



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS

CENTRO DE TECNOLOGIA

ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

MARIANA LESSA PINHEIRO DE ALMEIDA

**RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS NA ÁREA DE PROTEÇÃO
AMBIENTAL DO PRATAGY NO MUNICÍPIO DE MACEIÓ, ALAGOAS, VISANDO
A COMPENSAÇÃO DAS EMISSÕES DE GEE**

Maceió

2024

MARIANA LESSA PINHEIRO DE ALMEIDA

**RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS NA ÁREA DE PROTEÇÃO
AMBIENTAL DO PRATAGY NO MUNICÍPIO DE MACEIÓ, ALAGOAS, VISANDO
A COMPENSAÇÃO DAS EMISSÕES DE GEE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao curso de Engenharia Ambiental e Sanitária,
do Centro de Tecnologia da Universidade
Federal de Alagoas, como requisito parcial para
obtenção do título de Bacharel em Engenharia
Ambiental e Sanitária.

Orientador: Prof. Dr^a. Karina Ribeiro Salomon

Coorientador: Prof. Dr. Ademir Abdala Prata
Junior

Maceió

2024

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico

Bibliotecária: Helena Cristina Pimentel do Vale – CRB4/661

- A447r Almeida, Mariana Lessa Pinheiro de.
Recuperação de áreas degradadas na Área de Proteção Ambiental do Pratagy no município de Maceió, Alagoas, visando a compensação das emissões de ge / Mariana Lessa Pinheiro de Almeida. - 2025.
56 f. : il.
- Orientadora: Karina Ribeiro Salomon.
Coorientador: Ademir Abdala Prata Junior.
Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Universidade Federal de Alagoas, Centro de Tecnologia. Maceió, 2024.
- Bibliografia: f. 5356.
1. Recuperação de áreas degradadas. 2. Emissão de carbono. 3. Gases de efeito estufa. 4. Descarbonização. 6. Área de Proteção Ambiental do Pratagy – Maceió (A L). I. Título.

CDU: 504.06(813.5)

Folha de Aprovação

AUTOR: MARIANA LESSA PINHEIRO DE ALMEIDA

Recuperação de Áreas Degradadas na Área de Proteção Ambiental do Pratagy no município de Maceió, Alagoas, visando a Compensação das Emissões de GEE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Prof. Dr^a. Karina Ribeiro Salomon - Universidade Federal de Alagoas (Orientadora)

Prof. Dr. Ademir Abdala Prata Junior - Universidade Federal de Alagoas
(Coorientador)

Banca Examinadora:

Christiano Cantarelli Rodrigues - Universidade Federal de Alagoas

Daniel Pinto Fernandes - Universidade Federal de Alagoas

Dedico este trabalho a você, meu avô, que sempre foi uma presença essencial em minha formação pessoal e profissional, sempre garantindo de que nunca me faltasse nada. Sem você eu não seria quem sou agora.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, quero expressar todo o amor e gratidão à minha família, que foram meu porto seguro, meu apoio incondicional e minha fonte constante de inspiração. À minha mãe, meu pai, minha irmã, meu irmão e meu namorado, obrigado por sempre me encorajarem a perseguir meus sonhos e por acreditarem em mim quando eu mesma duvidava. Seu investimento, paciência, compreensão e amor infinito foram fundamentais para o meu sucesso. Às minhas tias, tios, primos e familiares que, mesmo a dois mil quilômetros de distância, sempre contribuíram na minha jornada acadêmica. Aos meus avós, já não mais aqui presentes, agradeço pela formação familiar que me deram como base, criando pessoas fortes e de caráter extraordinário. Espero ter lhes dado orgulho.

À Paiziz, que me proporcionou a dádiva de ter como irmãozinhos João Paulo, João Pedro e Marcus Vinícius, e me ensinou o caminho da humildade para compreender tudo o que o universo me proporcionaria a partir do dia do meu batismo em diante.

Aos meus amigos de graduação, quero agradecer por estarem sempre presentes mesmo durante os momentos mais desafiadores da faculdade. Suas palavras de encorajamento, suas risadas contagiantes e seu apoio fizeram toda a diferença na minha formação. Vocês foram meu suporte emocional, meu escape das pressões de estudo e meus parceiros inestimáveis. Sou grata por cada memória compartilhada e pela amizade que construímos ao longo de todos esses anos.

Ao PET Ambiental e CAEAMB por me fazerem entender o que é estar verdadeiramente em um grupo discente e a entender que nenhum processo nessa vida é individual. Meu crescimento pessoal e acadêmico foi em grande parte graças a vocês.

