

INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA

FERNANDA DOS SANTOS

**VIABILIDADE DA GERAÇÃO DE CRÉDITOS DE CARBONO BASEADOS NO
INCREMENTO ANUAL DE CARBONO (REMOVALS) EM REMANESCENTES
FLORESTAIS NOS ASSENTAMENTOS DO INCRA DE SANTA CATARINA**

FLORIANÓPOLIS

2025

FERNANDA DOS SANTOS

**VIABILIDADE DA GERAÇÃO DE CRÉDITOS DE CARBONO BASEADOS NO
INCREMENTO ANUAL DE CARBONO (REMOVALS) EM REMANESCENTES
FLORESTAIS NOS ASSENTAMENTOS DO INCRA DE SANTA CATARINA**

Dissertação apresentada ao
Mestrado Profissional em
Clima e Ambiente do Campus
Florianópolis do Instituto
Federal de Santa Catarina
para a obtenção do diploma
de Mestre em Clima e
Ambiente.

Orientador: Cássio Aurélio
Suski

FLORIANÓPOLIS

2025



Folha de Aprovação

Aluno (a): **FERNANDA DOS SANTOS**

Título:	VIABILIDADE DA GERAÇÃO DE CRÉDITOS DE CARBONO BASEADOS NO INCREMENTO ANUAL DE CARBONO (REMOVALS) EM REMANESCENTES FLORESTAIS NOS ASSENTAMENTOS DO INCRA DE SANTA CATARINA
----------------	--

Aprovado(a) pela Banca Examinadora em cumprimento ao requisito exigido para obtenção do Título de Mestre em Clima e Ambiente

Dr(a). Cássio Aurélio Suski

Documento assinado digitalmente
gov.br CASSIO AURELIO SUSKI
Data: 06/06/2025 16:31:35-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Orientador(a) / Presidente / IFSC / local – SC
Participação: ☐ Presencial ☒ Videoconferência
☒ **Aprovado** ☐ **Reprovado**

Dr(a). Mario Francisco Leal de Quadro

Documento assinado digitalmente
gov.br MARIO FRANCISCO LEAL DE QUADRO
Data: 16/06/2025 12:51:13-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Avaliador(a) Interno / xxxxxxx / local - SC
Participação: ☐ Presencial ☒ Videoconferência
☒ **Aprovado** ☐ **Reprovado**

Dr(a). Eduardo Augusto Werneck Ribeiro

Documento assinado digitalmente
gov.br EDUARDO AUGUSTO WERNECK RIBEIRO
Data: 10/06/2025 17:08:19-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Avaliador(a) Interno / xxxxxxx / xxxxxxxxxxx - SC
Participação: ☐ Presencial ☒ Videoconferência
☒ **Aprovado** ☐ **Reprovado**

Dr(a). Kauane Maiara Bordin

Documento assinado digitalmente
gov.br KAUANE MAIARA BORDIN
Data: 06/06/2025 20:08:36-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Avaliador(a) Externo / xxxxxxx / xxxxxxxxxxx - SC
Participação: ☐ Presencial ☒ Videoconferência
☒ **Aprovado** ☐ **Reprovado**

Este trabalho foi aprovado por:

☐ maioria simples

☒ unanimidade

Itajaí, 6 de junho de 2025



CDD 551

S237v

Santos, Fernanda dos

Viabilidade da geração de créditos de carbono baseados na remoção anual de carbono em remanescentes florestais nos assentamentos do INCRA de SANTA CATARINA, e sua aplicabilidade em projetos agrupados [DIS] / Fernanda dos Santos; orientação de Cássio Aurélio Suski – Florianópolis, 2025.

1 v.: il.

Dissertação de Mestrado (Clima e Ambiente) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Inclui referências.

1. Mudanças climáticas. 2. Remoção de carbono. 3. Mata Atlântica. 4. Crédito de carbono. 5. IVDN. I. Suski, Cássio Aurélio. II. Título.

Sistema de Bibliotecas Integradas do IFSC

Biblioteca Dr. Hercílio Luz – Campus Florianópolis

Catalogado por: Ana Paula F. Rodrigues - CRB 14/1117

Dedico este trabalho à memória de meu querido pai, que infelizmente não pôde estar presente para testemunhar a realização desta conquista. Que esta dissertação represente um gesto de sincera gratidão àqueles que me ensinaram o valor do respeito e do cuidado com a vida, em todas as suas formas.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que, de forma direta ou indireta, contribuíram para a realização deste trabalho. Em especial, ao Professor Dr. Jean Budke, que abraçou este tema comigo e proporcionou oportunidades fundamentais para o desenvolvimento da pesquisa que resultou nesta dissertação.

Estendo meus agradecimentos à Coordenação do Curso de Mestrado em Clima e Ambiente do Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC), em especial ao Professor Dr. Mário e ao Professor Dr. Thiago, que compreenderam os objetivos desta pesquisa e me ofereceram apoio e incentivo, conduzindo-me por um caminho de confiança ao longo da trajetória acadêmica.

Ao meu orientador, Professor Dr. Cássio, minha profunda gratidão por acreditar na proposta desde o início e por fornecer as ferramentas necessárias para o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço também à minha família, especialmente aos meus pais e ao meu irmão, por serem minhas maiores referências de vida. Um agradecimento especial ao meu amado pai, que nos deixou em dezembro de 2025 e cuja memória seguirá sempre como fonte de inspiração. Ao meu esposo e meus filhos, que estiveram ao meu lado em cada escolha e desafio, tornando possível a realização deste sonho. E à minha querida Belinha, minha fiel companheira de quatro patas, que esteve presente em todos os momentos difíceis, deitada aos meus pés enquanto eu trabalhava, e que partiu duas semanas após a perda do meu pai, deixando ainda mais forte a marca do seu amor e lealdade em minha vida.

Nos momentos finais desta jornada, agradeço à minha amiga e colega de trabalho Regina Luiza Gouvea, e ao colega William Alves, pelas valiosas contribuições.

Encerro deixando uma reflexão que acompanhou todo este percurso: o mestrado sempre foi uma meta em minha vida. Embora não tenha se concretizado no tempo que eu idealizava, aconteceu no momento certo — quando a maturidade, o conhecimento adquirido e, sobretudo, a vontade de Deus, me prepararam para vivê-lo plenamente. Jamais desista de um sonho. Se ele não acontecer na hora que você deseja, isso não significa que seja impossível. Cada etapa da jornada contribui para que, no tempo certo, ele se realize.

*"Proteger e restaurar as florestas é uma das soluções naturais mais eficazes para
combater as mudanças climáticas."*

— Parafraseado do IPCC, Relatório Especial sobre Mudança Climática e Uso da
Terra (2019).

RESUMO

A mudança no clima tem desafiado governos e sociedade a ampliar estratégias de descarbonização de cadeias produtivas, bem como, mitigar os efeitos de eventos extremos sobre nossos meios de vida. As florestas e demais ecossistemas naturais possuem papel fundamental neste processo, uma vez que absorvem mais carbono do que emitem, além de se tornarem grandes reservatórios de carbono. Este estudo tem por objetivo analisar o potencial de geração de crédito de carbono utilizando a abordagem de incremento anual de carbono pelos remanescentes florestais localizados nos assentamentos rurais do INCRA, inseridos na Mata Atlântica e sua aplicabilidade em projetos agrupados. A metodologia foi norteada por cinco etapas: (1) Mapeamento de áreas de remanescentes florestais nos projetos de assentamento; (2) Caracterização das florestas nativas e seus remanescentes de acordo com a metodologia do Projeto Mapbiomas Brasil, Coleção 9 (1985-2023); (3) Estabelecimento de critérios e classes para a viabilidade de geração de créditos de carbono, incluindo Cv_1 (Áreas remanescentes independente do Assentamento) e Cv_2 (Área remanescente por Assentamento); (4) Estimativa da remoção de carbono por esses remanescentes florestais levantados, através de metodologia de incremento anual de carbono; (5) Avaliação da correlação entre as taxas de desmatamento e a variação da temperatura nos três assentamentos mais desmatados entre 2019 e 2024, por meio do IVDN e TST. Os resultados indicam que metodologias com abordagem em incremento anual de carbono demonstram ser altamente eficazes para estimativa em florestas da Mata Atlântica subtropical. A projeção obtida indica um potencial de 154.552,980 Mg CO₂e por ano, estimado em aproximadamente USD 1.545.529,80/ano, para área de 28.327,16 hectares. Contudo, a análise revela que o agrupamento de áreas e outros critérios podem maximizar o impacto socioambiental, sendo o Cv_2 mais viável por considerar as áreas remanescentes por projeto de assentamento. O estudo também confirma a relação direta entre a redução da cobertura vegetal e o aumento da Temperatura da Superfície Terrestre (TST), evidenciada pelos Índices de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN).

Palavras-Chave: Mudanças Climáticas; Incremento de Carbono; Mata Atlântica; Crédito de Carbono; IVDN.

ABSTRACT

Climate change has challenged governments and society to expand strategies for decarbonizing production chains, as well as mitigating the effects of extreme events on our livelihoods. Forests and other natural ecosystems play a fundamental role in this process, since they absorb more carbon than they emit, in addition to becoming large carbon reservoirs. This study aims to analyze the potential for generating carbon credits using the annual carbon increment approach for forest remnants located in INCRA rural settlements, located in the Atlantic Forest, and its applicability in grouped projects. The methodology was guided by five stages: (1) Mapping of areas of forest remnants in settlement projects; (2) Characterization of native forests and their remnants according to the methodology of the Mapbiomas Brazil Project, Collection 9 (1985-2023); (3) Establishment of criteria and classes for the feasibility of generating carbon credits, including Cv_1 (Remaining areas independent of the Settlement) and Cv_2 (Remaining area per Settlement); (4) Estimation of carbon removal by these surveyed forest remnants, through an annual carbon increment methodology; (5) Assessment of the correlation between deforestation rates and temperature variation in the three most deforested settlements between 2019 and 2024, through IVDN and TST. The results indicate that methodologies with an annual carbon increment approach prove to be highly effective for estimates in forests of the subtropical Atlantic Forest. The projection obtained indicates a potential of 154,552.980 Mg CO₂e per year, estimated at approximately USD 1,545,529.80/year, for an area of 28,327.16 hectares. However, the analysis reveals that grouping areas and other criteria can maximize socio-environmental impact, with Cv_2 being more viable because it considers the remaining areas per settlement project. The study also confirms the direct relationship between the reduction in vegetation cover and the increase in Earth's Surface Temperature (TST), evidenced by the Normalized Difference Vegetation Indices (NDVI).

Keywords: Climate Change; Carbon Increment; Atlantic Forest; Carbon Credit; NDVI.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Panorama das emissões de GEE no Brasil por setor (1990-2023)	23
Figura 2. Participação dos setores no perfil das emissões brasileiras (2022-2023)	24
Figura 3. Vetores do desmatamento em Santa Catarina (2024)	25
Figura 4. Histórico do desmatamento nos Assentamentos localizados nos municípios de Passos Maia e Ponte Serrada/SC	25
Figura 5. Linha do tempo sobre discussões e acordos pelo clima	27
Figura 6. Síntese sobre Mercado de Carbono	28
Figura 7. Mapa das regiões fitoecológicas do Estado de Santa Catarina com a distribuição dos 144 assentamentos rurais	38
Figura 8. Escala e viabilidade do Projeto	54
Figura 9. Assentamento Rio do Norte - IVDN 2021 (a) e 2024 (b) - TST 2021 (c) e 2024 (d)	60
Figura 10. Comportamento temporal do IVDN no Assentamento Rio do Norte (2021 a 2024)	62
Figura 11. Assentamentos 29 de Junho e 20 de Novembro - IVDN 2022 (a) e 2024 (b) - TST 2021 (c) e 2024 (d)	63
Figura 12. Comportamento temporal do IVDN no Assentamento 29 de Junho e 20 de Novembro (2020 e 2024)	64
Figura 13. Assentamento Jangada - IVDN 2020 (a) 2024 (b) - TST 2021 (c) e 2024 (d)	66
Figura 14. Comportamento temporal do IVDN no Assentamento Jangada entre 2020 e 2024	67

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Dados sobre o mapeamento e caracterização dos assentamentos rurais

47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Média história do preço do crédito de carbono	30
Tabela 2: Projeção de geração de créditos de carbono para o critério (Cv1) em diferentes classes de tamanho de remanescentes florestais nos assentamentos do INCRA em Santa Catarina.	52
Tabela 3. Projeção de geração de créditos de carbono para o critério (Cv2) em diferentes classes de tamanho de remanescentes florestais nos assentamentos do INCRA em Santa Catarina.	53
Tabela 4. Projeção de créditos de remoção de carbono ao longo do ciclo de vida do projeto (10 anos) para o Cv1 e Cv2.	55
Tabela 5 - Média anual de remoção de carbono em 10 anos de Projeto	56
Tabela 6. Assentamentos com Ocorrência de Desmatamento: Detecção, Análise IVDN e Temperatura de Superfície	59

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACR – American Carbon Registry (Registro Americano de Carbono)

AFOLU – Agriculture, Forestry and Other Land Use (Agricultura, Florestas e Outros Usos da Terra)

ALM – Agricultural Land Management (Gestão de Terras Agrícolas)

APP – Área de Preservação Permanente

ARR – Afforestation, Reforestation and Revegetation (Aflorestamento, Reflorestamento e Revegetação)

ATES – Assistência Técnica e Extensão Rural e Social

BTR1 – First Biennial Transparency Report (Primeiro Relatório Bienal de Transparência)

CBE – Cota Brasileira de Emissão

CDM – Clean Development Mechanism (Mecanismo de Desenvolvimento Limpo)

CER – Certified Emission Reduction (Redução Certificada de Emissões)

COP – Conference of the Parties (Conferência das Partes)

CRVE – Certificado de Redução ou Remoção Verificada de Emissões

Cv – Critério de Viabilidade

ETS – Emissions Trading System (Sistema de Comércio de Emissões)

GEE – Gases de Efeito Estufa

IAC – Incremento Anual de Carbono

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IFFSC – Instituto Federal de Santa Catarina

INCRA – Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária

INPE – Instituto Nacional de Pesquisa Espacial

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas)

IVDN – Índice de Vegetação por Diferença Normalizada

JI – Joint Implementation (Implementação Conjunta)

MDS – Monitoring, Reporting and Verification and Data Systems (Monitoramento, Relato e Verificação e Sistemas de Dados)

MMA – Ministério do Meio Ambiente

NDC – Nationally Determined Contribution (Contribuição Nacionalmente Determinada)

OMM – Organização Meteorológica Mundial

ONU – Organização das Nações Unidas

PA – Projeto de Assentamento

PDA – Plano de Desenvolvimento Ambiental

PRA – Plano de Recuperação Ambiental

PSA – Pagamento por Serviços Ambientais

PTT – Produto Técnico Tecnológico

REDD – Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação Florestal

REDD+ – Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation Plus

RL – Reserva Legal

SAD – Sistema de Alerta de Desmatamento

SbN – Soluções Baseadas na Natureza

SBCE – Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões

SCM – Social Carbon Methodology

SEEG – Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa

TST – Temperatura de Superfície

UNFCCC – United Nations Framework Convention on Climate Change (Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima)

VCS – Verified Carbon Standard (Padrão Verificado de Carbono)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	15
1.1 OBJETIVOS.....	20
1.1.1 Objetivo geral.....	20
1.1.2 Objetivo(s) específico(s).....	20
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	21
2.1 MUDANÇAS CLIMÁTICAS E EMISSÕES DE GEE.....	21
2.2 CARACTERIZAÇÃO DA MATA ATLÂNTICA EM SANTA CATARINA.....	23
2.3 MERCADO DE CARBONO.....	26
2.4 TENDÊNCIAS DA REGULAÇÃO NO BRASIL E OPORTUNIDADES PARA OS ASSENTAMENTOS RURAIS NO ESTADO.....	31
2.5 ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA (IVDN) E TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE DA TERRA EM PROJETOS DE ASSENTAMENTOS: FERRAMENTAS DE CONTROLE DE DESMATAMENTO.....	33
2.5.1 Inserção do IVDN e TST em Projetos de Crédito de Carbono.....	35
3 METODOLOGIA.....	37
3.1 ÁREA DE ESTUDO.....	37
3.2 MÉTODOS.....	38
3.2.1 Mapeamento de áreas de remanescentes florestais localizados nos projetos de assentamento de Santa Catarina.....	38
3.2.2 Caracterização das florestas nativas e seus remanescentes de acordo com a metodologia do MapBiomias.....	38
3.2.3 Estabelecimento dos critérios e classes para o estudo de viabilidade de geração de crédito de carbono das áreas de remanescentes florestais.....	39
3.2.4 Estimativa da projeção de créditos de remoção de carbono em cada critério/classe adotado.....	40
3.2.5 Avaliação da correlação entre variação da temperatura e taxas de desmatamento na região dos assentamentos ao longo do tempo.....	43
4 RESULTADOS.....	46
4.1 PROJEÇÕES DE REMOÇÃO DE CARBONO.....	46
4.2 ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA (IVDN) E TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE DA TERRA.....	57
5 PRODUTOS DESENVOLVIDOS.....	68
5.1 PRODUTO TÉCNICO TECNOLÓGICO (PTT 1):.....	68
5.2 PRODUTO TÉCNICO TECNOLÓGICO (PTT 2):.....	68
5.3 PRODUTO TÉCNICO TECNOLÓGICO (PTT 3):.....	69
5.4 PRODUTO TÉCNICO TECNOLÓGICO (PTT 4):.....	69
5.5 PRODUTO TÉCNICO TECNOLÓGICO (PTT 5):.....	69
5.6 PRODUTO TÉCNICO TECNOLÓGICO (PTT 6):.....	69
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	70
ANEXO 1 – Mapa temático com a identificação dos remanescentes florestais nos assentamentos localizados na UGT 1.....	83

ANEXO 2 – Mapa temático com a identificação dos remanescentes florestais nos assentamentos localizados na UGT 2.....	84
ANEXO 3 – Mapa temático com a identificação dos remanescentes florestais nos assentamentos localizados na UGT 3.....	85
ANEXO 4 – Mapa temático com a identificação dos remanescentes florestais nos assentamentos localizados na UGT 4.....	86
ANEXO 5 – Mapa temático com a identificação dos remanescentes florestais nos assentamentos localizados na UGT 5.....	87
ANEXO 6 – Mapa temático com a identificação dos remanescentes florestais nos assentamentos localizados na UGT 6.....	88
ANEXO 7 – Mapa temático com a identificação dos remanescentes florestais nos assentamentos localizados na UGT 7.....	89
ANEXO 8 – Mapa temático com a identificação dos remanescentes florestais nos assentamentos localizados na UGT 9.....	90
ANEXO 9 – Mapa temático com a identificação dos remanescentes florestais nos assentamentos localizados na UGT 10.....	91
ANEXO 10 - Foto da apresentação na Superintendência do INCRA/SC.....	92
ANEXO 11 – Mapa de Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN) nos Assentamentos Rurais.....	93
ANEXO 12 – Mapa de Temperatura de Superfície (TST) nos Assentamentos Rurais.....	94

1 INTRODUÇÃO

A mudança no clima vem desencadeando alterações ambientais severas, alterando desde o regime de chuvas e seus efeitos sobre a biodiversidade, bem como, alterações diversas na produção de alimentos, saúde, tempestades severas e inundações. Dentre as conclusões no Relatório de Síntese da Sexta Avaliação do IPCC (AR6), os impactos climáticos apontados hoje mostram que os atuais 1,1°C de aquecimento do planeta já causaram mudanças perigosas na natureza e no bem-estar das pessoas em todo o mundo e, por isso, são necessárias medidas imediatas para barrar os impactos da crise climática (IPCC, 2023).

Nesse contexto, o debate global tem desafiado pesquisadores, governos e sociedade a ampliar estratégias de descarbonização de cadeias produtivas, bem como, mitigar os efeitos de eventos extremos sobre nossos meios de vida. No Brasil, as maiores fontes de emissão estão vinculadas às mudanças no uso da terra decorrentes do desmatamento, bem como, atividades agropecuárias e setor energético (SEEG, 2024).

Os ambientes naturais e, em especial, as fitofisionomias florestais, armazenam carbono em diferentes compartimentos, incluindo o solo, a biomassa viva acima e abaixo do solo, além da biomassa morta, composta pela serapilheira e detritos em processo de decomposição. Além destes reservatórios de carbono, as florestas removem anualmente uma grande quantidade de carbono por meio do crescimento da vegetação. Assim, o papel das florestas na mitigação da mudança no clima é fundamental, além de incluírem outras camadas de primordial importância, incluindo a produção de água e biodiversidade. Estes ativos ambientais têm sido valorados por meio de programas de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA), associados à manutenção e conservação destes remanescentes, além dos processos de restauração ecológica (Brasil, 2021).

Esses reservatórios de armazenamento de carbono podem ser quantificados e certificados como compensações de carbono de acordo com os requisitos dos protocolos de compensação de carbono florestal e depois ser integrados em mercados voluntários ou de conformidade de compensação de carbono (White *et al.*, 2018).

O mercado de carbono, como processo de valoração de ativos ambientais, é complementar às ações de PSA, porém, ao se conceber que a mudança do clima é

um aspecto global, o surgimento do mercado regulado e voluntário de carbono tem impulsionado este ativo como a principal classe de incentivos financeiros e finanças sustentáveis. Dentre as metodologias mais conhecidas, destaca-se a Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação Florestal (REDD), um tipo de arranjo focado em evitar as emissões de gases de efeito estufa (GEE) por desmatamento e degradação. De um lado, os projetos de REDD evitaram a conversão de muitas áreas de vegetação passíveis de desmatamento, porém em locais cujo processo de mudança de uso da terra é historicamente antigo e a conversão não é mais atrativa, os projetos de REDD são se tornam elegíveis. É o caso do centro-sul do Brasil, onde as taxas de desmatamento são baixas, o que desconfigura esse escopo metodológico. Entretanto, estes remanescentes contribuem para a mitigação da mudança no clima por meio do incremento anual de carbono na biomassa. Da mesma forma, áreas inelegíveis legalmente para REDD, como o caso de Áreas de Preservação Permanente (APP) e Reserva Legal (RL), podem se tornar elegíveis em métodos que utilizem a métrica do incremento anual, já que tais espaços também desempenham esse serviço ambiental.

Geralmente, os projetos de créditos de carbono passam por três processos distintos: uma análise de viabilidade, um processo de verificação/certificação e monitoramento de rotina dos estoques de carbono florestal. Tanto o estudo de viabilidade, como a própria submissão do projeto, o processo de verificação e certificação são dispendiosos, para pequenas propriedades rurais, pois os créditos gerados por estas podem ser insuficientes para cobrir estas despesas, tornando os projetos sem escala e viabilidade (Nunez, 2006). Contudo, projetos com agrupamento de pequenas propriedades rurais pode ser uma alternativa para viabilizar a geração de créditos por meio da inclusão destas áreas, tornando o projeto viável financeiramente. Uma agregação de parcelas menores de terra em projetos de maior tamanho, provavelmente, será necessária para permitir qualquer tipo de participação generalizada de pequenos proprietários florestais no mercado de compensação de carbono (Kerchner *et al.*, 2015).

White *et al.*, (2018), concluem que programas de crédito de carbono florestal oferecem uma oportunidade para envolver pequenos proprietários florestais no crescente mercado de compensação de carbono. Estes programas poderiam proporcionar receitas aos pequenos proprietários florestais, bem como incentivar a gestão em longo prazo das florestas para sequestrar carbono como alternativa ao

desmatamento e ao desenvolvimento. Assim, sejam pequenas propriedades privadas ou mesmo assentamentos rurais, estes territórios são elegíveis para geração de créditos de carbono.

Contudo, Charnley (2010) demonstrou em sua pesquisa que a falta de motivação financeira, plano de gestão inicial e custos de certificação muitas vezes impedem os pequenos proprietários florestais de se envolverem no mercado de carbono (Charnley, 2010).

A ausência de incentivos para pequenos produtores rurais que conservam dentro da sua propriedade áreas florestais nativas sejam elas em área de preservação ambiental (APP) ou até mesmo na Reserva Legal (RL), é uma realidade brasileira, a considerar que mais de 70% do alimento que chega à mesa da população vem da agricultura familiar (Brasil, 2012). O pequeno agricultor rural, regularmente, sofre com denúncias de desmatamento em áreas florestais, muitas das vezes porque sua propriedade é pequena e precisa ampliar sua produção para gerar mais renda, sobretudo os assentados da Reforma Agrária, cujos Projetos de Assentamentos são divididos em lotes individuais. Contudo, muitos deles sabem que estão cometendo infração, apesar de que alguns chegam a ser ingênuos e desavisados ou pela própria ausência de Assistência Técnica e Extensão Rural (ATES). O módulo rural de pequena propriedade rural, é regulado pelo INCRA e varia de município para município.

O uso de técnicas como o Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (IVDN) e a Temperatura da Superfície da Terra (LST) são essenciais no monitoramento de desmatamento e degradação florestal, uma vez que áreas com baixa vegetação, indicadas por baixos valores de IVDN, tendem a registrar temperaturas mais altas (Luna Gusmão et al., 2013). O uso combinado dessas tecnologias nas etapas de monitoramento, certificação e verificação de projetos de carbono permite identificar áreas vulneráveis e avaliar a eficácia das ações de restauração, ajudando a otimizar as práticas de mitigação e assegurando o cumprimento dos objetivos climáticos de maneira mais precisa e confiável.

a) Justificativa

A adoção de metodologias de geração de créditos de carbono em Projetos de Assentamento é baseada na necessidade urgente de conciliar a produção rural com a preservação ambiental. Com a crescente atenção à sustentabilidade e ao meio ambiente, impulsionada pela pandemia, a sociedade tem exigido maior responsabilidade das empresas e produtores em relação à conservação dos recursos naturais, como as florestas.

No Brasil, muitos assentados e pequenos produtores, especialmente na região da Mata Atlântica, desempenham um papel crucial na produção de alimentos, mas enfrentam desafios relacionados ao desrespeito aos limites legais de Áreas de Preservação Permanente (APP) e Reserva Legal (RL), áreas essenciais para a conservação da biodiversidade e o sequestro de carbono. Nesse contexto, os créditos de carbono surgem como uma solução viável, oferecendo uma alternativa de geração de renda para os produtores rurais, ao mesmo tempo em que contribuem para a mitigação da mudança climática.

No entanto, o uso de metodologias para além do REDD na Mata Atlântica Subtropical é escasso. Assim, o estudo de viabilidade da projeção de carbono, com o uso de abordagens baseadas no incremento anual de carbono por remanescentes florestal da Mata Atlântica Subtropical, pode representar significativamente o potencial de remoções, sobretudo considerando o contexto histórico de desmatamento com foco na conservação nesse bioma. Essa abordagem, não só pode promover a regeneração da vegetação e o aumento dos estoques de carbono, mas também impulsionar a sustentabilidade econômica dos assentados e pequenos proprietários, proporcionando novas oportunidades de emprego e renda. Contudo, a aplicabilidade dessas metodologias em pequenas propriedades, por meio de projetos agrupados, ainda é uma área pouco explorada, e sua implementação poderia representar um avanço significativo no apoio à conservação ambiental e ao fortalecimento da agricultura familiar no Brasil.

