

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA FLORESTAL
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

JOSEPH DA SILVA SOARES

**SENSORIAMENTO REMOTO UTILIZADO EM RESTAURAÇÃO FLORESTAL:
UMA REVISÃO DE LITERATURA**

Recife – PE
2025

JOSEPH DA SILVA SOARES

**SENSORIAMENTO REMOTO UTILIZADO EM RESTAURAÇÃO FLORESTAL:
UMA REVISÃO DE LITERATURA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte das exigências para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof^o. Dr. Everaldo Marques de Lima Neto
Coorientadora: Dra. Lorena Moura de Melo

**Recife – PE
2025**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Bibliotecário(a): Lorena Teles – CRB-4 1774

S676s Soares, Joseph da Silva.
Sensoriamente remoto utilizado em restauração florestal: uma revisão de literatura / Joseph da Silva Soares. – Recife, 2025.
43 f.

Orientador(a): Everaldo Marque de Lima Neto.
Co-orientador(a): Lorena Moura de Melo.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) –
Universidade Federal Rural de Pernambuco,
Bacharelado em Engenharia Florestal, Recife, BR-
PE, 2025.

Inclui referências.

1. Florestas - Sensoriamento remoto. 2. Florestas - Inovações tecnológicas. 3. Inteligência artificial. 4. Reflorestamento I. Lima Neto, Everaldo Marque de, orient. II. Melo, Lorena Moura de, coorient. III. Título

CDD 634.9

JOSEPH DA SILVA SOARES

**SENSORIAMENTO REMOTO UTILIZADO EM RESTAURAÇÃO FLORESTAL:
UMA REVISÃO DE LITERATURA**

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Everaldo Marques de Lima Neto
Departamento de Ciência Florestal/UFRPE

Profa. Dr. Simone Mirtes Araujo Duarte
Departamento de Ciência Florestal/UFRPE

Prof. Dr. Richeliel Albert Rodrigues Silva
Departamento de Ciência Florestal/UFRPE

*“Porque necessitais de paciência, para que, depois de
haverdes feito a vontade de Deus, possais alcançar a
promessa.”*

Hebreus 10:36

AGRADECIMENTOS

Bom, eu não poderia começar sem agradecer ao meu Deus, que me deu forças e me conduziu até aqui. Tenho plena convicção de que, sem Ele, nada disso me seria possível. As dificuldades foram muitas, as lutas diárias, mas posso dizer como o salmista “Até aqui nos ajudou o Senhor”.

Também a minha família, que acompanhou toda essa trajetória de perto e contribuiu muito para este fim. Destaco a minha mãe, Katia Sylvania, e ao meu pai, Josenildo Augusto, agradecendo por todo esforço, cada palavra de incentivo, cada oração, alegria, suporte, força, exemplo e inspiração. Por muitas vezes, abriram mão do que era seu para que eu pudesse passar mais um dia na Rural e até almoçar lá. A eles, serei eternamente grato!

Com muita saudade, menciono aqui o meu irmão Johnesy Soares, *in memoriam*, que acompanhou o início desse sonho, mas não a finalização dele. Carrego no peito todas as lembranças, apoio e incentivo que me destes ao longo da minha trajetória. Obrigado, irmão!

A minha sogra, Goretti Dias, que tanto intercedeu e intercede por mim, sempre apoiando esse sonho que parecia tão distante, mas no qual a senhora nunca deixou de acreditar e incentivar. Muito obrigado por tudo!

Dedico também, com muita alegria e gratidão, ao meu amor, Ana Gabryelle, que acompanhou tão de pertinho cada conquista, cada realização, mas também cada dificuldade e tristeza, sempre acreditando em mim, ajudando-me a evoluir e me tornar quem sou hoje. Confesso que, sem você, essa trajetória seria ainda mais difícil. Amo-te, hoje e sempre, meu bem!

Ao meu primeiro orientador Emanuel Araújo Silva que, hoje em outra instituição, mas que muito me ajudou na produção desse trabalho. Muito obrigado por toda compreensão, paciência e por todo ensinamento compartilhado, professor. Também agradeço a minha coorientadora, Lorena de Moura Melo, que, posso dizer sem sombra de dúvidas, foi muito paciente comigo, aconselhando, incentivando e dando força para chegar até aqui, abdicando do seu tempo e tese também. Muito obrigado.

Ao meu orientador, Everaldo Neto, por acreditar em mim e topou “pegar um trabalho andando”. Seu apoio, confiança, respeito, amizade e ensinamentos foram essenciais para a finalização deste trabalho.

Por fim, mas não menos importante, agradeço aos amigos que fiz ao longo da graduação, vocês tornaram os meus dias muito mais leves e divertidos. Cada conversa, apoio, incentivo e

os intensivos pré-prova ficarão eternizados em minha memória. Para não cometer a gafe de esquecer alguém, não os nominarei, mas cada um de vocês têm um lugar mais que especial em meu coração e memórias. Obrigado!

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EVI	Índice de Vegetação de Diferença Aprimorada
GEE	Google Earth Engine
LIDAR	Light Detection and Ranging
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
MSI	Multispectral Instrument
NDVI	Índice de Vegetação por Diferença Normalizada
OLI	Operational Land Imager
ONU	Organização das Nações Unidas
RE	Restauração Ecológica
RF	Restauração Florestal
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SR	Sensoriamento Remoto
VANT	Veículo Aéreo Não Tripulado
WWF	World Wildlife Fund

LISTA DE TABELA

Tabela 1. Classificação dos artigos filtrados.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
2.1 GERAL	3
2.2 ESPECÍFICOS	3
3 REFERENCIAL TEÓRICO	4
3.1 RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA	4
3.2 AVANÇOS NO SENSORIAMENTO REMOTO	6
4 METODOLOGIA	8
4.1 DEFINIÇÃO DAS FONTES E CRITÉRIOS DE SELEÇÃO DE DADOS	8
4.2 CLASSIFICAÇÃO E ANÁLISE DOS ARTIGOS	9
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	10
5.1 BARREIRAS TECNOLÓGICAS, OPERACIONAIS E ECONÔMICAS	11
5.1.1 Desafios no Monitoramento	11
5.1.2 Discriminação de Espécies e Estruturas Florestais	13
5.1.3 Condições Atmosféricas e Variação Sazonal	15
5.2 Contribuições para a Sustentabilidade e Preservação Ambiental	18
5.3 Perspectivas futuras	21
6. CONCLUSÃO	22
7. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	22
8. REFERÊNCIAS	24

RESUMO

A restauração florestal tornou-se uma estratégia fundamental para mitigar os impactos ambientais, promover a recuperação da biodiversidade e restaurar serviços os ecossistêmicos. No entanto, o monitoramento contínuo dessas áreas ainda enfrenta desafios tecnológicos, operacionais e econômicos, dificultando a avaliação da eficácia das iniciativas de restauração. Nesse contexto, o sensoriamento remoto surge como uma ferramenta inovadora e promissora para o monitoramento da restauração florestal, permitindo análises em larga escala com menor dependência de pesquisas de campo. Este estudo, tem como objetivo analisar o uso do sensoriamento remoto no monitoramento contínuo da restauração florestal por meio de revisão bibliográfica, identificando as potencialidades, desafios no acompanhamento das áreas e na avaliação da eficácia das iniciativas de restauração. A metodologia consiste em uma revisão de literatura sobre o uso do sensoriamento remoto na restauração florestal, focando em estudos de 2000 a 2025. Foram selecionados artigos que correlacionaram sensoriamento remoto ao monitoramento de restauração, abordando eficácia, dificuldades técnicas e aplicações práticas. Os resultados indicaram que os avanços tecnológicos na área do sensoriamento remoto melhoraram a precisão do monitoramento, aprimorando a detecção de mudanças na vegetação e facilitando a avaliação do sucesso da restauração. No entanto, desafios como variações metodológicas, dificuldades de diferenciação de espécies, limitações de resolução espacial e interferência atmosférica ainda afetam a eficiência da geotecnologia. Além disso, a falta de métodos padronizados de análise de dados dificulta a comparação de resultados entre diferentes iniciativas. A integração de múltiplas fontes de dados, com algoritmos de aprendizado de máquina, tem se mostrado uma alternativa viável para superar essas limitações, otimizando a precisão das análises e tornando o monitoramento mais acessível e eficiente. Conclui-se que o sensoriamento remoto é uma ferramenta indispensável para o monitoramento contínuo da restauração florestal, contribuindo para o manejo sustentável dos ecossistemas e o desenvolvimento de ações mais efetivas.

Palavras chave: Monitoramento Florestal; Avanços Tecnológicos; Inteligência Artificial.

ABSTRACT

Forest restoration has become a fundamental strategy to mitigate environmental impacts, promote biodiversity recovery, and restore ecosystem services. However, the continuous monitoring of these areas still faces technological, operational, and economic challenges, hindering the assessment of the effectiveness of restoration initiatives. In this context, remote sensing emerges as an innovative and promising tool for monitoring forest restoration, enabling large-scale analyses with less reliance on field surveys. This study aims to analyze the use of remote sensing in the continuous monitoring of forest restoration through a literature review, identifying the potential, challenges in monitoring areas, and evaluating the effectiveness of restoration initiatives. The methodology consists of a literature review on the use of remote sensing in forest restoration, focusing on studies from 2000 to 2025. Articles that correlated remote sensing with restoration monitoring were selected, addressing effectiveness, technical difficulties, and practical applications. The results indicated that technological advancements in remote sensing have improved monitoring accuracy, enhancing the detection of vegetation changes and facilitating the evaluation of restoration success. However, challenges such as methodological variations, difficulties in species differentiation, spatial resolution limitations, and atmospheric interference still affect geotechnology efficiency. Furthermore, the lack of standardized data analysis methods makes it difficult to compare results across different initiatives. The integration of multiple data sources with machine learning algorithms has proven to be a viable alternative to overcome these limitations, optimizing analysis accuracy and making monitoring more accessible and efficient. It is concluded that remote sensing is an indispensable tool for the continuous monitoring of forest restoration, contributing to sustainable ecosystem management and the development of more effective actions.

Keywords: Forest Monitoring; Technological Advances; Artificial Intelligence.

1. INTRODUÇÃO

As substituições das áreas de florestas naturais por extensas áreas de monocultura, principalmente agrícolas, aliadas aos usos incorretos do solo e urbanização, têm desencadeado um grave problema no Brasil: o alto percentual de áreas degradadas (Sobrinho, 2019).

Como produto dessa ação, o processo de fragmentação florestal tem sido intensificado. Esse fenômeno compreende uma unidade de floresta natural contínua, interrompida por barreiras naturais ou antrópicas, tendo como efeitos principais a perda de biodiversidade e o efeito de borda (Firmino *et al.* 2016).

Como estratégia para reduzir esses efeitos, surge a restauração florestal. Essa técnica vem ganhando notoriedade na agenda ambiental internacional, visto sua importância. É uma ferramenta essencial para mitigar os impactos causados pelo desmatamento e a degradação dos ecossistemas (Adams *et al.* 2021).

Grugiki (2018) afirma que a prática da restauração florestal demanda tempo e muitos recursos financeiros em estudos, na tentativa de reverter os danos severos causados pela degradação ambiental e para restabelecimento de serviços ecossistêmicos.

Diante disso, é necessário compreender a complexidade do processo de restauração de uma localidade, sendo a fase inicial do seu projeto, a priorização da reinstauração das funções ecológicas fundamentais desempenhadas pelas árvores no ecossistema florestal. Assim, permitindo um aumento gradual e progressivo na diversidade de espécies (Resende; Leles, 2017).

A avaliação da efetividade dessas ações pode ser desafiadora, principalmente em áreas de difícil acesso. Nesse contexto, o Sensoriamento Remoto (SR) surge como uma alternativa viável para avaliar a restauração florestal de forma eficiente e precisa (Quíron Digital, 2023).