À Nortan Engenharia, em especial Hugo, Pedro, Pietra e Abel, pela oportunidade enriquecedora de estágio que me proporcionaram. Cada desafio enfrentado, cada orientação recebida e cada conquista alcançada contribuíram significativamente para o meu crescimento profissional. Não poderia ter tido guias mais excepcionais do que os profissionais incríveis que vocês são. À minha amiga Laura, que compartilhou todos os momentos de estágio comigo desde o princípio da nossa entrada e me fez entender o valor de se ter uma amizade fortalecedora dentro do ambiente profissional, sem você o processo não poderia ter sido mais leve.

Ao Professor Dr. Diógenes Meneses, por ter me aberto a mais graciosa porta acadêmica e por me trazer de volta para minha família. Sem o senhor, o sonho da Universidade Federal não teria se tornado real, tampouco a grande oportunidade de ter sido sua orientanda PIBIC.

Aos meus inestimáveis orientadores, Karina Salomon e Ademir Abdala, quero expressar minha mais profunda gratidão em me apoiarem no desenvolvimento deste trabalho e pela paciência generosamente oferecida. Agradeço por terem dedicado seu tempo e sabedoria acreditando no meu potencial e incentivando meu crescimento acadêmico.

À Universidade Federal de Alagoas, por ter sido meu berço de formação e minha casa durante os últimos cinco longos anos de graduação. Mesmo em meio a uma grande pandemia e em tempos obscuros da educação brasileira, enfim, a Universidade Pública resiste.

“A vitalidade é demonstrada não apenas pela persistência, mas pela capacidade de começar de novo”. (F. Scott Fitzgerald).

RESUMO

As mudanças climáticas têm gerado crescente preocupação com as emissões de gases de efeito estufa (GEE), como CO₂, metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O), principalmente em países em desenvolvimento, onde o crescimento econômico é frequentemente associado ao aumento dessas emissões. Essa relação pode comprometer a sustentabilidade a longo prazo e agravar os impactos climáticos. O desmatamento e a queima de combustíveis fósseis aceleram o aquecimento global e causam a degradação de ecossistemas, prejudicando sua capacidade de sequestrar carbono. A restauração de florestas, como na Mata Atlântica, é uma estratégia essencial para mitigar as mudanças climáticas, já que as florestas restauradas podem capturar grandes quantidades de carbono. Este estudo propõe uma técnica de revegetação para áreas degradadas na Área de Proteção Ambiental (APA) do Pratagy, no município de Maceió, Alagoas, com o objetivo de avaliar o potencial de sequestro de CO₂ e compensar as emissões de GEE. A análise do uso do solo na APA do Pratagy, utilizando dados do MapBiomas, revelou que a área de 21.417,51 hectares é predominantemente composta por formação florestal (37,84%) e atividades agropecuárias, como cana-de-açúcar (26,14%) e pastagens (14,74%). Também foram identificadas áreas não vegetadas (0,17%), que poderiam ser restauradas para aumentar o sequestro de carbono. Para a revegetação de 21,4 hectares de área degradada, propôs-se o plantio de 53.500 mudas de 15 espécies nativas, contribuindo para a recuperação ecológica e o aumento da captura de carbono. A estimativa de carbono no solo da APA mostrou que a área armazena, em média, entre 40 e 50 toneladas de carbono por hectare, com algumas regiões apresentando maior potencial. As árvores de maior porte (DAP $\geq$ 10 cm) são as principais responsáveis pelo sequestro de carbono, com um total estimado de 98.054,21 toneladas de CO₂ para a área de revegetação. Além disso, foi realizada uma simulação para revegetação de áreas agrícolas da APA (6.853,69 hectares), estimando que seriam necessárias 17.134.225 mudas para restaurar essas áreas, com um potencial de sequestro de 31,35 milhões de toneladas de CO₂. Esses resultados destacam o potencial das áreas degradadas para a recuperação ecológica e para a mitigação das mudanças climáticas, ao mesmo tempo em que contribuem para a preservação da biodiversidade. Este estudo reforça a importância de estratégias de reflorestamento para combater a degradação ambiental, mitigando os impactos climáticos e promovendo a conservação da Mata Atlântica.

Palavras-chave: Recuperação de áreas degradadas; Emissão de Carbono; Ativos Ambientais; GEE; Descarbonização.