Além disso, o uso de técnicas de IVDN e TST têm contribuído tanto na análise quanto no monitoramento das áreas elegíveis a Projetos de Crédito de Carbono, por permitir a identificação precisa de áreas com potencial para sequestro de carbono, além de monitorar possíveis desmatamentos ou outros riscos

associados ao projeto em si. Algumas metodologias de carbono referenciam o uso dessas técnicas como ferramentas essenciais de controle e monitoramento, ajustando as estratégias e garantindo a eficácia dos projetos.

Essa abordagem não só promove a regeneração da vegetação e o aumento dos estoques de carbono, mas também impulsiona a sustentabilidade econômica dos assentados e pequenos proprietários, proporcionando novas oportunidades de emprego e renda. A aplicabilidade dessas metodologias em pequenas propriedades ainda é uma área pouco explorada, e sua implementação poderia representar um avanço significativo no apoio à conservação ambiental e ao fortalecimento da agricultura familiar no Brasil.

b) definição do problema

A aplicação de metodologias baseadas no incremento anual de carbono em áreas de remanescentes florestais localizadas em Assentamentos Rurais inseridos na Mata Atlântica Subtropical ainda é pouco explorada. Estudos com essa abordagem são escassos, especialmente no que se refere à sua implementação em projetos de carbono no modelo agrupado. Essa lacuna limita o aproveitamento das oportunidades do Mercado de Carbono por essas comunidades, evidenciando a necessidade de investigar a viabilidade e os impactos dessa estratégia. Nesse contexto, destaca-se a importância de considerar a viabilidade econômica, a sustentabilidade ambiental e o desenvolvimento territorial, além dos desafios legais e ambientais enfrentados por esses produtores, especialmente em áreas protegidas, como Áreas de Preservação Permanente (APPs) e Reservas Legais. A pesquisa também aborda a necessidade de incentivos para a conservação dessas áreas no cenário das mudanças climáticas, utilizando abordagens baseadas no incremento anual de carbono. O uso de técnicas como o Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (IVDN) e a Temperatura da Superfície da Terra (TST) tem se mostrado essencial para o monitoramento da regeneração da vegetação e do sequestro de carbono, viabilizando a inclusão de áreas protegidas em projetos de créditos de carbono. Adicionalmente, surge a necessidade de compreender como a regeneração da vegetação e a preservação dos remanescentes florestais na Mata Atlântica pode atuar não apenas como sumidouros de carbono, mas também como

uma alternativa viável para a geração de renda aos produtores rurais, ampliando as oportunidades de inclusão no Mercado de Carbono.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Analisar o potencial de geração de crédito de carbono utilizando a abordagem de incremento anual de carbono pelos remanescentes florestais localizados nos assentamentos rurais do INCRA, inseridos na Mata Atlântica e sua aplicabilidade em projetos agrupados.

1.1.2 Objetivo(s) específico(s)

- Mapear e delimitar os remanescentes florestais nos assentamentos selecionados;
- Caracterizar as florestas nativas e seus remanescentes de acordo com a metodologia do Projeto Mapbiomas Brasil, Coleção 9, que atende o período entre 1985 a 2023;
- Estabelecer critérios e classes para o estudo de viabilidade de geração de crédito de carbono nessas áreas;
- Estimar a remoção de carbono por esses remanescentes florestais levantados, através de metodologia de incremento anual de carbono;
- Avaliar a correlação entre as taxas de desmatamento e a variação da temperatura nos três assentamentos mais desmatados entre 2019 e 2024, por meio do IVDN e TST.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 MUDANÇAS CLIMÁTICAS E EMISSÕES DE GEE

O planeta tem passado por variações climáticas ao longo de sua história geológica. No entanto, evidências científicas indicam que as mudanças climáticas recentes estão relacionadas às atividades humanas, principalmente ao uso de combustíveis fósseis, desmatamento e queimadas, que contribuem para o aquecimento global.

O efeito estufa é um fenômeno natural essencial para manter a temperatura terrestre adequada à vida. Ele ocorre devido à retenção de calor pelos gases de efeito estufa (GEE), como CO₂, CH₄, N₂O e CFCs. O CO₂ é o principal responsável por esse efeito, representando cerca de 55% das emissões, enquanto o CH₄ tem um potencial de aquecimento 23 vezes maior do que o CO₂. O N₂O e os CFCs possuem ainda maior poder de aquecimento global, sendo 298 e até 7.100 vezes superiores ao CO₂, respectivamente (Cerri *et al.*, 2007a).

A intensificação das atividades humanas elevou a temperatura média da Terra de 14°C para 15,2°C, sendo 70% desse aumento registrado após 1950 (IPCC, 2023). O relatório da Organização Mundial de Meteorologia - OMM (2024) apontou que 2023 foi o ano mais quente já registrado, com uma temperatura média global 1,45°C acima dos níveis pré-industriais. O mesmo relatório indicou aumento de temperatura em diversas regiões, incluindo América do Norte, América do Sul e América Central.

As projeções do IPCC (2023) indicam que, caso as emissões de GEE continuem crescendo, o aumento da temperatura global atingirá 1,5°C no curto prazo. Segundo Artaxo (2022), isso poderá comprometer ecossistemas, a infraestrutura global e a segurança alimentar, dificultando a alimentação de uma população estimada em 10 bilhões de pessoas até 2050.

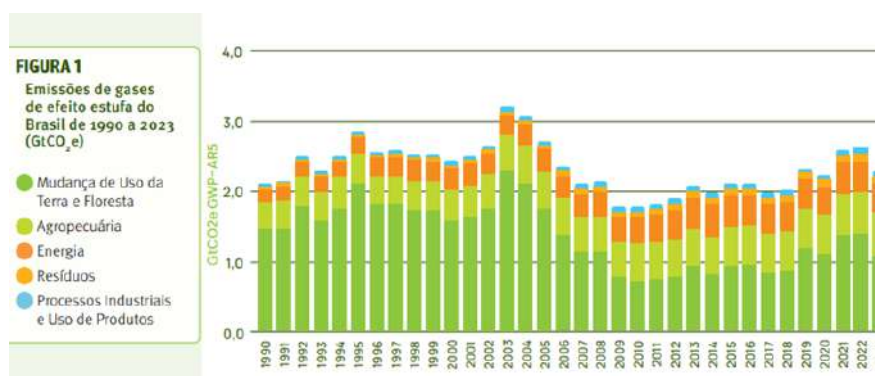
Os impactos das mudanças climáticas incluem eventos climáticos extremos, alterações nos padrões de chuvas e secas, derretimento de geleiras e aumento do nível dos oceanos (IPCC, 2014). Essas alterações afetam ecossistemas e a qualidade de vida humana de forma complexa e interligada.

Desde a Revolução Industrial, as emissões antropogênicas têm sido o principal fator impulsionador das mudanças climáticas. Entre 1850 e 2019, as emissões líquidas acumuladas foram de aproximadamente 2.400 Gt CO₂, sendo 58% desse total ocorridos até 1989 e 42% entre 1990 e 2019 (IPCC, 2023).

A distribuição das emissões cresceu na maioria das regiões, mas estão distribuídas de forma desigual, tanto nos dias de hoje quanto cumulativamente desde 1850. A América do Norte lidera com 23% das emissões acumuladas, seguida pela Europa (16%), Leste da Ásia (12%) e América Latina e Caribe (11%). Em termos per capita, América do Norte ainda apresenta as maiores emissões, seguida por Austrália, Leste da Europa, Oriente Médio e Leste da Ásia (IPCC, 2023).

No Brasil, as emissões de GEE em 2023 foram de 2,3 bilhões de toneladas brutas, uma redução de 12% em relação a 2022 (SEEG, 2024). O setor de mudanças no uso da terra foi responsável por 46% dessas emissões, devido à devastação de biomas. A agropecuária gerou 631 milhões de toneladas de CO₂e, representando 74% das emissões totais quando combinada com mudanças no uso da terra. Os setores de energia, processos industriais e resíduos apresentaram aumentos modestos nas emissões (Figura 1).

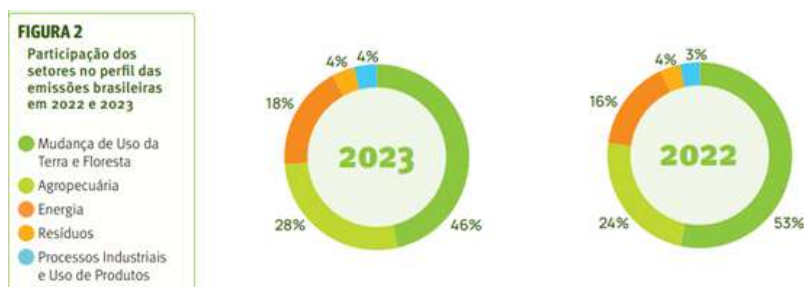
Figura 1. Panorama das emissões de GEE no Brasil por setor (1990-2023)



Fonte: Relatório de Emissões Brasileiras (SEEG, 2024)

Na figura 2, observa-se que as emissões pelo setor de mudança e uso da terra representou de 46% do total das emissões de GEE gerados no ano 2023, com contra 53% em relação a 2022 (SEEG, 2024).

Figura 2. Participação dos setores no perfil das emissões brasileiras (2022-2023)



Fonte: Relatório de Emissões Brasileiras em 2022 e 2023 (SEEG, 2024)

O uso da terra pode atuar tanto como fonte quanto como sumidouro de carbono. O desmatamento é responsável por 45% das emissões do setor AFOLU (IPCC, 2023). Contudo, esse setor também possui grande potencial de mitigação, com medidas que podem reduzir significativamente as emissões até 2050. Além disso, a terra influencia o clima por meio de processos como albedo, evapotranspiração e emissões de aerossóis (IPCC, 2023).

2.2 CARACTERIZAÇÃO DA MATA ATLÂNTICA EM SANTA CATARINA

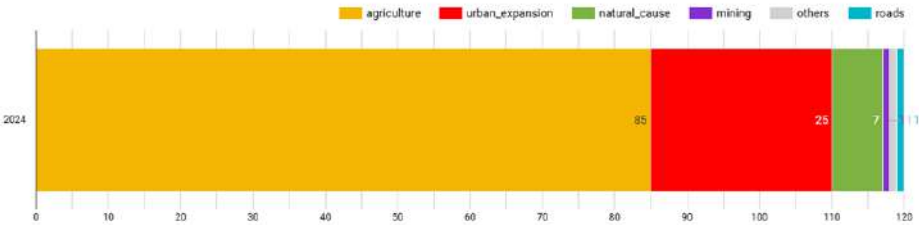
A Mata Atlântica cobre cerca de 15% do território brasileiro e abrange 17 estados. Em Santa Catarina, o bioma ocupa toda a extensão do estado (95.730 km²) e está dividido em diversas regiões fitoecológicas, como Floresta Ombrófila Mista e Floresta Estacional Decidual (IBGE, 2012). Aproximadamente 30% do estado é coberto por vegetação nativa, sendo 83% em propriedades privadas, com predomínio de florestas secundárias (Vibrans, 2022). Essas florestas, em processo de regeneração, possuem apenas um terço da biomassa das florestas maduras.

Santa Catarina destaca-se por sua extensa área destinada aos estabelecimentos agropecuários, totalizando 6.448.785 hectares e abriga um total impressionante de 183.066 estabelecimentos, refletindo a importância e a diversidade do setor agropecuário no Estado (Censo Agropecuário - IBGE, 2017)

A expansão agropecuária é o principal vetor de desmatamento no estado, representando 100% dos alertas identificados (SAD, 2023-2024). Segundo o Sistema de Alerta de Desmatamento (SAD) da Mata Atlântica (2024), a agricultura

foi o principal fator de perda florestal, seguida pela urbanização, estradas e mineração (Figura 3).

Figura 3. Vetores do desmatamento em Santa Catarina (2024)



Fonte: Boletim SAD Mata Atlântica (2023-2024)

De acordo com a pesquisa realizada na Plataforma MapBiomas Alerta (2019-2024), Santa Catarina registrou 2.515 alertas de desmatamento entre 2019 e 2024, dos quais 44 ocorreram em assentamentos do INCRA. A área total desmatada neste cruzamento representa 3,06% (213,7 ha) em relação à área total (6.982,9 ha) desmatada no Estado para o período. O maior registro de desmatamento, equivalente a 85,5 ha, foi identificado nos assentamentos localizados no município de Passos Mais/Ponte Serrada (Figura 4). Cinco alertas (127,1 ha) foram identificados em Áreas de Preservação Permanente (APPs), destacando a necessidade de regularização ambiental.

Figura 4. Histórico do desmatamento nos Assentamentos localizados nos municípios de Passos Maia e Ponte Serrada/SC



Fonte: MapBiomas Alerta, 2024

Inseridos no Bioma Mata Atlântica, grande parte destes assentamentos tem passivos ambientais, muitos destes foram cometidos pelo assentado e/ou pelo antigo proprietário do imóvel obtido pelo INCRA. Para regularização destas áreas, o INCRA busca fazer os projetos de regularização e recuperação das áreas de Reserva Legal e das Áreas de Preservação Permanente, através de Projetos de Regularização de Assentamentos (PRA) e Desenvolvimento (PDA), junto aos órgãos ambientais estaduais e municipais e também por meio de editais/chamamento público decorrentes de multas convertidas pelo Ibama (INCRA, 2023; Brasil, 2012).

No setor agropecuário, a Mata Atlântica é o segundo bioma com maiores emissões de gases de efeito estufa (27%), emitindo 145 Mt CO₂ em 2018. Apesar de um aumento de 9% nas emissões desde 2000, a eficiência produtiva contribuiu para uma menor taxa de crescimento em comparação com outros biomas (Fundação SOS Mata Atlântica, 2021). Isso demonstra que Santa Catarina tem conseguido limitar o desmatamento e expandir o estoque de carbono florestal (Vibrans, 2022).

Neste sentido, a conservação deste Bioma Atlântica é estratégica para a mitigação das mudanças climáticas devido à sua alta capacidade de sequestro de carbono. As florestas secundárias, que representam a maior parte da cobertura florestal catarinense, possuem taxas de captura de carbono até 20 vezes superiores às florestas maduras (Poorter *et al.*, 2016). Estudos indicam que o sumidouro de carbono das florestas primárias da Mata Atlântica é superior ao de biomas como Amazônia e África (Bordin *et al.*, 2023). Em 2021, o bioma armazenava 5,5 Gt de carbono orgânico do solo (COS), sendo 2,1 Gt em áreas naturais e 3,4 Gt em áreas antropizadas (MapBiomas Brasil, 2022).

A recuperação florestal é essencial para garantir o cumprimento das metas climáticas. Estudos indicam que a Mata Atlântica é um dos principais biomas brasileiros para projetos de recomposição de áreas degradadas e geração de créditos de carbono. Segundo a Fundação SOS Mata Atlântica (2024), o bioma está entre as prioridades globais de restauração devido à sua combinação de sequestro de carbono, conservação da biodiversidade e proteção de recursos hídricos.

O Inventário Florístico Florestal de Santa Catarina (IFFSC), conduzido desde 2007, fornece dados essenciais para a formulação de políticas públicas de conservação e para o desenvolvimento de mecanismos de pagamento por serviços ambientais. Neste trabalho, Vibrans (2022) destaca que o estoque florestal crescente possibilita a comercialização de certificados de carbono, contribuindo para a

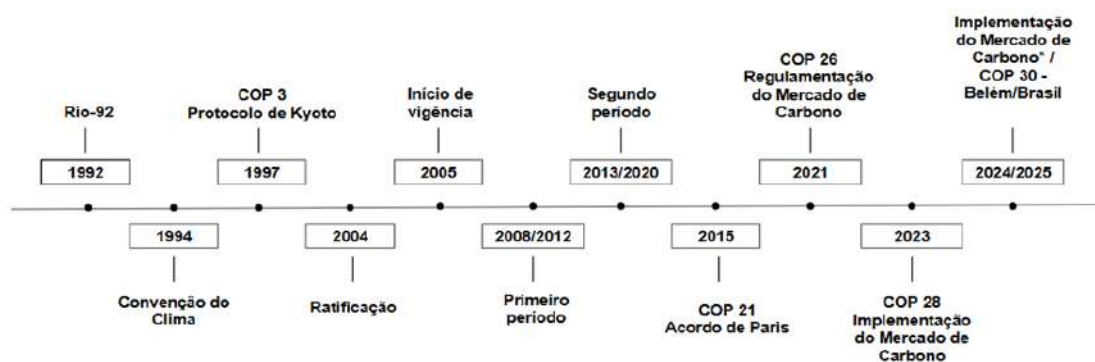
remuneração de proprietários florestais e incentivos à manutenção da vegetação nativa. Nesse contexto, os assentamentos localizados na Mata Atlântica surgem como oportunidade para iniciativas de preservação florestal, promovendo um modelo de ganhos para produtores rurais, meio ambiente e sociedade.

2.3 MERCADO DE CARBONO

O Mercado de Carbono surgiu como um mecanismo para mitigar as mudanças climáticas, consolidado por acordos internacionais como o Protocolo de Quioto e o Acordo de Paris. Esse mercado permite a comercialização de créditos de carbono, fomentando a proteção ambiental e a redução de emissões de gases de efeito estufa (GEE).

O Protocolo de Quioto (1997) introduziu mecanismos como o Comércio de Emissões (ETS), Implementação Conjunta (JI) e Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (CDM), permitindo que países e empresas negociassem créditos de carbono. Posteriormente, o Acordo de Paris (2015) substituiu Quioto, estabelecendo as Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDCs) e regulamentando o mercado de carbono por meio do artigo 6, que permite a comercialização de créditos entre países. A Figura 5 apresenta a linha do tempo dos principais avanços nas discussões climáticas até a COP 30, que ocorrerá em Belém/PA em 2025.

Figura 5. Linha do tempo sobre discussões e acordos pelo clima



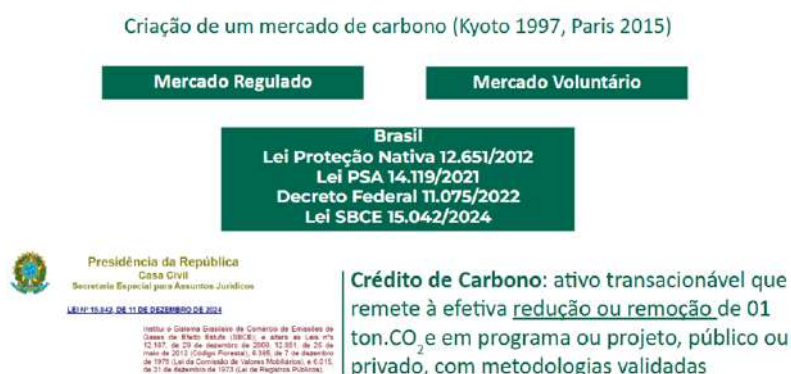
* A COP 28 não conseguiu avançar na implementação efetiva do mercado de carbono no âmbito do Artigo 6 do Acordo de Paris. As negociações sobre as regras para a operacionalização dos mecanismos de comércio de créditos de carbono ficaram travadas devido a divergências entre os países, especialmente em relação à transparência, governança e integridade ambiental dos créditos.

O mercado de carbono divide-se em **Regulado e Voluntário**:

- **Mercado Regulado:** Vinculado a acordos internacionais, gerando Reduções Certificadas de Emissões (CERs). Inclui o Mecanismo de Desenvolvimento Sustentável (MDS) do Acordo de Paris, que viabiliza a comercialização de créditos para cumprimento das NDCs.
- **Mercado Voluntário:** Empresas e organizações compram créditos para neutralizar emissões sem obrigação legal, sendo regulado por padrões específicos.

A Figura 6 sintetiza os mercados de carbono, destacando suas diferenças e principais mecanismos.

Figura 6. Síntese sobre Mercado de Carbono



Fonte: Autores, 2024

Neste cenário, enquanto os mecanismos de mercado oficialmente regulamentados pelo Acordo de Paris estão em vigor, o Mercado Voluntário também continua ativo e movimenta uma quantia considerável de recursos em escala global.

O Brasil destaca-se como um importante protagonista nesse mercado devido ao desenvolvimento de Projetos Florestais de Conservação (conhecidos como Soluções Baseadas na Natureza). Empresas comprometem-se com essas iniciativas setoriais e organizacionais em busca da neutralização de suas emissões de carbono, visando alcançar a meta de emissões líquidas zero.

Dentre os principais padrões de carbono (Carbon Standards) usados no mercado voluntário, destacam-se:

- **Gold Standard:** Foco em redução de emissões e desenvolvimento sustentável.
- **Verified Carbon Standard (VCS - Verra):** Um dos mais aceitos globalmente, usado em projetos REDD+.
- **American Carbon Registry (ACR):** Utilizado tanto no mercado regulado quanto no voluntário.
- **SOCIALCARBON:** Criado no Brasil, voltado para projetos baseados na natureza.

Entre as principais metodologias do Mercado Voluntário, destacam-se:

- **REDD+:** Redução de emissões por desmatamento evitado, com categorias APD (desmatamento planejado evitado) e AUD (desmatamento não planejado evitado).
- **Aflorestamento, Reflorestamento e Revegetação (ARR):** Projetos que promovem recuperação florestal.
- **Agricultura e Pecuária Regenerativa (ALM):** Integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) e uso de bioinsumos.

Nesse sentido, de acordo com Novick et al. (2022), as soluções climáticas baseadas na natureza (NBCS) são estratégias de conservação, restauração e gestão melhorada em ecossistemas naturais e em funcionamento, com a principal motivação para mitigar as emissões de gases de efeito estufa (GEE) e remover CO₂ da atmosfera. As Soluções Baseadas na Natureza (SbN) têm sido discutidas nos principais centros acadêmicos, governamentais e por organismos internacionais como estratégia-chave de compensação de carbono a serem fomentadas, tanto pelo benefício socioambiental quanto pela geração de ativo financeiro sustentável. No Brasil, recentemente foi sancionada a Lei nº 14.904/2024, que estabelece diretrizes para a elaboração de planos de adaptação às mudanças climáticas. Entre os diversos avanços trazidos na Lei, destaca-se a integração e a priorização de medidas que contemplem a mitigação de GEE, por meio das SbN e infraestruturas baseadas na natureza, que trazem consigo co-benefícios dessa natureza (Brasil, 2024).

O Brasil se destaca pelo desenvolvimento de projetos florestais, sendo a Amazônia um bioma-chave para REDD+. Contudo, há um potencial crescente para outros biomas como a Mata Atlântica. A metodologia SCM 0003-V1.3, aplicada a áreas de conservação privadas, permite que proprietários gerem créditos de carbono por atividades de regeneração florestal, promovendo inclusão e sustentabilidade.

A comercialização de créditos de carbono é altamente dinâmica. A Tabela 1 apresenta a variação dos preços médios dos créditos nos mercados regulado e voluntário, variando entre US\$ 1 e US\$ 70/tCO₂e, com uma média histórica de US\$ 10. No entanto, estudos recentes, como o da Forest Trends (2023), apontam que projetos de reflorestamento e preservação ambiental podem gerar créditos avaliados até US\$ 50/tCO₂e, com potencial de valorização em mercados certificados internacionalmente, como VERRA e Gold Standard. Projetos que utilizam tecnologias avançadas, como monitoramento por satélite, podem aumentar em até 30% a eficiência na geração de créditos, conforme destacado pelo Banco Mundial (2023). A proporção entre créditos emitidos e aposentados/consumidos também afeta os preços.

Tabela 1. Média histórica do preço do crédito de carbono

	Last	Change	YTD
Compliance Markets			
European Union	€71,15	-	-5,37%
UK	\$42,73	-	17,45%
Australia (AUD)	\$33,50	-3,18%	-7,19%
New Zeland (NZD)	\$63,50	-	1,60%
South Korea	\$6,49	-	-
China	¥89,56	-	-8,13%
Voluntary Markets			
Aviation Industry Offset	\$0,33	-	153,85%
Natures Based Offset	\$0,50	-1,96%	-13,79%
Tech Based Offset	\$0,35	-	-

Fonte: carboncredits.com (Adaptação, 2025)

O mercado de carbono continua em expansão, impulsionado por regulamentações e compromissos corporativos, com expectativa de crescimento nas próximas décadas devido ao aumento da demanda por compensações de carbono e transição para economias de baixo carbono.

Metodologias envolvendo reflorestamento e REDD+ são os projetos considerados de maior potencial dentro dos mercados, sobretudo na Região Amazônica ou Amazônia Legal.

No entanto, nota-se a necessidade de buscar outras metodologias para além da metodologia REDD, sobretudo para Biomas, como o da Mata Atlântica. Embora escassos, há estudos que revelam o potencial deste Bioma na remoção de carbono, inclusive demonstrando a capacidade de remoção por diferentes idades de florestas, quando comparadas ao Bioma Amazônico (Bordin, 2023).

Neste estudo utilizamos como base para estudo de viabilidade de crédito de carbono nos assentamentos, a Metodologia para remoção de carbono em áreas de conservação privadas (SCM 0003-V1.3). Esta metodologia apresenta um procedimento para determinar a remoção anual de CO₂ da atmosfera por áreas de vegetação nativa localizadas em propriedades privadas no Brasil. Ela foi concebida com base no entendimento da real contribuição dessas áreas para a remoção anual de CO₂ da atmosfera. Em vista de sua particularidade, a metodologia se aplica a projetos AFOLU, mais especificamente a categorias de projetos de conservação, o que implica a exclusão de qualquer atividade que degrade e/ou impacte negativamente a terra.

A área elegível do projeto corresponde a formações primárias manejadas e formações secundárias manejadas de vegetação nativa, decorrentes de atividades antropogênicas de remoção de GEE, o que inclui a regeneração natural assistida pelo homem em propriedade privada legalmente declarada, independentemente de quaisquer instrumentos legais de conservação ambiental obrigatória ou voluntária.

De acordo com a Social Carbon, a motivação social subjacente ao desenvolvimento de metodologias de remoção de carbono (SCM 0003-V1.3), é a democratização do acesso ao mercado gerador de créditos de carbono, para permitir que milhares de proprietários de terras obtenham reconhecimento e remuneração pela prestação de serviços ambientais envolvendo a remoção de CO₂ da atmosfera, o que contribui diretamente para mitigar os efeitos das mudanças climáticas. Além disso, essa metodologia tem o objetivo maior de fornecer incentivos financeiros aos proprietários de terras brasileiros que promovam a conservação nativa em suas terras, que muitas vezes não são reconhecidas por tais atividades (Social Carbon, 2023).