A aplicação de técnicas de SR e análises de imagens de satélite têm sido fundamentais aos monitoramentos da cobertura vegetal, do uso da terra e outros (Azevedo; Souza, 2017). Essas práticas possibilitam a identificação das áreas sujeitas a supressão vegetal e direcionam para ações de fiscalização e políticas públicas (MMA, 2023).

O monitoramento contínuo em projetos de restauração é essencial para garantir que as iniciativas alcancem seus objetivos ecológicos ao longo do tempo. Esse processo envolve o

acompanhamento regular e sistemático das áreas para avaliar o progresso da regeneração, identificar possíveis problemas e adaptar as estratégias de manejo (Souza *et al.* 2020), tendo como principal objetivo o cumprimento das metas ecológicas.

A aplicação do sensoriamento remoto, torna-se ainda mais necessária em biomas altamente fragmentados e sujeitos a intensas pressões antrópicas, como a Mata Atlântica (Thiago *et al.*, 2020). Esse bioma, reconhecido por sua elevada biodiversidade e relevância ecológica, sofre com a manipulação contínua, resultante do desmatamento histórico e da expansão urbana e agrícola (SOS Mata Atlântica, 2024).

No contexto de fragmentação e vulnerabilidade, é importante ressaltar que a Mata Atlântica, formada por paisagens de florestas secundárias, enfrenta alterações antrópicas contínuas. Estudos indicam que 97% dos fragmentos de vegetação possuem menos que 50 hectares (WWF, 2024), tornando, assim, essencial a implementação de medidas de vigilância.

Neste bioma vivem mais de 70% da população brasileira, o que sobrecarrega a capacidade de regeneração dos remanescentes e impacta a capacidade das florestas em prover serviços ambientais básicos (IBF, 2024).

Além disso, a alta fragmentação tem gerado perda considerável de biodiversidade, pois além de ter os efeitos de borda acentuados, fragmentos isolados e/ou pequenos não conseguem manter sua estrutura e biodiversidade a longo prazo (SOS Mata Atlântica, 2024).

Outros domínios fitogeográficos também enfrentam ameaças semelhantes, porém a Mata Atlântica foi enfatizada por ser predominante na região onde foi desenvolvido este estudo.

Apesar dos avanços, o monitoramento por meio do SR ainda enfrenta diversas limitações, como a variação de metodologias e dificuldade em estabelecer valores de referência. Essas barreiras podem comprometer a precisão dos dados, a capacidade de detecção de mudanças em pequenos e médios projetos de restauração e a validação em campo (Balieiro *et al.* 2019).

Assim, este trabalho revisa a literatura sobre o uso do SR no monitoramento contínuo nos projetos de restauração, destacando as potencialidades, desafios e soluções propostas na literatura recente.

2. OBJETIVOS

2.1 GERAL

Realizar uma revisão de literatura sobre o uso do Sensoriamento Remoto no monitoramento em projetos de restauração florestal, analisando suas potencialidades e desafios no acompanhamento das áreas e na avaliação da eficácia das iniciativas de restauração.

2.2 ESPECÍFICOS

- a) Identificar, por meio da literatura científica, as barreiras tecnológicas, operacionais e econômicas que dificultam a implementação de um monitoramento contínuo eficiente;
- b) Analisar os estudos que utilizam SR em projetos de restauração, demonstrando a aplicação prática dessa tecnologia e suas contribuições para a sustentabilidade e preservação ambiental; e
- c) Identificar as inovações tecnológicas empregadas no sensoriamento remoto, bem como os aprimoramentos das tecnologias já utilizadas.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA

Segundo a *Society for Ecological Restoration – SER* (2004), a restauração ecológica é o processo que auxilia o restabelecimento de um ecossistema após uma perturbação ou degradação. Já a restauração florestal é a restauração ecológica aplicada aos ecossistemas florestais (Aronson *et al.* 2011), assim, neste estudo, adota-se o termo restauração florestal (RF) como equivalente à restauração ecológica (RE), uma vez que o foco da pesquisa é voltado aos ecossistemas florestais.

Um ecossistema é considerado recuperado, e restaurado, quando contém recursos bióticos e abióticos suficientes para continuar seu desenvolvimento sem auxílio ou subsídios adicionais (MMA, 2024).

Historicamente, as práticas de restauração ecológica no Brasil começaram a ganhar força na década de 1980 (Rodrigues, 2017), impulsionadas principalmente por iniciativas voltadas à recuperação de áreas de mineração e de pastagens degradadas.

Nesta fase inicial, além do pouco conhecimento da dinâmica dos ecossistemas naturais brasileiros, não existia uma preocupação com a restauração da diversidade regional, estas dificuldades levaram à implantação de muitos projetos com pequena variedade de espécies (Brançalion; Rodrigues; Gandolfi, 2015). Eram utilizadas as mudas que se tinha disponível, em plantios aleatórios e, muitas vezes, espécies exóticas àqueles ambientes que estavam sendo recuperados (rodrigues, 2016).

A partir dos anos 2000, as técnicas de restauração ecológica passaram por uma evolução, visto os avanços científicos da época e das normas ambientais mais rigorosas, como o Código Florestal Brasileiro (Lei 12.651/2012), por exemplo, que obriga a restauração de Áreas de Preservação Permanente (APPs) e Reservas Legais (RLs) em propriedades privadas (Sampaio *et al.* 2024).

O desenvolvimento de projetos de grande escala, como o Pacto pela Restauração de Ecossistemas, também foi e é fundamental para o avanço da restauração ecológica, envolvendo vários países e entidades, com o objetivo de restaurar milhões de hectares até 2030 (ONU, 2021).

Atualmente, as abordagens de restauração no Brasil têm se diversificado, com a aplicação de técnicas que buscam acelerar a sucessão ecológica através da criação de ilhas de vegetação que funcionam como focos de dispersão de sementes e regeneração da fauna e flora (Trentin *et al.* 2018; EMBRAPA, 2024).

Essas práticas refletem uma compreensão mais consciente dos processos ecológicos referentes à restauração, incluindo a importância da diversidade genética das espécies, bem como a interação entre plantas, polinizadores e dispersores (Rodrigues; Gandolfi; Brancalion, 2015; Arruda; Vieira; Junior, 2021).

A restauração ecológica no Brasil tem se beneficiado também do uso de tecnologias avançadas, como o SR, que permite o monitoramento em larga escala das áreas em recuperação (EMBRAPA, 2024).

Além disso, o uso de indicadores ecológicos tem sido utilizado para avaliar o sucesso das intervenções de restauração, o que permite compreender a dinâmica sucessional das áreas em processo de restauração como também das funções ecossistêmicas (Oliveira; Engel, 2017).

O estudo de diferentes indicadores ambientais permite verificar se as metodologias aplicadas estão sendo eficientes no que diz respeito à manutenção da biodiversidade e identificar estratégias de manejo para a restauração ecológica (Almeida; Sanchez, 2015).

Outro aspecto importante da evolução da restauração ecológica no Brasil é a crescente integração com políticas de desenvolvimento sustentável e o reconhecimento do papel fundamental das comunidades tradicionais, como povos indígenas, quilombolas e ribeirinhos na gestão dos recursos naturais (Costa; Quintanilha, 2024).

O envolvimento dessas populações é necessário para o sucesso a longo prazo dos projetos de restauração, visto que eles possuem a vivência e manejo nos ecossistemas locais (Ceccon; Pérez, 2017).

A restauração ecológica no Brasil passou por diversas fases, desde abordagens iniciais limitadas e voltadas para a mitigação de impactos imediatos, a práticas mais sofisticadas e baseadas em ciência ecológica, alinhadas com compromissos globais de conservação e sustentabilidade (IMASUL, 2019).

Esse processo de evolução reflete a crescente compreensão da restauração como um componente essencial para a conservação da biodiversidade, o combate às mudanças climáticas e a promoção do desenvolvimento sustentável no país (Oliveira; Engel, 2017).

3.2 AVANÇOS NO SENSORIAMENTO REMOTO

Nos últimos anos, o SR passou por um rápido avanço, com novos sensores e plataformas que ampliaram suas capacidades de coleta de dados. Satélites como o LANDSAT, SENTINEL- 2, SPOT, CBERS e plataformas de drones têm permitido um monitoramento frequente e em alta resolução espacial (GeolNova, 2023), sendo os dois primeiros os mais utilizados devido à disponibilidade gratuita e boa resolução para monitoramento da cobertura florestal.

O Landsat, realiza a aquisição de dados desde a década de 1970, logo, é uma fonte valiosa para o monitoramento ambiental, oferecendo séries temporais de imagens que possibilitam a análise de mudanças ao longo de décadas (Zanetti, *et al.* 2015).

O Sentinel-2, por sua vez, possui maior resolução espacial e temporal, permitindo uma visão mais detalhada e frequente das áreas florestais, essencial para a detecção de pequenas variações no estado de saúde das plantas e na dinâmica da sucessão ecológica (Esri, 2023).

Além disso, é possível integrar dados multiespectrais e hiperespectrais, que capturam diferentes bandas do espectro eletromagnético. Também é viável comparar diferentes sensores como MSI (Sentinel-2) e OLI (Landsat-8), com o fim de analisar qual trará mais benefícios em análises específicas da cobertura global (Li *et al.* 2017).

O uso combinado de imagens desses sensores remotos transforma a área estudada em um cenário ideal para avaliação de parâmetros intrínsecos à vegetação florestal (Erthal, 2023).

Outro fator recente, mas que já é amplamente utilizado foi a introdução de drones no contexto de restauração florestal. Os drones têm se destacado em diversas áreas, sendo fundamentais em pesquisas florestais para medições precisas de altura das árvores, mapeamento de clareiras e suporte ao manejo florestal (Brasil, 2015), além de oferecer grande flexibilidade operacional, baixo custo de aquisição e manutenção, quando comparados a um avião tripulado (Nascimento; Denadai, 2023).

As imagens de drone oferece ainda maior precisão em áreas menores e de difícil acesso, possibilitando a captura de imagens em altíssima resolução e a coleta de dados em tempo quase que real (Wri Brasil, 2019).

Esses diferentes sistemas são capazes de mapear grandes e pequenas áreas de vegetação com relativa facilidade, sendo utilizados em diversas fases do processo de restauração, desde o planejamento até a avaliação de sucessão ecológica.

Avanços no uso de algoritmos de machine learning e inteligência artificial para a análise de grandes volumes de dados têm facilitado o processamento automatizado e a interpretação de imagens obtidas por SR (Rodrigues, 2023; Geoambiente, 2024). Esses algoritmos são capazes de identificar padrões complexos e detectar mudanças sutis na cobertura florestal que, de outra forma, seriam difíceis de perceber (Junior, 2021).

Técnicas como a classificação supervisionada e não supervisionada, além do uso de redes neurais artificiais, têm sido aplicadas para diferenciar espécies de plantas, monitorar a regeneração natural, detectar áreas de degradação e fazer projeções futuras sobre a floresta (Santos *et al.* 2018; Castro *et al.* 2020; Rodrigues, Ferreira, Silva, 2023).

Os avanços em plataformas de software, como o *Google Earth Engine* (GEE), têm democratizado o acesso a dados e ferramentas analíticas, permitindo que pesquisadores e gestores de projetos possam realizar análises sofisticadas sem a necessidade de infraestrutura computacional robusta (Silva, 2020; Vale *et al.* 2020; Azevedo *et al.* 2021).

Segundo Gorelick (2017), o GEE é uma plataforma de processamento geoespacial de grande volume de dados (*big data*) com uma base de dados em nuvem, para o monitoramento e análise ambiental em grande escala, permitindo inferir análises multitemporais e espaciais de uma forma rápida e eficiente por meio da linguagem de programação *Javascript*.

Assim, o SR tem se tornado uma ferramenta essencial para a restauração florestal, oferecendo uma forma eficiente e precisa de monitorar o progresso e avaliar as condições das áreas em recuperação, contribuindo para uma gestão mais eficiente e adaptativa dos ecossistemas florestais.

