |
| <a href="#"><u>Figura 29 Dados do desmatamento na RDS Puranga Conquista.</u></a>  | 50 |
| <a href="#"><u>Figura 30 Áreas abertas em floresta primária nos anos de 2013, 2016, 2017 e 2022 na RDS Puranga Conquista.</u></a>   | 51 |
| <a href="#"><u>Figura 31 Comparação dos dados de desmatamento da metodologia com o PRODES na RDS Puranga Conquista.</u></a>   | 52 |
| <a href="#"><u>Figura 32 Gráfico com dados de desmatamento na RDS Puranga Conquista.</u></a>  | 52 |
| <a href="#"><u>Figura 33 Comparação dos polígonos identificados utilizando os sensores Landsat e Sentinel.</u></a>  | 53 |
| <a href="#"><u>Figura 34 Resultados automatizados no GEE para detecção de áreas abertas na RDS do Rio Negro.</u></a>  | 54 |
| <a href="#"><u>Figura 35 Áreas abertas desmatadas identificadas pelo algoritmo na Reserva de Desenvolvimento Sustentável do Rio Negro (esquerda) e na Reserva de Desenvolvimento Sustentável Puranga Conquista (direita).</u></a> | 55 |
| <a href="#"><u>Figura 36 Dados gerados pela automatização do desmatamento na RDS do Rio Negro.</u></a>  | 56 |
| <a href="#"><u>Figura 37 Dados gerados pela automatização do desmatamento na RDS do Rio Negro.</u></a>  | 56 |

## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1 Categorias das UCs de acordo com o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC)..... | 9  |
| Tabela 2 Limiões definidas a partir do desvio padrão de cada imagem.....  | 45 |
| Tabela 3 Áreas dos polígonos encontrados para cada ano na RDS do Rio Negro.....                                 | 48 |
| Tabela 4 Áreas dos polígonos encontrados para cada ano na RDS Puranga Conquista. ....                           | 51 |

# SUMÁRIO

|    |  |    |
|----|--|----|
| 1. | INTRODUÇÃO .....   | 1  |
| 2. | OBJETIVOS .....  | 4  |
|    | 2.1.OBJETIVO GERAL .....   | 4  |
|    | 2.2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....                                      | 4  |
| 3. | HIPOTESE .....   | 4  |
| 4. | JUSTIFICATIVAS .....   | 5  |
| 5. | REVISÃO DA LITERATURA .....  | 8  |
|    | 5.1.Unidades de Conservação (UC).....                                | 8  |
|    | 5.2.A agricultura familiar na Amazônia .....                         | 11 |
|    | 5.3.Desmatamento na Amazônia e o seu monitoramento.....              | 12 |
|    | 5.3.1. Desmatamento em Unidades de Conservação (UC's).....           | 16 |
|    | 5.4.Políticas Públicas de controle do desmatamento na Amazônia.....  | 19 |
|    | 5.4.1. Programa Bolsa Floresta .....                                 | 21 |
|    | 5.5.Uso do sensoriamento remoto para dinâmica florestal.....         | 25 |
|    | 5.5.1. Índices espectrais .....                                      | 27 |
|    | 5.5.2. Google Earth Engine.....                                      | 29 |
| 6. | ÁREAS DE ESTUDO .....  | 32 |
|    | 6.1.1. Reserva de Desenvolvimento Sustentável do Rio Negro .....     | 32 |
|    | 6.1.2. Reserva de Desenvolvimento Sustentável Puranga Conquista..... | 34 |
| 7. | METODOLOGIA.....   | 37 |
|    | 7.1.Banco de dados .....   | 38 |
|    | 7.2.Análise dos Dados .....  | 40 |
|    | 7.2.1. Comparação dos resultados .....                               | 40 |
|    | 7.3.Automatização da metodologia DEPAF.....                          | 41 |

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 8.  | RESULTADOS .....                                  | 44 |
|     | 8.1.Geração dos Índices .....                     | 44 |
|     | 8.2.Mapeamento das pequenas áreas desmatadas..... | 47 |
|     | 8.3.Dados do desmatamento .....                   | 48 |
|     | 8.4.Comparação Landsat e Sentinel II.....         | 56 |
|     | 8.5.Resultados automatizados.....                 | 57 |
| 9.  | DISCUSSÃO .....                                   | 60 |
| 10. | CONCLUSÃO .....                                   | 62 |
|     | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....                  | 64 |

## 1. INTRODUÇÃO

A importância da conservação da Floresta Amazônica é inegável, especialmente quando consideramos as comunidades indígenas, tradicionais e ribeirinhas que dependem dela para sua sobrevivência. Essas populações não apenas dependem da floresta, mas também possuem um vasto conhecimento sobre ela, o que é crucial para a qualidade de vida delas (Viana, 2008).

No entanto, a proteção da floresta na região amazônica não é uma tarefa simples. A Amazônia é um território complexo e multifacetado e, portanto, requer uma abordagem sensível ao contexto em termos de estratégias de conservação (MMA, 2004). Cada estratégia deve ser cuidadosamente formulada levando em consideração as particularidades da região para garantir a eficácia da conservação.

Nesse sentido, têm-se as áreas protegidas que são instrumentos eficazes para proteger a integridade dos ecossistemas, da biodiversidade e dos serviços ambientais relacionados, como, entre outros, proteção do solo, reciclagem de nutrientes e equilíbrio do clima (Veríssimo *et al.*, 2011). Em especial, as unidades de conservação (UCs) que desempenham uma função importante na sustentabilidade do ecossistema florestal e são uma arma poderosa na luta para reduzir o desmatamento e a degradação florestal (Cabral *et al.*, 2018).

As UCs são áreas instituídas e geridas pelo poder público federal, estadual ou municipal. De acordo com o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC), as UCs são espaços territoriais estabelecidos pela Lei nº 9.985/2000 como parte de políticas e/ou estratégias de conservação, bem como a manutenção da biodiversidade e serviços ambientais relacionados (Dudley, Stolton e Shadie, 2008).

Uma das estratégias adotadas pelo Estado do Amazonas entre 2003 e 2014 foi expandir de 4,7% para 12% do território na extensão de áreas estaduais protegidas, um aumento de 11,4 milhões de hectares (ha). Entretanto, isolada, essa estratégia não é suficiente para conter o avanço do desmatamento (Pfaff *et al.*, 2015). Para tanto, é fundamental adotar outras modalidades de desenvolvimento regional para construir uma economia de produtos e serviços ambientais com proteção ambiental e justiça social (Cabral *et al.*, 2018).

Por isso, em 2007, foi desenvolvida uma política pública visando garantir a manutenção dos serviços ecossistêmicos das UCs estaduais do Amazonas: o Programa Bolsa Floresta (PBF), institucionalizado pela Lei nº 3.135/2007. O PBF é um componente de um

subsídio financeiro que é pago às mães das famílias beneficiadas no valor de R\$50,00 por mês como forma de recompensa pela conservação da floresta (Silva, Meneghetti e Pinheiro, 2021). Esse valor está condicionado ao desmatamento zero em florestas primárias pelas famílias, entre outras regras do programa (FAS, 2017a).

As famílias entendem o compromisso com a proteção das florestas e concordam com a necessidade de proteger o ecossistema florestal, contudo existe a necessidade de os agricultores abrirem novas áreas em florestas primária, tornando a prática agrícola menos sustentável (Jakovac *et al.*, 2017; Laques *et al.*, 2021).

O monitoramento e acompanhamento do cumprimento das normas de não desmatamento é feito pela Fundação de Sustentabilidade da Amazônia (FAS), que considera a situação cadastral dos beneficiários e verifica se as normas do projeto são cumpridas. Nesses termos, desde 2010, a FAS implementa projetos de monitoramento de satélite para verificar os índices desmatamento nas áreas do PBF com base em dados oficiais divulgados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) executado pelo Projeto Satélite de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia (PRODES). No entanto, esse método de cálculo da área desmatada não permite a detecção de áreas desmatadas menores que 6,25 hectares (Câmara, Valeriano e Soares, 2006).

Para entender o papel que as florestas desempenham agora e no futuro, é necessário entender a dinâmica das mudanças nas áreas florestais, tanto regional quanto localmente, incluindo tanto a perturbação e o desmatamento quanto os processos de rebrota e reflorestamento (Decuyper *et al.*, 2022). Como as mudanças induzidas pela sociedade estão acontecendo em um ritmo cada vez mais acelerado, espera-se que os sistemas de monitoramento de sensoriamento remoto, desempenhem um papel fundamental na política ambiental e na tomada de decisões (Chen *et al.*, 2023).

O uso de tecnologia de processamento digital de imagens tem se tornado uma ferramenta importante para melhor compreender os complexos processos antropogênicos da Amazônia, que podem identificar vários tipos de degradação, desmatamento, uso do solo e padrões de cobertura do solo (Câmara, Valeriano e Soares, 2006). Estudos com metodologias usando índices multiespectrais de sensoriamento remoto para avaliar as mudanças no solo demonstram a capacidade de diferenciar e detectar pequenos padrões de alterações na vegetação ao longo do tempo (Gao, 1996).

Portanto, é importante compreender melhor as relações e interações entre a sociedade e a natureza, contribuindo para uma melhor gestão e utilização dos recursos de maneira sustentável. Deste modo, este estudo se propõe a detectar a abertura de pequenas áreas em

floresta primária com a utilização uma metodologia de mapeamento detalhado, conforme realizado por (Silva *et al.*, 2021), para identificação de padrões de desmatamento. Foram selecionadas duas RDS atendidas pelo PBF, a saber, Rio Negro e Puranga Conquista. Ambas estão localizadas próximas a Manaus, capital do estado do Amazonas.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1.OBJETIVO GERAL**

Este trabalho tem como objetivo geral mapear e quantificar o desmatamento em áreas a partir que 0,5 ha de florestas primárias antes e após a implementação do: Programa Bolsa Floresta (PBF) nas reservas de Desenvolvimento Sustentável (RDS) do Rio Negro e Puranga Conquista, no estado do Amazonas, a partir do uso de sensoriamento remoto.

### **2.2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Tendo em vista desenvolver e alcançar o objetivo geral estabelecido, foram definidos os seguintes objetivos específicos em relação às áreas de estudo:

- Mapear e quantificar o desmatamento em pequenas áreas de floresta primária para cada RDS na série temporal, sendo:
  - a. Para a RDS do Rio Negro os anos 2009, 2011, 2015 e 2022 e para a RDS Puranga Conquista os anos 2013, 2016, 2017 e 2022;
- Comparar o mapeamento e a quantificação do desmatamento das imagens iniciais Landsat com a imagem Sentinel 2022;
- Automatizar a metodologia aplicada.

## **3. HIPOTESE**

O monitoramento detalhado do desmatamento permite detectar mudanças e acompanhar os efeitos ao longo do tempo de políticas públicas, como o PBF, nas escalas dos territórios de gestão.

#### 4. JUSTIFICATIVAS

As áreas de estudo, além de serem participantes do PBF, também estão abrangidas pelo projeto *Projet de coopération Régionale pour l'Observation des GuYanes par SATellite* (PROGYSAT). O objetivo do PROGYSAT é, por meio de tecnologias inovadoras, contribuir para melhorar a preservação e a sustentabilidade da gestão do patrimônio natural e territorial nas Guianas e nos países vizinhos. A área foco do PROGYSAT no Brasil pode ser visualizada na Figura 1.

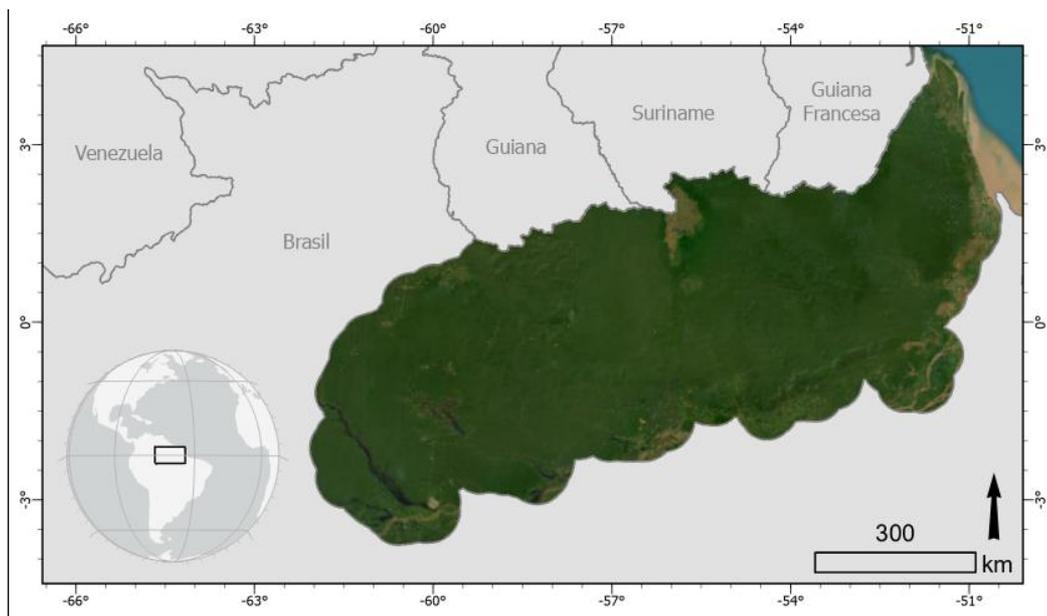


Figura 1 Área de estudo do PROGYSAT no Brasil. Fonte: Autoria própria.

Neste âmbito, as atividades desenvolvidas pela PROGYSAT, incluindo este estudo, irão consolidar e enriquecer a utilização das informações de satélite por atores de pesquisa e de educação, bem como por gestores dos territórios. Trata-se de constituir e compartilhar entre Guiana, França e Brasil instituições de imageamento espacial e bases de informação a serviço do monitoramento do meio ambiente e da dinâmica territorial nas regiões de interesse das Guianas.

Ainda no contexto do PROGYSAT, segundo Silva *et al.* (2022), a equipe do projeto busca não apenas disponibilizar metodologias já escritas e publicadas em diferentes meios de comunicação científica, mas implementá-las em uma plataforma geoespacial. Assim, espera-se que pesquisadores, gestores públicos e demais interessados possam executar e gerar indicadores, mapas e dados que mostram padrões da paisagem na Amazônia, em diferentes escalas para atender às diferentes demandas no âmbito de gestão e planejamento territorial e ambiental.

Considerando também que este estudo visa a conservação do patrimônio natural da Amazônia, alinhado com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) das Nações Unidas, Laques *et al.* (2021) elucidam uma análise das políticas públicas de proteção das florestas e as suas relações com os ODS. Diante disso, o PBF contribui para vários ODS, como o ODS-15 (Vida na Terra), promovendo o desmatamento zero em florestas primárias e a abertura de roças apenas em áreas de vegetação secundária. Além disso, o PBF promove a implementação do manejo florestal sustentável (meta 15.2 do ODS) e protege e restaura ecossistemas relacionados à água (meta 6.6 do ODS). O programa também exige o cumprimento do plano de manejo das RDS's, que proíbe a exploração de várias espécies de árvores protegidas na Amazônia (meta 15.5 do ODS) (Laques *et al.*, 2021).

Cabe citar que o PBF é particularmente relevante para o ODS-13 (Ação contra a Mudança Global do Clima), pois entre 2008 e 2019, o programa evitou a emissão de mais de 17,2 milhões de toneladas de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), equivalente a 19 mil hectares preservados. Além disso, o PBF contribuiu para uma redução de 76% no desmatamento nas Unidades de Conservação (UCs) onde atua, ajudando o Brasil a alcançar o ODS-15 (Vida Terrestre.).

Outro fator, é o monitoramento e acompanhamento das taxas de desmatamento do PBF que se tornam incoerentes quando, no estado do Amazonas, a área das parcelas plantadas a cada ano para cultura familiar é de 0,5 a 1 ha (Dutrieux *et al.*, 2016). Assim, há uma necessidade urgente de obter dados mais detalhados dessas pequenas áreas abertas. A inviabilidade do uso dos dados do PRODES reside na resolução da escala de mapeamento de 1:250.000, o que não é suficiente para a detecção de espaços abertos por agricultores tradicionais. Portanto, o uso de métodos de análise de varredura que possam detectar roças, incluindo aquelas menores que 6,25 hectares é fundamental para mapear a dinâmica de desmatamento em pequenas áreas (Silva *et al.*, 2021).

Diante do PBF e do seu monitoramento, as pesquisas sobre o desmatamento na Amazônia não podem se limitar a quantificar taxas, pois as decisões de desmatamento envolvem uma série de atividades de diferentes grupos humanos, interconectados ou não, levando a diferentes produtos e diferentes consequências. Portanto, quantificar o desmatamento por si só não fornece um entendimento satisfatório das causas e responsáveis pela perda de florestas nativas da Amazônia (Macedo, 2009).

Macedo (2009) ainda considera que compreender o processo de abertura de pequenas áreas local é essencial, pois as peculiaridades dos diferentes sistemas de produção e as

peculiaridades dos diversos grupos sociais neles instalados são um fator importante. Para tanto, o estudo dessas relações é importante para o desenvolvimento de modelos detalhados, de forma que sejam mais representativos do contexto local, mais refinados e que possam subsidiar a construção de políticas públicas como o PBF.

Nesse sentido, é evidente que os dados coletados na escala oficial do PRODES não conseguem representar adequadamente a extensão geográfica e os padrões espaço-temporais das áreas abertas para a agricultura tradicional/familiar, que são, em média, de 1 hectare (Jakovac *et al.*, 2017). Kalamandeen *et al.* (2018) relataram uma tendência crescente na abertura de pequenas áreas na floresta, que são indetectáveis pelo programa oficial, funcionando como uma estratégia para contornar o monitoramento do desmatamento na Amazônia.

Portanto, é crucial obter dados mais detalhados sobre a dinâmica espacial e temporal do uso do solo na Amazônia. Os métodos que mapeiam essas dinâmicas serão mais eficazes se refletirem os padrões reais gerados por essas mudanças. Isso permitirá análises que operem na escala da paisagem, uma escala que segundo Metzger (2001), enfoca nos diferentes padrões e dinâmicas espaciais, levando em consideração os processos ecológicos e as interações humanas com a natureza (Silva *et al.*, 2022).

## 5. REVISÃO DA LITERATURA

### 5.1. Unidades de Conservação (UC)

As áreas protegidas (AP's) são ferramentas estratégicas para proteger a integridade dos ecossistemas, da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos relacionados, como conservação do solo, proteção de bacias hidrológicas, polinização, ciclagem de nutrientes e equilíbrio do clima. A criação e implementação de áreas protegidas também ajudam a garantir os direitos de permanência e a cultura de populações tradicionais e povos indígenas pré-existentes (Veríssimo *et al.*, 2011).

O estabelecimento e a defesa de AP's são uma parte importante das estratégias para conter o desmatamento, pois são espaços voltados à preservação da natureza, definidos por meio de leis e decretos. Podem ser públicas ou privadas, sendo em todas obrigatória a conservação de seus recursos naturais (Medeiros, 2006). As AP's brasileiras incluem terras indígenas de responsabilidade da Fundação Nacional do Índio (FUNAI), Área de Preservação Permanente (APP), Reserva Legal (RL) e UCs sob responsabilidade do Ministério do Meio Ambiente (MMA) ou órgãos equivalentes (federal ou estaduais).

As UCs, consideradas essenciais para o desenvolvimento sustentável por conservarem a sociobiodiversidade, possuem atributos naturais relevantes e visam proteger a natureza (Pereira *et al.*, 2018). Cada uma delas é classificada de acordo com suas características e objetivos a serem alcançados, de acordo com a Lei nº 9.985 de 2000 que instituiu o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC), e que, define UC como o espaço territorial, incluindo as águas sob jurisdição, com importantes recursos ambientais.

O SNUC também divide essas áreas em dois grupos: unidades de proteção integral e unidades de uso sustentável. O primeiro grupo é subdividido em cinco categorias, cujos usos são restritos e objetivos se concentram mais na pesquisa e proteção da biodiversidade. Já no segundo, os sete tipos de unidades de uso sustentável se concentram mais no uso sustentável de seus recursos.

As unidades de proteção integral incluem vários tipos de parques e reservas que não abarcam habitantes humanos, enquanto as unidades de uso sustentável incluem, por exemplo, seringueiros, coletores de produtos florestais não-madeireiros e a presença de habitantes tradicionais. A Tabela 1 apresenta a classificação das UCs.

Tabela 1 Categorias das UCs de acordo com o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC).

| Proteção Integral  | Uso Sustentável  |
|--|--|
| Estação Ecológica, Reserva Biológica, Parque Nacional (Federal), Monumento Natural e Refúgio da Vida Silvestre | Área de Proteção Ambiental, Floresta Nacional (Federal), Área de Relevante Interesse Ecológico, Reserva Extrativista, Reserva da Fauna, Reserva Extrativista, Reserva de Desenvolvimento Sustentável e Reserva Particular do Patrimônio Natural. |

Na categoria de uso sustentável, para os fins deste estudo, destaca-se a Reserva de Desenvolvimento Sustentável (RDS), que é definida segundo o artigo 20 da Lei Federal nº 9.985/2000:

Área natural que abriga populações tradicionais, cuja existência baseia-se em sistemas sustentáveis de exploração dos recursos naturais, desenvolvidos ao longo de gerações e adaptados às condições ecológicas locais e que desempenham um papel fundamental na proteção da natureza e na manutenção da diversidade biológica (Brasil, 2000).

Assim, RDS são áreas naturais habitadas por populações tradicionais, que possuem um sistema de desenvolvimento sustentável baseado nos recursos naturais, após várias gerações de adaptação às condições ecológicas locais. Essas populações desempenham um papel fundamental na proteção da natureza e na manutenção da biodiversidade (BRASIL, 2000).

A União Internacional para a Conservação da Natureza (IUCN) classifica as Unidades de Conservação (UCs) no Brasil em sete categorias. Essas categorias são divididas em dois grupos principais. O primeiro grupo é o das Áreas Integralmente Protegidas, que inclui Reservas Biológicas (Ia), Estações Ecológicas (Ia), Parques Nacionais (II), Monumentos Naturais (III) e Áreas de Refúgio de Vida Selvagem (III). Essas unidades têm restrições para a exploração de recursos naturais e são voltadas para a conservação da natureza.

Já o segundo grupo é o das áreas de uso sustentável, que inclui Áreas de Relevante Interesse Ecológico (IV), Áreas de Proteção Ambiental (V), Reservas de Desenvolvimento Sustentável (VI) e Reservas Extrativistas (VII). Essas unidades permitem um uso mais flexível da terra e dos recursos naturais para atividades econômicas, sempre com foco na sustentabilidade.

A RDS é compatível com a categoria VI de acordo com a classificação IUCN. A categoria VI é a inovação mais recente no sistema mundial de classificação de gestão de áreas protegidas. Essa categoria permite o fluxo sustentável de bens e serviços para atender às necessidades da comunidade por meio de múltiplos usos de recursos (Dudley, Stolton e Shadie, 2008).

No Amazonas, as Unidades de Conservação (UCs) ocupam uma área em torno de 47 milhões de hectares, o que equivale a cerca de 30% do território estadual. Dessas UCs, 16,97% são federais, 12,13% estaduais e 1,13% municipais, conforme apresentado na Figura 2.

