



FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE PALMAS/TO
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA AMBIENTAL - MPEA

FERNANDO BARBOSA SELLOS LOPES

PROPOSIÇÃO METODOLÓGICA PARA REPARTIÇÃO DE BENEFÍCIOS DE
PROGRAMAS JURISDICIONAIS DE REDD+.

Palmas, TO
2025

FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE PALMAS/TO
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA AMBIENTAL - MPEA

FERNANDO BARBOSA SELLOS LOPES

PROPOSIÇÃO METODOLÓGICA PARA REPARTIÇÃO DE BENEFÍCIOS DE
PROGRAMAS JURISDICIONAIS DE REDD+.

Dissertação de mestrado apresentado à UFT –
Universidade Federal do Tocantins – Campus
Universitário de Palmas, Curso de Mestrado
Profissional em Engenharia Ambiental, como
requisito parcial para obtenção do título de Mestre
em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Joel Carlos Zukowski Junior

Palmas, TO
2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

L864p Lopes, Fernando Barbosa Sello.

Proposição metodológica para repartição de benefícios de programas
jurisdicionais de REDD+... / Fernando Barbosa Sello Lopes. – Palmas, TO,
2025.

76 f.

Dissertação (Mestrado Profissional) - Universidade Federal do Tocantins
– Câmpus Universitário de Palmas - Curso de Pós-Graduação (Mestrado)
Profissional em Engenharia Ambiental, 2025.

Orientador: Joel Carlos Zukowski Junior

1. REDD+. 2. Salvaguardas de Cancún. 3. Repartição de Benefícios. 4.
REDD+ Jurisdicional. I. Título

CDD 628

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer
forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte.
A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184
do Código Penal.

**Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da
UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).**

FERNANDO BARBOSA SELLOS LOPES

**PROPOSIÇÃO METODOLÓGICA PARA REPARTIÇÃO DE BENEFÍCIOS
DE PROGRAMAS JURISDICIONAIS DE REDD+.**

Dissertação de mestrado apresentado à UFT –
Universidade Federal do Tocantins – Campus
Universitário de Palmas, Curso de Mestrado
Profissional em Engenharia Ambiental, como
requisito parcial para obtenção do título de Mestre
em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Joel Carlos Zukowski Junior

Realizado em: 29/09/2025.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Joel Carlos Zukowski Junior (Presidente)

Fundação Universidade Federal do Tocantins

Prof. Dr. Ricardo Ribeiro Dias (Membro Interno)

Fundação Universidade Federal do Tocantins

Profa. Dra. Alice Rocha de Souza (Membro Externo)

Instituto Federal do Tocantins

Palmas, TO

2025

Dedico esse trabalho esse trabalho a todos os que de forma direta e indireta contribuíram para o meu crescimento pessoal, acadêmico e profissional. Deus os abençoe sempre.

AGRADECIMENTOS

A Deus, fonte de toda sabedoria, força e propósito, por conduzir cada passo desta jornada e por me sustentar nos momentos de dúvida e dificuldade.

À minha esposa, Miriã Lopes, pelo amor, apoio incondicional e paciência nos momentos de ausência. Sua presença foi essencial para que eu permanecesse firme até o fim desta etapa.

Aos meus pais, Maria Ângela e Fernando Lopes, pela base sólida de valores, e ao meu irmão Rodrigo Barbosa, pelo incentivo constante e apoio familiar inestimável.

Ao Professor Doutor Joel Zukowski, meu orientador, pela orientação técnica rigorosa, pela escuta generosa e pela dedicação ao longo de todo o desenvolvimento desta pesquisa.

Ao amigo André Andrade, por sua colaboração decisiva na formulação da proposta metodológica, pela paciência em compartilhar conhecimentos e pelo companheirismo durante todo o processo.

À Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Tocantins (SEMARH/TO), por ter me proporcionado a oportunidade de trabalho que introduziu este tema em minha vida. Em especial, agradeço à Superintendente Marli dos Santos e à ex-Secretária Miyuki Hayashida, pelo incentivo, confiança e apoio ao longo da caminhada. Estendo meus agradecimentos a toda a equipe da SEMARH, pelo coleguismo, companheirismo, paciência e apoio cotidiano, fundamentais para a construção deste trabalho.

À Universidade Federal do Tocantins (UFT), por ter acolhido meu retorno ao Programa de Pós-Graduação e me proporcionado as condições necessárias para a conclusão deste mestrado.

À Tríade Engenharia, por acreditar em meu potencial e viabilizar a conciliação entre o crescimento profissional e a conclusão deste importante ciclo acadêmico.

A todos os que, de forma direta ou indireta, contribuíram para a realização deste trabalho, minha mais sincera gratidão.

O Lamento das Coisas

*Triste, a escutar, pancada por pancada,
A sucessividade dos segundos,
Ouço, em sons subterrâneos, do Orbe oriundos
O choro da Energia abandonada!
É a dor da Força desaproveitada
- O cantochão dos dínamos profundos,
Que, podendo mover milhões de mundos,
Jazem ainda na estática do Nada!
É o soluço da forma ainda imprecisa...
Da transcendência que se não realiza....
Da luz que não chegou a ser lampejo...
E é em suma, o subconsciente aí formidando
Da Natureza que parou, chorando,
No rudimentarismo do Desejo!*

Augusto dos Anjos

ANJOS, A. Eu e Outras Poesias. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira, 1998.

RESUMO

Esta dissertação propõe uma metodologia para repartição de benefícios financeiros oriundos de programas jurisdicionais de REDD+, aplicada ao estado do Tocantins no ano de 2021. A proposta fundamenta-se na abordagem estoque-fluxo, a qual combina o reconhecimento das áreas preservadas (estoque) com a mensuração da redução do desmatamento (fluxo), considerando dados oficiais e referências normativas consolidadas, como o Programa REM do Mato Grosso e as diretrizes da CONAREDD+. A metodologia foi estruturada por meio de análise espacial multicritério, utilizando técnicas de geoprocessamento e linguagens computacionais (Python) para o cruzamento de dados fundiários e ambientais. Os critérios foram aplicados com pesos equivalentes (50:50), assegurando equilíbrio entre esforços históricos de conservação e desempenho recente na redução de emissões. Os dados de vegetação nativa foram obtidos do MapBiomass (2021), enquanto os dados de desmatamento foram extraídos do PRODES/INPE, para os períodos de referência (2011–2015) e creditação (2016–2020). Os resultados indicaram que a vegetação nativa remanescente totalizou cerca de 19,2 milhões de hectares, com destaque para as áreas privadas, que contribuíram com quase 48% do total. No critério de fluxo, observou-se uma redução média de aproximadamente 148,7 mil hectares de desmatamento no período analisado. A quantificação das emissões evitadas, com base nos mapas de carbono das Comunicações Nacionais (2CN, 3CN e 4CN), apontou reduções entre 114 e 116 milhões de tCO_{2eq}, com variações metodológicas relacionadas às fitofisionomias vegetais. A proposta se mostra replicável e tecnicamente robusta, oferecendo uma base objetiva e adaptável para orientar a alocação equitativa de benefícios no contexto subnacional de REDD+ no Brasil.

Palavras-chave: REDD+, Tocantins, estoque-fluxo, vegetação nativa, desmatamento evitado, carbono.

ABSTRACT

This dissertation proposes a methodology for the allocation of financial benefits derived from jurisdictional REDD+ programs, applied to the state of Tocantins in the year 2021. The proposal is based on the stock-flow approach, which combines the recognition of preserved native vegetation (stock) with the measurement of deforestation reduction (flow), using official data and consolidated normative references such as the REM Program of Mato Grosso and the CONAREDD+ guidelines. The methodology was structured through a multicriteria spatial analysis, employing geoprocessing techniques and computational language (Python) to cross-reference land tenure and environmental data. The criteria were applied with equal weights (50:50), ensuring balance between historical conservation efforts and recent emission reduction performance. Native vegetation data were obtained from MapBiomas (2021), while deforestation data were sourced from PRODES/INPE, for the reference (2011–2015) and crediting (2016–2020) periods. Results indicated a remaining native vegetation cover of approximately 19.2 million hectares, with private lands contributing nearly 48% of this total. Under the flow criterion, a mean reduction of around 148.7 thousand hectares of deforestation was observed. The quantification of avoided emissions, based on carbon maps from Brazil's National Communications (2CN, 3CN, and 4CN), revealed reductions ranging between 114 and 116 million tCO₂eq, with methodological variations associated with updated classifications of vegetation physiognomies. The proposed methodology proved replicable and technically sound, offering an objective and adaptable framework to guide the equitable allocation of REDD+ benefits at the subnational level in Brazil.

Keywords: REDD+, Tocantins, stock-flow, native vegetation, avoided deforestation, carbon.

LISTA DE SIGLAS

2 CN: 2ª Comunicação Nacional (Mapa de carbono)

3 CN: 3ª Comunicação Nacional (Mapa de carbono)

4 CN: 4ª Comunicação Nacional (Mapa de carbono)

ABC+: Plano de Agricultura de Baixo Carbono

ART/TREES: Arquitetura para Transações REDD+ (Padrão Internacional)

CAD: Design Assistido por Computador

CCBA: Aliança para o Clima, Comunidade e Biodiversidade

COP: Conferência das Partes

CONAREDD+: Comissão Nacional para REDD+

DSEI: Distrito Sanitário Especial Indígena

EESGTO: Estação Ecológica da Serra Geral do Tocantins

FREL: Nível de Referência de Emissões Florestais

GEE: Gases de Efeito Estufa

GTT: Grupo de Trabalho Técnico

i3Geo: Interface Integrada para Internet de Ferramentas de Geoprocessamento

IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INCRA: Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária

INPE: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IPCC: Painel Intergovernamental para a Mudança de Clima

LULC: Uso e Cobertura do Solo

LULUCF: Uso da Terra, Mudança no Uso da Terra e Florestas

MapBIOMAS: Projeto MapBIOMAS

MATOPIBA: região formada pelos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia

MCDM: Tomada de Decisão com Múltiplos Critérios

MCE: Avaliação Multicritério

MCTI: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações

MIT: Instituto de Tecnologia de Massachusetts

MNAFTO: Monumento Natural das Árvores Fossilizadas do Tocantins

ONU: Organização das Nações Unidas

PBI: Polos de Base Indígenas

PEL: Parque Estadual do Lajeado

PEJ: Parque Estadual do Jalapão

PIPECTAF: Povos Indígenas, Povos Tradicionais, Comunidades Quilombolas e Agricultores Familiares

PRODES: Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal por Satélite

REDD+: Redução das Emissões provenientes de Desmatamento e Degradação florestal, aumento e conservação de estoques de carbono florestal e manejo sustentável de florestas

REM: Programa *Ready Earlier Movers* do estado do Mato Grosso

SasiSUS: Subsistema de Atenção à Saúde Indígena

SEPLAN/TO: Secretaria de Planejamento do estado do Tocantins

SIG: Sistemas de Informação Geográfica

SIGEF: Sistema de Gestão Fundiária

SisREDD: Sistema de informações sobre Salvaguardas do Brasil

tCO_{2eq}: toneladas de dióxido de carbono equivalente

UC: Unidades de Conservação

UNFCCC: Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima

WOA: Análise de Sobreposição Ponderada

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Comunidades Quilombolas reconhecidas no estado do Tocantins.....	23
Figura 2 - Povos indígenas do estado do Tocantins.	25
Figura 3 - Emissões de GEE do Tocantins por Setor em 2016.	28
Figura 4 - Mapa de sobreposições fundiárias conforme base de dados oficiais.....	56
Figura 5. Mapa de sobreposições do estado do Tocantins para o ano de 2021.....	59
Figura 6 - Mapa de sobreposições do estado do Tocantins para o ano de 2021, destaque (<i>zoom in</i>).	60
Figura 7. Mapa de sobreposições do estado do Tocantins para o ano de 2021, destaque “Bico do Papagaio”.....	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Processos de regularização fundiária junto ao Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária – INCRA em 03/10/2023.....	21
Tabela 2. Distribuição da população indígena tocaninense conforme dados do DSEI, 2020.....	24
Tabela 3. Censo Agropecuário de Estabelecimentos agropecuários em Unidades de Conservação e Terras Indígenas do IBGE, 2017.....	26
Tabela 4. Contribuições absolutas do critério I por segmentos para o ano de 2021 no estado do Tocantins.....	63
Tabela 5. Resultados dos dados de desmatamentos, critério II (fluxo) por segmento.....	66
Tabela 6. Resultados critério I.....	71
Tabela 7. Resultados critério II.....	72
Tabela 8. Resultados percentuais do cruzamento dos critérios I e II.....	72
Tabela 9. Contribuição de reduções em toneladas de CO ₂ eq por segmento conforme mapas de carbono 2CN e 3 CN.....	73
Tabela 10. Contribuição de reduções em toneladas de CO ₂ eq por segmento conforme mapa de carbono 4 CN.....	73

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO/JUSTIFICATIVA	16
2	OBJETIVO GERAL E ESPECÍFICOS.....	18
2.1	Geral	18
2.2	Específicos.....	18
3	REVISÃO DE LITERATURA	19
3.1	Identificação dos atores/segmentos sociais	19
3.2	Setores emissores do estado do Tocantins.....	27
3.3	Salvaguardas e o mecanismo de repartição de benefícios.....	30
3.4	Legislações, Acordos Internacionais e Planos Governamentais	32
3.5	Ordenamento do Território no Contexto do Geodesign	34
3.6	Análise de sobreposição ponderada.....	36
3.7	Dinâmica de sistemas	38
3.8	Economia ambiental e valoração de serviços ecossistêmicos	41
3.9	Governança ambiental e transparência	42
4	METODOLOGIA.....	44
5	RESULTADOS	54
5.1	Mapeamento das sobreposições fundiárias com aplicação e desenvolvimento da linguagem de programação <i>Python</i> para avaliação das sobreposições territoriais	54
5.2	Mensuração dos volumes de estoque e créditos de carbono conforme mapas de carbono 2CN, 3 CN e 4CN.....	62
5.3	Resultados da contribuição por segmento social baseada na abordagem estoque-fluxo para o estado do Tocantins no ano de 2021	69
6	CONCLUSÃO.....	75

REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO	77
---------------------------------	----

1 INTRODUÇÃO/JUSTIFICATIVA

O REDD+ (sigla para, Redução das Emissões provenientes de Desmatamento e Degradação florestal, aumento e conservação de estoques de carbono florestal e manejo sustentável de florestas), é um instrumento criado, para países em desenvolvimento, que os permite se tornar elegíveis a receber “pagamentos por resultados”, quando comprovados seus esforços, nas políticas e ações que culminem na diminuição do desmatamento e degradação ambiental, no aumento, manutenção e conservação dos estoques de carbono florestal.

Na 19ª Conferência das Partes (COP-19) em 2013 da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (sigla em inglês, UNFCCC), se criou uma arquitetura internacional, Marco de Varsóvia, para prover incentivos financeiros a países em desenvolvimento que estejam implementando políticas de REDD+.

A contínua preocupação de governos nacionais e subnacionais a respeito das alterações ocasionadas pelas mudanças climáticas em detrimento do aquecimento global, culminou na assinatura do Acordo de Paris, em 12 de dezembro de 2015, entrando em vigor em 4 de novembro de 2016. Até 2017, 195 países assinaram e 147 ratificaram. O artigo 2º estabelece:

[...] este Acordo, ao reforçar a implementação da Convenção, incluindo seu objetivo, visa fortalecer a resposta global à ameaça da mudança do clima, no contexto do desenvolvimento sustentável e dos esforços de erradicação da pobreza, incluindo: i. Manter o aumento da temperatura média global bem abaixo de 2°C em relação aos níveis pré-industriais, e envidar esforços para limitar esse aumento da temperatura a 1,5°C em relação aos níveis pré-industriais, reconhecendo que isso reduziria significativamente os riscos e os impactos da mudança do clima; ii. Aumentar a capacidade de adaptação aos impactos negativos da mudança do clima e promover a resiliência à mudança do clima e um desenvolvimento de baixa emissão de gases de efeito estufa, de uma maneira que não ameace a produção de alimentos; e iii. Tornar os fluxos financeiros compatíveis com uma trajetória rumo a um desenvolvimento de baixa emissão de gases de efeito estufa e resiliente à mudança do clima (Acordo de Paris, pág. 2, 2015, *traduzido autor*).

Diante a busca para acessar os recursos financeiros provenientes de Programas Jurisdicionais de REDD+, por resultados de mitigação, medidos em toneladas de CO₂

equivalente (tCO_{2eq}), é necessário demonstrar que as salvaguardas ou salvaguardas de Cancún foram abordadas e respeitadas durante a implantação e implementação das atividades, sendo essa um dos requisitos necessários ao acesso do pagamento por resultados de REDD+ (*Grupo de Trabalho Técnico sobre Salvaguardas estabelecido pela resolução CONAREDD+ n° 01 de julho de 2020*).

O Estado brasileiro interpretou sete salvaguardas, destas se destaca a salvaguarda “c”, “Respeito pelo conhecimento e direitos dos povos indígenas e membros de comunidades locais, levando-se em consideração as obrigações internacionais relevantes, circunstâncias e leis nacionais e observando que a Assembleia Geral da ONU adotou na Declaração das Nações Unidas sobre os Direitos dos Povos Indígenas”, na qual, por meio do SisREDD+ foram identificados e mapeados instrumentos de direito e respeito ao conhecimento e costumes, e tendo a repartição de benefícios sendo um dos mais importantes (*Grupo de Trabalho Técnico sobre Salvaguardas estabelecido pela resolução CONAREDD+ n° 01 de julho de 2020*).

Um dos aspectos de grande relevância está na identificação geoespacial da maioria, se não da totalidade, dos atores envolvidos nas questões relacionadas ao REDD+ Jurisdicional, exemplificado neste trabalho pelo estado do Tocantins. Em termos técnicos, a referida abordagem deve aperfeiçoar o mecanismo de distribuição de recursos programáticos, via Estado, incluindo todos os segmentos setoriais que visam operacionalizar essa modalidade de ganho ambiental. Essas serão diagnosticadas, por intermédio de consulta em bases de dados de referência, tais quais MapBIOMAS, Seplan/TO, Prodes (Inpe), i3Geo e outras, de caráter estadual e federal, incluindo as categorias fundiárias que priorizam ações voltadas à diminuição dos índices de desmatamento, à conservação das paisagens naturais, e ao aumento e manutenção das formações florestais acumuladoras de carbono.

Frente à necessidade de uma repartição de benefícios justa e transparente, esse trabalho visa elaborar uma metodologia propositiva para auxiliar à tomada de decisão das entidades públicas por meio de uma dinâmica de sistemas que se utiliza da abordagem estoque-fluxo associada ao ordenamento territorial e a análise de sobreposição ponderada.

2 OBJETIVO GERAL E ESPECÍFICOS

2.1 Geral

Propor metodologia para repartição de benefícios entre os diferentes segmentos sociais que compõem a jurisdição do estado do Tocantins por meio de uma abordagem estoque-fluxo.

2.2 Específicos

- Desenvolver metodologia para mapeamento das sobreposições fundiárias entre segmentos sociais para o Programa Jurisdicional de REDD+ do Tocantins;
- Selecionar processo para mensurar os volumes de estoques e créditos de carbono em acordo com os mapas de carbono 2 CN, 3 CN e 4 CN; e
- Dimensionar a contribuição por segmento social do Estado no Programa Jurisdicional a partir de uma abordagem estoque-fluxo e dos desmatamentos.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Identificação dos atores/segmentos sociais

Conforme é apresentado por Wong *et al* 2022, os proponentes de projetos REDD+ devem considerar as características culturais, sociais e de subsistência, bem como as prioridades das comunidades envolvidas, adaptando suas abordagens para promover os benefícios do REDD+. Como beneficiários e proponentes frequentemente enfrentam trade-offs entre resultados socioeconômicos e ambientais, identificar os principais benefícios a serem priorizados com base nas características da comunidade pode ajudar a aumentar a probabilidade de que os beneficiários percebam a compensação como equitativa, estejam motivados a participar do esquema e apoiem a entrega dos resultados desejados.

Para Anderson Silva *et al.* (2021) o estado do Tocantins, com uma área total de 27.746.673 hectares, apresenta uma distribuição diversificada de suas terras. Aproximadamente 34% dessas terras são classificadas como não destinadas ou sem identificação de destinação. Os 66% restantes possuem destinação fundiária específica, excluindo sobreposições. Dentro das áreas destinadas, a maior proporção, cerca de 13 milhões de hectares, é constituída por imóveis privados, representando 48,5% do território estadual. Além disso, 9,5% das terras são Terras Indígenas (totalizando 2.587.687 hectares), 4% são Unidades de Conservação (1.065.068 hectares, excluindo Áreas de Proteção Ambiental), e outros 4% são Projetos de Assentamento, abrangendo 1.142.913 hectares. As comunidades quilombolas ocupam 3.661 hectares, correspondendo a menos de 0,1% do total (IMAZON, 2021).

Adicionalmente, dados sobre conflitos de terra no Tocantins indicam um aumento significativo no número de famílias envolvidas em disputas territoriais, especialmente após 2015, ano em que o governo federal formalizou a região do Matopiba (CPT, 2018).

Com isso, a implementação eficaz de programas jurisdicionais de REDD+ (Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação Florestal) requer a identificação e o engajamento de uma diversidade de atores sociais, cujas ações e interesses influenciam diretamente os resultados desses programas. Esses atores podem ser categorizados em diferentes segmentos, cada um desempenhando papéis específicos no contexto do REDD+.

Segundo Brockhaus *et al.* (2012), os principais grupos de atores envolvidos em iniciativas de REDD+ incluem:

- a. Atores governamentais: órgãos e instituições públicas responsáveis pela formulação e implementação de políticas ambientais e de uso da terra.
- b. Comunidades locais e povos indígenas: grupos que dependem diretamente dos recursos florestais para sua subsistência e que possuem conhecimentos tradicionais relevantes para a conservação.
- c. Organizações da sociedade civil: entidades não governamentais que atuam na defesa de direitos, na promoção da sustentabilidade e na fiscalização de políticas públicas.
- d. Setor privado: empresas e investidores cujas atividades impactam direta ou indiretamente as florestas, como as dos setores agrícola, madeireiro e de mineração.
- e. Instituições acadêmicas e de pesquisa: universidades e centros de pesquisa que fornecem dados científicos e análises para embasar decisões políticas e estratégias de implementação.
- f. Organizações internacionais e agências de financiamento: entidades que oferecem suporte técnico e financeiro, além de estabelecerem diretrizes e salvaguardas para a implementação dos programas de REDD+.