4 METODOLOGIA

4.1 DEFINIÇÃO DAS FONTES E CRITÉRIOS DE SELEÇÃO DE DADOS

Para a definição da base de dados científicos, foram selecionadas as plataformas Google Acadêmico e portal CAFe – CAPES, com o objetivo de garantir uma cobertura abrangente e a inclusão de estudos de alto impacto. O Google Acadêmico foi escolhido devido à sua vasta indexação de artigos científicos provenientes de diversas plataformas e revistas, proporcionando um amplo acesso a estudos relevantes de múltiplas áreas do conhecimento. Já o portal CAFe – CAPES foi utilizado pela sua especialização em periódicos de alto impacto, incluindo aqueles de acesso restrito, o que possibilitou a consulta a artigos pagos e a obtenção de estudos de maior qualidade e relevância para o tema da pesquisa. Considerou-se artigos, dissertações e teses para a aquisição dos dados.

A estratégia de busca foi fundamentada na combinação de palavras-chave específicas relacionadas ao sensoriamento remoto e restauração florestal, utilizando operadores booleanos. Dessa forma, utilizou-se expressões como “monitoramento da restauração”, “restauração florestal”, “sensoriamento remoto”, “sucesso na restauração”, “avanços no sensoriamento remoto”, "remote sensing," "ecological restoration," "monitoring," "success," explorando também “(sensoriamento remoto OR remote sensing) AND (monitoramento contínuo OR continuous monitoring) AND (restauração florestal OR forest restoration) AND (desafios OR opportunities)”, e outras variações para refinar e melhorar os resultados.

Para a coleta dos artigos adotou-se os seguintes critérios:

1. Na primeira etapa, foi realizada uma revisão de literatura abrangente, com uma seleção de estudos sobre sensoriamento remoto (SR) aplicados à restauração florestal (RF), publicados entre os anos de 2000 e 2025. Embora o uso do sensoriamento remoto no Brasil tenha sido iniciado por volta de 1969, optou-se por iniciar o recorte temporal em 2000, devido à dificuldade de acesso aos estudos anteriores a esses dados e à necessidade de restringir a busca a artigos mais recentes, que refletem os avanços tecnológicos mais significativos. O objetivo desta etapa foi identificar as ferramentas e práticas mais recorrentes em cada área, fornecendo um panorama geral das abordagens e tecnologias atualmente disponíveis para o monitoramento florestal.

2. Adotou-se os critérios de inclusão e exclusão, os quais consistiram na filtragem dos estudos que: analisaram o impacto e eficácia de métodos de SR na avaliação da restauração; discutiram as dificuldades técnicas e operacionais do SR no contexto de restauração florestal; e apresentaram dados práticos, como estudos de caso ou aplicações específicas.
3. Ainda, observou-se as novas tecnologias utilizadas no SR e também as que foram atualizadas/melhoradas, pode-se assim dizer. Imagens de satélite, drones, LIDAR e outros tipos de sensores e como esses avanços tecnológicos podem impactar no monitoramento.

4.2 CLASSIFICAÇÃO E ANÁLISE DOS ARTIGOS

O recorte temporal da pesquisa foi feito para os anos de 2000 e 2025. A escolha desse intervalo se justifica pela dificuldade de acesso a estudos mais antigos e pela necessidade de focar em trabalhos recentes, refletindo as inovações tecnológicas e avanços no campo do sensoriamento remoto aplicado à restauração florestal. Dessa forma, a pesquisa foi restrita a um período que abrange as últimas duas décadas, período em que houve progresso significativo nas ferramentas tecnológicas e metodológicas utilizadas no monitoramento florestal.

Após a filtragem, os artigos foram organizados e classificados em categorias, baseando-se nos aspectos específicos que eles abordam dentro da relação entre SR e restauração florestal. A classificação foi estruturada conforme descrito abaixo.

1. **Barreiras Tecnológicas Operacionais e Econômicas.**

Essa categoria abrange os principais desafios enfrentados na implementação do SR para o monitoramento de áreas em restauração florestal a longo prazo. Inclui dificuldades técnicas; questões operacionais e logísticas; custos; influência de fatores ambientais. O objetivo é compreender como a literatura trata a respeito dessas restrições que podem impactar a adoção e eficiência do SR na avaliação contínua da restauração.

2. **Contribuições para a Sustentabilidade e Preservação Ambiental**

Essa categoria aborda como o SR contribui para a sustentabilidade e a preservação ambiental no monitoramento de áreas em restauração florestal. Objetivo é reunir as informações que afirmam que o uso de SR possibilita uma avaliação contínua da regeneração da vegetação, da recuperação da biodiversidade e da estabilidade dos ecossistemas, permitindo uma melhor gestão dos recursos naturais.

3. Perspectivas Futuras

Essa categoria traz as considerações feitas por alguns autores a respeito das novas tecnologias que estão sendo desenvolvidas ou aprimoradas para a utilização do SR no monitoramento da RF, como eles interpretam essa rápida mudança tecnológica.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram identificados 173 estudos na etapa inicial de busca. Após a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão, foi feita a classificação e filtragem dos materiais, resultando em um total de 68 estudos selecionados para a análise. Esses estudos foram organizados e categorizados conforme a Tabela 1, de modo a fornecer uma visão estruturada do panorama das pesquisas sobre o tema.

Tabela 1. Classificação e quantidade de artigos encontrados nas bases de dados científicas pesquisadas, no período de 2000 a 2025.

Base de Dados	Barreiras Tecnológicas Operacionais e Econômicas	Contribuições para a Sustentabilidade e Preservação Ambiental	Perspectivas Futuras	Total
Google Acadêmico	29	17	5	51
CAFe - CAPES	10	7	0	17
Total Geral	39	24	5	68

Fonte: O autor.

Os dados indicam que o Google Acadêmico apresentou um número significativamente maior de estudos (51) em comparação ao CAFe - CAPES (17). Isso pode estar relacionado ao fato de que o Google Acadêmico indexa uma ampla variedade de publicações, enquanto o CAFe

- CAPES disponibiliza principalmente artigos de periódicos de alto impacto, muitas vezes protegidos por barreiras de acesso (Mugnaini; Strehl, 2008).

Observou-se que o maior número de artigos foi classificado no grupo de barreiras tecnológicas, operacionais e econômicas, isso pode sugerir que há uma grande preocupação na literatura científica sobre os desafios enfrentados para implementar o SR no monitoramento da restauração florestal. A predominância desse tema pode indicar que esses aspectos ainda representam desafios significativos para uma ampla adoção da tecnologia (Borges; Rodrigues; Leite, 2017; Balieiro *et al.* 2019; Barbosa *et al.* 2020; Souza *et al.* 2024).

A categoria de Contribuições para a Sustentabilidade e Preservação Ambiental também apresentou um resultado satisfatório. Os números, embora menores que o da primeira categoria, evidencia um interesse crescente em avaliar os resultados positivos das novas tecnologias no acompanhamento da restauração florestal. A utilização de drones, sensores LIDAR e imagens de satélite tem sido cada vez mais aplicada para avaliar a recuperação da biodiversidade e monitorar áreas degradadas com maior precisão (Junior, 2021).

O grupo que apresentou o menor número de estudos foi a de perspectivas futuras, com apenas 5 artigos, todos indexados no Google Acadêmico. Isso pode indicar que, embora existam avanços no desenvolvimento de novas tecnologias, ainda há pouca produção científica dedicada a discutir tendências futuras e inovações emergentes no setor. A baixa representatividade dessa categoria sugere a necessidade de mais pesquisas no campo das tendências futuras, de modo que se possa aprimorar o monitoramento da restauração florestal a longo prazo (Almeida *et al.*, 2023).

No tópico a seguir, foram apresentados e detalhados os resultados obtidos, organizados de forma a fornecer uma discussão mais aprofundada e clara sobre cada categoria de trabalho investigada. A estruturação dos resultados em detalhes específicos incluiu uma abordagem detalhada, facilitando a compreensão das principais ideias que predominam na literatura científica.

5.1 BARREIRAS TECNOLÓGICAS, OPERACIONAIS E ECONÔMICAS

5.1.1 Desafios no Monitoramento

Uma das primeiras questões que causam bastante discussão no meio científico é quanto a escolha da resolução espacial e temporal em projetos de restauração florestal monitorados por meio de SR. A resolução espacial refere-se ao tamanho do menor objeto que pode ser detectado em uma imagem, enquanto que a resolução temporal diz respeito à frequência com que um sensor revisita e captura dados de uma mesma área (Steffen, 2025).

A escolha do sensor influencia diretamente na resolução dos dados obtidos (SPU Geo, 2017). Imagens de satélites gratuitos, como Landsat 8 e Sentinel-2 que possuem resolução de 30 m e 10 m, respectivamente, podem não captar pequenas variações na vegetação inicial,

dificultando a detecção de mudanças estruturais em estágios precoces da restauração (EOS Data Analytics, 2025).

Em seu trabalho, Santos *et al.* (2021) comparam imagens multiespectrais utilizando Satélites e VANT para a análise de mudanças estruturais em área de Floresta Seca. Para a comparação, utilizou-se imagens de câmera multiespectral de alta resolução, com voo programado a 80m da superfície, e imagens dos satélites Landsat-8 e Sentinel-2. Apesar das imagens de satélite terem apresentado eficácia satisfatória para análises de estruturas da Caatinga e correlação com as imagens de VANT, principalmente o Sentinel-2, os autores não indicaram o uso dessas imagens para avaliações de áreas com maior predominância de solo, água ou outros, visto que eles podem misturar os alvos e interferir em uma avaliação mais detalhada e assertiva das áreas.

Schwambach, (2014) obteve resultados semelhantes, quando avaliou a fitossociologia e definição de estágios sucessionais de remanescentes de Mata Atlântica. O autor afirma que, tanto o SIG, quanto o SR demonstraram ser ferramentas poderosas na classificação das formações florestais, facilitando a geração de mapas para o planejamento do local e das formações florestais, mas que apresentaram falhas quando analisados juntamente com a classificação fitossociológica das formações florestais identificadas e classificadas, o que resultou numa vistoria em campo para corrigir essa diferença. Apesar de ser um trabalho relativamente antigo, percebe-se que as limitações ainda coincidem com as de hoje.

Com o intuito de reduzir as variações apresentadas, novas tecnologias foram desenvolvidas, e ainda são aprimoradas, para o monitoramento de áreas. Sensores com maior resolução espacial, como drones e imagens comerciais, oferecem melhor detalhamento quando comparado aos métodos mais tradicionais de aquisição de imagens, porém apresentam desvantagens quanto a sua série temporal, que é limitada, visto que o uso da tecnologia de alta resolução é recente, além dos altos custos de aplicação, condições atmosféricas e outros (Borges; Rodrigues; Leite, 2017).

Souza *et al.* (2024) analisaram os avanços e aplicações de drones na gestão de recursos naturais e monitoramento ambiental no semiárido brasileiro. Os autores tiveram por objetivo compreender os benefícios do uso do drone nestas condições, para isso, revisaram metodologias que incluíssem voos autônomos, sistemas de propulsão, sensores de alta resolução e geolocalização precisa, integrados ao sensoriamento remoto e imagens de satélite. Abordaram também o uso de drones nas mais diversas áreas como recursos naturais, uso e ocupação do solo e outras. Eles concluíram que os drones impactam positivamente na preservação do meio

ambiente, promovendo práticas de conservação mais eficientes, porém ressaltou-se as limitações tecnológicas que podem impactar diretamente no uso e resultados obtidos. Pode-se citar a capacidade reduzida de voo autônomo e de carga, por exemplo, além disso, há lugares que já possuem regras rígidas sobre o espaço aéreo, licenças e proteção dos dados capturados e, conforme Ursi (2022), a adaptação a essas normas pode gerar maiores custos e investimentos extras.