ABSTRACT

Climate change has raised growing concerns about greenhouse gas (GHG) emissions, such as CO₂, methane (CH₄), and nitrous oxide (N₂O), particularly in developing countries where economic growth is often linked to increased emissions. This relationship can jeopardize long-term sustainability and exacerbate climate impacts. Deforestation and fossil fuel combustion accelerate global warming and degrade ecosystems, undermining their carbon sequestration capacity. Forest restoration, especially in the Atlantic Forest, is a critical strategy to mitigate climate change by capturing significant amounts of carbon. This study proposes a revegetation technique for degraded areas in the Pratygy Environmental Protection Area (APA) in Maceió, Alagoas, with the goal of evaluating CO₂ sequestration potential and compensating for GHG emissions. Land use analysis of the APA, based on MapBiomas data, revealed that the 21,417.51-hectare area is primarily composed of forest formation (37.84%) and agricultural activities, such as sugarcane (26.14%) and pasture (14.74%), with small areas of non-vegetated land (0.17%) suitable for restoration. A revegetation proposal for 21.4 hectares involved planting 53,500 native trees of 15 species to enhance ecological recovery and carbon capture. Carbon estimation in the soil indicated an average of 40–50 tons of carbon per hectare, with some regions having higher potential. Larger trees (DBH $\geq$ 10 cm) were found to be the primary contributors to carbon sequestration, with an estimated 98,054.21 tons of CO₂ captured in the revegetation area. Additionally, a simulation for restoring agricultural areas (6,853.69 hectares) in the APA suggested the need for 17,134,225 trees, with a potential sequestration of 31.35 million tons of CO₂. These findings highlight the potential of degraded areas for ecological recovery and climate change mitigation while contributing to biodiversity preservation. This study underscores the importance of reforestation strategies in combating environmental degradation, mitigating climate impacts, and promoting the conservation of the Atlantic Forest.

Keywords: Degraded Land Restoration; Carbon Emissions; Environmental assets; GHG, Decarbonization.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Aumento do desmatamento por UF	21
Figura 2 - Mapa de delimitação da APA do Pratagy	30
Figura 3 - Fluxograma da metodologia adotada	31
Figura 4 - Uso e cobertura da APA do Pratagy	37
Figura 5 - Mapa de áreas não vegetadas	39
Figura 6 - Mapa de desmatamento anual na APA do Pratagy	40
Figura 7 - Mapa de quantificação do carbono no solo da APA do Pratagy	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores de DAP e Ht para cada espécie	43
Tabela 2 – Volume em m ³ obtido por espécie	46
Tabela 3 - Valor obtido para a Biomassa e Carbono aéreo e de raízes por espécie.....	48
Tabela 4 - Total geral da dinâmica dos estoques de biomassa e carbono.....	49
Tabela 5 - Total geral da dinâmica dos estoques de biomassa e carbono para a área agrícola	51

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Bases de dados geoespaciais.....	32
Quadro 2 - Equações padrões do programa JCarbon para florestas nativas.....	35
Quadro 3 - Uso e cobertura do solo na APA do Pratagy.....	38
Quadro 4 - Espécies catalogadas presentes no IFN.....	41

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APA	Área de Proteção Ambiental
ARIE	Área de Relevante Interesse Ecológico
CCS	Captura e Armazenamento de Carbono
DAP	Diâmetro à Altura do Peito
FAO	Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação
FLONA	Floresta Nacional
GEE	Gases de Efeito Estufa
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
ICMBio	Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IUCN	União Internacional para a Conservação da Natureza
PRAD	Projetos de Recuperação de Áreas Degradadas
REFAU	Reserva de Fauna
RESEX	Reserva Extrativista
RDS	Reserva de Desenvolvimento Sustentável
RPPN	Reserva Particular do Patrimônio Natural
SNUC	Sistema Nacional de Unidades de Conservação
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	OBJETIVOS.....	18
2.1	Objetivo Geral.....	18
2.2	Objetivos Específicos	18
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	19
3.1	Unidades de Conservação	19
3.2	Áreas Degradadas	20
3.3	Carbono.....	22
3.4	Diferença entre estimativa e determinação de dados amostrais.....	24
3.5	Sequestro de Carbono em Áreas Degradadas	25
3.5.1	Compensação de GEE como Estratégia Sustentável.....	26
3.6	Aspectos Legais	27
4	Área de estudo.....	29
5	MÉTODOS.....	31
5.1	Metodologia	31
5.1.1	Análise do Uso e Cobertura do Solo na APA do Pratagy	32
5.1.2	Identificação de áreas degradadas para a proposição de revegetação	33
5.1.3	Levantamento de espécies florísticas	33
5.1.4	Levantamento de dados de carbono orgânico no solo.....	33
5.1.5	Estimativa de Carbono com Equações Padrão do Software JCarbon	34
5.1.6	Levantamento do Potencial de Sequestro de CO ₂ na APA do Pratagy	36
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES	37
6.1	Análise do Uso e Cobertura do Solo na APA do Pratagy.....	37
6.2	Identificação de áreas degradadas para a proposição de revegetação.....	39
6.3	Levantamento de espécies florísticas.....	41

