

DA TECNOLOGIA AO CAMINHO REGULATÓRIO E DE POLÍTICAS PÚBLICAS DO
CONTROLE DE DESMATAMENTO: UMA ANÁLISE DO PRODES E OS DADOS
GERADOS DO MONITORAMENTO DA FLORESTA AMAZÔNICA¹

FROM TECHNOLOGY TO REGULATORY AND PUBLIC POLICY PATHWAYS IN
DEFORESTATION CONTROL: AN ANALYSIS OF PRODES AND DATA
GENERATED FROM MONITORING THE AMAZON RAINFOREST

José Carlos Francisco dos Santos²

Luiz Fernando Pereira Nunes³

Resumo: Este artigo examina a evolução do desmatamento na Amazônia, desde uma região quase intacta até meados do século XX até sua transformação significativa devido a atividades humanas como agricultura, pecuária, exploração madeireira e construção de infraestrutura. Destaca-se o aumento do desmatamento nas décadas de 1970 e 1980, impulsionado por políticas de desenvolvimento, e os esforços de conservação intensificados no final dos anos 1990 e início dos anos 2000, apesar dos desafios contínuos. Tem-se como objetivo a análise do Programa de Monitoramento do Desflorestamento na Amazônia Legal (PRODES) do INPE, utilizando avançadas tecnologias de satélite para monitoramento ambiental, incluindo análise de imagens de alta resolução e dados em múltiplas bandas espectrais, com processos de interpretação visual e digitalização automatizada. A metodologia é caracterizada como exploratória e descritiva, com abordagem qualitativa e quantitativa, usando-se do paradigma hipotético-dedutivo e do estudo de caso para descrever metodologia empregada na análise das imagens de satélite e o impacto de suas descobertas nas políticas ambientais brasileiras e na conservação global. Situa-se os dados comparativos de 2022 e 2023 do PRODES, e como eles impactam na sistematização regulatória, como o Código Florestal (Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965, revogada pela Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012) e a Política Nacional do Meio Ambiente (Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981). O estudo conclui ressaltando a necessidade de regulações e políticas ambientais mais eficazes e conscientização global, e compara o PRODES com outros sistemas de monitoramento por satélite,

¹ Recebido em 24/12/2024 e aceito em 24/12/2024.

² Pós-Doutorando em Ciência da Informação pela Universidade Estadual de Londrina (2022), Doutor em Ciência da Informação pela Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" - UNESP - Marília SP (2020), Mestre em Ciência da Informação pela Universidade Estadual de Londrina (2015) e graduado em Tecnologia em Processamento de Dados pela Universidade Norte do Paraná (2003). Atualmente é docente - Mestrado Profissional em Direito, Sociedade e Tecnologias da Escola de Direito da Faculdades Londrina, Professor de Pós-Graduação Especialização, coordenador de cursos e Diretor Acadêmico do Instituto de Estudos Avançados e Pós-Graduação. Como Pesquisador atua nos Grupos de Pesquisa Análise Documentária na Unesp, Direito, Inovação, Tecnologias e Desenvolvimento das Faculdades Londrina. Membro do Grupo de Estudos Linguagem Unesp. Tem experiência em desenvolvimento e análise de sistemas de informação - controle acadêmico de IES. Atua como pesquisador na linha de pesquisa da organização e representação do conhecimento.

³ Mestrando no Programa de Mestrado Profissional em Direito, Sociedade e Tecnologias da Escola de Direito das Faculdades Londrina. Graduado em Ciências Biológicas pela Faculdades Integradas Regionais Avaré-SP. Graduado em Ciência da Computação pela Universidade Estadual de Londrina. Professor Universitário e de Pós-graduação. Consultor em Projetos e Tecnologia pela Luv2mob.

reforçando a importância de uma abordagem colaborativa para a conservação ambiental.

Palavras-chave: Amazônia. Monitoramento do desmatamento. PRODES. Tecnologia.

Abstract: This article examines the evolution of deforestation in the Amazon, from an almost untouched region in the mid-20th century to its significant transformation due to human activities such as agriculture, livestock farming, logging, and infrastructure construction. It highlights the increase in deforestation in the 1970s and 1980s, driven by development policies, and the intensified conservation efforts in the late 1990s and early 2000s, despite ongoing challenges. The objective is to analyze the Amazon Legal Deforestation Monitoring Program (PRODES) of INPE, using advanced satellite technology for environmental monitoring, including analysis of high-resolution images and data in multiple spectral bands, with visual interpretation and automated digitization processes. The methodology is characterized as exploratory and descriptive, with a qualitative and quantitative approach, using the hypothetico-deductive paradigm and case study to describe the methodology employed in the analysis of satellite images and the impact of its findings on Brazilian environmental policies and global conservation. It presents comparative data from 2022 and 2023 of PRODES, and how they impact regulatory systematization, such as the Forest Code and the National Environmental Policy. The study concludes by emphasizing the need for more effective environmental regulations and policies and global awareness, and compares PRODES with other satellite monitoring systems, reinforcing the importance of a collaborative approach to environmental conservation.

Keywords: Amazonia. Deforestation monitoring. PRODES. Technology.

I INTRODUÇÃO

A história do desmatamento na Amazônia é uma narrativa complexa que reflete tanto o desenvolvimento econômico quanto as preocupações ambientais. Historicamente, a região amazônica permaneceu relativamente intocada até meados do século XX. A partir de então, o desmatamento começou a aumentar significativamente, impulsionado principalmente por atividades como a expansão da agricultura, principalmente da pecuária, a exploração madeireira e a construção de infraestruturas como estradas.

Nos anos 1970 e 1980, o desmatamento na Amazônia ganhou impulso devido a políticas governamentais que incentivavam a ocupação e o desenvolvimento da região. Esta fase foi marcada pela construção de grandes projetos de infraestrutura, como rodovias e barragens, que abriram vastas áreas da floresta para a exploração e o assentamento humano. Além disso, a demanda global por produtos da Amazônia, como madeira e soja, também contribuiu para o aumento do desmatamento.

No entanto, no final dos anos 1990 e início dos anos 2000, começou a haver uma maior conscientização sobre os impactos ambientais do desmatamento, levando a esforços mais robustos para controlá-lo. O Brasil implementou políticas mais rígidas de conservação e monitoramento, como o PRODES, para combater o desmatamento ilegal e promover o uso sustentável dos recursos da floresta.