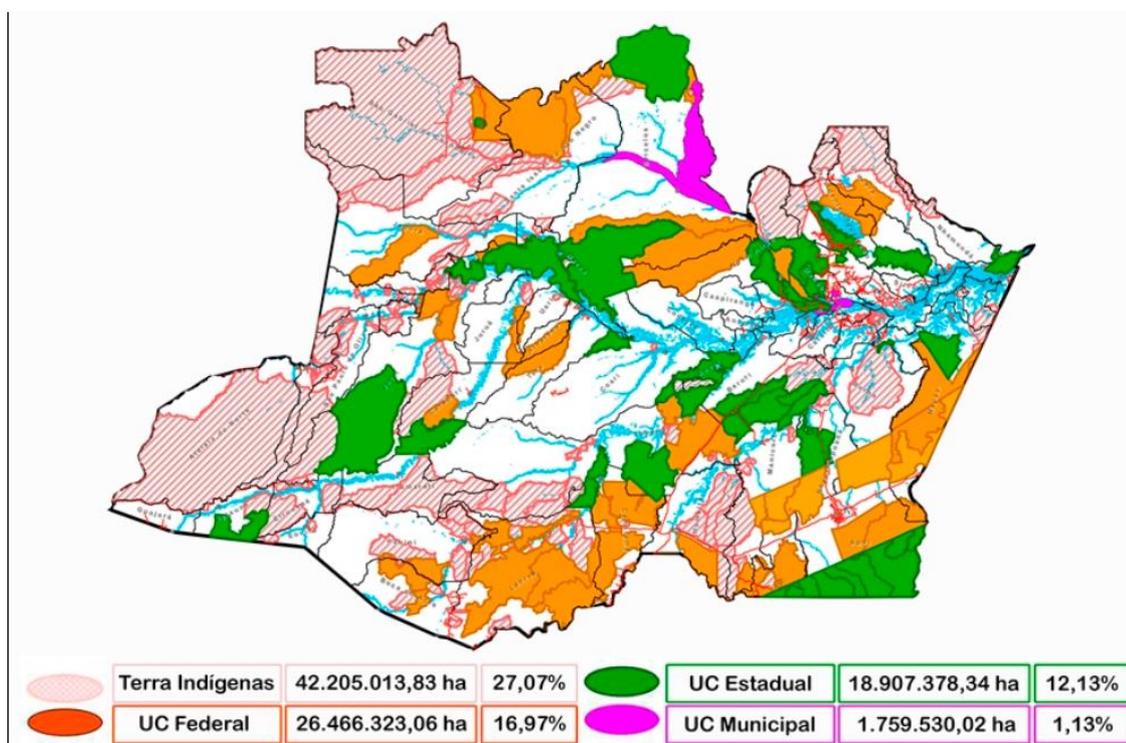


Figura 2 Unidades de Conservação no estado do Amazonas. Fonte: (SEMA, 2023).

Segundo Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SDS), atual Secretaria de Estado do Meio Ambiente (SEMA), a partir de 2003, o número de UCs estaduais aumentaram em 157% como uma estratégia para a conservação da biodiversidade, reconhecimento e valorização das populações tradicionais e controle do desmatamento. Para tanto, a SEMA realiza a gestão de 42 UCs, totalizando 18.907.378,34 hectares de floresta legalmente protegidos (SEMA, 2023a).

Em relação às categorias dessas UC's, 81% são de uso sustentável, enquanto as de proteção integral representam 19% (SEMA, 2023). Essa predominância de UCs de uso sustentável é devido à presença significativa de populações tradicionais no Estado, que

habitaram esses territórios e estabeleceram seus modos de vida antes da criação dessas áreas protegidas.

### **5.2.A agricultura familiar na Amazônia**

Na região amazônica, o uso predominante da terra é o cultivo itinerante, um padrão agrícola cultural que tem sido praticado pelos habitantes locais há séculos. Este sistema também é reconhecido como um sistema agroflorestal tradicional. A agricultura rotativa, também referida como agricultura de corte e queima, é uma forma de cultivo itinerante amplamente praticada nos trópicos e responsável pela origem de muitas das atuais florestas secundárias (Villa *et al.*, 2018).

Esse tipo de agricultura segue um ciclo de rotação distinto que envolve o corte e a queima da floresta, o cultivo da terra por um período de um a três anos, e o repouso da terra até a próxima rotação, que pode ocorrer cinco ou até mais de 20 anos depois. Pesquisas de campo específicas para esses sistemas mostraram que a frequência de uso da terra e o número total de ciclos de cultivo são fatores determinantes na estrutura e função das florestas secundárias resultantes (Dutrieux *et al.*, 2016).

Conforme Brondizio *et al.* (2009) descrevem, pequenos produtores representam diversos grupos sociais na Amazônia que são frequentemente agrupados em categorias como extrativistas, colonizadores, agroextrativistas, quilombolas, populações tradicionais, agricultura familiar, coletores, pescadores que praticam agricultura e outras denominações regionais e culturais. Quanto ao desmatamento associado a pequenos produtores, segundo dados do MMA (2021), desde 2008, a participação percentual dos desmatamentos em áreas menores tem aumentado.

A agricultura familiar na Amazônia é considerada uma importante forma de organização produtiva que une famílias, produção e trabalho em diferentes ambientes de produção terrestres e aquáticos. Os critérios que os agricultores amazônicos utilizam para orientar a tomada de decisões nas atividades da agricultura familiar não são apenas para fins lucrativos, mas principalmente para atender às necessidades básicas da família. Os agricultores familiares amazônicos são caracterizados por uma ampla variedade de atividades produtivas essenciais para complementar suas necessidades de renda e subsistência (Castro *et al.*, 2007).

São diversos os elementos dos sistemas tradicionais de produção amazônicos. Em um sistema agroflorestal tradicional, chamados também de roça (ou roçado), são cultivadas

espécies anuais, na maioria das vezes em forma de consórcio, por um período, geralmente de dois ciclos, dependendo da qualidade do solo. O solo então descansa para restaurar a fertilidade. Essas áreas, conhecidas como pousios, são formadas por vegetação secundária, conhecidas como capoeira, e permanecem adormecidas por algum tempo, sendo reaproveitadas para o cultivo de outras espécies (Noda, 2009).

No entanto, tais áreas tornam-se inutilizáveis com o empobrecimento do solo após vários ciclos. Assim, a capacidade de recuperação da floresta amazônica diminui com a intensificação dessas atividades, tornando essa antiga forma de uso da terra cada vez menos sustentável (Villa *et al.*, 2021).

Cada domicílio, em comunidades tradicionais, abre de uma a duas roças por ano, que variam entre 0,5 e 2 ha. Os agricultores relataram que o tamanho da roça depende de fatores como suas condições econômicas (devido aos custos envolvidos no estabelecimento e manutenção do campo) (Jakovac *et al.*, 2016a).

Na RDS Rio Negro, por exemplo, as principais formas de uso da terra são a agricultura, praticada por 43,6% das famílias, e a pecuária, por 55% das famílias. A agricultura é realizada em terra firme durante todo o ano. Nessas áreas, as famílias utilizam um sistema de rotação de culturas onde a terra repousa por três ou quatro anos para recuperar a qualidade/fertilidade do solo quando podem ser reaproveitados (SEMA, 2016).

Quando uma cadeia produtiva está bem desenvolvida, ela pode gerar renda para os produtores reduzirem a pressão sobre as florestas e promoverem a conservação dessas áreas. No entanto, mesmo que haja produção, geralmente não gera receita porque, na maioria dos casos dentro da Amazônia, não existem oportunidades de comercialização com preços atrativos. Para aumentar a renda, é necessário olhar além das simples economias de subsistência, incluindo dinâmicas econômicas além da escala local, para buscar acesso seguro às economias de mercado (Guimarães, 2013).

### **5.3.Desmatamento na Amazônia e o seu monitoramento**

O termo desmatamento utilizado no PRODES é definido como conversão pela “supressão de áreas de fisionomia de floresta primária por atividades antrópicas” (INPE, 2019, p.4). O desmatamento pode ser visto como um processo único que começa em uma floresta intacta e termina com a conversão da floresta original em coberturas diferentes. Ao considerar o desmatamento como um processo único, é necessário ponderar não apenas os

extremos do processo, que são mais óbvios e fáceis de identificar, mas também o gradiente de degradação florestal decorrente do processo de desmatamento, que pode ser lento ao longo do tempo devido ao registro contínuo dos eventos de supressão da vegetação (INPE, 2019).

Ainda de acordo com o INPE (2019) os conceitos de desmatamento no monitoramento por satélite envolvem dois processos principais: (i) corte raso, com remoção completa da cobertura florestal em um curto período. Nesse processo, a cobertura florestal é totalmente removida e substituída por outra cobertura (como para uso agrícola), ou pode entrar em fase de regeneração devido ao abandono; (ii) degradação florestal, que é mais lento e mais difícil de detectar usando imagens de satélites, devido aos eventos progressivos iniciando com o corte seletivo de madeiras mais nobres até a completa remoção com o corte raso.

Amazônia, a maior floresta tropical do mundo, cobre uma área de 6,4 milhões de km<sup>2</sup>, que representa mais de um terço do total da floresta tropical remanescente da Terra; cerca de 30 milhões de pessoas vivem nesta floresta compartilhada por 9 países. Mais de 60% da floresta amazônica está dentro do território brasileiro. A Floresta Amazônica é um ecossistema de vital importância para a estabilidade climática global, a manutenção da biodiversidade e o sustento de comunidades locais e indígenas. No entanto, desde 2015, tem-se observado tendências preocupantes de desmatamento e degradação florestal (Barlow *et al.*, 2016).

A Amazônia Legal conhecida como ALB, estabelecida por decreto em 1953 com o intuito de melhor planejar o desenvolvimento socioeconômico da região amazônica, abrange uma área com cerca de 5 milhões de km<sup>2</sup> do Brasil. A região abrange 9 estados, sendo eles Acre, Amapá, Amazonas, Pará, Rondônia, Roraima, Mato Grosso e Tocantins, bem como uma parte do Maranhão. A Figura 3 mostra a delimitação geográfica da ALB, conforme dados do IBGE (2022).

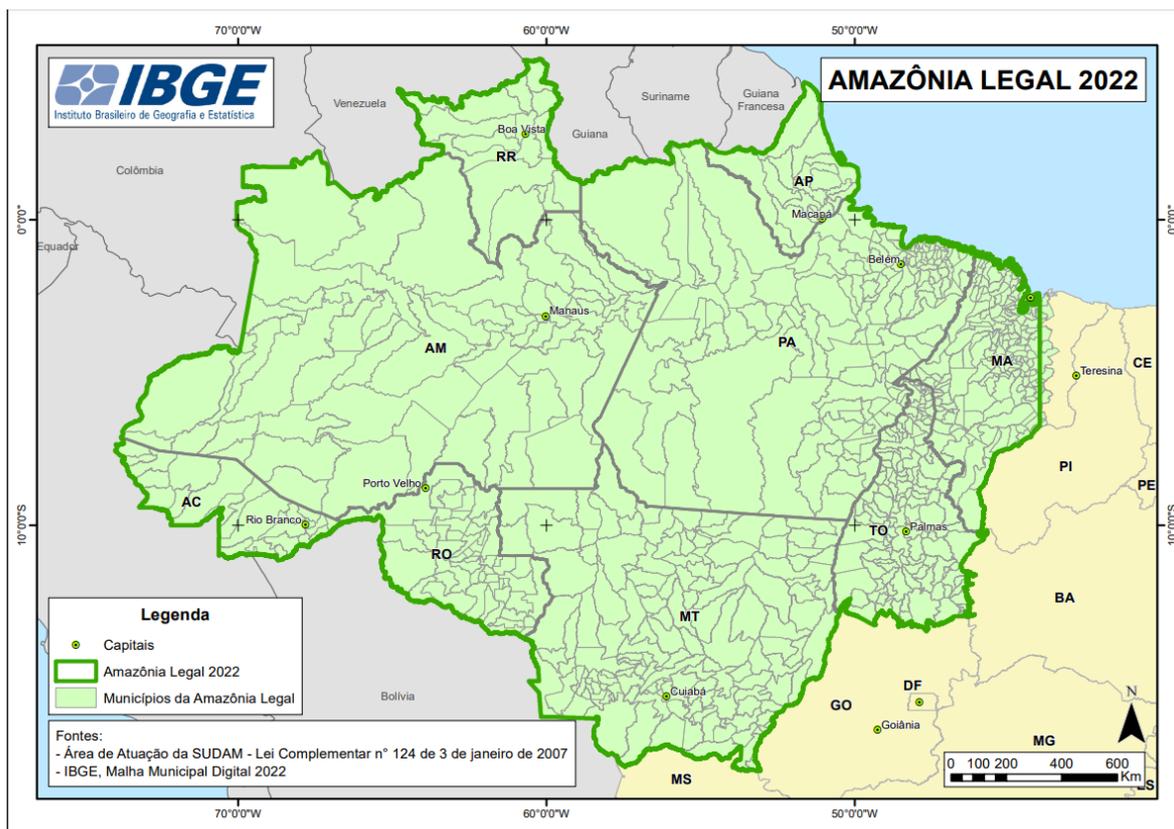


Figura 3 Mapa da Amazônia Legal. Fonte: (IBGE, 2022)

O desmatamento na Amazônia tem se acelerado em ritmo alarmante, impulsionado principalmente por atividades agroindustriais e infraestruturas de transporte (Ferreira *et al.*, 2018). Tal desmatamento não só compromete a capacidade da floresta em servir como um sumidouro de carbono, mas também ameaça a sobrevivência de inúmeras espécies que habitam a região (Berenguer *et al.*, 2021). Além disso, a floresta amazônica tem um papel crucial na regulação do clima regional e global. Estudos recentes sugerem que o desmatamento pode estar afetando adversamente o regime de chuvas na região, com potenciais implicações para a agricultura e a segurança hídrica (Boers *et al.*, 2017)

O processo de desmatamento e degradação florestal envolve uma série de questões sociais, econômicas e ambientais, desde emissões de gases de efeito estufa, perda de biodiversidade e serviços ecossistêmicos básicos, até impactos sociais negativos sobre as populações tradicionais (Pfaff *et al.*, 2015). O modelo atual de ocupação da Amazônia tem levado a um aumento significativo do desmatamento na Amazônia legal, sendo este um fenômeno de natureza bastante complexo, que não pode ser atribuído a um único fator (Ferreira, Venticinque e Almeida, 2005).

Consequentemente, a distribuição do desmatamento não é uniforme em todo o território. O desmatamento ocorre em diferentes formas e concentrações, dependendo das diferentes regiões e categorias de terra (BRASIL, 2018).

O monitoramento é essencial para a tomada de decisões para controlar o desmatamento e restringi-lo a áreas especificamente autorizadas por meio de procedimentos de licenciamento ambiental adequados. Existem atualmente pelo menos 11 sistemas nacionais e internacionais de monitoramento do desmatamento no Brasil, cobrindo diferentes comunidades biológicas com diferentes frequências e resoluções espaciais (MapBiomas, 2021).

No final da década de 1980, o INPE criou o Programa de Monitoramento do Desmatamento da Amazônia (PRODES). Em 2004, o INPE lançou o DETER (Sistema de Detecção de Desmatamento em Tempo Real), com o fornecimento de informações mensais sobre o desmatamento na Amazônia. Recentemente, o DETER se expandiu para o bioma Cerrado.

O projeto PRODES realiza monitoramento por satélite do desmatamento na área da Amazônia legal e produz uma taxa anual de desmatamento na área desde 1988, que o governo brasileiro usa para formular políticas públicas. A taxa anual é estimada com base no incremento do desmatamento apurado em cada imagem de satélite que cobre a Amazônia legal. Os dados são apresentados pela primeira vez na forma de estimativas em dezembro de cada ano. Os dados consolidados são listados no primeiro semestre do ano seguinte (Costa, 2018).

O PRODES usa imagens compatíveis com as geradas pelos satélites da série Landsat da NASA/USGS (EUA). Essas imagens caracterizam-se por apresentarem resolução espacial na faixa de 30 metros, resolução temporal de 16 dias e pelo menos 3 bandas espectrais. Atualmente podem ser utilizados imagens do satélite Landsat-8, SENTINEL-2 (União Europeia) ou CBERS-4 do INPE/CRESDA (Brasil/China). Independentemente do instrumento utilizado, a menor área processada pelo PRODES é de 6,25 hectares (INPE, 2019).

As estimativas do PRODES são consideradas confiáveis por cientistas nacionais e internacionais. Fatos comprovam que esse sistema é muito importante para ações de políticas públicas e planejamento na região amazônica. A taxa anual de desmatamento do PRODES tem sido utilizada como indicador para a proposição de políticas públicas e avaliação de seus efeitos de implementação (PRODES, 2023).

A Figura 4 mostra a série histórica desde 1988 de desmatamento para a ALB. Com destaque para o ano de 2021 com o valor de 13.038 km<sup>2</sup> de corte raso no período de 2020 a 2021. Esse valor representa um aumento de 21,95% em relação a taxa de desmatamento apurada pelo PRODES em 2020 que foi de 10.851 km<sup>2</sup> para os nove estados da ALB. Já para 2022, o valor foi 11.594 km<sup>2</sup> representando uma redução de 11,08 % em relação à taxa de desmatamento apurada em 2021.

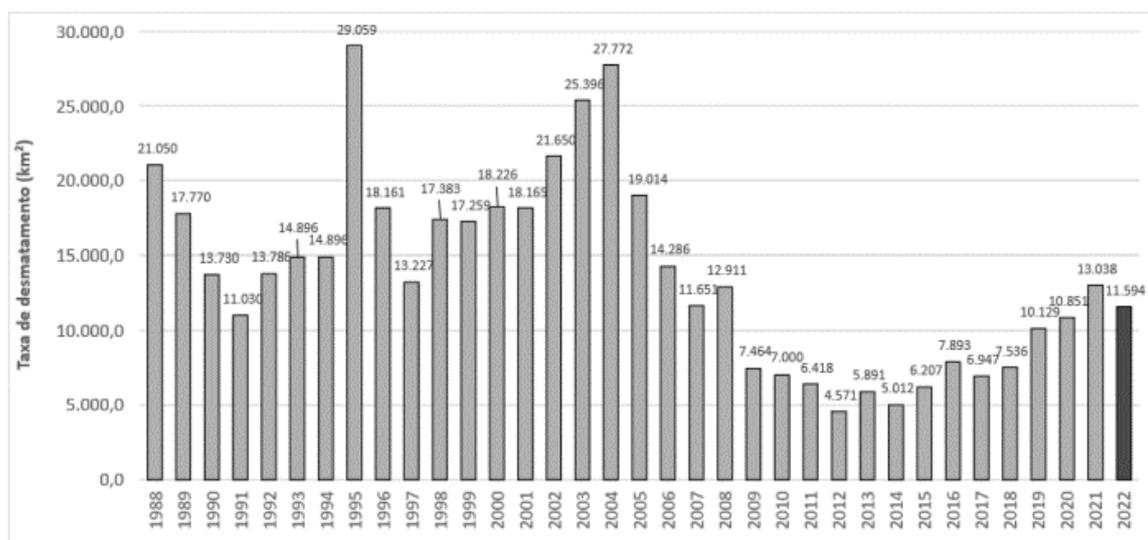


Figura 4 Taxa anual de desmatamento desde 1988 na ALB. Em preto, referente ao ano de 2021. Fonte: (PRODES, 2022).

Ainda segundo dados do PRODES (2022), entre os anos de 2015 e 2020, a Amazônia brasileira perdeu cerca de 29,5 mil km<sup>2</sup> de floresta, o equivalente a uma área maior que a Bélgica. Além disso, como é possível observar na Figura 3 o desmatamento continuou a aumentar após 2018, contrariando a tendência decrescente observada em anos anteriores. Esses dados são alarmantes e reforçam a urgência de ações efetivas para reduzir o desmatamento na Amazônia. Fato que destaca a importância de fortalecer as políticas de conservação, a fiscalização e o monitoramento para proteger a floresta amazônica e garantir sua preservação para as futuras gerações (Matricardi *et al.*, 2013).

### 5.3.1. Desmatamento em Unidades de Conservação (UC's)

De acordo com os dados do PRODES, entre 2019 e 2022, a perda florestal em UCs da Amazônia legal cresceu 24,5%. A taxa de crescimento do desmatamento nessas áreas protegidas foi maior que a registrada para o bioma amazônico no mesmo período. O

desmatamento total dentro das UCs representa 10% do total desmatado em toda a Amazônia Legal, com uma área em torno de 12 mil km<sup>2</sup>.

A Figura 5 mostra os dados de crescimento do desmatamento nas UCs da Amazônia Legal dos últimos 14 anos. Como 40% das UC's existentes nessa região foram criadas entre 2006 e 2010, é possível observar a partir de 2008 uma queda de área desmatada até 2014 quando os números começaram a crescer nos anos seguintes. Nos últimos três anos (2020, 2021 e 2022) a maior parte do desmatamento ocorreu em unidades de conservação de uso sustentável (91,9%). O desmatamento em unidades de conservação de proteção integral representou 8,1% do total observado em UCs.



Figura 5 Incrementos de desmatamento nas UCs da Amazônia Legal entre os anos de 2008 e 2022. Fonte: (PRODES, 2022)

De acordo com o Relatório Anual de Desmatamento (RAD) do MapBiomias (2022), do total de 2.181 UCs federais e estaduais cadastradas no Cadastro Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (CNUC), 252 tiveram pelo menos um episódio de desmatamento em 2021. O desmatamento em UC representou 13,2% do total de alertas e 10,1% da área do desmatamento total em 2021. Ao excluir a categoria Área de Proteção Ambiental (APA) que permite atividades de produção rural e propriedade privada, o desmatamento em UCs cai para 3,9% do desmatamento total no Brasil.

A Figura 6 apresenta os dados do RAD 2022, o relatório esclarece que os dados de desmatamento processados e analisados se limitam aos locais onde houve alertas de detecção de desmatamento pelos sistemas de monitoramento DETER/INPA, SAD/Imazon, GLAD/UMD, SAD Caatinga/Geodatin e Sirad-X/ISA. Portanto, os números apresentados,

apesar de expressivos, ainda subestimam, em algum grau, o desmatamento real, já que existem áreas desmatadas que não foram detectadas por esses sistemas (MapBiomias, 2021).

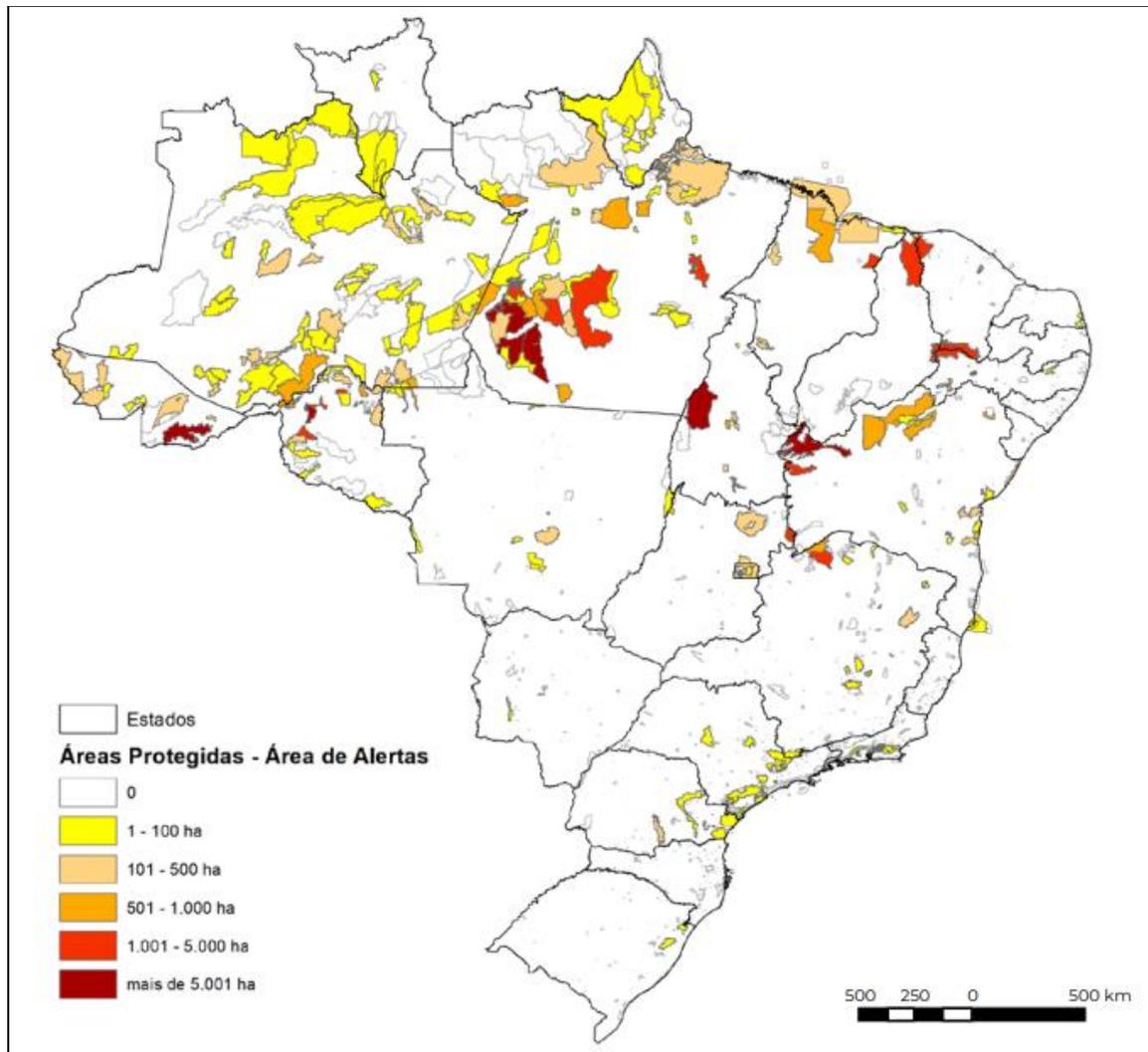


Figura 6 Unidades de Conservação da Natureza com desmatamento no Brasil em 2021. Fonte: (MAPBIOMAS, 2022)

É possível observar, de acordo com a Figura 6, que Amazônia concentrou a maior parte do desmatamento em UC's (122.818 hectares) em 2021 (73,6%). Ao todo, 10,1% da área desmatada em 2021 ocorreu dentro de uma unidade protegida no Brasil. Na Amazônia foram 12,6%, no Cerrado, 7,1%, na Caatinga, 5,8%, e na Mata Atlântica, 5,2% (MapBiomias, 2021).