6.4	Proposta de revegetação.....	43
6.5	Levantamento de dados de carbono orgânico no solo	44
6.6	Estimativa de Carbono com Equações Padrão do Software JCarbon.....	45
6.7	Levantamento do Potencial de Sequestro de CO ₂ na APA do Pratagy.....	49
6.8	Simulação de Revegetação em Áreas Agrícolas Intensivas	50
7	CONCLUSÃO	52
	REFERÊNCIAS:	53

1 INTRODUÇÃO

De acordo com Lima (2023), a perda de cobertura arbórea (PCA) causada pelo desmatamento e pela mudança no uso do solo está diretamente ligada ao aumento das emissões de gases de efeito estufa (GEE) de origem antrópica no Brasil, como discutido por Alves e Diniz (2022) e Costa (2017). As mudanças climáticas têm provocado efeitos adversos significativos, tanto na estrutura ambiental quanto na economia global. Em algumas regiões das Américas, esses impactos sobre a biodiversidade e os serviços e funções dos ecossistemas estão ameaçando os sistemas produtivos, os meios de subsistência e a qualidade de vida das populações locais, conforme destacado pelo IPBES (2018). Além disso, Zakarya et al. (2015) observam uma relação significativa entre as emissões de GEE e os fatores que impulsionam o crescimento econômico em países subdesenvolvidos, sugerindo que o atual modelo de crescimento econômico nesses países pode estar exacerbando os impactos ambientais globais. Dessa forma, reforça-se a necessidade de ações que mitiguem as emissões de GEE e promovam a sustentabilidade ambiental.

A aceleração do aquecimento global, impulsionada principalmente pela mudança no uso do solo e pela queima de combustíveis fósseis, tem gerado perturbações climáticas e ecológicas em escala global, conforme apontado pelo IPCC (2001; 2007). Nesse contexto, a fixação de carbono pelas florestas nativas surge como um dos benefícios mais significativos das áreas restauradas, especialmente em programas de reflorestamento, como na Mata Atlântica. Estudos de Melo e Durigan (2006), Montagnini e Porras (1998), e Silver et al. (2000), conforme citados por Ferez (2010), destacam o potencial dessas áreas restauradas em sequestrar carbono, uma estratégia que pode ser monitorada e valorizada em esforços de mitigação climática. Bellotto et al. (2009), também citado por Ferez (2010), reforça essa perspectiva, sublinhando a importância desses programas. Entretanto, o desmatamento de florestas tropicais e a subsequente degradação do solo em várias regiões do planeta representam desafios críticos e urgentes. Esse fenômeno, com impactos econômicos e ecológicos profundos, possui múltiplas causas e ocorre em diversas escalas — local, regional, nacional e global. As consequências incluem a perda de biodiversidade, a diminuição da fertilidade do solo, a interferência nos recursos hídricos e a drástica alteração da paisagem.

Áreas degradadas, ao contrário das florestas perturbadas que ainda possuem alguma capacidade de regeneração, perderam essa capacidade natural e exigem intervenções humanas, como a revegetação. A revegetação dessas áreas é amplamente recomendada para restaurar as

características químicas, físicas e biológicas do solo, alcançando um nível mínimo que permita o desenvolvimento de espécies vegetais e a atividade microbiana essencial para o estabelecimento e sucessão da microbiota, contribuindo assim para a recuperação ambiental. Tavares (2008) destaca que a degradação do solo compromete sua funcionalidade e equilíbrio ecológico, agravando-se ainda mais pelo lento processo natural de resiliência de certas propriedades do solo. Isso torna as intervenções humanas ainda mais críticas.

Adicionalmente, Melo e Durigan (2006), conforme citado por Ferez (2010), apontam para a crescente demanda por estudos de restauração florestal, com foco na quantificação do carbono fixado por diferentes modelos de plantio em diversas condições ambientais. Esses estudos buscam avaliar a eficácia das estratégias de restauração na redução dos níveis de CO₂ atmosférico, destacando a importância dessa abordagem para a mitigação das mudanças climáticas. No caso específico de Maceió, o contínuo crescimento urbano e industrial pode apontar para um aumento nas emissões de GEE e na degradação de áreas naturais. Este estudo, portanto, prioriza a proposição de ações de revegetação nessas áreas, avaliando seu potencial para absorver as emissões de CO₂ e restaurar a capacidade biológica e ecossistêmica plena desses ecossistemas.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O objetivo principal deste trabalho é propor uma técnica de revegetação para áreas degradadas na Área de Proteção Ambiental (APA) do Pratagy, localizada no município de Maceió, Alagoas, e avaliar o potencial de sequestro de CO₂ equivalente, com o intuito de compensar as emissões de gases de efeito estufa (GEE).