Gomes *et al.* (2024) também trazem perspectivas semelhantes. Ao analisarem o uso dos drones em levantamentos topográficos, áreas de agricultura de precisão e gestão de recursos naturais, os autores afirmam que os drones não são apenas mais uma ferramenta, mas sim um dos pilares de uma nova era no mapeamento topográfico, repleta de possibilidades promissoras e desafios, que podem ser usados nas mais diversas áreas, revolucionando assim a era da aquisição de dados geoespaciais. Porém, os autores acabaram apontando as mesmas limitações de uso dos drones, o que leva ao entendimento que é um problema que pode estar afetando o desenvolvimento e fluidez dos mais variados trabalhos.

Assim, é essencial equilibrar a necessidade de detalhes espaciais com a previsão temporal e econômica, combinando diferentes fontes de dados para obter uma visão mais abrangente e precisa, dessa forma, é possível tomar melhores decisões sobre o manejo de uma área, garantindo o sucesso do seu projeto de restauração (Nascimento; Denadai, 2023).

5.1.2 Discriminação de Espécies e Estruturas Florestais

O SR tradicional baseado em imagens ópticas também possui limitações na diferenciação de espécies e na identificação de estágios sucessionais da vegetação, especialmente em ecossistemas biodiversos (Rodrigues *et al.* 2019). Muitas espécies vegetais apresentam características espectrais bem próximas, dificultando assim sua distinção em imagens multiespectrais e até mesmo hiperespectrais (Barbosa; Carvalho; Camacho, 2017).

Em seu trabalho, Filho *et al.* (2017) corroboram com esta afirmação quando se utilizaram da classificação por verossimilhança e da imagem do satélite para identificar espécies nativas da Floresta Atlântica. Os autores afirmam que, mesmo utilizando-se da resolução espacial de 5 m, a classificação não apresentou acurácia adequada, sendo necessária a utilização

de imagem de melhor resolução. Eles concluíram que as técnicas utilizadas não foram apropriadas para a classificação supervisionada de vegetação nativa.

Hiry; Alves; Kux (2017) também tiveram dificuldades na identificação de espécies e gêneros por meio de sensoriamento remoto em ambiente urbano. Os autores afirmam que, embora menos custosa que os inventários de campo, a identificação de espécies ainda apresenta dificuldades relacionadas à complexidade, densidade e diversidade da vegetação. Apontam as abordagens que conjugam a alta resolução espectral com dados de sensores ativos como as mais promissoras.

Como uma tecnologia alternativa, surgem os sensores LIDAR (*Light Detection and Ranging* ou Detecção e Alcance de Luz), que podem melhorar essa distinção dos alvos. Destacam-se por sua capacidade de fornecer informações tridimensionais desenvolvidas sobre a estrutura da vegetação, permitindo uma melhor caracterização da complexidade estrutural das florestas (Maltamo *et al.* 2014). Diferente dos sensores que dependem da refletância da luz solar para capturar informações espectrais, o LIDAR emite pulsos de laser e mede o tempo de retorno desses pulsos após atingir a superfície da superfície (IBM, 2024).

Reis (2017) encontrou resultados satisfatórios quando comparou os métodos de monitoramento da restauração florestal utilizando dados de LIDAR e imageamento multiespectral com câmera a bordo de VANT em uma área de restauração com cerca de 5 anos de implantação, de propriedade da empresa Fibria Celulose S.A., na região Sul do Estado da Bahia. Para a obtenção das imagens, a autora utilizou imagens da câmera Canon S110 NIR a bordo de um VANT e uma composição de dados LIDAR aerotransportado. Como indicador de restauração para a área, foi escolhida a cobertura do solo, sendo separadas em classes: cobertura de copa, solo exposto e gramíneas. Para as imagens da câmera, incluiu-se mais duas classes: área escura (sombras e rios presentes na imagem) e vazio (locais da área de estudo não cobertas pela imagem). No total, foram adquiridas 50 amostras representativas de cada classe de cobertura do solo e as imagens foram classificadas utilizando os algoritmos MaxVer e Random Forest. Por fim, a autora conclui que os métodos empregados no estudo são eficientes para monitorar áreas de restauração florestal trazendo ganhos em qualidade e precisão, análise sinótica e redução dos esforços de campo, principalmente em larga escala e que não houve diferença significativa entre os dois métodos utilizados para aquisição das imagens.

Além das funcionalidades já citadas, essa tecnologia também possibilita a obtenção de informações com mais precisão sobre a altura do dossel, densidade da copa, biomassa, volume,

área basal, estrutura da vegetação e outros aspectos fundamentais para os estudos florestais (Rex *et al.* 2018; Silva *et al.* 2018; Rex *et al.* 2019; Dail *et al.* 2021).

Visando a caracterização da estrutura do dossel florestal usando sensoriamento remoto com LIDAR acoplado em plataforma drone, em uma área de restauração florestal ativa (plantio de espécies nativas), Almeida *et al.* (2019) também obtiveram bons resultados. O experimento foi realizado em uma área de Mata Atlântica, localizada na cidade de Anhembi no interior de São Paulo, possuindo dois níveis de espaçamento de plantio (3x1 e 3x2 m) e dois níveis de manejo (tradicional e intensivo), totalizando quatro tratamentos. Foram analisadas três variáveis estruturais derivadas do LIDAR: altura do dossel; rugosidade e o índice de área foliar e uma variável de campo: biomassa de madeira seca acima do solo - BAS. Os autores concluem dizendo que, por meio da metodologia aplicada, foi possível monitorar diferenças estruturais entre os tratamentos de restauração florestal ativa utilizando dados de campo e LIDAR.

Apesar de suas vantagens, o uso do LIDAR apresenta desafios, como o alto custo de aquisição e operação dos sensores, além da necessidade de grande capacidade de processamento para lidar com os grandes volumes de dados gerados (Silva *et al.* 2024). O preço do uso do sensor LIDAR pode variar de alguns milhares a dezenas de milhares de dólares, tornando-os um investimento significativo para empresas e organizações que buscam aproveitar os benefícios dessa tecnologia (Neuvition, 2025).

5.1.3 Condições Atmosféricas e Variação Sazonal

A presença de nuvens e aerossóis pode comprometer a qualidade das imagens ópticas, reduzindo a frequência de monitoramento em regiões tropicais (Santos *et al.* 2021). Além do problema de oclusão de feições que reduz a área útil da imagem, causado pela nuvem e pela projeção de sua sombra no terreno, existe a interferência na análise quantitativa da imagem (Silva; Liporace, 2016).

Em seu trabalho, que teve por objetivo determinar valores de referência com os índices de vegetação para identificar amostras de ocorrência de Matas Secas e compreender a dinâmica sazonal dessas formações florestais no município de Jataí (GO), Vailant (2024) teve que descartar o uso de algumas imagens por terem sofridos interferência de nuvens, embora se tenha adotado como critério o índice de cobertura da cena por nuvens inferior a 20% e sem ruídos aparentes, com melhor qualidade possível e baixa interferência atmosférica para o download das mesmas. O autor afirma que, mesmo que as imagens sejam disponibilizadas com correção

atmosférica e geométrica na plataforma, a cobertura de nuvens pode inviabilizar a identificação dos fragmentos de Mata.

Santos (2018) buscou compreender a dinâmica da paisagem e o processo de fragmentação florestal na bacia do Caeté, no Pará, para os anos de 2004, 2010 e 2014. A pesquisa foi fundamentada nas seguintes discussões: I- Comparação das dinâmicas de transição de uso e ocupação da terra na bacia, utilizando a análise multitemporal, tendo como referência as bases cartográficas do projeto TerraClass e as imagens do satélite Landsat/TM 5, órbitas 222 e 223, ponto 061, das bandas 3, 4 e 5, referentes ao ano de 2004; II- Caracterização e quantificação dos fragmentos e configuração da estrutura da paisagem local, com base em métricas de paisagens e a utilização do software Fragstats versão 4.2 e III- Identificação das pressões antrópicas e dos reflexos da fragmentação sobre a Unidade de Conservação (UC) Caeté-Taperaçu. A autora conclui que o processo de fragmentação florestal incidente sobre a área de estudo tem passado pela atenuação na formação de fragmentos isolados na região. Apesar do seu êxito na pesquisa, vale ressaltar que um dos grandes desafios mencionados por ela foi a interferência de nuvens nas imagens utilizadas para os três períodos, a mesma afirma que isso proporcionou uma limitação para a completa classificação nos anos estudados, sendo caracterizada como Área não observada os percentuais de 17,88%, 9,37% e 10,40%, respectivamente.

A autora demonstrou na prática o que Polidório *et al.* (2006); Dias (2020) escreveram quando disseram que o SR frequentemente usa análises matemáticas e estatísticas para interpretar as imagens, se houver interferência de nuvens ou aerossóis, os valores medidos podem ser distorcidos, levando a interpretações não tão precisas sobre o que está acontecendo na área monitorada, podendo colocar em risco todo o trabalho já realizado.

O uso de sensores de radar permite superar essa limitação, mas apresenta desafios na interpretação de dados relacionados à estrutura florestal (Barbosa *et al.* 2020). Fatores como influência da umidade, dificuldade em diferenciar tipos de vegetações, custo e disponibilidade de dados podem dificultar o uso desses sensores também (EOS Data Analytics, 2025).

Outro fator que tem influenciado os padrões espectrais da vegetação é a sazonalidade das espécies, ela pode dificultar a interpretação dos dados e gerar falsas interpretações sobre o desenvolvimento da restauração (Melo *et al.* 2021). Além disso, perturbações externas, como incêndios e práticas agropecuárias, podem impactar os resultados do monitoramento e requerem a integração de diferentes composições de bandas ou múltiplos sensores para melhor análise (Pereira *et al.* 2020).

Anderson *et al.* (2005) observaram os efeitos da sazonalidade quando realizaram o monitoramento da resposta fenológica através da utilização de imagens fração derivadas do sensor MODIS em seu trabalho. Os autores afirmam que, para a fisionomia vegetal estudada, observou-se uma diminuição das respostas do índice de vegetação e imagem fração vegetação durante os meses da época seca, devido à forte sazonalidade presente neste bioma. Além disso, foi possível observar também o aumento da fração solo no período da seca, devido a perda de folhas neste ambiente.

Silva e Cruz (2018) avaliaram as tipologias de caatinga por meio de uma revisão bibliográfica em apoio a mapeamentos através de sensoriamento remoto. Os autores destacam que a oscilação da disponibilidade hídrica no semiárido brasileiro faz com que sua vegetação seja extremamente dinâmica e sazonal, sendo esta característica dificultosa para a identificação de tipos fisionômicos visando mapeamento. Ainda, considerando a distribuição errática da pluviosidade na área, eles consideraram muito complicado definir datas ideais para o imageamento da área para fins de mapeamento.

Nora e Santos (2010) realizando uma análise da dinâmica sazonal de duas formações florestais do bioma mata atlântica com base em índices de vegetação NDVI e EVI, utilizaram composições de 16 dias de índices de vegetação do sensor MODIS, com resolução espacial de 250 metros, a bordo do satélite TERRA, a fim de caracterizar a dinâmica sazonal, no período de 2008, de duas fitofisionomias do bioma Mata Atlântica e analisar a sua dinâmica espectral. Como resultados, os autores identificaram que ambos os fragmentos apresentaram um padrão sazonal comum, porém, com variações de amplitude em relação a cada índice, tendo o EVI apresentando-se mais sensível às variações anuais da vegetação em relação ao NDVI. Por fim, concluíram que os dados produzidos indicam potencialidades da utilização do sensor MODIS para o monitoramento contínuo das formações florestais de Mata Atlântica, com resolução espacial moderada e alta resolução temporal. Porém, para a obtenção desses resultados, os autores tiveram que utilizar um algoritmo que aplica filtro nas imagens obtidas com base na cobertura de nuvens, minimizando assim os efeitos que elas poderiam trazer na interpretação dos dados, porém gerando um trabalho adicional.

A influência da fenologia é outro fator crítico. Muitas espécies apresentam variações sazonais em suas folhas, flores e frutos, o que pode modificar sua resposta espectral ao longo do tempo, isso implica que a coleta de dados em momentos inadequados do ciclo fenológico pode comprometer a distinção entre espécies (Miyoshi, 2016).