Apesar desses esforços, o desmatamento na Amazônia continua sendo uma preocupação significativa. Fatores como a pressão contínua para o desenvolvimento econômico, conflitos de terra e a ilegalidade persistem como desafios. Além disso, a mudança no cenário político em diferentes momentos também afetou a eficácia das políticas de conservação.

A história do desmatamento na Amazônia é, portanto, uma mistura de avanços e retrocessos. Enquanto progressos foram feitos, especialmente em termos de monitoramento e criação de áreas protegidas, o desafio de equilibrar o desenvolvimento econômico com a conservação ambiental continua sendo um tema central no debate sobre o futuro da Amazônia.

O monitoramento por satélite tem sido uma revolução no campo da observação terrestre, fornecendo uma perspectiva única e abrangente do planeta. Este desenvolvimento começou na era pós-Segunda Guerra Mundial, marcado por um rápido avanço na tecnologia espacial, impulsionado inicialmente pela corrida espacial entre os Estados Unidos e a União Soviética.

O primeiro satélite artificial, o Sputnik, lançado pela União Soviética em 1957, abriu caminho para o uso de satélites para diversos fins, incluindo o monitoramento ambiental. No entanto, foi com o lançamento do Landsat-1, pela NASA em 1972, que o monitoramento por satélite se tornou uma ferramenta vital para a observação ambiental. O Landsat-1, parte de uma série que continua ativa até hoje, foi pioneiro na captura de imagens da Terra, permitindo o monitoramento de mudanças no uso do solo, na vegetação, na expansão urbana, e em fenômenos naturais como erupções vulcânicas e desflorestamento.

Ao longo dos anos, a tecnologia de monitoramento por satélite tem avançado significativamente. Os satélites modernos, equipados com sensores avançados, são capazes de capturar imagens em diversas bandas do espectro eletromagnético, incluindo o infravermelho, o que permite uma análise mais detalhada e precisa da superfície terrestre. Além disso, a melhoria na resolução das imagens facilitou a detecção de mudanças ambientais em escalas cada vez menores.

Um aspecto crucial do desenvolvimento dessas tecnologias foi a capacidade de monitoramento contínuo. Diferente das observações terrestres pontuais, os satélites oferecem uma visão consistente e de longo prazo das mudanças ambientais, essencial para entender tendências e padrões climáticos, e para a gestão de recursos naturais.

Além do Landsat, outros programas, como o Sistema de Monitoramento da Terra (Earth Observing System - EOS) da NASA, o satélite europeu Sentinel, e programas de países como China, Índia e Brasil, têm contribuído significativamente para o campo do monitoramento ambiental. Estes esforços internacionais refletem a importância global da observação por satélite e sua aplicação em questões como mudança climática, gestão de desastres naturais e conservação ambiental.

O Programa de Monitoramento do Desflorestamento na Amazônia Legal (PRODES), desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) do Brasil, representa uma ferramenta essencial no esforço de compreender e combater o desmatamento na Floresta Amazônica. Através do uso de imagens de satélite de alta resolução, o PRODES monitora as mudanças na cobertura florestal, focando especialmente nas áreas que sofreram desmatamento completo, conhecido como corte raso.

Essas imagens, obtidas de satélites como os da série Landsat ou equivalentes, são analisadas anualmente, permitindo aos cientistas e pesquisadores identificar novas áreas de desmatamento. O processo inclui uma combinação de interpretação visual e classificação digital, assegurando uma avaliação precisa das alterações na paisagem.

A importância do PRODES vai além do monitoramento. Os dados gerados são cruciais para entender a dinâmica do desmatamento e são fundamentais na formulação de políticas de conservação e uso sustentável da floresta. Estas informações são amplamente utilizadas em pesquisas científicas, no planejamento governamental e por organizações não governamentais em seus esforços de conservação.

O objetivo deste artigo é realizar uma análise do Programa de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal por Satélite (PRODES), desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) do Brasil. Pretende-se explorar o PRODES na detecção e quantificação do desmatamento na Floresta Amazônica, examinando a seus dados, a metodologia empregada na análise das imagens de satélite e o impacto de suas descobertas nas políticas ambientais brasileiras e na conservação global. Além disso, o artigo visa comparar o PRODES com outros sistemas de monitoramento por satélite ao redor do mundo, destacando as inovações tecnológicas e os desafios enfrentados pelo programa no

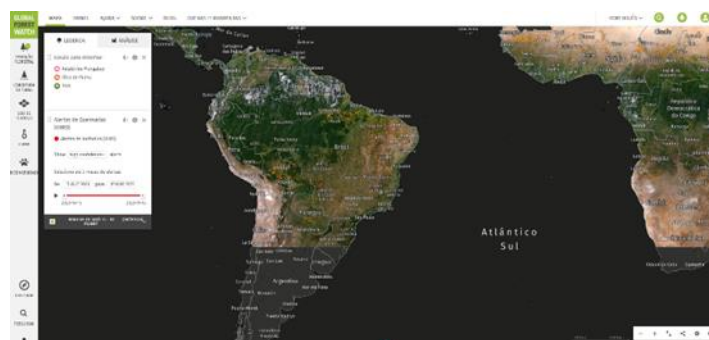
contexto das mudanças climáticas e da pressão antrópica sobre a maior floresta tropical do mundo.

2 PROJETOS SEMELHANTES COM PRODES

A finalidade de apresentar projetos relacionados com o PRODES, tem sua importância estabelecida no caráter exploratório e de descrição, de forma sucinta, as suas funcionalidades, apresenta-se os seguintes sistemas: Global Forest Watch (GFW), Starling, da Airbus e The Forest Trust (TFT), Plataforma SEPAL da FAO, Rainforest Connection, Deterrence of Deforestation (DOD), e WRI's Resource Watch.

Global Forest Watch (GFW): Desenvolvido pelo World Resources Institute, o GFW usa IA para analisar imagens de satélite e fornecer informações em tempo quase real sobre mudanças nas coberturas florestais ao redor do mundo. Ele permite que usuários identifiquem áreas de desmatamento e acompanhem tendências ao longo do tempo.