A participação ativa e equitativa desses atores é essencial para o sucesso dos programas de REDD+. No entanto, estudos indicam que a participação de comunidades locais e povos indígenas nem sempre é equitativa, sendo necessário fortalecer mecanismos de inclusão e respeito aos seus direitos (CIFOR, 2011). Além disso, a colaboração entre o setor privado e os demais atores pode potencializar os resultados dos programas, desde que haja alinhamento entre os interesses econômicos e os objetivos de conservação (Angelsen *et al.*, 2012).

A identificação e o engajamento eficaz desses atores são fundamentais para garantir a legitimidade, eficácia e equidade na implementação de programas jurisdicionais de REDD+. A compreensão das dinâmicas entre esses segmentos sociais permite o desenvolvimento de estratégias mais inclusivas e sustentáveis.

Levando o exposto em consideração, Oliveira Lopes (2009) apresenta que a publicação em Diário Oficial da União datado de 20 de janeiro de 2006 traz uma relação de 13 comunidades quilombolas reconhecidos pela Fundação Cultural Palmares que, somando-se às outras duas já reconhecidas nos anos de 2002 e 2004, perfazem um total de 15 comunidades remanescentes. Continua relatando que das comunidades negras rurais tocantinenses reconhecidas pela Fundação

Palmares são apresentadas as comunidades de Kalunga de Mimoso e Lagoa de Prata, em Arraias; Malhadinha e Córrego Fundo, em Brejinho de Nazaré; Barra do Aroeira, em Santa Teresa; Redenção, em Natividade; Cocalinho, em Santa Fé; Baviera, em Aragominas; Comunidade do Prata, em São Félix do Tocantins; São Joaquim e Lajinha, em Porto Alegre do Tocantins; São José e Chapada, em Chapada da Natividade; Mumbuca, em Mateiros; e São João, em Santa Rosa no Tocantins.

Conforme a lista de Processos Abertos por Superintendência do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA), documento que trata dos requerimentos de homologação, validação e certificação de territórios quilombolas nos Estados brasileiros, o Tocantins conta com 33 requerimentos de validação e certificação desses territórios, conforme apresentado:

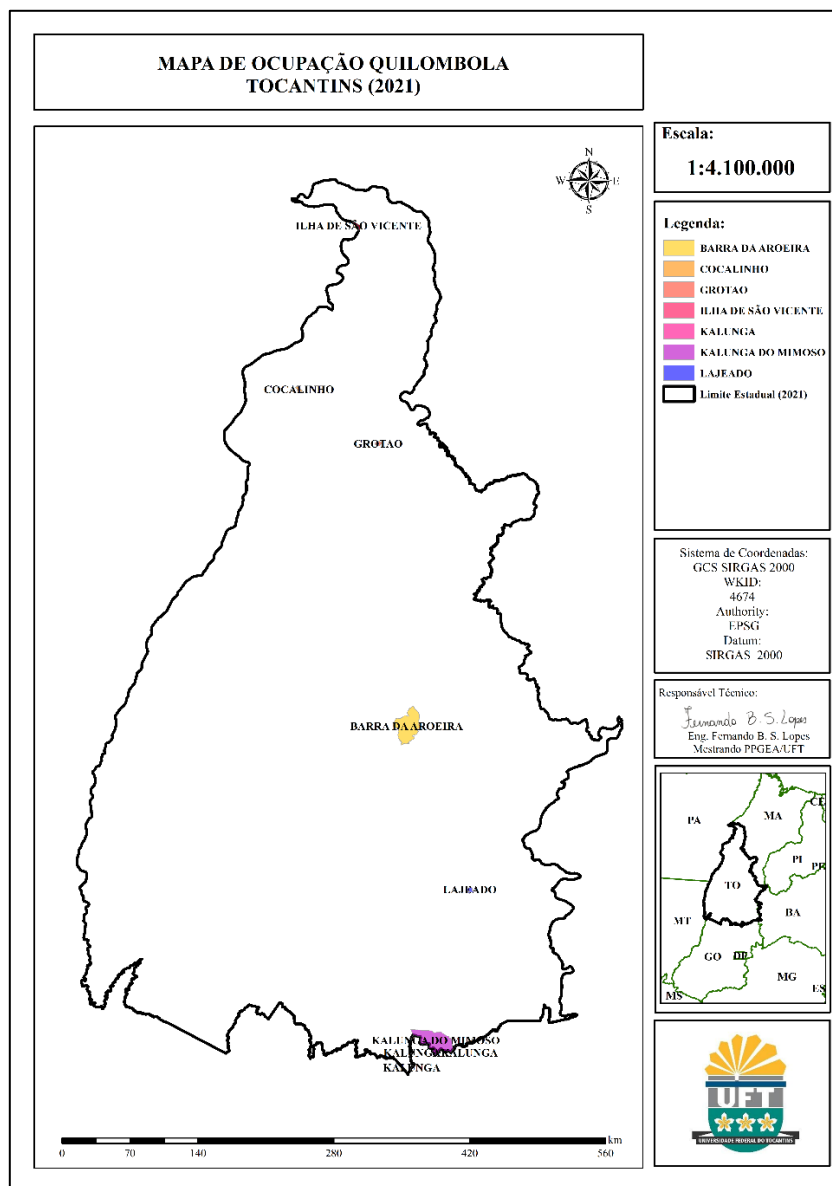
Tabela 1. Processos de regularização fundiária junto ao Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária – INCRA em 03/10/2023.

Nº	Código SIPRA	SR	Projeto	Município
1	54400.000797/2004-01	SR(TO)	Barra do Aroeira	Santa Tereza
2	54400.000877/2005-30	SR(TO)	São Joaquim	Porto Alegre do Tocantins
3	54400.001104/2005-71	SR(TO)	Kalunga do Mimoso	Arraias e Paraná
4	54400.001267/2005-53	SR(TO)	Fazenda Lageado	Dianópolis
5	54400.001268/2005-06	SR(TO)	Povoado do Prata	São Félix do Tocantins
6	54400.001297/2006-41	SR(TO)	Morro do São João	Santa Rosa do Tocantins
7	54400.001298/2006-95	SR(TO)	Cocalinho	Santa Fé do Araguaia
8	54400.001299/2006-30	SR(TO)	Projeto da Bavieira	Aragominas
9	54400.001300/2006-26	SR(TO)	Redenção	Natividade
10	54400.001301/2006-71	SR(TO)	Mumbuca	Mateiros
11	54400.001302/2006-15	SR(TO)	Lajinha	Porto Alegre do Tocantins
12	54400.001304/2006-12	SR(TO)	Lagoa da Pedra	Arraias
13	54400.001306/2006-01	SR(TO)	São José	Chapada da Natividade
14	54400.001307/2006-48	SR(TO)	Malhadinha	Brejinho de Nazaré
15	54400.001308/2006-92	SR(TO)	Chapada da Natividade	Chapada da Natividade
16	54400.001309/2006-37	SR(TO)	Córrego Fundo	Brejinho de Nazaré
17	54400.003291/2007-99	SR(TO)	Grotão	Filadélfia
18	54400.000320/2008-41	SR(TO)	Água Branca	Conceição do Tocantins
19	54400.000326/2008-19	SR(TO)	Matão	Conceição do Tocantins
20	54400.000287/2009-74	SR(TO)	Mata Grande	Monte do Carmo
21	54400.002836/2009-10	SR(TO)	Santa Maria das Mangueiras	Dois Irmãos
22	54400.002837/2009-56	SR(TO)	Carrapato Formiga e Ambrózio	Mateiros
23	54400.002823/2010-31	SR(TO)	Dona Juscelina	Muricilândia
24	54400.002841/2010-86	SR(TO)	Rio das Almas	Jaú do Tocantins

Nº	Código SIPRA	SR	Projeto	Município
25	54400.002825/2010-21	SR(TO)	Curralinho do Pontal	Brejinho de Nazaré
26	54400.000369/2011-08	SR(TO)	Manoel João	Nazaré
27	54400.001357/2011-92	SR(TO)	Pé do Morro	Aragominas
28	54400.001430/2011-26	SR(TO)	Ilha de São Vicente	Araguatins
29	54400.001431/2011-71	SR(TO)	Baião	Almas
30	54400.000429/2014-27	SR(TO)	Claro, Prata e Ouro Fino	Paraná
31	54400.000771/2014-27	SR(TO)	Fazendas Kaagados e Lagoa dos Patos	Arraias
32	54400.000833/2014-09	SR(TO)	Margens do Rio Novo, Rio Preto e Riacho	Mateiros
33	54400.000225/2015-77	SR(TO)	Boa Esperança	Mateiros

Fonte: INCRA (2023).

Figura 1 - Comunidades Quilombolas reconhecidas no estado do Tocantins.



Fonte: Autor (2024).

O Distrito Sanitário Especial Indígena (DSEI) do Estado do Tocantins, elenca a existência de seis Polos de Base Indígenas (PBI) no Estado, localizados nos municípios de Tocantínia, Itacajá, Santa Fé, Goiatins, Formoso e Tocantinópolis, sendo que nestes polos são realizados e assistidos os indígenas no Subsistema de Atenção à Saúde Indígena (SasiSUS). Assim a distribuição desses povos indígenas se dá ao longo de 14 diferentes municípios tocantinenses e conta com 14 diferentes grupos étnicos, conforme apresentado na tabela a seguir:

Tabela 2. Distribuição da população indígena tocaninense conforme dados do DSEI, 2020.

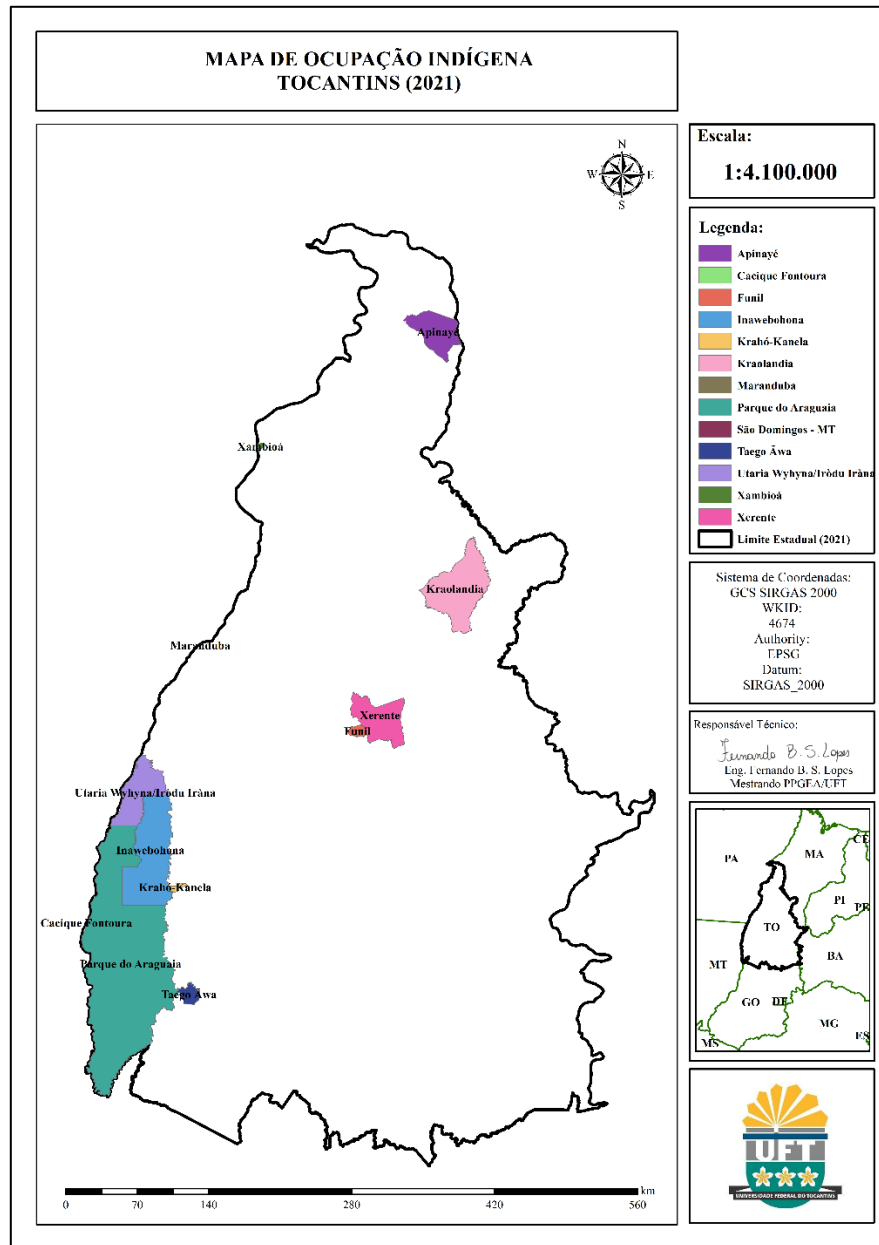
Município de Abrangência	Etnias	Pop. Aldeada	Aldeia	UBSI	Polo Base Indígena-PBI
Formoso do Araguaia	Javaé, Awa Canoeiro, Tuxa, Karajá	913	6		
Lagoa da Confusão	Krahô, Javaé, krahô-Kanela, Guajajara, Karaja da Ilha	676	8		Polo Base Indígena de Formoso do Araguaia
Araguaçu	kanela	4	1	6	
Sandolândia	Karaja da Ilha, Javaé, Tuxa	271	5		
Pium	Awa Canoeiro, Javaé, Karaja da Ilha	77	2		
Total		1941	22		
Itacajá	Krahô	1192	19		Polo Base Indígena de Itacajá
Goiatins	Krahô	1980	14	6	
Total		3172	33		
Goiatins	Krahô	687	8		Polo Base Indígena de Goiatins
Total		687	8	4	
Santa Fé do Araguaia	Karajá Xambioá, Guarani, Tembê	397	5		Polo Base Indígena de Santa Fé do Araguaia
Santa Maria das Barreiras (PA)	Karaja Santana e Javaé	56	2	3	
Total		453	7		
Tocantínia	Xerente	4016	90		Polo Base Indígena de Tocantínia
Pedro Afonso	Xerente	37	4	6	
Total		4080	94		
Tocantinópolis	Apinajé, Fulni-ô, Krikati	2717	45		Polo Base Indígena de Tocantinópolis
Maurilândia	Apinajé	279	6	5	
Cachoeirinha	Apinajé	18	2		
São Bento	Fulni-ô	7	2		
Total		3021	55		
Total Geral	14 grupos étnicos	13354	219	31	06 PBIs

Fonte: DSEI (2021).

Conforme levantamento da base de dados geográficos oficiais do Brasil, via sistema GOV.BR¹, é possível verificar a existência de 10 diferentes territórios indígenas existentes e demarcados no estado do Tocantins, conforme ilustrado na imagem que segue.

¹ <https://www.gov.br/funai/pt-br/atuacao/terras-indigenas/geoprocessamento-e-mapas>

Figura 2 - Povos indígenas do estado do Tocantins.



Fonte: Autor (2024).

Conforme dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2017), por meio do Censo Agropecuário de Estabelecimentos agropecuários em Unidades de Conservação e Terras Indígenas o Tocantins apresentava, à época, um quantitativo de aproximadamente 2.132 pessoas tituladas como agricultores familiares em áreas de Unidade de Conservação e cerca de 9.782 indígenas tidos como agricultores familiares em territórios indígenas. É apresentado a seguir uma tabela adaptada dos dados apresentados pelo IBGE.

Tabela 3. Censo Agropecuário de Estabelecimentos agropecuários em Unidades de Conservação e Terras Indígenas do IBGE, 2017.

Indicador		Ano de 2017	Unidade
Características dos estabelecimentos			
Pertencente à agricultura familiar	<i>Unidade de conservação (RDS, RESEX e floresta de uso sustentável):</i>	7381	hectares
	Sim	2132	hectares
	Não	5249	hectares
Condição do produtor	Proprietário(a) inclusive os(as) coproprietários(as) de terras tituladas coletivamente	7381	hectares
	<i>Terras Indígenas:</i>	297431	hectares
	Sim	9782	hectares
Pertencente à agricultura familiar	Não	287709	hectares
	Proprietário(a) inclusive os(as) coproprietários(as) de terras tituladas coletivamente	78627	hectares
Condição do produtor	Concessionário(a) ou assentado(a) aguardando titulação definitiva	13542	hectares
	Ocupante (a justo título ou por simples ocupação)	114049	hectares
Número de estabelecimentos agropecuários			
Pertencente à agricultura familiar	<i>Unidade de conservação (RDS, RESEX e floresta de uso sustentável):</i>	30	estabelecimentos
	Sim	22	estabelecimentos
	Não	8	estabelecimentos
Pertencente à agricultura familiar	<i>Terras Indígenas:</i>	755	estabelecimentos
	Sim	479	estabelecimentos
	Não	276	estabelecimentos
Condição do produtor	Proprietário(a) inclusive os(as) coproprietários(as) de terras tituladas coletivamente	218	estabelecimentos
	Concessionário(a) ou assentado(a) aguardando titulação definitiva	89	estabelecimentos
	Ocupante (a justo título ou por simples ocupação)	185	estabelecimentos
	Arrendatário(a)	222	estabelecimentos
	Comodatário(a) (inclusive com termo de autorização de uso sustentável – TAUS)	1	estabelecimentos
	Produtor sem área	240	estabelecimentos

Fonte: IBGE, 2017 (adaptado).

Para se enquadrar como agricultor familiar no Brasil, é necessário cumprir certos critérios primordiais: não possuir área maior do que quatro módulos fiscais; utilizar predominantemente mão de obra familiar nas atividades econômicas; obter a maior parte da renda das atividades econômicas do estabelecimento; e a gestão da propriedade deve ser conduzida pela própria família (BRASIL, 2006).

No entanto, conforme argumentado por Abramovay (1997), para fins de atribuição de crédito financeiro, a definição de agricultura familiar pode diferir daquela estabelecida com finalidades científicas e de quantificação estatística. Embora essa parcela de trabalhadores rurais contribua significativamente para o abastecimento de alimentos no mundo e no Brasil, ela continua marginalizada pelas políticas de desenvolvimento que favorecem grandes propriedades, enfrentando ainda as demandas da competitividade e os desafios da globalização (Santos e Mitja, 2016).

Santana *et al.* (2011) pesquisou sobre todas as unidades de conservação de proteção integral situadas no Cerrado tocantinense, dos quais são inclusos os Parques Estaduais do Lajeado (PEL), Cantão (PEC) e Jalapão (PEJ), o Monumento Natural das Árvores Fossilizadas do Estado do Tocantins (MNAFTO), os Parques Nacionais do Araguaia (PARNA do Araguaia) e das Nascentes do Rio Parnaíba (PARNA Nascentes do Rio Parnaíba), além da Estação Ecológica da Serra Geral do Tocantins (EESGTO).

As questões mais urgentes em termos de conservação e uso dos recursos naturais da Amazônia estão diretamente relacionadas à perda significativa de funções críticas do ecossistema, principalmente devido ao avanço do desmatamento impulsionado por políticas de desenvolvimento regional. Esse avanço é intensificado pela especulação de terras ao longo das estradas, crescimento urbano, aumento expressivo da pecuária bovina, exploração madeireira e a transição da agricultura familiar para práticas mais mecanizadas, especialmente para o cultivo de soja e algodão (Fearnside, 2003; Alencar *et al.*, 2004; Laurance *et al.*, 2004).

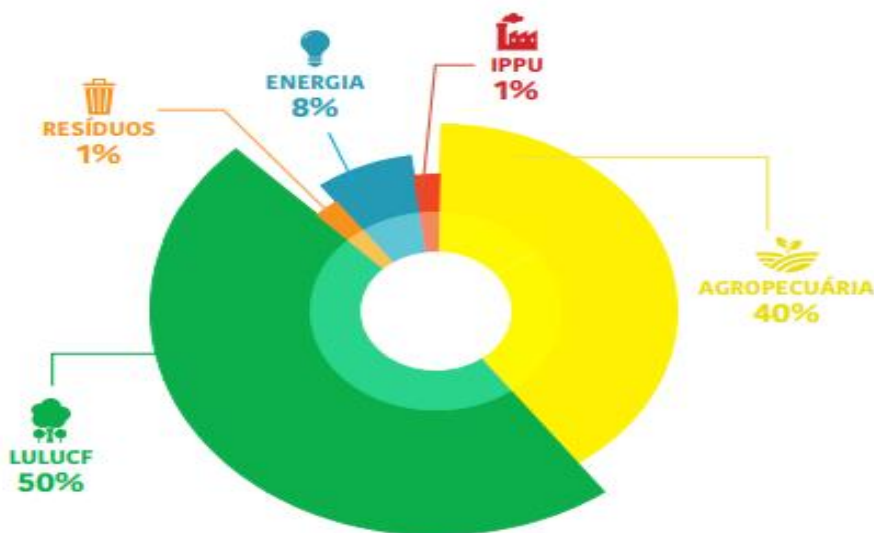
3.2 Setores emissores do estado do Tocantins

O aquecimento global e as mudanças climáticas são temas ambientais de grande relevância e frequentemente debatidos na atualidade. Conforme o último relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2021), diversas alterações climáticas observadas são sem precedentes em milhares de anos, com algumas já em estágio irreversível, como o aumento contínuo do nível do mar. As mudanças climáticas estão afetando todas as regiões do planeta de diversas maneiras e a tendência é que esses efeitos se agravem com o aumento adicional da temperatura previsto para os próximos anos. O relatório também destaca que as emissões de gases de efeito estufa resultantes de atividades humanas são responsáveis por um

aumento médio de 1,1°C na temperatura global desde 1900. Ademais, projeta-se que, nos próximos 20 anos, a temperatura global deve atingir ou ultrapassar 1,5°C de aquecimento adicional (IPCC, 2021).