Em seu trabalho, Borges; Fortunato; Fernandes (2022) tiveram por objetivo analisar as classes de uso e cobertura vegetal a partir das métricas fenológicas extraídas de séries temporais do sensor MODIS no Polo de Desertificação de Jeremoabo. Para isso, fizeram um recorte temporal para os anos de 2001 a 2017, coletando as imagens a cada 16 dias, totalizando 391 imagens. Foi utilizado o produto MOD13Q1 (Vegetation Index 16-Day L3 Global 250m), adquiridos através do site da EMBRAPA. Os autores afirmam que os valores médios das métricas utilizados podem ter camuflado situações específicas, tais como a irregularidade pluviométrica que implica em mudanças diretas no comportamento fenológico das classes estudadas. Ainda, concluem que as métricas fenológicas extraídas estão em conformidade com os indicativos utilizados nos estudos sobre o processo de desertificação, no entanto, sua análise isolada não é suficiente para um diagnóstico preciso, tornando essencial a consideração de outras evidências na paisagem e de indicadores complementares. Ou seja, analisar a fenologia apenas de forma isolada e remota não é o suficiente para o diagnóstico preciso sobre a área, fatores específicos da mesma podem influenciar diretamente nos dados obtidos, resultando muitas vezes em visitas de campo ou outros métodos complementares.

5.2 CONTRIBUIÇÕES PARA A SUSTENTABILIDADE E PRESERVAÇÃO AMBIENTAL

Como já abordado em outro tópico, a restauração florestal desempenha um papel fundamental na recuperação de ecossistemas degradados, não apenas como uma estratégia para mitigar os impactos ambientais, mas também como um mecanismo eficaz de preservação e promoção da biodiversidade (Mariani; Myszczyk, 2020).

Em um contexto de desmatamento crescente e mudanças climáticas, a RF se apresenta como uma ação essencial para a recuperação de serviços ecossistêmicos cruciais e para a sustentabilidade ambiental (Rodrigues, 2018; José, 2023). Os benefícios ecológicos da prática são amplamente reconhecidos, principalmente em áreas de biodiversidade, qualidade da água, fertilidade do solo, controle da destruição e resiliência dos ecossistemas (Faria, 2016; Pereira, 2016; Ribeiro; Melo; Azevedo, 2018; Valente, 2020; Silva, 2023).

Um dos muitos serviços ecossistêmicos promovidos pela RF é a criação de corredores ecológicos entre fragmentos florestais, em seu trabalho, Thiago *et al.* (2020) afirma que os corredores permitem que a fauna se mova livremente, o que favorece a conectividade da paisagem, minimizando os efeitos da fragmentação do habitat e aumentando a diversidade

biológica. Visando identificar fragmentos florestais potenciais para a delimitação de corredores ecológicos, os autores realizaram o mapeamento dos fragmentos florestais por meio de técnicas de classificação supervisionada, utilizando imagem do satélite LANDSAT-8, obtidas junto ao INPE. Realizou-se o cálculo dos índices de ecologia, por meio do software ArcGis 10.2, com a extensão de domínio público V-LATER 2.0. Identificou-se 11.749 fragmentos florestais, que representam 22% de cobertura florestal na bacia hidrográfica. Apesar da grande quantidade encontrada, os autores concluíram que a área de Mata Atlântica presente na bacia hidrográfica do rio Itapemirim é representada, em sua maioria, por fragmentos florestais pequenos, menores que 5ha, indicando um alto grau de fragmentação, mas que, ainda assim, consolidam sua importância, visto que eles podem estar funcionando como trampolins ecológicos entre as áreas maiores.

Outro aspecto positivo da existência desses fragmentos e sua riqueza de diversidade é que também ajuda a estabilizar os ecossistemas, tornando-os mais resilientes às ameaças ambientais, como a invasão de espécies exóticas, por exemplo (Barbosa *et al.* 2018).

Outro benefício significativo está relacionado ao sequestro de carbono, uma das maiores contribuições da restauração florestal para a mitigação das mudanças climáticas. As florestas restauradas atuam como importantes sumidouros de carbono, capturando CO₂ da atmosfera e, por meio da fotossíntese, armazenando-o na biomassa das plantas, logo, esse processo contribui diretamente para a redução da concentração de gases de efeito estufa, auxiliando na mitigação do aquecimento global (Silva, 2023).

Em seu trabalho, Azevedo *et al.* (2018) avaliou a biomassa acima do solo viva (por meio do método não destrutivo – equações alométricas) e morta (serapilheira) e o estoque de carbono em áreas de reflorestamento com diferentes idades (3, 5 e 7 anos) na Floresta Ombrófila Densa no município de Cachoeiras de Macacu – RJ. Para a metodologia instaladas 30 parcelas (10 x 10 m cada) na área testemunha e 20 parcelas (20 x 30 m cada) nas áreas de reflorestamento, em seguida foi feita a identificação dos indivíduos arbóreos e também medido a altura total, circunferência e diâmetro à altura do peito. Para coletar a serapilheira foi usado um gabarito quadrado (1 x 1 m) em cinco repetições em cada área. Os autores concluíram que, tanto os valores de biomassa acima do solo, quanto os de carbono estocado aumentaram à medida que a idade dos plantios de restauração florestal avançou, ressaltando também a importância dessas formações florestais no sequestro de carbono atmosférico.

Com base nisso, pode-se afirmar que a restauração de florestas pode melhorar a resiliência climática das regiões restauradas, tornando-as menos vulneráveis a eventos climáticos

extremos, como secas e inundações, auxiliando no combate as mudanças climáticas como um todo (Cheffer; Soares, 2019). Além disso, conforme Lima, 2019; Flauzino *et al.* 2020, a RF também desempenha um papel essencial na regulação do ciclo hidrológico, fundamental para o equilíbrio ecológico, na redução da contaminação dos recursos hídricos e fornecimento de água para as comunidades humanas e animais.

O SR, por sua vez, chega para somar-se a RF com contribuições que permitiram ainda mais o avanço no combate ao alto percentual de áreas degradadas no Brasil e no mundo. Em seus respectivos trabalhos, Fritzsos e Mantovani (2017); Carrion *et al.* (2022) afirmaram que, através da análise do uso e cobertura do solo, bem como da modelagem de fatores ambientais como declividade, tipos de solo e proximidade de fragmentos florestais remanescentes, é possível indicar áreas estratégicas onde a restauração pode ser mais eficiente para a conectividade da paisagem e a recuperação dos serviços ecossistêmicos. Desta forma, observa-se que o SR, aliado ao RF, constitui uma ferramenta essencial para o planejamento e execução de estratégias voltadas para a recuperação de áreas degradadas, auxiliando na mitigação dos impactos ambientais e na construção de paisagens mais resilientes e sustentáveis.

Outro aspecto relevante é a detecção de fatores que podem comprometer a restauração, como a invasão de espécies exóticas e manipulação contínua por atividades antrópicas (Alves; Alvarado, 2019).

Em seu trabalho, Ruhoff e Risso (2017) apresentaram uma evolução histórica da classificação do uso e cobertura da terra nas principais bacias hidrográficas do Brasil, um total de 221 usinas hidrelétricas, no período de 1979 a 2010. Para calcular índices de vegetação e aplicar um algoritmo de árvore de decisão para criar cenários de uso e cobertura da terra, eles utilizaram imagens dos sensores NOAA AVHRR e Terra MODIS, ainda, descreveram também a evolução de quatro tipos de cobertura da terra, incluindo florestas, agricultura, pastagem/campo e savanas (cerrados). Para a validação, comparou-se os dados obtidos com dados de censos agrícolas e mapas de cobertura da terra baseados em imagens LANDSAT. Dessa forma, os autores alcançaram com sucesso seus objetivos de pesquisa, fornecendo uma base sólida para estudos futuros sobre os efeitos das alterações na paisagem sobre a hidrologia e o clima global, sugerindo analisar, a partir de modelos climáticos e hidrológicos, quais os impactos das mudanças de uso da terra nas principais bacias hidrográficas brasileiras.

Sensores térmicos e de radar também têm sido especialmente úteis na identificação de incêndios florestais e desmatamentos, permitindo ações rápidas de manejo para evitar que esses

fatores comprometam o desenvolvimento da vegetação restaurada (Santana, 2016; Pereira, 2017; Verçosa *et al.*, 2021).

Ardila e Vasquez (2024) empregaram o SR para caracterizar a ocorrência de um novo incêndio no Parque Estadual do Cocó - PEC, visando melhorar o monitoramento e a gestão pós- incêndio. Para isso, utilizaram dados de focos de calor do MODIS e VIIRS, que identificaram o evento em 18 de janeiro de 2024, além disso, utilizaram também as imagens do satélite PlanetScope para a delimitação da cicatriz do incêndio e derivaram o NDVI pré e pós-queimada para determinar as categorias de severidade. Os satélites detectaram o fogo por 2 dias, alcançando um FRP de 35,66 MW, indicando sua intensidade, já a cicatriz teve uma área de 16,95 ha e 2,56 km de perímetro. A reflectância NIR pós-queimada diminuiu um 57,6%, e o dNDVI máximo foi 0,83. O 51,21% da área identificando uma severidade moderada-alta. Assim, os autores concluem que os resultados forneceram dados importantes para iniciativas de restauração e medidas de combate a incêndios no PEC, destacando a relevância do SR para a análise de eventos relacionados com incêndios.

Portanto, a combinação do sensoriamento remoto com a restauração florestal não apenas facilita o monitoramento e a avaliação das áreas restauradas, mas também fornece uma base de dados robusta para o planejamento de futuras projeções, garantindo que as ações de recuperação ecológica sejam eficazes, eficientes e sustentáveis.

5.3 PERSPECTIVAS FUTURAS

No contexto das perspectivas futuras, os autores afirmam que a integração das novas tecnologias deve resultar em metodologias mais precisas e eficientes para o monitoramento de ecossistemas restaurados, fechando assim as lacunas que ainda existem no contexto atual e auxiliando na tomada de decisões.

Nos trabalhos de Viveiros *et al.* (2023) e Lourenço *et al.* (2023), sugere-se que uma análise integrada de sensores avançados e algoritmos de inteligência artificial tende a fornecer uma compreensão mais aprofundada dos processos ecológicos, possibilitando decisões mais informadas e adaptativas na gestão da restauração florestal.

Almeida *et al.* (2023) reafirma que a criação de modelos preditivos mais robustos, baseados na combinação de dados históricos e inteligência artificial, poderá melhorar a capacidade de prever padrões de recuperação ecológica e direcionar intervenções.

Campana (2023) é preciso em dizer que o avanço na automação e no desenvolvimento de plataformas interativas para o monitoramento colaborativo também pode transformar a forma como a restauração ecológica é acompanhada, permitindo maior participação de comunidades locais. Trabalhos que abordem a utilização de aplicativos móveis e sistemas geoespaciais acessíveis já têm sido desenvolvidos e afirmam que esse sistema tende a favorecer a troca de informações em tempo real, promovendo um monitoramento mais dinâmico e eficiente (Schleich; Filho; Lahm, 2022).

Assim, o aprimoramento das técnicas de SR e o desenvolvimento de soluções tecnológicas inovadoras tendem a desempenhar um papel fundamental na otimização dos projetos de restauração ecológica, contribuindo para o alcance das metas globais de conservação e sustentabilidade ambiental.

6. CONCLUSÃO

Esta revisão destacou a relevância do sensoriamento remoto no monitoramento de projetos de restauração florestal, evidenciando suas contribuições para a análise da RF. Embora existam limitações associadas a esses métodos, o avanço das tecnologias vinculadas ao sensoriamento remoto tem demonstrado grande potencial para a ampliação do seu uso no contexto florestal.

A utilização de imagens de satélite, sensores ópticos e LiDAR têm sido apontadas nos estudos como uma inovação tecnológica eficaz para obter dados detalhados sobre a estrutura do cenário, o que pode auxiliar na tomada de decisões mais assertivas em projetos de RF. A integração dessas tecnologias com a inteligência artificial e geoprocessamento surge como uma tendência promissora para tornar o monitoramento mais preciso e acessível, conforme sugerido pela literatura revisada.