Nota-se que a metodologia torna elegível a geração de créditos de carbono em áreas de conservação, como Reserva Legal e Áreas de Preservação Permanente, diferentemente de Projetos REDD e outros mecanismos do Mercado de Carbono.

2.4 TENDÊNCIAS DA REGULAÇÃO NO BRASIL E OPORTUNIDADES PARA OS ASSENTAMENTOS RURAIS NO ESTADO

O mercado de carbono tem se mostrado uma ferramenta eficaz na mitigação do aquecimento global, sendo especialmente relevante para a Amazônia e outras regiões como a Mata Atlântica. Além disso, os créditos de carbono, como medida para reduzir emissões de gases de efeito estufa (GEE), são reconhecidos por seu potencial em atrair capital internacional e impulsionar novos setores econômicos (Dias, 2023). A crescente demanda por créditos de alta qualidade e baseados na natureza abre novas oportunidades para projetos que gerem benefícios climáticos e sociais (Koh et al., 2021; Forest Trends, 2019).

O Brasil, com sua vasta área de florestas naturais, incluindo a Mata Atlântica, tem um grande potencial para a implementação de projetos de recomposição de áreas degradadas. Contudo, há poucos estudos sobre o impacto desse bioma em serviços ecossistêmicos e regulação térmica (SAD, 2022-2023). O Observatório do Clima destaca que os setores de energia e agropecuária são os principais emissores de GEE no Brasil, com o estado de Santa Catarina sendo um exemplo de região para estudo devido à sua configuração territorial e econômica (Barreira, 2022).

A Lei nº 15.042, sancionada em dezembro de 2024, institui o Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de GEE (SBCE), criando um mercado regulado no país para limitar e comercializar emissões. O SBCE adota o sistema de cap-and-trade, onde o governo estabelece um limite máximo de emissões para setores específicos e permite que as empresas negociem créditos de carbono. Empresas que reduzirem suas emissões abaixo desse limite podem negociar o excedente de permissões com outras que não atingiram suas metas, e os ativos de mercado, que viabilizarão a comercialização e o controle das emissões, entre eles, as Cotas Brasileiras de Emissão (CBE), que representam permissões de emissão atribuídas às empresas dentro do limite estabelecido e os Certificados de Redução

ou Remoção Verificada de Emissões (CRVE), que correspondem a reduções ou remoções de emissões verificadas, que podem ser comercializadas no mercado. Contudo, até que seja publicado o decreto regulamentador detalhando a implementação do Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões (SBCE), o funcionamento do mercado regulado de carbono no Brasil ainda dependerá de normas transitórias e diretrizes que possam ser adotadas por órgãos competentes, como o Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (MMA).

Essa regulação tem como objetivo contribuir para o cumprimento, por parte do Brasil, de seus compromissos climáticos internacionais, com metas de redução de emissões de gases de efeito estufa (GEE) estabelecidas em sua Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC), conforme o Acordo de Paris. De acordo com o Relatório Bienal de Transparência (BTR1, na sigla em inglês), submetido pelo Brasil em dezembro de 2024 à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (UNFCCC), o país estabelece a meta de reduzir as emissões de GEE entre 59% e 67% até 2035, em relação aos níveis verificados no ano de 2005 (Brasil, 2024). Além disso, a Lei 14.904/2024 sancionada para criar planos de adaptação climática destaca a importância das infraestruturas baseadas na natureza e a priorização de soluções baseadas na natureza para o combate às mudanças climáticas (Brasil, 2024).

O Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA) desempenha um papel importante na reforma agrária e ordenamento fundiário no Brasil, promovendo o desenvolvimento sustentável e a integração de pequenos produtores rurais. Em Santa Catarina, o INCRA tem trabalhado para fornecer acesso à terra, infraestrutura e crédito para agricultores, incluindo silvicultores, aquicultores e pescadores, com foco em atividades agropecuárias (INCRA, 2023).

Os assentamentos rurais formados pelo INCRA devem seguir a legislação ambiental, incluindo a manutenção de uma Reserva Legal (RL) de 20% da área para preservação da vegetação nativa, conforme o Código Florestal (Lei nº 12.651/2012). Além disso, em algumas áreas, existem Áreas de Preservação Permanente (APPs), protegidas por lei, que desempenham um papel crucial na preservação de recursos hídricos e da biodiversidade.

Essas áreas de Reserva Legal e APPs podem ser agrupadas para desenvolver projetos que gerem créditos de carbono, com a participação de pequenos produtores. A possibilidade de gerar créditos de carbono por meio de

práticas sustentáveis e pela preservação da vegetação nativa é uma oportunidade para os assentamentos rurais. Embora a Mata Atlântica ainda seja pouco explorada para essa finalidade, existem plataformas como Verra e Social Carbon que viabilizam a implementação de projetos agrupados, beneficiando os participantes de forma proporcional às suas áreas de terra.

Os co-benefícios dos projetos de carbono são essenciais, incluindo a melhoria da qualidade do ar e da água, proteção contra enchentes, geração de energia elétrica para áreas remotas e aumento de oportunidades de emprego (Boyd et al., 2009; Castro & Michaelowa, 2010). Estes co-benefícios são particularmente relevantes para a redução da pobreza e o desenvolvimento local, além da mitigação de GEE (Miyatsuka & Zusman, 2012).

Investimentos em proteção florestal e em projetos de carbono não só contribuem para a redução das emissões de GEE, mas também geram benefícios socioeconômicos, como a promoção da inclusão social, econômica e de gênero nas comunidades locais (Sarira, 2022). Esses projetos estão alinhados com a Agenda 2030 da ONU e seus 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, o que demonstra seu potencial para contribuir para um futuro mais sustentável e resiliente (ONU, 2015).

2.5 ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA (IVDN) E TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE DA TERRA EM PROJETOS DE ASSENTAMENTOS: FERRAMENTAS DE CONTROLE DE DESMATAMENTO

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN) e a Temperatura de Superfície da Terra (TST) são ferramentas importantes no monitoramento ambiental, utilizadas para a avaliação e controle de desmatamento em projetos de crédito de carbono. Estas técnicas permitem analisar a vegetação e os processos de degradação do solo com precisão, contribuindo para garantir a integridade e a eficácia dos projetos de carbono no Brasil, especialmente nas áreas de grandes biomas como a Amazônia e a Mata Atlântica.

O Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (IVDN) responde à densidade da vegetação, cor e diferentes estados de umidade do solo e práticas de cultivo, devido à intensa absorção na região visível do espectro

eletromagnético, em 0,475 µm e 0,65µm, por parte da clorofila. A reflectância espectral da superfície terrestre fornece informações a respeito da presença da clorofila e também das condições da vegetação (Paiva *et al.*,2011). É um índice amplamente utilizado para medir a saúde e a densidade da vegetação, calculado a partir da diferença entre as bandas de luz visível e infravermelha próxima, captadas por satélites. A fórmula básica do IVDN é a seguinte:

$$IVDN = \frac{(NIR - Vermelho)}{(NIR + Vermelho)}$$

Onde *NIR* é a banda do infravermelho próximo e *Vermelho* é a banda da luz visível.

O IVDN varia entre -1 e 1, com valores mais altos indicando vegetação densa e saudável e valores mais baixos indicando áreas desmatadas ou degradadas. Essa ferramenta é eficaz para monitorar o crescimento da vegetação e, em projetos de crédito de carbono, ajudar a quantificar o carbono sequestrado.

Já a Temperatura de Superfície da Terra (TST) é uma variável que mede a temperatura da superfície terrestre a partir de imagens de satélite. Ela é um indicador direto de alterações na cobertura do solo, como desmatamento, degradação ou mudanças na vegetação. A temperatura da superfície da Terra tem papel de destaque nos estudos de mudanças climáticas de diferentes escalas e também nas mudanças ambientais. Quando há abundância de vegetação, a Ts desta área irá se aproximar mais da temperatura das folhas, tendo uma grande relação com o dossel desta (Luna Gusmão *et al.*; 2013). De acordo com Weng e Lu (2008), a relação entre a temperatura da superfície e a densidade de vegetação é um estudo crescente no sensoriamento remoto.

Neste sentido, a utilização de TST em conjunto com o IVDN oferece uma visão mais completa do estado da cobertura do solo e permite um monitoramento contínuo das áreas de projetos de carbono.

2.5.1 Inserção do IVDN e TST em Projetos de Crédito de Carbono

Os projetos de crédito de carbono visam a redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE), principalmente por meio de atividades como o reflorestamento, a recuperação de áreas degradadas e a conservação das florestas nativas. Para que esses projetos sejam bem-sucedidos, é essencial que haja um monitoramento constante das áreas envolvidas, para garantir que as emissões sejam realmente evitadas e que o carbono seja efetivamente sequestrado pela vegetação.

O IVDN e a TST desempenham um papel crucial nesse monitoramento. O IVDN permite quantificar a vegetação em termos de densidade e saúde, ajudando a avaliar a quantidade de carbono armazenado nas áreas do projeto. Quanto maior o valor do IVDN, maior é a quantidade de vegetação saudável e, consequentemente, maior é o potencial de sequestro de carbono.

A Temperatura de Superfície da Terra (TST), por sua vez, é uma ferramenta eficaz para detectar mudanças abruptas na cobertura do solo. Quando há desmatamento ou degradação em uma área de projeto de crédito de carbono, a TST pode detectar aumentos na temperatura da superfície, o que indica a perda de vegetação e o impacto dessas atividades no ambiente. Além disso, a TST pode ser usada para identificar áreas propensas a queimadas, um fator crítico em regiões como a Amazônia, onde o desmatamento é frequentemente impulsionado por atividades ilegais de incêndios. A TST permite, assim, uma resposta rápida a mudanças, permitindo a implementação de ações corretivas para evitar a perda de créditos de carbono (Sano et al., 2019).

Essas ferramentas são utilizadas em conjunto com outras tecnologias de monitoramento, como o sensoriamento remoto e o uso de drones, para fornecer um controle mais eficaz das áreas de projetos de crédito de carbono. O monitoramento contínuo com IVDN e TST ajudam a garantir que os projetos cumpram as metas estabelecidas para a redução das emissões de GEE e a preservação ambiental. Além disso, os dados gerados por essas ferramentas são fundamentais para a validação e verificação dos créditos de carbono, garantindo que apenas as áreas que cumpram as condições legais e ambientais possam gerar créditos válidos para comercialização.

Exemplos de Aplicação e Benefícios no Controle de Desmatamento, com a utilização do IVDN e da TST em projetos de crédito de carbono tem mostrado resultados significativos no controle do desmatamento e na mitigação das mudanças climáticas. Por exemplo, em regiões da Amazônia, a integração de IVDN e TST tem sido utilizada para monitorar a saúde das florestas e identificar rapidamente áreas em risco de desmatamento ou degradação. Essas ferramentas permitem que as equipes de monitoramento identifiquem áreas críticas e atuem rapidamente para corrigir os problemas, muitas vezes com o uso de tecnologias de fiscalização, como imagens de satélite em alta resolução e ferramentas de mapeamento.

Além disso, o uso combinado de IVDN e TST é um recurso valioso para a gestão adaptativa de projetos, ou seja, para ajustar as estratégias de manejo e intervenção com base nas informações obtidas. Por exemplo, em áreas de risco de degradação, o aumento da TST pode indicar a necessidade de ações preventivas, como o reforço da proteção contra incêndios ou a realização de atividades de restauração de vegetação. Isso ajuda a manter a integridade do projeto e a maximizar os benefícios climáticos e socioeconômicos.

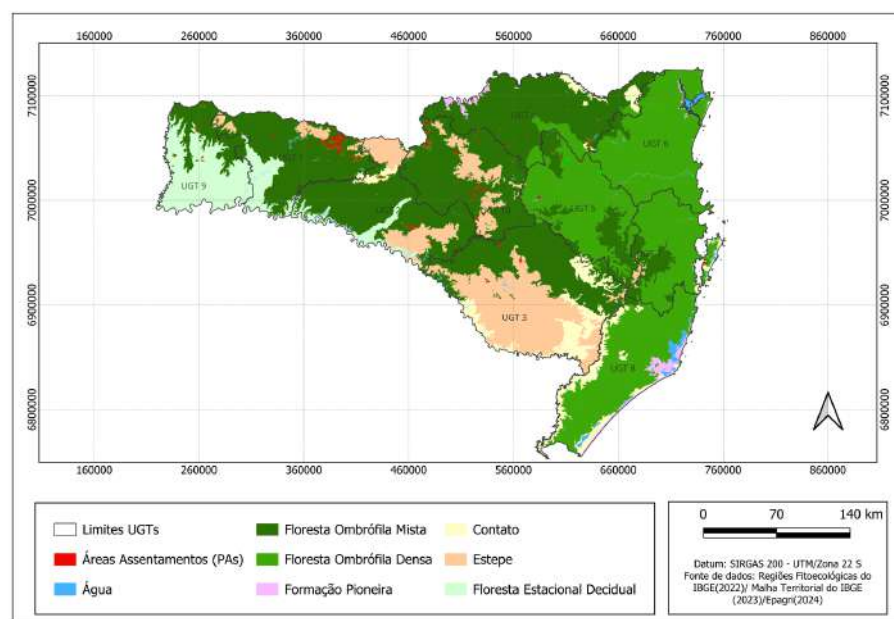
Essas técnicas são essenciais para o monitoramento e controle de desmatamento em projetos de crédito de carbono, especialmente em biomas críticos como a Amazônia e a Mata Atlântica. Estas tecnologias permitem uma avaliação precisa da vegetação e da cobertura do solo, facilitando a detecção precoce de atividades ilegais ou degradadoras, como o desmatamento e as queimadas. Além disso, elas desempenham um papel fundamental na validação e verificação dos créditos de carbono, contribuindo para a transparência e credibilidade do mercado de carbono. Ao integrar essas ferramentas em projetos de crédito de carbono, é possível promover um desenvolvimento sustentável, combater o desmatamento e mitigar os impactos das mudanças climáticas.

3 METODOLOGIA

3.1 ÁREA DE ESTUDO

O estado de Santa Catarina está inserido na Região Sul do Brasil e tem extensão territorial de 95.738 km², 295 municípios e aproximadamente 7 milhões de habitantes. Conforme descrito por Oliveira e Quadro (2024), Santa Catarina está localizada entre as latitudes 26°S e 29°S e as longitudes 48°W e 53°W e é delimitada geograficamente por geossistemas e geofácies distintos que moldam seu relevo e clima. A classificação climática mais recente e robusta (Novais e Machado, 2023) identificou quatro tipos de clima no estado. A costa foi classificada como clima tropical ameno úmido costeiro do sul do Brasil, as áreas centrais como clima subtropical do sul do Brasil, as regiões de planície no extremo oeste como clima tropical ameno úmido do sul do Brasil e as áreas mais altas do Planalto Serrano como clima temperado úmido do sul do Brasil. Ao todo são 144 PAs, distribuídos em 53 municípios, ocupando 93.872 ha com um total de 4.651 assentados nestas áreas (Figura 7).

Figura 7. Mapa das regiões fitoecológicas do Estado de Santa Catarina com a distribuição dos 144 assentamentos rurais



Fonte: Autores (2025)

3.2 MÉTODOS

O presente estudo será norteado por meio de 5 etapas:

3.2.1 Mapeamento de áreas de remanescentes florestais localizados nos projetos de assentamento de Santa Catarina

Para identificação das áreas utilizaram-se os dados públicos do acervo fundiário do INCRA Nacional, onde se teve acesso às poligonais de cada Projeto de Assentamento de SC. De posse dos dados iniciou-se a checagem dos PA's e suas respectivas áreas (ha) com a Divisão de Assentamentos do INCRA/SC. Após efetuou-se o carregamento dos dados de entrada com os limites das áreas (PAs) de interesse em formato vetorizado (polígonos) e as imagens classificadas e georreferenciadas do uso e cobertura da terra (raster), no software de geoprocessamento QGIS 3.28.

3.2.2 Caracterização das florestas nativas e seus remanescentes de acordo com a metodologia do MapBiomass

Nesta etapa, foi aplicada a metodologia da Social Carbon, protocolo SCM 0003.V1.0-2023, que estabelece procedimentos para a quantificação da remoção anual de CO₂ da atmosfera por áreas de vegetação nativa situadas em propriedades privadas no Brasil. Este protocolo utiliza ferramentas como o MapBiomass para a delimitação da área elegível do projeto, a qual deve corresponder a formações primárias manejadas e formações secundárias manejadas de vegetação nativa, resultantes de atividades antropogênicas de remoção de gases de efeito estufa (GEE), incluindo processos de regeneração natural assistida em propriedades privadas legalmente registradas. O processamento inicial envolveu o refinamento das imagens no ambiente QGIS, utilizando como base a Coleção 9 do projeto MapBiomass, publicada em agosto de 2024, que disponibiliza dados anuais de cobertura e uso da terra para o período de 1985 a 2023 (MapBiomass Brasil, 2024).

Para a análise histórica da vegetação, foram utilizadas imagens no formato matricial (pixels de 30x30 m) provenientes da classificação anual de imagens Landsat, geradas por algoritmos de aprendizado de máquina (machine learning) na plataforma Google Earth Engine. Os dados, disponibilizados em formato GeoTIFF com informações de georreferenciamento, foram processados automaticamente no QGIS por meio de um modelo desenvolvido especificamente para esta pesquisa. O modelo realizou o recorte da área de interesse com aplicação de buffer, reprojeção para sistema métrico, reclassificações para categorias globais simplificadas, vetorização das classes de uso e cobertura da terra e, posteriormente, extração e análise das camadas referentes à vegetação nativa. As diferenças e variações anuais foram avaliadas por meio de algoritmos de sobreposição espacial, permitindo identificar as áreas de supressão, incremento e estabilidade da vegetação ao longo de um período de dez anos.

Ao final do processamento, de acordo com os parâmetros estabelecidos pela metodologia da Social Carbon SCM 0003.V1.0-2023, as áreas de vegetação nativa remanescente foram identificadas e delimitadas com uma acurácia mínima de 90%. A validação da acurácia foi realizada por meio da plataforma Google Earth Engine, utilizando imagens de alta resolução provenientes do satélite Sentinel-2. Esse procedimento permitiu a comparação e o refinamento dos dados classificados, assegurando a precisão necessária para a análise multitemporal da cobertura vegetal conforme os critérios metodológicos definidos.

3.2.3 Estabelecimento dos critérios e classes para o estudo de viabilidade de geração de crédito de carbono das áreas de remanescentes florestais

A partir dos dados gerados estabeleceram-se alguns critérios e classes de análise, entre elas:

- Critério de viabilidade (Cv_1): Área (ha) dos remanescentes florestais, independente do Projeto de Assentamento: Para a classificação estabeleceu-se um número de intervalos de áreas, acima de 500 ha, entre 100 ha e 500 ha e acima de 500 ha, do qual resultou na totalização das áreas (ha) dentro de cada intervalo para o estabelecimento do número de áreas por classe.

- Critério de viabilidade (Cv_2): Área total (ha) dos remanescentes florestais por Projeto de Assentamento: Para a classificação estabeleceu-se um nº de intervalos de área (ha) por PA; do qual resultará na totalização das áreas (ha) dentro de cada intervalo para o estabelecimento do número de áreas por PA.

3.2.4 Estimativa da projeção de créditos de remoção de carbono em cada critério/classe adotado

Nesta etapa foram calculados o fator de incremento de carbono anual (IAC), a projeção de créditos de remoção de CO_2 (RVy), a projeção de créditos (PC) e a projeção de créditos final (PCF), a partir das fórmulas sugeridas tanto pela Metodologia Social Carbon SCM0003V3 (2023), bem como pelas Diretrizes do IPCC (2005). No entanto, as fórmulas foram adaptadas dadas as especificidades do Projeto.

Para determinar o fator de incremento de carbono anual (IAC), utilizou-se a equação 1.

$$IAC = (AGB + BGB) * Fc \quad \textbf{Equação 1}$$

Onde:

IAC - Incremento anual de carbono ($Mg\ CO_{2eq}.ha^{-1}.ano^{-1}$);

AGB - fator de mudança líquida de carbono acima do solo ($1,55\ Mg\ C.ha^{-1}.ano^{-1}$) (Bordin et al., 2023);

BGB - fator de biomassa de carbono abaixo do solo, referente a 20% do AGB ($0,31\ Mg\ C.ha^{-1}.ano^{-1}$) (IPCC, 2006);

Fc - Fator de conversão para dióxido de carbono equivalente (CO_{2e}), que se trata de uma relação entre o peso molecular do dióxido de carbono (44 Mol) e do carbono (12 Mol), ou seja, $44/12$, resultando em 3,66.

Ou seja,

$$I_{Ac} = (1,55 \text{ Mg C.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1} + 0,31 \text{ Mg C.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}) \times 44/12 = 6,82 \text{ Mg CO}_{2e}.\text{ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$$

Para determinar a projeção de remoção de créditos de carbono (RV_y) para cada classe, utilizou a Equação 2. Neste caso, um (01) crédito de carbono equivale a 01 (um) Mg CO_{2e} .

$$RV_y = I_{Ac} * A$$

Equação 2

Onde:

RV_y - Remoção de CO_{2e} para cada classe de cobertura vegetal durante o ano y (Mg $\text{CO}_{2e}.\text{ano}^{-1}$)

I_{Ac} - Incremento anual de carbono (6,82 Mg $\text{CO}_{2e}.\text{ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$)

A - Área total da respectiva classe de remanescente florestal (ha).

Para a análise de riscos quanto à geração de créditos, consideram-se os critérios da metodologia para Remoção de Carbono em Áreas de Conservação Privadas (SCM0003 V.3) do Padrão Social Carbon, onde se determinou um risco de vazamento de 0% e um risco de não-permanência de 20%, ambos sobre o potencial de créditos gerados ao ano (SOCIAL CARBON, 2023). O risco de vazamento indica a proporção de área de desmatamento que poderia ocorrer no caso do projeto ser implantado em uma região onde as taxas de desmatamento são determinadas.

No presente estudo, o vazamento é desconsiderado (0%), pois se considera que a implantação do projeto não deva acarretar em aberturas de novas áreas (desmatamento). Por outro lado, o risco de não-permanência é projetado como um resguardo de créditos que são reduzidos em função de riscos de desastres naturais, como incêndios, ciclones, etc. Neste caso, mesmo com a raridade de incêndios florestais, manteve-se uma projeção de 20% como risco de perda natural dos remanescentes.

Para o cálculo de projeção de geração de créditos de carbono (monetização), utilizou-se a equação 3. Para a projeção em questão, foi adotado o valor médio de USD 10 por crédito de carbono, considerando a instabilidade significativa desse

mercado, onde o preço pode variar amplamente, de USD 2 a USD 80. Embora o valor médio histórico seja estabelecido em torno de USD 10, é importante notar que essas cifras estão sujeitas a flutuações diárias. Dessa forma, optou-se por uma projeção conservadora, considerando os aspectos do Mercado.

$$PR = RV_y * (RV + (1 - RNP)) * VV$$

Equação 3

Onde:

PR - Projeção de recursos de carbono anual (USD);

RV_y - Remoção de CO_{2e} para cada classe de cobertura vegetal durante o ano y (Mg CO_{2e}. ano⁻¹)

RV - Risco de vazamento (0%);

RNP - Risco de não-permanência (20%);

VV - Valor unitário médio de venda (USD 10).

Para determinar a projeção de créditos de remoção de carbono (PCC) e a projeção de créditos de remoção final (PRF) no ciclo de vida de 10 anos utilizou-se as equações 4 e 5, respectivamente.

$$PCC = RNP * CV$$

Equação 4

Onde:

PCC - Projeção de créditos de remoção de carbono (Mg CO_{2e});

RNP - Risco de não-permanência (20%);

CV - Ciclo de vida de projeto (ano), neste caso, de 10 anos.

$$PRF = PR * CV$$

Equação 5

Onde:

PRF - Projeção de recurso final (USD);

PR - Projeção de recursos de carbono anual (USD);

CV - Ciclo de vida de projeto (ano), neste caso, de 10 anos.

3.2.5 Avaliação da correlação entre variação da temperatura e taxas de desmatamento na região dos assentamentos ao longo do tempo

Esta etapa consistiu em 5 fases, entre elas:

- Levantamento e análise dos dados de desmatamento em quatro assentamentos, referentes ao período de 2019 a 2024, com base na Plataforma Alerta do MapBiomias. Dentre os assentamentos analisados, destaca-se uma área de 85 ha desmatada na divisa entre os assentamentos 20 de Novembro e 29 de Junho. No assentamento Rio do Norte, localizado no município de Rio dos Cedros, foram identificados 5,79 ha de área desmatada. Por fim, o assentamento Jangada, situado em Calmon, apresentou 3,64 ha de desmatamento.
- Foram obtidos dados de satélite da área por meio do catálogo de imagens de satélite do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) para cada assentamento. Utilizaram-se imagens dos satélites Sentinel-2 (bandas NIR e RED) e Landsat-8 OLI (Operational Land Imager, bandas 4 e 5), adquiridas entre 2020 e 2024, selecionando-se a melhor cena sem cobertura de nuvens disponível nesse período, especialmente nos mesmos meses de detecção das imagens adquiridas pelo Alerta MapBiomias (Tabela 2).
- Para cada assentamento, geraram-se dois mapas de IVDN utilizando imagens do satélite Sentinel-2 adquiridas entre 2020 e 2024, com o objetivo de comparar a cobertura vegetal ao longo desse período e sua influência com a Temperatura de Superfície da Terra (TST). A análise foi realizada a partir de dados espectrométricos em duas bandas específicas (bandas NIR e RED), por meio da razão normalizada entre a diferença e a soma das bandas do infravermelho próximo (NIR) e do vermelho (RED). O valor do IVDN varia entre -1 e 1: quanto mais próximo de -1, maior a ausência de vegetação, indicando superfícies com água; valores próximos a 0 indicam áreas com pouca vegetação ou solo nu; e valores entre 0 e 1 indicam a presença de vegetação, com valores mais elevados refletindo vegetação mais densa e saudável (SatMapper, 2024), conforme a equação 6.

$$IVDN = \left(\frac{NIR-RED}{NIR+RED} \right)$$

Equação 6

Onde:

IVDN = Índice de Vegetação por Diferença Normalizada

NIR = reflectância na banda do infravermelho próximo

RED = reflectância na banda do vermelho

O cálculo do IVDN foi realizado utilizando as bandas NIR e RED extraídas da imagem do satélite Sentinel-2 (bandas 3 e 4). Após a separação das bandas de interesse para o cálculo da vegetação, a equação 6 foi inserida na calculadora raster QGIS 3.28 para cálculo do IVDN e as respectivas imagens foram obtidas.

Para geração dos gráficos de IVDN foi utilizado a Plataforma Brazil Data Cube do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), onde foram extraídos dados multidimensionais gerados a partir de imagens prontas para análise (Analysis-Ready Data – ARD) dos satélites CBERS-, entre os anos 2020 e 2024. Para obtenção do gráfico IVDN foram selecionadas as áreas com foco de desmatamento, utilizando como fonte de dados do Alerta MapBiomias.