2.2 Objetivos Específicos

- Mapear a degradação do solo na APA do Pratagy, em Maceió;
- Identificar áreas degradadas para a proposição de revegetação;
- Levantamento de espécies florísticas para revegetação e restauração ecológica;
- Propor medidas de revegetação para as áreas degradadas identificadas;
- Levantamento de dados de carbono orgânico no solo;
- Estimar o potencial de CO₂ sequestrado na APA do Pratagy.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Unidades de Conservação

Esteves (2014) afirma que no Brasil, as áreas protegidas são regulamentadas por importantes legislações federais, como por exemplo a Lei nº 12.651/2012, conhecida como o novo Código Florestal, que trata da proteção da vegetação nativa, incluindo as Áreas de Preservação Permanente (APP) e as Reservas Legais. Além disso, Esteves (2014) acrescenta que a Lei nº 9.985/2000 institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), que estabelece critérios e normas para a criação, implementação e gestão das Unidades de Conservação (UCs), classificando-as em dois grupos principais: unidades de proteção integral e unidades de uso sustentável.

As unidades que buscam equilibrar o uso dos recursos naturais com a conservação ambiental são as unidades de uso sustentável. Estas incluem as seguintes categorias: Área de Proteção Ambiental (APA), Área de Relevante Interesse Ecológico (ARIE), Floresta Nacional (FLONA), Reserva Extrativista (RESEX), Reserva de Fauna (REFAU), Reserva de Desenvolvimento Sustentável (RDS) e Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN), sendo esta última a única de natureza privada (BRASIL, 2000).

Conforme citado por Esteves (2014), Phillips (2002) comenta que as Áreas de Proteção Ambiental (APAs) fazem parte das unidades de conservação (UCs) de uso sustentável e estão classificadas como categoria V pela IUCN, uma categoria que sofre maior modificação das condições naturais, especialmente devido à sua ampla extensão em propriedades privadas. Neste contexto, as APAs merecem especial atenção devido ao alto grau de interferência por meio das atividades antrópicas nos recursos naturais, pois o que as difere das áreas não protegidas são o estabelecimento do plano de manejo e a gestão da área. Portanto, as APAs sem gestão e sem plano de manejo dificilmente cumprirão com a função de uma UC. (ESTEVES, 2014)

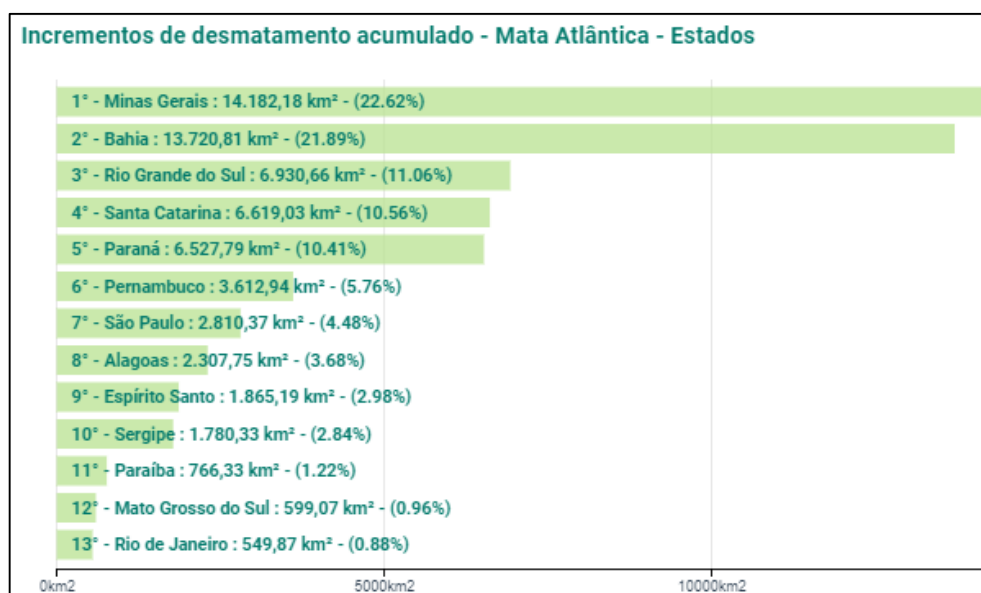
3.2 Áreas Degradadas

Existem diversas descrições para áreas degradadas. No contexto deste trabalho, considera-se como área degradada aquela que, devido à ação humana, manifesta mudanças significativas. Segundo o IBAMA (2011), uma área degradada é aquela que não pode retornar a um ecossistema semelhante ao estado original ou a um estado esperado. Alterações nas características físicas, químicas ou biológicas de um ecossistema podem impactar, de forma temporária ou permanente, a composição, estrutura e funcionamento do ecossistema natural ao qual pertence.