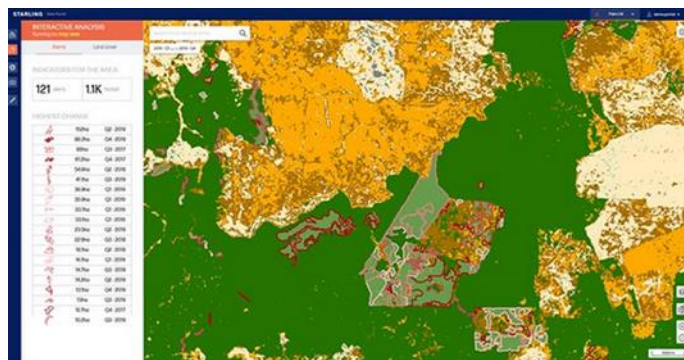
Figura 1 – Interface Global Forest Watch



Fonte: Global Forest Watch (2024).

Starling, da Airbus e The Forest Trust (TFT): Este sistema combina imagens de satélite de alta resolução com IA para monitorar a cobertura florestal e detectar mudanças. É especialmente útil para empresas que buscam garantir cadeias de suprimentos livres de desmatamento.

Figura 2 – Interface Starling (Airbus)



Fonte: Starling (2024).

Plataforma SEPAL da FAO: O Sistema para Monitoramento de Florestas e Terra da FAO (SEPAL) utiliza IA para processar grandes volumes de dados de sensoriamento remoto. Ele fornece ferramentas para que países monitorem e relatem sobre suas florestas, ajudando-os a cumprir compromissos internacionais como os do Acordo de Paris.

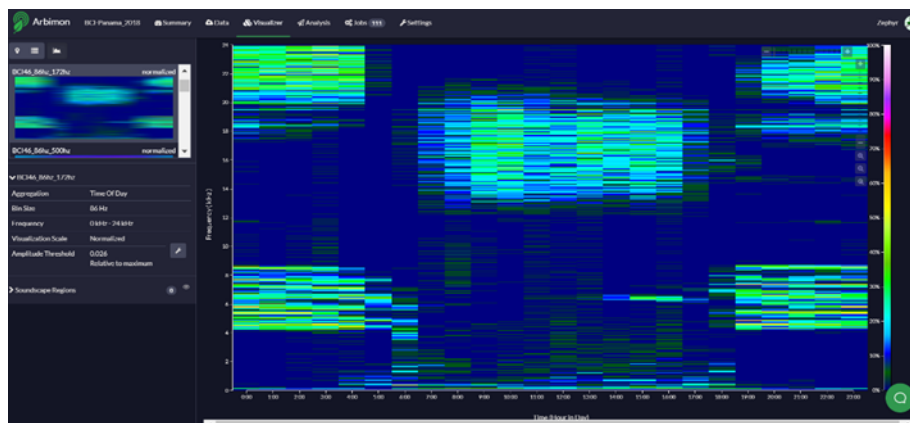
Figura 3 – Plataforma SEPAL



Fonte: Plataforma SEPAL (2024).

Rainforest Connection: Este projeto utiliza IA para analisar áudio capturado em florestas tropicais. A tecnologia detecta sons de motosserras e outras atividades ilegais, permitindo uma resposta rápida para combater o desmatamento.

Figura 4 – Rainforest Connection

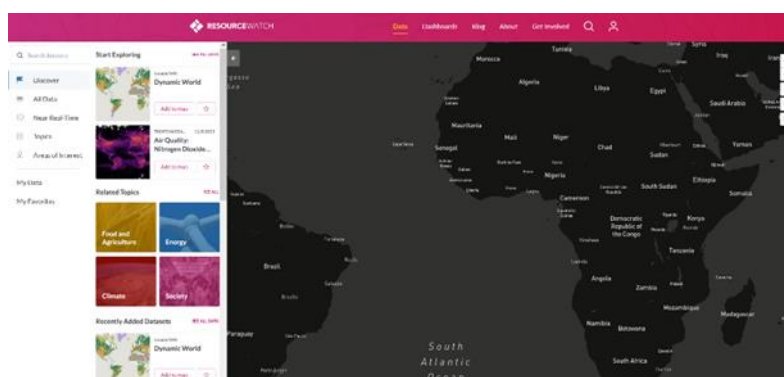


Fonte: Rainforest Connection (2024).

Deterrence of Deforestation (DOD): Este projeto usa IA para prever áreas de alto risco de desmatamento. Combinando dados de várias fontes, incluindo imagens de satélite e informações socioeconômicas, ajuda na tomada de decisões proativas para prevenir o desmatamento.

WRI's Resource Watch: Oferece um conjunto de dados e ferramentas analíticas, incluindo IA, para monitorar e analisar o uso dos recursos naturais globais. Embora não seja exclusivamente focado no desmatamento, inclui dados relevantes que podem ser usados para esse fim.

Figura 5 - WRI's Resource Watch



Fonte: WRI's Resource Watch (2024).

Considera-se os projetos relacionados com o PRODES, os quais tem uma grande aproximação nas suas funcionalidades de análises imagéticas, concentram-se no desenvolvimento do controle das alterações florestais. A contextualização desses projetos trazem uma realidade do uso da tecnologia com modelos que identificam atividades consideradas impróprias no manejo florestal.

3 METODOLOGIA DO PRODES

O Programa de Monitoramento do Desflorestamento na Amazônia Legal (PRODES) do INPE utiliza uma série de tecnologias de satélite avançadas para monitorar o desmatamento na Amazônia. As principais características dessas tecnologias incluem:

- **Imagens de Alta Resolução:** O PRODES utiliza imagens de satélites como os da série Landsat, que fornecem imagens de alta resolução. Isso permite a detecção precisa de mudanças na cobertura florestal, incluindo áreas de desmatamento.
- **Múltiplas Bandas do Espectro Eletromagnético:** Os satélites empregados pelo PRODES são capazes de capturar imagens em diferentes bandas do espectro eletromagnético, incluindo o visível, infravermelho próximo e infravermelho médio. Essas capacidades permitem a análise detalhada de diversos aspectos da vegetação e do solo.
- **Análise Temporal:** O uso contínuo desses satélites possibilita a comparação de imagens ao longo do tempo, facilitando a identificação de mudanças na cobertura florestal e a avaliação da taxa de desmatamento ao longo dos anos.
- **Processamento e Análise de Dados:** As imagens capturadas são processadas e analisadas utilizando algoritmos avançados. Isso inclui a interpretação visual e classificação digital, permitindo a identificação de áreas desmatadas com alta precisão.
- **Integração de Dados:** O PRODES também integra dados de outras fontes e sistemas de monitoramento para obter uma visão mais completa do desmatamento na região.