→ Para o cálculo da Temperatura da Superfície da Terra (TST), foram utilizados algoritmos e ferramentas do Sistema de Informação Geográfica (SIG) QGIS 3.28. A TST foi calculada a partir da banda térmica 10 (TIRS - Thermal Infrared Sensor) do satélite Landsat 8, com duas imagens adquiridas entre 2020 e 2024, para cada assentamento, com o objetivo de compará-las às imagens geradas do IVDN no mesmo período. Priorizaram-se imagens no mesmo período das adquiridas para a geração dos mapas de IVDN. Para calcular a TST, os valores de pixel da imagem (nível de cinza) do sensor TIRS foram convertidos em radiância espectral (Equação 7) utilizando a calculadora raster do QGIS. Em seguida, gerou-se o raster de temperatura da superfície em Kelvin (Equação 8) e obteve-se a Temperatura da Superfície da Terra em graus Celsius (Equação 9).

$$RE = (0,00033420 \times B10) + 0,1$$

Equação 7

Onde:

RE = radiância espectral

B10 = Banda 10 Landsat 8

$$TK = \frac{1321,0789}{\ln \frac{774,8853}{(RE + 1)}}$$

Equação 8

Onde:

TK= temperatura Kelvin (K)

RE = radiância espectral

$$T(^{\circ}C) = TK - 273,15$$

Equação 9

TK = temperatura de brilho em Kelvin (K)

T(^{\circ}C) = temperatura de brilho em graus Celsius (^{\circ}C)

- A análise da correlação entre a variação da temperatura e as taxas de desmatamento nos assentamentos, no período de 2019 a 2021, foi realizada a partir de imagens processadas no software QGIS, versão 3.28. As imagens de IVDN (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) e TST (Temperatura da Superfície Terrestre) foram analisadas de forma comparativa, considerando-se os polígonos das áreas desmatadas. Avaliou-se a resposta espectral da vegetação (IVDN) e a variação da temperatura (TST) sobre as mesmas áreas e períodos, permitindo identificar possíveis relações entre a perda de cobertura vegetal e o aumento da temperatura local.

4 RESULTADOS

4.1 PROJEÇÕES DE REMOÇÃO DE CARBONO

A partir dos resultados do mapeamento dos assentamentos, foram identificados 91.963,822 mil ha, distribuídos em 144 assentamentos, com 4.651 famílias assentadas (Quadro 1). Nota-se que, da área total dos assentamentos (91.963,822 mil ha), 28.327,59 mil ha (31%), referem-se à área total de remanescentes florestais, os quais estão distribuídos em 8.219 fragmentos de vegetação primária e secundária, com tamanhos variando entre 0,5 ha e 3 mil ha.

Quadro 1. Mapeamento e caracterização dos assentamentos rurais

Unidade de Gestão Técnica		Identificação e Caracterização dos Assentamentos				
UGT	FID	Nº	Assentamento	Nº de beneficiários	Área total (ha)	Área remanesc. (ha) 2014 a 2023
UGT 1 - Oeste Catarinense (Anexo 1)	9	1	CHE GUEVARA	9	180,1726	55,0739
	10	2	SERRA DOS BURACOS	18	203,5275	44,6024
	11	3	JURUÁ	33	434,2038	40,5001
	12	4	NOVO HORIZONTE	47	761,0809	99,7498
	14	5	MARIA SILVESTON	6	87,8436	11,1845
	17	6	PAPUAN II	50	892,0843	186,8857
	18	7	SAUDADES	62	918,456	143,7968
	23	8	RECANTO OLHO D ÁGUA	19	470,4376	133,1108
	27	9	CONQUISTA DO HORIZONTE	23	609,0065	219,2177
	36	10	TABORDA	11	214,6381	43,3135
	39	11	ZUMBI DOS PALMARES	83	1798,7366	541,5507
	43	12	BELA VISTA	54	1292,4637	239,9245
	44	13	SANDRA	47	1002,6638	208,1082
	45	14	JOÃO BATISTA	29	417,4503	99,7466
	51	15	DERRUBADA	31	589,0662	109,1655
	52	16	INDIANÓPOLIS	78	1363,731	156,6305
	53	17	JOSE MARIA	235	3960,2266	830,3408
	58	18	13 DE NOVEMBRO	86	1813,0039	307,8524
	59	19	OLÍVIO ALBANI	28	443,4305	153,2389
	62	20	NOVA ARAÇÁ	7	94,6802	11,1483
	71	21	DOM JOSÉ GOMES	31	382,8217	151,4011
	72	22	PAPUAN I	24	359,3396	79,4382
	75	23	SANTA ROSA I	69	1196,9209	279,3267
	78	24	SANTA ROSA II	33	670,389	145,3159

	81	25	CAPÃO GRANDE	91	1369,8434	299,6964
	83	26	SAPATEIRO I	12	220,5776	66,6930
	88	27	VOLTA GRANDE	63	1238,2695	448,5067
	92	28	QUIGUAY	13	185,8153	74,5304
	94	29	SAPATEIRO II	17	257,033	82,2711
	95	30	20 DE NOVEMBRO	41	1306,6744	348,0632
	96	31	BOA VISTA DO JARDIM	45	659,2621	27,0670
	105	32	SÃO SEBASTIÃO	29	322,2135	29,5894
	107	33	TRES PALMEIRAS	41	756,4755	78,8924
	109	34	MARIA ROSA	11	223,4233	41,2611
	111	35	CONQUISTA DOS PALMARES II	18	430,834	110,8649
	115	36	29 DE JUNHO	33	829,926	337,1473
	118	37	NOVA AURORA	43	721,9483	179,7577
	121	38	13 DE JUNHO	40	749,0451	157,6942
	122	39	UNIAO DO OESTE	34	704,3401	159,3256
	123	40	ROSELI NUNES	82	1080,993	231,8569
	124	41	SANTA ROSA III	13	230,9382	55,3450
	126	42	MADRE CRISTINA	15	252,3816	60,3120
	134	43	CONQUISTA DE SEPÉ	25	523,2363	264,9733
	140	44	CHAPECÓ - GL01*			20,0547
	141	45	CHAPECÓ - GL02*			15,1806
UGT 2 - Meio Oeste Catarinense (Anexo 2)	13	46	FLORESTAN FERNANDES	6	139,0684	27,6236
	15	47	30 DE OUTUBRO	66	2003,7465	338,8256
	16	48	25 DE JULHO	8	218,1267	158,4849
	21	49	VITÓRIA	15	314,6473	87,7795
	25	50	TERRA VISTA	17	242,9259	110,2173
	41	51	FAZENDA VELHA	20	498,595	156,0143
	46	52	HERBERT DE SOUZA	24	423,3474	126,8376
	48	53	OZIEL ALVES PEREIRA	15	428,3559	205,4948
	67	54	OLARIA	18	395,5932	136,4583
	90	55	SÃO JOSÉ	64	1236,7328	299,4953
	93	56	SANTA RITA I	33	517,2466	117,5680
	97	57	PERDIZES	88	1570,814	469,0727
	103	58	VITÓRIA DOS PALMARES	28	445,8552	42,0796
	114	59	SANTA RITA II	5	60,6592	19,7913
	120	60	SEPÉ TIARAJÚ	14	382,8307	42,6065
	131	61	1º DE AGOSTO	49	842,5552	414,5687
UGT 3 - Planalto Sul Catarinense (Anexo 3)	1	62	ANITA GARIBALDI	44	537,8424	84,6426
	37	63	17 DE ABRIL	41	908,9638	189,3773
	50	64	PÁTRIA LIVRE	70	1163,5491	149,1351
	136	65	25 DE MARÇO	52	1341,427	279,8496
	144	66	ANTÔNIO FERREIRA DE SOUZA TONINHO*			36,3589
UGT 4 - Planalto Norte	3	67	CAMPINAS	6	113,5529	17,0497
	4	68	BROMÉLIAS	11	155,8323	122,6524

Catarinense (Anexo 4)	32	69	SÃO ROQUE II	36	702,095	139,8515
	33	70	HERDEIROS ARGEMIRO DE OLIVEIRA	15	422,1305	120,1121
	35	71	SÃO FRANCISCO	23	539,2661	242,2468
	38	72	NORILDA DA CRUZ	66	1411,3296	391,1386
	60	73	VASSOURA BRANCA	10	149,0007	56,2038
	65	74	RIO DA LAGOA	10	207,7668	53,0650
	68	75	MANOEL ALVES RIBEIRO (MIMO)	11	126,4866	54,1469
	80	76	RIO DO PITO	7	212,593	52,6462
	84	77	RIO DA SERRA	22	469,2864	137,0943
	87	78	BUTIÁ	33	760,029	239,5868
	102	79	NOVA CULTURA	32	492,145	171,7448
	113	80	SÃO JOÃO MARIA	31	615,1183	289,0230
	117	81	DOMINGOS CARVALHO	6	97,091	11,5589
	119	82	TRÊS ROSAS	13	152,1101	68,1916
	130	83	HERANÇA DO CONTESTADO	12	197,622	68,3353
	135	84	VALE DA CONQUISTA	8	136,6254	0,7574
	139	85	PA EDSON SOIBERT*			373,1086
UGT 5 - Vale do Itajaí (Anexo 5)	5	86	MORRO DO TAIÓ	31	735,1167	325,8849
	22	87	ÁGUAS CRISTALINAS	33	442,7545	153,4406
	29	88	SANTA CRUZ DOS PINHAIS	32	2968,452	2610,1056
	31	89	COMUNIDADE CAFUZA	32	1017,0568	949,3118
	40	90	MIGUEL FORTES DA SILVA	28	950,698	234,1206
	54	91	25 DE MAIO	47	1402,7462	612,5147
	98	92	NOVA CONQUISTA	9	287,0292	157,6766
	100	93	ITAJAÍ MIRIM	29	416,1369	161,2040
	138	94	MORRO DO TAIÓ II	31	671,0659	241,2331
UGT 6 - Litoral (Anexo 6)	47	95	JUSTINO DRASZEWSKI	4	51,2992	29,3234
	85	96	RIO DO NORTE	21	715,0215	462,8207
	112	97	CONQUISTA NO LITORAL	11	102,9061	86,3393
UGT 7 - Região Metropolitana (Anexo 7)	145	98	IMÓVEL RURAL MATRÍCULA 262* (COMUNA)			146,4926
UGT 9 - Extremo Oeste Catarinense (Anexo 8)	6	99	SANGA AZUL	13	218,66	64,6994
	20	100	ANTAS	32	491,9414	152,6717
	26	101	BANDEIRANTES	6	170,1392	62,5867
	30	102	SÃO LUIZ I	3	98,0486	15,2471
	34	103	TRACUTINGA	46	1210,6275	591,9483
	61	104	ROSÁRIO	21	278,2378	76,8621
	63	105	APARECIDA	14	278,4024	71,1683
	66	106	SÃO LUIZ II	20	293,4393	54,2490
	70	107	BARRA ESCONDIDA	27	490,9289	136,1321
	73	108	ENTRE RIOS	61	1007,2773	407,6621
	76	109	LAJEADO GRANDE	76	1263,9351	379,4188
	101	110	UNIÃO	35	467,4694	79,8321

	142	111	RABO DE GALO*			113,6787
	143	112	JACUTINGA*			94,0002
UGT 10 - Alto Vale do Rio do Peixe (Anexo 9)	2	113	NERI FABRIS	46	764,3558	250,3277
	7	114	SÃO ROQUE	41	879,2829	231,9464
	8	115	13 DE OUTUBRO	35	700,6312	115,7146
	19	116	FAXINAL DOS DOMINGUES I	34	509,9958	100,8344
	24	117	HERDEIROS DO CONTESTADO	17	274,3389	16,6412
	28	118	RIO ÁGUA AZUL	26	373,4324	68,6549
	42	119	HERMINIO G. S.	111	1561,9497	338,8674
	49	120	ARGEMIRO DE OLIVEIRA	3	30,5452	2,3636
	55	121	SÃO JOÃO	35	662,6789	259,5779
	56	122	REG. CÔRREGO SEGREDO I	12	228,8669	33,9692
	57	123	JANGADA	74	2132,0701	816,1734
	64	124	FAXINAL DOS DOMINGUES II	43	856,9227	132,2119
	69	125	SAO JOAO II	19	278,066	86,7312
	74	126	PUTINGA	129	4407,1384	1684,7206
	77	127	RIO TIMBÓ	44	720,1224	99,4424
	79	128	RIO MANSINHO	12	248,4794	34,4123
	82	129	CÔRREGO DO SEGREDO II	23	411,8606	59,8645
	86	130	RIO DOS PATOS	49	828,4564	136,7678
	89	131	NOVA ESPERANÇA	22	546,6738	210,3267
	91	132	CONTESTADO	21	382,2054	109,1191
	99	133	CRISTO REI	32	536,5916	158,7804
	104	134	PERDIZ GRANDE	36	527,3044	131,9891
	106	135	CONQUISTA DOS PALMARES	29	419,0866	53,3679
	108	136	CHICO MENDES	39	487,8433	68,9277
	110	137	1 DE MAIO	24	476,6654	84,6035
	116	138	SANTA RITA III	15	257,8484	26,4329
	125	139	DANDARA	29	443,3433	117,3170
	127	140	BUTIA VERDE	73	1069,8534	252,3355
	128	141	VIDANOVA	29	786,8468	331,8667
	129	142	ELDORADO DOS CARAJÁS	14	216,8285	43,2283
	132	143	SÃO JOÃO MARIA II	16	218,8731	39,1009
	133	144	ÍNDIO GALDINO	49	842,7063	279,4162
Total				4.651	91.969,9125	28.327,1591

*Sem informação na base do Acervo Fundiário do INCRA. Fonte: Autores, 2025

Em relação às estimativas de projeção de crédito de remoção, a análise dos dados a partir do critério (Cv_1) evidencia que a classe de áreas menores que 100 ha, embora composta por um número expressivo de fragmentos (8.172), contribui com a maior projeção de créditos de carbono, totalizando 121.315,960 Mg CO₂e por ano. Esse resultado reflete a soma do impacto de um grande número de áreas pequenas,

que, coletivamente, desempenham um papel relevante na captura de carbono. A classe de 100 a 500 ha, por sua vez, apresenta uma combinação equilibrada entre área (6.987,662 ha) e número de remanescentes (45), resultando em uma projeção intermediária de créditos de carbono, equivalente a 47.655,855 Mg CO₂e por ano. Já a classe de áreas superiores a 500 ha, composta por apenas dois fragmentos, embora com uma área total menor (3.551,233 ha), ainda assim contribui com uma quantidade significativa de créditos de carbono, somando 24.219,409 Mg CO₂e por ano.

De maneira geral, a maior parte da projeção de créditos de carbono provém da classe de fragmentos menores, indicando que, embora a área individual seja reduzida, a grande quantidade de remanescentes exerce um impacto relevante na captura de carbono. Além disso, essas áreas podem desempenhar um papel crucial na mitigação das mudanças climáticas, contribuindo não apenas para a captura de carbono, mas também para a preservação da biodiversidade, ao fornecerem corredores ecológicos que facilitam a conectividade entre áreas e o movimento das espécies e reduzem os impactos da fragmentação.

Gonçalves-Souza et al. (2025) reuniram evidências demonstrando que florestas mais extensas proporcionam maior quantidade e variedade de espécies em comparação com fragmentos florestais, reforçando a necessidade de criar e fazer valer leis e políticas públicas que promovam a preservação de grandes extensões de mata e a reconexão de fragmentos menores, com vistas à conservação da biodiversidade e ao acesso aos serviços ecossistêmicos que ela oferece (Gonçalves-Souza et al., 2025). Os autores destacam ainda, a importância de programas de incentivo a proprietários rurais para a manutenção de florestas secundárias e ações de restauração podem desempenhar um papel crucial na amplificação da conectividade entre remanescentes.

Tabela 2. Projeção de geração de créditos de carbono para o critério (Cv1) em diferentes classes de tamanho de remanescentes florestais nos assentamentos do INCRA em Santa Catarina.

Classes - Cv ₁	Área (ha)	NR	Projeção de créditos - RVy (Mg CO ₂ e. ano ⁻¹)	RV (0%) (Mg CO ₂ e. ano ⁻¹)	RNP (20%) (Mg CO ₂ e. ano ⁻¹)	PR (USD)
> 500 ha	3.551,23	2	24.219,409	0,000	19.375,527	193.755,272
De 100 e 500 ha	6.987,66	45	47.655,855	0,000	38.124,684	381.246,839
< 100 ha	17.788,26	8.172	121.315,960	0,000	97.052,768	970.527,684
Total	28.327,15	8.219	193.191,224	0,000	154.552,980	1.545.529,795

Onde: NR = número de remanescentes; RVy= Projeção de créditos (remoção de CO₂e); RV= Risco de Vazamento; RNP = Risco de não-permanência; PR = Projeção de recursos de carbono anual (USD). Fonte: Autores (2025)

Já para o critério (Cv₂), que estabelece os remanescentes florestais por assentamento (Tabela 3) nota-se que os resultados totais são semelhantes aos resultados demonstrados para o Cv₁, contudo o intuito de estabelecer critérios de viabilidade e intervalos de classe foi demonstrar diferentes perspectivas sobre a abordagem de projeto na qual será estruturada pelos desenvolvedores, gestores e assentados.

Dessa forma, conforme observa-se na tabela 3, a classe de áreas superior a 500 ha, embora composta por apenas oito fragmentos, abrange a maior extensão territorial (8.636,67 ha) e contribui com 58.902,06 Mg CO₂e por ano. Essa classe representa um papel relevante na conservação da biodiversidade, pois fragmentos maiores tendem a manter ecossistemas mais estáveis e resilientes, garantindo a manutenção de habitats para diversas espécies e proporcionando maior conectividade ecológica. A classe com intervalo entre 100 e 500 ha, apresenta o maior valor absoluto de área (16.579,65 ha), distribuída em 76 fragmentos, com uma projeção de créditos de carbono de 113.073,24 Mg CO₂e por ano. Essa classe se destaca por reunir fragmentos relativamente extensos, que podem desempenhar uma função estratégica tanto na remoção de carbono quanto na manutenção da biodiversidade, especialmente ao atuar como zonas de transição entre áreas menores e maiores.

Por outro lado, a classe de áreas menores que 100 ha, apesar de representar a menor extensão territorial (3.110,84 ha) e possuir 60 fragmentos, apresenta a menor projeção de créditos de carbono (21.215,92 Mg CO₂e por ano). Embora sua contribuição para a captura de carbono seja inferior às demais classes, esses

pequenos fragmentos podem ser fundamentais para a conectividade da paisagem, funcionando como corredores ecológicos e auxiliando na dispersão de espécies e no fluxo gênico entre áreas preservadas.

Tabela 3. Projeção de geração de créditos de carbono para o critério (Cv₂) em diferentes classes de tamanho de remanescentes florestais nos assentamentos do INCRA em Santa Catarina.

Classes - Cv ₂	Área (ha)	NA	Projeção de créditos - RVy (Mg CO ₂ e. ano ⁻¹)	RV (0%) (Mg CO ₂ e. ano ⁻¹)	RNP (20%) (Mg CO ₂ e. ano ⁻¹)	PR (USD)
> 500 ha	8.636,67	8	58.902,06	0,00	47.121,65	471.216,48
De 100 e 500 ha	16.579,65	76	113.073,24	0,00	90.458,60	904.585,95
< 100 ha	3.110,84	60	21.215,92	0,00	16.972,74	169.727,36
Total	28.327,16	144	193.191,23	0,00	154.552,98	1.545.529,80

NA = número de assentamentos por área; RVy= Projeção de créditos (remoção de CO₂e); RV= Risco de vazamento; RNP = Risco de não-permanência; PR = Projeção de recursos de carbono anual (USD). Fonte: Autores (2025)

Em relação a projeção de recursos de carbono anual (PR), tanto o Cv₁ (Tabela 2) quanto o Cv₂ (Tabela 3) mostram um grande potencial de geração de créditos de carbono, isso significa que a conservação dos remanescentes florestais pode resultar em uma remoção significativa de CO₂, o que pode ser convertido em benefícios financeiros com esses créditos comercializados. Dependendo do preço do carbono no mercado, esses valores podem representar milhões de dólares. Esse potencial reforça a importância de incentivos para a conservação dessas áreas, tornando a proteção florestal uma oportunidade econômica viável para comunidades locais e proprietários rurais. Contudo, destaca-se que as áreas maiores representam um maior volume de créditos de carbono, porém em contrapartida um menor número de assentamentos pode significar menor risco de governança.

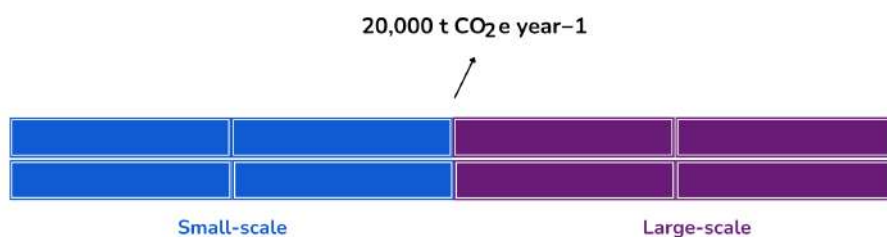
Quanto à geração de créditos de carbono, ambos os critérios Cv₁ e Cv₂ tiveram uma projeção inicial de 193 mil créditos de carbono ao ano. Entretanto, considerando um risco de não-permanência de 20%, a estimativa final foi de 154 mil créditos gerados ao ano. O valor médio de USD 10 por crédito de carbono utilizado nesta projeção reflete uma abordagem conservadora, levou em conta as flutuações e particularidades do mercado de carbono, conforme indicado pela creditscarbon.com (2024).

Dessa forma, obteve-se uma projeção de USD 1.545.529,85 milhões ao ano, assim, estima-se que cada hectare seja capaz de gerar aproximadamente 6,8 créditos de carbono. No entanto, é importante levar em consideração o risco de não

permanência, que é comum em projetos dessa natureza, e que corresponde a 20% do total. Quanto ao risco de vazamento, a adoção de 0% de risco não alterou as projeções finais. Portanto, considerando essa reserva, a projeção ajustada aponta para a geração de aproximadamente 5,44 créditos por hectare, resultando em uma receita anual de cerca de USD 54,4 por hectare ano⁻¹.

Conforme ilustrado na Figura 8, que apresenta a abordagem desenvolvida pela Social Carbon v6.2 (2024) para avaliação de viabilidade, observa-se que a projeção de créditos de carbono para Cv₁ e Cv₂, em diferentes intervalos de classe, demonstra um potencial de larga escala e viabilidade, com exceção das classes Cv₁ (>500 ha) e Cv₂ (<100 ha).

Figura 8. Escala e viabilidade do Projeto



Fonte: Social Carbon v 6.2 (2024)

Embora o padrão Socialcarbon Standard v6.2 recomende um período mínimo de 50 anos para Projetos de Crédito de Carbono, neste estudo adotamos um prazo mínimo de 10 anos. Essa escolha se justifica pelo objetivo central da pesquisa, que é demonstrar o potencial de remoção de carbono pelos remanescentes florestais localizados nos assentamentos rurais do INCRA em Santa Catarina, visando fornecer uma base para futuras estratégias de conservação e incentivos à manutenção dessas áreas.

A Tabela 4 fornece uma análise sobre a contribuição das três classes de áreas para a geração de créditos de remoção de no mínimo 10 anos, destacando que áreas de diferentes tamanhos desempenham um papel fundamental na remoção de gases de efeito estufa.

Tabela 4. Projeção de créditos de remoção de carbono ao longo do ciclo de vida do projeto (10 anos) para o Cv_1 e Cv_2 .

Classes	Projeção ciclo projeto (10 anos)			
	Cv_1		Cv_2	
	PCC (Mg CO ₂ e. ano-1)	PRF (USD)	PCC (Mg CO ₂ e. ano-1)	PRF (USD)
> 500 ha	193.755,272	1.937.552,725	471.216,48	4.712.164,80
De 100 e 500 ha	381.246,839	3.812.468,387	904.585,95	9.045.859,50
< 100 ha	970.527,684	9.705.276,838	169.727,36	1.697.273,60
PCC - Projeção de créditos de remoção de carbono (Mg CO ₂ e) e PRF - Projeção de recurso final (USD). Fonte: Autores, 2025				

A análise dos critérios Cv_1 e Cv_2 em períodos de 1 ano e 10 anos revela variações expressivas no Potencial de Captura de Carbono (PCC) e no Potencial de Receita Financeira (PRF) em função do tamanho das propriedades. Em ambos os critérios, há um aumento significativo nos valores projetados ao longo dos 10 anos, demonstrando o crescimento acumulado do sequestro de carbono. No Cv_1 (1 ano), propriedades menores que 100 ha apresentam o maior PCC (970.527,68 Mg CO₂e/ano) e PRF (USD 9.705.276,84), enquanto as áreas entre 100 e 500 ha e maiores que 500 ha apresentam valores inferiores. No entanto, ao considerar Cv_1 (10 anos), ocorre uma redistribuição dos ganhos, com as propriedades de médio porte (100-500 ha) alcançando o maior potencial de captura (904.585,95 Mg CO₂e/ano) e receita (USD 9.045.859,50).

Já no Cv_2 (1 ano), os valores são menores em relação ao Cv_1 , mas, ao projetar para Cv_2 (10 anos), observa-se um comportamento semelhante, onde as áreas maiores passam a apresentar maior estabilidade e ganho acumulado. Para propriedades acima de 500 ha, os valores crescem de 193.755,27 Mg CO₂e/ano para 471.216,48 Mg CO₂e/ano, enquanto a receita sobe de USD 1.937.552,73 para USD 4.712.164,80. Esses resultados indicam que, no curto prazo, áreas menores podem apresentar maior potencial inicial de captura de carbono, mas, no longo prazo, as áreas maiores e médias tendem a apresentar maior estabilidade e retorno econômico, reforçando a importância de abordagens de planejamento de longo prazo para viabilizar projetos de crédito de carbono.

Nos últimos dois anos, o desenvolvimento de tecnologias para a quantificação de carbono tem avançado significativamente, impulsionado por pesquisadores e universidades que aplicam essas metodologias em diferentes biomas. Essas

inovações têm facilitado a realização de estudos de projeção de viabilidade para a geração de créditos de carbono, permitindo análises mais precisas e abrangentes.

Nesse contexto, a fim de reduzir as incertezas relacionadas à estimativa de remoção de carbono pelos remanescentes florestais na área objeto de estudo, buscou-se ampliar a pesquisa sobre artigos e referências sobre estimativas de biomassa acima do solo (AGB) por diferentes biomas, sobretudo estudos em diferentes idades de florestas. Silva-Junior *et al.* (2020) e Chen *et al.* (2024) desenvolveram um conjunto de fatores para determinar estimativas de remoção de carbono acima do solo (AGB), no qual resultaram em fatores de remoção utilizados na projeção de carbono a seguir (tabela 5).