O estado do Tocantins, situado na região Norte do Brasil, apresenta um perfil de emissões de gases de efeito estufa (GEE) caracterizado principalmente pelas atividades de mudança de uso da terra e agropecuária fato esse corroborado pelo documento da Quarta Comunicação Nacional do Brasil à UNFCCC de 2021, “Resultados do Inventário Nacional de Emissões de Gases de Efeito Estufa por Unidade Federativa”, do Ministério de Ciências, Tecnologia e Inovações (MCTI), o qual inventariou setores e suas respectivas contribuições de emissões em: **i. Energia**; **ii. Processos Industriais e Uso de Produtos (IPPU)**; **iii. Agropecuária**; **iv. Uso da Terra, mudança do Uso da Terra e Florestas (LULUCF)**; e **v. Resíduos**, apresenta para o estado do Tocantins os seguintes resultados da distribuição de geradores de emissão:

Figura 3 - Emissões de GEE do Tocantins por Setor em 2016.



Fonte: Ministério de Ciências, Tecnologia e Inovações (2016).

A mudança de uso da terra, especialmente o desmatamento, é uma das principais fontes de emissões de GEE no Tocantins. O desmatamento, muitas vezes associado à expansão agrícola e pecuária, resulta na liberação significativa de dióxido de carbono (CO₂) para a atmosfera, evidenciando que, a agropecuária e a conversão de floresta para pastagem (LULUCF) são as maiores contribuintes das emissões de gases de efeito estufa (GEE) para o estado do Tocantins. Portanto os Programas Jurisdicionais de REDD+, subnacionais, tem ações focais no setor florestal,

voltado às medidas de redução da degradação e desmatamento ilegal dos Estados, bem como, nas ações de reflorestamento, recuperação e conservação de áreas de formação florestais.

Segundo o documento, *Análise das Emissões de Gases do Efeito Estufa e Suas Implicações para as Metas Climáticas do Brasil*, do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG, 2023) realizado pela Iniciativa do Observatório do Clima a agropecuária é outro setor significativo nas emissões de GEE do Tocantins, onde a criação de gado em particular, contribui para as emissões de metano (CH_4) devido à fermentação entérica dos ruminantes e ao manejo de dejetos animais. Em adição, práticas agrícolas que envolvem o uso intensivo de fertilizantes nitrogenados podem resultar na emissão de óxido nitroso (N_2O), um GEE com potencial de aquecimento global consideravelmente maior que o CO_2 . No contexto nacional, a agropecuária foi responsável por 25% das emissões brutas de GEE em 2021.

Dados do MapBIOMAS (2021), sobre a região conhecida como MATOPIBA, que engloba os estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia, registram um significativo aumento de 258% nas áreas destinadas à agropecuária entre 1985 e 2020. Nesse período, as áreas dedicadas a essa atividade cresceram de 5,6 milhões de hectares para 14,6 milhões de hectares. A maior parte das terras convertidas para uso agrícola no Cerrado tem sido destinada ao cultivo de soja (Souza, 2022).

O setor de energia, embora menos expressivo em comparação com os anteriores, também contribui para as emissões de GEE no Tocantins. As emissões nesse setor estão associadas principalmente à queima de combustíveis fósseis para geração de energia elétrica e transporte. Em 2021, segundo dados do relatório SEEG (2023), o setor de energia no Brasil teve um aumento de 12,5% nas emissões, totalizando 435 milhões de toneladas de CO_2 equivalente. Embora o Tocantins possua uma matriz energética relativamente limpa, com predominância de fontes renováveis, é importante considerar as emissões associadas ao transporte e à geração de energia em áreas não atendidas por fontes renováveis.

Ainda segundo os dados apresentados pelo documento do SEEG (2023), os setores de processos industriais e resíduos têm participação menor nas emissões de GEE do Tocantins. As emissões industriais estão relacionadas à produção de cimento, cal e outros processos que liberam CO_2 . Já o setor de resíduos contribui com emissões de metano provenientes de aterros sanitários e do tratamento de efluentes. No Brasil, o setor de resíduos foi responsável por 4% das emissões brutas de GEE em 2021. Embora a contribuição desses setores no Tocantins seja relativamente pequena, é essencial considerá-los em estratégias abrangentes de mitigação de emissões.

3.3 Salvaguardas e o mecanismo de repartição de benefícios

A implementação de programas jurisdicionais de REDD+ (Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação Florestal) exige não apenas uma abordagem técnica robusta, mas também o atendimento a salvaguardas sociais e ambientais que garantam a equidade, a transparência e a eficácia na distribuição dos benefícios decorrentes dessas iniciativas. Tais salvaguardas visam mitigar riscos sociais e ambientais, promover a justiça distributiva e assegurar o respeito aos direitos de comunidades locais e povos indígenas (UNFCCC, 2011; Pham *et al.*, 2013).

Segundo Arhin (2014), o setor privado e a sociedade civil, com interesses variados, identificaram no instrumento um potencial significativo para aumentar os recursos disponíveis destinados à proteção dos ecossistemas florestais e à promoção do desenvolvimento sustentável. Instituições financiadoras, como o Banco Mundial e a Aliança para o Clima, Comunidade e Biodiversidade (CCBA), desenvolveram, com base no Acordo de Cancún, salvaguardas específicas que devem ser observadas para que projetos submetidos à sua análise possam ser financiadas.

Para Neto (2019), os países ou projetos que visam implementar o REDD e receber pagamentos baseados no desempenho segundo a UNFCCC, são requisitados a fornecer resumos sobre como as salvaguardas estão sendo "tratadas e respeitadas", devendo estabelecer sistemas de informações de salvaguarda para fornecer esses dados.

As salvaguardas de REDD+ foram formalizadas na Conferência das Partes da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC), particularmente nas Decisões de Cancún (Decisão 1/CP.16), que estabeleceram princípios fundamentais para assegurar a participação plena e efetiva dos atores sociais, o respeito aos direitos dos povos indígenas, e a promoção da conservação da biodiversidade (UNFCCC, 2011). O Marco de Varsóvia para REDD+ (Decisão 12/CP.19) reforçou a necessidade de sistemas nacionais de informação sobre salvaguardas (SIS) como instrumentos para o reporte transparente e periódico de como essas salvaguardas estão sendo atendidas e respeitadas durante a execução dos programas (UNFCCC, 2013).

Dos requisitos acordados entre as Partes, a decisão 1/CP. 16 da UNFCCC estabelece que, ao implementar atividades de REDD+, os países que desejam compensação financeira devem adotar as salvaguardas, conhecidas como Salvaguardas de REDD+ ou Salvaguardas de Cancún. As

chamadas salvaguardas têm como objetivos potencializar os impactos positivos e reduzir eventuais impactos negativos relacionados a ações de REDD+. Nela é estabelecido que:

- a. Ações complementares ou consistentes com os objetivos dos programas florestais nacionais e outras convenções e acordos internacionais relevantes;
- b. Estruturas de governança florestais nacionais transparentes e eficazes, tendo em vista a soberania nacional e a legislação nacional;
- c. Respeito pelo conhecimento e direitos dos povos indígenas e membros de comunidades locais, levando-se em consideração as obrigações internacionais relevantes, leis nacionais e a Declaração das Nações Unidas sobre os Direitos dos Povos Indígenas;
- d. Participação plena e efetiva das partes interessadas, em particular povos indígenas e comunidades locais;
- e. Ações consistentes com a conservação das florestas naturais e diversidade biológica, garantindo que as ações referidas no parágrafo 70 da Decisão 1/CP 16 não sejam utilizadas para a conversão de florestas naturais, mas sim para incentivar a proteção e conservação das florestas naturais e seus serviços ecossistêmicos, assim como para contribuir para outros benefícios sociais e ambientais;
- f. Ações para evitar os riscos de reversões de resultados de REDD+; e
- g. Ações para reduzir o deslocamento de emissões de carbono para outras áreas.

Portanto, conforme preconizado pelo texto mencionado anteriormente, é daqui que surge a necessidade da criação de um sistema de repartição de benefícios, não necessariamente monetário entre os segmentos sociais englobados pelas jurisdições subnacionais e nacionais dos acordatários. Segundo Luttrell *et al.* (2013), esses mecanismos podem ser organizados em dois eixos principais: o vertical, que envolve a alocação de recursos entre os diferentes níveis de governança (federal, estadual e local), e o horizontal, que diz respeito à distribuição entre grupos e comunidades no mesmo nível. A eficácia da repartição de benefícios depende da clareza na definição dos beneficiários, dos critérios utilizados para a elegibilidade e da existência de canais institucionais confiáveis de governança, transparência e prestação de contas (Pham *et al.*, 2013).

É amplamente reconhecido na literatura que a participação informada e ativa das comunidades locais e dos povos indígenas é um fator crítico de sucesso para os programas de REDD+ (Climate Focus, 2014; CIFOR, 2011). A adoção de processos participativos, como a consulta prévia, livre e informada (CPLI), fortalece a governança, minimiza conflitos e promove a

inclusão de grupos historicamente marginalizados. Adicionalmente, mecanismos de resolução de conflitos, canais de denúncia e auditorias sociais devem ser integrados ao sistema de gestão de benefícios para evitar a captura de recursos por elites locais ou estruturas centralizadas (Luttrell et al., 2013).

A literatura também destaca que os mecanismos de repartição devem ser adaptados às especificidades territoriais e institucionais de cada jurisdição. Fatores como a segurança fundiária, os arranjos institucionais locais e o grau de organização comunitária influenciam a efetividade da distribuição de benefícios (Pham et al., 2013). No caso brasileiro, e especialmente em contextos estaduais como o Tocantins, a consolidação de mecanismos transparentes e participativos poderá contribuir significativamente para a efetividade dos programas REDD+ jurisdicionais e para o cumprimento das metas climáticas assumidas internacionalmente.

3.4 Legislações, Acordos Internacionais e Planos Governamentais

A implementação de programas jurisdicionais de REDD+ (Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação Florestal) no Brasil está fundamentada em um arcabouço normativo complexo, que abrange legislações nacionais, compromissos internacionais e planos governamentais. Esse conjunto de instrumentos visa assegurar a efetividade das ações de mitigação das mudanças climáticas, promovendo a conservação florestal e o desenvolvimento sustentável.

No âmbito internacional, o Brasil é signatário da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC) desde 1992, comprometendo-se com a redução das emissões de gases de efeito estufa. A partir da 13ª Conferência das Partes (COP 13), realizada em Bali em 2007, o mecanismo REDD+ foi incorporado como uma estratégia para incentivar a conservação florestal em países em desenvolvimento. Subsequentemente, as Decisões de Cancún (Decisão 1/CP.16) e o Marco de Varsóvia para REDD+ (Decisão 12/CP.19) estabeleceram diretrizes para a implementação do REDD+, incluindo a necessidade de sistemas de monitoramento, relato e verificação (MRV) e a adoção de salvaguardas sociais e ambientais (UNFCCC, 2011; UNFCCC, 2013).

Para mitigar o desmatamento, a implementação de compensações ambientais e pagamentos por serviços ambientais, como o REDD+, pode ser eficaz. Planos e políticas de mitigação, como os programas do Plano ABC+ voltados para o setor agropecuário, são utilizados pelos governos

para alcançar essas metas. É crucial que tais políticas não apenas contenham o desmatamento ilegal, eliminando a grilagem e a especulação de terras, mas também reduzam o desmatamento legal em propriedades privadas. Segundo estimativas, aproximadamente 28 milhões de hectares de florestas amazônicas em propriedades privadas poderiam ser legalmente desmatadas conforme a legislação atual (Stabile *et al.*, 2020).

Quanto às legislações internacionais referentes aos Programas Jurisdicionais de REDD+, são destaques as que seguem:

- a) **Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC):** A UNFCCC é o principal tratado internacional que estabelece o quadro para ações globais contra a mudança climática. O Brasil é signatário e participante ativo nas negociações de REDD+ dentro da UNFCCC.
- b) **Acordo de Paris (Paris Agreement):** O Acordo de Paris, firmado em 2015 durante a COP21, inclui compromissos relacionados ao REDD+ para reduzir as emissões de desmatamento e degradação florestal. O Brasil ratificou este acordo e integra suas metas nacionais de mitigação.
- c) **Decisão 1/CP.16 - Conferência das Partes (COP16):** Esta decisão, adotada na COP16 em Cancún, México, em 2010, estabelece as salvaguardas e os mecanismos de financiamento para REDD+. O Brasil é signatário e segue as diretrizes estabelecidas.
- d) **Decisão 2/CP.17 - Conferência das Partes (COP17):** Adotada na COP17 em Durban, África do Sul, em 2011, esta decisão trata da implementação do REDD+ e das modalidades de monitoramento, relato e verificação (MRV).
- e) **Decisão 9/CP.19 - Conferência das Partes (COP19):** Esta decisão, adotada na COP19 em Varsóvia, Polônia, em 2013, estabelece o Quadro de Varsóvia para REDD+, que incluem orientações sobre o financiamento e implementação das atividades de REDD+.

No contexto nacional, a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), instituída pela Lei nº 12.187/2009, estabelece os fundamentos para a mitigação das mudanças climáticas no Brasil, incluindo a promoção de ações de REDD+. A Estratégia Nacional para REDD+ (ENREDD+), lançada em 2015, delinea os objetivos, princípios e diretrizes para a implementação do REDD+ no país, enfatizando a necessidade de articulação entre os diferentes níveis de governo e a participação ativa da sociedade civil (MMA, 2015).

Além disso, o Brasil criou mecanismos financeiros para apoiar as ações de REDD+, como o Fundo Amazônia, estabelecido pelo Decreto nº 6.527/2008. Gerido pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), o Fundo Amazônia capta recursos para financiar projetos de prevenção, monitoramento e combate ao desmatamento, bem como para a promoção da conservação e do uso sustentável das florestas (BNDES, 2024).

No tocante aos planos governamentais, destaca-se o Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm), lançado em 2004, que visa reduzir o desmatamento por meio de ações integradas de fiscalização, ordenamento territorial e fomento a atividades sustentáveis. O PPCDAm serve como referência para a implementação de políticas públicas relacionadas ao REDD+, sendo alinhado com os objetivos da ENREDD+ (MMA, 2023).

Em nível estadual, o Tocantins elaborou o Plano Estadual de Prevenção e Controle do Desmatamento e das Queimadas (PEPCDQ), que estabelece metas e ações específicas para a redução do desmatamento e das queimadas no estado. O PEPCDQ está alinhado com as diretrizes nacionais e internacionais, integrando-se aos esforços do Brasil na implementação do REDD+ (SEMARH, 2022).

3.5 Ordenamento do Território no Contexto do Geodesign

A prática do geodesign tem suas raízes na disciplina de planejamento do uso da terra. O planejamento do uso do solo é o processo de determinar os locais ideais, em uma área predefinida de interesse, para um cenário de projeto específico com base em uma série de fatores ou características (Collins, Steiner, & Rushman, 2001; Steiner, McSherry, & Cohen, 2000). Os métodos de planejamento do uso da terra têm sido tradicionalmente empregados por planejadores do governo local e regional, mas hoje eles têm sido adotados por outros, como conservacionistas e desenvolvedores comerciais (Van der Merwe, 1997).

Diversas são as aplicações dessa técnica. No contexto do planejamento metropolitano, é comum que diferentes agências conduzam processos de forma isolada. Para mitigar problemas de coordenação, Pettit *et al.* (2019) sugeriram uma abordagem integrada utilizando o framework de geodesign, através de workshops colaborativos que exploram cenários futuros alternativos para o ano de 2050. Um estudo realizado por Kazak *et al.* (2019) aplicou um framework de geodesign para engajar cidadãos no planejamento de processos de transporte público, avaliando a eficácia de

sistemas de suporte ao planejamento na elaboração de cenários para instalações de transporte. Já Liu *et al.* (2020) desenvolveram uma abordagem de geodesign direcionada ao paisagismo urbano sustentável, considerando os impactos das mudanças climáticas para otimizar a composição das paisagens urbanas no norte da China.

Com isso, é entendida a versatilidade do ordenamento territorial que trata de um instrumento central na gestão socioambiental e no planejamento estratégico do uso da terra, especialmente em territórios sujeitos a pressões antrópicas intensas, como os de fronteira agrícola e florestal. Em programas jurisdicionais de REDD+, o ordenamento espacial permite alocar usos diferenciados da terra com base em critérios técnicos e participativos, favorecendo ações de conservação, restauração e atividades produtivas de baixo impacto ambiental. Segundo Moura *et al.* (2022), o planejamento territorial aliado a sistemas geoespaciais pode melhorar a coerência entre políticas públicas setoriais e a realidade ecológica e socioeconômica dos territórios.

Nesse contexto, a abordagem do Geodesign emerge como uma alternativa metodológica inovadora ao articular ciência geoespacial, processos colaborativos de planejamento e análise integrada de impactos. Steinitz (2012) argumenta que o Geodesign permite simular cenários futuros e testar propostas de ordenamento territorial a partir da combinação de dados ambientais, sociais e econômicos, com envolvimento direto de comunidades, técnicos e gestores públicos. Essa abordagem favorece a identificação de soluções de uso da terra mais equitativas e adaptadas ao contexto local.

Como parte do planejamento de adequação do uso da terra, os geodesigners criam regularmente avaliações de adequação que empregam metodologias de tomada de decisão com múltiplos critérios (MCDM) para garantir que os fatores ambientais e socioeconômicos sejam considerados na avaliação final (Carver, 1991). Uma técnica popular incluída nesta abordagem de avaliação multicritério (MCE) é a análise de sobreposição ponderada. Ervin (2012) aborda que a metodologia colaborativa do geodesign explora as capacidades das tecnologias digitais de computação e comunicação para melhorar o design fundamentado em dados e obter feedback sobre as implicações das alternativas projetadas. As principais ferramentas técnicas empregadas neste contexto incluem Sistemas de Informação Geográfica (SIG), Design Assistido por Computador (CAD) e Avaliação Multicritério (MCE), em combinação com dashboards e planilhas.

No Brasil, o Geodesign tem sido explorado em projetos acadêmicos e institucionais voltados à compatibilização entre desenvolvimento e conservação. Miller (2012) destaca que o diferencial

da metodologia está na sua capacidade de operacionalizar a participação social em tempo real por meio de sistemas de informação geográfica (SIG), o que contribui para ampliar a legitimidade e a aceitação social dos planos territoriais. Experiências como a modelagem de cenários no Quadrilátero Ferrífero (MG), descritas por Moura *et al.* (2022), ilustram o potencial do Geodesign como suporte à tomada de decisão em ambientes complexos.

A aplicabilidade do Geodesign a programas de REDD+ reside justamente na capacidade dessa abordagem de integrar múltiplas camadas de informação – como cobertura vegetal, vulnerabilidade social, riscos climáticos e infraestrutura – para delimitar zonas prioritárias para pagamentos por serviços ambientais, projetos de reflorestamento e práticas produtivas sustentáveis. A alocação espacial dos benefícios de REDD+ pode ser orientada por critérios ponderados e consensuados, o que reduz conflitos fundiários e garante maior justiça na distribuição territorial dos incentivos.

3.6 Análise de sobreposição ponderada

A análise de sobreposição ponderada (ASP) é uma técnica amplamente utilizada no planejamento ambiental e territorial, especialmente quando se busca integrar múltiplos critérios espaciais para a tomada de decisões informadas. Essa metodologia permite a combinação de diferentes camadas de informação geográfica, atribuindo pesos específicos a cada uma conforme sua relevância para o objetivo da análise. No contexto dos programas jurisdicionais de REDD+ (Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação Florestal), a ASP se mostra particularmente eficaz na identificação de áreas prioritárias para conservação, reflorestamento e implementação de práticas sustentáveis.

Como uma ferramenta de geodesign, o GeoPlanner é amplamente construído sobre as teorias e práticas usadas pelos planejadores de uso da terra que desenvolveram uma variedade de métodos para avaliar a adequação de vários usos da terra. Um desses métodos é a análise de sobreposição ponderada (*Weighted Overlay Analysis* - WOA). O WOA é realizado sobrepondo conjuntos de dados classificados, como tipo de solo, cobertura da terra ou topografia, para uma área definida, atribuindo um peso a cada conjunto de dados, somando os valores de cada pilha de células verticais e, em seguida, avaliando o mapa composto resultante (Collins, Steiner e Rushman, 2001). Este

método de análise de adequação desempenha um papel fundamental em muitos fluxos de trabalho de geodesign e está incluído no GeoPlanner para o ArcGIS.

A aplicação envolve a reclassificação das variáveis envolvidas em uma escala comum de avaliação, seguida da atribuição de pesos que refletem a importância relativa de cada critério. Por exemplo, em estudos de fragilidade ambiental, é comum considerar fatores como declividade, tipo de solo, uso e cobertura da terra, e proximidade de corpos hídricos. Cada um desses fatores é reclassificado em categorias de suscetibilidade e, posteriormente, combinados por meio da ASP para gerar mapas síntese que orientam o ordenamento territorial e a gestão ambiental (Franco et al., 2010).

Miranda (2023), expõe que elementos físicos como inclinação, geologia, proximidade da rede fluvial principal, uso e cobertura do solo (LULC), elevação do terreno, geologia e geração de escoamento são frequentemente empregados como indicadores em índices de suscetibilidade a enchentes, por exemplo.

O conceito de usar sobreposição ponderada a serviço da análise de adequação do uso da terra foi descrito detalhadamente por Ian McHarg em seu trabalho seminal, *Design with Nature* (1969). Nele é descrito o processo como um meio de realizar análises multicritério categorizando e classificando valores de uma variedade de conjuntos de dados temáticos, criando uma transparência para cada conjunto de dados e, em seguida, sobrepondo as transparências para criar uma imagem composta.

O valor dessa abordagem de sobreposição ponderada para análise de adequação do uso da terra, segundo Tomlin (1990), foi compreendido e adotado por projetistas, pesquisadores e outros que viram um grande potencial nos primeiros programas GIS que foram pioneiros e desenvolvidos nas décadas de 1960 e 1970.

Roger Tomlinson afirma que propôs pela primeira vez informatizar o método de sobreposição enquanto trabalhava na Spartan Air em 1962 (Tomlinson, 1999). À medida que a disponibilidade e o poder de processamento dos computadores melhoraram, o software GIS moderno incorporou as práticas e os processos analíticos dos primeiros planejadores de uso da terra, adotando metodologias de tomada de decisão mais complexas e sofisticadas.