Segundo Pinto et al. (2023), o avanço tecnológico e o desenvolvimento da capacidade técnica e computacional do INPE proporcionaram a transição do PRODES analógico para o digital, permitindo com isso a utilização de algoritmos semi-automatizados de segmentação, classificação, pós classificação e ferramentas de edição matricial e vetorial dentro de um banco de dados georreferenciado com dados consistentes.

3.1 Métodos de análise e coleta de dados

O Programa de Monitoramento do Desflorestamento na Amazônia Legal (PRODES) do INPE utiliza uma abordagem sofisticada para a análise e coleta de dados do

desmatamento na Amazônia. Este processo começa com a coleta de imagens de alta resolução de satélites, como os da série Landsat, que são essenciais para monitorar mudanças na cobertura florestal. Uma vez coletadas, estas imagens passam por um rigoroso processo de processamento, que inclui correções de distorções e ajustes de contraste, para assegurar a qualidade e precisão dos dados.

A análise dos dados é uma combinação de interpretação visual por especialistas e processos digitais automatizados, que ajudam a identificar áreas de desmatamento de forma precisa. Após a identificação, as áreas desmatadas são classificadas e mapeadas, fornecendo informações detalhadas sobre a localização e a extensão do desmatamento. Este mapeamento é crucial para entender a dinâmica do desmatamento e para desenvolver estratégias de conservação.

Para garantir a precisão dos dados coletados, o PRODES realiza um processo de validação, que pode incluir comparações com outras fontes de dados e, em alguns casos, verificações de campo. Este passo é fundamental para assegurar que as informações fornecidas pelo programa sejam confiáveis e úteis para a tomada de decisões.

Por fim, os dados compilados são publicados em relatórios anuais e disponibilizados para o público e autoridades, reforçando a transparência e permitindo que diversas partes interessadas acessem informações cruciais sobre o estado da Amazônia. Este processo completo faz do PRODES uma ferramenta vital no monitoramento e na compreensão do desmatamento na região amazônica.

Pinto et al. (2023), aponta que a metodologia desenvolvida para detecção de nuvens utiliza diferentes ferramentas de PDI, como modelo linear de mistura espectral, índices normalizados e métricas de textura que totalizam 224 variáveis que compõem os dados de entrada para o algoritmo de classificação, Random Forest.

3.2 Critérios para determinar áreas de desmatamento

O PRODES, um programa essencial no monitoramento do desmatamento na Amazônia, utiliza uma série de critérios rigorosos para determinar áreas de desmatamento:

- Fontes de Imagem: Quase todas as imagens utilizadas pelo PRODES vêm do Landsat, um satélite da NASA e do US Geological Survey, que captura imagens da Amazônia a cada 16 dias com uma resolução de 30 metros. Além disso, cenas de outros satélites como o CBERS (uma parceria entre Brasil e China) e o Sentinel (da Agência Espacial

Europeia) complementam as informações das áreas nubladas que o Landsat não consegue identificar.

- **Tamanho Mínimo para Detecção:** O PRODES identifica perdas de cobertura florestal a partir de 6,25 hectares. A definição desse limite é crucial para manter a consistência e a comparabilidade com os dados históricos, que vêm sendo registrados desde 1988. Internamente, o INPE lida com imagens e desmatamento a partir de 2 hectares, mas as estimativas divulgadas no final de cada ano e as taxas consolidadas publicadas nos meses seguintes mantêm a base de 6,25 hectares para evitar a "contaminação" da série histórica.

- **Comparação Temporal de Imagens:** A taxa anual de desmatamento é determinada pela comparação entre as melhores imagens capturadas durante a seca (julho a setembro) do ano analisado com as imagens de dois ou mais anos anteriores. Esse método permite identificar novas áreas de desmatamento de forma precisa e confiável.

- **Foco em Desmatamento por Corte Raso:** Desde 1988, o PRODES realiza monitoramento via satélite do desmatamento por corte raso na Amazônia Legal, produzindo as taxas anuais de desmatamento da região. O foco no corte raso é um aspecto crucial do programa, pois permite a identificação clara e direta de áreas onde a floresta foi completamente removida.

Câmara, Valeriano e Soares (2006), apresentam que após o processamento de uma imagem é feita uma estimativa da área desmatada sob nuvens. Esta estimativa supõe que a proporção de desmatamento na área não observada é a mesma da área de floresta observada.

Com base na imagem mapeada existe a variável AF (Área de Floresta Remanescente), INC (Incremento constatado na imagem) e NUV (área não observada). O incremento estimado sob nuvens (*inc_nuv*) é calculado como proporção do desmatamento observado multiplicado pela área de nuvens, e o incremento total (*inc_total*) usado no cálculo da taxa de desmatamento é considerado como a soma do incremento observado com o incremento estimado sob nuvem, mais as parcelas de desmatamento observados sobre a ocorrência de nuvens por um ou mais anos.

Função de Cálculo:

$$\text{inc_nuv} = \text{NUV} * (\text{INC}/(\text{AF} + \text{INC}))$$

$$\text{inc_tot} = \text{INC} + \text{inc_nuv} + \text{parcelas_dsf}$$

$$\text{parcelas_dsf} = (\text{dfcld_01/02} + \text{dfcld_02/03} + \text{dfcld_03/04} + \dots + \text{dfcld_07/8})$$

Quanto melhor forem as imagens selecionadas, mais eficaz será o objeto de análise e resultados esperados.