A análise da média anual de remoção de carbono ao longo de 10 anos de projeto (Tabela 5) revela variações relevantes entre os estoques associados à vegetação primária e à vegetação secundária. Observa-se um crescimento gradual na capacidade de remoção de carbono até o ano de 2030, com o pico registrado em 2029, quando os valores atingem 91.440,02 Mg CO₂e na vegetação primária e 79.524,10 Mg CO₂e na vegetação secundária, totalizando 170.964,12 Mg CO₂e. Contudo, em 2031 ocorre uma queda significativa nos valores de remoção, especialmente na vegetação primária, que recua para 61.551,96 Mg CO₂e. Essa redução pode estar associada a alterações no estágio sucessional da floresta, mudanças na dinâmica de crescimento ou até flutuações ambientais que influenciam diretamente a taxa de acúmulo de biomassa e carbono.

Tabela 5 - Média anual de remoção de carbono em 10 anos de Projeto

MÉDIA ANUAL DE REMOÇÃO DE CARBONO			
Ano	Vegetação Primária (Mg CO ₂ e)	Vegetação Secundária (Mg CO ₂ e)	TOTAL
2022	85.737,067	66.198,926	151.935,993
2023	86.529,085	67.760,343	154.289,428
2024	87.235,915	71.869,310	159.105,225
2025	88.062,476	73.924,166	161.986,642
2026	88.922,703	74.742,586	163.665,289
2027	89.586,062	77.478,687	167.064,749
2028	90.674,447	76.490,225	167.164,672
2029	91.440,021	79.524,098	170.964,119
2030	93.090,671	77.506,722	170.597,393
2031	61.551,960	59.496,934	121.048,895
Média	86.283,041	72.499,200	158.782,240

Fonte: Autores, 2025

Nota-se que a média anual de carbono resultante desta análise apresentou uma projeção 2,7% superior à estimativa obtida pelo método utilizado na pesquisa (154.552,980 Mg CO₂e), totalizando 158.782,240 Mg CO₂e. Essa diferença, embora pequena, indica certa consistência entre os resultados.

Do ponto de vista ambiental, esses resultados evidenciam a importância da regeneração florestal na captura de carbono, com destaque para o papel da vegetação primária na estabilidade da remoção ao longo dos anos. O potencial de impacto ambiental de um Projeto de Crédito de Carbono em áreas florestais mais extensas, como aquelas superiores a 500 ha no Cv₁, desempenha um papel de grande relevância na preservação da biodiversidade e na captura de carbono de longo prazo. Essas grandes áreas, geralmente menos afetadas pela degradação e pelos efeitos de borda, são vitais para a manutenção de ecossistemas íntegros, com elevado potencial de armazenar carbono e garantir habitats para espécies ameaçadas (Laurance et al., 2018). Essas áreas podem funcionar como "núcleos" de conservação, preservando serviços ecossistêmicos essenciais, como a regulação do ciclo da água e a manutenção da biodiversidade, o que contribui diretamente para a resiliência dos ecossistemas a eventos climáticos extremos.

No entanto, as áreas menores, como aquelas entre 100 e 500 ha no Cv₂, são igualmente importantes, pois representam a maior parte da extensão total de remanescentes florestais. Embora o seu impacto na captura de carbono individualmente seja menor, elas desempenham uma função essencial na conectividade da paisagem, formando corredores ecológicos que permitem o movimento e a adaptação das espécies em um cenário de mudanças climáticas. A preservação desses fragmentos contribui para a recomposição da paisagem fragmentada, ajudando a aumentar a resiliência dos ecossistemas e promovendo a regeneração de áreas degradadas, o que também auxilia na captura de carbono (Tallis, et al.; 2015). Os fragmentos menores que 100 ha, embora com uma contribuição mais modesta para a captura de carbono, são essenciais para a conservação da biodiversidade local. Esses remanescentes, muitas vezes dispersos entre áreas agrícolas, servem como refúgios para espécies de flora e fauna que dependem de pequenas áreas para sobreviver. Além disso, esses fragmentos podem desempenhar um papel crucial no fortalecimento da conectividade entre grandes áreas florestais, facilitando a movimentação das espécies e a troca

genética, um fator importante para a adaptação às mudanças ambientais e para a conservação da biodiversidade (Metzger, 2010).

Do ponto de vista social, os projetos de créditos de carbono oferecem uma oportunidade significativa para envolver comunidades locais, especialmente assentamentos rurais e pequenos proprietários, em práticas de conservação.

Para as áreas maiores, como as superiores a 500 ha no Cv₁, os incentivos financeiros podem ser combinados com práticas de manejo sustentável, como o extrativismo não madeireiro e o ecoturismo. Essas atividades permitem que as grandes propriedades se tornem modelos de conservação sustentável, ao mesmo tempo que oferecem alternativas econômicas para as comunidades locais, como o turismo ecológico ou o manejo de produtos florestais não madeireiros, que podem gerar receita sem causar danos ao ecossistema (Silva *et al.*, 2019).

Além disso, os projetos de crédito de carbono podem fortalecer a governança ambiental local, ao integrar essas comunidades nas cadeias de valor associadas à conservação, cria-se um modelo mais inclusivo de desenvolvimento sustentável, que promove a justiça climática ao garantir que as populações mais vulneráveis se beneficiem das políticas de mitigação das mudanças climáticas, ao mesmo tempo em que preservam a biodiversidade e a integridade dos ecossistemas florestais (Santos *et al.*, 2022).

A implementação de políticas públicas que incentivem a participação dessas comunidades em mercados de carbono pode fomentar um ciclo positivo, onde a conservação ambiental também gera benefícios sociais tangíveis para as populações locais.

4.2 ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA (IVDN) E TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE DA TERRA

Para análise de correlação entre IVDN e TST foram selecionados 3 (três) Assentamentos com maiores focos de desmatamento no período entre 2019 e 2024 (MapBiomas Alerta, 2024) (Tabela 6). A proposta com esta análise não é explorar aspectos sobre o desmatamento nos Assentamentos e sim demonstrar que a relação entre o IVDN e TST é fundamental para a análise da cobertura vegetal, pois ambos os parâmetros fornecem informações complementares sobre o estado da

vegetação e suas interações com o clima. A combinação desses dois indicadores possibilita um monitoramento mais preciso dos impactos do desmatamento e das mudanças no uso do solo, auxiliando na formulação de estratégias de conservação e mitigação dos efeitos climáticos.

Conforme apresentado na Tabela 6, foram utilizadas imagens de satélite disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), com datas posteriores aos alertas de desmatamento detectados pelo Sistema de Alerta do MapBiomas, com o objetivo de identificar as áreas inicialmente desmatadas. Para cada ocorrência de desmatamento, foram selecionadas duas imagens do sensor Sentinel-2, voltadas à análise do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN), e duas imagens do sensor Landsat 8, destinadas à obtenção da Temperatura da Superfície Terrestre (TST). A seleção das imagens priorizou um intervalo de aproximadamente dois anos entre as datas, buscando capturar variações temporais significativas nos parâmetros analisados.

Ressalta-se que, com exceção do Assentamento Rio do Norte, para o qual foi possível obter imagens de IVDN e TST no mesmo mês e ano (julho de 2021 e maio de 2024), nos demais assentamentos as datas das imagens extraídas diferiram. Tal diferença se deve, principalmente, à presença de cobertura de nuvens nas datas ideais. Ainda assim, buscou-se selecionar imagens pertencentes à mesma estação do ano, a fim de reduzir variações sazonais nos dados espectrais.

Tabela 6. Assentamentos com Ocorrência de Desmatamento: Detecção, Análise IVDN e Temperatura de Superfície

Assentamento	Município	Área (ha)	Detecção mês/ano (Alerta MapBiomas)	Imagem Sentinel 2 (IVDN)	Imagem Landsat 8 (TST)
Rio do Norte	Rio dos Cedros	5,79	05/2021	07/2021 e 05/2024	07/2021 e 05/2024
20 de Novembro/ 29 Junho	Passos Maia/ Ponte Serrada	85,49	11/2020	08/2022 e 01/2024	05/2021 e 05/2024
Jangada	Calmon	3,64	11/2019	03/2020 e 05/2024	08/2021 e 05/2024

Fonte: Autores, 2025

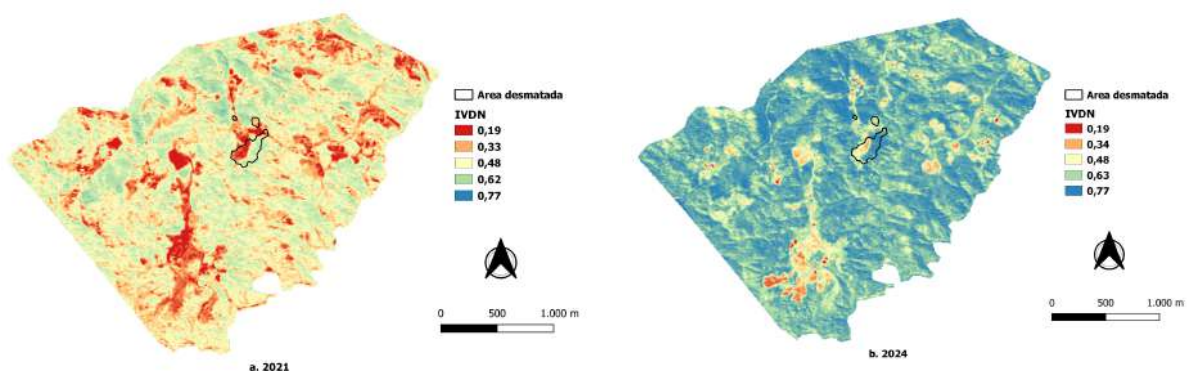
A comparação entre os Índices de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN) e a Temperatura de Superfície Terrestre (TST) nos anos de 2021 e 2024 no Assentamento Rio do Norte evidencia mudanças significativas na dinâmica da cobertura vegetal e na regulação térmica local. Em 2021 (Figura 9a), observou-se

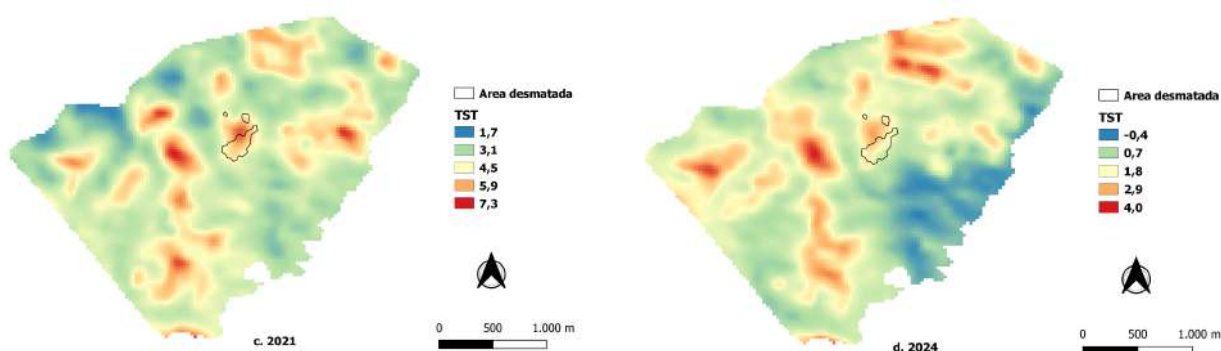
uma predominância de valores baixos de IVDN (entre 0,19 e 0,48), especialmente em áreas demarcadas como desmatadas, representando paisagens com vegetação esparsa ou solo exposto. Já em 2024 (Figura 9b), houve um aumento expressivo nos valores de IVDN, com a maior parte da região exibindo valores entre 0,63 e 0,77, indicando uma recuperação considerável da cobertura vegetal.

Esse aumento da vegetação entre 2021 e 2024 também está fortemente correlacionado com uma redução nas temperaturas da superfície terrestre. Em 2021, as áreas com menor cobertura vegetal (Figura 9a) apresentaram temperaturas elevadas, com TST variando entre 5,9 °C e 7,3 °C (Figura 9c). Por outro lado, em 2024 (Figura 9b), as temperaturas caíram significativamente nessas mesmas áreas, com valores entre -0,4 °C e 4,0 °C (Figura 9d). Essa relação inversa entre IVDN e TST é amplamente documentada na literatura, uma vez que áreas vegetadas tendem a apresentar temperaturas mais amenas devido à maior capacidade de sombreamento, maior evapotranspiração e menor absorção de radiação solar.

Destaca-se a área previamente desmatada (delimitada por contorno preto nas imagens), que em 2021 apresentou baixos valores de IVDN (Figura 9a) e alta TST (Figura 9c), e que em 2024 demonstrou sinais de recuperação da vegetação (Figura 9b), acompanhados por uma queda nas temperaturas superficiais (Figura 9d). Esse padrão reforça a relevância ecológica da cobertura vegetal na modulação microclimática e no controle da temperatura da superfície terrestre (Santos *et al.*, 2020).

Figura 9 - Assentamento Rio do Norte - IVDN 2021 (a) e 2024 (b) - TST 2021 (c) e 2024 (d)





Fonte: Autores (2025)

A análise do comportamento temporal do IVDN (Figura 10) para o Assentamento Rio do Norte, revela uma variação sazonal clara e cíclica ao longo do período analisado (2021–2024), compatível com padrões típicos da vegetação nativa da Mata Atlântica sob clima subtropical úmido (Alvares *et al.*, 2013). No início de 2021, o IVDN apresenta valores elevados, próximos de 0,9, indicando alta densidade e vigor vegetativo. Esses picos de produtividade são recorrentes, observando-se que a vegetação atinge seus máximos entre os meses de verão e início do outono (dezembro a março), enquanto os declínios mais acentuados ocorrem entre o fim do outono e o inverno (junho a agosto), com quedas pontuais que chegam a valores próximos de 0,0. Essa oscilação é característica de ecossistemas subtropicais, nos quais a disponibilidade hídrica e a radiação solar influenciam diretamente a produtividade primária da vegetação (Huete *et al.*, 2002). Além disso, variações abruptas e pontuais nos valores do índice podem estar associadas à presença de nuvens, sombras, distúrbios naturais ou antrópicos, ou ainda à presença de corpos d'água temporários.

A partir do segundo semestre de 2022, nota-se uma maior estabilidade e leve elevação nos valores mínimos do IVDN, o que pode sugerir um aumento da cobertura vegetal ou recuperação da biomassa em áreas anteriormente degradadas. Esse padrão se intensifica ao longo de 2023 e início de 2024, com uma consistência maior nos picos e menor amplitude de variação entre os períodos secos e chuvosos. Essa tendência pode estar relacionada à regeneração natural, manejo da paisagem, ou até ações de restauração florestal (Ribeiro *et al.*, 2009; Pinto *et al.*, 2006).

Figura 10 - Comportamento temporal do IVDN no Assentamento Rio do Norte (2021 a 2024)



Fonte: <https://data.inpe.br/bdc/explorer/explore>

Entre os anos de 2022 (Figura 11a) e 2024 (Figura 11b), é possível observar mudanças significativas na cobertura vegetal nos Assentamentos 29 de Junho e 20 de Novembro, com base nos dados de IVDN. No ano de 2022 (Figura 11a), os dados de IVDN indicam uma paisagem marcada por extensas áreas com baixos índices de vegetação, predominando cores como vermelho e laranja, que sugerem degradação ambiental ou uso intensivo do solo. Em contraste, o ano de 2024 (Figura 11b) apresenta um avanço notável da vegetação, com ampliação das áreas em tons de verde escuro, o que aponta para processos de regeneração ou recuperação da cobertura vegetal, possivelmente vinculados a ações de conservação, redução da pressão antrópica ou ao próprio tempo de repouso do solo.

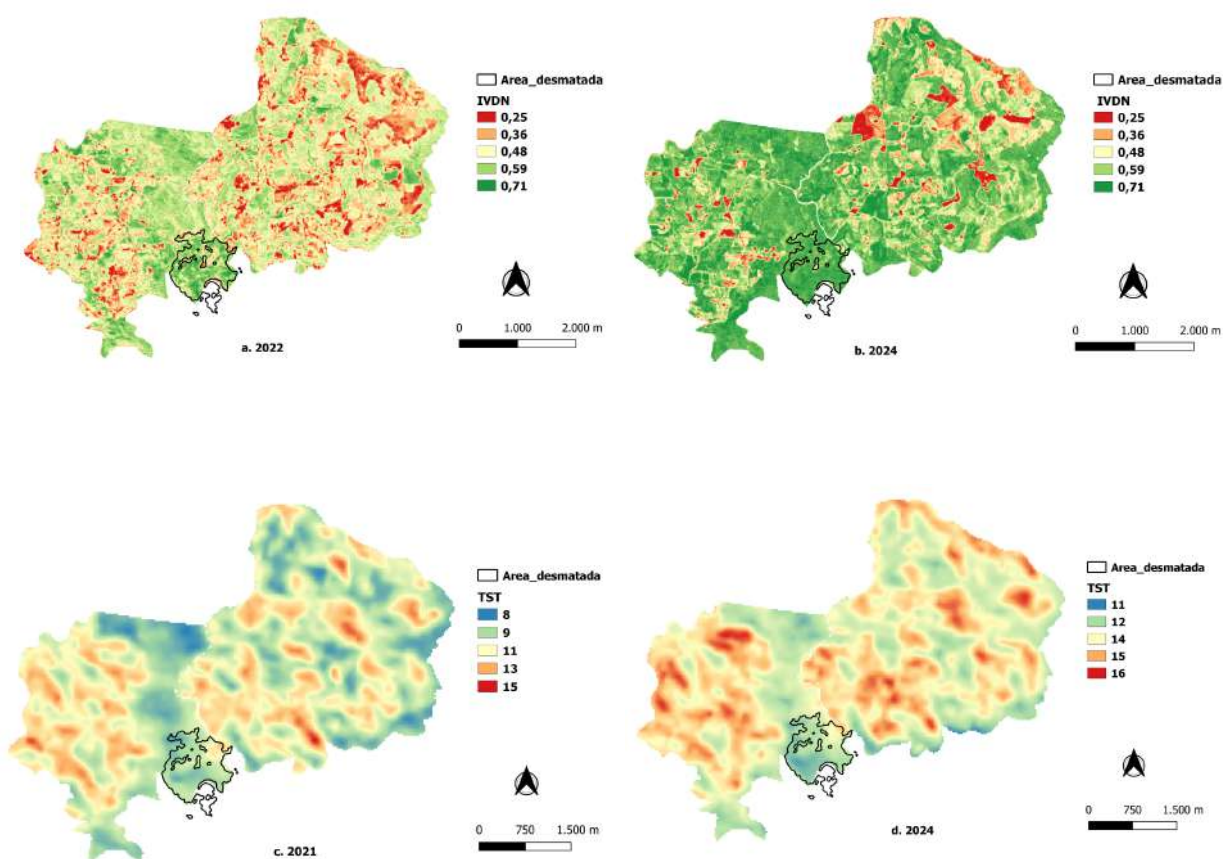
Contudo, ao observar a temperatura da superfície (TST), a relação esperada entre maior cobertura vegetal e temperaturas mais amenas não se confirma plenamente. Em 2021 (Figura 11c), ano de referência para os dados de TST anteriores ao IVDN de 2022, as temperaturas da superfície eram mais baixas, com predominância de tons azuis e verdes, indicando uma condição climática mais amena. Já em 2024, mesmo diante do aumento da vegetação, as temperaturas da superfície se elevaram consideravelmente, com destaque para áreas em amarelo, laranja e vermelho, indicando um aquecimento significativo.

Essa contradição sugere que, embora a vegetação tenha se recuperado em parte do território entre 2022 e 2024, outros fatores como variações climáticas sazonais, mudanças nos padrões regionais de temperatura, ou mesmo o tipo e estágio de regeneração da vegetação podem estar interferindo na regulação térmica da paisagem. Além disso, o aumento das temperaturas pode ser sintoma de um contexto mais amplo de aquecimento climático regional, afetando inclusive áreas que passaram por regeneração vegetal.

A leitura temporal conjunta dos dados de IVDN (Figuras 11a e 11b) e TST (Figuras 11c e 11d) nos Assentamentos 29 de Junho e 20 de Novembro revela um

cenário de complexidade ambiental, com indícios positivos de recuperação da vegetação entre 2022 e 2024, mas eles não são suficientes, por si só, para reverter o aumento da temperatura superficial observado no mesmo período. Isso aponta para a necessidade de políticas integradas que considerem não apenas a cobertura vegetal, mas também os múltiplos fatores que influenciam o equilíbrio térmico e ecológico da paisagem.

Figura 11 - Assentamentos 29 de Junho e 20 de Novembro - IVDN 2022 (a) e 2024 (b) - TST 2021 (c) e 2024 (d)



Fonte: Autores (2025)

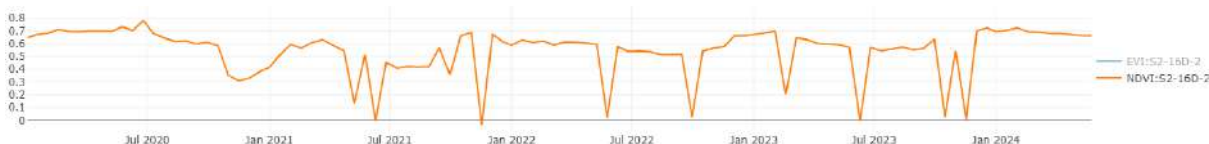
A análise das imagens de IVDN dos anos de 2022 (Figura 11a) e 2024 (Figura 11b), quando relacionada ao gráfico de IVDN (Figura 12) da região de Ponte Serrada, reforça e detalha a tendência de recuperação da vegetação nos Assentamentos 29 de Junho e 20 de Novembro. Em 2022, a imagem de IVDN (Figura 11a) revela uma paisagem com baixa densidade de vegetação, representada pelas tonalidades em vermelho e laranja. Essa condição é coerente com os dados

do gráfico, que naquele ano apontam índices médios de IVDN (Figura 12) mais baixos, situando-se majoritariamente entre 0,2 e 0,4, o que indica áreas com cobertura vegetal esparsa ou com significativa degradação.

Já em 2024, a imagem de IVDN (Figura 11b) mostra uma mudança marcante, com o predomínio de tons verdes escuros, indicando vegetação mais densa e saudável. Essa transformação também se expressa no gráfico de IVDN (Figura 12), que apresenta uma elevação significativa dos valores médios, com muitos pontos atingindo índices entre 0,5 e 0,7 valores típicos de vegetação mais vigorosa, como matas secundárias em estágio avançado de regeneração ou áreas cultivadas com maior cobertura foliar.

Essa correlação visual e gráfica evidencia que, ao longo de dois anos, os assentamentos passaram por um processo de aumento da cobertura vegetal. Esse avanço pode estar relacionado a múltiplos fatores, como menor pressão sobre o uso da terra, práticas agroecológicas ou de restauração, e mudanças climáticas sazonais favoráveis à regeneração da vegetação. Contudo, vale destacar que, mesmo com esse avanço na vegetação, os dados de TST de 2024 (Figura 11d) revelam um aumento da temperatura da superfície terrestre. Isso mostra que a melhoria na vegetação, embora relevante, não é o único fator que determina a dinâmica térmica local, sendo necessário considerar também variáveis climáticas externas, como aumento da insolação, alterações no regime de chuvas ou eventos extremos de calor. Assim, ao correlacionar as imagens de IVDN com o gráfico de IVDN, obtém-se uma leitura mais robusta e integrada da paisagem, permitindo inferir que há um movimento positivo de regeneração ambiental nos Assentamentos 29 de Junho e 20 de Novembro, ainda que sob um cenário climático regional desafiador.

Figura 12 - Comportamento temporal do IVDN no Assentamento 29 de Junho e 20 de Novembro (2020 e 2024)



Fonte: <https://data.inpe.br/bdc/explorer/explore>

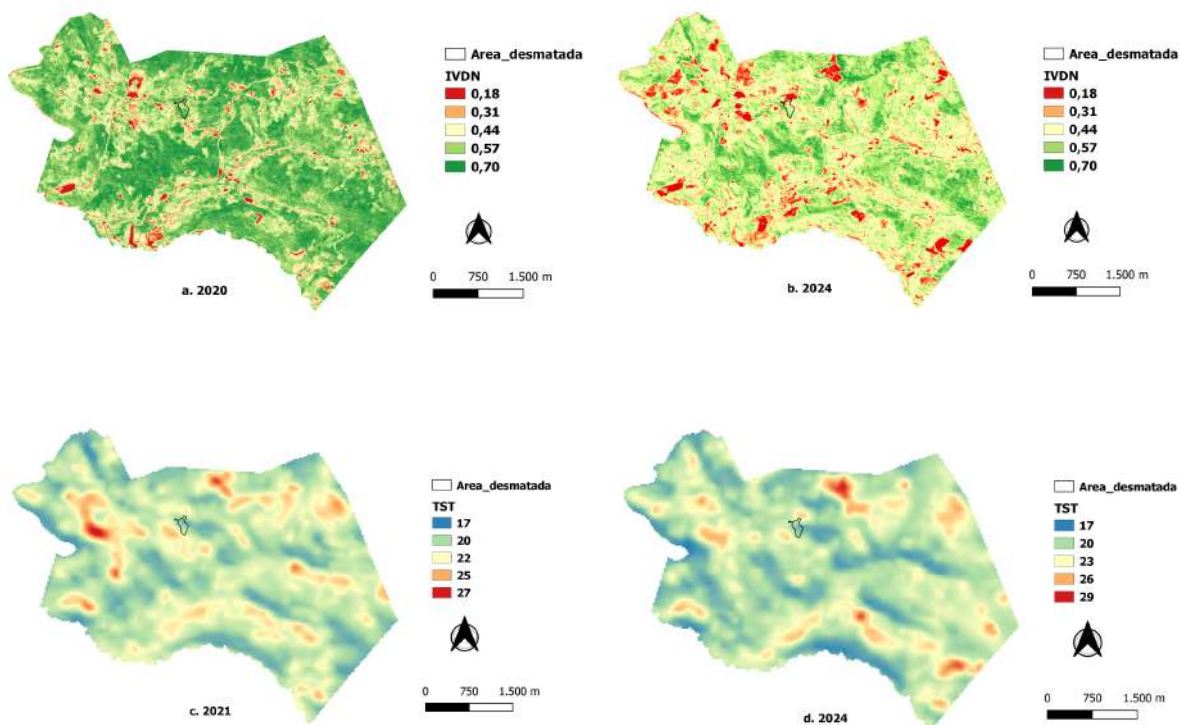
A análise integrada dos índices de IVDN e TST no assentamento Jangada revela uma correlação clara entre a cobertura vegetal e a temperatura da superfície.