No Brasil, diversas pesquisas têm demonstrado a eficácia da análise de sobreposição ponderada em diferentes contextos ambientais. Um estudo realizado por Silva (2023) aplicou a ASP na bacia hidrográfica do rio Araguari, no Amapá, integrando variáveis físico-ambientais e de

uso da terra para elaborar mapas de fragilidade ambiental. Os resultados permitiram identificar áreas com diferentes níveis de vulnerabilidade, subsidiando ações de conservação e manejo sustentável. De maneira semelhante, Cunha *et al.* (2015) utilizaram a metodologia para avaliar a influência de variáveis ambientais no planejamento territorial, destacando a importância da integração de dados geográficos na gestão de recursos naturais.

A utilização de sistemas de informação geográfica (SIG) é fundamental na implementação da análise de sobreposição ponderada, facilitando a manipulação e análise de grandes volumes de dados espaciais. Ferramentas como o ArcGIS e o QGIS oferecem módulos específicos para a realização de análises multicritério, permitindo a personalização dos pesos atribuídos a cada camada e a visualização dos resultados em mapas temáticos. Essa abordagem facilita a comunicação dos resultados para tomadores de decisão e partes interessadas, promovendo uma gestão ambiental mais participativa e baseada em evidências (Esri, 2014).

No contexto dos programas REDD+, a ASP pode ser instrumental na identificação de áreas com alto potencial de sequestro de carbono, elevada biodiversidade ou significativa importância para comunidades locais. Ao integrar critérios ecológicos, sociais e econômicos, ela contribui para a definição de estratégias de intervenção mais eficazes e equitativas, alinhadas aos princípios de justiça ambiental e desenvolvimento sustentável. Além disso, a metodologia permite a atualização contínua dos mapas e análises, incorporando novos dados e ajustando os pesos conforme mudanças nas prioridades e nos contextos locais.

3.7 Dinâmica de sistemas

A dinâmica de sistemas foi criada por Jay W. Forrester no MIT (*Massachusetts Institute of Technology*) na década de 1950 (LANE, 2006), a dinâmica de sistemas é uma forma de modelagem para simulação computacional que utiliza os conceitos de realimentação de informação e variáveis de estado para modelar sistemas e explorar a ligação entre a estrutura do sistema e o comportamento evolutivo no tempo (FORRESTER, 1961, 1968). Ela é uma abordagem metodológica que permite compreender e simular o comportamento de sistemas complexos ao longo do tempo, considerando as interações entre seus componentes e os feedbacks existentes. Essa técnica é particularmente útil na análise de sistemas socioambientais, onde múltiplas variáveis interagem de forma não linear, influenciando o estado e a evolução do sistema como um todo.

Os diagramas de influência permitem visualizar graficamente as relações entre as variáveis-chaves do problema, permitindo localizar possíveis laços de realimentação e atrasos nos efeitos resultantes das interações entre essas variáveis (BRAGA *et al.*, 2004). Apesar disso, os diagramas de influência muitas vezes se mostram muito simplistas ou incompletos para explicar um sistema e seu comportamento (MADACHY, 2007; RICHARDSON, 1986). É necessário então fazer uso de diagramas mais poderosos, conforme apontado por Machady *et al.* (2007), portanto, que possuem mais recursos para melhor representar sistemas e comportamentos. São utilizados então os diagramas estoque-fluxo. Dos elementos presentes nos diagramas estoque-fluxo são descritos e se destaca os conceitos de: i. Estoques são acúmulos ao longo do tempo. São funções de acumulações passadas vindas de fluxos; ii. Fonte/Sumidouro (*Source/Sink*) que indicam que os fluxos vêm ou vão para algum lugar externo ao processo. Eles representam fontes infinitas ou repositórios que não são especificados no modelo; iii. Fluxo (*Rate*) Fluxos são as "ações" no sistema. Eles são responsáveis pelas mudanças nos estoques (acúmulo ou uso de recursos) e podem representar as decisões e declarações políticas; iv. Variável Auxiliar (*Auxiliary*) são os conversores de entrada para saída e ajudam a elaborar detalhes da estrutura de estoque e fluxo. Eles exercem influência sobre os valores dos fluxos através dos elos de informação; e v. Elo de informação (*Information Link*) Elos de informação são usados para representar fluxos de informação (em vez de fluxo de material, como no caso dos fluxos). Elos podem representar loops de realimentação entre os elementos. Eles ligam parâmetros do processo aos fluxos e variáveis auxiliares.

Segundo (LANE, 2008), as principais vantagens da utilização de diagramas de estoque-fluxo são: foco em entidades, recursos e atributos mensuráveis; distinção entre estoque e fluxo e entre fluxos e elos de informação; são melhores para mostrar os processos causais reais sendo modelados, e como operam os diferentes loops no processo; forçam uma especificação mais detalhada dos mecanismos causais; fornecem uma base melhor para inferir comportamentos; e são diagramas prontos para simulação.

No contexto dos programas jurisdicionais de REDD+ (Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação Florestal), a aplicação dessa dinâmica de sistemas possibilita a modelagem de cenários futuros, considerando fatores como uso e cobertura da terra, políticas públicas, pressões socioeconômicas e mudanças climáticas. Essa abordagem permite avaliar os impactos potenciais de diferentes estratégias de intervenção, auxiliando na tomada de decisões mais informadas e eficazes.

Além disso, a dinâmica de sistemas facilita a integração de diferentes tipos de dados, como informações geoespaciais, estatísticas socioeconômicas e indicadores ambientais, proporcionando uma visão holística do sistema em estudo. Essa integração é fundamental para o sucesso de programas de REDD+, que dependem da coordenação entre múltiplos setores e níveis de governança.

A incorporação da dinâmica de sistemas como suporte à repartição de benefícios em programas jurisdicionais de REDD+ permite modelar interações complexas entre variáveis territoriais, critérios socioeconômicos e mecanismos de governança. A metodologia oferece meios para representar circuitos de retroalimentação, relações causais e atrasos temporais que influenciam diretamente a efetividade da distribuição de recursos. Estudos voltados à aplicação dessa abordagem em sistemas ambientais têm demonstrado sua utilidade para identificar padrões de comportamento não lineares e avaliar diferentes cenários de intervenção, permitindo antecipar impactos indesejados da má alocação de incentivos (Sterman, 2000; Turner *et al.*, 2016). Em contextos em que múltiplos atores influenciam os resultados esperados — como comunidades tradicionais, setor produtivo e instituições públicas — a modelagem sistêmica pode revelar fragilidades institucionais que comprometem os fluxos de benefícios ambientais e financeiros.

A literatura especializada também reconhece o potencial da dinâmica de sistemas para promover processos decisórios mais transparentes e participativos, sobretudo quando aplicada em conjunto com dados espaciais e indicadores de desempenho territorial. Modelagens realizadas em territórios amazônicos, por exemplo, têm demonstrado que sistemas complexos de governança ambiental se beneficiam de simulações que incorporam variáveis como estoque de carbono, pressão por uso da terra e grau de organização comunitária (Soares-Filho *et al.*, 2006; Aguiar *et al.*, 2020). A utilização dessa abordagem no contexto do Tocantins pode contribuir para definir regras distributivas mais justas e eficientes, ajustáveis conforme a evolução do desempenho ambiental e social dos beneficiários. Dessa forma, o uso da dinâmica de sistemas fortalece o caráter adaptativo e técnico da metodologia proposta nesta dissertação, promovendo um equilíbrio mais estável entre conservação florestal, equidade distributiva e viabilidade institucional.

3.8 Economia ambiental e valoração de serviços ecossistêmicos

A economia ambiental tem evoluído para responder aos desafios da gestão sustentável dos recursos naturais, incorporando os impactos ecológicos nos processos de tomada de decisão econômica. Segundo Caraminan e Silva (2024), esse campo teórico e aplicado busca internalizar externalidades, atribuindo valor econômico a serviços ecossistêmicos historicamente negligenciados pelos mercados convencionais. Essa abordagem fortalece a lógica da conservação ambiental ao evidenciar os benefícios econômicos gerados por funções ecológicas como regulação climática, controle de erosão e provisão de água.

A valoração de serviços ecossistêmicos, dentro desse contexto, é fundamental para mensurar o valor que os ecossistemas oferecem à sociedade. Diversos métodos têm sido utilizados para essa finalidade, incluindo abordagens de preferência revelada e declarada, como o custo de viagem, preços hedônicos e avaliação contingente. De acordo com TEEB (2010), a escolha do método mais apropriado depende da natureza do serviço a ser valorado, do grau de tangibilidade e do público-alvo da avaliação. Por exemplo, serviços culturais e de existência geralmente exigem métodos de valoração subjetiva.

Em aplicações práticas, os resultados dessas valorações têm fundamentado a formulação de políticas públicas, especialmente na criação de mecanismos de pagamento por serviços ambientais (PSA). Conforme discutido por Pereira e Loyola (2023), a quantificação econômica dos serviços ecossistêmicos torna viável o desenho de instrumentos econômicos voltados à conservação, como subsídios condicionais e contratos ambientais. Esses mecanismos contribuem para alinhar interesses ambientais e produtivos, principalmente em áreas onde há intensa conversão de habitats naturais.

No Brasil, a literatura tem apontado a crescente utilização da valoração ecológica-econômica como suporte a decisões estratégicas em áreas protegidas, projetos de infraestrutura e ordenamento territorial. Autores como Lima et al. (2021) destacam que, ao integrar esses valores aos estudos de viabilidade e planejamento territorial, gestores conseguem justificar ações conservacionistas frente a pressões políticas e econômicas. Além disso, a valoração tem sido incorporada em planos de REDD+ como forma de quantificar co-benefícios ambientais e sociais.

O estado do Tocantins apresenta condições particularmente favoráveis à adoção da valoração de serviços ecossistêmicos como componente estruturante de suas políticas ambientais. A Lei Estadual nº 4.111/2023, que institui a Política Estadual de Pagamento por Serviços

Ambientais (PEPSA), reconhece explicitamente a importância da mensuração econômica de tais serviços para orientar a alocação de incentivos. Segundo o próprio Governo do Tocantins (2025), o Programa Jurisdicional de REDD+ propõe integrar essas estimativas na priorização de áreas e segmentos beneficiários, fortalecendo a governança e a transparência dos processos.

Nesse contexto, a valoração permite identificar e qualificar os serviços mais relevantes no estado, como a proteção de nascentes, a conservação de fragmentos de Cerrado e a manutenção da conectividade ecológica em áreas de uso agropecuário. Com base nos trabalhos de Bueno et al. (2022), a estruturação de um sistema de incentivos baseado em valoração monetária pode ser um dos principais vetores para a adoção de práticas sustentáveis por produtores rurais e povos tradicionais, promovendo justiça ambiental e sustentabilidade econômica.

3.9 Governança ambiental e transparência

A governança ambiental é um conceito que abrange os processos, estruturas e mecanismos pelos quais as sociedades tomam decisões e implementam ações relacionadas ao meio ambiente. Ela envolve a participação de múltiplos atores, incluindo governos, setor privado, sociedade civil e comunidades locais, na formulação e execução de políticas ambientais. A transparência, nesse contexto, é fundamental para assegurar a legitimidade, a eficácia e a equidade das decisões ambientais, permitindo o acesso à informação, a participação pública e a responsabilização dos agentes envolvidos (Maruyama et al., 2022).

A transparência na governança ambiental está intrinsecamente ligada ao acesso à informação e à participação pública nos processos decisórios. Instrumentos internacionais, como o Acordo de Escazú, reforçam a importância desses princípios, estabelecendo obrigações para os Estados em relação à divulgação de informações ambientais e à garantia de mecanismos efetivos de participação e acesso à justiça em assuntos ambientais. No Brasil, apesar dos avanços normativos, ainda existem desafios significativos na implementação desses princípios, especialmente no que diz respeito à disponibilidade e à qualidade das informações ambientais (Transparência Internacional - Brasil, 2024).

A utilização de tecnologias da informação e comunicação tem se mostrado uma ferramenta poderosa para promover a transparência na governança ambiental. Plataformas digitais, sistemas de monitoramento remoto e bases de dados geoespaciais permitem o acesso em tempo real a

informações sobre o uso da terra, desmatamento, emissões de gases de efeito estufa e outras variáveis ambientais. Essas tecnologias facilitam a fiscalização, o controle social e a tomada de decisões baseadas em evidências, contribuindo para uma gestão ambiental mais eficiente e responsiva (Rodrigues, 2024).

No entanto, a eficácia dessas ferramentas depende da qualidade dos dados disponíveis e da capacidade institucional para coletá-los, analisá-los e disseminá-los de forma adequada. Estudos apontam que a fragmentação de responsabilidades entre diferentes órgãos governamentais, a falta de padronização dos dados e a escassez de recursos humanos e financeiros são obstáculos significativos para a consolidação de sistemas de informação ambiental integrados e acessíveis (Ipea, 2025).

No estado do Tocantins, iniciativas recentes têm buscado fortalecer a governança ambiental e a transparência. A Lei Estadual nº 4.131/2023 instituiu o Fundo Clima do Estado do Tocantins (FunClima), com o objetivo de financiar projetos e ações voltados à mitigação e adaptação às mudanças climáticas. O FunClima prevê a participação de representantes da sociedade civil em seu conselho diretor, promovendo a transparência e a inclusão social na gestão dos recursos (Governo do Tocantins, 2023).

Além disso, o Programa Jurisdicional de REDD+ do Tocantins estabelecerá mecanismos de governança que envolvem diversos atores sociais na definição de estratégias para a redução de emissões por desmatamento e degradação florestal. A governança participativa e transparente é essencial para garantir a eficácia e a legitimidade das ações de REDD+, assegurando que os benefícios sejam distribuídos de forma justa e equitativa entre os diferentes segmentos da sociedade.

4 METODOLOGIA

A presente dissertação tem como objetivo desenvolver e aplicar uma metodologia voltada à repartição de benefícios financeiros oriundos de programas jurisdicionais de REDD+, tendo como estudo de caso o estado do Tocantins, com ano de referência 2021. A estrutura metodológica fundamenta-se na abordagem estoque–fluxo, a qual integra duas dimensões complementares: de um lado, o reconhecimento de áreas com cobertura vegetal nativa preservada — caracterizando o estoque de carbono — e, de outro, a valorização de territórios que apresentaram desempenho positivo na redução do desmatamento em períodos recentes — representando o fluxo evitado de emissões. Esta abordagem tem sido amplamente discutida e aplicada em experiências subnacionais, sendo adotada, por exemplo, no Programa REM no estado de Mato Grosso, bem como nas diretrizes técnicas do Grupo de Trabalho da CONAREDD+.

Para o desenvolvimento da metodologia, foi realizada inicialmente uma revisão técnica e documental de experiências nacionais já consolidadas. As estruturas propostas por REM-MT (2019) e pelo Ministério do Meio Ambiente (2020) foram reinterpretadas de forma a atender às especificidades fundiárias, ambientais e institucionais do Tocantins. Em relação aos dados utilizados, optou-se por fontes oficiais e atualizadas, tanto federais quanto estaduais. A vegetação nativa foi quantificada a partir do MapBiomass – Coleção 7 – devido à sua ampla cobertura anual, resolução adequada à escala estadual e à continuidade temporal de seus registros. Apenas as classes vegetacionais condizentes com formações naturais foram consideradas, especificamente os códigos 3, 4, 11 e 12, excluindo-se todas as demais. A seleção foi operacionalizada por meio de uma lógica booleana, que atribuiu valores binários às classes, permitindo filtrar unicamente aquelas de interesse para o critério de estoque.

Os dados de desmatamento utilizados foram provenientes exclusivamente do PRODES Cerrado e PRODES Amazônia, ambos gerenciados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), uma vez que são os únicos aceitos oficialmente nas comunicações do Brasil junto à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC) e utilizados nos níveis de referência (FREL). As análises consideraram dois períodos: o de referência (2011–2015) e o de creditação (2016–2020), conforme nota conceitual do Estado para submissão ao padrão ART-TREES.

Em termos operacionais, a metodologia foi implementada no ambiente SIG ArcGIS da ESRI, escolha justificada pelo domínio técnico do autor e pelo uso cotidiano da ferramenta em atividades profissionais e acadêmicas. Em apoio ao SIG, utilizou-se a linguagem de programação Python, em especial as bibliotecas ArcPy, Pandas e Geopandas, com o intuito de automatizar o processo de cruzamento de dados, cálculo de métricas e aplicação de regras de desempate. A integração dessas tecnologias possibilitou o cruzamento preciso de milhares de feições geográficas, minimizando erros humanos e assegurando replicabilidade do procedimento.

O processo metodológico envolveu inicialmente a organização da base fundiária estadual, classificando os territórios em seis categorias principais: Terras Indígenas, Comunidades Quilombolas, Assentamentos Rurais, Unidades de Conservação, Áreas Privadas e Áreas Públicas. As áreas sem informação dominial foram classificadas como “Áreas Não Destinadas”. Posteriormente, foi gerado um mapa de sobreposições fundiárias para o ano de 2021, a partir do qual se realizou a intersecção com os dados de vegetação nativa (Critério I – Estoque) e com os dados de desmatamento (Critério II – Fluxo). O cálculo do fluxo se deu pela subtração da média anual de desmatamento do período de creditação em relação ao período de referência.

Com base nos mapas de carbono oriundos da segunda, terceira e quarta comunicações nacionais (2CN, 3CN e 4CN), é possível estimar os volumes de emissões evitadas em toneladas de CO₂ equivalente. Ressalta-se que os mapas 2CN e 3CN apresentam separadamente os biomas Amazônia e Cerrado, enquanto a 4CN consolida ambos em uma única base, incorporando ajustes metodológicos nas fisionomias vegetais, o que impacta diretamente os cálculos de estoque e potencial de redução. Por este motivo, o trabalho apresenta os resultados sob os dois cenários metodológicos.

Os mapas de carbono foram obtidos por meio do Sistema de Registro Nacional de Emissões (SIRENE) do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI), que ficam hospedados em um servidor do INPE. O acesso à base de dados do setor LULUCF-SIRENE que contém os arquivos vetoriais e metadados podem ser acessados mediante cadastro na plataforma via link². A Base de Dados de Uso da Terra, Mudança de Uso da Terra e Florestas do Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa é disponibilizada gratuitamente e com

² <https://www.ccst.inpe.br/cn/>

acesso livre, podendo ser utilizada por pesquisadores, integrantes de instituições de ensino ou de governo e pela sociedade em geral.

Para fins de alocação dos benefícios financeiros, adotou-se uma ponderação equitativa entre os dois critérios, sendo 50% da pontuação atribuída ao desempenho em estoque e os outros 50% ao fluxo de redução do desmatamento. As sobreposições entre categorias fundiárias foram resolvidas com base em uma regra de desempate hierárquica, priorizando, na seguinte ordem, as Terras Indígenas, Comunidades Quilombolas, Assentamentos Rurais (PIPCTAFs), Unidades de Conservação, Áreas Privadas e Áreas Públicas. Em casos de sobreposição entre grupos da mesma categoria, foi adotada a média aritmética simples. A metodologia, portanto, alia rigor técnico, fundamentação normativa e aplicabilidade prática, sendo passível de replicação em outras jurisdições subnacionais brasileiras, desde que respeitadas suas particularidades institucionais e geográficas.

A metodologia baseada na abordagem de Estoque-Fluxo associada a uma análise geoespacial de multicritérios (ASP), permite a geração de um mapa de caráter estadual das sobreposições espaciais dos diferentes segmentos e atores do Tocantins. Além de apresentar como parâmetros de referência as variáveis detalhadas pela metodologia do Programa *Ready Earlier Movers* (REM) do estado do Mato Grosso e a metodologia da distribuição de captação de recursos financeiros empregada pelo GTT da CONAREDD+ via Governo Federal.

Um acervo técnico contextualiza a combinação dos conceitos das abordagens estoque e de fluxo, que se estratificam conceitualmente nos seguintes critérios: i. no critério de estoque, em que são premiadas e/ou favorecidas as categorias fundiárias que detêm e protegem os maiores percentuais de área de vegetação nativa em âmbito estadual; ii. no critério de fluxo, em que os benefícios de REDD+ são distribuídos de acordo com a contribuição relativa da redução do desmatamento, privilegiando as regiões fundiárias mencionadas que historicamente reduziram suas taxas de desmatamento. Logo, a repartição dos créditos de carbono é fundamentada mediante a associação desses dois critérios, que estabelecem os pesos e medidas para direcionamento de tais recursos financeiros alcançados.

O emprego dos critérios citados consiste na utilização dos dados provenientes do MapBIOMAS, Coleção 7 para o cálculo da vegetação nativa, que pode ser obtido através do

Google Earth Engine via link³. O motivo dessa escolha se deu pela capacidade de abrangência desta ferramenta na obtenção de dados geoespaciais com distinção das categorias/parâmetros de análise que são dispostos por legenda específica, além de, promover dados anuais e consistentes para uma escala estadual. O segundo critério, fluxo, relativo ao desmatamento de vegetações naturais é obtido pelo PRODES do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), pois o emprego deste é determinado pelo Nível de Referência de Emissões Florestais (FREL, sigla em inglês) nacional.

Um dos aspectos de grande relevância dessa metodologia proposta está na identificação geoespacial da maioria, se não da totalidade, dos atores envolvidos nas questões relacionadas ao REDD+ Jurisdicional do Tocantins. Em termos técnicos, a referida abordagem deve aperfeiçoar um mecanismo de distribuição de recursos programáticos, via Estado, levando em consideração cada um dos diferentes segmentos setoriais que visam operacionalizar essa modalidade de ganho ambiental. Deste modo foram diagnosticadas, por intermédio de consulta em bases de dados de referência estadual e federal, todas as categorias fundiárias que priorizam ações voltadas à diminuição dos índices de desmatamento, à conservação das paisagens naturais, e ao aumento e manutenção das formações florestais acumuladoras de carbono.