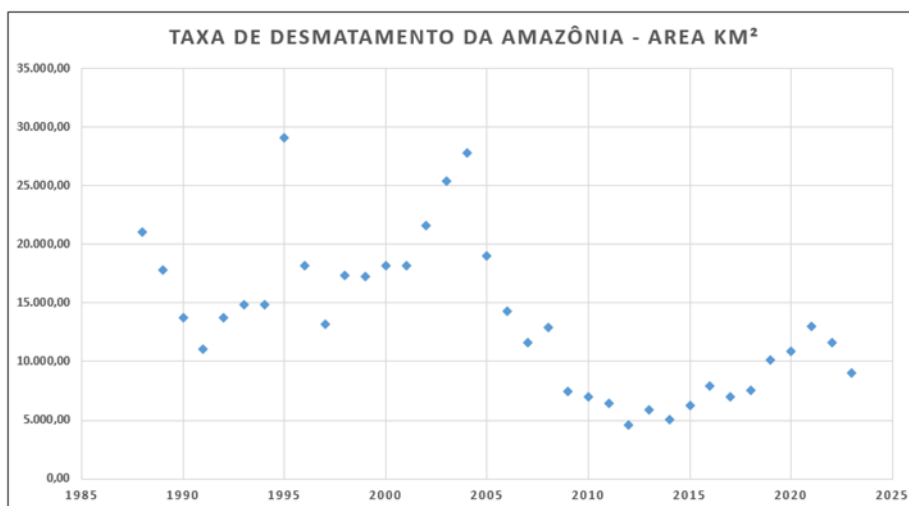
4 DADOS DE MONITORAMENTO E ASPECTOS REGULATÓRIOS

Os dados projetados, dão os subsídios para o desenvolvimento de regulações e de criação de políticas para o controle de desmatamento florestal. Nesse sentido situa-se os dados comparativos de 2022 e 2023 do PRODES, e como eles impactam na sistematização regulatória, como o Código Florestal (Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965, revogada pela Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012) e a Política Nacional do Meio Ambiente (Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981).

4.1 Comparação com dados de anos anteriores.

Com base nos resultados apresentados no relatório do PRODES 2022/2023, Bioma Amazônia a taxa de desmatamento na Amazônia foi de 9.001 km² de agosto de 2022 a julho de 2023, conforme dados do sistema Prodes do Inpe, marcando uma redução de 22,3% em comparação com o período anterior (Taxa [...], 2023). Esta é a menor taxa desde 2019. O Prodes, que monitora o desmatamento desde 1988, utiliza imagens de satélite de alta precisão para detectar o corte raso e a degradação progressiva da floresta. A queda recente no desmatamento é atribuída às intensificadas ações de fiscalização pelo Ibama e ICMBio, resultando em aumentos significativos em autos de infração, apreensões, embargos e destruição de equipamentos. Especialmente em Unidades de Conservação, houve uma redução de 58% no desmatamento e um aumento de 320% nos autos de infração. Esses esforços contribuíram para evitar a emissão de 133 milhões de toneladas de CO₂e, aproximadamente 7,5% das emissões do Brasil. O desmatamento nos 70 municípios prioritários caiu 42,1%, com Rondônia e Amazonas apresentando as maiores reduções, enquanto Mato Grosso registrou um aumento.

Gráfico 1 - Taxa de Desmatamento da Amazônia



Fonte: Brasil (2023).

Conforme o gráfico da taxa de desmatamento da Amazônia por Km² apresenta uma queda acentuada do ano de 2005 e um novo aumento no ano de 2019. O atual estudo revela que uma diminuição no ano de 2023 é percebida, as ações com base em dados do Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (MMA) ações como revisão de normas do Conselho Monetário Nacional relativas ao Plano Safra e acesso ao crédito rural, retomada dos programas de pagamento por serviços ambientais como o Floresta + e o Bolsa Verde, a ampliação de concessões florestais em 878 mil hectares até 2024, apoio a 6 mil produtores no programa Amazônia+Sustentável, recursos para pesquisas de biodiversidade, regeneração florestas e laboratórios são apontados como os principais responsáveis por essa redução.

4.2 Legislação Ambiental e desafios do PRODES

A calamidade ambiental que vem sendo evidenciada por diversos meios de comunicação, sendo alvo de encontros científicos, encontros de dirigentes de países, organizações internacionais. Recorre-se a Santos e Pompeu (2017, p. 117) que confirma que esse alerta global é “[...]resultante dos documentos internacionais como o Relatório Brundtland, denominado ‘Nosso Futuro Comum’ (Our Common Future), de 1987 [...]”, e a partir dos subsídios desses documentos “[...]foi promulgada a Constituição da República de 1988, que estabeleceu no art. 225 o direito fundamental ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo[...]” (Santos; Pompeu, 2017, p. 117), desse modo, a qualidade de vida para os atuais e futuros seres vivos habitantes desse sistema, deve ser mantida de forma preservada, e ainda os autores supracitados complementa que:

Diante do previsto constitucionalmente, foram aprovados atos legislativos protetivos aos diversos elementos que compõem o meio ambiente, de modo que a legislação ambiental brasileira constitui uma das mais completas em termos de regulação do ambiente comparativamente a outros países. Contudo, apesar do aparato legal disponível e da existência de órgãos ambientais em todos os estados e municípios brasileiros, bem como vinculados à União, os problemas de degradação da qualidade ambiental no país são crescentes, o que demonstrada a ineficiência do Estado para efetivar esse direito fundamental de terceira dimensão (Santos; Pompeu, 2017, p. 119).

Importante corroboração de Bertoncini e Pavelski (2024, local. 2), no que se refere à manutenção da qualidade de vida, e atribui a responsabilidade para todos:

A Carta Magna brasileira, em seu art. 225, estabelece de maneira clara que a defesa e a preservação do meio ambiente são de responsabilidade de todos, incluindo tanto o Estado quanto a comunidade. Além disso, essa obrigação deve ser orientada para as gerações presentes e futuras. A intenção do legislador foi conscientizar a sociedade de que as ações de hoje terão um impacto direto no futuro. Isso porque, na maioria das vezes, as consequências negativas do mau uso do meio ambiente raramente se manifestam de imediato, com poucas exceções.

Ressalta-se a importância do artigo 225 da Constituição Federal, que atribui a responsabilidade pela preservação ambiental tanto ao Estado quanto à sociedade, com foco em beneficiar as gerações atuais e futuras. A abordagem legislativa busca conscientizar sobre o impacto de ações ambientais no longo prazo, evidenciando que os danos ao meio ambiente frequentemente têm efeitos retardados, mas profundos. Essa perspectiva reforça a necessidade de práticas sustentáveis e do comprometimento coletivo para evitar consequências negativas irreversíveis. Os autores supracitados ainda dão o seguinte exemplo de consequências tardias:

Um exemplo das consequências tardias do mau uso do meio ambiente é o aquecimento global, já que muitos dos efeitos que estão ocorrendo atualmente são o resultado de anos de emissões de gases sem controle adequado. Por outro lado, há situações em que a natureza responde imediatamente a sua agressão, como no caso do rompimento da barragem da mineradora Vale provocada pela extração mineral em um local comprometido. Esse desastre, causou o deslocamento de centenas de famílias e resultou em um grande número de vítimas fatais (Bertoncini; Pavelski, 2024, local. 2-3).