Em 2020 (Figura 13a), observou-se que áreas com maiores valores de IVDN (acima de 0,57), representadas em tons de verde escuro, correspondem às regiões mais vegetadas do assentamento. Essas áreas coincidem, em 2021, com zonas de menor TST, com temperaturas entre 17 °C e 20 °C (Figura 13c), conforme indicado pelos tons azuis no mapa. Por outro lado, as áreas com menor IVDN (valores próximos de 0,18), marcadas em vermelho no mapa de 2020 (Figura 13a), refletem regiões com cobertura vegetal reduzida, o que coincide, em 2021, com elevações da TST, atingindo até 27 °C (Figura 13c). Isso evidencia que áreas desmatadas ou com vegetação rala tendem a apresentar maior aquecimento da superfície, efeito amplamente reconhecido na literatura científica. Estudos como os de Souza et al. (2021) e Luna Gusmão et al. (2014) demonstram que a redução da vegetação nativa está diretamente associada ao aumento da temperatura de superfície devido à menor evapotranspiração e maior absorção da radiação solar pelo solo exposto.

A comparação entre IVDN (Figura 13b) e TST (Figura 13d) nos anos de 2024 reforça essa relação. Nota-se uma expansão das áreas com baixos valores de IVDN (Figura 13b), especialmente nas regiões norte e sul do assentamento. Essa degradação da cobertura vegetal resulta em aumento das áreas com TST mais elevadas, com registros que chegam a 29 °C (Figura 13d). Além disso, é possível perceber que áreas anteriormente mais preservadas em 2020 (Figura 13a) passaram a apresentar menor índice de vegetação em 2024 (Figura 13b), o que contribuiu para a elevação da temperatura em 2024 (Figura 13d). Essa tendência corrobora com estudos como o de Oliveira et al. (2020), que apontam o desmatamento como um dos principais vetores de aumento térmico em áreas rurais e urbanas.

Portanto, os dados analisados no assentamento Jangada reforçam a importância da vegetação na regulação do microclima local, servindo como evidência empírica da relação direta entre o IVDN e a TST. A perda de cobertura vegetal tende a intensificar o aquecimento superficial, o que pode acarretar impactos negativos para a qualidade de vida dos assentados e para os serviços ecossistêmicos da região.

Figuras 13 - Assentamento Jangada - IVDN 2020 (a) 2024 (b) - TST 2021 (c) e 2024 (d)



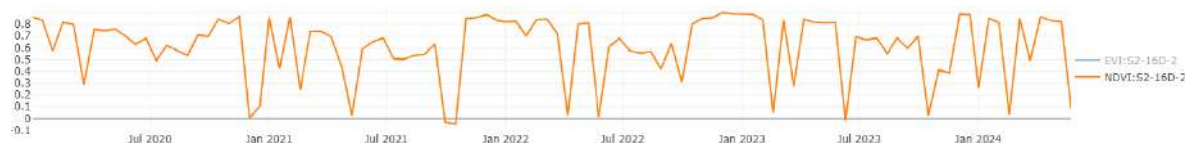
Fonte: Autores (2025)

Ao analisar a evolução do IVDN nas áreas do assentamento por meio do gráfico (Figura 14), com base na análise espacial dos mapas de IVDN e TST do assentamento Jangada entre os anos de 2020 e 2024, e agora considerando o comportamento temporal apresentado no gráfico de IVDN de 2020 a 2024, é possível reforçar a correlação entre a variação da cobertura vegetal e as alterações na temperatura de superfície terrestre. O gráfico mostra uma série de oscilações no IVDN ao longo do período, com valores que variam entre aproximadamente 0,1 e 0,8. Em geral, observa-se uma tendência de valores relativamente elevados no início de 2020, com IVDN oscilando em torno de 0,6 a 0,8, indicando uma cobertura vegetal mais densa e saudável, o que está de acordo com os mapas de 2020, nos quais se identificaram áreas expressivas com IVDN acima de 0,57. A partir do segundo semestre de 2020 até o início de 2021, o gráfico revela uma queda acentuada e flutuações mais abruptas, com episódios de valores inferiores a 0,2, o que coincide com os padrões mais esparsos de vegetação observados nas imagens e com o aumento da TST registrado em 2021.

Entre 2022 e 2023, o gráfico sugere uma recuperação relativa da vegetação, com IVDN se estabilizando novamente em torno de 0,6, ainda que com alguns picos de baixa, indicando possíveis eventos sazonais de perda temporária de cobertura vegetal, como colheitas, queimadas ou estiagens. Esse padrão condiz com as imagens de TST que mostram uma leve redução nas áreas com temperaturas mais elevadas nesse período, indicando um efeito de moderação térmica promovido pela vegetação regenerada. Contudo, em 2024 observa-se uma nova série de variações bruscas, com valores que, embora atinjam picos acima de 0,7, também voltam a cair em determinados períodos para abaixo de 0,2, o que é corroborado pelas imagens de 2024, onde se nota uma nova expansão de áreas com baixa cobertura vegetal e consequente aumento das temperaturas de superfície, atingindo até 29 °C.

Essas flutuações revelam que a cobertura vegetal do assentamento Jangada sofre pressões intermitentes que impactam diretamente a dinâmica térmica da paisagem. A correlação negativa entre IVDN e TST se mantém evidente ao longo da série, reafirmando os achados da literatura científica, que apontam que a perda de vegetação tende a intensificar as temperaturas locais devido à redução da evapotranspiração e ao aumento da absorção da radiação solar pela superfície exposta.

Figura 14 - Comportamento temporal do IVDN no Assentamento Jangada entre 2020 e 2024



Fonte: <https://data.inpe.br/bdc/explorer/explore>

Conforme evidenciado nos mapas de IVDN e TST dos Assentamentos Rio do Norte, 29 de Junho e 20 de Novembro e Jangada, a redução da cobertura vegetal afeta diretamente a regulação térmica da superfície terrestre, resultando em elevação das temperaturas nas áreas onde a vegetação foi suprimida ou significativamente reduzida. Os dados obtidos nos três assentamentos analisados, incluindo o Assentamento Jangada, evidenciam de forma consistente a correlação entre os valores do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN) e a Temperatura da Superfície Terrestre (TST). Nas áreas onde o IVDN apresentou

valores mais baixos, indicando menor cobertura vegetal, as temperaturas de superfície foram significativamente mais elevadas.

Essa relação pode ser explicada pela maior exposição do solo em áreas desprovidas de vegetação, o que favorece a absorção direta da radiação solar e, conseqüentemente, o aumento da retenção de calor. De acordo com Li et al. (2017), solos desnudos apresentam menor capacidade de dissipação de calor e tendem a aquecer mais rapidamente, enquanto áreas vegetadas possuem albedo mais elevado e maior capacidade de refletir a radiação solar, contribuindo para temperaturas mais amenas.

Os resultados dos três assentamentos analisados corroboram ainda os achados da literatura científica, que observaram um aumento progressivo da TST em áreas com perda de cobertura florestal em regiões tropicais e subtropicais. Fang *et al.* (2021) também aponta que regiões com maior continuidade de cobertura vegetal apresentam maior estabilidade térmica e menor variação sazonal de temperatura. Assim, a presença de vegetação atua não apenas como barreira térmica, mas também como mediadora dos fluxos energéticos entre a superfície e a atmosfera. Por outro lado, as imagens temporais revelam sinais positivos em alguns assentamentos, especialmente no Assentamento Jangada com aumento gradual nos valores de IVDN ao longo dos anos, sugerindo processos de recuperação florestal ou práticas agrícolas sustentáveis que mantêm a cobertura vegetal. Essa recuperação está associada à redução da TST em áreas específicas, evidenciando os efeitos benéficos da regeneração da vegetação para o microclima local.

Nesse sentido, os resultados obtidos corroboram estudos prévios que demonstram a efetividade da restauração florestal e da conservação ambiental na mitigação dos efeitos do aquecimento superficial, especialmente em regiões tropicais sensíveis ao desmatamento (Li et al., 2019; Fernandez et al., 2021). Assim, os dados sugerem não apenas um avanço na cobertura vegetal entre os anos analisados, mas também uma melhoria nas condições microclimáticas locais, destacando a importância de ações voltadas à recuperação de áreas degradadas.

5 PRODUTOS DESENVOLVIDOS

Os produtos gerados a partir deste estudo incluem uma série de documentos técnicos, apresentações e publicações que contribuem para a análise e disseminação dos resultados da pesquisa. Esses produtos são descritos a seguir:

5.1 PRODUTO TÉCNICO TECNOLÓGICO (PTT 1):

Relatório técnico conclusivo com os principais resultados da pesquisa, incluindo os seguintes documentos abaixo, por meio do link https://drive.google.com/drive/folders/1xhxJlaaiYn0eI_r09t9v1xEC1gnKM9Ht?usp=sharing.

- Tabela com a identificação das áreas de remanescentes florestais nos assentamentos, estabelecidas pelo critério de viabilidade (Cv_1);
- Tabela com as projeções de remoção de carbono determinadas de acordo com o critério de viabilidade (Cv_1);
- Quadro de projeções geral (Cv_1)
- Tabela com a identificação das áreas de remanescentes florestais em cada assentamento, estabelecidas pelo critério de viabilidade (Cv_2);
- Tabela com as projeções de remoção de carbono determinadas de acordo com o critério de viabilidade (Cv_2).
- Quadro de projeções geral (Cv_2)

5.2 PRODUTO TÉCNICO TECNOLÓGICO (PTT 2):

Apresentação dos resultados conclusivos da pesquisa ao INCRA, em reunião realizada em 06/05/2025, na Superintendência do INCRA, em São José/SC, conforme declaração anexa (Anexo 10).

5.3 PRODUTO TÉCNICO TECNOLÓGICO (PTT 3):

Submissão de artigo científico à *Revista Ciência e Natura* (ISSN 2179-460X), na área de Geociências, que se encontra atualmente na fase de revisão, sob o título: “*Viability of a Carbon Credit Project Supported by Nature-Based Solutions in Rural Settlements in Santa Catarina State, Brazil*”.

5.4 PRODUTO TÉCNICO TECNOLÓGICO (PTT 4):

Nove (9) mapas temáticos com a identificação dos remanescentes florestais, seguindo a Unidade de Planejamento Territorial (Unidade Gestão Técnica - UGT) desenvolvida pela EPAGRI. Acesso através do link: https://drive.google.com/drive/folders/15YH1bkObq_IPGjWAndbU5T-cjNMHKuDf?usp=sharing

5.5 PRODUTO TÉCNICO TECNOLÓGICO (PTT 5):

Seis (6) mapas de IVDN (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) demonstrando a evolução do índice entre os anos de 2019 e 2022, e suas correlações com a temperatura de superfície da Terra (TST). (Anexo 11)

5.6 PRODUTO TÉCNICO TECNOLÓGICO (PTT 6):

Seis (6) mapas de TST (Temperatura da Superfície da Terra) demonstrando a evolução da temperatura entre os anos de 2019 e 2022 e sua correlação com o IVDN no mesmo período (Anexo 12).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados demonstram que, a partir da abordagem adotada, estimou-se um volume inicial de 154.552,980 Mg CO₂e por ano, com ganhos estimados a partir de USD 1.545.529,80/ano para uma área de 28.327,16 ha. Por outro lado, observou-se que, quanto maior o número de áreas agrupadas, maiores são os desafios associados à plena gestão do projeto. Nesse contexto, o Cv₂ apresenta maior viabilidade, pois considera as áreas remanescentes por projeto de assentamento (144), enquanto o Cv₁ leva em conta apenas o número de remanescentes (8.219), independentemente do assentamento. Essa abordagem evidencia, a partir dos critérios estabelecidos, o esforço empreendido em todas as classes.

Já a análise da média anual de remoção de carbono ao longo de 10 anos de projeto revelou variações significativas entre o potencial de sequestro da vegetação primária e secundária. Observou-se um crescimento contínuo na remoção de carbono até o ano de 2030, com os maiores valores registrados em 2029 (91.440,02 Mg CO₂e para vegetação primária e 79.524,10 Mg CO₂e para vegetação secundária, totalizando 170.964,12 Mg CO₂e). Contudo, em 2031 verifica-se uma redução expressiva na remoção, especialmente para a vegetação primária (61.551,96 Mg CO₂e), possivelmente associada a alterações na fase de crescimento da floresta ou a variações ambientais que afetam a dinâmica do carbono. A média geral projetada no período é de 158.782,24 Mg CO₂e/ano, sendo 86.283,04 Mg CO₂e/ano provenientes da vegetação primária e 72.499,20 Mg CO₂e/ano da vegetação secundária. Essa análise de média anual vem a somar aos resultados obtidos a partir do método de projeção estabelecido na pesquisa, uma vez que agrega estimativas por estágio sucessional dos remanescentes florestais, permitindo compreender de forma mais refinada a dinâmica do carbono ao longo do tempo. Tal abordagem evidencia os ciclos de acúmulo e estabilização do carbono nas diferentes fases do desenvolvimento florestal, contribuindo para maior precisão na estimativa do potencial de sequestro e na definição de estratégias de manejo e conservação.

A partir destes achados, notou-se que metodologias com abordagem em incremento anual de carbono demonstram ser altamente eficazes para estimativa em florestas da Mata Atlântica subtropical, onde a dinâmica de crescimento é

marcada por alta heterogeneidade estrutural e diversidade florística (Vibrans et al., 2012). A aplicação desse tipo de metodologia é especialmente relevante em regiões historicamente afetadas por processos intensos de desmatamento, como é o caso da porção sul da Mata Atlântica, onde o avanço da agropecuária resultou em fragmentação acentuada dos remanescentes florestais (Vibrans et al., 2010; Bordin et al., 2021).

Em contrapartida, metodologias baseadas em REDD+ muitas vezes consideram cenários conservadores e médios regionais que não capturam a dinâmica de incremento real em campo, limitando a acurácia das estimativas de sequestro de carbono. Assim, iniciativas que utilizam dados primários e abordagens especializadas e temporais, como a adotada neste estudo, mostram-se mais alinhadas com a realidade de crescimento florestal nos diferentes estágios sucessionais, além de fortalecerem o papel das áreas restauradas e conservadas na mitigação das mudanças climáticas. Esses achados reforçam a necessidade de promover e incorporar abordagens metodológicas que considerem o contexto ecológico e histórico local, contribuindo para resultados mais realistas e aplicáveis em políticas públicas e instrumentos de mercado voltados à conservação e ao clima.

Espera-se que esses resultados desempenhem um papel crucial ao subsidiar a tomada de decisões em um espectro mais abrangente, alcançando uma escala regional detalhada. Eles serão fundamentais para embasar o delineamento de políticas públicas voltadas à gestão e preservação dos recursos florestais, bem como para a adoção de medidas concretas visando sua implementação eficaz. Adicionalmente, espera-se que esses desdobramentos contribuam significativamente para a geração e valorização do setor produtivo da agricultura familiar. Contudo, o impacto positivo de um Projeto de Geração de Crédito de Carbono envolve outras etapas e fases, que vão além do estudo de viabilidade de geração e integram a estratégia de governança do projeto.

Os resultados obtidos confirmam a relação direta entre a redução da cobertura vegetal e o aumento da Temperatura da Superfície Terrestre (TST), evidenciada pelos Índices de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN) analisada. A maior incidência de áreas com IVDN reduzido está associada à exposição do solo e à absorção de radiação solar, resultando em um aumento térmico significativo. Por outro lado, a presença de vegetação densa demonstrou capacidade de mitigação térmica por meio de mecanismos como sombreamento e

evapotranspiração, reforçando a importância da manutenção das áreas florestais para a regulação climática local.

Os assentamentos analisados apresentaram dinâmicas distintas em relação ao desmatamento e à recuperação da vegetação ao longo dos anos. No Assentamento Jangada, por exemplo, houve uma queda expressiva no IVDN em 2024, indicando um aumento dos focos de desmatamento e consequente elevação das temperaturas locais. Em contrapartida, os Assentamentos 29 de Junho e 20 de Novembro apresentaram uma recuperação parcial da cobertura vegetal, refletida no aumento do IVDN e na redução da TST em determinadas regiões. Esses padrões reforçam a importância de estratégias voltadas à conservação e recuperação florestal para mitigar os impactos ambientais.

Diante desses resultados, destaca-se a necessidade de políticas públicas voltadas à gestão e preservação dos recursos florestais, considerando a relevância da cobertura vegetal na regulação climática e na manutenção dos serviços ecossistêmicos. Além disso, a implementação de medidas eficazes de monitoramento e controle do desmatamento é essencial para minimizar os impactos da degradação ambiental, promovendo condições mais sustentáveis para os assentamentos.

Outro ponto relevante é o potencial desses assentamentos para a geração de créditos de carbono, dado o impacto positivo da recuperação da vegetação na redução das emissões de carbono e na regulação térmica. A análise criteriosa dos assentamentos permite identificar áreas prioritárias para a implementação de projetos de conservação, garantindo maior eficácia na geração de créditos e minimizando os riscos socioambientais envolvidos.

Dessa forma, espera-se que este estudo forneça subsídios valiosos para a tomada de decisões em nível regional, contribuindo para o desenvolvimento de estratégias sustentáveis de gestão ambiental e ordenamento territorial. A integração de dados sobre IVDN e TST em estudos futuros pode fortalecer ainda mais a compreensão das dinâmicas ambientais e orientar políticas mais eficazes para a conservação e recuperação das áreas degradadas.

REFERÊNCIAS

ÁLVARES, C. A., STAPE, J. L., SENTELHAS, P. C., GONÇALVES, J. L. M., SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013. DOI: 10.1127/0941-2948/2013/0507. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/263088914_Koppen's_climate_classification_map_for_Brazil. Acesso em: 07 janeiro 2025.

ARTAXO, P. Oportunidades e vulnerabilidades do Brasil nas questões do clima e da sustentabilidade. *Revista USP*, São Paulo, Brasil, n. 135, p. 119–136, 2022. DOI: 10.11606/issn.2316-9036.i135p119-136. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/revusp/article/view/206255>. Acesso em: 27 ago. 2024.

BARREIRA, S. A. (Observatório do Clima). Oito dos dez municípios que mais emitem gases de efeito estufa estão na Amazônia: Segunda edição do SEEG Municípios revela quanto cada cidade emitiu e em quais setores; os dez maiores emissores no setor agropecuário não estão entre aqueles com maior PIB. 13 jun. 2022. Disponível em: <https://www.oc.eco.br/oito-dos-dez-municipios-que-mais-emitem-gases-de-efeito-estufa-estao-na-amazonia/>. Acesso em: 15 junho de 2023.

BRASIL, Lei no 12.651, de 25 de maio de 2012. *Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis no 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 no 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.* Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/L12651compilado.htm. Acesso em: 04 jul 2023.

BRASIL. Decreto nº 7.830 de 17 de outubro de 2012. *Dispõe sobre o Sistema de Cadastro Ambiental Rural, o Cadastro Ambiental Rural, estabelece normas de caráter geral aos Programas de Regularização Ambiental, de que trata a Lei no 12.651, de 25 de maio de 2012, e dá outras providências.* Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Decreto/D7830.htm. Acesso em: 04 jul 2023.

BRASIL. Lei nº 14.119, de 13 de janeiro de 2021. *Institui a Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais; e altera as Leis nos 8.212, de 24 de julho de 1991, 8.629, de 25 de fevereiro de 1993, e 6.015, de 31 de dezembro de 1973, para adequá-las à nova política.* Disponível em: https://www.planalto.gov.br/CCIVIL_03///_Ato2019-2022/2021/Lei/L14119.htm. Acesso em: 14 out. 2023.

BRASIL. Decreto Federal 11.075, de 19 de maio de 2022. *Estabelece os procedimentos para a elaboração dos Planos Setoriais de Mitigação das Mudanças Climáticas, institui o Sistema Nacional de Redução de Emissões de Gases de Efeito Estufa e altera o Decreto nº 11.003, de 21 de março de 2022.* Disponível em:

<https://in.gov.br/web/dou/-/decreto-n-11.075-de-19-de-maio-de-2022-401425370>.

Acesso: 13 mar. 2024

BRASIL. MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÕES. *First Biennial Transparency Report of Brazil to the United Nations Framework Convention on Climate Change*. Brasília, 2024. Disponível em: https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-bienais-de-transparencia-btrs/BRA_BTR1_2024_ENG.pdf. Acesso em: 23 dez. 2024.

BRASIL. Lei Nº 14.904, DE 27 DE JUNHO DE 2024. *Estabelece diretrizes para a elaboração de planos de adaptação à mudança do clima; altera a Lei nº 12.114, de 9 de dezembro de 2009; e dá outras providências*. Brasília, 2024. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2024/lei-14904-27-junho-2024-795864-publicacaooriginal-172234-pl.html>. Acesso em: 31 jun. 2024.

BRASIL. Lei nº 15.042, DE 11 DE DEZEMBRO DE 2024. *Institui o Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SBCE); e altera as Leis nºs 12.187, de 29 de dezembro de 2009, 12.651, de 25 de maio de 2012 (Código Florestal), 6.385, de 7 de dezembro de 1976 (Lei da Comissão de Valores Mobiliários), e 6.015, de 31 de dezembro de 1973 (Lei de Registros Públicos)*. Brasília, 2024. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2024/lei-15042-11-dezembro-2024-796690-norma-pl.html>. Acesso em: 13 mar. 2024.

BOYD, E.; GUTIERREZ, M.; CHANG, M. Exploring socioeconomic impacts of forest-based mitigation projects: Lessons from Brazil and Bolivia. *Environmental Science & Policy*, v. 12, n. 5, p. 420-433, 2009. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/222346923_Exploring_socioeconomic_impacts_of_forest_based_mitigation_projects_Lessons_from_Brazil_and_Bolivia. Acesso em: 14 dez. 2024.

BORDIN, K. M. et al. No relationship between biodiversity and forest carbon sink across the subtropical Brazilian Atlantic Forest. *Perspectives in Ecology and Conservation*, v. 21, n. 2, p. 112-120, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2023.02.003>. Acesso em: 28 abr. 2025.

BORDIN, K. M. et al. Climate and large-sized trees, but not diversity, drive above-ground biomass in subtropical forests. *Forest Ecology and Management*, v. 490, p. 119126, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119126>. Acesso em: 28 abr. 2025.

CARBONCREDITS.COM. Preços atuais de créditos de carbono. Disponível em: <https://carboncredits.com/carbon-prices-today/>. Acesso em: 28 abr. 2025.

CASTRO, P.; MICHAELLOWA, A. The potential of the Clean Development Mechanism to deliver pro-poor benefits. *Climate Policy*, v. 10, n. 2, p. 208-218, 2010. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/241684482_The_potential_of_the_CDM_to_deliver_pro-poor_benefits. Acesso em: 13 dez. 2024.

CERRI, C. E. P.; SPAROVEK, G.; BERNOUX, M.; EASTERLING, W. E.; MELILLO, J. M.; CERRI, C. C. Tropical agriculture and global warming: Impacts and mitigation options. *Scientia Agricola*, v. 64, p. 83–99, 2007a. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/sa/a/rqTCsnsnpnQfkpWHBCYwwW7q/>. Acesso em: 17 outubro 2024.

CHARNLEY, S.; DIAZ, D.; GOSNELL, H. Mitigating climate change through small-scale forestry in the USA: Opportunities and challenges. In: **CHARNLEY, S.; DIAZ, D.; GOSNELL, H.** (Org.). *Small-scale Forestry*. Springer Netherlands, 2010. p. 445–462. Disponível em: <https://research.fs.usda.gov/treearch/38917>. Acesso em: 14 fevereiro 2024

CHEN, N.; TSENDBAZAR, N. E.; SUAREZ, D. R.; SILVA-JUNIOR, C. H. L.; VERBESSELT, J.; HEROLD, M. Revealing the spatial variation in biomass uptake rates of Brazil's secondary forests. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, v. 208, p. 233–244, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2023.12.013>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924271624000169>. Acesso em: 15 abr. 2025.

DIAS, J. P. S. O papel da regulamentação do mercado de carbono brasileiro: Metas climáticas e atuação na agenda do clima. 2023. 72 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Relações Internacionais) – Faculdade de Ciências Econômicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2023. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/265302>.

FANG, J.; LIU, S.; WANG, L.; et al. NDVI-based vegetation dynamics and its resistance and resilience to climate extremes in China. *Science of The Total Environment*, v. 772, p. 145–152, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351989421003188>. Acesso em: 28 abr. 2025.

FERNÁNDEZ, A. L.; et al. Land use and land cover change impacts on surface temperature: A case study of the Brazilian Amazon. *Remote Sensing*, v. 13, n. 15, p. 2891, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs13152891>.

FOREST TRENDS. Ecosystem Marketplace Financing Emission Reductions for the Future: State of Voluntary Carbon Markets 2019. Disponível em: <https://icap.sustainability.illinois.edu/files/project/378/2019-Carbon%20Offsets-Market%20Overview.pdf>. Acesso: 20 janeiro 2025

FOREST TRENDS. Voluntary Carbon Markets: Demand in 2023 is concentrating around pricier, high-integrity credits. Washington, DC: Forest Trends, 2024. Disponível em: <https://www.forest-trends.org/pressroom/report-voluntary-carbon-markets-demand-in-2023-is-concentrating-around-pricier-high-integrity-credits/>. Acesso em: 25 abr. 2025.

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA. Contribuição da Mata Atlântica para a NDC brasileira: análise histórica das emissões de GEE e potencial de mitigação até 2050. 2021. Disponível em:

<https://cms.sosma.org.br/wp-content/uploads/2021/11/Emiss%C3%B5es-da-Mata-Atl%C3%A2ntica.pdf>. Acesso em: 4 maio 2024.

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA. Atlas da Mata Atlântica (2024). Disponível em: <https://sosma.org.br/iniciativas/atlas-da-mata-atlantica>. Acesso em: 07 dezembro 2024.

GONÇALVES-SOUZA, T.; CHASE, J. M.; HADDAD, N. M.; et al. A rotatividade de espécies não resgata a biodiversidade em paisagens fragmentadas. *Nature*, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41586-025-08688-7>. Acesso em: 7 maio 2025.

HUETE, A. R.; DIDAN, K.; MIURA, T.; RODRIGUEZ, E. P.; GAO, X.; FERREIRA, L. G. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, v. 83, n. 1–2, p. 195–213, 2002. Disponível em: <https://repositorio.bc.ufg.br/items/4d0c8eb8-6e4f-499c-bcab-14b5bb7ff794>. Acesso: 02 fevereiro 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Manual técnico da vegetação brasileira: sistema fitogeográfico: inventário das formações florestais e campestres: técnicas e manejo de coleções botânicas: procedimentos para mapeamentos. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Censo Agropecuário 2017-2018. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/21814-2017-censo-agropecuario.html?t=destaques/>. Acesso em: 4 jul. 2023.

INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA (INCRA). Acervo Fundiário. 2023. Disponível em: <http://acervofundiario.incra.gov.br/acervo/acv.php>. Acesso em: 15 jul. 2023.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). Plataforma Brazil Data Cube. Disponível em: <http://brazil.datacube.dpi.inpe.br/>. Acesso em: 28 abr. 2025.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). Catálogo de Imagens do INPE. Disponível em: <https://www.dgi.inpe.br/catalogo/explore>. Acesso em 10 dezembro 2024

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Volume 4 - Agriculture, Forestry and Other Land Use. 2006. Disponível em: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html>. Acesso em: 28 abr. 2025.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Summary for Policymakers: Climate Change 2023: The Physical Science Basis; Impacts, Adaptation, and Vulnerability; Mitigation of Climate Change. Genebra: IPCC, 2023. 36 p. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>. Acesso em: 27 ago. 2024.

KERCHNER, C. D.; KEETON, W. S. California's regulatory forest carbon market: viability for northeast landowners. *Forest Policy and Economics*, v. 50, p. 70–81, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1389934114001531>. Acesso em: 7 maio 2025.

KOH, L. P.; ZENG, Y.; SARIRA, T. V.; SIMAN, K. Carbon prospecting in tropical forests for climate change mitigation. *Nature Communications*, v. 12, n. 1271, 2021. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41467-021-21560-2>. Acesso em: 7 maio 2025.

KYOTO PROTOCOL. Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change. Kyoto, 1997. Disponível em: <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf>. Acesso em: 25 abr. 2025.

LAURANCE, W. F. et al. The fate of Amazonian forest fragments: a 32-year investigation. *Biological Conservation*, v. 144, p. 56–67, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2010.09.021>. Acesso em: 7 maio 2025.

LI, Y.; ZHAO, S.; PU, R. Impacts of land cover and climate changes on surface temperature in China. *Science of the Total Environment*, v. 579, p. 21–29, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.11.044>. Acesso em: 7 maio 2025.

LI, Y.; ZHAO, S.; XIE, Y.; LI, W. Remote sensing of vegetation and its change in urban thermal environment. *Environmental Research Letters*, v. 14, n. 5, p. 054009, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab17ff>. Acesso em: 7 maio 2025.

LUNA GUSMÃO, A. C. V.; SILVA, B. B. da; MONTENEGRO, S. M. G. L.; GALVÍNCIO, J. D.; DE OLIVEIRA, L. M. M. Índice de Vegetação e Temperatura de Superfície no Ecótono Ilha do Bananal por Sensoriamento Remoto. *Revista de Geografia*, [S. l.], v. 30, n. 3, p. 209–225, 2014. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/revistageografia/article/view/229114>. Acesso em: 8 maio. 2025.

MAPBIOMAS BRASIL. Mapeamento inédito indica que Brasil estoca no solo o equivalente a 70 anos das emissões de CO₂ do país. 2022. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/2023/06/21/mapeamento-inedito-indica-que-brasil-estoca-no-solo-o-equivalente-a-70-anos-das-emissoes-de-co2-do-pais/>. Acesso em: 10 out. 2023.

METZGER, J. P. Effects of deforestation pattern and private nature reserves on the forest conservation in settlement areas of the Brazilian Amazon. *Biota Neotropica*, Campinas, v. 1, n. 1-2, p. 1–14, 2001. Disponível em: <https://www.biotaneotropica.org.br/BN/article/view/1141>. Acesso em: 7 maio 2025.

MIYATSUKA, A.; ZUSMAN, E. An Introduction to Co-benefits: Core Concepts and Applications. Institute for Global Environmental Strategies (IGES), 2012. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/353582912_An_Introduction_to_Co-benefits_Core_Concepts_and_Applications. Acesso em: 16 dez. 2024.

NOVAIS, G. T.; MACHADO, L. A. Os climas do Brasil: segundo a classificação climática de Novais. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 32, p. 1–39, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.55761/abclima.v32i19.16163>. Acesso em: 7 maio 2025.

NOVICK, K. A. et al. Informing nature-based climate solutions for the United States with the best-available science. *Global Change Biology*, Hoboken, v. 28, n. 12, p. 3778–3794, 2022. DOI: 10.1111/gcb.16156. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/gcb.16156>. Acesso em: 7 maio 2025.

NUNEZ, F.; PAVLEY, F. Assembly Bill 32: The Global Warming Solutions Act of 2006. California State Legislature, Sacramento, 2006. Disponível em: <https://ww2.arb.ca.gov/resources/fact-sheets/ab-32-global-warming-solutions-act-2006>. Acesso em: 7 maio 2025.

OLIVEIRA, C. G. de; QUADRO, M. F. L. de. Regionalização da precipitação e temperatura em Santa Catarina com dados de alta resolução temporal e espacial. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 35, n. 20, p. 251–274, 2024. DOI: <https://doi.org/10.55761/abclima.v35i20.17652>.

OLIVEIRA, G.; SANTOS, R. A.; ANDRADE, P. R. Impacto do uso e cobertura da terra sobre a temperatura de superfície na região semiárida. *Revista Ambiente & Água*, Taubaté, v. 15, n. 1, e2366, 2020. DOI: 10.4136/ambi-agua.2366. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ambiagua/a/6K7xY8z9xJ3yL5V6Y8z9xJ3yL5V6Y8z9>. Acesso em: 7 maio 2025.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). Transformando nosso mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. Resolução A/RES/70/1, 2015. Disponível em: <https://www.gov.br/secretariageral/pt-br/cnods/agenda-2030>. Acesso em: 25 abr. 2025.

PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS (IPCC). Mudança Climática 2014: Impactos, adaptação e vulnerabilidade – Contribuição do Grupo de Trabalho II ao Quinto Relatório de Avaliação do IPCC. Genebra: IPCC, 2014. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/>. Acesso em: 27 ago. 2024.

PAIVA, C. M.; FRANÇA, G. B.; LIU, W. T. H.; ROTUNNO FILHO, O. C. A comparison of experimental energy balance components data and SEBAL model results in Dourados, Brazil. *International Journal of Remote Sensing*, v. 32, p. 1731 – 1745, 2011. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/253074679_A_comparison_of_experimental_energy_balance_components_data_and_SEBAL_model_results_in_Dourados_Brazil. Acesso em: 14 dezembro 2025.

PARIS AGREEMENT. Paris Agreement to the United Nations Framework Convention on Climate Change. Paris, 2015. Disponível em: https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf. Acesso em: 25 abr. 2025.

PINTO, S. R. R.; HIROTA, M.; SILVA, A. L. da; MEIRA-NETO, J. A. A.; PENNINGTON, R. T. Restoration of degraded Atlantic Forests: An overview. *Restoration Ecology*, v. 14, n. 4, p. 616–626, 2006. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1526-100X.2006.00171.x>. Acesso em: 7 maio 2025.

PLATAFORMA MAPBIOMAS ALERTA. Evolução da área de desmatamento (2019-2024). 2024. Disponível em: <https://plataforma.alerta.mapbiomas.org/>. Acesso em: 14 ago. 2024.

POORTER, L. et al. Biomass resilience of Neotropical secondary forests. *Nature*, v. 530, n. 7589, p. 211–214, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1038/nature16512>.

PROJETO MAPBIOMAS. Coleção 9 da série anual de mapas de cobertura e uso da terra do Brasil. 2024. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas/>. Acesso em: 7 out. 2025.

RIBEIRO, M. C.; METZGER, J. P.; MARTENSEN, A. C.; PONZONI, F. J.; HIROTA, M. M. The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. *Biological Conservation*, v. 142, n. 6, p. 1141–1153, 2009. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0006320709000974>. Acesso em: 7 maio 2025.

SANO, E. E. et al. Monitoring deforestation in Brazil using remote sensing technologies. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7451-2>. Acesso em: 7 maio 2025.

SANTOS, F.; ALMEIDA, M. G.; PEREIRA, R. C. Pagamentos por serviços ambientais e seu impacto na conservação florestal no Brasil. *Revista Brasileira de Estudos Ambientais*, v. 27, n. 1, p. 45–60, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.5380/rbea.v27i1.85863>. Acesso em: 7 maio 2025.

SANTOS, R. S.; MOURA, Y. M.; MENDES, R. M. Variação da temperatura de superfície em áreas de diferentes coberturas no bioma Amazônia. *Revista Geográfica Acadêmica*, v. 14, n. 1, p. 34–47, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.5935/2177-3369.20200004>. Acesso em: 7 maio 2025.

SARIRA, R. Carbon projects and socioeconomic co-benefits: Enhancing social inclusion and gender equality in local communities. *Environmental Sustainability Journal*, v. 15, n. 3, p. 45–58, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1234/esj.v15i3.2022>. Acesso em: 25 abr. 2025.

SATMAPPER. Plataforma para análise de imagens de satélite. Disponível em: <https://www.satmapper.hu/en/>. Acesso em: 28 abr. 2025.

SILVA-JUNIOR, C. H. L. et al. Benchmark maps of 33 years of secondary forest age for Brazil. *Scientific Data*, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41597-020-00600-4>.

SILVA, R. F.; SOUZA, D. P.; OLIVEIRA, L. G. Ecoturismo e desenvolvimento sustentável em unidades de conservação: potencialidades e desafios. *Revista Brasileira de Ecoturismo*, v. 12, n. 2, p. 234-250, 2019.

SISTEMA DE ALERTA DE DESMATAMENTO DA MATA ATLÂNTICA (SAD). Boletim de desmatamento identificado e validado em 2022-2023. Disponível em: https://lookerstudio.google.com/u/0/reporting/358bd500-1ca2-4f0f-bd7f-02a5eab2c475/page/p_zhx7hxza2c. Acesso em: 15 jun. 2023.

SISTEMA DE ESTIMATIVAS DE EMISSÕES E REMOÇÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA (SEEG). Análises das emissões de gases de efeito estufa no Brasil: e suas implicações para as metas climáticas no Brasil – 1970–2023. 2024. Disponível em: <https://seeg.eco.br/wp-content/uploads/2024/02/SEEG11-RELATORIO-ANALITICO.pdf>. Acesso em: 18 mar. 2025.

SOCIAL CARBON. SCM0003: Methodology for Carbon Removal in Private Conservation Areas. V1.3, 08 fev. 2023. Disponível em: <https://www.socialcarbon.org/scm0003>. Acesso em: 19 janeiro 2024.

SOCIAL CARBON. Standard V6.2: Outlines all specific requirements for developing projects and for the validation, monitoring and verification of projects using the SOCIAL CARBON Standard. 30 maio 2024. Disponível em: <https://static1.squarespace.com/static/6161c89d030b89374bec0b70/t/6658c5cd5cdfa870504912f9/1717093841448/SOCIALCARBON+Standard+v6.2.pdf>. Acesso em: 12 ago. 2024.

SOUZA, A. S.; LIMA, A. S.; ROCHA, J. V. Análise da influência do NDVI sobre a temperatura de superfície em áreas urbanas. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 14, n. 4, p. 1791–1803, 2021. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1144438/1/Comparacao-de-imagens-multiespectrais-utilizando-Satelites-e-VANT-2021.pdf>. Acesso em: 7 mai. 2025. [Alice](#)

TALLIS, H. et al. Application of vegetation indices in carbon sequestration projects. *Ecological Applications*, 2015. Disponível em: <https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1890/15-0938.1>. Acesso em: 7 mai. 2025.

VIBRANS, A. C.; SEVEGNANI, L.; LINGNER, D. V.; GASPER, A. L.; SABBAGH, S. Inventário Florístico e Florestal do Estado de Santa Catarina (IFFSC): aspectos metodológicos e operacionais. *Pesquisa Florestal Brasileira*, v. 30, n. 64, p. 291–302, 2010. DOI: <https://doi.org/10.4336/2010.pfb.30.64.291>.

VIBRANS, A. C.; GASPER, A. L.; GARCIA, R. A. et al. Dinâmica da biomassa e do carbono em florestas subtropicais da Mata Atlântica: implicações para estimativas de sequestro de carbono. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 36, n. 4, p. 1151–1163, 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcsoci/a/9v5b9Lh7kW5xQX7g8r6c5/?lang=pt>. Acesso em: 28 abr. 2025.

VIBRANS, A. C.; GASPER, A. L.; MOSER, P.; OLIVEIRA, L. Z.; LINGNER, D. V.; SEVEGNANI, L. Insights from a large-scale inventory in the southern Brazilian Atlantic Forest. *Scientia Agricola*, v. 77, n. 1, e20180036, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1678-992X-2018-0036>.

VIBRANS, A. C.; OLIVEIRA, L. Z.; GASPER, A. L.; LINGNER, D. V.; SCHORN, L. A.; SILVA, D. A. Unprecedented large-area turnover estimates for the subtropical Brazilian Atlantic Forest based on systematically-gathered data. *Forest Ecology and Management*, v. 505, 119902, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119902>.

WENG, Q. Thermal infrared remote sensing for urban climate and environmental studies: methods, applications, and trends. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, v. 64, n. 4, p. 335–344, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2009.03.007>.

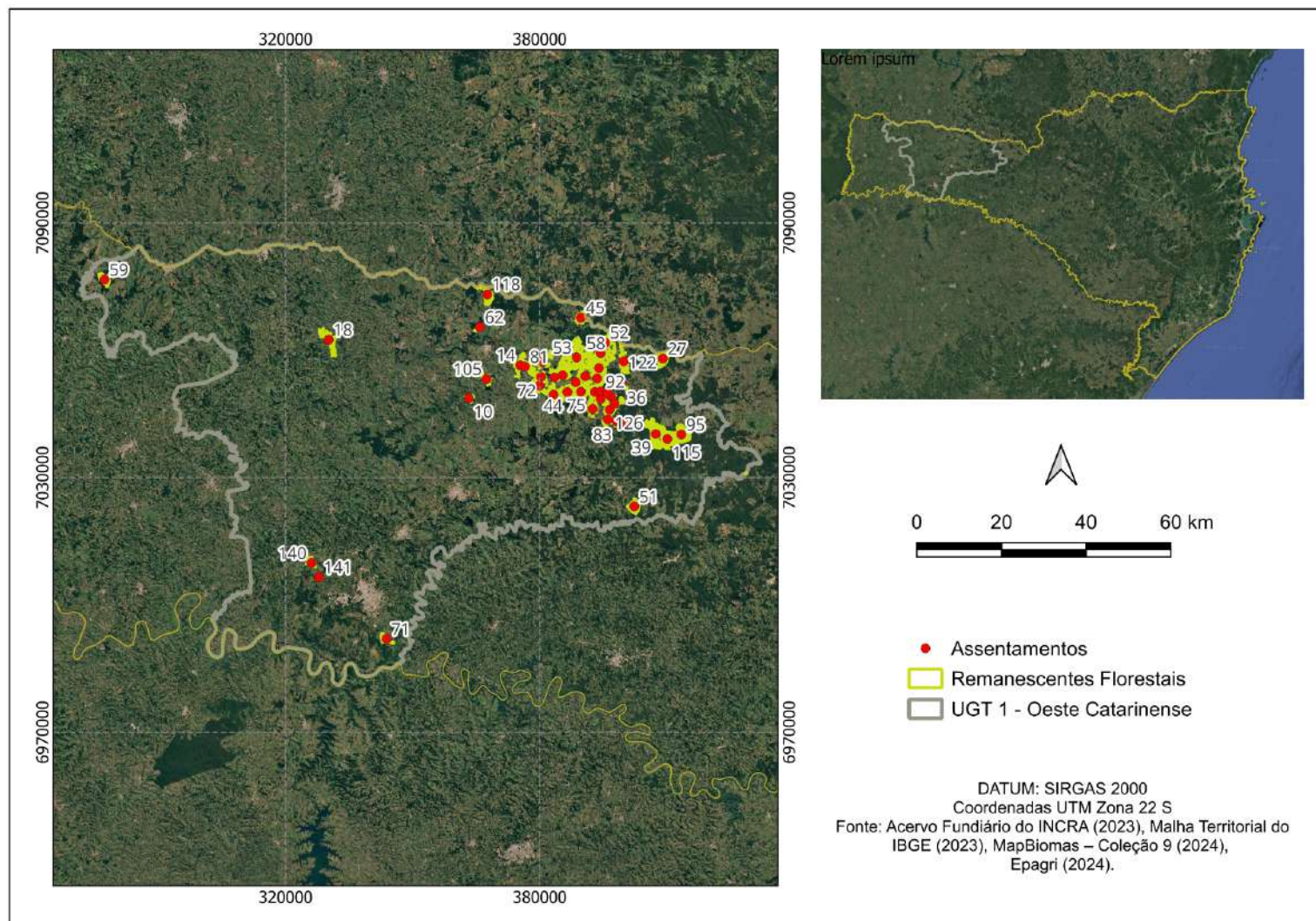
WENG, Q.; LU, D. A sub-pixel analysis of urbanization effect on land surface temperature and its interplay with impervious surface and vegetation coverage in Indianapolis, United States. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, v.10, p.68 - 83, 2008. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0303243407000384>. Acesso em 07 janeiro 2025.

WHITE, A. E.; LUTZ, D. A.; HOWARTH, R. B.; SOTO, J. R. Small-scale forestry and carbon offset markets: An empirical study of Vermont Current Use forest landowner willingness to accept carbon credit programs. *PLOS ONE*, v. 13, n. 8, e0201967, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0201967>.

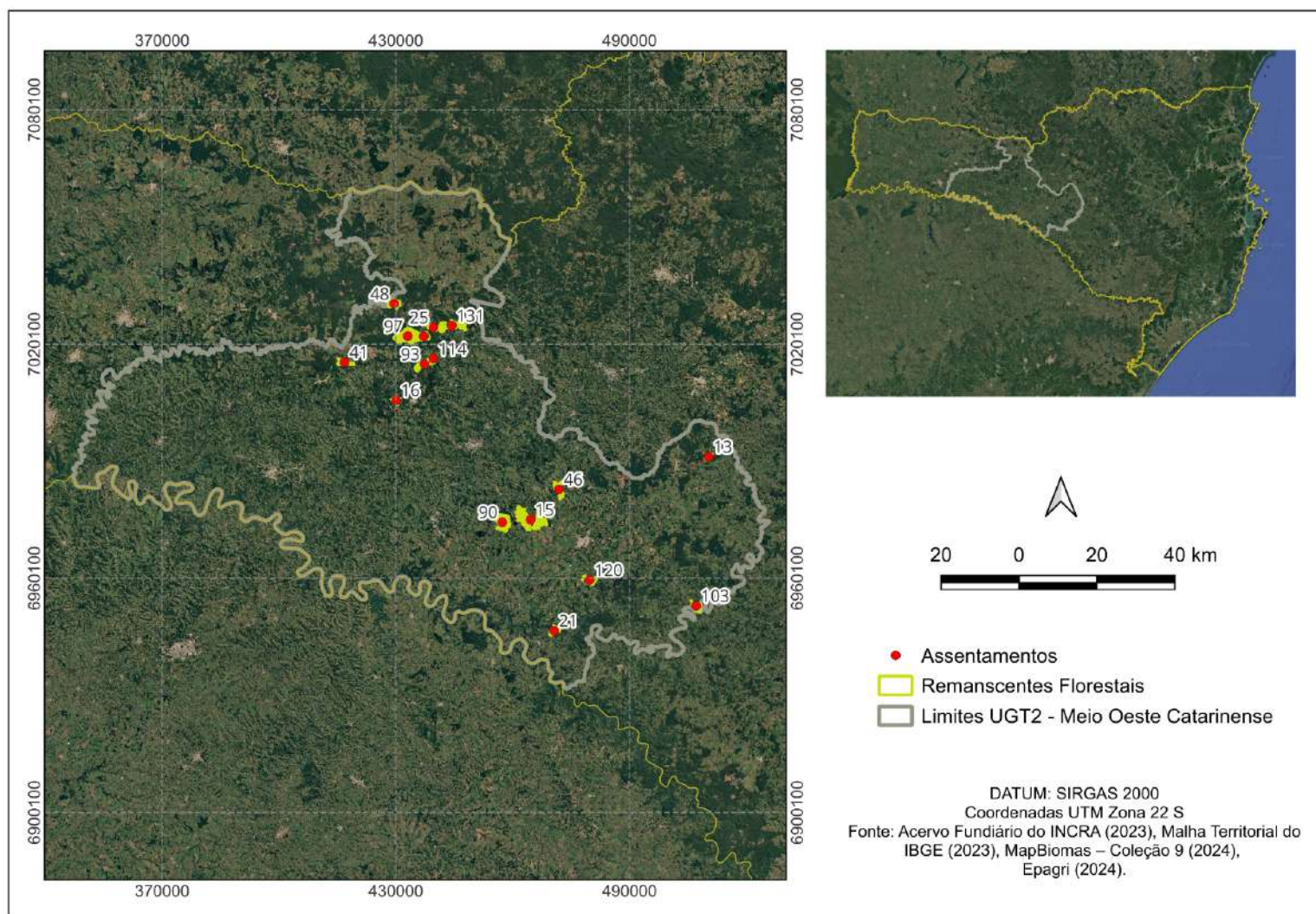
WORLD BANK. State and Trends of Carbon Pricing 2023. Washington, DC: World Bank Group, 2023. Disponível em: <https://openknowledge.worldbank.org/server/api/core/bitstreams/2eb25e8e-ca16-4649-b637-e5caf88fd625/content>. Acesso em: 25 abr. 2025.

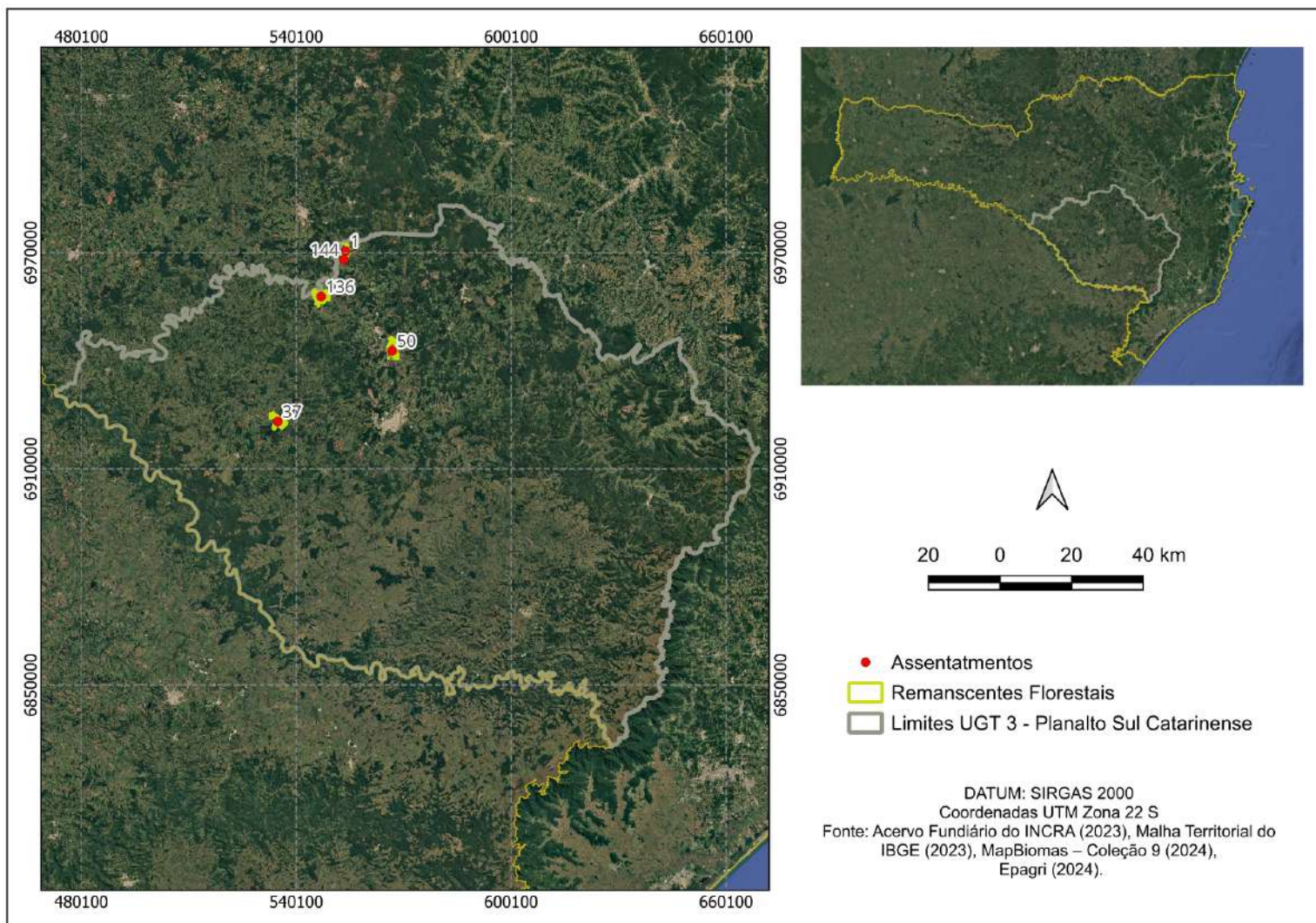
WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (WMO). State of the Global Climate 2024. WMO n. 1347. Disponível em: <https://wmo.int/files/provisional-state-of-global-climate-2023>. Acesso em: 27 ago. 2024.