As áreas protegidas têm um grande impacto na prevenção do desmatamento (Ferreira, Venticinque e Almeida, 2005). A categoria de áreas protegidas e seu nível estadual ou federal podem afetar a eficácia das áreas protegidas na prevenção do desmatamento (Marie *et al.*, 2009). Essa capacidade de proteção é dependente de alguns fatores: a forma

de uso do solo realizada pela população residente do entorno da unidade, as condições de acesso e a presença institucional tanto na forma de gestão socioambiental quanto fiscalização (Joppa, Loarie e Pimm, 2008; Nolte *et al.*, 2013).

Nesse sentido autores como Cabral *et al.* (2018) mostraram que as UC desempenham um papel importante na sustentabilidade do ecossistema florestal na Amazônia Legal e são uma estratégia poderosa na luta para reduzir o desmatamento e a degradação florestal. Sobretudo, essas áreas protegidas são fundamentais para a preservação da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos, além de serem importantes para a manutenção dos modos de vida das comunidades locais (Cabral *et al.*, 2018).

Para áreas como as RDS's, compreender a dinâmica florestal se torna uma ação fundamental para quantificar e diferenciar o desmatamento em floresta primária e em floresta secundária. Nessas áreas, as florestas secundárias são muitas vezes parte de um sistema de uso da terra de cultivo rotativo utilizadas para recuperar as condições do solo antes de serem desmatadas novamente para a produção agrícola. Nesses sistemas, as florestas secundárias persistem apenas por curtos períodos, como foi demonstrado na Amazônia brasileira, onde a duração média é de cerca de cinco anos (Jakovac *et al.*, 2016b).

#### **5.4. Políticas Públicas de controle do desmatamento na Amazônia**

O Brasil se comprometeu a proteger a Amazônia em acordos e convenções internacionais. Como em 2020, quando os países assinaram um compromisso de proteger pelo menos 30% da região amazônica para reduzir a perda de biodiversidade no âmbito da Convenção sobre Diversidade Biológica (CDB). Outra meta estabelecida pelo Brasil na Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Clima e internalizada pela Lei da Política Nacional de Mudanças Climáticas é reduzir as emissões de gases de efeito estufa por meio da redução do desmatamento na Amazônia em 80%. Nenhum desses objetivos foram cumpridos (Stec e Ainbinder, 2021).

Desde a década de 1950, várias políticas nacionais foram desenvolvidas com foco regional para diversificar a agenda econômica. O desmatamento na região amazônica começou a aumentar significativamente na década de 1960, quando programas específicos de desenvolvimento e ocupação da área estimularam o crescimento populacional e econômico da região (Mello e Artaxo, 2017). Estima-se que na década de 1980, conhecida

internacionalmente como “década da destruição”, houve uma média anual de desmatamento na região de 21.130 km<sup>2</sup> (Fearnside, 2020).

No final da década de 1980, começa a haver uma mudança de percepção da questão do desmatamento na Amazônia Legal, simbolizada pela própria Constituição Federal de 1988, que impôs ao poder público e à sociedade brasileira o dever de defender e preservar a Floresta Amazônica. A partir de 1988, o INPE passou a monitorar o desmatamento da região, por meio do PRODES. Também ocorreu a criação do Ibama em 1989 e a redução de projetos de ocupação da região Amazônica (Mello e Artaxo, 2017).

Em 1995, o Decreto nº 1.541/95 criou o Conselho Nacional da Amazônia Legal como órgão vinculado ao Ministério do Meio Ambiente (MMA), responsável por coordenar e esclarecer as leis com governos estaduais e municipais, as ações para uma política nacional abrangente na Amazônia, considerando as dimensões social e econômica e garantindo o desenvolvimento sustentável (Stec e Ainbinder, 2021).

As medidas adotadas à época não conseguiram reverter o quadro de degradação florestal da Amazônia Legal, sendo que o desmatamento apresentou curva de crescimento ascendente, atingindo o seu maior índice em 1995, e que perdurou até 2004, quando alcançou seu segundo maior pico histórico chegando a quase 27 km<sup>2</sup> de área desmatada (PRODES, 2023). A resposta mais estruturada do Governo Federal para o controle do desmatamento se deu com a criação do Plano de Prevenção e Controle ao Desmatamento na Amazônia (PPCDAm), elaborado em 2003 e que teve sua execução iniciada em 2004.

No mesmo ano de 2004, foi lançado o DETER pelo INPE, apresentando diariamente alertas de alteração da cobertura florestal na região. O PPCDAm focou na redução de forma contínua e consistente do desmatamento, redução e controle da degradação florestal e na criação das condições para um modelo de desenvolvimento sustentável na Amazônia Legal. Essas medidas adotadas pelo governo brasileiro deram resultado - em 2012 houve o menor índice de desmatamento até então registrado desde 1988, o que representava uma queda de cerca de 80% da área desmatada em relação à 2004 (Mello e Artaxo, 2017).

O PPCDAm fez do desmatamento uma agenda política de alto nível, sendo uma iniciativa estratégica do governo brasileiro articulada em torno de quatro eixos temáticos: (i) planejamento espacial e territorial; (ii) monitoramento e controle ambiental; (iii) promoção de atividades produtivas sustentáveis; e (iv) instrumentos econômicos e regulatórios.

Outras iniciativas para promover o desenvolvimento da região de forma sustentável incluem o Plano Amazônia Sustentável e o Fundo Amazônia, criados em 2008 para

implementar um novo modelo baseado na valorização do patrimônio natural da região e na aquisição de doações para investimentos em combate ao desmatamento, conservação e atividades sustentáveis (Stec e Ainbinder, 2021).

No período de 2012 a 2014 houve certa estabilização das taxas de desmatamento na Amazônia Legal e o período que se seguiu a 2014 foi de aumento do desmatamento na região. A 4ª fase do PPCDAm (2016-2020) foi aprovada com o desafio de reverter essa tendência de alta.

Em 2019, com a mudança do Governo Federal, houve alterações significativas na política de controle do desmatamento, com a descontinuidade do PPCDAm e seu posterior encerramento por meio da Resolução nº 4 de 23 de julho de 2020, além da aprovação de um novo plano, a introdução do Conselho Nacional da Amazônia Legal e a reestruturação do Ministério do Meio Ambiente, quando foi estabelecido um novo plano, o Plano Nacional para Controle do Desmatamento Ilegal e Recuperação da Vegetação Nativa (CONAVEG) vigente até 2023.

Já em 2023, o Governo Federal lançou o Plano Nacional para Controle do Desmatamento e Queimadas no Brasil (PPCD) que é coordenado pela Casa Civil e envolve 18 ministérios que juntos vão cumprir uma agenda ambiental voltada aos seis biomas brasileiros. O plano foi estruturado para enfrentar as causas do desmatamento de forma abrangente, integrada e intensiva, tendo ações articuladas em torno de três eixos temáticos: (i) ordenamento fundiário e territorial, (ii) monitoramento e controle ambiental e (iii) fomento às atividades produtivas sustentáveis (MMA, 2023).

#### **5.4.1. Programa Bolsa Floresta**

Com o propósito de estabelecer políticas mais efetivas capazes de aliar conservação e desenvolvimento no estado do Amazonas, em 2003 foi criado o Programa Zona Franca Verde, focado em ações para a valorização da floresta e seus recursos. Nesse mesmo caminho, em 5 de junho de 2007 foi aprovada a Lei nº 3.135 que instituiu a Política Estadual sobre Mudanças Climáticas, Conservação Ambiental e Desenvolvimento Sustentável do Amazonas.

A implantação do Bolsa Floresta teve início em setembro de 2007 pela Secretaria de Estado do Meio Ambiente (Sema), então Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SDS), e a partir de março de 2008, pela Fundação Amazônia

para o Desenvolvimento Sustentável (FAS), que possibilitou a ampliação das atividades, conferindo caráter construtivo e participativo em todos os processos decisórios.

Desde 2008, a FAS é responsável por implementar o Programa Bolsa Floresta (PBF), em UCs estaduais no Amazonas. Fundada em 2008, FAS é uma organização da sociedade civil sem fins lucrativos que atua em projetos nas áreas de educação, empreendedorismo, turismo sustentável, inovação, saúde e outras áreas prioritárias. Ao valorizar as florestas vivas e sua sociobiodiversidade, a FAS desenvolve trabalhos que contribuem para a melhoria da qualidade de vida dos indígenas e das comunidades na Amazônia.

O PBF, inicialmente, possuía quatro componentes, sendo eles: renda, associação, sociedade e família. Os componentes podem ser descritos como:

- i. Bolsa Floresta Familiar: pagamento no valor mensal de R\$ 50 para as famílias moradoras da UC, que em troca se comprometem a não desmatar área de floresta primária;
- ii. Bolsa Floresta Renda: apoio à produção sustentável e agregação de valor em cadeias produtivas que valorizam os produtos madeireiros e não-madeireiros das UC;
- iii. Bolsa Floresta Social: promoção de melhorias na educação, saúde, saneamento, comunicação e transporte;
- iv. Bolsa Floresta Associação: fortalecimento das organizações sociais dos moradores no intuito de promover a gestão territorial compartilhada nas unidades de conservação e o controle social do Programa Bolsa Floresta. (Brito *et al.*, 2019)

O PBF foi o pioneiro do mecanismo de PSA em nível nacional, com objetivo de valorizar e recompensar financeiramente os esforços de proteção ambiental das famílias que vivem em áreas protegidas da Amazônia, promover sua participação na redução do desmatamento e valorizar as florestas existentes. Por meio do PBF, as famílias que vivem e usam as áreas de UC's estaduais recebem uma recompensa financeira (de R\$50,00 mensais) para mantê-las com desmatamento zero nas florestas primárias (Silva *et al.*, 2021).

A inclusão da família no PBF é discutida durante as oficinas de planejamento participativo realizadas nos municípios e localidades, cobrindo temas como aquecimento global, a importância da proteção da floresta, serviços e produtos ambientais e os direitos das comunidades tradicionais. Essas discussões são a base para o entendimento da proposta do PBF, importante para confirmar o compromisso da comunidade com o desmatamento zero (para áreas de floresta primária) (FAS, 2017a).

A inserção das famílias no PBF ocorre de maneira informada e voluntária, seguindo critérios legais e compromissos essenciais. Solidade *et al* (2017) os descrevem da seguinte maneira:

- (1) cumprimento das regras do Plano de Uso ou Plano de Gestão da UC;
- (2) associação e adimplência com a mensalidade da associação de moradores da comunidade e da unidade de conservação, com participação ativa em suas atividades;

- (3) manutenção de áreas de roças com tamanho não superior àquela do ano de início do PBF na comunidade, cultivando apenas em áreas de capoeiras abertas ou em descanso e de manejo florestal, não avançando em áreas de floresta primária;
- (4) manutenção de filhos na escola, matriculados e assíduos, considerando a idade escolar e a existência de escolas próximas; e
- (5) adoção de aceiros e outras boas práticas de controle de fogo no entorno das áreas de roçados, incluindo a comunicação dos dias de queima à comunidade.

Com destaque para o item 3 das regras aplicadas ao programa, é notável o dilema enfrentado pela comunidade em manter a floresta primária como parte do compromisso de renunciar ao desmatamento decorrente do recebimento do subsídio do Bolsa Floresta e não aumentar o espaço com novas áreas abertas para as roças o que gera renda para as famílias.

De acordo com Cisneros *et al.* (2019), a FAS não impõe penalidades imediatamente, pois utiliza um sistema de alerta de "cartão amarelo". Entretanto, em 2019, foram suspensos os benefícios de 5% dos beneficiários do PBF e cancelados 15% dos benefícios. A lista completa de beneficiários é atualizada mensalmente (FAS, 2019).

A partir de 2016, dada a complexidade de cada componente do PBF, eles foram reclassificados em subprogramas, com exceção do Bolsa Floresta Familiar que continuou com o a mesma finalidade, denominados: geração de renda (antigo componente renda), empoderamento (anteriormente componente associação) e apoio à infraestrutura social (anterior componente social). Essa mudança visou facilitar a comunicação sobre as ações e iniciativas do PBF, tanto para os beneficiários da iniciativa quanto para os parceiros e demais instituições que compõem o ecossistema da FAS (FAS, 2017b).

Ao longo dos anos, os subprogramas passaram por algumas adaptações, como em 2018, que passaram a ser denominados como componentes do Programa de Desenvolvimento Sustentável de Comunidades. Essas mudanças com foco na melhoria da qualidade de vida das famílias, deram base à criação do programa Floresta em Pé, que se conecta com outras iniciativas estratégicas desenvolvidas pela FAS (FAS, 2021b). A Figura 7 apresenta o enquadramento do PBF no atual sistema de gestão da FAS, alocado no Programa Floresta em Pé.



Figura 7 Abordagem sistêmica do Programa Floresta em pé, o qual o PBF faz parte. Fonte: (FAS, 2021).

No último relatório de atividades de 2021 da FAS, a implementação está estruturada em três agendas (ambiental, social e econômica), 21 eixos e seis programas, que são divididos em subprogramas e projetos. A fundação justifica que esse trabalho é fruto de um acúmulo de mais de 13 anos de atividades, com processos de monitoramento e avaliação interna e externa, incluindo mais de 900 oficinas de gestão participativa nas comunidades e aldeias da Amazônia profunda.

Essas alterações justificadas pela abordagem sistêmica da FAS é uma estratégia de atuação que parte da premissa de que cada comunidade, aldeia ou território têm trajetórias de desenvolvimento diferenciadas e que devem ser priorizadas com base em processos participativos de gestão. Além disso, o PBF contempla os 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável da ONU, que são agrupados em oito áreas temáticas prioritárias, alinhadas com a teoria da mudança e com o planejamento 2030 da instituição (FAS, 2021a).

O PBF alcançou em 2020 a marca de 39.352 pessoas e 9.392 famílias beneficiadas, que moram em 16 UC's estaduais. Ao todo, são 10.974.971 hectares de áreas protegidas. Existe um sistema de dados que acompanha diariamente todas as famílias cadastradas. Cada família possui um número de registro onde é possível encontrar todas as informações cadastrais e ocorrências relativas ao cumprimento das normas para aquela família (FAS, 2020). A Figura 8 apresenta, a área de atuação da FAS nas 16 UC's estaduais atendidas pelo PBF.

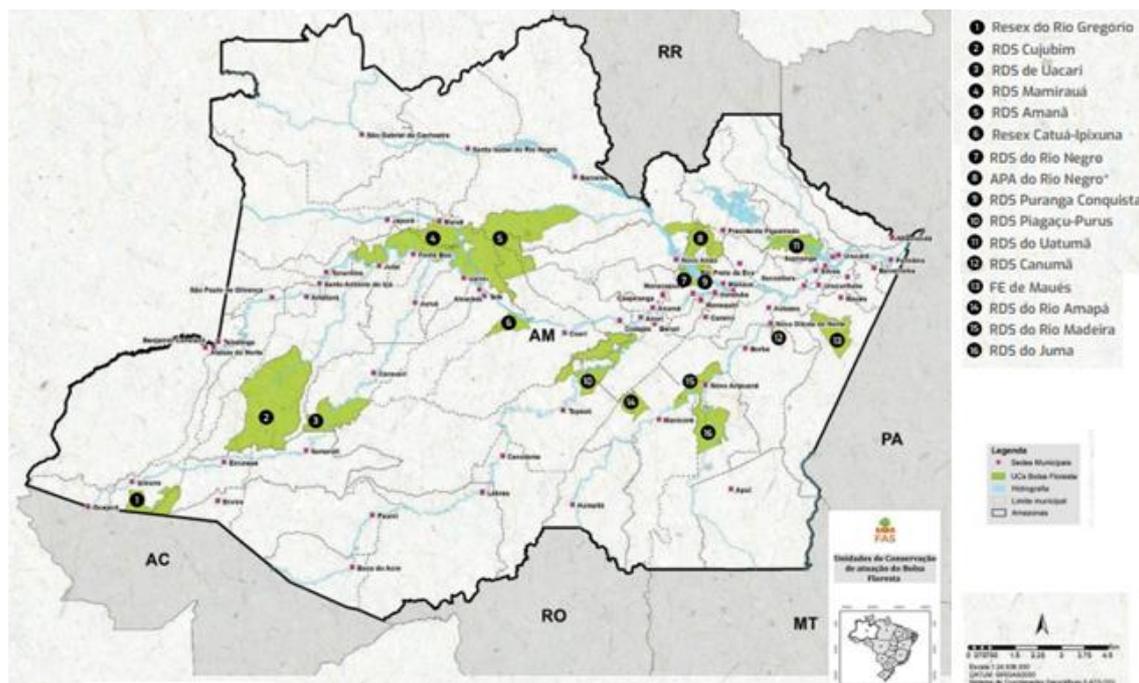


Figura 8 As 16 UCs estaduais atendidas pelo PBF no Amazonas. Fonte: FAS,(2021b).

Em termos de desmatamento, dentro da linha de recompensa por serviços ambientais, desde 2010, a FAS implementa projetos de monitoramento de satélite para verificar os índices desmatamento nas áreas do PBF com base em dados oficiais divulgados pelo INPE PRODES. No entanto, conforme explicado no item 4, esse método de cálculo da área desmatada não permite a detecção de áreas desmatadas menores que 6,25 hectares (CÂMARA *et al.*, 2006).

Tal inviabilidade de detecção motiva a aplicação sistemática de metodologias como a utilizada por Silva *et. al.* (2021) que podem contribuir para uma análise mais qualitativa das causas do desmatamento, permitindo o aperfeiçoamento do PBF para efetivação de políticas de PSA, visando a constante redução ou até a eliminação do desmatamento nas UC's (BRITO *et al.*, 2019).

Cabe destacar que em 2022, a FAS se tornou responsável pela implementação do Programa Guardiões da Floresta, uma reformulação do PBF, mantendo-se a premissa de reconhecer e remunerar o esforço de conservação ambiental feito pelas comunidades. Os benefícios foram reajustados e passaram a ser administrados com recursos do orçamento do governo do Amazonas. O programa foi expandido para 28 UC's e chegará a atender até 14 mil famílias (FAS, 2023).

### 5.5. Uso do sensoriamento remoto para dinâmica florestal

O Sensoriamento Remoto (SR) é amplamente reconhecido como uma ferramenta valiosa para monitorar as mudanças florestais (Hansen *et al.*, 2013). De acordo com Lillesand, Kiefer e Chipman (2015), o SR pode ser definido como a ciência que obtém informações sobre um objeto (alvo), área ou fenômeno por meio da análise de dados adquiridos por dispositivos (sensores) que não estão em contato com o objeto, área ou fenômeno que está sendo investigado.

Os sensores registram a energia de um alvo em uma imagem ou gráfico que pode ser associado às suas propriedades físicas, químicas, biológicas ou geométricas. Esses sistemas convertem fisicamente, quimicamente ou biologicamente a radiância, emitância ou retroespalhamento do alvo em uma imagem ou gráfico. É necessário entender a natureza dessas transformações para que algoritmos apropriados possam ser usados para correções (Novo *et al.*, 2001).

Com foco em sensores ópticos operados por plataformas orbitais que capturam energia eletromagnética emitida ou refletida de objetos na superfície da Terra, têm-se a série conjunta de satélites de observação da NASA/US *Geological Survey* Landsat com quase 50 anos de operação, que é provavelmente o conjunto de dados de satélite mais utilizado para análise de séries temporais. Com a liberação gratuita de arquivos Landsat, os métodos de detecção de alterações florestais evoluíram rapidamente na última década permitindo um monitoramento florestal mais abrangente (Wulder *et al.*, 2012).

O Landsat 9 é o satélite Landsat mais recentemente lançado, em 2021, e carrega os instrumentos *Operational Land Imager* (OLI) e o *Thermal Infrared Sensor* (TIRS). Ele tem nove bandas espectrais com 30 metros de resolução espacial, incluindo uma banda pan com 15 metros de resolução espacial.

Outro sistema sensor amplamente utilizado é da missão Sentinel-2 com imagem multiespectral de alta resolução e ampla faixa, que apoia os estudos de Monitoramento da Terras do Copernicus, incluindo o monitoramento da vegetação, solo e cobertura da água, bem como a observação de vias navegáveis interiores e áreas costeiras. Esse satélite amostra 13 bandas espectrais: quatro bandas a 10 metros, seis bandas a 20 metros e três bandas a 60 metros de resolução espacial.

Por serem sensores passivos, os sensores ópticos requerem uma fonte de luz externa, como o sol. Nesse caso, a qualidade das informações adquiridas pelos sensores é fortemente influenciada pelas condições climáticas. Esses sensores capturam frequências de radiação no espectro eletromagnético (Figura 9), especialmente comprimentos de onda visíveis e

infravermelhos. As faixas visível e infravermelha, especialmente o infravermelho próximo (NIR), são os comprimentos de onda mais sensíveis às características da vegetação.

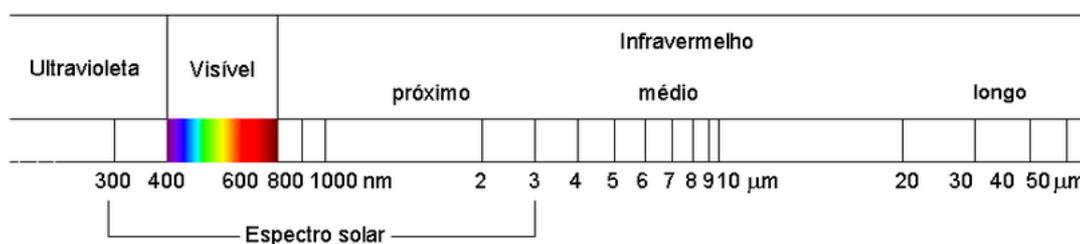


Figura 9 Espectro Eletromagnético. Fonte: DORNELLES, (2008).