Vale acrescentar, conforme a inquietação de Arend (2023, p.191), que “o meio ambiente enquanto bem comum gera um dever de preservação por parte do direito”.

Esse dever, expressado na função socioambiental não tem como premissa extinguir a função individual da propriedade, até mesmo porque o direito subjetivo de

propriedade e o direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado constam do rol de direitos estabelecidos na Constituição Federal de 1988, de maneira originária, e por conseguinte, não colidentes. Contudo, caso inconciliáveis, em face de uma situação concreta, pode o Poder Público utilizar-se do instituto da desapropriação, ou pode ser invocado, por via indireta, pelo proprietário (Arend, 2023, p.191).

Nesse sentido, e diante da necessidade de reversão da realidade do nível de desmatamento, que vai na contramão dos direitos fundamentais estabelecidos na Carta Magna, soma-se o sistema de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal por Satélite (PRODES). Ele desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) do Brasil, representa um marco tecnológico crucial na gestão e preservação ambiental do país. Este sistema, com sua capacidade de fornecer dados precisos e atualizados sobre o desmatamento na Amazônia, interage profundamente com a legislação ambiental brasileira, formando uma base sólida para políticas e ações de conservação.

Desde a sua criação, o PRODES tem desempenhado um papel fundamental na monitorização do desmatamento na Amazônia, fornecendo informações detalhadas que ajudam a orientar as políticas públicas. A legislação ambiental brasileira, que inclui leis como o Código Florestal e a Política Nacional do Meio Ambiente, depende fortemente de dados confiáveis para ser efetiva. Os dados do PRODES permitem às autoridades identificar onde e como o desmatamento está ocorrendo, facilitando a aplicação da legislação e a implementação de políticas de preservação e uso sustentável dos recursos naturais.

A legislação ambiental no Brasil, considerada uma das mais avançadas do mundo, enfrenta o desafio constante de conciliar desenvolvimento econômico e conservação ambiental. A atuação do PRODES se alinha com essa necessidade, fornecendo um panorama claro da situação da Amazônia. Este panorama é essencial para garantir que as leis ambientais sejam baseadas em evidências científicas, tornando-as mais eficazes e direcionadas.

Além disso, o PRODES contribui significativamente para o cumprimento das obrigações internacionais do Brasil, como as decorrentes do Acordo de Paris. As informações fornecidas pelo sistema ajudam o país a reportar suas emissões de gases de efeito estufa de maneira precisa, uma vez que o desmatamento é uma fonte significativa de emissões.

A legislação ambiental brasileira também se beneficia do PRODES no âmbito da fiscalização. O sistema auxilia órgãos como o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) e o Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) no direcionamento de suas ações de controle e fiscalização, permitindo uma atuação mais assertiva e eficiente no combate ao desmatamento ilegal.

4.3 Implicações e Políticas Ambientais

As políticas ambientais, perpassam pela constituições de consórcios públicos para tal subsidiar o desenvolvimento delas. De acordo com o artigo 6º da Lei nº 11.107/2005, os consórcios públicos podem ser constituídos como entidades de direito público ou privado. Os de direito público integram a administração indireta dos entes participantes, sendo classificados como associações públicas, simbolizando a cooperação federativa. Três aspectos destacam-se na análise do papel do Consórcio Amazônia Legal em políticas ambientais: promoção da integração interestadual para o desenvolvimento sustentável, expressão de lealdade federativa e alinhamento ao Objetivo de Desenvolvimento Sustentável nº 17 da ONU, que incentiva parcerias para a sustentabilidade (Teixeira; Cichovski, 2023, p. 8). Com base no Consórcio Interestadual de Desenvolvimento Sustentável da Amazônia Legal (2021), Teixeira e Cichovski (2023, p. 10) apresenta:

O Protocolo de Intenções indica as seguintes finalidades do consórcio que condizem com a busca pelo desenvolvimento sustentável e pela monetização e preservação da dignidade da população amazônica: 1. o desenvolvimento econômico e social da Amazônia Legal de maneira harmônica e sustentável; 2. o fortalecimento regional da Amazônia Legal e do seu papel político e econômico nos contextos nacional e internacional; 3. o fortalecimento de políticas de produção rural; 4. o desenvolvimento de projetos de infraestrutura e logística com vistas às inserções regional e internacional; e 5. a atuação na captação de investimento e ampliação das fontes de recursos voltadas ao fomento e desenvolvimento da Amazônia e à conservação da biodiversidade, das florestas e do clima.

Silva e Correia (2022) apresenta em seu artigo o entendimento sobre ecologias políticas em estratégias florestais para mitigação climática, examinando o primeiro programa subnacional de REDD+ jurisdicional no Brasil. Embora seus defensores argumentem que esta abordagem gera maiores benefícios socioambientais e atenua impactos negativos em comunidades florestais, a análise revela uma narrativa distinta. O estudo do programa do Acre destaca que a mudança de escala é essencial para a viabilidade do REDD+, mas também evidencia que sua implementação frequentemente perpetua injustiças ambientais.

Nesse sentido, Minnicelli e Queiroz (2023, p.13) teve-se como finalidade de sua pesquisa, “[...] a identificação e controle de áreas ambientalmente sensíveis, o georreferenciamento se mostrou uma ferramenta inestimável”. Complementa ainda que:

Ao fornecer uma visão precisa da localização dessas áreas, a tecnologia contribui para o desenvolvimento de práticas agrícolas sustentáveis. A capacidade de monitorar e gerenciar voltado à identificação e controle de áreas ambientalmente sensíveis, o georreferenciamento se mostrou uma ferramenta inestimável. Ao fornecer uma visão precisa da localização dessas áreas, a tecnologia contribui para o desenvolvimento de práticas agrícolas sustentáveis. A capacidade de monitorar e gerenciar áreas sensíveis fomenta uma abordagem responsável à agricultura, promovendo a preservação ambiental e a sustentabilidade do setor (Minnicelli; Queiroz, 2023, p.13).