Inicialmente, normatizou-se que 100%, dos pagamentos nos períodos de creditação, sejam atribuídos às ações estratégicas de fortalecimento do governo estadual. Do montante total, a distribuição dos percentuais fica a critério do poder público estadual, mas aqui, sugere-se que minimamente metade das arrecadações devam ser destinadas aos elementos fundiários inventariados. Para se manter uma distribuição igualitária entre os dois critérios citados acima, determinou-se que a repartição seja deferida na ordem percentual de 50:50. Ou seja, 50% dos resultados serão aplicados em função das contribuições relativas ao critério I, e os outros 50 % em função da contribuição relativa ao critério II.

O memorial de cálculo dos critérios I e II abrangidos configuram primeiramente a construção de uma base de dados temáticos, sub-compartimentada em quatro distintos temas, sendo eles: i. Categorias Fundiária; ii. Temas de REDD+; iii. Temas Ambientais; e iv. Temas Políticos. O conteúdo dessas classes é listado a seguir:

i. Categorias Fundiárias: Áreas Quilombolas, Áreas Indígenas, Assentamentos, Unidades de Conservação, Áreas Privadas e Áreas Públicas;

³https://code.earthengine.google.com/?accept_repo=users%2FMapBIOMAS%2Fuser-toolkit&scriptPath=users%2FMapBIOMAS%2Fuser-toolkit%3AMapBIOMAS-user-toolkit-calculate-area.js

- ii. Temas de REDD+: mapas de carbono 2CN, 3CN e 4CN;
- iii. Temas Ambientais: biomas; áreas de preservação permanente; áreas de reserva legal;
- iv. Temas Políticos: limites municipais e estaduais.

Ressalta-se que a espacialização dos assentamentos das áreas privadas e públicas do território tocantinense, foram amostradas no acervo fundiário do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA), em seu Sistema de Gestão Fundiária (SIGEF). As Unidades de Conservação e Terras Indígenas, bem como os temas políticos, foram retirados da base de dados oficiais do estado do Tocantins, em sua Infraestrutura de Dados Espaciais, gerida pela Secretaria do Planejamento (SEPLAN). Os mapas de carbono são oriundos da segunda, terceira e quarta comunicação nacional (2 CN, 3 CN e 4 CN), presentes nos Relatórios dos Níveis de Referência de Emissões Florestais (FREL), presentes nas plataformas do Ministério do Meio Ambiente (Plataforma *infohub*) e do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Plataforma Sirene).

Adotada a presente definição de classe, por meio da técnica de *overlay mapping*, os seis compartimentos da classe “Categorias Fundiárias” são representados em um único mapeamento. O cruzamento das informações dos planos fundiários, caracterizados dentro do limite estadual, permite a discretização das áreas sem informação, as quais foram denominadas “Áreas Não Destinadas” e interpretadas como aquelas onde não há, para o ano de referência, informação concreta de dominialidade.

Esta técnica de geoprocessamento também possibilita a estimativa dos conflitos territoriais existentes no estado do Tocantins, “conflitos fundiários”, uma vez que retrata as sobreposições entre os seis compartimentos fundiários para o ano de 2021, ano escolhido para aplicação da metodologia.

Os percentuais dos critérios serão levantados a fim de expor as regiões conflitantes, como uma medida de tratamento dos erros associados à dupla contagem (*double count*) e da reivindicação por mais de um grupo associado às áreas sobrepostas (*double claiming*).

A partir do mapa de sobreposições/conflitos é possível determinar a extensão territorial de todas as classes envolvidas na repartição de benefícios, inclusive de algumas sobreposições específicas. O recorte de todas as categorias fundiárias contribui para a estimativa das variáveis demandadas pelos critérios 1 e 2, uma vez que se busca a intersecção geométrica destas classes com as áreas de vegetação nativa e as reduções de áreas desmatadas. Outros cruzamentos são, possivelmente, testados para fins elucidativos acerca do quantitativo dos créditos entre os períodos

de referência e de creditação adotados. Assim sendo, serão obtidos dados de emissões de CO_{2eq} e redução de emissões em tCO_{2eq} considerando os mapas de carbono 2 CN, 3 CN e 4 CN.

Conforme mencionado, essa proposta metodológica, prevê o repasse dos recursos financeiros obtidos pela geração de créditos de carbono de 50% do valor para o Estado e os outros 50% divididos entre os atores envolvidos.

Dentro dos critérios da abordagem estoque-fluxo, como parte integrante do critério 1, foi realizado, a princípio, a intersecção geométrica (tipo de cruzamento espacial entre dois planos de informação, onde são mantidas as geometrias que são correspondentes a ambos e excluídas as áreas sem correlação geográfica) das categorias fundiárias com as áreas de vegetação nativa, para o ano de 2021. Os dados provenientes do MapBIOMAS permitem estimar valores atuais e mais acurados, próximos à realidade do Tocantins. Uma vez efetuado o cruzamento das áreas de vegetação com os dados do mapa, é possível o cálculo das contribuições relativas, em percentuais, das áreas preservadas em relação às categorias fundiárias, bem como de suas sobreposições. Em razão deste produto, ficam em destaque as áreas de territórios indígenas, que têm a maior parte de seus territórios preservados.

Sequencialmente, realizou-se o cruzamento (intersecção) do mapa de sobreposição/conflitos com os polígonos de desmatamento do programa PRODES Cerrado e pelo programa PRODES Amazônia, como parte integrante dos procedimentos técnicos necessários à quantificação das contribuições relativas do critério II, desmatamento. Com este produto temático são determinados os valores de áreas desmatadas e seus respectivos percentuais por compartimento. É importante ressaltar que:

- ❖ Os polígonos de desmatamento amostrados do Programa PRODES (INPE) foram referentes os períodos compreendidos entre os anos de 2011 e 2020, que contempla o período de referência (2011 a 2015) e o período de creditação (2016 a 2020), intervalos condizentes em relação à nota conceitual que expõe a intenção do Tocantins em performar os créditos *TREES* (arquitetura internacional para submissões jurisdicionais), certificados pelo padrão internacional *ART-TREES*.
- ❖ E ainda, que, para cada uma das categorias fundiárias foram calculadas as áreas de desmatamento em hectares no período mencionado e consequentemente as reduções do desmatamento por área, conforme a ideia que segue:

$$- \text{Média dos desmatamentos entre 2011-2015} = M_{\text{Referencia}}.$$

– Média dos desmatamentos entre 2016-2020 = $M_{Creditacao}$.

– Redução do Desmatamento = $M_{Referencia} - M_{Creditacao}$.

Levando-se em consideração as salvaguardas de Cancún, optou-se por solucionar as sobreposições a serem geradas/observadas pelo mapa de conflitos por meio da adoção de uma regra de desempate, que consiste em:

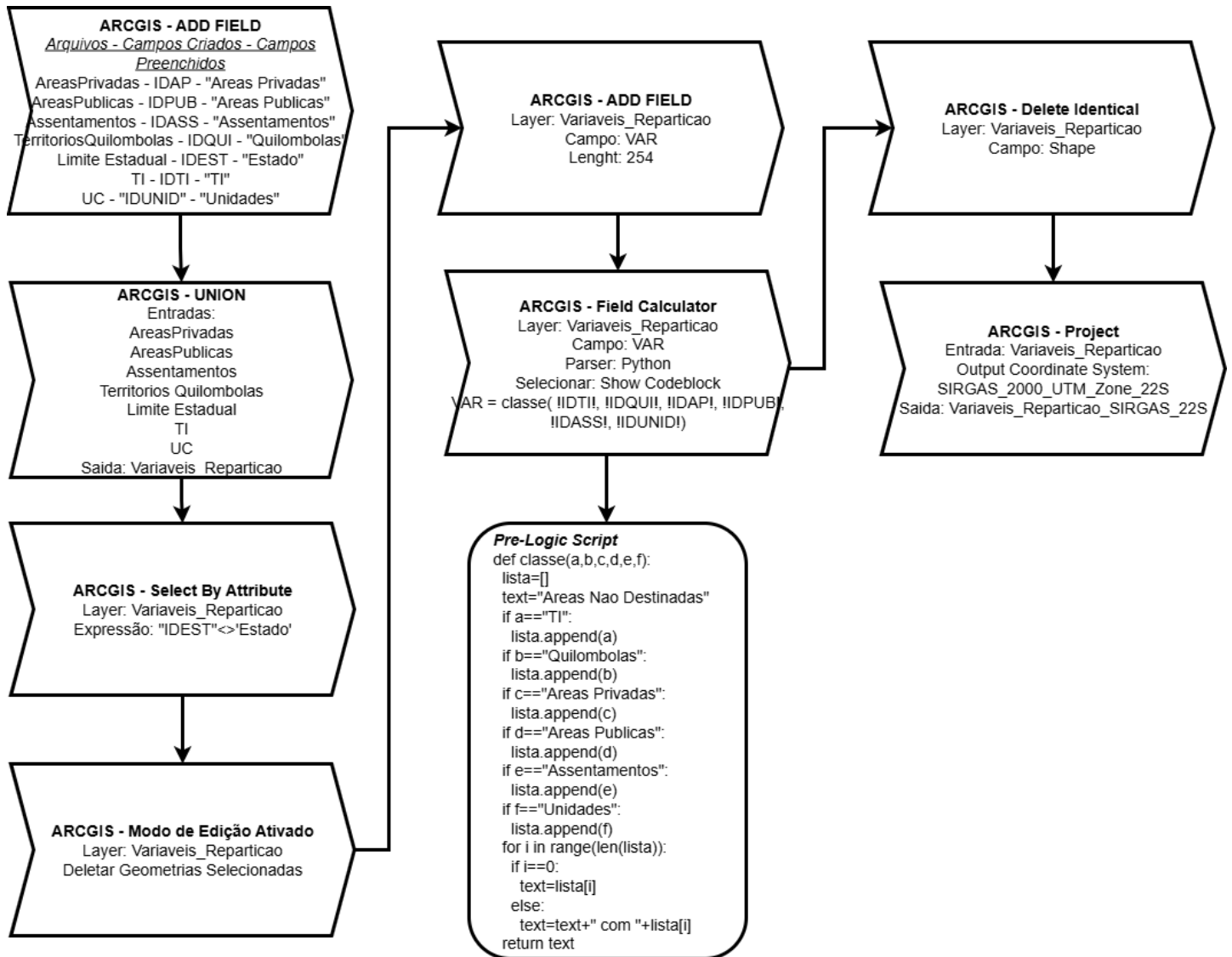
Regra de desempate: PIPCTAF (Terras Indígenas, Quilombolas e Assentamentos) > UC
> Áreas Privadas > Áreas Públicas

O regramento consiste em ordenar as categorias fundiárias em relevância socioeconômica e ambiental para o beneficiamento das estratégias relacionadas ao programa jurisdicional do Tocantins. As áreas de vegetação nativa e de redução de desmatamento, onde verificam-se sobreposições, são contabilizadas em favor do grupo fundiário de maior “importância”, segundo o regramento instituído acima, para fins de cálculo das contribuições relativas dos critérios 1 e 2. Em exemplificação, nos casos de conflitos territoriais entre os povos e comunidades tradicionais vulneráveis (PIPCTAFs) e outros compartimentos (UCs, Áreas Privadas e Áreas Públicas), as áreas de vegetação nativa e de redução de desmatamento foram contabilizadas para os PIPCTAFs. Nos casos em que a sobreposição ocorre entre os próprios PIPCTAFs, os valores são divididos entre eles de forma igualitária, por meio de uma média aritmética.

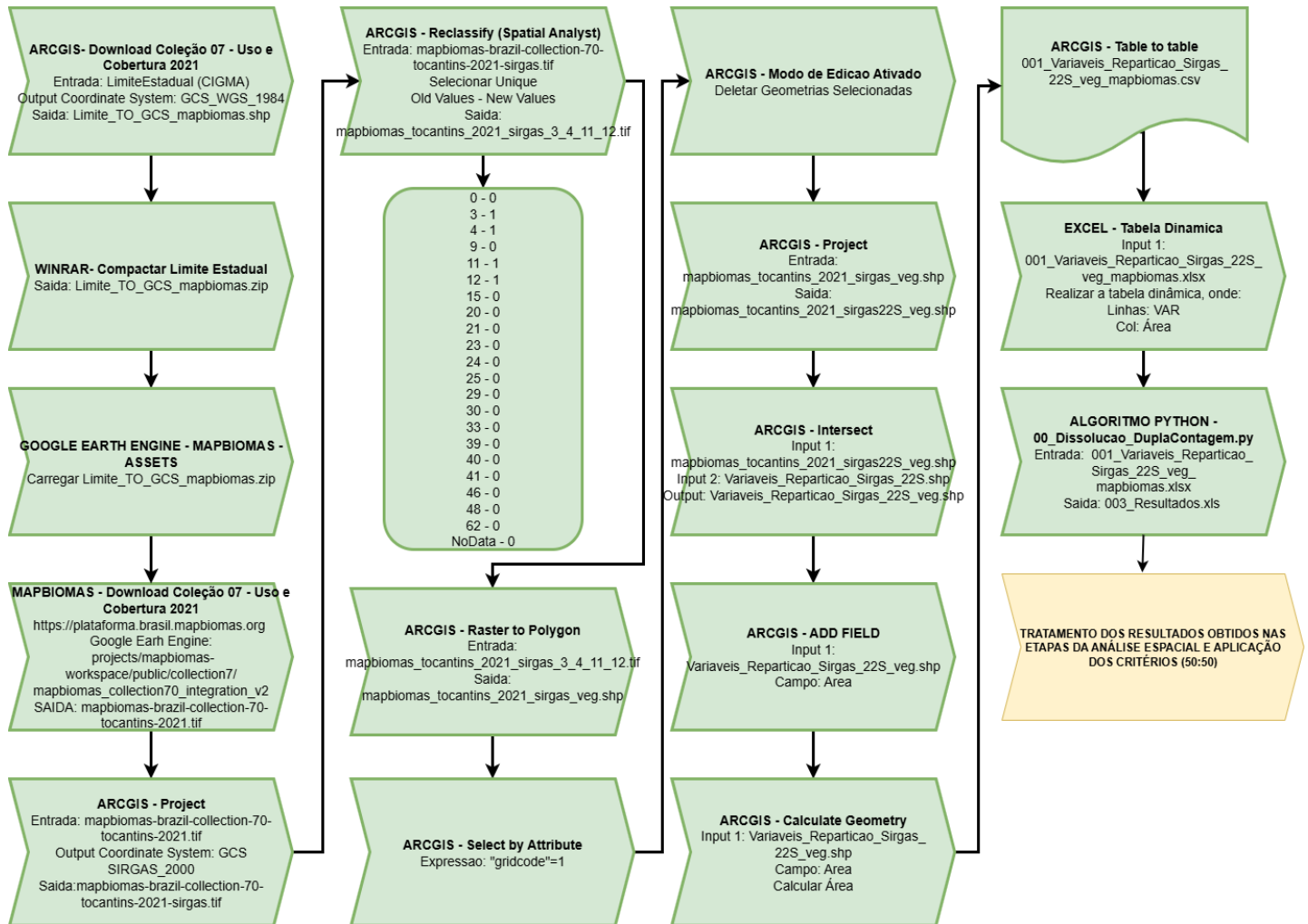
Para execução do regramento proposto para desempate, será utilizado um código de programação via *Python*, que é uma linguagem de programação de alto nível e que permite a interação com ferramentas e softwares GIS. Desse modo, a aplicação do comando em ferramentas como o ArcGIS, por exemplo, permite que todas as sobreposições entre todos os segmentos sociais sejam avaliadas sem erro de contabilidade e independente do tamanho da sobreposição. Essa aplicação é prevista para, além de minimizar erros de correlação das sobreposições espaciais, assegurar que todas as sobreposições territoriais sejam avaliadas, contabilizadas e mensuradas.

A partir do exposto, criou-se um fluxograma, subdivido em três partes, que apresenta a forma detalhada da aplicação metodológica aqui apresentada. Para compreensão e entendimento o mesmo é apresentado a seguir em três etapas, conforme:

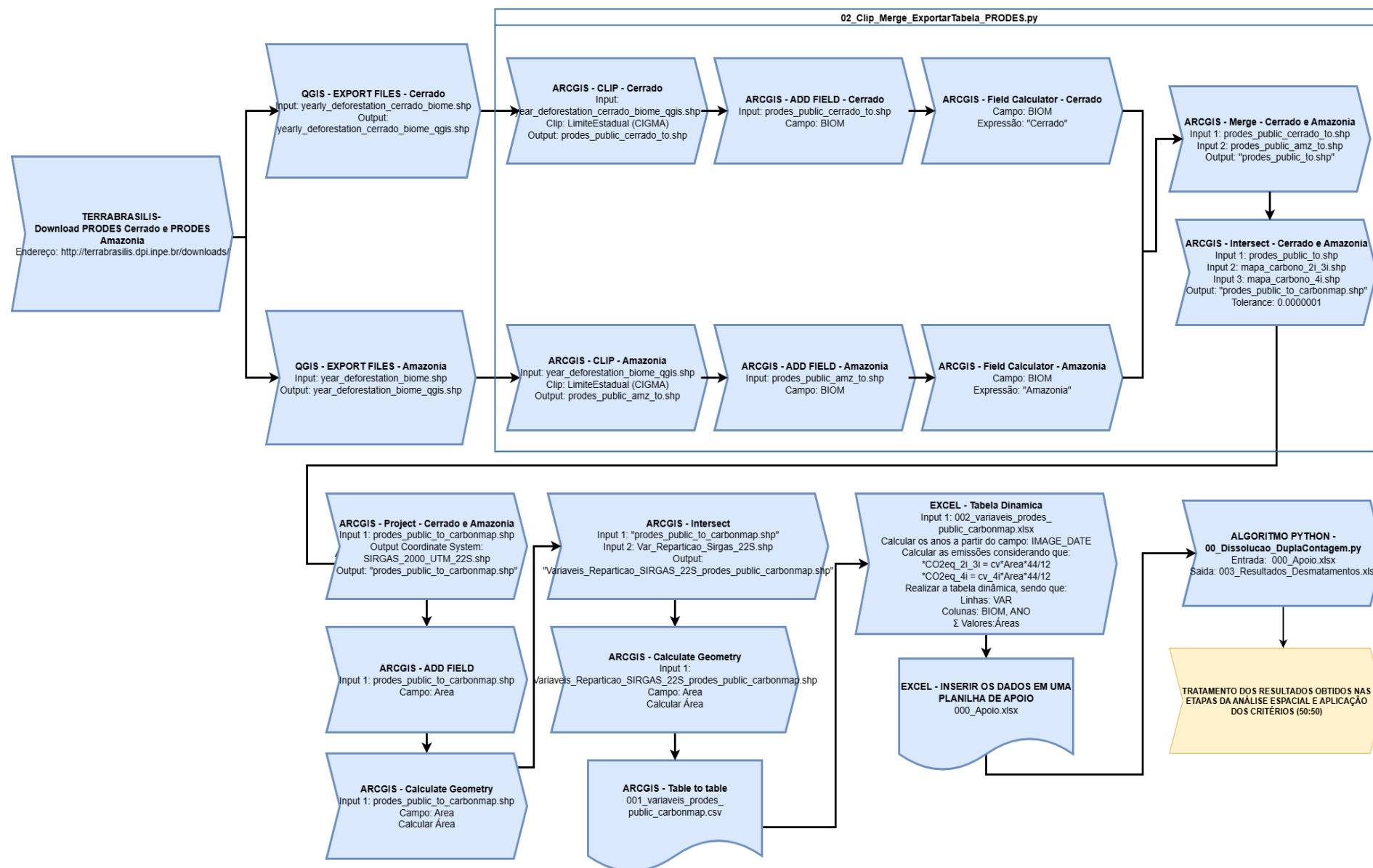
Fluxograma 1. Inclusão SIG dos segmentos sociais do Estado e algoritmo Python para critério de desempate.



Fluxograma 2. Critérios de estoque (vegetação nativa), desde a obtenção de dados até os resultados.



Fluxograma 3. Critérios de fluxo (desmatamento), desde a obtenção de dados por bioma até os resultados.



5 RESULTADOS

A metodologia apresentada e detalhada pelos fluxogramas 1, 2 e 3, permitem a obtenção de dados individualizados de cada segmento social abrangido pela jurisdição tocantinense, permitindo assim, o cruzamento de informações individualizadas.

Da execução da metodologia, foram obtidos diversos produtos técnicos que são capazes de prover dados de auxílio na gestão territorial do Estado, um exemplo disso, se dá na criação de um mapa de sobreposições do Estado, capaz de verificar a localização não somente das distribuições espaciais, mas também mensurar as sobreposições entre todas os segmentos fundiários.

Dos demais produtos técnicos obtidos também se incluem a capacidade de mensurar os volumes de estoque e crédito de carbono baseados nos mapas nacionais, além da medir a contribuição por cada segmento social.

O emprego da metodologia desenvolvida permite ainda outros cruzamentos de informações e dados a fim de obter novos resultados não abordados nesse trabalho, como por exemplo, estimar e mensurar a contribuição por municípios da jurisdição, ou ainda, por bacias hidrográficas. Para o primeiro caso exemplificado, pode-se inclusive fazer um ranqueamento dos municípios com maiores e menores estoques de carbono, além de um outro ranking de maiores geradores de créditos de carbono.

O emprego da linguagem de programação, nesse caso o *Python*, se mostra necessário para processar as informações e quantificar os resultados visto o enorme volume de dados, na casa de centenas de milhares de polígonos.

A partir do mapa de sobreposições fundiárias, associado ao mapa de vegetação nativa e de desmatamento, o cruzamento das informações com os mapas de carbono permite quantificar os volumes dos estoques de carbono para cada polígono ou totalidade pertencente ao segmento social.

A aplicação da metodologia permite conforme mencionado medir a contribuição relativa de todos os segmentos sociais da jurisdição independente do mapa de carbono utilizado, com isso, é possível determinar as contribuições relativas em toneladas de carbono equivalente (tCO_{2eq}).