A utilização de sensores remotos é uma opção de obtenção de informações, embora exista limitações no escopo do espectro óptico devido às condições climáticas desfavoráveis, como a cobertura de nuvens na região Amazônica que dificultam o mapeamento sistemático da região. Mesmo assim, estudos que utilizam as imagens disponíveis para criar séries temporais densas mostram que o SR também tem o potencial de detectar distúrbios florestais de pequena escala e mudanças graduais (DeVries *et al.*, 2015).

Em geral, métodos em SR são promissores em paisagens agrícolas de pequenos produtores, caracterizadas por dinâmicas florestais complexas causadas por cultivo rotativo, degradação florestal e grande variedade de agroecossistemas, como é o caso das RDS's (Mananze, Pôças e Cunha, 2020).

### 5.5.1. Índices espectrais

Mudanças na cobertura da terra podem ser detectadas e monitoradas usando índices espectrais. Estes são uma combinação de dois ou mais canais espectrais do espectro eletromagnético, com alta eficiência computacional eles permitem a manipulação de imagens captadas por SR. A combinação de várias imagens permite uma melhor compreensão da superfície terrestre, bem como uma análise mais eficaz dos dados (Albuquerque, 2021).

Do mesmo modo, o índice de vegetação pode ser definido como a transformação espectral robusta de duas ou mais bandas designadas a destacar o sinal de vegetação que permite comparações espaciais e temporais de atividades fotossintética terrestre e variações na estrutura do dossel da vegetação. Essa comparação é possível devido as características do espectro luminoso, pois as plantas apresentam grande absorvência nas faixas do azul (400-

500 nm) e vermelho (600-700 nm). Isso graças à presença dos pigmentos (clorofilas, xantofilas e carotenoides) e a estrutura celular da superfície das folhas.

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) é uma operação aritmética, expressa pela Equação 1, utilizando as bandas espectrais do vermelho (R) e do infravermelho próximo (IR), obtendo uma melhor descrição das áreas de vegetação conforme explicitado na Equação 4.1 (INPE, 2010).

$$NDVI = \frac{IR-R}{IR+R} \quad \text{Equação 1}$$

Em que, R é a banda correspondente à região do espectro eletromagnético da faixa do vermelho e IR a banda correspondente à região do espectro eletromagnético da faixa do infravermelho próximo. Embora os valores possíveis variem entre -1 a 1, o valor zero implica em superfícies sem vegetação a 1, completamente cobertas por vegetação. O NDVI permite, por meio da delimitação de limiares ótimos diferenciar áreas de floresta primária das áreas de floresta secundária (capoeira).

O Índice de Umidade por Diferença Normalizada (NDMI) é sensível aos níveis de umidade na vegetação. Esse índice é comumente utilizado para monitorar secas, sendo assim utilizado para identificar áreas com solo exposto. Ele é calculado como a razão entre a diferença e a soma das radiações refratadas no infravermelho próximo (NIR) e SWIR, conforme apresenta a Equação 2.

$$NDMI = \frac{NIR-SWIR}{NIR+SWIR} \quad \text{Equação 2}$$

2

A interpretação do valor absoluto do NDMI possibilita o reconhecimento imediato de áreas com problemas de estresse hídrico. O NDMI é de fácil interpretação: seus valores variam entre -1 e 1 e cada valor corresponde a um estado diferente, independentemente da vegetação, sendo solo descoberto para valores próximos a -1.

Utilizado por Silva (2021) para identificar o desmatamento em pequenas áreas, o NDMI baseado nas bandas do infravermelho próximo e infravermelho médio, permite constatar a presença de água na estrutura interna da vegetação, bem como a presença de áreas inférteis observados na obra de Leite *et al* (2017).

Essas aplicações são possíveis, pois esses índices utilizam radiâncias ou refletâncias de um canal vermelho em torno de 0,66  $\mu m$  e um canal próximo ao IR em torno de 0,86  $\mu m$ . O canal vermelho está localizado na região de forte absorção de clorofila, enquanto o canal

próximo ao IR está localizado no platô de alta refletância das copas da vegetação. Os dois canais detectam profundidades muito diferentes através das copas da vegetação (Gao, 1996).

### 5.5.2. Google Earth Engine

O Google Earth Engine (GEE) é uma plataforma de processamento e análise de dados geoespaciais em nuvem, que oferece uma ampla gama de ferramentas e recursos para pesquisadores e profissionais de diversas áreas. Por meio do uso de algoritmos avançados e dados de satélite, o GEE permite a análise de grandes conjuntos de dados em escala global, possibilitando a identificação de padrões e tendências em diferentes áreas.

Pérez-Cutillas *et al.* (2023) realizaram uma revisão sistemática com o objetivo de avaliar a eficácia do GEE para análise de dados geoespaciais em diferentes áreas, incluindo agricultura, meio ambiente, saúde e planejamento urbano. Os resultados indicaram que o GEE é uma ferramenta poderosa para análise de dados geoespaciais em escala global, com um número significativo de estudos realizados em diferentes países.

A revisão também destacou a importância do uso de dados de séries temporais para análise de tendências e mudanças em diferentes áreas, como o monitoramento de desmatamento, mudanças climáticas e saúde pública. Além disso, o uso de algoritmos de aprendizado de máquina, como o Random Forest, tem sido amplamente utilizado para análise de dados geoespaciais em diferentes áreas (Pérez-Cutillas *et al.*, 2023).

As imagens fornecidas pelas plataformas de satélite incluídas no sistema de computação em nuvem GEE são provenientes principalmente de missões Landsat, Sentinel, MODIS e ASTER.

Conforme discutido, as capacidades notáveis do GEE proporcionam oportunidades para empregar essa plataforma no processamento e interpretação de *big data* e, portanto, aplicável a uma ampla variedade de disciplinas em todos os ramos dos estudos das ciências da Terra. Espera-se também que os usuários utilizem com maior frequência este serviço de computação em nuvem, considerando as tendências dos estudos GEE nos últimos anos (Amani *et al.*, 2020).

O *Code Editor* (ver Figura 10) é designado para processar uma grande quantidade de dados e informações usando uma linguagem de programação JavaScript e para desenvolver aplicativos na própria plataforma. De acordo com a Figura 10, o Editor de Código é composto pelos seguintes elementos: Editor de Código, Mapa, Gerenciador de Camadas,

Ferramentas de Geometria e diversas abas, incluindo Script, Doc, Assets, Inspector, Console e Tasks.

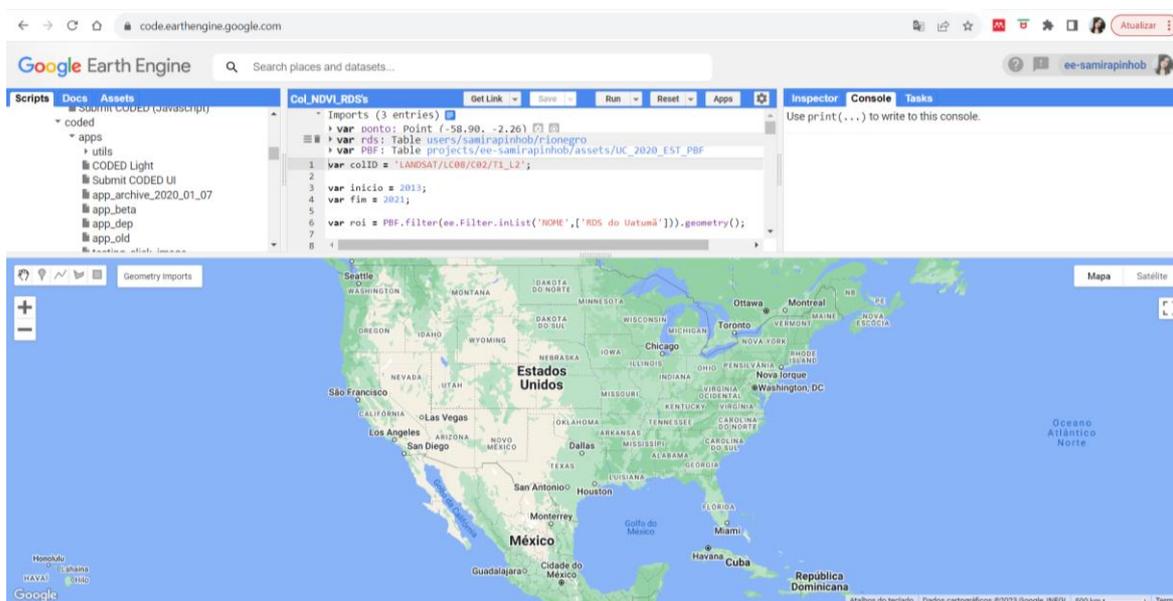


Figura 10 Visão geral do editor de código do Earth Engine.

A plataforma oferece uma variedade de funções para executar operações espectrais e espaciais, seja em uma única imagem ou em um conjunto de imagens. Além, de suportar uma gama de operações, desde cálculos matemáticos simples até processamento de imagens avançado e algoritmos de aprendizado de máquina. O GEE inclui várias operações espectrais baseadas em pixels, que são altamente adequadas para implementação paralela na arquitetura de nuvem.

É um serviço baseado em nuvem, predominantemente gratuito, que elimina a necessidade de baixar e gerenciar dados localmente. Ele opera na infraestrutura de computação em nuvem do Google, com todos os cálculos sendo gerenciados automaticamente pelo Google. Todas as operações são realizadas em massa e paralelamente nas CPUs e GPUs do Google, mantendo as complexidades da computação paralela ocultas graças à automação dos processos.

Criado e otimizado principalmente para análise de dados geoespaciais, o GEE é capaz de processar petabytes de dados de Sensoriamento Remoto (RS) em grandes escalas geográficas e coberturas temporais extensas. Portanto, é uma ferramenta valiosa para análises em escala regional, nacional, continental e global.

Além dos vários conjuntos de dados já disponíveis no GEE, os pesquisadores têm a facilidade de carregar e compartilhar seus próprios conjuntos de dados, bem como seus

scripts e modelos por meio de URLs. Outros mapas e produtos são gerados dinamicamente conforme o usuário executa o código.

## 6. ÁREAS DE ESTUDO

Foram selecionadas duas RDS estaduais (segundo as características da RDS Uatumã analisada por Silva (2021): São UCs de Uso Sustentável, adotam as regras do PBF para o desmatamento e são abrangidas pelo PROGYSAT), a saber, Rio Negro e Puranga Conquista conforme mostra a Figura 11.

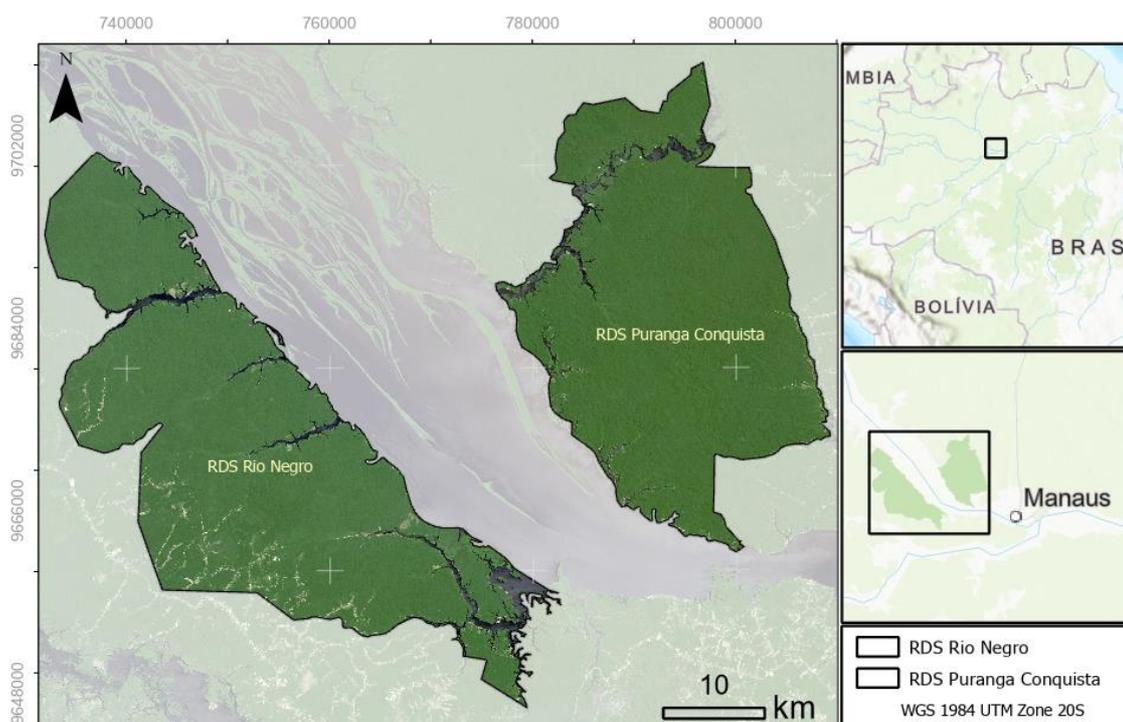


Figura 11 Mapa de Localização das áreas de estudo. Fonte: Autoria própria (Imagem Landsat 9/2022).

### 6.1.1. Reserva de Desenvolvimento Sustentável do Rio Negro

A Reserva de Desenvolvimento Sustentável do Rio Negro (RDSRN) foi criada em 2008 e cobre uma área de 102.979 hectares. Fica a 40 km de Manaus e cobre os municípios de Iranduba, Manacapuru e Novo Airão, segundo mostrado na Figura 12.





(UCs) do MBRN sofreram várias mudanças de limites ao longo dos anos, visando atender às suas características biofísicas, culturais e sociais e promover um reordenamento territorial na região. A criação dessa RDS faz parte desse contexto (SEMA, 2022).

A história da criação da RDS Puranga Conquista está diretamente ligada ao Parque Estadual (PAREST) do Rio Negro - Setor Sul, que foi estabelecido em um contexto de políticas estaduais de conservação ambiental baseadas no processo de criação de unidades de conservação na década de 1990. Durante esse período, o governo do estado destinou cem mil km<sup>2</sup> de seu patrimônio fundiário para a conservação do meio ambiente. Logo após essa ação, foram criadas seis novas unidades de conservação, abrangendo uma área total de mais de 4 milhões de hectares.

O PAREST foi estabelecido em 1995 com o objetivo de preservar os ecossistemas naturais e promover apenas o uso indireto de seus recursos. No entanto, a criação do PAREST, que incluía territórios de povos indígenas e comunidades ribeirinhas, resultou em conflitos territoriais significativos. Em resposta a isso, várias instituições desenvolveram iniciativas para garantir os direitos dessas comunidades de permanecer em seu território e manter sua identidade sociocultural.

Em 2010, o Plano de Gestão do Parque foi realizado pelo Instituto de Pesquisas Ecológicas (IPÊ), discutindo esses conflitos e destacando os direitos das comunidades sobre o uso e ocupação do território. Isso levou à recategorização e redelimitação do Parque, considerando o território das comunidades e suas áreas de uso para a Reserva de Desenvolvimento Sustentável (RDS).

Como resultado dessas discussões e estudos, e principalmente das mobilizações comunitárias, iniciou-se o processo para a criação da RDS. Em 2014, a Lei Estadual n.º 4.015 foi publicada, alterando os limites do Parque e criando a RDS Puranga Conquista, em uma área de 77.011,46 hectares. A RDS Puranga Conquista foi criada para integrar todas as comunidades que viviam dentro e ao redor do PAREST, abrangendo 18 comunidades.

O nome Puranga Conquista, junção de Puranga que em língua geral, ou Nheengatu, que dizer “Bela” e Conquista, refere-se às comunidades tradicionais indígenas e não indígenas residentes na área desde antes da criação do Parque do Rio Negro Setor Sul em 1995. Sendo a maioria dos habitantes são povos tradicionais (ribeirinhos e povos indígenas) cujas histórias de vida estão ligadas ao fato de serem trabalhadores rurais nos ciclos econômicos do extrativismo da região. Localizada no interior de Manaus, ela possui grande potencial ecoturístico e importância estratégica para a qualidade de vida do município.

Os sistemas agrícolas tradicionais da RDS, conforme SEMA (2022), são notáveis pela variedade de plantas e áreas cultivadas, como roças, quintais, sítios, hortas e capoeiras. Eles operam em um ciclo de pousio e envolvem uma gestão complexa do solo e da floresta. Além disso, esses sistemas integram os diversos papéis de gênero na unidade doméstica e na rede de parentesco. Eles são fundamentais para a economia local, juntamente com a pesca, a caça, a coleta e o extrativismo. Esses sistemas agrícolas estão profundamente ligados aos sistemas cosmológicos e ao conhecimento tradicional (Cardoso, 2010).

A roça é o espaço de cultivo primário nas comunidades da RDSPC, com a mandioca desempenhando um papel central e estruturador no sistema agrícola (Cardoso *et al.*, 2008). A agrobiodiversidade é gerenciada em um ciclo que simula as fases de sucessão ecológica da floresta. As fases de implementação da roça incluem a seleção da área, a derrubada e queima da vegetação, o cultivo/limpeza/replante, o "abandono" e o encapoeiramento ou descanso. A última fase é vista como manejo de capoeira ou agroflorestal.

Cada família cultiva de uma a três roças, com tempos de maturação variados, com um tamanho médio de meio hectare, sendo que o tamanho máximo de cada roçado é de 1 hectare. As roças estão integradas a outros espaços cultivados e gerenciados, como quintais, hortas, casas de farinha, capoeira e floresta (Cardoso *et al.*, 2010), formando uma dinâmica espaço-temporal complexa com a prática do corte e queima de um sistema agrícola tradicional.

Os elementos que compõem e definem o sistema agrícola local podem ser vistos como uma estratégia de gestão espaço-temporal do sistema agrícola. Esta estratégia tem como objetivo (i) "imitar" a sucessão florestal através do ciclo agrícola, (ii) manter simultaneamente um conjunto de roçados e espaços cultivados com tempos de maturação distintos e (iii) aplicar práticas agroecológicas que buscam integrar os espaços, preservar, gerar e aumentar a diversidade (SEMA, 2023b).

## 7. METODOLOGIA

Com o propósito de investigar dinâmica de desflorestamento em pequenas áreas de floresta primária nas RDS do Rio Negro e Puranga Conquista na região amazônica, a pesquisa foi organizada em duas etapas descritas no fluxograma da Figura 14, sendo a Etapa 1 composta pela aquisição das informações e formação do banco de dados e a Etapa 2 formada pelas fases de análise dos dados

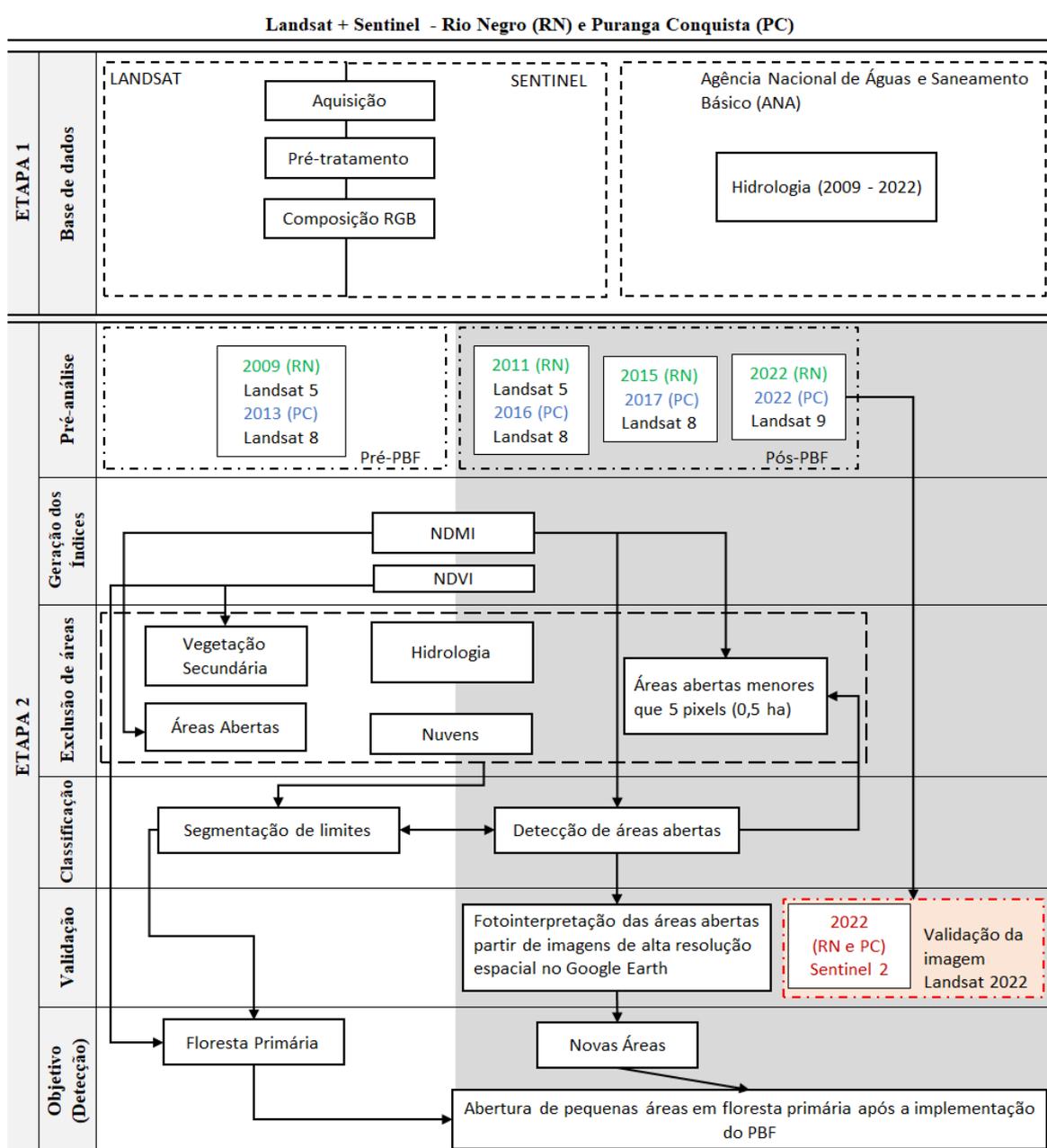


Figura 14 Fluxograma metodológico utilizado. Fonte: Autoria própria.

A metodologia utilizada neste estudo foi nomeada como Detecção de Pequenas áreas Abertas em Floresta Primária (DEPAF), onde as etapas metodológicas são explicadas a seguir. A Figura 15 mostra as plataformas utilizadas para cada etapa no fluxo de trabalho. Para a Etapa 1, os dados foram selecionados de maneira automatizada utilizando a plataforma *Google Earth Engine* (GEE) de acordo com os parâmetros estabelecidos para esta pesquisa. Já na Etapa 2, as análises foram realizadas em ambiente do software ESRI - ARCGISPRO sob licença fornecida pela Universidade de Brasília por meio de usuário nomeado.

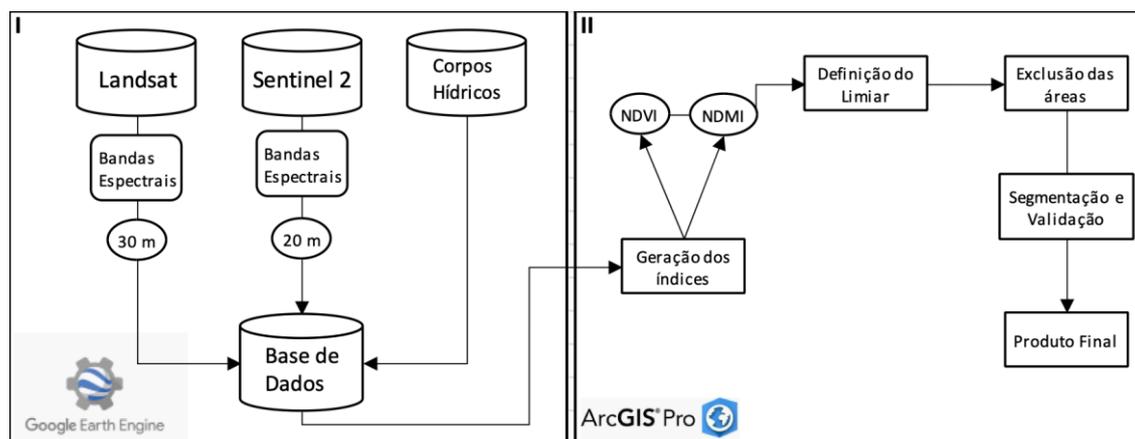


Figura 15 Ambientes utilizados para cada etapa metodológica. Fonte: Autoria própria.