Wadt (2003) aponta que a transformação dos ecossistemas naturais pela ação humana resulta na formação de "áreas alteradas", cuja capacidade de produção pode ser aumentada, preservada ou reduzida em comparação com o sistema original. Assim, a modificação de uma área não implica necessariamente em sua degradação. No entanto, se essa modificação ocorre juntamente com processos que diminuem a capacidade produtiva do sistema, então as áreas são consideradas degradadas. Embora o processo de degradação das terras esteja frequentemente associado à degradação do solo, outros fatores, como práticas inadequadas de manejo, também contribuem para esse fenômeno. Kronhardt (2018) observa que áreas degradadas causam vários prejuízos que afetam a saúde e a qualidade de vida da população, como o assoreamento de rios, poluição da água e redução da fauna e flora local.

Almeida (2016) afirma que a presença de áreas degradadas é um problema global, causado por diversos fatores, incluindo práticas inadequadas na agricultura, exploração mineral e uso descontrolado do fogo. Araújo et al. (2008) destacam que a degradação ambiental frequentemente começa com o desmatamento e a substituição da vegetação nativa por espécies cultivadas, com porte e ciclos de vida distintos. Oldeman (1992) ressalta que áreas degradadas estão diretamente ligadas ao uso do solo em âmbito regional e às repercussões das atividades locais, especialmente a expansão descontrolada e não planejada das zonas urbanas e a produção agrícola. O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) apresentou dados atualizados em novembro de 2023 sobre o aumento do desmatamento, conforme ilustrado no gráfico da Figura 1 abaixo.

Figura 1 - Aumento do desmatamento por UF



Fonte: INPE, 2023

Stürmer et al. (2011) observam que as alterações no uso da terra estão intimamente relacionadas com a dinâmica da matéria orgânica e com o ciclo biogeoquímico dos elementos, o que modifica a capacidade produtiva dos ambientes, conforme discutido por Brown et al. (1994). Além disso, Stürmer et al. (2011) citam Lal (1996) e Calegari et al. (2008) ao explicar que cultivos em áreas desflorestadas rapidamente degradam a qualidade do solo. Isso se deve a alterações em componentes sensíveis, como o revolvimento do solo e a redução das taxas de entrada de resíduos orgânicos após a retirada da vegetação. Eles também afirmam que o desmatamento afeta o conteúdo de carbono orgânico no solo, influenciando a quantidade e a qualidade da biomassa vegetal produzida e incorporada. Após a derrubada da vegetação, o intenso cultivo do solo leva a uma diminuição gradual dos estoques de carbono, mesmo em solos com altos teores de argila.

De acordo com Bieras et al (2015), diferentes modelos de restauração adotados ao longo dos tempos foram concebidos a partir de algumas visões e concepções distintas dos processos ecológicos. O termo revegetação é empregado de maneira restrita para a fase de implantação da vegetação na recuperação da área degradada, e reflorestamento, quando na implantação vegetal se utiliza espécies exclusivamente arbóreas. (ALMEIDA, 2002)

Almeida (2002) ainda destaca que embora o termo "revegetação" não esteja presente em dicionários como o Aurélio e o Michaelis, ele pode ser entendido como a combinação de "vegetação", que se refere ao conjunto de plantas que cobre uma área, e o prefixo "re",

indicando repetição. Assim, "revegetação" significa o desenvolvimento de novas plantas ou o ato de fazer crescer vegetação novamente em uma área preparada para esse propósito.

Quintão (2021) explica que algumas regiões anteriormente destinadas à agricultura passaram por mudanças para finalidades distintas, como reflorestamento, pastagem e crescimento de vegetação secundária, e essas transformações nessas categorias de uso da terra têm o potencial de se tornarem potencialmente sumidouros de CO₂ atmosférico. Logo, Quintão (2021) implica dizer que a revegetação florestal como uma medida de recuperação de áreas degradadas pode ter capacidade de sequestrar níveis de dióxido de carbono da atmosfera.