Dessa forma, conclui-se que o sensoriamento remoto é uma ferramenta essencial para a restauração florestal, proporcionando maior eficiência no acompanhamento de áreas degradadas. O aprimoramento das metodologias e o desenvolvimento de novas abordagens poderão ampliar ainda mais seu potencial na conservação dos ecossistemas florestais.

7. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Recomenda-se que futuros estudos aprofundem a análise das barreiras tecnológicas, operacionais e econômicas que dificultam a implementação de um monitoramento contínuo eficiente, um tema frequentemente abordado na literatura revisada. A busca por metodologias

que combinem sensores diferentes e algoritmos de aprendizado de máquina pode contribuir para a melhoria dos resultados na avaliação da restauração.

Além disso, sugere-se que sejam explorados estudos que demonstrem a aplicação prática do sensoriamento remoto em diferentes domínios fitogeográficos, possibilitando a identificação de estratégias mais adequadas para o acompanhamento da regeneração florestal levando em conta as características particulares de cada um deles. Parcerias entre instituições acadêmicas, órgãos governamentais e o setor privado podem viabilizar a aplicação dessas tecnologias em maior escala.

Por fim, reforça-se a importância de estabelecer diretrizes padronizadas para a avaliação da eficácia das iniciativas de restauração utilizando sensoriamento remoto, visto que é um dos fatores limitantes mais abordados na literatura. A criação de protocolos unificados facilitará a comparabilidade dos resultados e contribuirá para um monitoramento contínuo mais eficiente.

8. REFERÊNCIAS

- ADAMS, C.; ARAÚJO, L. G.; SANCHES, R. A.; FUTEMMA, C. R. T.; BUZATI, J.R.; SANCHES, V. H.; MACEDO, G. S. S. R. Governança da restauração florestal da paisagem do Brasil: desafios e oportunidades. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, vol. 58, págs. 450- 453, 2021.
- ALDIANSYAH, S.; SAPUTRA, R. A. Comparison of machine learning algorithms for land use and land cover analysis using Google Earth Engine (Case study: Wanggu watershed). **International Journal of Remote Sensing and Earth Sciences**, v.19, n.2, pág.197-210, 2023.
- ALMEIDA, D. S. Histórico e Tendências atuais da Recuperação Ambiental. In: Recuperação ambiental da Mata Atlântica.3 ed. **Editus**, pág. 18-21, 2016.
- ALMEIDA, D. R. A.; MOLIN, P.; RESENDE, A.; ALMEIDA, C.; LEO HANEDA, L.; FUZA, M.; PEDRO KRAINOVIC, P.; ROMANELLI, J.; BRANCALION, P. Perspectivas para o Monitoramento Remoto da Restauração Florestal em Ampla Escala. In: XX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, págs. 901 – 903, 2023.
- ALMEIDA, R. O. P. O.; SÁNCHEZ, L. E. Indicadores da Qualidade do Substrato para Monitoramento de Áreas de Mineração Revegetadas. **Floresta e Ambiente**, v. 22, n. 2, 2015.
- ALVES, D. B.; ALVARADO, S. T. Variação Espaço-Temporal da Ocorrência do Fogo nos Biomas Brasileiros com base na Análise de Produtos de Sensoriamento Remoto. v. 44 n. 2, 2019.
- ANDERSON, L. O.; SHIMABUKURO, Y. E.; ARAGÃO, L. E. O. C.; VALERIANO, D. M. Monitoramento da resposta fenológica através da utilização de imagens fração derivadas do sensor MODIS. In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, págs. 2811-2818, 2005.
- ANJOS, C. S.; ALMEIDA, C. M.; GALVÃO, L. S.; FILHO, C. R. S.; LACERDA, M. G.; Ronaldo Cristiano PRATI, R. C. Análise do Nível de Legenda de Classificação de Áreas Urbanas Empregando Imagens Multiespectrais e Hiperespectrais com os Métodos Árvore de Decisão C4.5 e Floresta Randômica. **Bol. Ciênc. Geod.**, v. 23, no2, pág. 371-388, 2017.
- ARONSON, J.; DURIGAN, G.; BRANCALION, P. H. S. Conceitos e Definições Correlatos à Ciência e à Prática da Restauração Ecológica. **IF Série Registros**, n. 44, pág. 1-38, 2011.
- ARRUDA, A. N.; VIEIRA, M. J; JÚNIOR, L. Áreas de Coleta de Sementes Florestais no Amazonas: Contribuição para a Produção, Preservação e Restauração Florestal na Amazônia. In: Ciências Agrárias: O Avanço Da Ciência No Brasil. Vol. 1, **Ed. Científica Digital**, pág. 462-472, 2021.
- AURAVANT. Disponível em: Índices de vegetação e sua interpretação - Auravant. Acesso: 29 de Agosto, 2024.
- AZEVEDO, A. D.; FRANCELINO, M. R.; CAMARA R.; PEREIRA, M.G.; LELES, P. S. S. Estoque de Carbono em Áreas de Restauração Florestal da Mata Atlântica. **Floresta**, v. 48, n. 2, 2018.
- AZEVEDO, L. S.; NASCIMENTO, E. F.; BARBOSA, L. C.; FERREIRA, W. S. F.; SILVA, J. R. S.; BORGES, K. Análise de Mudanças na Cobertura Vegetal do Pará Utilizando o Google Earth Engine. **The Journal of Engineering and Exact Sciences –JCEC**, Vol. 07, n. 01, 2021.
- AZEVEDO, T.; SOUZA, C. Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura do Solo, **Algorithm Theoretical Base Document & Results**, pág.87, 2017.
- BALIEIRO, C.; GIRÃO, V.; SILVA, T.; SARCINELLI, T. Uso de Sensoriamento Remoto para Monitorar Projetos de Restauração de Vegetação Nativa no Brasil In: **XIX Simpósio Brasileiro**

de Sensoriamento Remoto, pág. 1883-1886, 2019.

BALIEIRO, C.; GIRÃO, V.; SILVA, T.; SARCINELLI, T. Uso de SR para monitorar projetos de restauração de vegetação nativa no Brasil. In: anais do XIX Simpósio Brasileiro de SR, págs. 1883-1886, 2019.

BARBOSA L. M.; BARBOSA T. C.; PARAJARA, F. C. Práticas e políticas públicas para a restauração ecológica a partir de reflorestamentos com alta diversidade de espécies regionais. **Restauração ecológica de ecossistemas degradados**, págs. 240-261, 2012.

BARBOSA, A. H. S.; CARVALHO, R. G.; Ramiro Gustavo Valera CAMACHO, R. G. V. Aplicação do NDVI para a Análise da Distribuição Espacial da Cobertura Vegetal na Região Serrana de Martins e Portalegre – Estado do Rio Grande do Norte. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 33, pág. 128-143, 2017.

BARBOSA, J. B. M.; GOMES, W. B.; MALAQUIAS, J. V.; AQUINO, F. G.; ALBUQUERQUE, L. B. Métodos de Controle de Braquiária (*Urochloa Decumbens* Stapf.) em Área de Restauração Ecológica de Mata Ripária, Df. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 4, pág. 1491-1501, 2018.

BEZERRA, U. A.; OLIVEIRA, L. M. M.; CANDEIAS, A. L. B.; SILVA, B. B.; LEITE, A. C. L. S.; SILVA, L. T. M. S. Comparativo do Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (NDVI) entre os Sensores OLI - Satélite Landsat-8 e MSI – Satélite Sentinel-2 em Região Semiárida. **Anuário do Instituto de Geociências**, vol. 41, pág. 167-177, 2018.

BIODENDRO - disponível em: <http://www.biodendro.com.br/uso-do-sensoriamento-remoto-no-monitoramento-de-areas-restauradas/>. Acesso: 27 de Agosto de 2024.

BORGES, M. G.; RODRIGUES, H. L. A.; LEITE, M. E. Mapeamento de Fitofisionomias do Cerrado na Microrregião de Grão Mogol Através de Imagens de Satélite Landsat 8 e Sentinel-2a. **Revista Tocantinense de Geografia**, v. 6, n. 11, pág. 19–30, 2018.

BORGES, E. F.; FORTUNATO, U. M. C.; FERNANDES, L. A. Séries temporais de dados de Sensoriamento Remoto no estudo do comportamento fenológico no Polo de Desertificação de Jeremoabo – BA. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.15, n.1, págs. 443-464, 2022.

BRANCALION, P. S.; RODRIGUES, R. R.; GANDOLFI, S. Restauração florestal. 1. ed. **Oficina de Textos**, 432 pág., 2015.

BRASIL - Instrução Suplementar nº 21/002 -ANAC -Agência Nacional de Aviação Civil, 2015.

CAMPANA, A. S. Análise de Áreas Suscetíveis à Inundação na Villa O’higgins, Patagônia Central, Chile, Utilizando o Sensoriamento Remoto e o Processo Analítico Hierárquico. Dissertação (Mestrado em Geografia), 118págs, 2023.

CANDELLA, M. C. G. Avaliação por Sensoriamento Remoto da Eficácia da Técnica de Raqueamento no Controle Populacional de *Pinus elliottii* (Engelm.), no Paque Estadual da Serra do Mar, núcleo Curucutu, São Paulo. 2023. Disponível em: <https://dspace.mackenzie.br/items/90ea1cc1-a498-40d6-9887-987a877d8699>. Acesso: 15 de Fevereiro de 2025.

CARRION, M. O.; TOPPA, R. H.; KAWAKUBO, F. S., MORATO, R. G.; MARTINES, M. R. Análise dos Fragmentos Florestais para a Seleção de Áreas Prioritárias para Conservação. **Revista de Estudos Ambientais**, v. 24, n. 1, pág. 78-92, 2022.

CARVALHO, W. S.; FILHO, F. J. C. M.; SANTOS, T. L. Uso e cobertura do solo utilizando a plataforma Google Earth Engine (GEE): Estudo de caso em uma unidade de conservação. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 2, pág 15280-15300, 2021.

CASTRO, R. V. O.; SOARES, C. P. B.; LEITE, H. G.; SOUZA, A. L.; MARTINS, F. B.; NOGUEIRA, G. S.; OLIVEIRA, M. L. R. Projeção do Diâmetro e Altura de Árvores em uma Floresta Estacional Semidecidual Por Meio de Redes Neurais Artificiais. **Scientia Forestalis**, vol. 48, n. 125, e3056, 2020.

CAVALCANTI, E. A. H. Série temporal do mesozooplâncton do sistema estuarino de Barra das Jangadas, Pernambuco - Brasil. Tese (Pós-graduação em Oceanografia), 109 págs., 2008.

CECCON, E.; PÉREZ D. R. Beyond Restoration Ecology: Social Perspectives in Latin America And The Caribbean. **Editora Vázquez Mazzini**, 392 págs., 2017.

CHEFER, B. F.; SOARES, I. M. M. Análise do Potencial de Absorção de CO₂ pela Restauração Florestal no Estado do Rio de Janeiro e sua Importância Frente à Crise Climática. 2019. Disponível em: <https://pantheon.ufrj.br/bitstream/11422/14243/1/monopoli10030706.pdf>. Acesso: 15 de Fevereiro de 2025

COMPESA. Disponível em: Barragem de Siriji, em Vicência, atinge capacidade máxima de acumulação – COMPESA. Acesso: 12 de Setembro, 2024.

COSTA, J. D. M.; QUINTANILHA, J. A. A Importância que as Comunidades Tradicionais Desempenham Quanto a Conservação e a Preservação dos Ambientes Florestais e de Seus Respetivos Recursos: Uma Revisão de Literatura. **Revista Brasileira De Geografia Física** v.17, n.3, Pág. 2072-2092, 2024.

DAIL, P. V. S; BAIO, F. H. R; AZEVEDO, G. B; FAGUNDES, L. A; TRENTO, A. C. S. Estimativa de Volume de Madeira Baseada em Índices de Vegetação. **Scientia Forestalis**, n. 49, vol. 129, e3301, 2021.