## 7.1. Banco de dados

Para a composição do banco de dados, foram obtidas as imagens de satélite (Sentinel II, LandSat 5, 8 e 9) e os vetores dos corpos hídricos de acordo com os períodos estudados de cada RDS. Os dados hídricos vetoriais estão disponíveis na plataforma HidroWEB da Agência Nacional de Águas (ANA). Em resumo, as áreas desmatadas foram mapeadas considerando os valores de um ano anterior à implantação do PBF de acordo com cada RDS e três momentos distintos após sua implantação, como uma análise temporal.

Assim, para verificar o cumprimento das regras de não desmatamento em floresta primária, foi executado a seleção temporal das imagens com base em dois critérios, sendo o primeiro a relação com a implementação de importantes marcos de políticas públicas e o segundo com a qualidade das imagens nos períodos escolhidos.

Para o primeiro critério (ver Figura 16), seguem as seguintes justificativas: a) implementação do PBF na RDS Rio Negro em 2010 e na RDS Puranga Conquista em 2014;

logo foi admitido para análise como parâmetro pré-PBF o ano de 2009 para a RDSRN e o ano de 2013 para a RDSPC; b) os anos pós implementação do PBF para RDSRN (2011, 2015 e 2022) e para a RDSPC (2016, 2017 e 2022) para a verificação do incremento de desmatamento com base nos parâmetros dos anos pré-PBF de cada RDS.

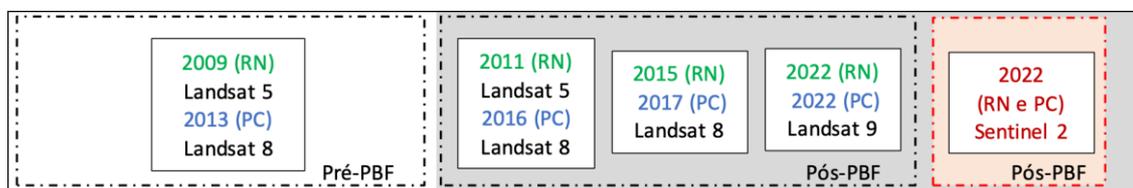


Figura 16 Anos selecionados para a análise do desmatamento em pequenas áreas para cada RDS.

Portanto, foi considerado um ano como um marco inicial representando o ano mais recente sem qualquer imposição das regras do PBF utilizado como base para o cálculo de incremento de desmatamento. A análise seguinte refere-se a um período dividido em três intervalos posteriores à implementação do PBF para cada RDS além da etapa de validação com os dados Sentinel 2, categorizado como pós-PBF na Figura 11.

Já para o segundo critério, a seleção consistiu na visibilidade da região com imagens limpas (sem nuvens ou com o mínimo possível). Tal escolha foi realizada na plataforma GEE por um algoritmo criado para a busca de imagens na região desejada com determinante no fator de cobertura de nuvens. Assim, as imagens foram selecionadas automaticamente do banco de dados da plataforma GEE dos satélites Landsat e Sentinel. O algoritmo utilizado para cada região individualmente pode ser visualizado na Figura 17.

```

1 //Parâmetros do processamento -----*/
2 var region = pc.geometry()
3 var params = {
4   't0': '2020-01-01', //Data inicial da pesquisa de imagens a ser analisada
5   't1': '2020-12-30', //Data final da pesquisa de imagens a ser analisada
6   'cloudcover': 1, //Percentual máximo de nuvens para imagem ser aceita na análise
7 };
8 // Encontrar a imagem Landsat para a área de interesse.
9 var Landsat8 = ee.ImageCollection('LANDSAT/LC08/C01/T1_RT')// coleção landsat real time
10 .filterBounds(pc)
11 .filterDate(params.t0, params.t1); //período para busca de imagens
12
13 // Calcula o número de imagens disponíveis.
14 var size = Landsat8.toList(100).length();
15 print('Número de imagens: ', size);
16 // Lista as imagens do período pesquisado.
17 var lista = Landsat8.sort('system:time_start', false).limit(10);
18 print('Lista de imagens para o período pesquisado: ', lista);
19 // Identifica a imagem com menor cobertura de nuvens.
20 var img_t0 = ee.Image(Landsat8.sort('CLOUD_COVER').first()).clip(region);
21 var img_t0_Id = img_t0.get('DATE_ACQUIRED').getInfo();

```

Figura 17 Algoritmo de busca para imagens sem cobertura de nuvens na área de interesse pelo GEE. Fonte: Elaboração própria.

Ao selecionar a imagem com menor cobertura de nuvens todos os parâmetros da imagem são fornecidos como data, porcentagem de nuvens, entre outras informações geotecnológicas.

## 7.2. Análise dos Dados

Os índices NDVI e NDMI foram gerados utilizando as Equações 1 e 2 apresentadas no item 5.4.1, respectivamente. A primeira fase consistiu na identificação de floresta primária e secundária para cada área de estudo utilizando o NDVI.

A identificação das pequenas áreas desmatadas foi realizada utilizando um nível de limiar para cada NDMI gerado. Como as informações de vegetação estão baseadas em pixels, o limiar foi calculado utilizando as informações estatísticas de cada imagem, mais especificamente o valor do desvio padrão ao quadrado. Após esta etapa, foi construído um grid para a exclusão de áreas menores que 0,5 ha e a validação visual das áreas desmatadas.

Em seguida, após o mapeamento das áreas desmatadas aplicando-se NDMI, então as pequenas áreas abertas na floresta identificadas foram sobrepostas ano a ano para descobrir seu grau de intensificação. Logo, ocorreu a análise das áreas abertas mapeadas, com as camadas de floresta primária, conforme realizado na RDS do Uatumã por Silva et. al. (2021), com a adição nesta pesquisa da etapa de validação com as imagens do satélite Sentinel.

### 7.2.1. Comparação dos resultados

A fase de mapeamento e identificação da dinâmica de desmatamento realizado conforme descrito nos itens anteriores com as imagens LandSat da série temporal foram

comparadas com as imagens Sentinel. Essa comparação foi realizada com a última imagem de cada RDS na série temporal, que corresponde ao ano de 2022 Sentinel com o primeiro ano base Landsat de cada RDS. Essa relação, realizada com o intuito de ampliar a aplicabilidade do método com os sensores multiespectrais do satélite Sentinel 2.

Foi cogitado o uso das imagens Sentinel 2 durante toda a fase da pesquisa, porém a missão Copernicus do referido satélite iniciou em 2015. Sendo assim, os dados disponíveis a partir do ano de 2015 inviabiliza alguns dos anos de análise anteriores a esse período.

### 7.3. Automatização da metodologia DEPAF

A segunda etapa da metodologia (referente a análise dos dados) também foi implementada na plataforma GEE gerando uma rotina metodológica automatizada com algumas limitações e alterações em relação a realizada no ArcGisPRO. A Figura 18 apresenta as fases da rotina automatizada.

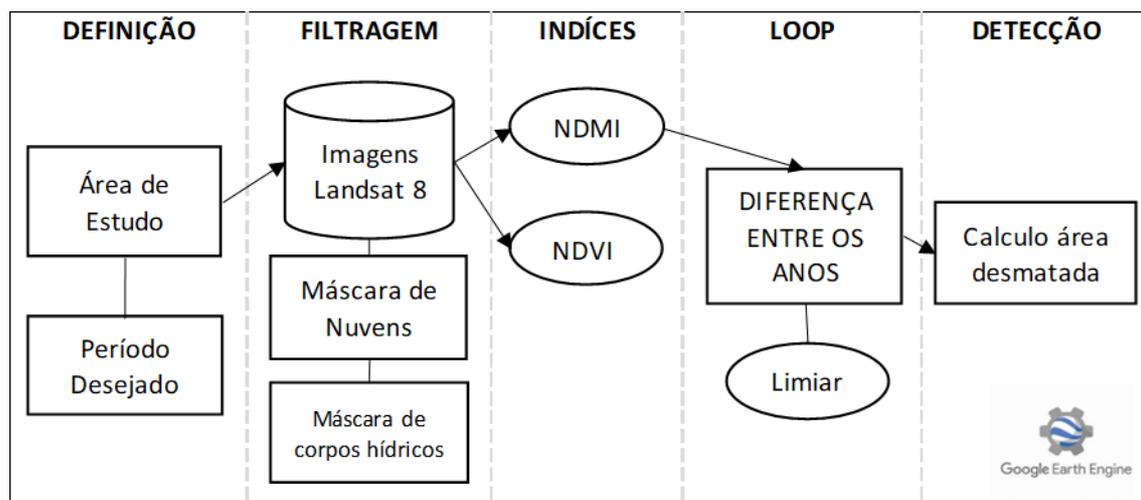


Figura 18 Rotina metodológica aplicada no GoogleEarthEngine (GEE). Fonte: Autoria própria.

As limitações e diferenças em relação a rotina metodológica aplicada ao ARCGIS consistem em um não refinamento na identificação das áreas desmatadas, como por exemplo exclusão de polígonos gerados erroneamente que ocorrem na análise manual, e também, na série temporal. No entanto, a automatização gera a entrega do resultado em questão de segundos o que fornece uma visão geral das mudanças que ocorreram na vegetação durante o período solicitado.

O código foi desenvolvido em linguagem JavaScript na plataforma do GEE (ver Apêndice I) para analisar a mudança na vegetação ao longo do tempo usando imagens do

Landsat 8 pelo índice de diferença normalizada de umidade (NDMI). O código segue o seguinte raciocínio:

1. Definição da Área de Interesse (ROI): A primeira parte do código define a área de interesse (ROI) que será analisada. A ROI é definida como a geometria de uma tabela específica.
2. *Loop* Anual: O código então entra em um *loop* que itera através dos anos de 2013 a 2021. Para cada ano, o código faz o seguinte:
  - 2.1. Filtragem da Coleção de Imagens: O código filtra a coleção de imagens Landsat 8 *Surface Reflectance* (LANDSAT/LC08/C01/T1\_SR) para o ano, data e ROI especificados. Ele então seleciona a primeira imagem da coleção ordenada pela menor cobertura de nuvens.
  - 2.2. Máscara de Nuvens: Uma máscara de nuvens é aplicada à coleção de imagens para remover pixels cobertos por nuvens.
  - 2.3. Cálculo do NDMI: O índice de diferença normalizada de umidade (NDMI) é calculado para a coleção de imagens mascarada. O NDMI é adicionado como uma camada ao mapa.
  - 2.4. Cálculo da Diferença NDMI: Se houver um NDMI anterior (ou seja, não é o primeiro ano do loop), o código calcula a diferença entre o NDMI atual e o anterior. A diferença é adicionada como uma camada ao mapa.
3. Detecção de Desmatamento: Após o loop anual, o código entra em outro loop que itera através das diferenças de NDMI calculadas. Para cada diferença de NDMI, o código faz o seguinte:
  - 3.1. *Thresholding*: O código calcula um limiar para a diferença de NDMI usando o percentil 1 da diferença de NDMI dentro da ROI.
  - 3.2. Detecção de Pixels Escuros: Pixels com uma diferença de NDMI menor que o limiar são considerados "pixels escuros", que são potencialmente áreas de desmatamento.
  - 3.3. Máscara de Água: Uma máscara de água é aplicada aos pixels escuros para remover áreas de água.
  - 3.4. Conversão para Vetores: Os pixels escuros são então convertidos em vetores.
  - 3.5. Cálculo da Área: A área de cada vetor é calculada e a área total de todos os vetores é somada.
4. Exportação para o Google Drive: Os vetores são exportados para o Google Drive como um *shapefile*.

5. Gráfico de Áreas por Ano: Finalmente, um gráfico de áreas por ano é criado e adicionado ao painel.

Diante exposto, após a definição da ROI (RDSRN ou RDSPC) a opção “*run*” na plataforma pode ser acionada e a análise é realizada em tempo real gerando os dados de desmatamento em quilômetros quadrados representados em gráfico na janela de resultados. É importante ressaltar que na automação, a análise temporal seguiu o período de imagens disponíveis do satélite utilizado (Landsat 8) que compreendeu o intervalo de anos entre 2013 a 2021.

## 8. RESULTADOS

### 8.1. Geração dos Índices

Os índices de NDVI gerado para a RDS Rio Negro são apresentados na Figura 19.

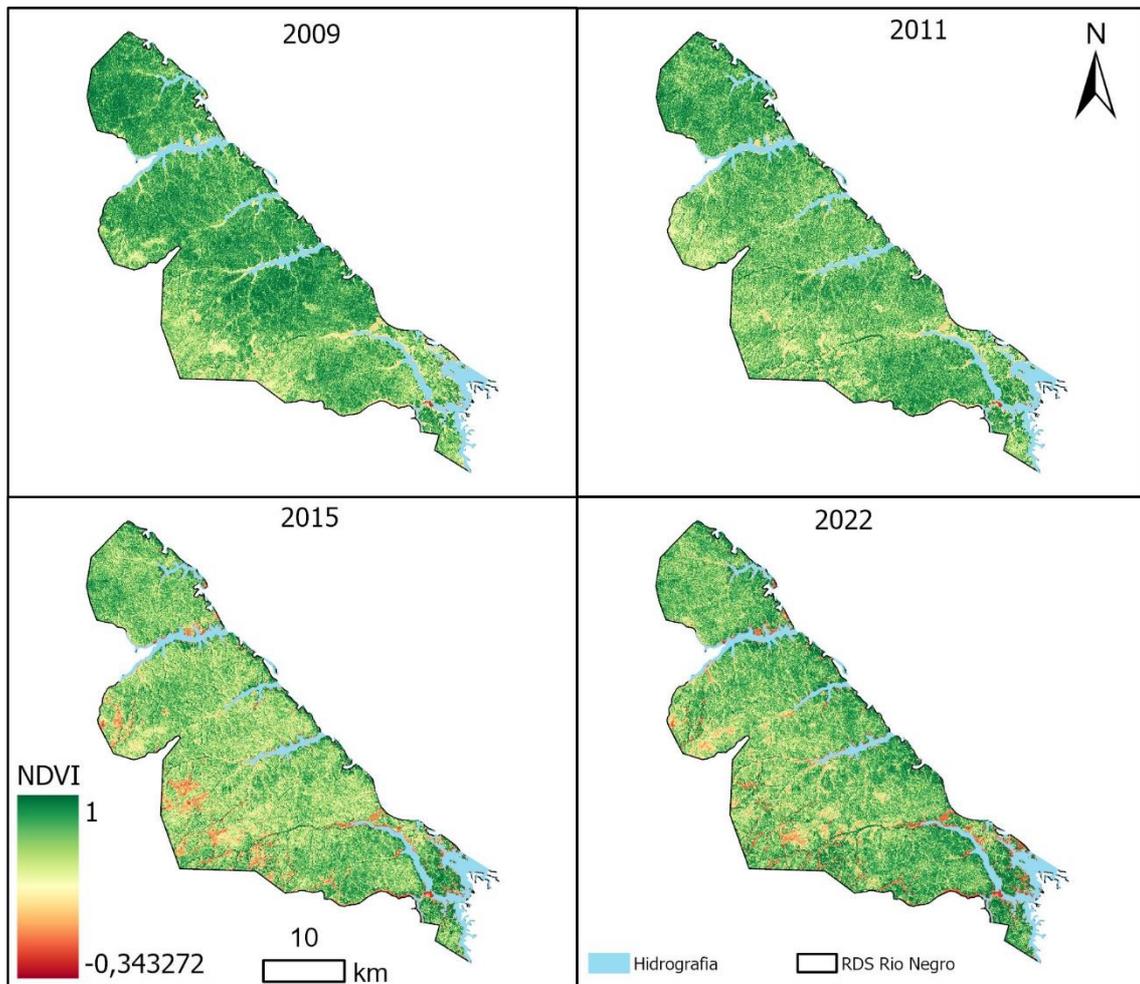


Figura 19 NDVI para cada ano da análise na Reserva de Desenvolvimento Sustentável do Rio Negro.

De acordo com o resultado da Figura 19, têm-se que as áreas com a vegetação densa, típica de florestas temperadas e tropicais, tendem a apresentar altos valores positivos entre 0,5 e 1,0 (em verde). Já a vegetação esparsa, apresenta valores positivos mais baixos, em torno de 0,2 e 0,5 (em amarelo), enquanto solos nus apresentam valores mais baixos, entre 0,1 e 0,2, podendo atingir valores negativos (em vermelho).

É possível observar a variação da vegetação a partir dos índices, e em 2009 os valores estão mais próximos de 1 enquanto nos anos seguintes estão dentro do intervalo entre 0 e 1, o que demonstra a modificação na floresta durante o período estudado. A partir desse

resultado, e com apoio de verificação visual das imagens de satélite foi definido o limiar de 0,7 a 1 para a floresta primária do ano base (2009).

Já na Figura 20, são apresentados os índices de NDVI gerado para a RDS Puranga Conquista.

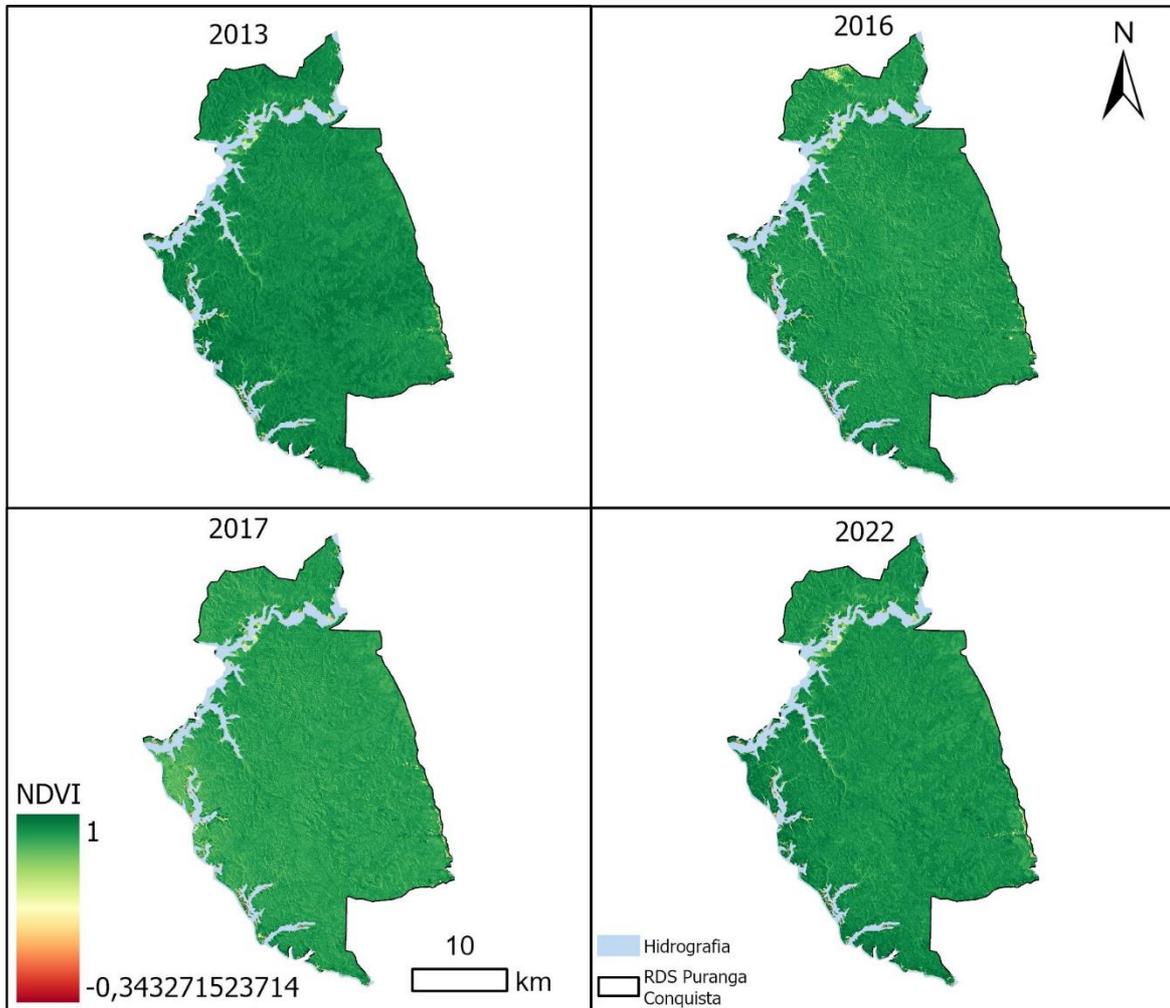


Figura 20 NDVI para cada ano da análise na Reserva de Desenvolvimento Sustentável Puranga Conquista.

Conforme mostra a Figura 20, os valores gerados estão próximos a 1 (em verde) para todos os casos, com pouca mudança durante os anos. Não ocorreram grandes variações nos índices de NDVI gerados para a RDS Puranga Conquista no período analisado. O limiar para floresta primária dessa RDS foi de 0,8 a 1 para o ano base 2013.

As Figuras 21 e 22, apresentam os índices de NDMI para a RDS do Rio Negro e para a RDS Puranga Conquista, respectivamente.

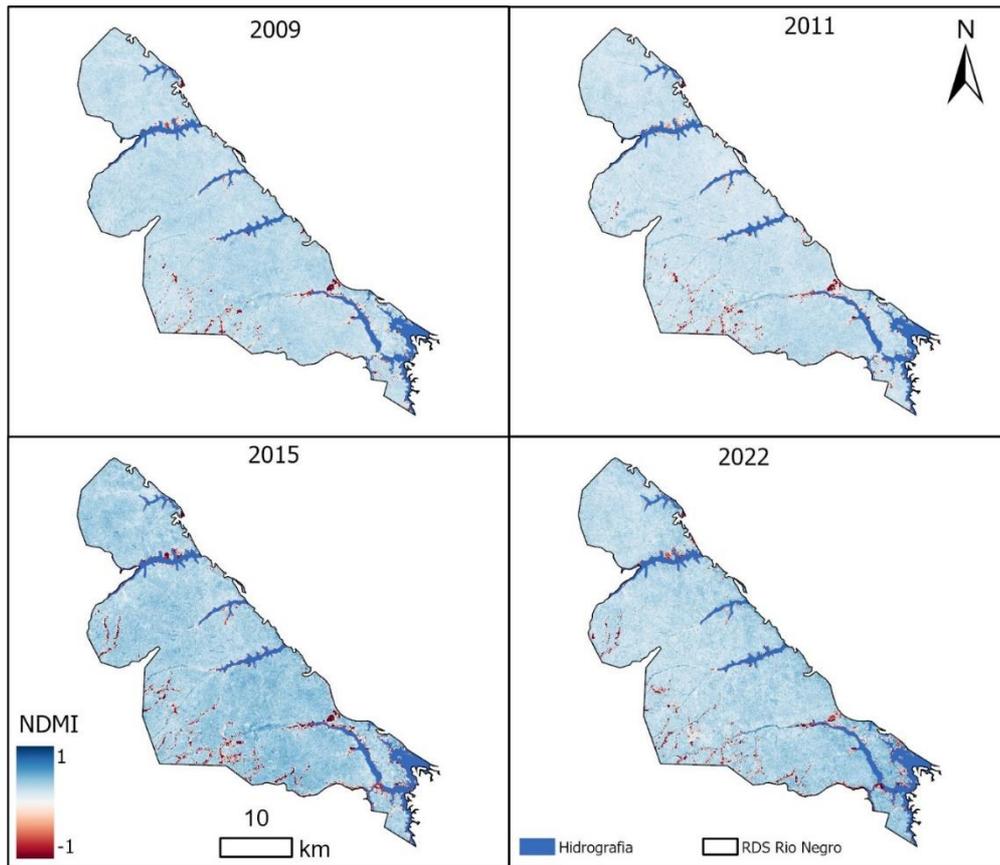


Figura 21 NDMI para cada ano da análise na Reserva de Desenvolvimento Sustentável do Rio Negro.