Logo, estabelece-se a inter-relação com o PRODES, dados gerados por ele e o desenvolvimento de políticas ambientais. Os dados fornecidos pelo sistema de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal por Satélite (PRODES), do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), desempenham um papel crucial na influência das políticas ambientais de várias maneiras:

- Base de Evidências para Políticas e Ações: O PRODES fornece dados concretos e precisos sobre o desmatamento na Amazônia, permitindo que os formuladores de políticas tenham uma base sólida para planejar e implementar estratégias de conservação e uso sustentável dos recursos naturais.
- Monitoramento e Avaliação de Políticas Existentes: Através dos dados do PRODES, é possível avaliar a eficácia de políticas e programas ambientais existentes. Se os números indicam um aumento no desmatamento, por exemplo, isso pode sinalizar a necessidade de revisar ou reforçar políticas e ações de fiscalização.
- Apoio à Fiscalização e Controle: Os dados detalhados do PRODES ajudam na identificação de áreas críticas de desmatamento, direcionando assim os esforços de fiscalização do IBAMA e outros órgãos ambientais para essas regiões.
- Planejamento de Uso do Solo e Desenvolvimento Sustentável: As informações do PRODES podem auxiliar na elaboração de planos de uso do solo que equilibrem desenvolvimento econômico e conservação ambiental, ao identificar áreas mais vulneráveis ou já impactadas pelo desmatamento.
- Compromissos Internacionais e Negociações Climáticas: Os dados do PRODES são fundamentais para que o Brasil reporte suas emissões de gases de efeito estufa provenientes do desmatamento, uma informação chave em negociações internacionais, como as relacionadas ao Acordo de Paris.
- Conscientização Pública e Educação Ambiental: A divulgação dos dados do PRODES contribui para a conscientização pública sobre a situação da Amazônia, fomentando debates e educação ambiental acerca da importância da conservação da biodiversidade e dos ecossistemas.

- Pesquisa e Cooperação Internacional: Os dados coletados são uma ferramenta valiosa para pesquisadores e organizações internacionais, permitindo estudos e colaborações transfronteiriças em questões ambientais.

- Atração de Investimentos e Financiamentos: Dados confiáveis sobre o desmatamento podem influenciar a atração de investimentos e financiamentos internacionais para projetos de conservação e desenvolvimento sustentável.

A Floresta Amazônica é fundamental para o equilíbrio ecológico global, desempenhando um papel crucial em vários aspectos ambientais:

- Regulação Climática: A Amazônia influencia os padrões climáticos locais e globais. Suas árvores absorvem grandes quantidades de dióxido de carbono, um gás de efeito estufa, ajudando a mitigar as mudanças climáticas.

- Biodiversidade: É uma das regiões mais biodiversas do planeta, abrigando uma vasta gama de espécies de plantas, animais e insetos, muitos dos quais não são encontrados em nenhum outro lugar.

- Ciclo Hidrológico: A floresta desempenha um papel crucial no ciclo hidrológico, reciclando água e influenciando os padrões de chuva local e regionalmente.

- Serviços Ecossistêmicos: Fornece serviços essenciais, como purificação de ar e água, controle de pragas e polinização, que são vitais para a saúde do planeta.

- Reserva de Carbono: A Amazônia armazena grandes quantidades de carbono, sendo crucial na luta contra as mudanças climáticas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A história do desmatamento na Amazônia Brasileira é marcada por um constante embate entre o desenvolvimento econômico e a conservação ambiental. A exploração da região, intensificada a partir da segunda metade do século XX, reflete a busca por crescimento econômico, muitas vezes em detrimento da preservação ambiental. Embora esforços recentes tenham sido feitos para controlar o desmatamento, como a implementação de políticas mais rígidas e a utilização do PRODES, a região ainda enfrenta desafios significativos. A pressão contínua pelo desenvolvimento, conflitos de terra e ilegalidade, somados à flutuação política, afetam a eficácia das políticas de conservação, ressaltando a complexidade em equilibrar esses dois aspectos cruciais.

A evolução da tecnologia de monitoramento por satélite, iniciada com o lançamento do Landsat-1 e avançando com satélites equipados com sensores mais sofisticados, revolucionou a capacidade de observação ambiental. Estes avanços permitiram um monitoramento mais preciso e abrangente da Amazônia, essencial para entender as tendências e padrões de desmatamento. O PRODES, com sua capacidade de capturar e analisar imagens de alta resolução, desempenha um papel fundamental na identificação e quantificação do desmatamento, fornecendo dados cruciais para a formulação de políticas de conservação e uso sustentável dos recursos da floresta.

O PRODES se destaca como uma ferramenta essencial na luta contra o desmatamento na Amazônia, fornecendo informações detalhadas que auxiliam na formulação e avaliação de políticas públicas. Seus dados permitem identificar áreas críticas de desmatamento e direcionar esforços de fiscalização, além de contribuir para o cumprimento de compromissos internacionais, como o Acordo de Paris. A interação do PRODES com a legislação ambiental brasileira evidencia sua importância na gestão e preservação ambiental do país, reforçando a necessidade de políticas baseadas em evidências científicas.

Apesar dos avanços significativos, o desafio de proteger a Amazônia permanece. A necessidade de políticas mais eficazes e de uma maior conscientização global sobre a importância da conservação da Amazônia é evidente. Comparando o PRODES com outros sistemas internacionais de monitoramento, como o Global Forest Watch e o Starling, percebe-se a importância de uma abordagem global e colaborativa na conservação ambiental. A Amazônia não é apenas um tesouro nacional, mas um recurso global crítico para a biodiversidade, regulação climática e equilíbrio ecológico. Portanto, sua preservação requer o comprometimento e a ação conjunta de todos os atores envolvidos, desde governos locais e organizações internacionais até a sociedade civil e o setor privado.

Também encontramos outras tecnologias sendo utilizadas em diferentes partes do mundo para realização de monitoramento de florestas e também para outras finalidades em contextos ambientais, onde seus resultados são de vital importância para fornecer métricas que geram planos de ação de recuperação e conservação de matas e toda biodiversidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AREND, C. A. **Função socioambiental da propriedade: uma análise a partir da concepção dos bens comuns**. Revista Direito & Paz, Belo Horizonte, v. 1, n. 48, 2023. DOI: <https://orcid.org/0000-0003-2076-3120>. Disponível em: <https://revista.unisal.br/lo/index.php/direitoepaz/article/view/1693/690>. Acesso em: 22 dez. 2024.

BARBIERI, J. C. **Gestão ambiental empresarial: conceitos, modelos e instrumentos**. 5. ed. São Paulo: SaraivaUni, 2023.