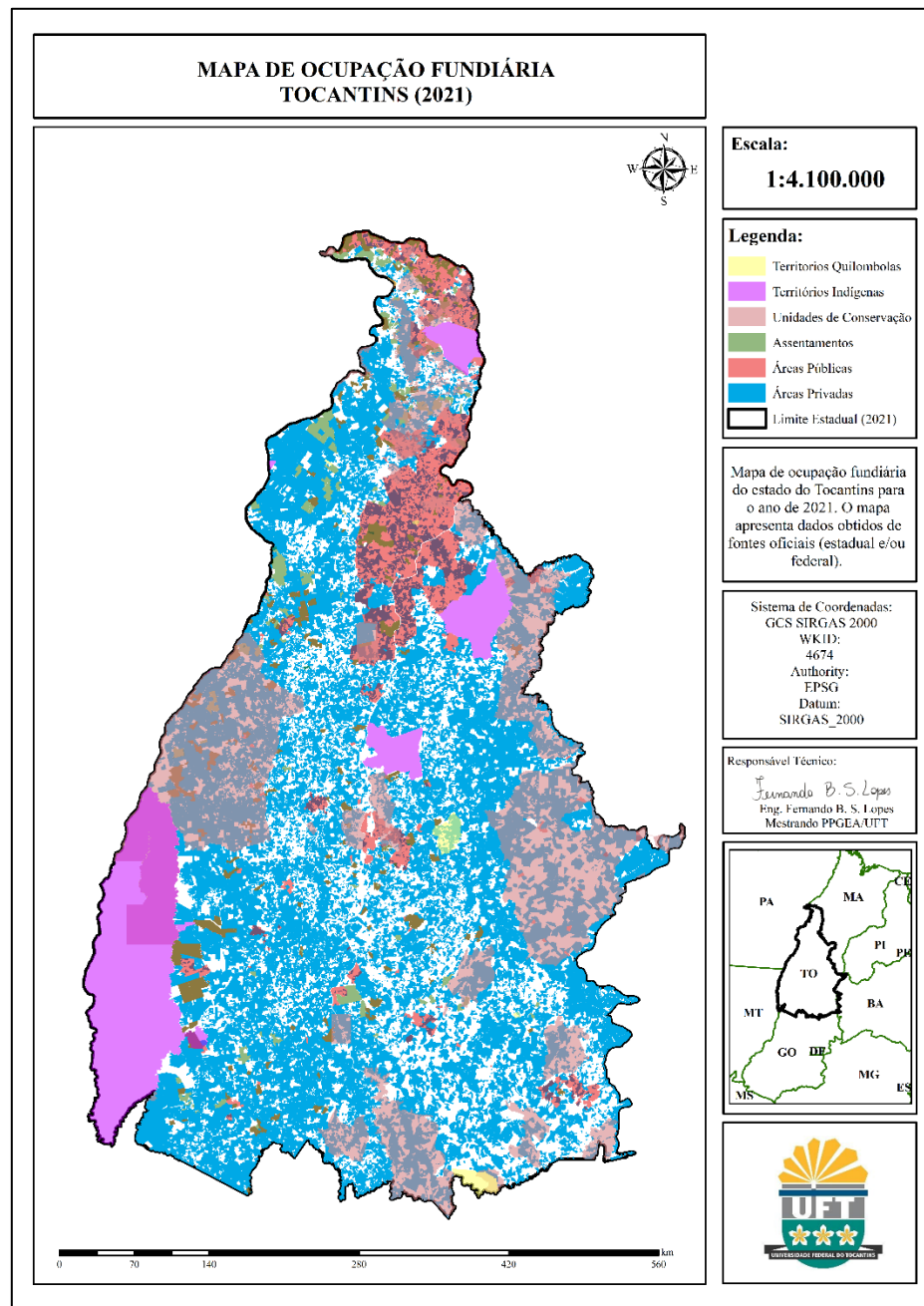
Durante a proposta da construção da metodologia apresentada e após os processamentos dos dados, é entendido que a aplicação dela é passível de reprodução anual para qualquer período de referência ou linha de base adotado, o que permitirá a longo prazo a criação de uma evolução dos dados da série histórica.

5.1 Mapeamento das sobreposições fundiárias com aplicação e desenvolvimento da linguagem de programação *Python* para avaliação das sobreposições territoriais

A primeira etapa da aplicação metodológica consistiu na delimitação precisa da extensão territorial do estado do Tocantins para o ano de 2021, tomando como base os limites oficiais disponibilizados pela Infraestrutura de Dados Espaciais do Estado, sob gestão da Secretaria de Planejamento e Orçamento (SEPLAN). A definição do recorte espacial permitiu estabelecer a área de análise primária, sobre a qual se aplicaram os cruzamentos fundiários e temáticos previstos nos critérios de avaliação da proposta.

Foram integradas ao ambiente SIG as camadas espaciais correspondentes às seis categorias fundiárias selecionadas: Áreas Indígenas, Áreas Quilombolas, Assentamentos Rurais, Unidades de Conservação, Áreas Públicas e Áreas Privadas. Cada classe foi tratada como uma entidade geográfica independente, sendo posteriormente fundida em um único plano de informação para viabilizar a análise das interseções espaciais entre os diferentes domínios fundiários, conforme é observado na figura 4 que segue.

Figura 4 - Mapa de sobreposições fundiárias conforme base de dados oficiais.



Fonte: Autor (2025).

O procedimento de sobreposição espacial, realizado por meio da técnica de overlay mapping, permitiu identificar todas as áreas de intersecção entre as diferentes categorias. As ocorrências de múltiplas sobreposições — isto é, áreas que pertencem simultaneamente a mais de uma classe fundiária — foram destacadas como "áreas em conflito fundiário". Esses conflitos refletem lacunas ou inconsistências na governança territorial e têm implicações diretas sobre a

repartição de benefícios em programas jurisdicionais de REDD+, especialmente no que tange à definição de titularidade e responsabilidade ambiental sobre o território.

Como resultado desse cruzamento, também foram identificadas as "áreas não destinadas", isto é, porções do território estadual que, até o ano de referência, não estavam formalmente registradas ou alocadas a nenhuma das seis categorias analisadas. Essas áreas representam uma parcela relevante da superfície estadual e apresentam desafios quanto à regularização fundiária e à inserção em políticas de conservação e compensação climática. A identificação dessas zonas é essencial para indicar a necessidade de avanços na política de destinação de terras públicas no Tocantins.

A espacialização dos conflitos gerou um produto cartográfico que serviu de base para as próximas etapas analíticas, como a aplicação do regramento de desempate e a quantificação proporcional das contribuições relativas por critério. Além disso, esse mapa temático representa um insumo estratégico para gestores públicos, pois revela, de forma objetiva, os pontos de maior sobreposição institucional e os vazios fundiários que carecem de regularização, monitoramento e inclusão em programas de gestão territorial e ambiental.

Com o mapeamento das categorias fundiárias finalizado e a consolidação das camadas temáticas em ambiente SIG, deu-se início à automação da etapa de análise das sobreposições territoriais. Para garantir precisão, reprodutibilidade e eficiência no processamento dos dados espaciais, foi desenvolvido um script em linguagem *Python* voltado à identificação e quantificação sistemática dos conflitos fundiários observados no Tocantins no ano de 2021.

Para o tratamento técnico das sobreposições fundiárias identificadas, foi desenvolvido um procedimento automatizado em ambiente ArcGIS, com o apoio de código escrito em linguagem *Python*. Esse fluxo de trabalho permitiu garantir precisão analítica e coerência metodológica na classificação, hierarquização e remoção de conflitos geoespaciais, conforme as regras previamente definidas na metodologia da dissertação.

A primeira etapa do processo consistiu na inclusão de campos de atributos adicionais nas camadas vetoriais representativas de cada uma das seis categorias fundiárias — Áreas Privadas, Áreas Públicas, Assentamentos, Territórios Quilombolas, Terras Indígenas e Unidades de Conservação —, por meio da ferramenta *Add Field*. Cada camada recebeu um identificador específico, com siglas e nomes padronizados, que possibilitaram a unificação posterior sem perda de referência semântica.

Em seguida, todas as camadas foram submetidas ao processo de *Union*, que fundiu as geometrias dos compartimentos fundiários, incluindo o limite estadual, em uma única camada chamada “Variaveis_Reparticao”. Essa operação preservou os atributos originais e permitiu a detecção de sobreposições entre duas ou mais categorias. A camada resultante passou por uma padronização de projeção cartográfica para o sistema *SIRGAS_2000_UTM Zone_22S*, a fim de garantir a integridade das análises métricas.

Com a camada consolidada, foi criado um campo de texto chamado “VAR”, destinado à classificação final das áreas. Atribuições condicionais foram automatizadas com o uso do *Field Calculator*, utilizando um script customizado. O código, estruturado em blocos lógicos (*if e for*), avaliou a presença de identificadores atribuídos aos polígonos resultantes da operação de *union* e, conforme a combinação observada, registrou no campo “VAR” o nome da sobreposição identificada — por exemplo, “TI com UC”, “Assentamento com Área Pública”, ou “Áreas Não Destinadas” quando nenhuma categoria era detectada.

A rotina incluiu, ainda, uma filtragem por atributo usando a expressão *IDEST <> 'Estado'* com a ferramenta *Select by Attribute*, de modo a isolar geometrias fora dos limites válidos de análise. Estas geometrias foram excluídas manualmente com o recurso de edição ativada, assegurando a limpeza topológica da base. A etapa final utilizou o recurso *Delete Identical* para eliminar feições duplicadas, evitando redundâncias espaciais.

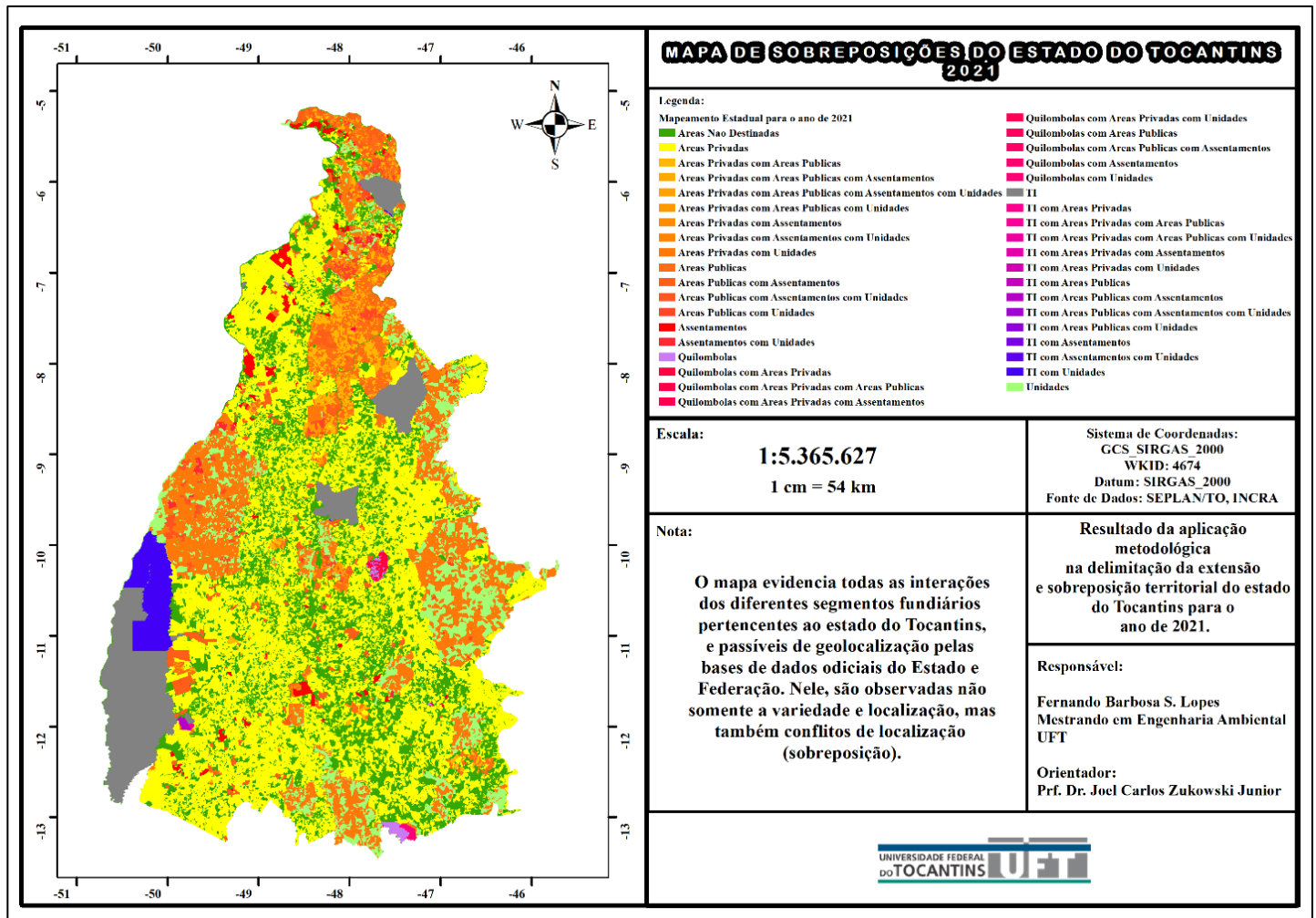
O script em Python permitiu a aplicação da lógica de reclassificação de sobreposições conforme a hierarquia de desempate definida na metodologia, atribuindo prioridade aos territórios de povos e comunidades tradicionais (PIPCTAF), seguidos pelas Unidades de Conservação, Áreas Privadas e Áreas Públicas. Com isso, cada área de sobreposição foi atribuída a uma única categoria dominante, segundo critérios de relevância socioambiental, eliminando ambiguidades que poderiam comprometer a contabilidade dos créditos e a repartição dos benefícios.

A adoção dessa automação via script não apenas garantiu maior controle técnico sobre o processo de classificação, como também tornou o método replicável e auditável, reforçando os princípios de transparência e rastreabilidade que norteiam os programas jurisdicionais de REDD+. A camada final gerada, denominada “Variaveis_Reparticao”, tornou-se a base espacial oficial para as etapas seguintes de quantificação de vegetação nativa, avaliação de desmatamento evitado e aplicação do modelo de repartição proposto.

A escolha pela linguagem Python deve-se à sua ampla compatibilidade com bibliotecas de geoprocessamento — como *geopandas*, *shapely* e *arcpy* —, permitindo a integração direta com plataformas como ArcGIS e QGIS. O script foi estruturado para realizar operações de interseção geométrica entre os polígonos fundiários previamente harmonizados, preservando a integridade topológica e o rastreo de atributos fundiários originais. Essa automação foi essencial para o tratamento de milhares de geometrias e permitiu identificar todas as ocorrências de sobreposição entre os seis compartimentos fundiários estabelecidos na metodologia.

A seguir é observado e apresentado o produto cartográfico obtido das sobreposições espaciais referentes ao ano de 2021, já com o uso da linguagem de programação para distinção dos diferentes segmentos fundiários, além de alguns detalhamentos do produto obtido em diferentes escalas para melhor compreensão.

Figura 5. Mapa de sobreposições do estado do Tocantins para o ano de 2021.

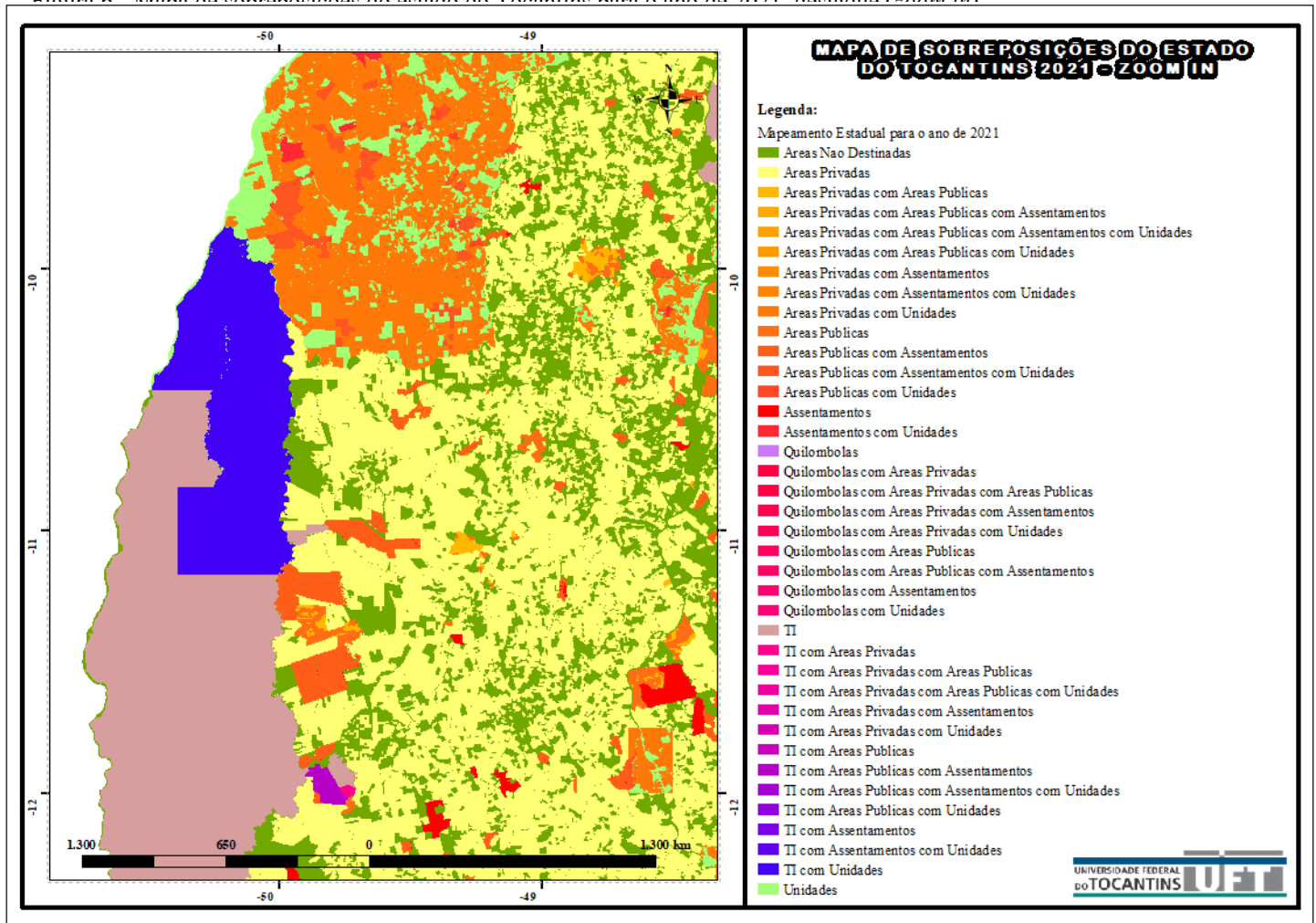


Fonte: Autor (2025).

A figura 5, anterior, proporciona uma noção da numerosa quantidade de conflitos existentes dentro do Estado. A geração do mapa, permite geolocalizar todos os conflitos existentes e mensurá-los em suas extensões territoriais.

Os resultados obtidos pelo mapa de sobreposição fundiária apresentam uma importante ferramenta de gestão governamental. Também é passível de replicação para os demais anos subsequentes.

Figura 6. Mapa de sobreposições do estado do Tocantins para o ano de 2021, destaque (zoom in)



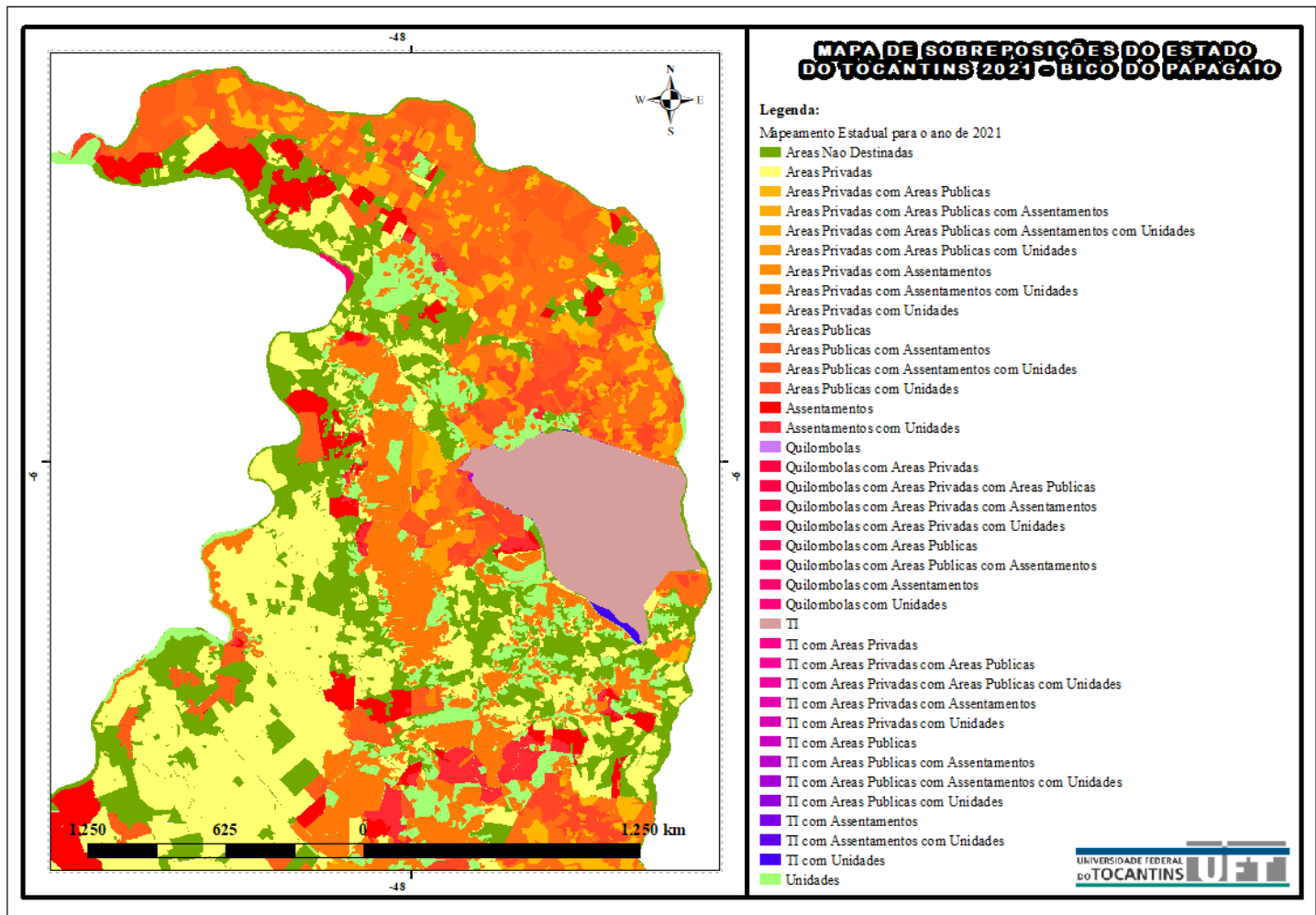
Fonte: Autor (2025).