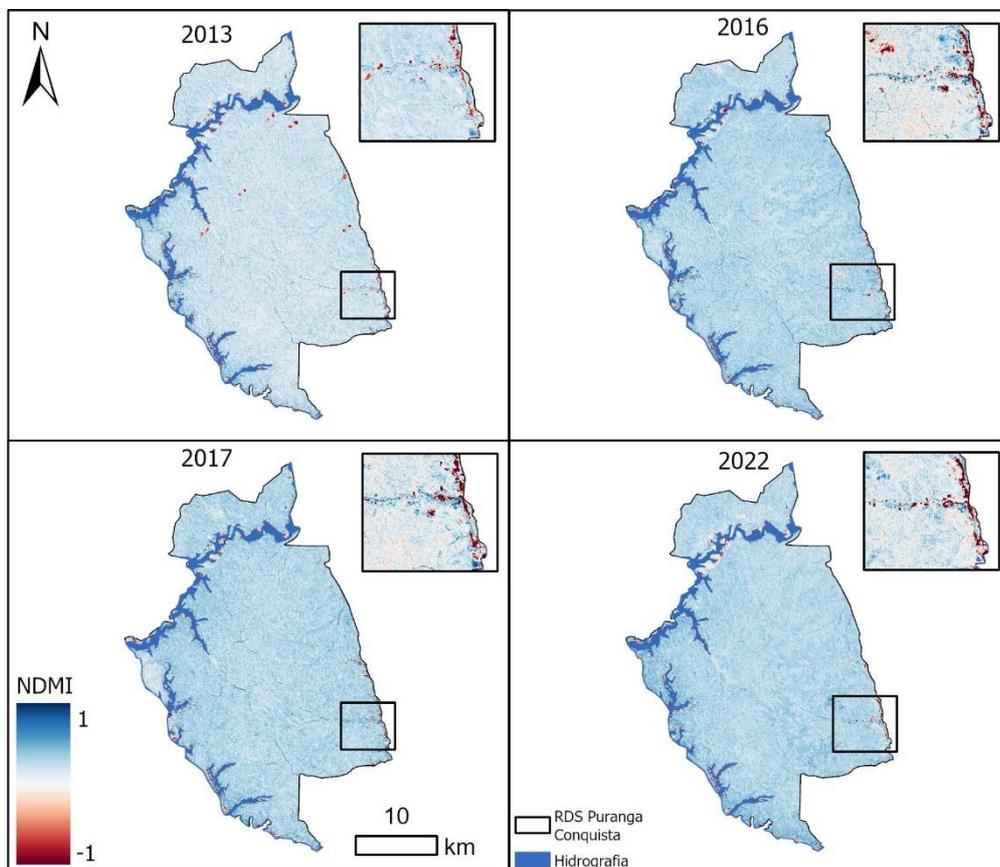


Figura 22 NDMI para cada ano da análise na Reserva de Desenvolvimento Sustentável Puranga Conquista.

Os resultados apresentados nas Figuras 21 e 22 mostram em azul as áreas com vegetação mais densa, enquanto áreas com vegetação mais dispersa ou solo exposto estão em vermelho. Esse detalhamento é possível devido a uma diminuição menos abrupta dos valores fornecidos pelo cálculo do NDMI.

Para a RDS do Rio Negro o ano de 2015 foi o que mais apresentou regiões com valores próximos a -1 (em vermelho) o que indica uma maior supressão da cobertura vegetal durante o período analisado. Do mesmo modo, na RDS Puranga Conquista o ano de 2016 apresentou os maiores índices negativos.

O limiar para a identificação de áreas abertas foi definido estatisticamente de acordo com cada ano pelo valor do desvio padrão de cada imagem. Assim, os valores são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 Limiares definidas a partir do desvio padrão de cada imagem.

| <b>RDS do Rio Negro</b> |               | <b>RDS Puranga Conquista</b> |               |
|-------------------------|---------------|------------------------------|---------------|
| <b>Ano</b>              | <b>Limiar</b> | <b>Ano</b>                   | <b>Limiar</b> |
| <b>2009</b>             | 0,173         | <b>2013</b>                  | 0,09          |
| <b>2011</b>             | 0,17          | <b>2016</b>                  | 0,112         |
| <b>2015</b>             | 0,85          | <b>2017</b>                  | 0,098         |
| <b>2022</b>             | 0,87          | <b>2022</b>                  | 0,095         |

Com os limiares definidos para cada RDS, as áreas de floresta secundária, hidrografia, nuvens, roças e áreas abertas (do ano base) foram excluídos da análise.

## 8.2.Mapeamento das pequenas áreas desmatadas

As Figuras 23 e 24, mostram respectivamente o mapeamento das aberturas de pequenas áreas desmatadas para a RDS do Rio Negro e para a RDS Puranga Conquista.

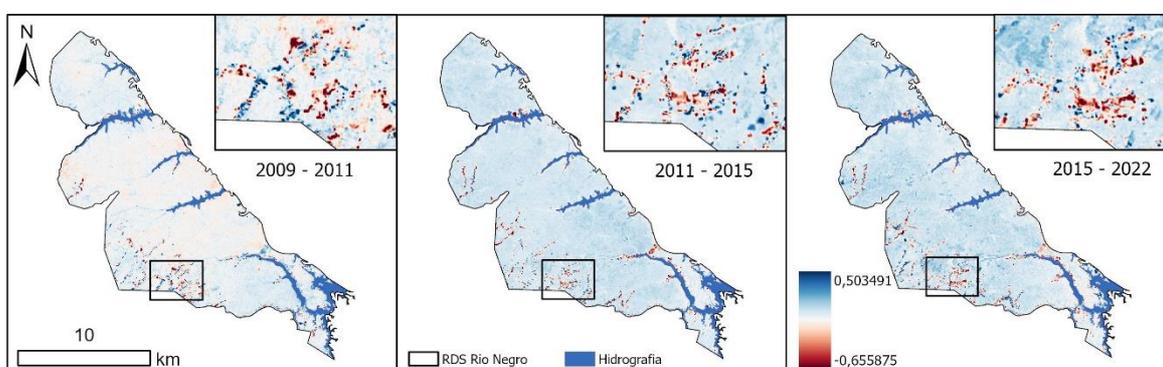


Figura 23 Áreas abertas desmatadas identificadas na Reserva de Desenvolvimento Sustentável do Rio Negro.

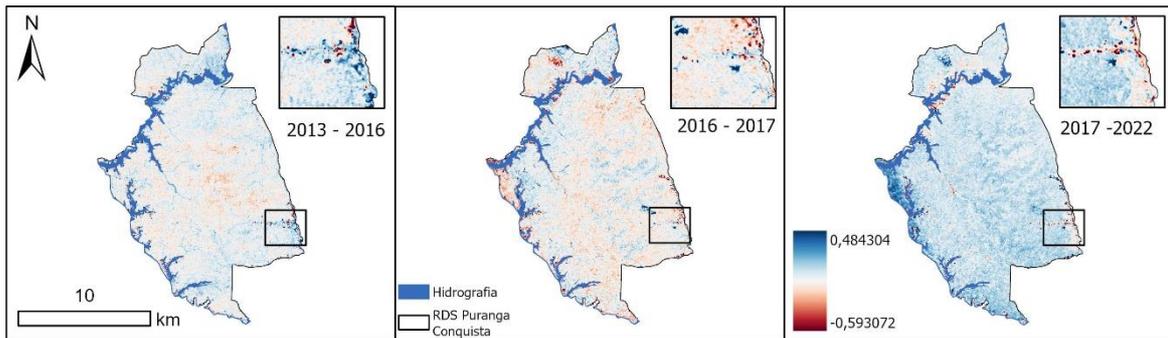


Figura 24 Áreas abertas desmatadas identificadas na Reserva de Desenvolvimento Sustentável do Rio Negro.

Segundo mostram as Figuras 23 e 24, próximos aos valores em vermelho estão as regiões que sofreram variações negativas entre o ano final e o ano inicial de cada período analisado, ou seja, as áreas em vermelho tiveram supressão da vegetação enquanto as áreas em azul sofreram pouca ou nenhuma variação.

Na RDS do Rio Negro os períodos 2009-2011 e 2011-2015 apresentaram mais zonas em vermelho, o que revela uma intensificação de áreas abertas nos anos iniciais do PBF. E no mesmo período de 2009-2011 áreas que já estavam desmatadas em 2009 permaneceram com o solo exposto até 2011 conforme mostram os pontos em azul mais escuro na imagem.

Por outro lado, na RDS Puranga Conquista a ocasião com maior índice de desmatamento em floresta primária foi no segundo período pós-implantação do PBF (2016-2017). Nos outros períodos é possível identificar que não ocorreram mudanças abruptas na floresta primária e que áreas já abertas nos anos iniciais sofreram uma recuperação vegetativa não gerando tantos pontos em azul escuro como na RDS do Rio Negro.

A análise de mapeamento de pequenas áreas desmatadas permitiu identificar as modificações e não modificações vegetativas entre os anos analisados, e, portanto, mostrou-se com boa sensibilidade corroborando com os resultados obtidos na RDS Uatumã realizada por Silva *et. al.* (2021).

### 8.3.Dados do desmatamento

Com a identificação das regiões desmatadas, foi possível quantificar as áreas desmatadas para cada período. A Figura 25 exhibe os dados de desmatamento na RDS do Rio Negro.

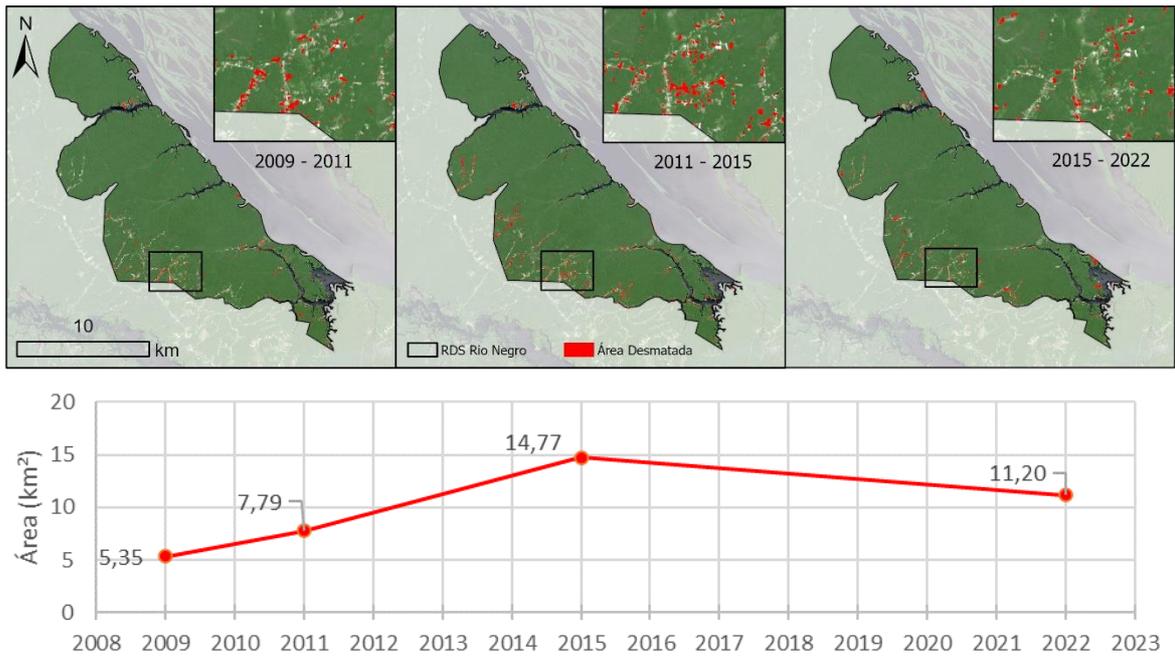


Figura 25 Dados do desmatamento na RDS do Rio Negro.

Entre os anos de 2009 e 2011 a RDS do Rio Negro obteve um total de 7,79 km<sup>2</sup> de área desmatada. Já entre os anos de 2011 e 2015, esse valor quase dobrou chegando a 14,77 km<sup>2</sup> sendo o período com maior índice de desmatamento seguido do número de 11,20 km<sup>2</sup> quantificado nos anos seguintes entre 2015 e 2022.

Na análise de desmatamento realizada por Brito *et. al.* (2019), entre 2011 e 2016, a RDS do Rio Negro foi a RDS atendida pelo PBF que apresentou o maior quantitativo de área desmatada, registrando um acréscimo de 1.053 ha no intervalo de anos analisados. Dados esses que corroboram com os encontrados nesta pesquisa.

A maior parte dos polígonos de desmatamento identificados na análise concentram-se na região com acesso terrestre a RDS (ver Figura 26), pois as rodovias estaduais AM-070 e AM-352 as ligam com os municípios. No caminho, muitos ramais se espalham por boa parte da RDS do Rio Negro, ligando as estradas à reserva. Fato esse que se torna contrário a dinâmica de desmatamento encontrada por Silva *et. al.* (2021) onde a abertura de pequenas áreas ocorre em regiões próximas aos rios.

Os valores encontrados são justificados pelo Plano de Gestão da RDS, no qual explica que a RDS do Rio Negro está sob grande pressão devido a ocupações desordenadas, desmatamento e invasões. Sendo que as principais pressões sofridas pelas comunidades que habitam a RDS são causadas pelo intenso processo de especulação imobiliária vivida pela região desde 2011 (SEMA, 2016).

Os dados de desmatamento concentrados após a implantação do PBF podem ser visualizados na Figura 26.

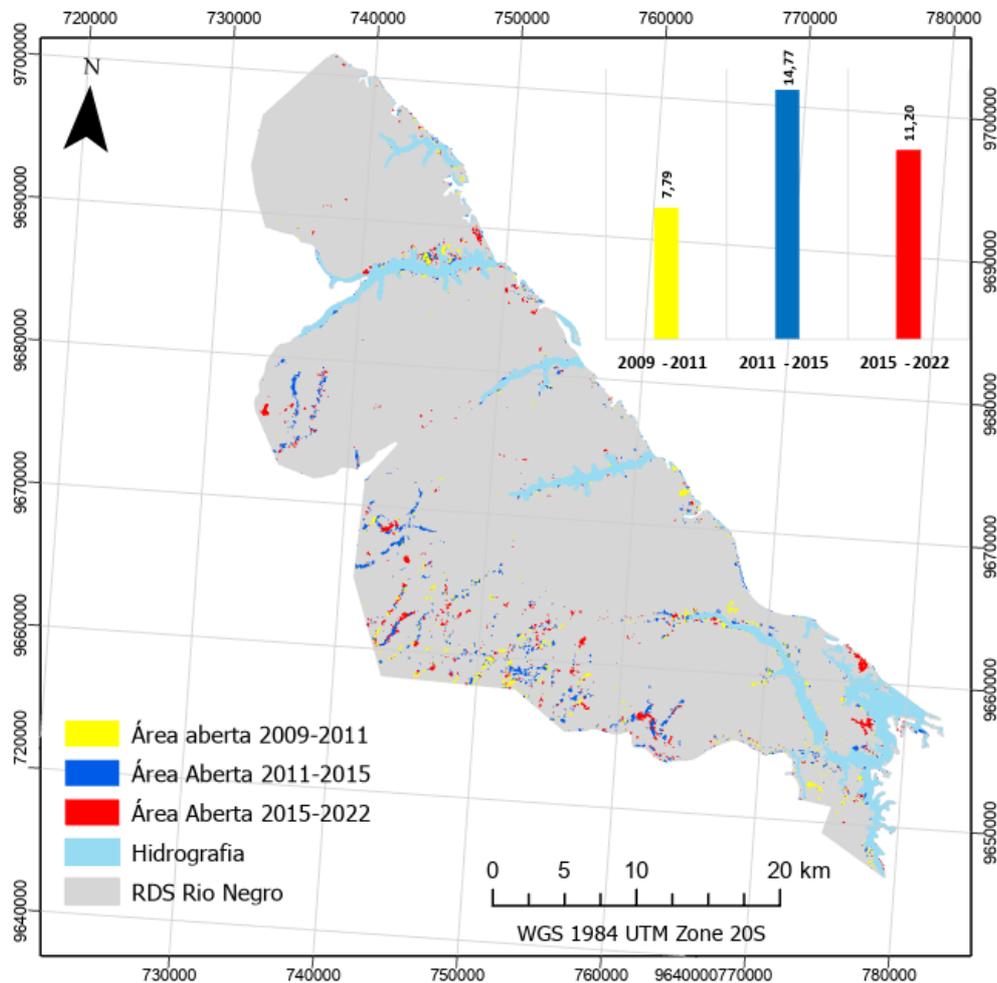


Figura 26 Áreas abertas em floresta primária nos anos de 2009, 2011, 2015 e 2022 na RDS do Rio Negro.

Pela Figura 26 é possível visualizar as zonas com maior concentração de áreas abertas em floresta primária na RDS. A pressão da especulação imobiliária justifica os valores encontrados, porém se torna um fator que dificulta a quantificação das taxas de desmatamento para o acompanhamento das regras do PBF na região uma vez que não é possível identificar o motivo por qual cada área foi aberta.

A seguir, a Tabela 3 apresenta o quantitativo dos polígonos encontrados para cada ano com a média dos tamanhos das áreas abertas identificados pela metodologia.

Tabela 3 Áreas dos polígonos encontrados para cada ano na RDS do Rio Negro.

| Anos      | Área (km <sup>2</sup> ) | Polígonos | Média (km <sup>2</sup> /polígono) | Média (ha/polígono) |
|-----------|-------------------------|-----------|-----------------------------------|---------------------|
| 2009-2011 | 7,79                    | 573       | 0,013593263                       | 1,35932632          |
| 2011-2015 | 14,77                   | 936       | 0,015774805                       | 1,577480502         |
| 2015-2022 | 11,20                   | 769       | 0,014565094                       | 1,45650943          |

Os dados da Tabela 3 mostram que o tamanho médio dos polígonos abertos é indetectável pela metodologia oficial do PRODES utilizada para acompanhar os dados de desmatamento. Ao comparar os dados obtidos nesta pesquisa com os dados do PRODES, é perceptível o nível sensibilidade na identificação de pequenas áreas desmatadas, conforme a Figura 27 e dados do gráfico na Figura 28.

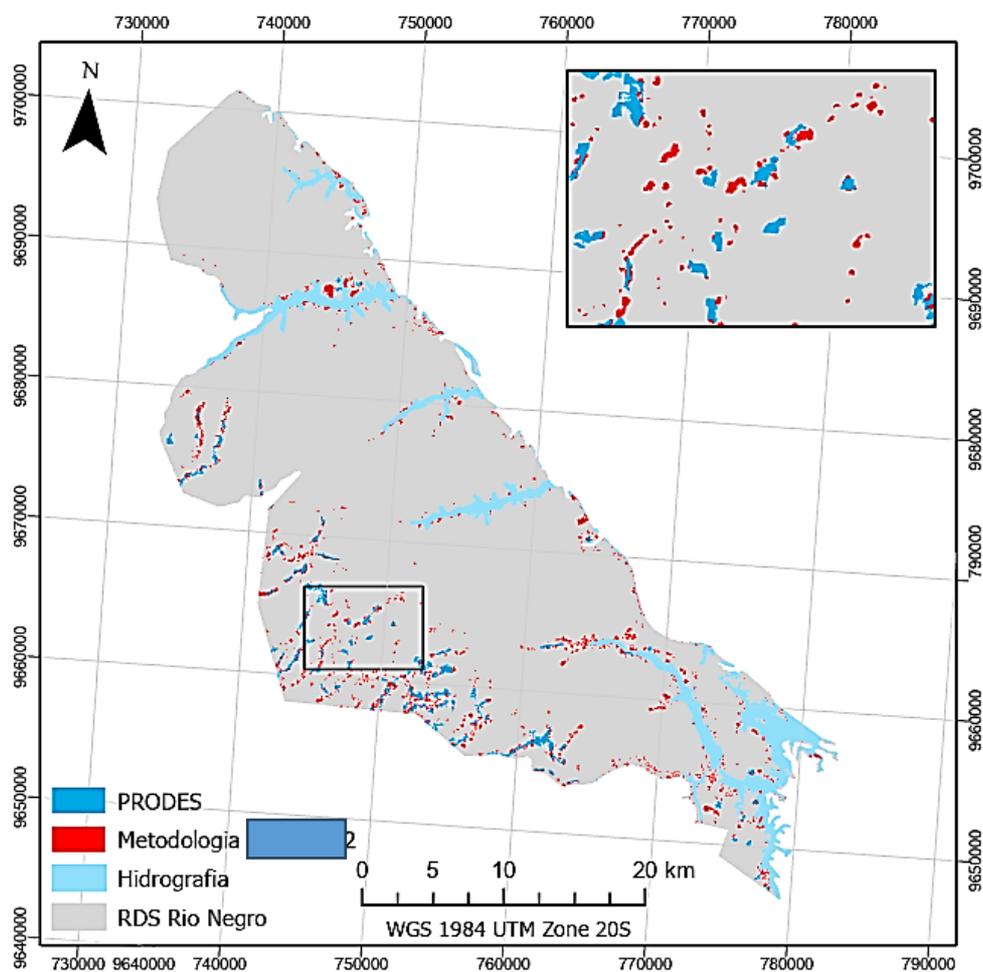


Figura 27 Comparação dos dados de desmatamento da metodologia com o PRODES na RDS do Rio Negro.

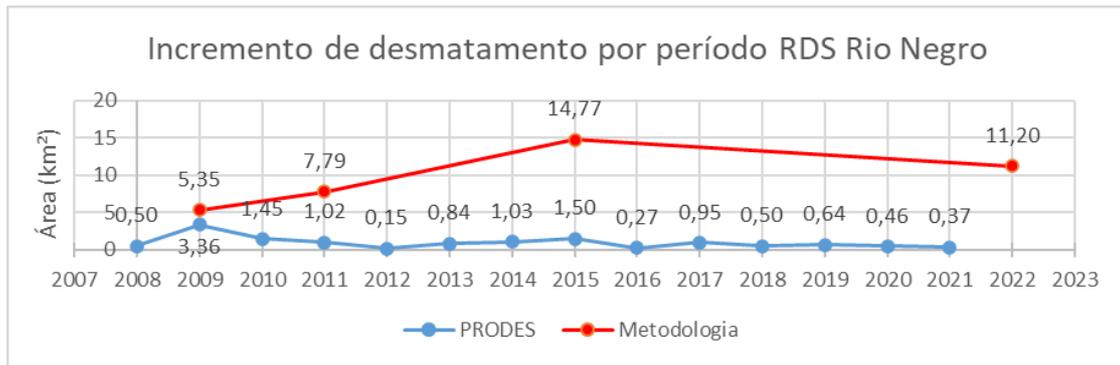


Figura 28 Gráfico com dados de desmatamento na RDS do Rio Negro.

Ao analisar as Figuras 27 e 28, percebe-se que os valores encontrados a partir da metodologia utilizada (em vermelho) chegam em quase 10 vezes o valor encontrado pelo PRODES (em azul) como é o caso do ano de 2015. E indicam um aumento do desmatamento enquanto os dados do PRODES apontam para uma diminuição e estagnação das taxas de desmatamento. Além disso, a metodologia utilizada nesta pesquisa identificou os mesmos polígonos de área desmatada que o PRODES conforme pode ser observado na Figura 27.