BERTONCINI, C.; PAVELSKI, B. G. S. **Direito Ambiental: interconectividade e reflexão a partir de Lévinas**. Veredas do Direito, Belo Horizonte, v. 21, 2024. DOI: <https://doi.org/10.18623/rvd.v21.2583>. Disponível em: <https://revista.domhelder.edu.br/index.php/veredas/article/view/2583/25631>. Acesso em: 22 dez. 2024.

BRASIL. **Lei nº 11.107, de 6 de abril de 2005**. Dispõe sobre normas gerais de contratação de consórcios públicos e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, 2005. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2005/lei/111107.htm. Acesso em: 22 dez. 2024.

BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, [2024]. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/12651.htm. Acesso em: 22 dez. 2024.

BRASIL. **Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965**. Institui o novo Código Florestal. Brasília, DF: Presidência da República, [2024]. Disponível em: https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Lei/1965/lei_4771_1965_rvkd_antigocodigoflorestal_rvkd_lei_12.pdf. Acesso em: 22 dez. 2024.

BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, [2024]. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm. Acesso em: 22 dez. 2024.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. Resultados do PRODES 2022/23 - Bioma Amazônia. Brasília, DF, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/taxa-de-desmatamento-na-amazonia-cai-22-3-em-2023/coletiva-de-imprensa-prodes-22-23.pdf>. Acesso em: 22 dez. 2023.

CÂMARA, G.; VALERIANO, D. M.; SOARES, J. V. E. Metodologia para o cálculo da taxa anual de desmatamento na Amazônia legal. Atualizado por Marisa da Motta. São José dos Campos: INPE, 2006.

CASTELO, T. B. Florestal Brasileira e Políticas do Governo de Combate ao Desmatamento na Amazônia Legal. Ambiente & Sociedade, São Paulo, v. 18, n. 4, p. 221–242, out./dez. 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/asoc/a/59pYLBgypKPdCcpsBvCvcgP/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 22 dez. 2024.

CONSÓRCIO AMAZÔNIA LEGAL. Disponível em: <https://www.consorcioamazonialegal.gov.br/>. Acesso em: 5 dez. 2024.

CONSÓRCIO INTERESTADUAL DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DA AMAZÔNIA LEGAL. Plano de Recuperação Verde da Amazônia Legal. Brasília, DF, 2021.

GLOBAL FOREST WATCH. Mapa. [S. l.], 2024. Disponível em: <http://surl.li/nwrnq>. Acesso em: 22 dez. 2024.

MAURANO, L. E. P. Avaliação da qualidade dos dados PRODES: estimativa e regionalização dos erros de mapeamento. 2018. 118 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2018.

MINNICELLI, L. F. M. P. G.; QUEIROZ, R. C. Z. Georreferenciamento de propriedades rurais: uma perspectiva jurídica no âmbito do direito agrário no Brasil. *Revista do Instituto de Direito Constitucional e Cidadania*, [S. l.], v. 8, n. 2, p. e087, 2024. DOI: 10.48159/revistadoidcc.v8n2.e087. Disponível em: <https://revistadoidcc.com.br/index.php/revista/article/view/197>. Acesso em: 24 dez. 2024.

PINTO, J. F. S. K. C.; CUNHA, I. P.; SOUZA, J. J.; BARROS, L. S.; GONÇALVES, G. C.; BENTO, B. M. P.; MACIEL, A. M.; SILVA, D.; SOLER, L.; MESSIAS, C. G.; CAMILOTTI, V.; HERNÁNDEZ TORRES, R.; MORAES, D.; MAURANO, L. E. P.; ALMEIDA, C. A. Introdução de ferramentas de big data e inteligência artificial na seleção e pré-processamento de imagens orbitais no projeto PRODES. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO (SBSR), 20., 2023, Florianópolis. Anais eletrônicos [...]. São José dos Campos: INPE, 2023. Disponível em: <https://proceedings.science/sbsr-2023/trabalhos/introducao-de-ferramentas-de-big-data-e-inteligencia-artificial-na-selecao-e-pre?lang-pt-br>. Acesso em: 28 nov. 2023.

PLATAFORMA SEPAL. *Forest and Land Monitoring for Climate Action*. [S. l.], 2024. Disponível em: <https://sepal.io/>. Acesso em: 22 dez. 2024.

RAINFOREST CONNECTION (RFCx). *Arbimon*. [S. l.], 2024. Disponível em: <https://arbimon.org/>. Acesso em: 22 dez. 2024.

SANTOS, T. F.; POMPEU, G. V. M. Relativização da regulação ambiental pelo estado de emergência. *Veredas do Direito*, Belo Horizonte, v. 14, n. 30, p. 117-142, set./dez. 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.18623/rvd.v14i30.1168>. Disponível em: <https://revista.domhelder.edu.br/index.php/veredas/article/view/1168/678>. Acesso em: 22 dez. 2024.

SILVA, M. S. R.; CORREIA, J. E. A political ecology of jurisdictional REDD+: investigating social-environmentalism, climate change mitigation, and environmental (in)justice in the Brazilian Amazon. *Journal of Political Ecology*, [S. l.], v. 29, n. 1, p. 123-142, 2022. DOI: <https://doi.org/10.2458/jpe.4713>. Disponível em: <http://journals.librarypublishing.arizona.edu/jpe/article/id/4713/>. Acesso em: 22 dez. 2024.

STARLING. **Deforestation monitoring**. [S. l.], 2024. Disponível em: <https://space-solutions.airbus.com/industries/forest-and-environment/starling/>. Acesso em: 22 dez. 2024.

TAXA de desmatamento na Amazônia cai 22,3% em 2023. **Agência Brasil**, [S. l.], 9 nov. 2023. Disponível em: <https://agenciagov.ebc.com.br/noticias/202311/taxa-de-desmatamento-na-amazonia-cai-22-3-em-2023-1>. Acesso em: 22 dez. 2024.

TEIXEIRA, E. M. S. F.; CICHOVSKI, P. K. B. **Consórcio Amazônia legal: da proteção ambiental**. Revista Direito Mackenzie, São Paulo, v. 17, n. 2, 2023. Disponível em: <https://editorarevistas.mackenzie.br/index.php/rmd/article/view/15971/12000>. Acesso em: 22 dez. 2024.

WORLD RESOURCES INSTITUTE (WRI). **Resource Watch**. [S. l.], 2024. Disponível em: <https://resourcewatch.org/data/explore>. Acesso em: 22 dez. 2024.