DATA ANALYTICS. Disponível em: NDVI: Perguntas Frequentes Para Compreender O Índice (eos.com). Acesso: 29 de Agosto, 2024.

DIAS, D. F. S. Representações de séries temporais baseadas em imagens para classificação de imagens de satélite. Tese (Doutorado em Ciência da Computação), 112 págs., 2020.

EMBRAPA, 2024. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/91753251/embrapa-participa-de-publicacao-lancada-pelo-pacto-da-mata-atlantica>. Acesso: 20/09/2024.

EMBRAPA, 2024. Disponível em: <https://www.embrapa.br/codigo-florestal/estrategias-e-tecnicas-de-recuperacao>. Acesso: 20/09/2024.

EOS DATA ANALYTICS – Disponível em: <https://eos.com/pt/blog/resolucao-espacial/> Acesso: 18 de Janeiro de 2025.

EOS DATA ANALYTICS, 2025 – Disponível em: EOS DATA ANALYTICS – Disponível em: <https://eos.com/pt/blog/resolucao-espacial/> Acesso: 19 de Janeiro de 2025.

ERTHAL, D. A. Caracterização espectral-temporal de florestas subtropicais integrando dados multiespectrais, fitossociológicos e geomorfológicos. Tese (Doutorado em Geografia), 161 págs., 2023.

ESRI – Disponível em: <https://www.esri-portugal.pt/pt-pt/artigos/sentinel>. Acesso: 14 de Dezembro de 2024.

FARIA, V. G. Priorização de Áreas Para Restauração Florestal Visando Conservar Solo, Água e Biodiversidade em Paisagens Agrícolas. 129 págs. Dissertação (Mestrado em Ciências), 2016.

FIRMINO, C. T.; COSTA, G. A.; FERRARI, J. L.; PIROVANI, D. B. Fragmentação florestal: definição e impactos segundo a literatura científica. **Revista Univap**, v. 22, n. 40, 2016.

FILHO, L. O. M.; FIGUEIREDO, E. O.; JÚNIOR, I.; BARROS V. C. C.; HOTT, M. C.; BORGES, L. A. C. Classificador de Máxima Verossimilhança Aplicado à Identificação de Espécies Nativas na Floresta Amazônica. In: XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, pág. 1606 – 1610, 2017.

FLAUZINO, B. K.; BATISTA, T. R.; SANTOS, A. H. M.; DZEDZEJ, M.; OLIVEIRA, J. A. Quantificação de Alterações na Produção Hídrica e de Sedimentos em Áreas De Projetos de Neutralização de Carbono por meio de Restauração Florestal. 2020. Disponível em: <https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/4/PAP020670.pdf>. Acesso: 15 de Fevereiro de 2025.

FRITZSONS, E.; MANTOVANI, L. E. Áreas Prioritárias para Restauração das Florestas Ciliares: Um Exemplo no Sul do Brasil. **Ambiência**, v. 13, n. 3, 2017.

GEOALNOVA – Disponível em:

<https://geoinova.com.br/o-futuro-do-sensoriamento-remoto-o-que-vem-por-ai-para-essa-industria-em-rapido-crescimento/20real>. Acesso: 14 de Dezembro de 2024.

GEOAMBIENTE – Disponível em: https://www.geoambiente.com.br/blog/ia_imagens_satelite/. Acesso em: 14 de Dezembro de 2024.

GOMES, A. D. A. R.; SILVA, B. N.; BARROS, B. A.; GIRI, F. B.; NUNES, J. C. B.; OLIVEIRA, M. P.; ISAHIAS, M. S.; RODRIGUES, D. S. O Uso de Drones para Mapeamento Topográfico. **Revista de Gestão e Secretariado**, v.15, n.5, 2024.

GORELICK, N.; HANCHER, M.; DIXON, M.; ILYUSHCHENKO, S.; THAU, D.; MOORE, R. Google Earth Engine: Planetary-Scale Geospatial Analysis for Everyone. Artigo In: Remote Sensing Of Environment, vol. 202, págs.18-27, 2017.

GRUGIKI, M. A. Avaliação e manejo adaptativo em áreas sob processo de restauração florestal. Tese (doutorado em engenharia florestal), UFRPE, 139 pág., 2018.

HIRYE, M. C. M.; ALVES, D. S. KUX, H. J. H. Mapeamento da Vegetação Urbana a partir de Dados de Sensoriamento Remoto: Estado Da Arte e Perspectivas Futuras. In: Anais Do XVIII Simpósio Brasileiro De Sensoriamento Remoto -SBSR, pág. 6922 – 6929, 2017.

IBF – Disponível em: <https://www.ibflorestas.org.br/bioma-mata-atlantica#:~:text=Cerca%20de%2070%25%20da%20popula%C3%A7%C3%A3o,no%20territ%C3%B3rio%20da%20Mata%20Atl%C3%A2ntica>. Acesso: 30 de Outubro de 2024.

IBM – Disponível em: <https://www.ibm.com/br-pt/topics/lidar>. Acesso: 13 de Janeiro de 2025.

IMASUL - Disponível em: <https://www.imasul.ms.gov.br/wp-content/uploads/2019/12/Aula-3-Hist%C3%B3rico-restaura%C3%A7%C3%A3o.pdf>. Acesso: 05 de Dezembro de 2024.

JOSÉ, M. B.; Viabilidade Econômica e Ecológica dos Modelos Sucessionais de Restauração Florestal nos Serviços Ambientais na Mata Atlântica Brasileira. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente), 76 págs., 2023.

JUNIOR, J. M. Uso de Machine Learning e Sensoriamento Remoto Para a Identificação da Floresta Tropical Sazonalmente Seca no Parque Nacional do Catimbau. TCC (Bacharelado em Engenharia Florestal), 52págs, 2021.

JUNIOR, C. B. Mensuração de Indicadores de Monitoramento da Restauração Florestal em Mata Atlântica com LIDAR e Imagens Multiespectrais de Alta Resolução. Dissertação (Mestrado em Silvicultura e Manejo Florestal), 246 págs, 2021.

LI, S.; GANGULY, S.; DUNGAN, J.; WANG, W.; NEMANI, R. Sentinel-2 MSI radiometric characterization and cross-calibration with Landsat-8 OLI. *Advances in Remote Sensing*, v. 6, n. 02, 147-159, 2017.

LIMA, JEFERSON. Água, Serviços Ecosistêmicos e Brasil: Onde Estamos e Para Onde Vamos? 2019. Disponível em: <https://engemausp.submissao.com.br/21/anais/arquivos/80.pdf>. Acesso: 15 de Fevereiro de 2025.

LIRA, D. F. S.; MARANGON, L. C.; FERREIRA, R. L. C.; MARANGON, G. P.; SILVA, E. A. Comparação entre custos de implantação de dois modelos de restauração florestal em Pernambuco. *Scientia Plena*, v.8, n.4, 2012.

LOURENÇO, A. R.; ROSA, N. S.; SANTOS, T. S.; ATHAYDE, G. B. A Importância do Sensoriamento Remoto Aplicado em Estudos Forenses Ambientais. In: XX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, pág. 2041-2044, 2023.

MARIANI, C.; MYSCZUK, A. P. Políticas públicas para o desenvolvimento sustentável do estado do Paraná: a função do ICMS-Ecológico na preservação da biodiversidade. **Revista Brasileira de Planejamento e Desenvolvimento**, v. 9, n. 3, p. 425-449, 2020.

MMA – Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/aceso-a-informacao/item/8705-recupera%C3%A7%C3%A3o-de-%C3%A1reas-degradadas.html>. Acesso: 19/09/2024.

MMA - Projeto de Monitoramento do Desmatamento dos Biomas Brasileiros por Satélite. disponível em: https://siscom.ibama.gov.br/monitora_biomas/Resultados%20Espe%20rados%20-%20PMDBBS.html. Acesso: 26 de Agosto, 2024.

MIYOSHI, G. T. Caracterização Espectral de Espécies de Mata Atlântica de Interior em Nível Foliar e de Copa. Dissertação (Pós-Graduação em Ciências Cartográficas), 143págs, 2016.

NASCIMENTO, A. J. S.; DENADAI, M. S. Sensoriamento Remoto com o Uso do Drone Remote Sensing With Drone. **Tekhne e Logos**, v.14, n.2, 2023.

MUGNAINI, R.; STREHL, L. RECUPERAÇÃO E IMPACTO DA PRODUÇÃO CIENTÍFICA NA ERA GOOGLE: uma análise comparativa entre o Google Acadêmico e a Web of Science. **Encontros Bibli: Revista Eletrônica de Biblioteconomia e Ciência da Informação**, pág. 92-105, 2008.

NEUVITION – Disponível em: <https://www.neuvition.com/pt/drone-lidar-cost-neuvition/>. acesso: 22 de Janeiro de 2025.

NORA, E. L. D.; SANTOS, J. E. Análise Da Dinâmica Sazonal De Duas Formações Florestais Do Bioma Mata Atlântica Com Base Em Índices De Vegetação. **Erechim**. v.34, n.125, p. 41-51, 2010.

OLIVEIRA, R. E.; ENGEL, V. L. Indicadores de Monitoramento da Restauração na Floresta Atlântica e Atributos para Ecossistemas Restaurados. **Scientia Plena**, v. 13, n. 12, 2017.

ONU – Disponível em: <https://www.decadeonrestoration.org/pt-br>. Acesso: 19/09/2024.

ORNELLAS, J. L.; LOPES, E. R. N. NDVI aplicado nas alterações da reserva extrativistamarinha Baía do Iguape. In: Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, 2020.

PEREA-ARDILA, M. A.; VÁSQUEZ, S. M. Caracterização de uma nova queimada utilizando sensoriamento remoto do Parque Estadual do Cocó, Região Metropolitana de Fortaleza/CE, Brasil. **Journal of Hyperspectral Remote Sensing**, v.14, 2024.