Já na RDS Puranga Conquista os dados de desmatamento encontrados podem ser visualizados na Figura 29.

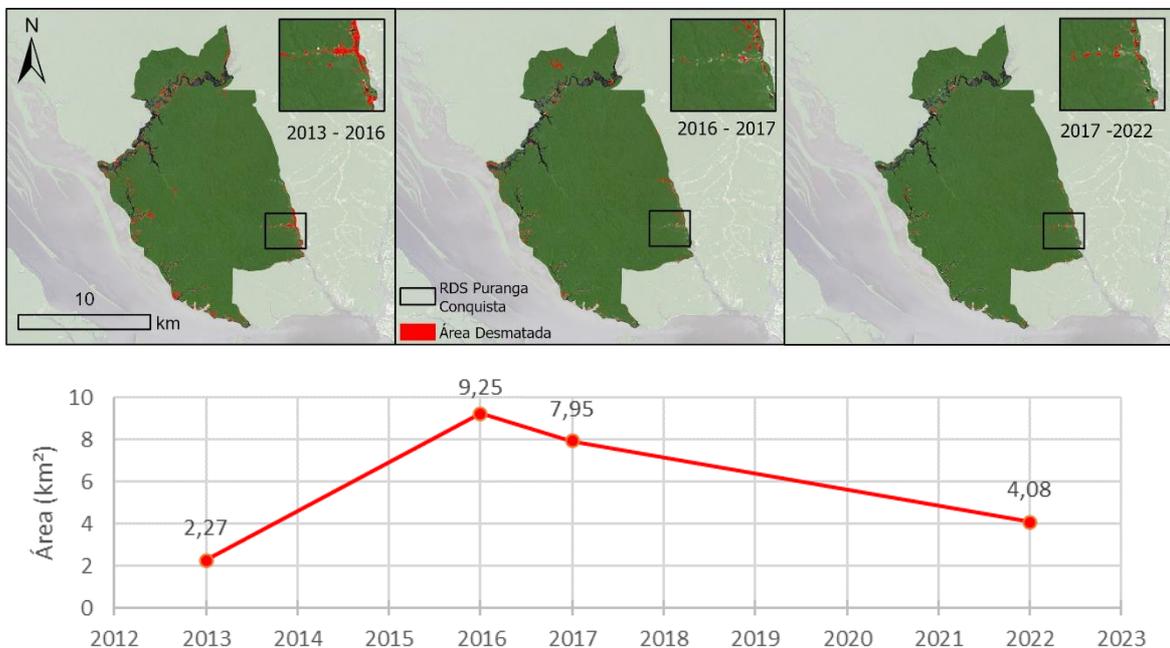


Figura 29 Dados do desmatamento na RDS Puranga Conquista.

Durante o primeiro período pós-implantação do PBF a RDS Puranga Conquista apresentou o maior índice desmatamento entre os anos de 2013 e 2016 com 9,25 km<sup>2</sup> de desflorestamento. Já nos dois períodos seguintes de 2016 a 2017, e 2017 a 2022 a reserva apresentou um declínio na taxa de áreas abertas em floresta primária, com 7,95 km<sup>2</sup> e 4,08 km<sup>2</sup> respectivamente.

Esses valores demonstram o esforço das comunidades que vivem na reserva em cumprir as regras do PBF no período de 2016 a 2022. Esse esforço também está refletido na dinâmica espacial onde não foram identificados polígonos nas áreas mais internas da reserva (ver Figura 30), o que demonstra uma preservação da floresta e de seus recursos.

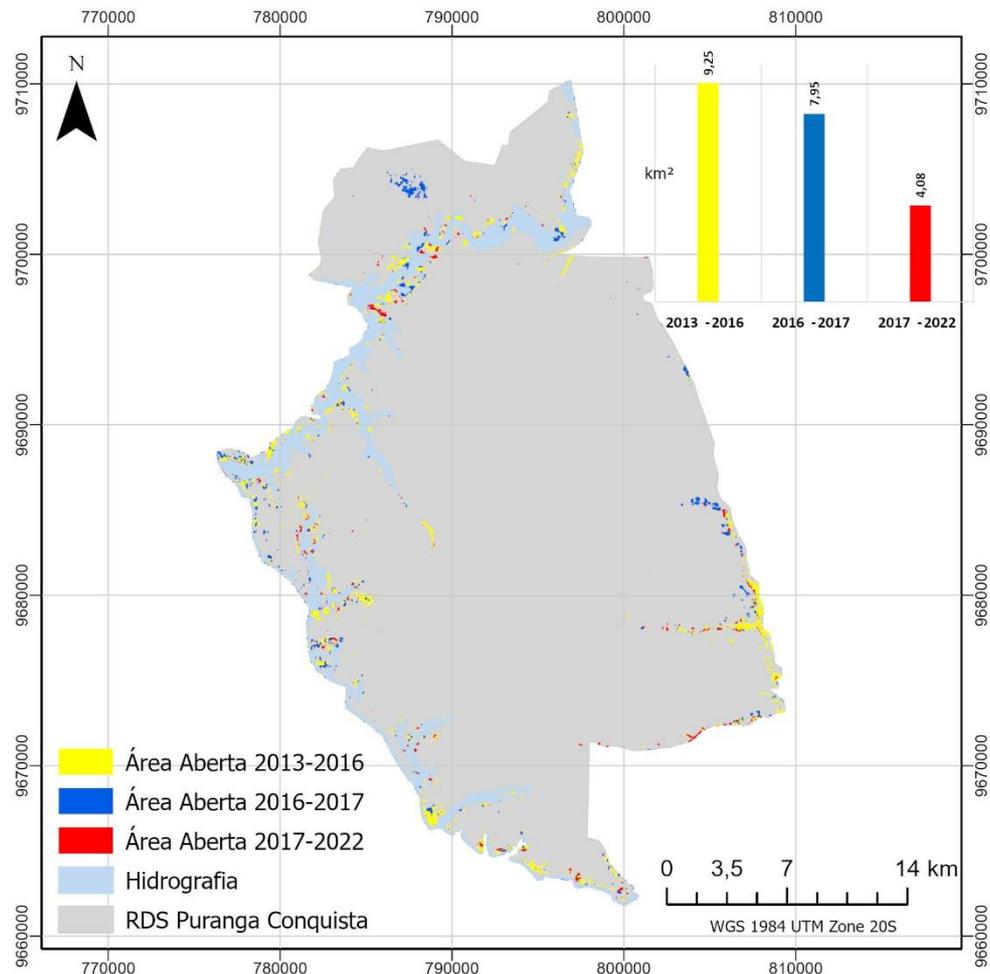


Figura 30 Áreas abertas em floresta primária nos anos de 2013, 2016, 2017 e 2022 na RDS Puranga Conquista.

Conforme é possível ver na Figura 30, ao contrário da RDS do Rio Negro, a RDS Puranga Conquista concentrou a maior parte dos polígonos identificados nas margens das águas dos rios Rio Negro e Cueiras seguindo os padrões encontrados por Jakovac (2017).

A Tabela 4 a seguir, apresenta o tamanho médio dos polígonos encontrados para a RDS Puranga Conquista.

Tabela 4 Áreas dos polígonos encontrados para cada ano na RDS Puranga Conquista.

| <b>Anos</b>      | <b>Área (km<sup>2</sup>)</b> | <b>Polígonos</b> | <b>Média (km<sup>2</sup>/polígono)</b> | <b>Média (ha/polígono)</b> |
|------------------|------------------------------|------------------|--|----------------------------|
| <b>2013-2016</b> | 9,25                         | 483              | 0,019144155                            | 1,914415534                |
| <b>2016-2017</b> | 7,95                         | 371              | 0,021421756                            | 2,142175643                |
| <b>2017-2022</b> | 4,08                         | 218              | 0,018734099                            | 1,87340993                 |

O tamanho médio dos polígonos não ultrapassou o valor de 2,15 ha reafirmando a sensibilidade de identificação da metodologia. Já nas Figuras 31 e 32, é possível perceber essa sensibilidade de detecção quando os dados são comparados aos do PRODES e os polígonos sobrepostos.

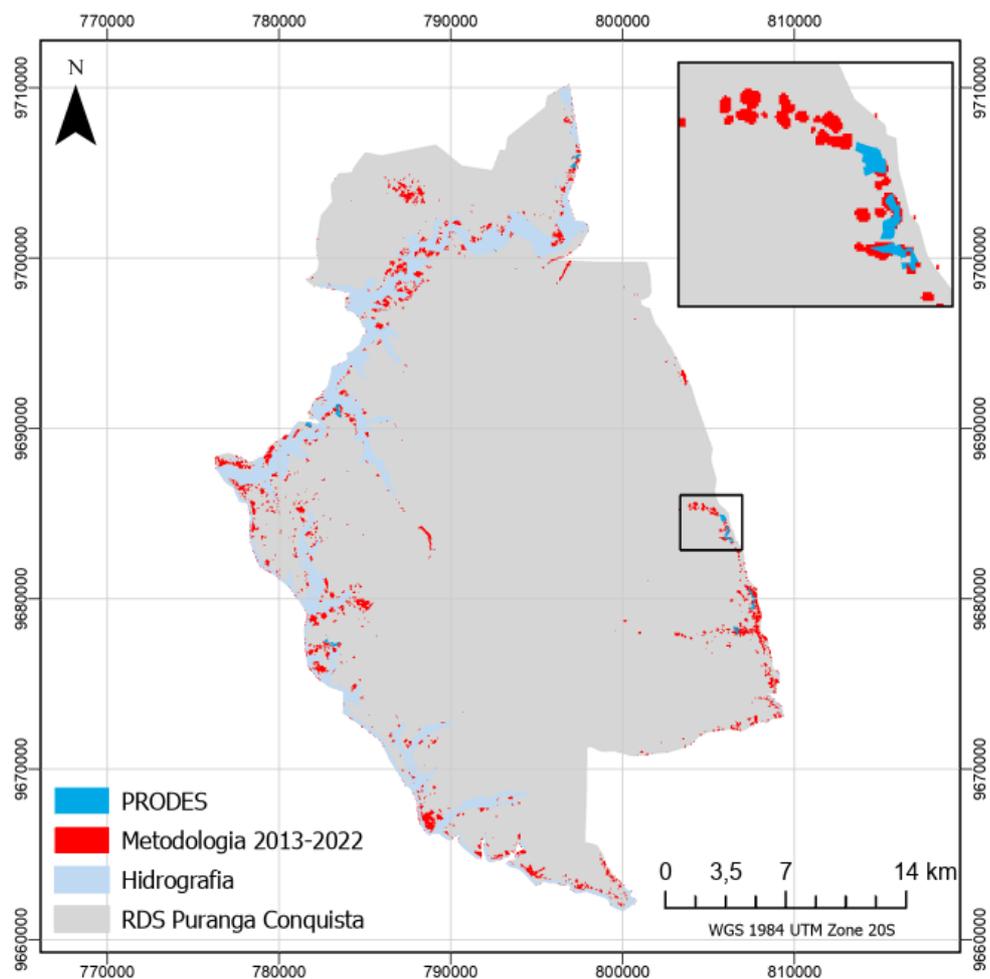


Figura 31 Comparação dos dados de desmatamento da metodologia com o PRODES na RDS Puranga Conquista.

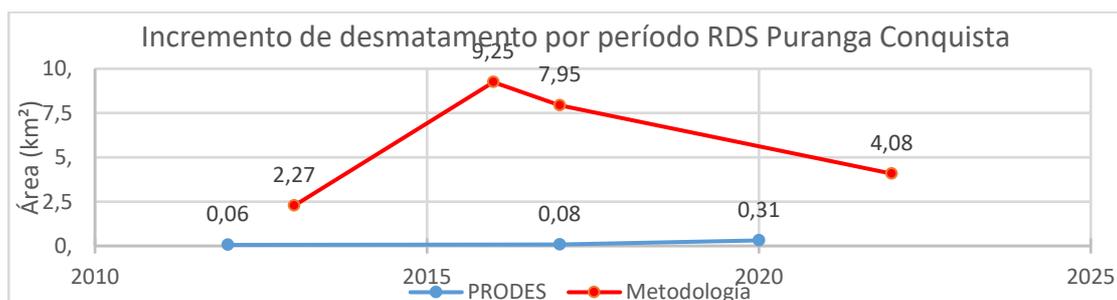


Figura 32 Gráfico com dados de desmatamento na RDS Puranga Conquista.

Da mesma maneira que na RDS do Rio Negro, os polígonos encontrados com essa metodologia (em vermelho) também foram detectados pela metodologia tradicional do PRODES (em azul) com a adição de mais áreas mapeadas. Essa identificação resultou em valores 10 vezes maiores (em 2017) e em valores não identificados como nos anos de 2013 e de 2016, conforme pode ser acompanhado no gráfico da figura 32.

## 8.4.Comparação Landsat e Sentinel II

A Figura 33 apresenta os dados comparados para as RDS do Rio Negro e RDS Puranga Conquista.



Figura 33 Comparação dos polígonos identificados utilizando os sensores Landsat e Sentinel.

Os polígonos mapeados utilizando os sensores Sentinel quando sobrepostos aos mesmos identificados pelos sensores Landsat revelam que mesmo sob mesma localização alguns possuem uma área maior. Essa sensibilidade está na utilização de um período com intervalo maior com as imagens Landsat/Sentinel sendo do ano base para o ano final, enquanto para as Imagens Landsat os intervalos não ultrapassam 5 anos. Aqui é recomendável uma análise utilizando somente sensores Sentinel com intervalos menores para uma melhor comparação dos dados mesmo que em períodos posteriores a implantação do PBF nas áreas de estudo.

Ainda, a alteridade vista pela figura 33 pode ser explicada pela diferença na resolução espacial entre os satélites, sendo a do Landsat de 30 metros e a do Sentinel de 20 metros. Ademais, essa comparação confirma que a metodologia é aplicável utilizando outros sensores, e que uma análise utilizando somente dados Sentinel pode trazer uma sensibilidade

maior na detecção de pequenas áreas abertas na floresta devido a sua menor resolução espacial.

## 8.5. Resultados automatizados

A implementação da metodologia DEPAF se mostrou bem-sucedida com o uso de algoritmos na plataforma baseada em nuvem GEE. A Figura 34 apresenta os resultados encontrados para a RDS do Rio Negro.

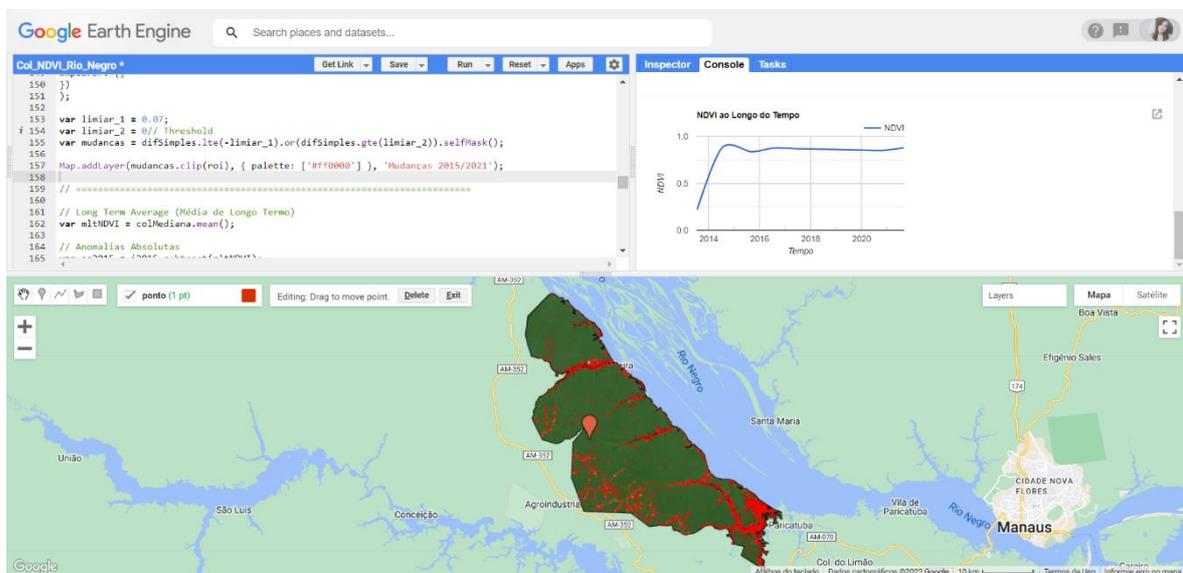


Figura 34 Resultados automatizados no GEE para detecção de áreas abertas na RDS do Rio Negro.

Como é possível visualizar na figura 34, a automatização foi bem executada na plataforma, porém não traz tanto refinamento nos dados quando comparada a metodologia manual realizada no ARCGisPRO. Os dados podem ser visualizados quase que imediatamente e fornece uma visão geral da dinâmica espaço temporal de desmatamento na região. No entanto, a área de rios e áreas menores que 0,5 ha que sofreram modificações durante o período também então incluídos nos resultados.

A seguir, a Figura 35 mostra o acumulado de desmatamento entre os anos de 2013 e 2021 para cada RDS.



Figura 35 Áreas abertas desmatadas identificadas pelo algoritmo na Reserva de Desenvolvimento Sustentável do Rio Negro (esquerda) e na Reserva de Desenvolvimento Sustentável Puranga Conquista (direita).

De acordo com a Figura 35, é possível observar que a detecção de alteração na cobertura florestal das áreas de estudo seguiu a mesma dinâmica encontrada pela metodologia aplicada no ArcGIS. Assim, na RDSRN, a maior parte dos polígonos de desmatamento identificados na análise concentram-se na região com acesso terrestre a RDS como visto na figura 26. Enquanto na RDSPC, a espacialidade dos polígonos está concentrada nas margens dos rios.

Em ambas as áreas de estudo a automatização forneceu os dados de desmatamento com o incremento de polígonos que precisam de uma validação, e por isso, os resultados apresentam valores acima dos detectados pelo mapeamento utilizando a rotina metodológica manual. Para tanto, as Figuras 36 e 37 mostram respectivamente os valores encontrados em área desmatada pela automatização para a RDSRN e para RDSPC.

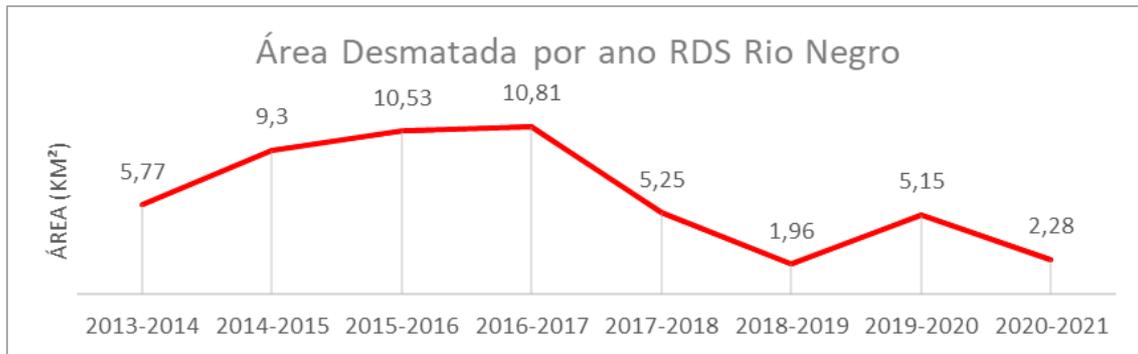


Figura 36 Dados gerados pela automatização do desmatamento na RDS do Rio Negro.

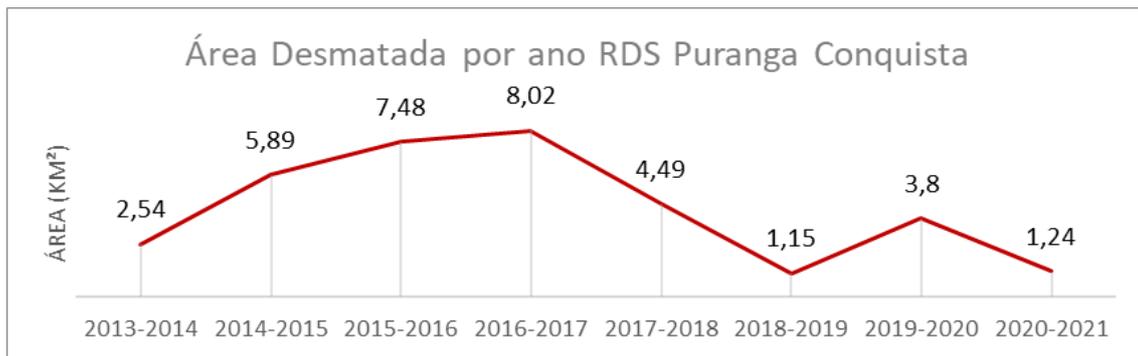


Figura 37 Dados gerados pela automatização do desmatamento na RDS do Rio Negro.

Para as Figura 36 e 37, observa-se que a partir do ano de 2013, as duas RDS apresentaram uma crescente nos valores de área desmatada até o ano de 2018. Depois disso ocorreu uma queda na área desmatada até o ano de 2019, seguido de uma variação em 2020 e sequente queda em 2021. Essa variação é devida as imagens processadas pelo algoritmo para os últimos três anos da análise (2019, 2020 e 2021), haja vista a remoção de nuvens aplicada ao script na etapa de processamento.

Diante exposto, essa automatização pode ser melhorada para corrigir e aperfeiçoar tais resultados, além do aperfeiçoamento do algoritmo é possível também a criação de aplicativos na plataforma. O aplicativo irá permitir, por exemplo, a consulta em qualquer área com datas e sensores a serem escolhidos pelo gerenciador. Portanto, conclui-se que essa ferramenta é inovadora e promissora nos estudos ambientais, tornando-se essencial para a acessibilidade de metodologias.

## 9. DISCUSSÃO

É relevante considerar as diferenças metodológicas entre o PRODES e as aplicadas neste estudo, assim sendo, a atribuição causal de pequenos desmatamentos deve ser interpretada com cautela conforme análise aplicadas por Silva *et al.* (2021) e Kalamandeen *et al.* (2018).

Conforme elucidado, o PRODES tem um tamanho limite de detecção a partir de 6,25 ha e, embora os eventos de desmatamento sejam coletados em aproximadamente 0,1 ha não são apresentados para manter a consistência com os dados de longo prazo. Portanto, as atividades de desmatamento em pequena escala só são relatadas se acumularem além desse limite. Além disso, o PRODES pode considerar essas pequenas clareiras como exploração madeireira seletiva ou “florestas em uso” e não necessariamente como perda florestal.

O tamanho cada vez menor das manchas de desmatamento no Brasil também pode refletir parcialmente as tentativas dos grandes proprietários de terras de evitar o monitoramento das atividades de desmatamento, que foi fortalecido através da introdução do programa PPCDAm (MMA, 2021).

A agricultura itinerante, por sua vez, tem sido estudada há pelo menos um século, mas ainda faltam dados básicos, incluindo a distribuição geográfica e sua dinâmica (Jiang, Li e Feng, 2022). Assim, os resultados aqui gerados fornecem informações enriquecedoras sobre a espacialidade de abertura em floresta primária em RDS's amazônicas onde a prática de corte e queima é predominante.

Entende-se que o monitoramento nessas áreas deve ser realizado periodicamente com a verificação dos períodos de plantio, pousio e colheita para estudos que possam gerar um mapeamento efetivo das alterações florestais. Pois, segundo Dutrieux (2016) se houver um grande intervalo de tempo entre os mapas de cobertura do solo, as áreas de cultivo itinerante podem ser erroneamente identificadas como florestas estáveis.