Conforme observado pela figura 6, é possível verificar a numerosa quantidade de sobreposições existentes na porção oeste do Tocantins mesmo em se tratando de uma porção de menor proporção em relação ao todo do Estado. Próximo à Ilha do Bananal, local ocupado por

diferentes povos Indígenas há também área de Unidade de Conservação, o que é representado pelo mapa pela cor azul.

Ademais, imediatamente à leste da Ilha do Bananal é possível observar conflitos diversos, por exemplo, Territórios Indígenas com áreas Públicas e Assentamentos, representados pela coloração rosa.

Figura 7. Mapa de sobreposições do estado do Tocantins para o ano de 2021, destaque “Bico do Papagaio”.



Fonte: Autor (2025).

O mapa da figura 7, representa a região norte do Estado comumente chamada de Bico do Papagaio, nela observamos uma grande concentração de Assentamentos e de sobreposições entre Áreas Privadas e Assentamentos.

5.2 Mensuração dos volumes de estoque e créditos de carbono conforme mapas de carbono 2CN, 3 CN e 4CN

A avaliação do critério de estoque — referente à cobertura de vegetação nativa preservada — possibilitou aferir a distribuição territorial dos ativos florestais no estado do Tocantins para o ano de 2021. Para tanto, procedeu-se à integração geoespacial entre a base fundiária estadual e os dados de cobertura vegetal oriundos da Coleção 7 do MapBiomass. O produto resultante representou 100% da extensão territorial do estado, distribuído entre classes fundiárias puras e compostas, com ou sem sobreposição.

Os resultados demonstram que as Áreas Privadas concentram a maior parcela da vegetação nativa no Tocantins, totalizando aproximadamente 6.509.765 hectares, o equivalente a 34% do total estadual. Esta predominância reflete diretamente a estrutura fundiária do estado, em que a ocupação privada representa a maior parte da malha territorial, justificando sua posição central na estratégia de REDD+ jurisdicional. Quando somadas às áreas privadas sobrepostas a Unidades de Conservação, o total se aproxima de 9,2 milhões de hectares, ou seja, quase 50% da vegetação nativa remanescente encontra-se, total ou parcialmente, sob domínio privado.

As Áreas Não Destinadas, que compreendem territórios ainda sem regularização fundiária, aparecem em segundo lugar, com cerca de 3.381.578 hectares (17,66%). Este dado reforça a urgência de ações de ordenamento territorial e regularização, uma vez que estas áreas apresentam elevado potencial de conservação ou degradação, a depender das políticas adotadas.

Em seguida, destacam-se as Terras Indígenas (TI) com 1.960.941 hectares (10,24%) e as Unidades de Conservação (UCs) com 1.807.703 hectares (9,44%). Esses territórios apresentam os mais altos índices proporcionais de preservação em relação à sua área total, o que os posiciona como espaços estratégicos na manutenção dos estoques de carbono e na proteção da biodiversidade.

As Áreas Públicas somam 745.700 hectares (3,89%), enquanto os Assentamentos da Reforma Agrária concentram 130.114 hectares (0,68%). Já os Territórios Quilombolas registram cerca de 51.172 hectares (0,27%). Ainda que estas três últimas categorias apresentem contribuições absolutas menores, são prioritárias no contexto de justiça climática e equidade distributiva, conforme previsto nas salvaguardas socioambientais do mecanismo REDD+.

Ao considerar as categorias combinadas (ex.: Áreas Privadas com Assentamentos, TIs com UCs, Quilombolas com Áreas Públicas etc.), observa-se um quadro complexo de sobreposições fundiárias. Para lidar com essas ocorrências e evitar distorções nos cálculos (como *double counting*

ou *double claiming*), adotou-se uma regra de desempate hierarquizada, priorizando territórios de povos e comunidades tradicionais (PIPCTAFs), seguidos por Unidades de Conservação, propriedades privadas e, por fim, áreas públicas.

A tabela a seguir apresenta de forma completa as contribuições absolutas por segmento fundiário para o Critério I:

Tabela 4. Contribuições absolutas do critério I por segmentos para o ano de 2021 no estado do Tocantins.

Rótulos de Linha	Soma das Áreas em hectares	Percentual
Areas Nao Destinadas	3.381.578,22	17,661500%
Areas Privadas	6.509.765,52	33,999576%
Areas Privadas com Areas Publicas	480.979,03	2,512085%
Areas Privadas com Areas Publicas com Assentamentos	1.788,14	0,009339%
Areas Privadas com Areas Publicas com Assentamentos com Unidades	310,04	0,001619%
Areas Privadas com Areas Publicas com Unidades	93.573,99	0,488724%
Areas Privadas com Assentamentos	3.227,26	0,016856%
Areas Privadas com Assentamentos com Unidades	1.294,34	0,006760%
Areas Privadas com Unidades	2.687.473,46	14,036290%
Areas Publicas	745.700,32	3,894686%
Areas Publicas com Assentamentos	327.085,72	1,708322%
Areas Publicas com Assentamentos com Unidades	113.285,43	0,591674%
Areas Publicas com Unidades	168.663,15	0,880904%
Assentamentos	130.113,80	0,679566%
Assentamentos com Unidades	53.786,02	0,280917%
Quilombolas	51.172,19	0,267265%
Quilombolas com Areas Privadas	38.710,49	0,202179%
Quilombolas com Areas Privadas com Areas Publicas	568,04	0,002967%
Quilombolas com Areas Privadas com Assentamentos	10,58	0,000055%
Quilombolas com Areas Privadas com Unidades	0,02	0,000000%
Quilombolas com Areas Publicas	2.235,82	0,011677%
Quilombolas com Areas Publicas com Assentamentos	1,15	0,000006%
Quilombolas com Assentamentos	0,72	0,000004%
Quilombolas com Unidades	19.492,81	0,101808%
TI	1.960.941,66	10,241718%
TI com Areas Privadas	2.064,71	0,010784%

Rótulos de Linha	Soma das Áreas em hectares	Percentual
TI com Areas Privadas com Areas Publicas	3,98	0,000021%
TI com Areas Privadas com Areas Publicas com Unidades	0,96	0,000005%
TI com Areas Privadas com Assentamentos	1,63	0,000009%
TI com Areas Privadas com Unidades	8,51	0,000044%
TI com Areas Publicas	313,22	0,001636%
TI com Areas Publicas com Assentamentos	13.099,74	0,068418%
TI com Areas Publicas com Assentamentos com Unidades	0,14	0,000001%
TI com Areas Publicas com Unidades	16,96	0,000089%
TI com Assentamentos	9,92	0,000052%
TI com Assentamentos com Unidades	0,19	0,000001%
TI com Unidades	551.626,98	2,881069%
Unidades	1.807.703,16	9,441376%
Total	19.146.608,02	100,000000%

A distribuição observada na tabela anterior, comprova que a repartição de benefícios baseada no critério de estoque deve necessariamente reconhecer a liderança das propriedades privadas, ao mesmo tempo em que adota mecanismos para garantir e assegurar a equidade aos grupos historicamente marginalizados no acesso a políticas ambientais e recursos públicos.

Este panorama corrobora a pertinência da abordagem proposta, que associa critérios técnicos (vegetação remanescente por categoria fundiária) a princípios normativos de justiça distributiva, conforme previsto nos documentos orientadores da CONAREDD+ e nos modelos jurisdicionais nacionais já consolidados.

Também é evidenciado pela tabela 4 a grande importância dos povos indígenas na conservação de vegetação nativa, visto que em termos percentuais, excluídas as sobreposições com os demais segmentos sociais, representam mais de 10% da contribuição do Estado no critério estoque.

A mensuração do critério de fluxo corresponde à avaliação da contribuição relativa de cada segmento fundiário para a redução do desmatamento no estado do Tocantins. Para tanto, foram utilizadas médias de áreas desmatadas, extraídas a partir dos dados do Programa de Monitoramento do Desmatamento por Satélite (PRODES/INPE), compatibilizadas com as informações fundiárias da base temática estadual. Os dados foram estratificados em dois períodos: o período de referência (2011–2015) e o período de creditação (2016–2020), em conformidade com os parâmetros técnicos

definidos pela nota conceitual do estado do Tocantins para submissão de créditos de carbono pelo padrão ART-TREES.

O diferencial entre os dois períodos revela a variação líquida do desmatamento médio anual e, portanto, permite aferir a contribuição efetiva de cada classe fundiária para a mitigação das emissões. A análise considerou apenas as categorias que apresentaram redução no desmatamento, sendo a diferença absoluta interpretada como resultado positivo no desempenho ambiental.

Entre os segmentos avaliados, destacam-se aqueles associados às grandes áreas de domínio privado, que novamente revelam significativa importância na dinâmica territorial. Algumas categorias fundiárias apresentaram reduções absolutas superiores a 70 mil hectares em termos de área desmatada média, demonstrando resultados consistentes com o esforço de conservação recente. A expressiva redução observada nessas categorias sinaliza, de forma inequívoca, seu potencial como agentes de mitigação climática, especialmente quando vinculadas a políticas de incentivo via REDD+.

Por outro lado, segmentos tradicionalmente mais vulneráveis, como assentamentos e territórios coletivos, também apresentaram desempenho positivo em termos relativos, embora com menor expressividade em termos absolutos. Esse comportamento deve ser interpretado com cautela, pois reflete tanto o porte territorial das áreas quanto as condições estruturais e institucionais que influenciam a pressão por desmatamento em cada contexto.

A aplicação da metodologia proposta — que combina os critérios de estoque e fluxo — permite uma análise mais abrangente, ao reconhecer tanto a conservação histórica quanto a performance recente na contenção do desmatamento. Os dados analisados validam a lógica da divisão proporcional adotada (50% para cada critério), ao indicar que diferentes categorias fundiárias contribuem de forma distinta, mas complementar, para os objetivos do programa jurisdicional de REDD+.

A seguir, serão apresentados de forma desagregada os resultados por segmento, com a devida discussão qualitativa dos desempenhos observados.

Tabela 5. Resultados dos dados de desmatamentos em hectares, critério II (fluxo) por segmento.

Rótulos de Linha	2011_Novo	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2011/2015	2016/2020	Redução
Areas Nao Destinadas	72.273,33	71.756,40	56.557,32	41.756,84	55.440,22	29.700,03	31.910,01	25.476,99	25.798,06	29.062,57	31.071,52	59.556,82	28.389,53	31.167,29
Areas Privadas	157.874,44	157.504,32	156.522,48	124.210,96	162.252,62	79.196,02	89.090,98	80.918,81	82.108,86	73.031,66	81.269,91	151.672,96	80.869,27	70.803,70
Areas Privadas com Areas Publicas	28.106,64	28.062,04	12.119,76	14.300,57	10.051,09	7.185,41	6.202,01	6.730,85	6.737,32	5.986,60	6.610,50	18.528,02	6.568,44	11.959,58
Areas Privadas com Areas Publicas com Assentamentos	1,62	1,62	1,77	85,18	1,88	0,00	0,01	0,00	2,25	2,20	0,32	18,42	0,89	17,53
Areas Privadas com Areas Publicas com Assentamentos com Unidades	0,00		0,60		1,27	0,26		0,10	0,33	0,00		0,62	0,18	0,45
Areas Privadas com Areas Publicas com Unidades	1.166,44	1.154,84	902,08	350,61	562,58	690,47	394,85	1.438,07	437,95	1.091,68	892,82	827,31	810,60	16,70
Areas Privadas com Assentamentos	42,85	42,36	25,53	44,78	83,94	31,83	11,14	26,90	38,07	16,18	22,13	47,89	24,82	23,07
Areas Privadas com Assentamentos com Unidades	11,07	10,99	9,07	179,81	22,07	118,61	0,44	111,00	11,22	7,91	5,28	46,60	49,84	-3,24
Areas Privadas com Unidades	40.853,26	40.845,18	33.701,15	23.103,14	37.043,54	21.898,35	22.249,01	22.788,38	17.009,70	23.891,37	19.934,75	35.109,25	21.567,36	13.541,89
Areas Publicas	23.788,49	23.742,92	10.224,80	9.577,56	17.824,20	11.131,52	8.218,95	7.202,90	6.695,36	10.036,74	13.590,11	17.031,60	8.657,09	8.374,50
Areas Publicas com Assentamentos	10.330,97	10.168,19	7.886,28	6.512,85	11.028,86	4.921,58	6.215,77	4.878,49	4.801,14	4.637,85	6.989,30	9.185,43	5.090,97	4.094,46
Areas Publicas com Assentamentos com Unidades	1.857,50	1.857,50	2.964,06	986,16	2.238,70	1.385,70	1.220,14	1.291,95	1.046,53	1.526,50	1.417,39	1.980,78	1.294,17	686,62

Rótulos de Linha	2011_Novo	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2011/2015	2016/2020	Redução
Áreas Públicas com Unidades	2.058,14	2.036,67	2.077,49	1.040,28	1.999,84	1.000,57	1.412,35	1.674,23	1.589,75	1.324,05	1.426,01	1.842,48	1.400,19	442,29
Assentamentos	2.390,35	2.094,30	2.462,29	1.847,00	2.827,99	1.422,65	1.785,06	1.394,27	1.191,00	1.281,32	1.897,47	2.324,39	1.414,86	909,53
Assentamentos com Unidades	1.455,69	1.436,92	637,44	277,94	785,08	725,52	445,27	343,07	381,27	560,58	1.045,44	918,62	491,14	427,47
Quilombolas	541,33	541,33	145,25	130,84	233,24	59,67	116,37	174,24	105,06	111,57	225,68	318,40	113,38	205,02
Quilombolas com Áreas Privadas	528,84	528,84	611,28	133,53	456,29	176,99	481,40	792,80	2.058,78	547,78	348,72	451,76	811,55	-359,79
Quilombolas com Áreas Privadas com Áreas Públicas	0,00		1,17	36,95			32,07		6,94	0,06		12,71	13,02	-0,32
Quilombolas com Áreas Privadas com Assentamentos	0,00				1,01						3,10	0,50	0,00	0,50
Quilombolas com Áreas Públicas	10,66	10,66	0,00	22,03	5,28		1,47	0,02	3,64	3,27	0,21	9,73	2,10	7,62
Quilombolas com Assentamentos	0,00										0,02	0,00	0,00	0,00
Quilombolas com Unidades	0,00				9,05	5,81	28,78	0,00	13,64	32,65	11,83	4,52	16,18	-11,65
TI	960,45	948,70	637,25	69,99	217,23	22,51	33,80	82,05	39,64	255,96	111,75	566,73	86,79	479,93
TI com Áreas Privadas	192,46	192,46	55,18	0,36	0,00	63,27	0,56	0,06	116,62		3,97	88,09	45,13	42,97
TI com Áreas Privadas com Áreas Públicas	0,00											0,00	0,00	0,00
TI com Áreas Privadas com Assentamentos	0,00										0,00	0,00	0,00	0,00
TI com Áreas Públicas	0,56	0,56			0,73			0,08			0,00	0,62	0,08	0,54

Rótulos de Linha	2011_Novo	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2011/2015	2016/2020	Redução
TI com Areas Publicas com Assentamentos	166,34	166,34	418,12	53,46	123,47	20,05	25,66	38,93	37,41	108,87	209,86	185,55	46,18	139,36
TI com Areas Publicas com Assentamentos com Unidades	0,00											0,00	0,00	0,00
TI com Areas Publicas com Unidades	0,22	0,22									0,01	0,22	0,00	0,22
TI com Assentamentos	0,33	0,33	0,43								0,01	0,36	0,00	0,36
TI com Unidades	629,62	629,62	618,54	118,37	18,58	6,04				79,94	184,62	402,95	42,99	359,95
Unidades	17.819,16	17.819,02	10.514,59	9.311,20	15.396,17	10.898,65	8.493,19	7.267,66	7.729,62	9.521,34	8.783,90	14.172,03	8.782,09	5.389,93

A tabela 5 apresentada, evidencia que até 2015 áreas privadas foram os maiores responsáveis pelo desmatamento de vegetação nativa, ultrapassando os 150.000 hectares de área, mas também é responsável por mostrar que o mesmo segmento foi responsável pela maior redução dos desmatamentos no período subsequente mais de 80.000 hectares em relação a linha de base dos 5 anos anteriores. Com isso, mais de 70.000 hectares deixaram de ser desmatados em relação as linhas de base.

A dualidade analítica proposta permite compensar disparidades estruturais: áreas tradicionalmente conservadas, como Terras Indígenas e Unidades de Conservação, recebem reconhecimento via critério de estoque; enquanto regiões que conseguiram inverter tendências de degradação recente — inclusive em contextos mais pressionados, como assentamentos — são contempladas pelo critério de fluxo.

Apenas às áreas privadas fogem dessa dualidade conforme visto pelas tabelas 4 e 5, pois ao mesmo tempo que são os maiores responsáveis pela preservação de vegetação nativa, são o setor que mais contribui para o desmatamento. É importante salientar que a redução dos desmatamentos anual e por consequência entre as linhas de base é fator essencial na geração dos créditos jurisdicionais do REDD+.

Esse equilíbrio normativo da dualidade analítica é coerente com os princípios internacionais de justiça climática e inclusão, conforme estabelecido nas Salvaguardas de Cancún e nas orientações operacionais da CONAREDD+.

Além disso, os resultados obtidos subsidiarão diretamente a construção de mecanismos operacionais de pagamento por resultados, contribuindo com a formulação de políticas estaduais mais eficazes no combate ao desmatamento e na valorização dos ativos ambientais locais. Ao mesmo tempo, a metodologia serve como referência replicável para outras jurisdições subnacionais com características fundiárias semelhantes.

5.3 Resultados da contribuição por segmento social baseada na abordagem estoque-fluxo para o estado do Tocantins no ano de 2021

A metodologia proposta para a repartição de benefícios no âmbito do REDD+ jurisdicional foi aplicada ao território do estado do Tocantins, utilizando como base os critérios da abordagem estoque-fluxo. Essa abordagem combina a avaliação do desempenho histórico de conservação da

vegetação nativa (estoque) com a análise da redução recente do desmatamento (fluxo), permitindo uma visão integrada do esforço socioambiental por parte de distintos segmentos fundiários. Os resultados revelam padrões diferenciados de contribuição por categoria, tanto na dimensão física quanto na climática, considerando os dados atualizados para o ano de 2021.

No que se refere ao Critério I (estoque), os dados geoespaciais derivados do MapBiomias (Coleção 7) indicam que aproximadamente 19,2 milhões de hectares de vegetação nativa permaneciam preservados no estado, abrangendo distintas categorias fundiárias. Conforme apresentado pela tabela 4, as áreas privadas destacaram-se com a maior contribuição absoluta, totalizando cerca de 9,2 milhões de hectares, o que representa 47,9% da vegetação remanescente. Este resultado reflete o amplo domínio territorial privado no Tocantins, tornando esse segmento um agente central na estratégia de manutenção dos estoques de carbono. Em seguida, figuram as áreas não destinadas (17,7%), as terras indígenas (10,2%), as unidades de conservação (9,4%) e as áreas públicas não protegidas (3,9%). Já os assentamentos rurais e os territórios quilombolas apresentaram menor expressão em termos de área absoluta, mas seguem reconhecidos por sua importância social e ambiental, sendo considerados prioritários conforme as salvaguardas de Cancún.

No tocante ao Critério II (fluxo), tabela 5, foram analisadas as médias anuais de desmatamento entre os períodos de 2011–2015 (referência) e 2016–2020 (creditação), com dados do PRODES/INPE para os biomas Cerrado e Amazônia. A redução média total do desmatamento no estado foi de aproximadamente 148,7 mil hectares entre os períodos, sendo os principais responsáveis por essa diminuição as áreas privadas, com cerca de 76,8 mil hectares (51,6%), seguidas das áreas não destinadas (20,9%), unidades de conservação (13%) e áreas públicas (9,6%). Algumas categorias apresentaram desempenho negativo, como os territórios quilombolas, indicando aumento nas taxas de desmatamento no período analisado.

A combinação dos dois critérios, com pesos iguais de 50% para estoque e 50% para fluxo, resultou em uma matriz de contribuição relativa ponderada, na qual as áreas privadas mantêm a maior participação agregada (21,7%), seguidas por áreas não destinadas (9,5%), unidades de conservação (9,4%) e áreas públicas (3,7%). Os territórios indígenas aparecem com 3,3% do total ponderado, enquanto os assentamentos e quilombolas totalizam conjuntamente pouco mais de 2%.

Para mensurar o impacto climático das reduções de desmatamento, foram utilizados os mapas de carbono elaborados nas 2ª, 3ª e 4ª Comunicações Nacionais (CN). Os mapas da 2CN e

3CN consideram os biomas Amazônia e Cerrado de forma separada, enquanto o mapa da 4CN consolida ambos os biomas em uma única matriz de carbono, com atualização metodológica baseada em novas interpretações das fitofisionomias vegetais. Essa mudança metodológica alterou significativamente as estimativas de redução de emissões.

Com base na 2CN e 3CN, a redução total estimada foi de aproximadamente 114,2 milhões de toneladas de CO₂ equivalente (tCO₂eq). As maiores contribuições foram das áreas privadas (39,7%), áreas não destinadas (20,7%) e unidades de conservação (13,4%). Já segundo a 4CN, os resultados revisados indicam um volume ainda superior, totalizando 116,7 milhões tCO₂eq, com redistribuição das contribuições devido à nova ponderação das fitofisionomias. Apesar da mudança, os setores com maior estoque e melhor desempenho no controle do desmatamento continuam sendo os principais responsáveis pelas emissões evitadas.