3.3 Carbono

A biosfera terrestre possui um papel significativo no ciclo global do carbono. Na década de 1990, absorveu em média 2,3 bilhões de toneladas de carbono, o que equivale a 36% das emissões anuais de combustíveis fósseis (FAO, 2001). Esses dados incentivam os pesquisadores a expandir formas de captura de carbono atmosférico por meio do plantio de árvores. O objetivo é promover um manejo sustentável que atenda tanto às demandas comerciais quanto às necessidades da sociedade, reduzindo, ao mesmo tempo, os impactos da emissão de gases de efeito estufa (GEEs). Vários acordos internacionais foram firmados em conferências mundiais para conscientizar os países sobre a importância de políticas de sustentabilidade devido à alta emissão de gases desde a Revolução Industrial. Essas resoluções aumentam a demanda por sistemas informatizados que quantifiquem o estoque e a dinâmica do carbono nos ecossistemas florestais.

Florestas, terras agrícolas e outros ecossistemas terrestres oferecem um grande potencial para mitigação de carbono (IPCC, 2003). O sequestro de carbono florestal refere-se ao processo biológico em que as plantas absorvem carbono da atmosfera, fixando-o na forma de biomassa ou matéria lenhosa. Esse mecanismo é aplicado na preservação de áreas florestais ameaçadas, na recuperação de áreas degradadas e no estabelecimento de novas plantações florestais, incluindo sistemas agroflorestais com espécies nativas ou exóticas. O manejo florestal desempenha um papel importante na absorção de gases de efeito estufa (GEEs), graças à sua capacidade de fixar carbono na vegetação a longo prazo, atenuando os problemas de mudanças climáticas. As florestas atuam, assim, como sumidouros de carbono (SANQUETTA; BALBINOT, 2004).

Segundo o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas de 2001 (IPCC, 2003), a velocidade e intensidade das mudanças no sistema climático da Terra desde a Revolução Industrial têm sido motivo de preocupação para cientistas e líderes mundiais, especialmente nas últimas décadas. Modelos climáticos, que analisam o sistema climático com base em processos físicos e dinâmicos, indicam uma maior frequência de eventos climáticos extremos entre 2091 e 2100. Nos próximos 50 anos, espera-se que os dias de frio e geadas sejam menos frequentes do que os dias com ondas de calor, levando a estações mais quentes.

Corte e Sanquetta (2007) descrevem a dinâmica de uso e cobertura da terra como as mudanças na cobertura vegetal ao longo do tempo, entre diferentes tipos de vegetação, cada um com estoques distintos de carbono. A dinâmica de uso e cobertura implica tanto em emissões quanto em sequestro de carbono para a atmosfera. A vida de uma árvore pode durar décadas ou até séculos, e, embora os incrementos sejam menores após a fase de maturidade, elas retêm uma capacidade constante de captura e fixação de carbono. Isso reforça a importância das florestas como reservatórios de carbono a longo prazo.

Sanquetta e Mattei (2006) destacam a importância de desenvolver metodologias para estimar o volume e a biomassa de diferentes partes das árvores e compartimentos florestais, convertendo essas medições em quantidades de carbono por meio de fatores de conversão. Devido ao alto custo envolvido na medição exata do carbono em cada compartimento da floresta, essa estimativa é geralmente realizada de forma indireta. Diversos estudos têm sido realizados para quantificar o estoque de carbono em diferentes espécies e formações florestais, como os trabalhos de Mognon (2011) e Doubrawa (2013).

Segundo o SNIF (2020), o carbono corresponde a aproximadamente 50% da biomassa e está armazenado em diversos "compartimentos" dentro das florestas, incluindo a biomassa viva (acima e abaixo do solo), a biomassa morta e a matéria orgânica do solo.

- **Biomassa viva acima do solo:** inclui troncos, galhos, copas, sementes e folhas.
- **Biomassa viva abaixo do solo:** envolve as raízes vivas, exceto as muito finas (diâmetro < 2 mm), que se confundem com a matéria orgânica do solo ou com a serapilheira.
- **Biomassa morta:** compreende toda a biomassa lenhosa morta, como galhos e raízes mortas com diâmetro superior a 10 cm, mas que não fazem parte da serapilheira.

- **Serapilheira:** inclui a biomassa morta com diâmetro inferior ao mínimo exigido para madeira morta, em variados estágios de decomposição sobre o solo mineral ou orgânico.
- **Solo:** contém carbono orgânico nos solos minerais e orgânicos a uma profundidade específica, sendo aplicada de maneira consistente em séries cronológicas.

3.4 Diferença entre estimativa e determinação de dados amostrais

Sanquetta e Balbinot (2004) indicam que há uma distinção conceitual entre determinação e estimativa. A determinação corresponde a uma medição direta das dimensões, biomassa, entre outros aspectos. Quando essa medição direta não é viável, recorre-se a estimativas por meio de técnicas matemáticas, como regressões ou outros métodos. Por isso, a literatura diferencia entre métodos diretos e indiretos para avaliação de biomassa (SALATI, 1994).