De acordo GFOI (2020), é crucial reconhecer os ciclos de desmatamento e regeneração para rastrear corretamente as emissões e remoções associadas ao cultivo itinerante, o que não é uma tarefa fácil. Monitorar ciclos rápidos de desmatamento e crescimento é quase impossível com métodos tradicionais de detecção de mudanças, onde apenas algumas imagens capturadas na mesma área são comparadas. Uma abordagem mais eficaz é usar séries temporais densas para monitorar mudanças rápidas na paisagem e caracterizar o crescimento após a perturbação (Bullock, Woodcock e Olofsson, 2020).

Essa dinâmica agrícola tradicional pode ser considerada uma forma de manejo sustentável da floresta, pois permite a manutenção da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos. No entanto, é importante ressaltar que a expansão desordenada dessas práticas pode levar à degradação ambiental e à perda de biodiversidade (Villa *et al.*, 2021). Além disso, a pressão por áreas de cultivo pode levar ao desmatamento de áreas adjacentes às áreas protegidas, o que representa uma ameaça direta à biodiversidade e aos serviços ecossistêmicos (Villa *et al.*, 2018).

A dinâmica espacial de desmatamento encontrada nesta pesquisa para as duas RDS's analisadas seguiu a encontrada por Silva *et al.* (2021) e Jacovak *et al.* (2017), apresentando a abertura de áreas próximas as margens dos rios. Com exceção da RDS do Rio Negro que apresentou valores de desmatamento acima do esperado que foram justificados pela ocupação ilegal e alta especulação imobiliária na região (SEMA, 2016).

Segundo Jiang, Li e Feng (2022), o Landsat tornou-se a principal fonte de dados para o mapeamento de áreas de cultivo itinerante devido a sua resolução espacial adequada (30 m), ciclo de repetição de oito a 16 dias, bandas multiespectrais e quase meio século de arquivos históricos. Assim sendo, o referido satélite apresentou um intervalo temporal adequado para a pesquisa na zona amazônica, além de fornecer imagens “limpas” apesar da alta cobertura de nuvens para a região estuda.

Nesse sentido, a integração e aplicação de análises da paisagem podem contribuir para a compreensão dos padrões de uso e ocupação do solo, permitindo a identificação de áreas de cultivo tradicional nas áreas protegidas da Amazônia e de áreas com potencial para a expansão dessas práticas. Essas informações podem subsidiar a formulação de políticas públicas para o manejo sustentável das áreas protegidas, garantindo a conservação da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos (Silva *et al.*, 2022).

## 10. CONCLUSÃO

A metodologia Detecção de Pequenas áreas Abertas em Floresta Primária (DEPAF), utilizando índices espectrais apresentou desempenho satisfatório nas duas áreas de estudo.

Os resultados encontrados mostraram para a RDS Puranga Conquista uma queda nas taxas de desmatamento, o que demonstra o esforço das comunidades em cumprir as regras de não desmatamento do PBF. É sugerido aqui metodologias de detecção como essa e o georreferenciamento das áreas utilizadas para cada família para um melhor acompanhamento e controle do desmatamento na reserva.

Já na RDS do Rio Negro, os problemas de invasões ilegítimas e ocupações irregulares atrapalham a identificação da dinâmica de desflorestamento da região, uma vez que não é possível distinguir áreas destinadas para essas ocupações de áreas abertas para plantio. Esses fatores dificultam o acompanhamento de pequenas áreas abertas pelas comunidades residentes e, conseqüentemente, das regras do PBF. Neste caso, o estudo precisa de acompanhamento *in loco* para validação e classificação dos resultados encontrados, além de revelar a necessidade de uma atenção por parte da área gestora.

A importância da metodologia DEPAF para o monitoramento do desmatamento e gestão de áreas protegidas pode ser ressaltada quando se comparou os dados detectados com aqueles do PRODES. Na RDS do Rio Negro, os valores de desmatamento encontrados a partir da metodologia DEPAF chegam em quase 10 vezes o valor encontrado pelo PRODES no ano de 2015. E indicam um aumento do desmatamento enquanto os dados do PRODES apontam para uma diminuição e estagnação das taxas de desmatamento. Portanto, a metodologia DEPAF, além de confirmar a identificação dos mesmos polígonos de área desmatada que o PRODES foi capaz de mostrar além, áreas desmatadas não detectadas pelo PRODES. O mesmo resultado de melhor performance em detecção de áreas desmatadas também ocorreu na RDS Puranga Conquista, onde a metodologia DEPAF permitiu calcular o tamanho médio dos polígonos nessa RDS, que não ultrapassou o valor de 2,15 ha, muito abaixo dos 6,25 ha que corresponde ao limiar de detecção do PRODES, reafirmando a sensibilidade de identificação da metodologia.

A comparação dos resultados entre Landsat e Sentinel revelou que a metodologia pode ser aplicada utilizando outros sensores com menor resolução espacial gerando maior sensibilidade na detecção. Assim, podendo ser aplicada até com sensores que utilizam outros métodos de detecção do tipo radar, como *Synthetic Aperture Radar* (SAR).

A rotina automatizada mostrou-se promissora na geração dos resultados, entregando uma visão geral em tempo hábil e de fácil utilização. A utilização de uma rotina automatizada para seleção de imagens sem cobertura de nuvens foi essencial para uma análise do mapeamento de qualidade. Porém, em estudos posteriores recomenda-se o aperfeiçoamento dos algoritmos e a criação de aplicativos para um melhor refinamento dos dados e maior acessibilidade na plataforma.

Portanto, a metodologia proposta neste estudo trouxe maior precisão sobre as ocorrências de desmatamento (áreas a partir de 0,5 ha). A aplicação sistemática de metodologias como essa podem contribuir para uma análise mais qualitativa das causas do desmatamento, permitindo o aperfeiçoamento de políticas públicas como o PBF, visando a constante redução ou eliminação do desmatamento em UC's de uso sustentável.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, R. **Integração de parâmetros ambientais e novos índices em imagens multifontes**. Recife: Universidade Federal do Pernambuco, 2021.

AMANI, M. *et al.* Google Earth Engine Cloud Computing Platform for Remote Sensing Big Data Applications: A Comprehensive Review. **IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing**, v. 13, p. 5326–5350, 2020.

BARLOW, J. *et al.* Anthropogenic disturbance in tropical forests can double biodiversity loss from deforestation. **Nature**, v. 535, n. 7610, p. 144–147, 7 jul. 2016.

BERENGUER, E. *et al.* Tracking the impacts of El Niño drought and fire in human-modified Amazonian forests. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 118, n. 30, 27 jul. 2021.

BOERS, N. *et al.* A deforestation-induced tipping point for the South American monsoon system. **Scientific Reports**, v. 7, n. 1, p. 41489, 25 jan. 2017.

BRASIL. LEI No 9.985, DE 18 DE JULHO DE 2000. . 2000.

BRASIL. **Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento e das Queimadas no Cerrado (PPCerrado) e Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm): fase 2016- 2020** (M. Ministério do Meio Ambiente, Ed.). Brasília, DF: [s.n.].

BRITO, A. *et al.* **Projeto Bolsa Floresta: Relatório de Efetividade**. [s.l.] Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) . Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), 2019.

BRONDÍZIO, E. S. *et al.* Small farmers and deforestation in Amazonia. *Em*: [s.l.: s.n.]. p. 117–143.

BULLOCK, E. L.; WOODCOCK, C. E.; OLOFSSON, P. Monitoring tropical forest degradation using spectral unmixing and Landsat time series analysis. **Remote Sensing of Environment**, v. 238, p. 110968, 1 mar. 2020.

CABRAL, A. I. R. *et al.* Deforestation pattern dynamics in protected areas of the Brazilian Legal Amazon using remote sensing data. **Applied Geography**, v. 100, n. October, p. 101–115, 2018.

CÂMARA, G.; VALERIANO, D. DE M.; SOARES, J. V. **Metodologia para o Cálculo da Taxa Anual de Desmatamento na Amazônia Legal**. São José dos Campos: [s.n.].

CARDOSO, T. M. *et al.* Os povos tradicionais e o ordenamento territorial no baixo rio Negro numa perspectiva da conservação e uso sustentável da biodiversidade. *Em: Da paisagem do manejo ao manejo da paisagem. Brasília.* [s.l.] IEB, 2008. p. 69–86.

CASTRO, A. P. *et al.* A Agricultura Familiar: Principal Fonte de Desenvolvimento Socioeconômico e cultural das Comunidades da àrea Focal do Projeto Piatam. *Em: Comunidades Ribeirinhas Amazônicas: Modos de Vida e Uso dos Recursos Naturais.* [s.l.] EDUA, 2007. v. 2p. 53–88.

CHEN, S. *et al.* Monitoring shifting cultivation in Laos with Landsat time series. **Remote Sensing of Environment**, v. 288, p. 113507, 1 abr. 2023.

COSTA, D. G. Efetividade da fiscalização ambiental e do programa Bolsa Floresta na redução do desmatamento nas Reservas de Desenvolvimento Sustentável do Juma e do Rio Negro. **Dissertação (Mestrado) ,INPA, Manaus**, p. 127, 2018.

DECUYPER, M. *et al.* Continuous monitoring of forest change dynamics with satellite time series. **Remote Sensing of Environment**, v. 269, 1 fev. 2022.

DEVRIES, B. *et al.* Robust monitoring of small-scale forest disturbances in a tropical montane forest using Landsat time series. **Remote Sensing of Environment**, v. 161, p. 107–121, maio 2015.

DUDLEY, N.; STOLTON, S.; SHADIE, P. Guidelines for Applying Protected Area Management Categories. **IUCN WCPA Best Practice Guidance on Recognising Protected Areas and Assigning Management Categories and Governance Types, Best Practice Protected Area Guidelines Series**, n. 21, p. 143, 2008.

DUTRIEUX, L. P. *et al.* Reconstructing land use history from Landsat time-series: Case study of a swidden agriculture system in Brazil. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 47, n. October 2020, p. 112–124, 2016.

FAS. **Fazendo a floresta valer mais em pé do que derrubada: atlas do desenvolvimento sustentável de comunidades ribeirinhas do Amazonas: 2010-2017.** Manaus: [s.n.].

\_\_\_\_\_. **Relatório de atividades 2016.** [s.l.] Manaus, 2017b.

\_\_\_\_\_. **Relatório de atividades 2019.** Manaus: Fundação Amazonas Sustentável, 2020.

\_\_\_\_\_. **Programa Bolsa Floresta.** Manaus: Fundação Amazônia Sustentável, 2021a.

\_\_\_\_\_. **Relatório de atividades 2020.** Manaus: Fundação Amazonas Sustentável, 2021b.

\_\_\_\_\_. **Relatório de Atividades 2022.** Manaus: [s.n.].

FEARNSIDE, P. M. Desmatamento na Amazônia brasileira: História, índices e consequências. *Em: Destruição e Conservação da Floresta Amazônica*. Manaus, Amazonas: INPA, 2020. v. 1p. 7–19.

FERREIRA, J. *et al.* Carbon-focused conservation may fail to protect the most biodiverse tropical forests. **Nature Climate Change**, v. 8, n. 8, p. 744–749, 16 ago. 2018.

FERREIRA, L. V.; VENTICINQUE, E.; ALMEIDA, S. O desmatamento na Amazônia e a importância das áreas protegidas. **Estudos Avançados**, v. 19, n. 53, p. 157–166, abr. 2005.

GAO, B. C. NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. **Remote Sensing of Environment**, v. 58, n. 3, p. 257–266, 1 dez. 1996.

GFOI. **Integration of remote-sensing and ground-based observations for estimation of emissions and removals of greenhouse gases in forests: Methods and Guidance from the Global**. Rome: [s.n.].

GUIMARÃES, E. R. **Caracterização e Diagnostico do Uso da Terra na Reserva de Desenvolvimento Sustentável do Uatumã - AM**. Manaus: Ministério da Ciência e Tecnologia e Inovação – MCTI, jul. 2013.

HANSEN, M. C. *et al.* High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change. **Science**, v. 342, n. 6160, p. 850–853, 15 nov. 2013.

INPE. **Metodologia Utilizada nos Projetos PRODES e DETER**. Programa de Monitoramento da Amazônia e Demais Biomas – PAMZ+: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, 2019.

JAKOVAC, C. C. *et al.* Swiddens under transition: Consequences of agricultural intensification in the Amazon. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 218, p. 116–125, 2016a.

\_\_\_\_\_. Swiddens under transition: Consequences of agricultural intensification in the Amazon. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 218, p. 116–125, 15 fev. 2016b.

JAKOVAC, C. C. *et al.* Spatial and temporal dynamics of shifting cultivation in the middle-Amazonas river: Expansion and intensification. **PLoS ONE**, v. 12, n. 7, p. 15, 2017.

JIANG, N.; LI, P.; FENG, Z. **Remote sensing of swidden agriculture in the tropics: A review** *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* Elsevier B.V., , 1 ago. 2022.

JOPPA, L. N.; LOARIE, S. R.; PIMM, S. L. On the protection of “protected areas”. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 105, n. 18, p. 6673–6678, 6 maio 2008.

KALAMANDEEN, M. *et al.* Pervasive Rise of Small-scale Deforestation in Amazonia. **Scientific Reports**, v. 8, n. 1, 1 dez. 2018.

LAQUES, A.-E. *et al.* Protected Areas Interventions and SDGs: The Case of Bolsa Floresta Programme in the Brazilian Amazon. *Em: Sustainable Development Goals for Society*. [s.l.] Sustainable Development Goals Series, 2021. v. 2p. 255–269.

LILLESAND, T.; KIEFER, R. W.; CHIPMAN, J. **Remote Sensing and Image Interpretation**. 7. ed. [s.l.: s.n.].

MACEDO, M. R. A. **Uso de geotecnologias na identificação e mapeamento dos atores do desmatamento na frente pioneira de São Félix do Xingu – PA**. Belém: Universidade Federal do Pará, 2009.

MANANZE, S.; PÔÇAS, I.; CUNHA, M. Mapping and Assessing the Dynamics of Shifting Agricultural Landscapes Using Google Earth Engine Cloud Computing, a Case Study in Mozambique. **Remote Sensing**, v. 12, n. 8, p. 1279, 17 abr. 2020.

MAPBIOMAS. **Relatório Anual do Desmatamento no Brasil 2020**. São Paulo, Brasil: MapBiomass, 2021.

NOVO, M. *et al.* INTRODUÇÃO AO SENSORIAMENTO REMOTO. 2001.

MARIE, C. S. *et al.* Análise da inibição do desmatamento pelas áreas protegidas na parte sudoeste do Arco de desmatamento. **Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, p. 6377–6384, 2009.

MATRICARDI, E. A. T. *et al.* Assessment of forest disturbances by selective logging and forest fires in the Brazilian Amazon using Landsat data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 34, n. 4, p. 1057–1086, 20 fev. 2013.

MEDEIROS, R. Evolução das tipologias e categorias de áreas protegidas no Brasil. **Ambiente & Sociedade**, v. 9, n. 1, p. 41–64, jun. 2006.

MELLO, N. G. R. DE; ARTAXO, P. Evolução do Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal. **Revista do Instituto de Estudos Brasileiros**, n. 66, p. 108, 1 abr. 2017.

METZGER, P. J. **O QUE É ECOLOGIA DE PAISAGENS ?** [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<http://www.biotaneotropica.org.br>>.

MMA. **Balanco de Atividades 2020**. [s.l.: s.n.].

NODA, H. Melhoria e Conservação in situ de Espécies Hortícolas Amazônicas. *Em: LOPES, M. T. G.; CLEMENT, C. R. (Eds.). . Domesticação e Melhoria: espécies amazônicas*. Viçosa, Minas Gerais: Universidade Federal de Viçosa, 2009. p. 189–205.

NOLTE, C. *et al.* Governance regime and location influence avoided deforestation success of protected areas in the Brazilian Amazon. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 110, n. 13, p. 4956–4961, 26 mar. 2013.

PEREIRA, H. DOS S. *et al.* Conservação da biodiversidade e o programa bolsa floresta na RDS do Uatumã. **V Seminário internacional em ciencias do ambiente e sustentabilidade na Amazonia**, n. Manaus, 2018.

PÉREZ-CUTILLAS, P. *et al.* **What is going on within google earth engine? A systematic review and meta-analysis** *Remote Sensing Applications: Society and Environment* Elsevier B.V., , 1 jan. 2023.

PFÄFF, A. *et al.* Protected area types, strategies and impacts in Brazil's Amazon: public protected area strategies do not yield a consistent ranking of protected area types by impact. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 370, n. 1681, 12 out. 2015.

PRODES. **COORDENAÇÃO GERAL DE OBSERVAÇÃO DA TERRA. PROGRAMA DE MONITORAMENTO DA AMAZÔNIA E DEMAIS BIOMAS.**

SEMA. **Plano de Gestão da Reserva de Desenvolvimento Sustentável do Rio Negro** Secretaria de Estado do Meio Ambiente do Amazonas, 2016.

\_\_\_\_. **Plano de Gestão da Reserva de Desenvolvimento Sustentável Puranga Conquista** Secretaria de Estado do Meio Ambiente do Amazonas, 2022.

\_\_\_\_. **Secretaria Estadual de Meio Ambiente do Amazonas.**

\_\_\_\_. **Plano de Gestão da Reserva de Desenvolvimento Sustentável Puranga Conquista**. Manaus: [s.n.].

SILVA, L. DE J. DE S.; MENEGHETTI, G. A.; PINHEIRO, J. O. DA C. Elementos para a discussão sobre políticas e programas de preservação dos serviços ambientais no Amazonas. **Revista Terceira Margem Amazônia**, v. 6, n. 16, p. 85–104, 2021.

SILVA, R. *et al.* Land use dynamics under the Bolsa Floresta Program: a case study of the Uatumã Sustainable Development Reserve (Amazonas, Brazil). **Acta Amazonica**, v. 51, n. 4, p. 370–381, 2021.

\_\_\_\_. INTEGRAÇÃO E APLICAÇÃO DE ANÁLISES DA PAISAGEM EM ÁREAS PROTEGIDAS NA AMAZÔNIA. Em: **DINÂMICAS SOCIOAMBIENTAIS NO BRASIL: Atores, Processos e Políticas**. [s.l.] IABS, 2022. v. 1p. 45–63.

SOLIDADE, V. *et al.* **Programa Bolsa Floresta**. [s.l.: s.n.].

STEC, T.; AINBINDER, O. F. DE C. **Amazônia por inteiro : histórico, panorama e análise das políticas públicas federais de 2019 a 2020**. 1. ed. Rio de Janeiro: [s.n.].

VERÍSSIMO, A. *et al.* **Áreas Protegidas na Amazônia Brasileira: Avanços e Desafios**. Belém, Imazon: [s.n.].

VIANA, V. M. Bolsa Floresta: um instrumento inovador para a promoção da saúde em comunidades tradicionais na Amazônia. **Estudos Avançados**, v. 22, n. 64, p. 143–153, 2008.

VILLA, P. M. *et al.* Intensification of shifting cultivation reduces forest resilience in the northern Amazon. **Forest Ecology and Management**, v. 430, p. 312–320, dez. 2018.

\_\_\_\_. Reducing intensification by shifting cultivation through sustainable climate-smart practices in tropical forests: A review in the context of UN Decade on Ecosystem Restoration. **Current Research in Environmental Sustainability**, v. 3, p. 100058, 1 jan. 2021.

WULDER, M. A. *et al.* Opening the archive: How free data has enabled the science and monitoring promise of Landsat. **Remote Sensing of Environment**, v. 122, p. 2–10, jul. 2012.

## **APÊNDICE I**

1. Script em linguagem JavaScript utilizado na plataforma Google Earth Engine

```

var roi = pc.geometry(); //alterna entre pc e rn
Map.centerObject(roi,11);
Map.addLayer(roi, {}, 'Área de Estudo');

var ndmiDiffs = [];
var prevNdmi;
var ndviCollection = ee.ImageCollection([]);
var areas = []; // Para armazenar as áreas de cada ano
var years = []; // Para armazenar os anos

for (var year = 2013; year <= 2021; year++) {
  var startDate = ee.Date.fromYMD(year, 1, 1);
  var endDate = ee.Date.fromYMD(year, 12, 31);

  var collection = ee.ImageCollection('LANDSAT/LC08/C01/T1_SR')
    .filterDate(startDate, endDate)
    .filterBounds(roi)
    .sort('CLOUD_COVER')
    .first();

  var mask = collection.select('pixel_qa').bitwiseAnd(32).eq(0);
  var maskedCollection = collection.updateMask(mask);

  var ndmi = maskedCollection.normalizedDifference(['B5', 'B7']).rename('NDMI');
  Map.addLayer(ndmi.clip(roi), {min: -1, max: 1}, 'NDMI ' + year, false);

  var ndvi = maskedCollection.normalizedDifference(['B5', 'B4']).rename('NDVI');
  ndviCollection = ndviCollection.merge(ee.ImageCollection([ndvi]));

  var rgb = maskedCollection.select(['B4', 'B3', 'B2']).clip(roi);
  Map.addLayer(rgb, {min: 0, max: 3000}, 'RGB ' + year, false);
}

```

```

if (prevNdmi) {
  var diff = ndmi.subtract(prevNdmi).rename('diff');
  ndmiDiffs.push(diff);
  Map.addLayer(diff.clip(roi), {min: -1, max: 1}, 'Diferença ' + year, false);
}

prevNdmi = ndmi;
}

ndmiDiffs.forEach(function(diff, i) {
  var threshold = diff.reduceRegion({
    reducer: ee.Reducer.percentile([1]),
    geometry: roi,
    scale: 30,
    maxPixels: 1e9
  }).get('diff');

  var darkPixels = diff.lt(ee.Image.constant(threshold)).selfMask();

  // Adicionar a banda 'pixel_qa' do conjunto de dados LANDSAT
  var pixel_qa = collection.select('pixel_qa');

  // Criar uma máscara de água usando a banda 'pixel_qa'
  var waterMask = pixel_qa.bitwiseAnd(4).neq(0); // Ajuste o valor conforme necessário

  // Aplicar a máscara de água aos pixels escuros
  darkPixels = darkPixels.updateMask(waterMask.not());

  // Converter a imagem em vetores
  var vectors = darkPixels.reduceToVectors({
    geometry: roi,
    scale: 30,
    geometryType: 'polygon'
  });

```

```

});

// Calcular a área em quilômetros quadrados para cada vetor
var areaFeatures = vectors.map(function(feature) {
  var area = feature.geometry().area(0.5).divide(1e6); // Adicione uma margem de erro
  return feature.set('area', area);
});

// Calcular a área total
var totalArea = ee.FeatureCollection(areaFeatures).aggregate_sum('area');

// Adicionar à lista de áreas
areas.push(totalArea);

// Adicionar à lista de anos
years.push(2013 + i);

// Adicionar à camada do mapa com cor vermelha
Map.addLayer(darkPixels.clip(roi), {min: -1, max: 1, palette:['red']}, 'Desmatamento '
+ (2013 + i));

// Exportar o shapefile para o Google Drive
var fileName = 'darkPixels_' + (2013 + i);
Export.table.toDrive({
  collection: vectors,
  description: fileName,
  fileFormat: 'SHP'
});
});

// Certifique-se de que 'areas' e 'years' são objetos ee.List antes de passá-los para a função
do gráfico
areas = ee.List(areas);

```

```

years = ee.List(years);

// Criar um gráfico de áreas por ano
var chart = ui.Chart.array.values(areas, 0, years)
  .setOptions({
    title: 'Área desmatada por Ano',
    hAxis: {title: 'Ano', ticks: [2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020]},
    vAxis: {title: 'Área (km²)'},
    lineWidth: 1,
    pointSize: 3,
  });

// Adicionar o gráfico ao painel
ui.root.add(chart);

// Crie uma lista vazia para armazenar os pares de ano e área
var yearAreaPairs = [];

// Atualize a lista com os dados
years.evaluate(function(yearsList) {
  areas.evaluate(function(areasList) {
    for (var i = 0; i < yearsList.length; i++) {
      yearAreaPairs.push([yearsList[i], areasList[i]]);
    }
    // Exiba a lista no console
    console.log(yearAreaPairs);
  });
});

```

2.