Esses resultados demonstram a relevância da abordagem estoque-fluxo como instrumento técnico de reconhecimento de esforços diferenciados no contexto da conservação florestal. Ao mesmo tempo, evidenciam a importância da atualização metodológica na contabilidade climática, especialmente quanto às bases de dados utilizadas para os cálculos de emissões evitadas. A heterogeneidade entre os segmentos fundiários reforça a necessidade de critérios transparentes, equitativos e tecnicamente robustos para orientar a repartição de benefícios no âmbito de programas jurisdicionais de REDD+.

Tabela 6. Resultados critério I.

Critério I			
Categoria	Área de Vegetação Nativa (hectares)	Percentual	Critério I
Áreas Não Destinadas	3.381.578,22	18%	4%
TI	2.521.532,79	13%	3%
Quilombolas	112.185,59	1%	0%
Assentamentos	637.452,78	3%	1%
Unidades	4.757.413,76	25%	6%
Áreas Públicas	986.189,84	5%	1%
Áreas Privadas	6.750.255,04	35%	9%
TOTAL	19.146.608,02	100%	25%

Fonte: Autor (2025).

Tabela 7. Resultados critério II.

Critério II			
Categorias	Reduções (hectares)	Percentual	Critério II
Áreas Não Destinadas	16.790,21	23%	6%
TI	597,97	1%	0%
Quilombolas	-377,35	-1%	0%
Assentamentos	1.945,41	3%	1%
Unidades	7.191,27	10%	2%
Áreas Públicas	6.807,42	9%	2%
Áreas Privadas	41.100,90	55%	14%
TOTAL	74.055,83	100%	25%

Fonte: Autor (2025).

As tabelas 6 e 7, evidenciam as contribuições dos segmentos para cada critério da abordagem estoque-fluxo, sendo que na tabela 6 temos as áreas de vegetação nativa total, seguidas pelos seus respectivos percentuais de contribuição (coluna 3) e depois pela contribuição real após a divisão dos recursos obtidos, primeiramente com o Estado na divisão inicial sugerida de 50:50, e depois na divisão dos critérios estoque e fluxo (50:50), e por isso representadas pelo total de 25%.

Já a tabela 7 utiliza da mesma lógica apresentada no parágrafo anterior, porém para o critério de redução dos desmatamentos. A tabela 8 que segue, faz unificação dos critérios e seus respectivos percentuais para ambos os critérios, conforme se observa.

Tabela 8. Resultados percentuais do cruzamento dos critérios I e II.

Categorias	Critério I	Critério II	Critério I + Critério II
Áreas Não Destinadas	4%	6%	10%
TI	3%	0%	3%
Quilombolas	0%	0%	0%
Assentamentos	1%	1%	1%
Unidades	6%	2%	9%
Áreas Públicas	1%	2%	4%
Áreas Privadas	9%	14%	23%
TOTAL	25%	25%	50%

Fonte: Autor (2025).

Esses resultados demonstram a relevância da abordagem estoque-fluxo como instrumento técnico de reconhecimento de esforços diferenciados no contexto da conservação florestal. Ao mesmo tempo, evidenciam a importância da atualização metodológica na contabilidade climática, especialmente quanto às bases de dados utilizadas para os cálculos de emissões evitadas. A heterogeneidade entre os segmentos fundiários reforça a necessidade de critérios transparentes, equitativos e tecnicamente robustos para orientar a repartição de benefícios no âmbito de programas jurisdicionais de REDD+.

Tabela 9. Contribuição de reduções em toneladas de CO_{2eq} por segmento conforme mapas de carbono 2CN e 3CN.

Reduções de emissões segundo 2CN e 3CN		
Categorias	Reduções (tCO _{2eq})	Percentual
Áreas Não Destinadas	12.772.009,23	22%
TI	505.307,63	1%
Quilombolas	-290.911,86	0%
Assentamentos	1.386.515,21	2%
Unidades	6.892.454,23	12%
Áreas Públicas	5.475.230,78	9%
Áreas Privadas	31.590.392,19	54%
TOTAL	58.330.997,42	100%

Fonte: Autor (2025).

Tabela 10. Contribuição de reduções em toneladas de CO_{2eq} por segmento conforme mapa de carbono 4CN.

Reduções de emissões segundo 4CN		
Categorias	Reduções (tCO _{2eq})	Percentual
Áreas Não Destinadas	13.619.542,97	23%
TI	613.864,00	1%
Quilombolas	-216.861,78	0%
Assentamentos	1.886.543,04	3%
Unidades	7.422.044,78	12%
Áreas Públicas	4.854.638,32	8%
Áreas Privadas	31.960.904,60	53%

Reduções de emissões segundo 4CN		
TOTAL	60.140.675,94	100%

Fonte: Autor (2025).

O cruzamento dos resultados dos critérios de estoque-fluxo, com suas respectivas áreas de pertencimento (propriedade) após a aplicação do regramento de desempate sobre domínio de cada feição poligonal junto aos mapas de carbono permitiu quantificar e mensurar as reduções em tCO_{2eq} para cada segmento e conforme cada mapa de carbono da jurisdição tocaninense. Os valores obtidos foram apresentados nas tabelas 9 e 10, apresentadas anteriormente.

As tabelas mencionadas evidenciam que independentemente do mapa da comunicação nacional, o segmento de maior possibilidade para geração de créditos jurisdicionais está associado ao setor privado, sendo sua contribuição superior a 50% em ambos os cenários.

Também é evidenciado pelas tabelas 9 e 10 que as áreas não destinadas, também representam uma enorme possibilidade de geração de créditos jurisdicionais. Essas áreas são aquelas nas quais não há informação concreta e oficial sobre o domínio, porém em consultas ao Sistema de Informação Geográfica de Cadastros Ambiental Rural, plataforma SigCAR do estado do Tocantins, a maior parte dessas áreas encontra-se cadastradas como áreas particulares,

Baseado nas observações dos parágrafos anteriores é conclusivo que quanto maior a área de ocupação territorial de um determinado segmento social, maior é sua participação na geração de créditos para o Estado. Com isso, essas áreas podem e/ou devem se tornar estratégicas no monitoramento e fiscalização para diminuição do desmatamento ilegal, reduzindo ainda mais os índices de desmatamento e degradação ambiental, consequentemente mantendo e aumentando áreas de vegetação nativa e gerando assim mais créditos jurisdicionais no futuro.

Outro fator relevante foi o resultado das comunidades quilombolas, nos quais os valores negativos apresentados pelas tabelas 9 e 10, indicam que as comunidades já reconhecidas não conseguiram reduzir as emissões, não gerando créditos, e com isso, contribuíram de forma negativa à obtenção de créditos jurisdicionais ao Estado.

6 CONCLUSÃO

A presente dissertação propôs uma metodologia que se mostra aplicável para a repartição de benefícios em programas jurisdicionais de REDD+, tomando como base empírica o estado do Tocantins no ano de 2021. Partindo da compreensão de que a repartição equitativa de recursos climáticos requer mais do que fórmulas matemáticas ou critérios legais isolados, buscou-se integrar, por meio de uma abordagem técnica e sistêmica, os múltiplos fatores que influenciam tanto a conservação florestal quanto a justiça distributiva.

A metodologia desenvolvida ancorou-se no princípio do equilíbrio entre reconhecimento histórico e desempenho atual, estruturando-se na lógica estoque-fluxo, com ponderações equivalentes entre a manutenção de vegetação nativa e a efetiva redução do desmatamento. O uso de ferramentas de geoprocessamento, modelagem em linguagem Python e análises multicritério possibilitou a construção de uma base técnica transparente, reproduzível e ajustável a diferentes contextos territoriais e institucionais.

Ao incorporar variáveis fundiárias, dados de emissões evitadas, delimitações sociais e políticas públicas em vigor, a proposta revelou não apenas o volume de contribuição de cada segmento social ao resultado climático, mas também sinalizou caminhos para um modelo de governança mais justo, participativo e alinhado aos compromissos nacionais e internacionais de mitigação das mudanças climáticas. Evidenciou-se, por exemplo, o papel expressivo das áreas privadas na conservação, bem como a relevância de reconhecer e valorizar a contribuição de territórios indígenas, quilombolas e unidades de conservação como espaços estratégicos para o alcance das metas climáticas.

A proposta metodológica apresentada não pretende esgotar o tema, mas sim oferecer um instrumento técnico de suporte à tomada de decisão. Ao privilegiar uma lógica de repartição ancorada em dados objetivos e em premissas de justiça socioambiental, este trabalho contribui com o fortalecimento da governança climática em escala subnacional, ao mesmo tempo em que dialoga com diretrizes como as Salvaguardas de Cancún, a Estratégia Nacional de REDD+ (ENREDD+) e os princípios do Acordo de Paris.

Por fim, entende-se que a implementação efetiva de metodologias como a aqui proposta depende do fortalecimento institucional, da ampliação da transparência nos sistemas de informação territorial e da valorização dos saberes locais. É nesse encontro entre técnica, política e território

que se constrói a base necessária para uma transição justa, capaz de reconciliar conservação ambiental e equidade social em tempos de crise climática.

REFERÊNCIAS

- 1/CP.16 - The Cancun Agreements: Outcome of the work of the Ad Hoc Working Group on Long-term Cooperative Action under the Convention, Conference of the Parties (COP), 2010.
- ABRAMOVAY, R. Paradigmas do Capitalismo Agrário em Questão. São Paulo. ANPOCS, UNICAMP, HUCITEC, 1992. “Uma Nova Extensão para a Agricultura Familiar”. in: Seminário Nacional de Assistência Técnica e Extensão Rural. Brasília, DF, Anais. 1997, p. 29.
- AGUIAR, A. P. D., Lapola, D. M., & Schaldach, R. (2020). Modeling the spatial and temporal dynamics of REDD+ policies in the Brazilian Amazon. *Environmental Modelling & Software*, 135, 104888. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2020.104888>
- ALENCAR, A.; NEPSTAD, N; MCGRATH, D; MOUTINHO, P; PACHECO, P; DIAZ, M. D. C. V e FILHO, B. S. Desmatamento na Amazônia: indo além da emergência crônica. Manaus, Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (Ipam), 2004, 89 p.
- ANGELSEN, A., BROCKHAUS, M., SUNDERLIN, W. D., & VERCHOT, L. V. (Eds.). (2012). *Analysing REDD+: Challenges and choices*.
- ARRAJ, A.; Bohatier, J.; Laveran, H.; Traore, O. Comparison of bacteriophage and enteric virus removal in pilot scale activated sludge plants. *Journal of Applied Microbiology*. v.98, p.516-524, 2005.
- BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. (2024). *Fundo Amazônia*. Disponível em: <https://www.amazonfund.gov.br>
- BRAGA, J. L.; Silva, C. A. B.; Wiazowski, B. A.; Avellar, S. O. C. Modelagem com dinâmica de sistemas. In: SANTOS, M. L.; VIEIRA, W. (Eds.). Métodos Quantitativos em Economia. Viçosa, MG: UFV, 2004. p.411-434.
- BROCKHAUS, M., Di Gregorio, M., & Wertz-Kanounnikoff, S. (2012). *A política de REDD+ na mídia: um estudo comparativo global*.
- BUENO, A. S., Ribeiro, R. M., & Oliveira, A. F. (2022). Serviços ecossistêmicos e sustentabilidade em territórios do Cerrado. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, 57(2), 45–58.
- CARAMINAN, L. M., & Silva, J. P. (2024). Métodos de valoração dos serviços ecossistêmicos: aplicações no território brasileiro. *Caderno Prudentino de Geografia*, 46(3), 101–126.
- Center for International Forestry Research (CIFOR). (2011). *REDD+ Stakeholder Assessment*. UN-REDD Programme.

- CIFOR – Center for International Forestry Research. (2011). *REDD+ Safeguards: Review of literature and key lessons learned*. Bogor, Indonésia.
- Climate Focus. (2014). *Safeguards in REDD+ and Forest Carbon Standards: A review of social, environmental and procedural concepts and application*. Amsterdam.
- COLLINS, M. G., Steiner, F. R., & Rushman, M. J. (2001). Land-Use Suitability Analysis in the United States: Historical Development and Promising Technological Achievements. *Environmental Management*, 611-621.
- CPT. COMISSÃO PASTORAL DA TERRA. Conflitos por terra no Brasil. Disponível em: <https://www.cptnacional.org.br/index.php/component/jdownloads/category/3-cadernoconflitos?Itemid=-1>.
- CUNHA, A. M. da, et al. (2015). Análise da influência das variáveis ambientais no planejamento territorial. *Revista Geociências*, 34(3), 447–456.
- ERVIN, S. A system for GeoDesign. *Proc. Digit. Landsc. Archit.* 2012, 25, 145–154.
- ESRI. (2014). Understanding Weighted Overlay. *ArcUser*. Acessado em 03/06/2025 no endereço eletrônico: <https://www.esri.com/about/newsroom/arcuser/understanding-weighted-overlay>
- FEARNSIDE, P. M. A floresta Amazônia nas mudanças globais. Manaus, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (Inpa), 2003, 134 p.
- FORRESTER J.W. *Industrial Dynamics*. MIT Press: Cambridge, MA, 1961.
- FORRESTER J.W. *Principles of Systems*. MIT Press: Cambridge, MA, 1968.
- FRANCO, D., et al. (2010). Análise multicritério para avaliação da fragilidade ambiental. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 3(5), 123–135.
- GOVERNO DO TOCANTINS. (2023). *Lei nº 4.111, de 5 de janeiro de 2023*. Institui a Política Estadual de Pagamento por Serviços Ambientais (PEPSA).
- GOVERNO DO TOCANTINS. (2023). *Lei nº 4.131, de 5 de janeiro de 2023*. Institui o Fundo Clima do Estado do Tocantins - FunClima.
- IMAZON. Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia. Leis e práticas de regularização fundiária no Estado do Tocantins / Jeferson Almeida; Roberta Amaral de Andrade; Brenda Brito; Pedro Gomes. – Belém, PA: Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia, 2021.
- IPCC. *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. In Press. 2021.

- IPEA. (2025). *Governança Ambiental no Brasil: Desafios e Perspectivas*. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada.
- KAZAK, J.K.; Garcia Castro, D.; Swiader, M.; Szewrański, S. Decision Support System in Public Transport Planning for Promoting Urban Adaptation to Climate Change. *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.* 2019, 471, 112007.
- LANE, D. C. The emergence of use of diagramming in system dynamics: A critical account. *Systems Research and Behavioral Science*. 25: 3-23, 2008.
- LAURANCE, W. L.; Albernaz, A. K. M.; Fearnside, P. M.; Vasconcelos, H; Ferreira, L. V. “Deforestation in Amazonia”. *Science* 304, 2004, pp. 1109- 1111.
- LEI Nº 11.326 DE 24 DE JULHO DE 2006. regulamenta os art. 1, art.2 e art.3 da lei, que estabelece as diretrizes para a formulação da Política Nacional da Agricultura Familiar e Empreendimentos Familiares Rurais.
- LIMA, R. B., Carvalho, A. M., & Vieira, C. M. (2021). A valoração ambiental como instrumento de decisão pública no Brasil. *Revista Desenvolvimento e Meio Ambiente*, 56, 61–82.
- LIU, Z.; He, C.; Yang, Y.; Fang, Z. Planning sustainable urban landscape under the stress of climate change in the drylands of northern China: A scenario analysis based on LUSD-urban model. *J. Clean. Prod.* 2019, 244, 118709.
- LUTTRELL, C., Loft, L., Gebara, M. F., & Kweka, D. (2013). Who should benefit from REDD+? Rationales and realities. *Ecology and Society*, 18(4): 52. <https://doi.org/10.5751/ES-05834-180452>
- MADACHY, R. Software Process Dynamics. Wiley/IEEE Computer Society Press, 2007. 591 p.
- MARUYAMA, Ú., Trigo, A. M. G., & Trigo, J. A. (2022). Governança ambiental: transparência e efetividade de práticas sustentáveis em IES. *Liinc em Revista*, 18(1), e5922.
- MCHARG, I. L. (1995). *Design with Nature*. New York: J. Wiley. (Reprinted from *Design with Nature*, 1969, Garden City, New York: Natural History Press).
- MILLER, W. R. (2012). *Introducing Geodesign: The Concept*. Esri Press.
- MIRANDA, F.; Franco, A.B.; Rezende, O.; da Costa, B.B.F.; Najjar, M.; Haddad, A.N.; Miguez, M. A GIS-Based Index of Physical Susceptibility to Flooding as a Tool for Flood Risk Management. *Land* 2023, 12, 1408. <https://doi.org/10.3390/land12071408>.
- MMA – Ministério do Meio Ambiente. (2015). *Estratégia Nacional para REDD+ (ENREDD+)*. Brasília: MMA.

- MMA – Ministério do Meio Ambiente. (2023). *Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm)*. Brasília: MMA.
- MOURA, A. C. M., Morais, C. F., & Mello, T. (2022). Geodesign and Sustainable Development Goals in the environmental parameterization of the Iron Quadrangle region, Brazil: an academic experience. *International Journal of Building Pathology and Adaptation*, 40(1), 28–42. <https://doi.org/10.1108/IJBPA-03-2021-0038>
- NETO, Afonso Feitosa Reis; DE ARAÚJO, Maria do Socorro Bezerra; SAMPAIO, Everardo Valadares de Sá Barreto. Salvaguardas da Redd: proteção para as comunidades da Caatinga em Pernambuco, Brasil. *Sustainability in Debate*, v. 10, n. 1, p. 105-115, 2019.
- Observatório do Clima. (2023). *Análise das emissões de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas climáticas do Brasil / 1970-2021*. Disponível em: [SEEG 10 anos](#)
- Paris Agreement - Parties to the United Nations Framework Convention on Climate Change, hereinafter referred to as “the Convention”, Pursuant to the Durban Platform for Enhanced Action established by decision 1/CP.17 of the Conference of the Parties to the Convention.
- PEREIRA, J. M., & Loyola, R. D. (2023). Economia ambiental e conservação no Brasil: avanços e desafios. *Ecologia e Política Pública*, 10(1), 87–109.
- PEREIRA, L. F.; OLIVEIRA, M. T.; ALMEIDA, R. S. Estratégias subnacionais para repartição de benefícios no contexto do REDD+: análise comparada de Mato Grosso e Acre. *Revista Brasileira de Política Ambiental*, v. 14, n. 2, p. 35–56, 2022.
- PETTIT, C.J.; Hawken, S.; Ticzon, C.; Leao, S.Z.; Afrooz, A.E.; Lieske, S.N.; Canfield, T.; Ballal, H.; Steinitz, C. Breaking down the silos through geodesign—Envisioning Sydney’s urban future. *Environ. Plan. B Urban Anal. City Sci.* 2019, 46, 1387–1404.
- PHAM, T. T., BROCKHAUS, M., WONG, G. Y., & ASSEMBE-MVONDO, S. (2013). Approaches to benefit sharing: A preliminary comparative analysis of 13 REDD+ countries. Bogor, Indonésia.
- RICHARDSON G, Problems with causal-loop diagrams. *System Dynamics Digest*, 1986.
- Quarta Comunicação Nacional do Brasil, Resultados do Inventário Nacional de Emissões de Gases de Efeito Estufa por Unidade Federativa, do Ministério de Ciências, Tecnologia e Inovações (MCTI), 2021.

- RODRIGUES, P. C. M. (2024). Transparência e Eficiência na Gestão Ambiental: Impactos da Transferência de Dados do Cadastro Ambiental Rural entre Órgãos Federais com uma Abordagem Data-Driven e Data Mining. *Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA)*.
- SANTOS, A. M. DOS; MITJA, D. Agricultura familiar e desenvolvimento local: os desafios para a sustentabilidade econômico-ecológica na Comunidade de Palmares ii, Parauapebas, PA. 2016. doi: 10.1590/s1518-70122012000100004.
- SEEG Brasil – Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa. (2023). Disponível em: <https://seeg.eco.br/>
- SEMARH – Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Tocantins. (2022). *Plano Estadual de Prevenção e Controle do Desmatamento e das Queimadas (PEPCDQ)*. Palmas: SEMARH.
- SILVA, Anderson A. et al. Levantamento de Legislação Ambiental e Fundiária no Estado do Tocantins. 2021.
- SILVA, L. F. da. (2023). Análise da fragilidade ambiental na bacia hidrográfica do rio Araguari, Amapá. *Revista Equador*, 12(3), 97–117.
- SOARES-FILHO, B. S., Moutinho, P., Nepstad, D., Anderson, A., Rodrigues, H., Garcia, R., ... & Dietzsch, L. (2006). Modeling conservation in the Amazon basin. *Nature*, 440(7083), 520–523.
- SOUZA, G. C. P. (2022). Crescimento econômico, desmatamento e emissões de gases de efeito estufa: análises prospectivas para os biomas brasileiros numa perspectiva de sustentabilidade.
- STEINITZ, C. (2012). *A Framework for Geodesign: Changing Geography by Design*. Esri Press.
- STERMAN, J. D. (2000). *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. McGraw-Hill.
- TEEB. (2010). *The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Mainstreaming the Economics of Nature*. United Nations Environment Programme
- Transparência Internacional - Brasil. (2024). *Estudo revela falhas na transparência de dados sobre crimes ambientais no Brasil*. Acessado em 27/05/2025, disponível em: <https://transparenciainternacional.org.br/blog/meio-ambiente-e-clima/>
- TOMLIN, C. D. (1990). *Geographic Information Systems and Cartographic Modeling*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- TOMLINSON, R. F. (1999). *Geographic Information Systems*. New York: Wiley.

- TURNER, B. L., Lambin, E. F., & Reenberg, A. (2016). The emergence of land change science for global environmental change and sustainability. *PNAS*, 104(52), 20666–20671.
- UNFCCC. (1992). United Nations Framework Convention on Climate Change.
- UNFCCC. (2010). The Cancun Agreements: Outcome of the work of the Ad Hoc Working Group on Long-term Cooperative Action under the Convention.
- UNFCCC. (2011). Outcome of the work of the Ad Hoc Working Group on Long-term Cooperative Action under the Convention.
- UNFCCC. (2013). The Warsaw Framework for REDD-plus.
- UNITED NATIONS. (2015). Paris Agreement.
- VAN DER MERWE, J. H. (1997). GIS-aided land evaluation and decision-making for regulating urban expansion: A South African case study. *GeoJournal*, 135-151.