ANEXO 1 – Mapa temático com a identificação dos remanescentes florestais nos assentamentos localizados na UGT 1

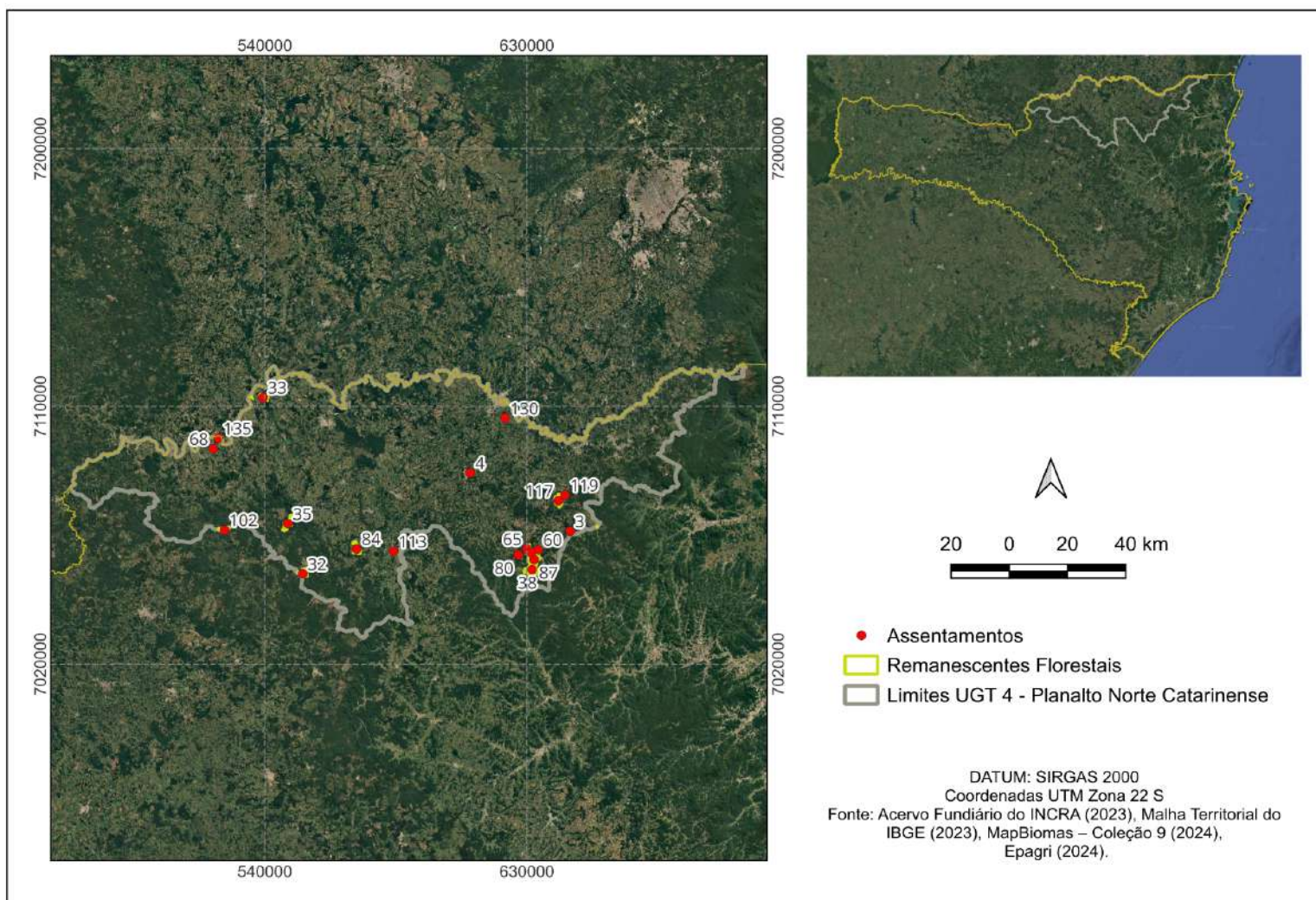


ANEXO 2 – Mapa temático com a identificação dos remanescentes florestais nos assentamentos localizados na UGT 2

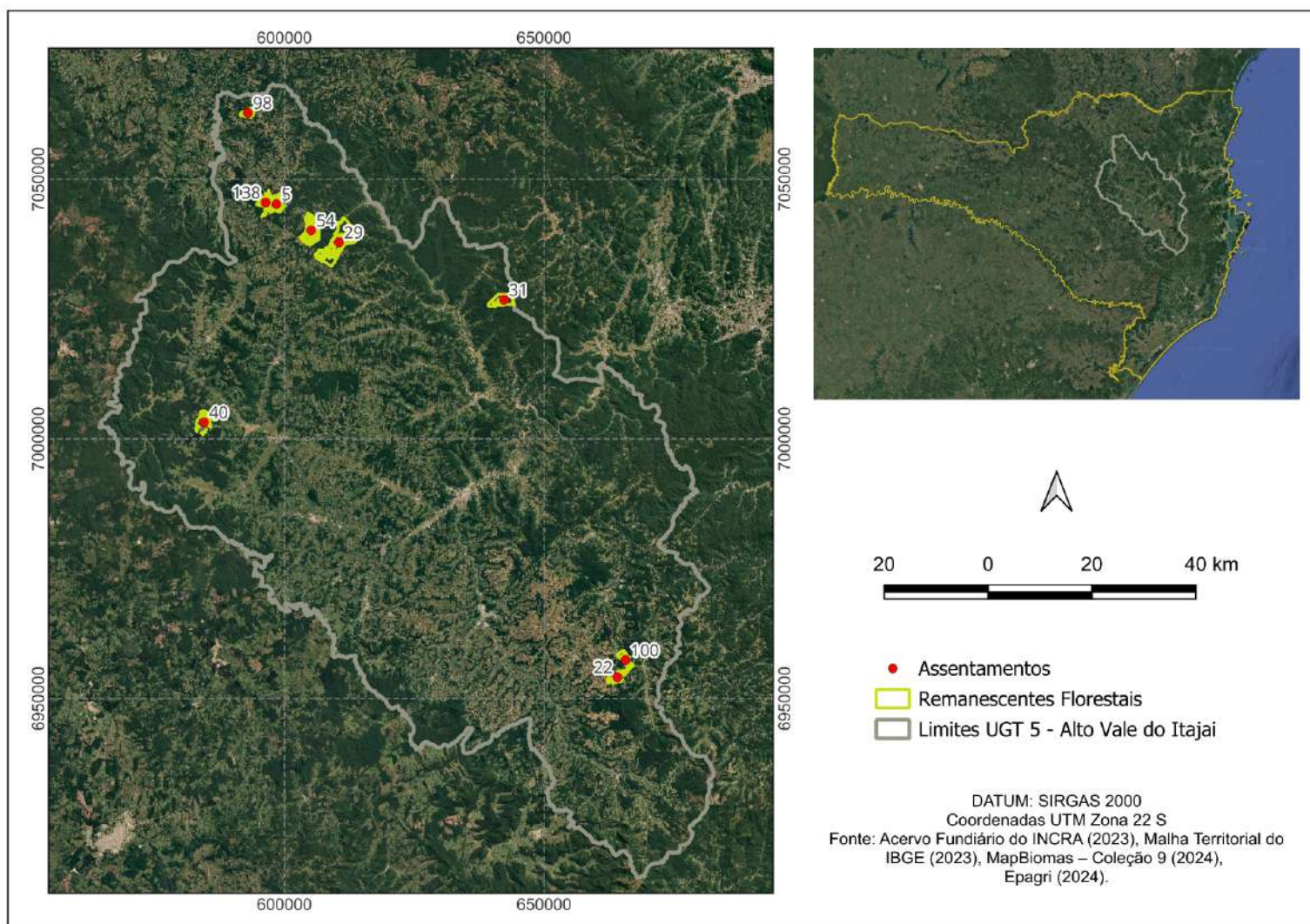


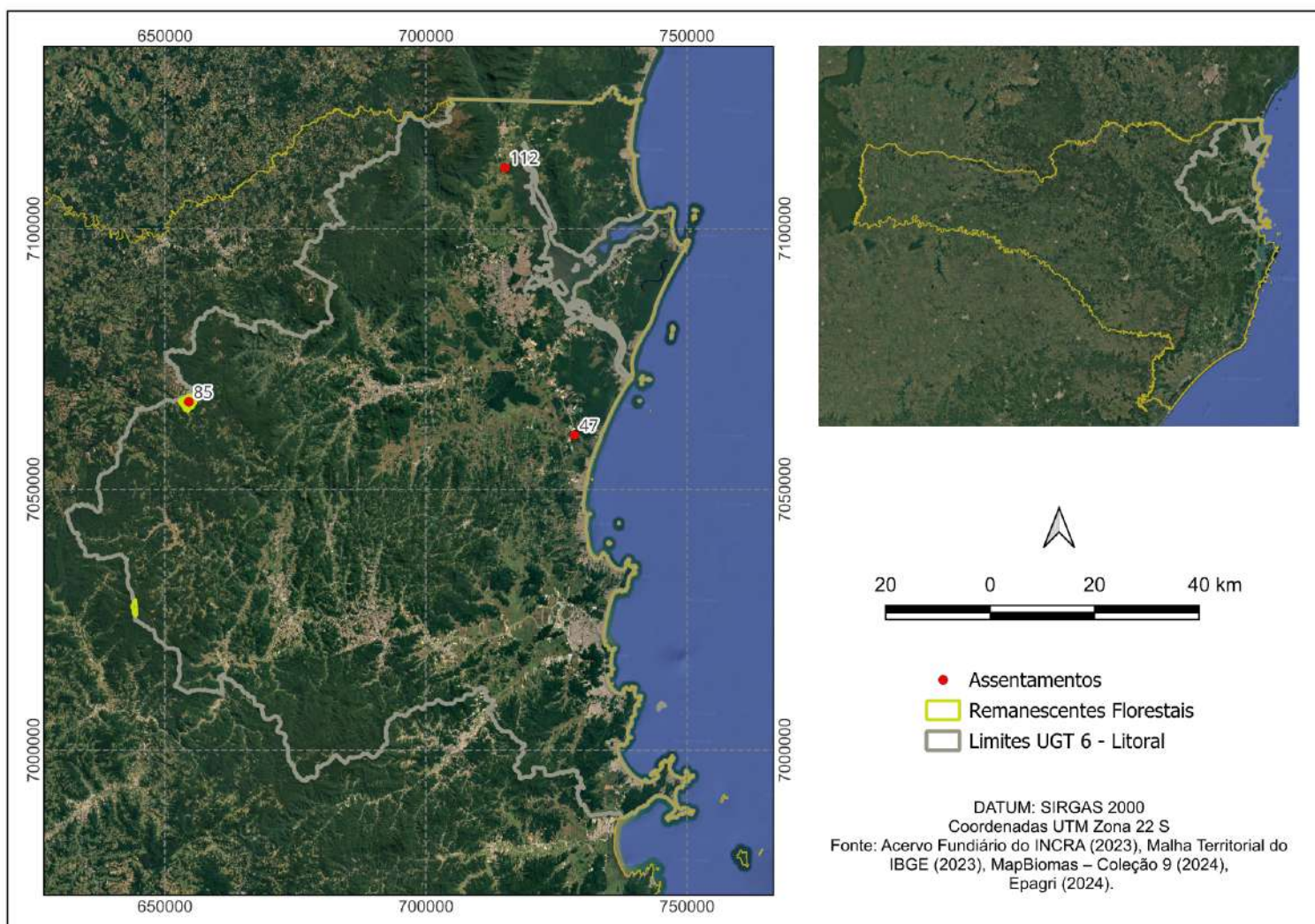
ANEXO 3 – Mapa temático com a identificação dos remanescentes florestais nos assentamentos localizados na UGT 3

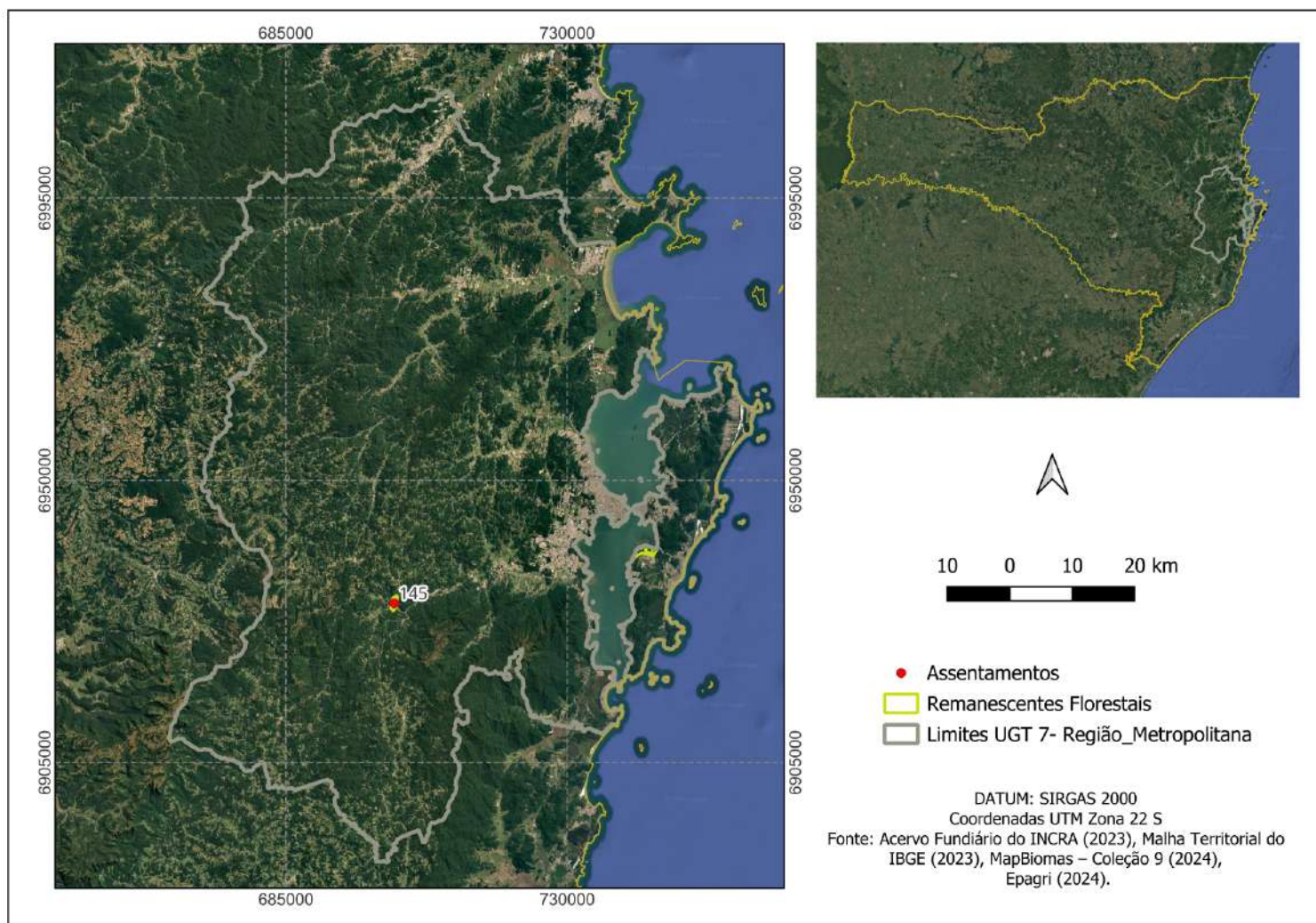
ANEXO 4 – Mapa temático com a identificação dos remanescentes florestais nos assentamentos localizados na UGT 4

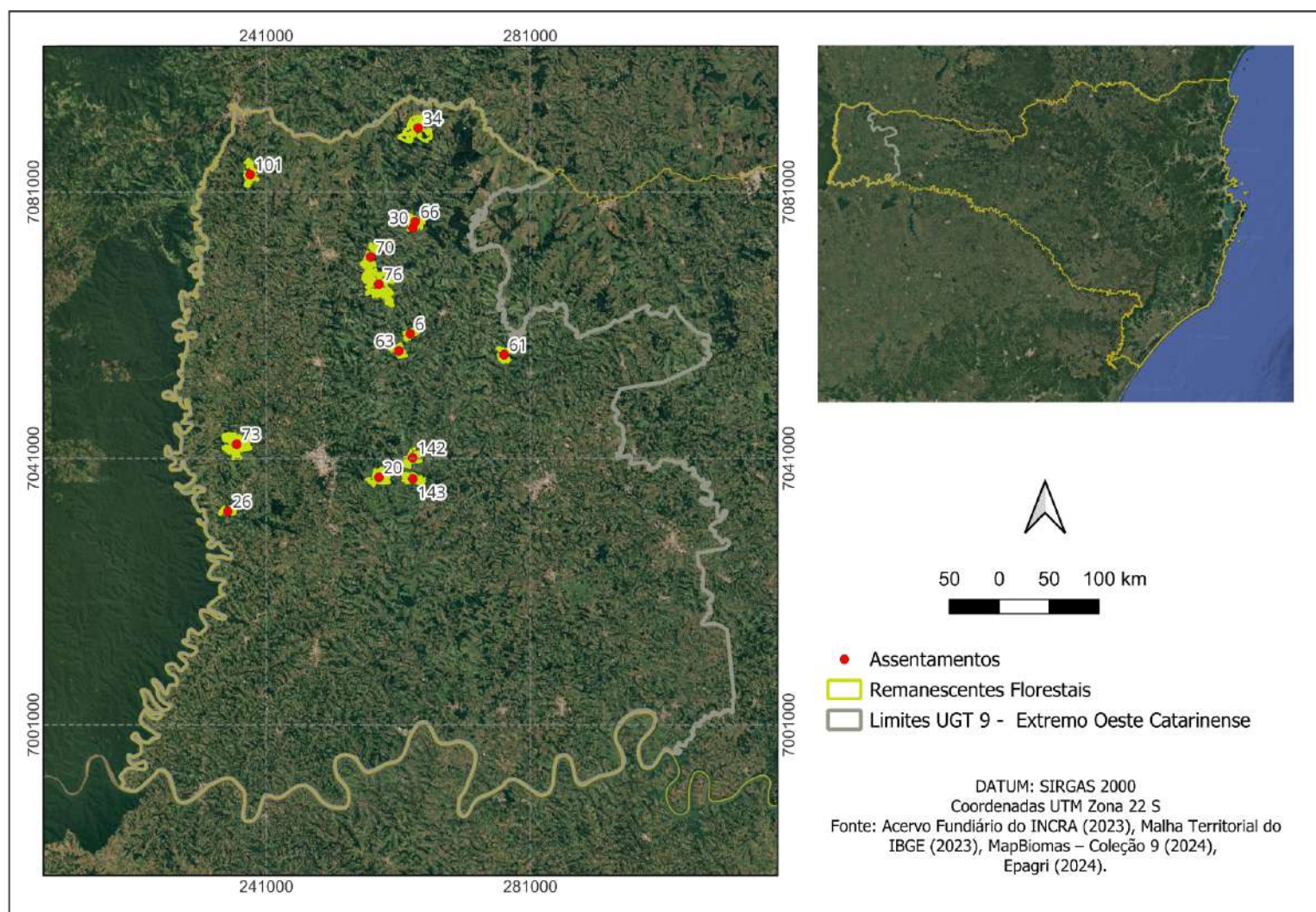


ANEXO 5 – Mapa temático com a identificação dos remanescentes florestais nos assentamentos localizados na UGT 5

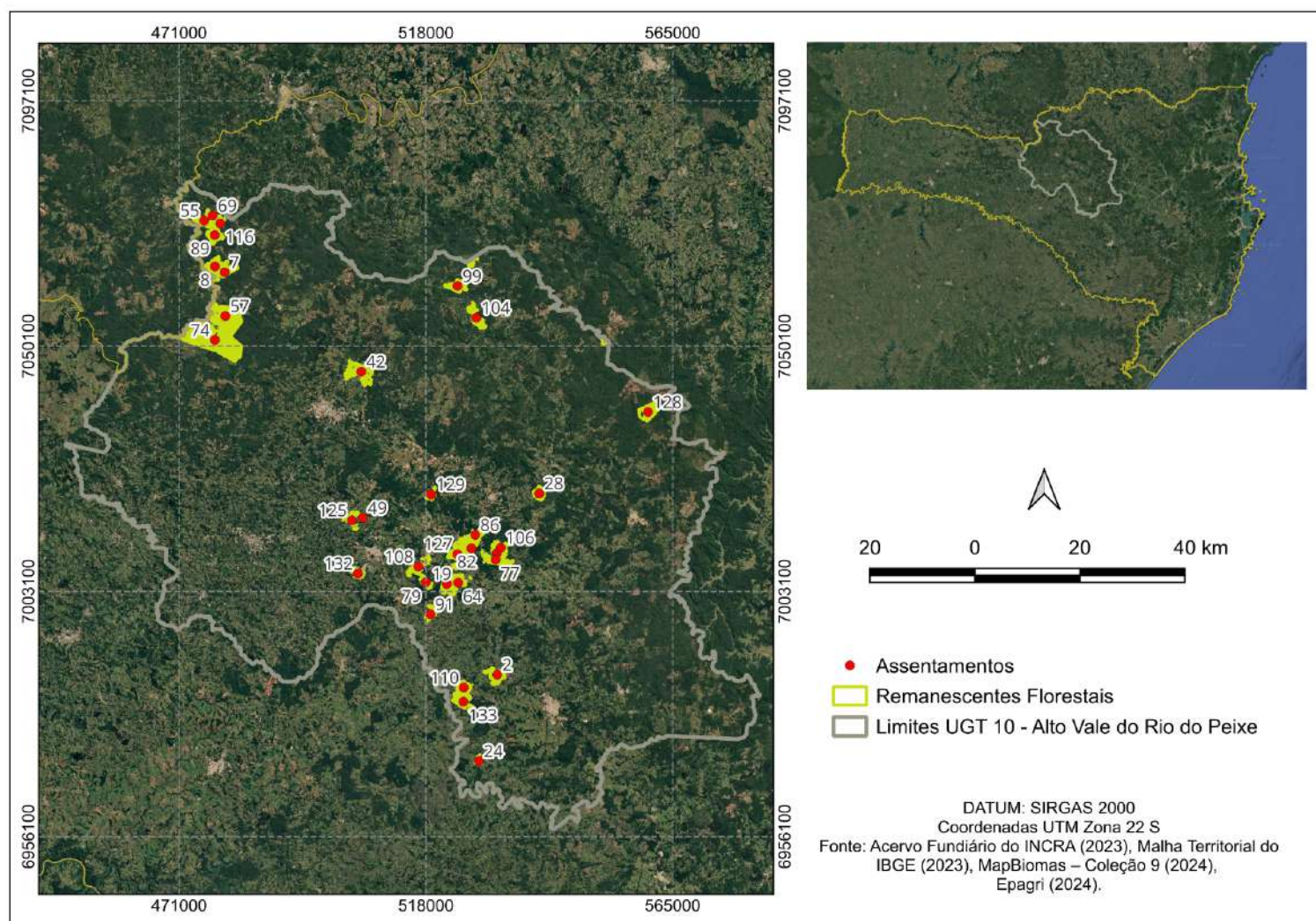


ANEXO 6 – Mapa temático com a identificação dos remanescentes florestais nos assentamentos localizados na UGT 6

ANEXO 7 – Mapa temático com a identificação dos remanescentes florestais nos assentamentos localizados na UGT 7

ANEXO 8 – Mapa temático com a identificação dos remanescentes florestais nos assentamentos localizados na UGT 9

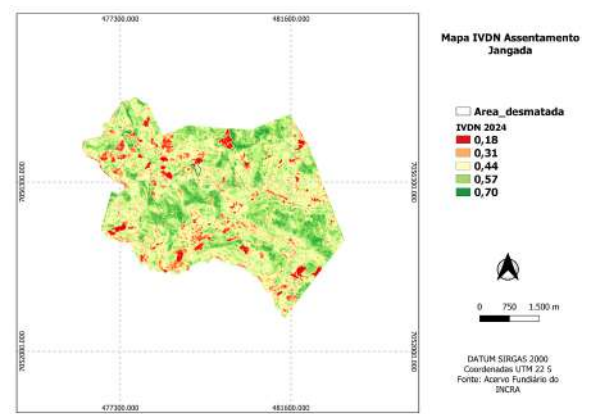
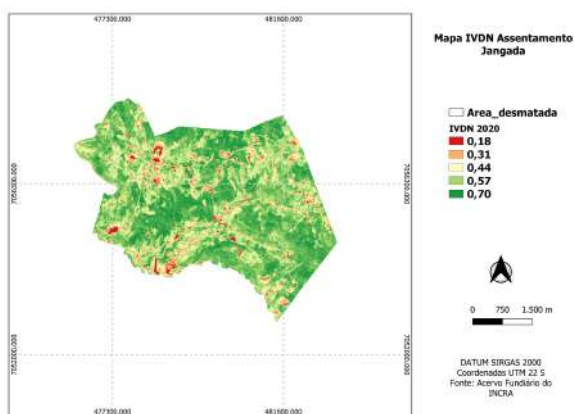
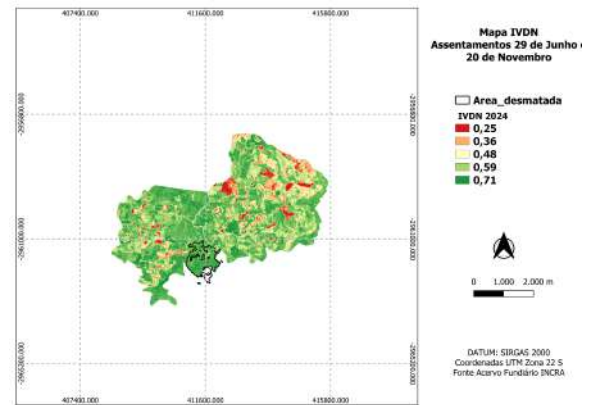
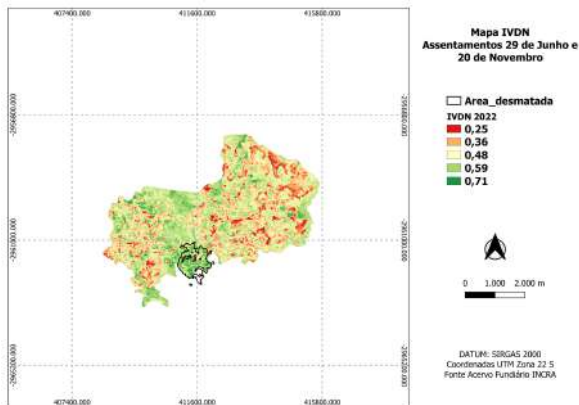
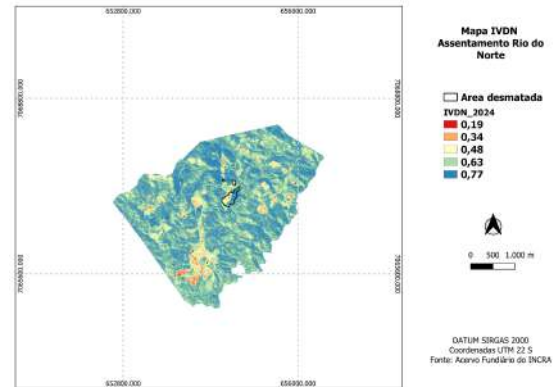
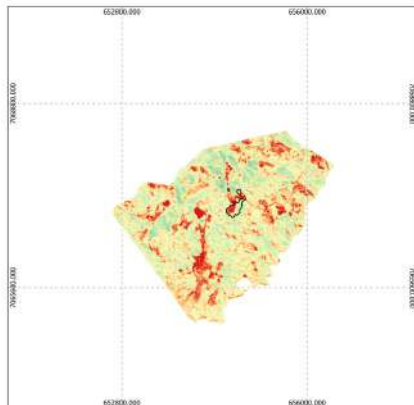
ANEXO 9 – Mapa temático com a identificação dos remanescentes florestais nos assentamentos localizados na UGT 10



ANEXO 10 - Foto da apresentação na Superintendência do INCRA/SC

Imagem: Superintendência do INCRA/São José-SC, 06/05/2025.

ANEXO 11 – Mapa de Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN) nos Assentamentos Rurais



ANEXO 12 – Mapa de Temperatura de Superfície (TST) nos Assentamentos Rurais