- PEREIRA, A. A. Mapeamento Automático de Queimadas no Bioma Cerrado Utilizando Sensores Orbitais [em linha]. 2017. Disponível em: https://dataserver-coids.inpe.br/queimadas/queimadas/PublicacoesImpacto/material3os/2017_Pereira_Mapeamento_Queimadas_Cerrado_Doutorado_UFL_DE3os.pdf. Acesso: 15 de Fevereiro de 2025.
- PEREIRA, J. M. Políticas públicas florestal e de proteção à biodiversidade em prol da APA do Alto do Mucuri. 131 págs. Dissertação (Mestrado Profissional), 2016.
- PIMENTEL, D. J. O. Análise espaço-temporal da relação restauração florestal e paisagem local. Tese (doutorado em Engenharia Florestal), UFRPE, 109 pág., 2018.
- POLIDORIO, A. M.; IMAI, N. N.; TOMMASELLI, A. M. G.; FLORES, F. C. Detecção e discriminação de sombras, nuvens e corpos d'água em imagens de sensoriamento remoto. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 58, n. 03, p. 223-232, 2006.
- QUEIROZ, R.B., SEVERINO, P. A. da R., RODRIGUES, A.G.; GÓMEZ, A. T. Um Comparativo com Máxima Verossimilhança Gaussiana na Classificação de Imagens CBERS 1, IIWorkshop de Tecnologia da Informação aplicada, 2004.
- QUIRON.DIGITAL - disponível em: <https://quiron.digital/monitoramento-florestal/monitoramento-florestal-por-sensoriamento-remoto/>. Acesso: 27 de Agosto de 2024.
- REIS, B. P. Processamento Digital de Imagens de Alta Resolução para Monitoramento da Restauração Florestal. Pág. 5 – 40, 2017. Disponível em: <https://locus.ufv.br/server/api/core/bitstreams/e5220ee7-e856-47d4-98ef-0c1a0e332571/content>. Acesso: 4 de Março de 2025.
- RESENDE, A. S.; LELES, P. S. S. Controle de plantas daninhas em restauração florestal. Disponível em: [file:///C:/Users/gabry/Downloads/Alexander-Resende-Controle-de-plantas-daninhas-em-restauracao-florestal-final%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/gabry/Downloads/Alexander-Resende-Controle-de-plantas-daninhas-em-restauracao-florestal-final%20(2).pdf). Acesso: 27 de Agosto de 2024.
- REX, F. E.; CORTE, A. P. D.; MACHADO, S. A.; SANQUETTA, C. R. Identificação e Extração de Copas de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze a Partir de Dados LIDAR. **Advances in Forestry Science**, n. 5, vol. 2, págs. 319-323, 2018.
- REX, F. E.; CORTE, A. P. D.; MACHADO, S. D. A.; SILVA, C. A.; SANQUETTA, C. R. Estimating AboveGround Biomass of *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze Using LiDAR Data. **Floresta e Ambiente**, n. 26, vol. 4, 2019.
- RIBEIRO, M. P.; MELLO, K.; VALENTE, R. A. Avaliação da Estrutura da Paisagem Visando à Conservação da Biodiversidade em Paisagem Urbanizada. **Ciência Florestal**, v. 30, pág. 819-834, 2020.
- RODRIGUES, C. C.; FERREIRA, C. P.; SILVA, I. C. Dinâmica do Desmatamento e uso do Solo em Assentamento Rural da Reforma Agrária Brasileira na Amazônia Legal. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 18, n.2, pág., 2023.
- RODRIGUES, D. D. A Construção da Teoria e da Prática da Restauração Ecológica e a Emergência de Novas Perspectivas Sobre as Relações entre Natureza (s) e Sociedade (s). Tese (Doutorado em Ciências Sociais em Desenvolvimento, Agricultura e Sociedade), 212 págs., 2017.
- RODRIGUES, M. L. Machine Learning e Hashing para Identificação de Imagens de Sensoriamento Remoto Baseada em Conteúdo. Tese (Doutorado em Computação Aplicada), 135págs, 2023.
- RODRIGUES, R. R. Restauração Ecológica de Florestas Tropicais: Estágio Atual; Lições Aprendidas na Restauração de Paisagens Agrícolas no Brasil. 278 págs, 2019.

RODRIGUES, R. R.; GANDOLFI, S.; BRANCALION, P. H. S. **Restauração florestal. Oficina de Textos**, 2015.

RUHOFF, A. L.; RISSO, A. Mudanças históricas de uso da terra no Brasil para aplicações climáticas e hidrológicas. In: XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto -SBSR, pág. 4374 – 4381, 2017.

SAMPAIO, A. B.; RIBEIRO, K. T.; VIEIRA, D. M.; SILVA, D. C. B. Guia de Restauração Ecológica para Gestores de Unidades De Conservação. Disponível em: https://www.icmbio.gov.br/cbc/images/stories/Publica%C3%A7%C3%B5es/restaura%C3%A7%C3%A3o/Guia-de-Restauracao-Ecologica_digital.pdf. Acesso: 19/09/2024.

SANTANA, N. C. Monitoramento de Queimadas no Sudoeste do Pará, a partir de Séries Temporais do Sensor Modis. 2016. Disponível em: <http://www.realp.unb.br/jspui/handle/10482/20086>. Acesso: 15 de Fevereiro de 2025.

SANTOS, K. N. F.; RODE, R.; ANDRADE, D. F. C.; Kleyton Kleber dos Santos CORRÊA, K. K. F.; LOPES, L. S. S. Ajuste de Equações Volumétricas e Redes Neurais Artificiais na Estimativa do Volume de Tauari na Floresta Nacional do Tapajós. **Agroecossistemas**, v. 10, n. 1, pág. 1 – 17, 2018.

SANTOS, M. N. S. DINÂMICA DA PAISAGEM E O PROCESSO DE FRAGMENTAÇÃO FLORESTAL NA BACIA DO CAETÉ. Dissertação (Pós-Graduação em Ciências Ambientais), 144 págs., 2018.

SER – Disponível em: SER (Society for Ecological Restoration International Science & Policy Working Group). The SER international primer on ecological restoration. Acesso: 19/09/2024.

SILVA, D. V. S.; CRUZ, C. B. M. Tipologias de Caatinga: Uma Revisão em Apoio a Mapeamentos Através de Sensoriamento Remoto Orbital e GEOBIA. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 35 113-120, 2018.

SILVA, C. A., KLAUBERG, C., HUDAK, A. T., VIERLING, L. A., LIESENBERG, V., BERNETT, L. G.; SCHOENINGER, E. R. Estimating Stand Height and Tree Density in *Pinus taeda* Plantations Using In-situ Data, Airborne LIDAR and K-Nearest Neighbor Imputation. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, n. 90, vol. 1, págs. 295-309, 2018.

SILVA, C. O. F. Classificação Supervisionada de Área Irrigada Utilizando Índices Espectrais de Imagens Landsat-8 com Google Earth Engine. **Irriga**, v. 25, n. 1, pág. 160-169, 2020.

SILVA, J. G. M.; COSTA, D. R.; COSTA, E. C. S.; SILVA, J. M. S. Quantificação de Carbono na Restauração Florestal: Uma Revisão Sistemática de Literatura. **Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto**, v. 4, n. 1, 2023.

SILVA, L. C. A.; RAMBO, E. M.; BECKER, W. R.; COMINETI, H. B.; JÚNIOR, C. A. S.; JOHANN, J. A. Mineração de Dados Aplicada a Imagens Hiperespectrais e Multiespectrais na Classificação do Uso e Ocupação do Solo. In: XLIX Congresso Brasileiro De Engenharia Agrícola – CONBEA, 9 págs, 2020.

SILVA, M. A. O.; LIPORACE, F. S. Detecção Automática de Nuvem e Sombra de Nuvem em Imagens de Sensoriamento Remoto. **Bol. Ciênc. Geod.**, sec., v. 22, n.2, pág.369- 388, 2016.

SILVA, M. F.; NETO, E. R.; GUIMARÃES, G. F.; AMANTE, L. O. S. A.; PEREIRA, L. A. M.; JUNIOR, A. C. S. Sistema de Posicionamento Baseado em LIDAR e Redes Neurais para Aplicações B5G. In: XLII Simpósio Brasileiro de Telecomunicações e Processamento De Sinais, 5 págs., 2024.

SOBRINHO, L. F. Processos ecológicos em áreas de restauração florestal na Zona da Mata Sulde Pernambuco. Dissertação (Mestrado Engenharia Florestal), UFRPE, Recife, 2019.

SOS MATA ATLÂNTICA – Disponível em: <https://www.sosma.org.br/iniciativas/atlas-da-mata->

atlantica/. Acesso: 30 de Outubro de 2024.

SOUZA, C. C.; MOREIRA, A. A.; SCHIMITH, R. F.; BRANDÃO, P. C.; SILVA, E. Técnicas de Sensoriamento Remoto como Subsídios aos Estudos de Florestas Implantadas no Brasil – Uma Revisão Bibliográfica. **Ciência Florestal**, v. 17, n. 4, pág. 409-417, 2020.

SCHLEICH, A. P.; FILHO, J. B. R.; LAHM, R. A. Aplicações do Sensoriamento Remoto em Estudos Ambientais. **Educação Ambiental em Ação**, v. 20, n. 78, 2022.

SPU GEO – Disponível em: https://www.gov.br/economia/pt-br/assuntos/patrimonio-da-uniao/arquivos-antigos-privados/programa-de-modernizacao/linha-do-tempo/02_02_ted_uff-spu_apostila_sensoriamento_2017-12-18.pdf. Acesso: 18 de Janeiro de 2025.

STEFFEN, C. A – Disponível em: <http://www3.inpe.br/unidades/cep/atividadescep/educasere/apostila.htm#top>. Acesso: 18 de Janeiro de 2025.

TAMIMINIA, H.; SALEHI, B.; MAHDIANPARI, M.; QUACKENBUSH, L.; ADELI, S.; BRISCO, B. Google Earth Engine for geo-big data applications: A meta-analysis and systematic review. **Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v.164, pág.152-170, 2020.

TEIXEIRA, G. M.; FIGUEIREDO, P. H. A.; FERRAZ, S. F. B.; SALEMI, L. F.; RANZINI, M.; RIZZI, N. E. Análise de Classificadores de Estágios Sucessionais em um Fragmento de Mata Atlântica. **BIOFIX Scientific Journal**, v. 4 n. 2 págs. 88-96 2019.

THIAGO, C. R. L.; MAGALHÃES, I. A. L.; SANTOS, A. R. Identificação de Fragmentos Florestais Potenciais para a Delimitação de Corredores Ecológicos na Bacia Hidrográfica do Rio Itapemirim, ES por meio Técnicas de Sensoriamento Remoto. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 2, págs. 595-612, 2020.

TRENTIN, B. E.; ESTEVAN, D. A.; ROSSETTO, E. F. S.; GORENSTEIN, M. R.; BRIZOLA, G. P.; BECHARA, F. C. Restauração florestal na Mata Atlântica: passiva, nucleação e plantio de alta diversidade. **Ciência Florestal**, v. 28, pág. 160-174, 2018.

TRINDADE, P. M. P; FACCO, D. S; FILHO, W. P. Sensoriamento Remoto: características espectrais de alvos. Disponível em: https://www.ufsm.br/app/uploads/sites/676/2019/08/topico_5.compressed.pdf. Acesso: 13 de Janeiro de 2025.

URSI, G. L. Direito, Regulação e Experimentação: Promessas e Compromissos Dissertação (Mestrado), 125 pág., 2022.

VAILANT, F. J. P. Dinâmica Sazonal E Conservação Das Matas Secas No Cerrado: Utilização De Geotecnologias Para O Estudo E Manejo Do Bioma Em Jataí, Goiás. **Revista Eletrônica de Geografia**, v. 15, p. 239-263, 2024.

VALE, J. R. B.; PEREIRA, J. A. A.; CEREJA, S. S. A.; SOUZA, L. F. P. ANÁLISE Multitemporal do Uso e Cobertura da Terra do Município de Conceição do Araguaia-Pará Através do Google Earth Engine. **Revista Cerrados Montes Claros**, v. 18, n. 02, pág. 297-318, 2020.

VERÇOSA, J. P. S.; SANTOS, C. C. A.; S.; Sárgia Mousinho Lucena Cavalcanti SILVA, S. M. L. C.; SILVA, S. C.; SOUZA, M. L. O.; TAVARES, A. C. F. Uso de Sensoriamento Remoto e de Dados Oriundos do Projeto Mapbiomas para Análise do Desmatamento no Município de Rio Largo/AL. **Estudos Avançados sobre Saúde e Natureza**, v. 1, 2021.

VIVEIROS, J. M. S. M.; SINEGALIA, M. K. S. D.; VIANI, R. A. G.; MOLIN, P. G. Aplicação de Inteligência Artificial na Identificação e Delineamento de Mudanças de Restauração Florestal em Imagens RGB e Multiespectrais Provenientes de RPA. 2023. Disponível em: <https://proceedings.science/sbsr-2023/trabalhos/aplicacao-de-inteligencia-artificial-na-identificacao-e-delineamento-de-mudas-de?lang=pt-br>. Acesso: 18 de Fevereiro de 2025.

WRI BRASIL – Disponível em: <https://www.wribrasil.org.br/noticias/o-que-os-drones-podem-ensinar-para-o-monitoramento-da-restauracao-florestal#:~:text=A%20tecnologia%20usa%20os%20drones,usar%20drones%20para%20o%20plantio>. Acesso: 14 de Dezembro de 2024.

WWF – Disponível em: <https://www.wwf.org.br/?88721/Cerca-de-97-da-Mata-Atlantica-e-formada-por-partes-menores-que-cinquenta-hectares>. Acesso: 30 de Outubro de 2024.

ZANETTI, J.; GRIPP, J. S.; FERREIRA, I. O.; MEDEIROS, N. G. Análise Crítica da Evolução do Satélite Landsat. In: I Seminário Científico da FACIG, n. 1, 7págs, 2015.