De acordo com Wojciechowski (2015), os métodos diretos envolvem determinações reais, enquanto os métodos indiretos resultam em estimativas. Em grandes áreas florestais, realizar determinações diretas é impraticável; assim, na maioria dos estudos florestais, predominam as estimativas. Essas estimativas, contudo, devem ser fundamentadas em dados obtidos por determinações, os quais são extrapolados para toda a população utilizando cálculos estatísticos que, com base em uma amostra, geram estimativas representativas para toda a área.

Wojciechowski (2015) ainda comenta que os inventários florestais, principalmente usado em PRAD's, baseiam-se em estimativas, utilizando intensidades amostrais que representem adequadamente toda a área em estudo. Para isso, realizam-se diversas medições em parcelas, ampliando a abrangência do levantamento e garantindo a representatividade da amostragem. Dado que as estimativas se apoiam em uma amostra populacional e em cálculos estatísticos dentro de uma margem de erro estabelecida, essas margens são levadas em conta na análise dos resultados. Considera-se não apenas a possibilidade de a amostra não ser representativa, o que pode exigir o aumento do número de indivíduos amostrados, como também as margens de erro inerentes aos métodos estatísticos utilizados. Assim, além de um valor médio, são calculados valores mínimos e máximos, aplicando-se a margem de erro a esse valor médio.

Pode-se verificar, então, que as estimativas geram incertezas que devem ser consideradas na análise do resultado tanto para o aspecto comercial (previsão de receitas

baseadas nos cálculos realizados) como no aspecto de planejamento da atividade florestal. (WOJCIECHOWSKI, 2015)

3.5 Sequestro de Carbono em Áreas Degradadas

Carvalho et al. (2010) explicam que o efeito estufa natural é causado pelas concentrações pré-existentes de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera antes da intervenção humana. A energia solar, com comprimento de onda curto, atravessa a atmosfera sem interagir significativamente com esses gases. Ao atingir a superfície terrestre, parte dessa energia é refletida e retorna à atmosfera na forma de radiação infravermelha, interagindo parcialmente com os GEE. Essa interação resulta na elevação da temperatura média do ar, um processo essencial para o efeito estufa natural e para a manutenção da vida no planeta. Sem a presença desses gases, a temperatura da Terra seria mais baixa, inviabilizando a vida. No entanto, as atividades humanas recentes têm alterado a paisagem e aumentado as emissões de GEE, o que leva à busca por estratégias para reduzir essas emissões.

O aumento das emissões de GEE é um fator crucial do aquecimento global, exacerbado a partir da Revolução Industrial devido à queima de combustíveis fósseis e mudanças no uso e cobertura da terra (IPCC, 2013; QUINTÃO et al., 2021). A perda de cobertura arbórea, resultante do desmatamento e das mudanças no uso do solo, está diretamente relacionada ao aumento das emissões de GEE de origem antrópica no Brasil (ALVES; DINIZ, 2022; COSTA, 2017 apud LIMA, 2023).

Carvalho (2010) aponta que certos sistemas de uso e manejo da terra em vários biomas do Brasil, como o plantio direto, a implementação de reflorestamentos e o manejo de pastagens, podem provocar alterações significativas nos estoques de carbono (C) e nas emissões de GEE. Essas mudanças desempenham um papel crucial na mitigação do aquecimento global.

A Terra possui cinco principais estoques globais de carbono: oceânico, geológico (carvão, petróleo e gás), pedológico (solo), biótico e atmosférico, todos interligados, com o C circulando livremente entre eles (LAL, 2004; NIEDER & BENBI, 2008 apud RIBEIRO DO NASCIMENTO, 2011). O solo é o principal reservatório terrestre de carbono, contendo aproximadamente o dobro do carbono atmosférico e da biomassa vegetal, embora o aumento do carbono no solo seja baixo (BRUCE et al., 1999 apud BRIANEZI et al, 2014). Mudanças no uso do solo, especialmente para sistemas agrícolas, podem reduzir o estoque de carbono no solo por meio de oxidação e processos erosivos (GUO; GIFFORD, 2002 apud FEREZ, 2010).

Teoricamente, o reflorestamento e o manejo de plantações florestais em solos agrícolas ou pastagens têm o potencial de aumentar o estoque de carbono no solo (LAL, 2005 apud FERREZ, 2010).

Em ambientes tropicais, a realização de inventários florestais para estimar a biomassa e o carbono é uma prática comum, utilizando métodos diretos (medição da biomassa em laboratório) e indiretos (equações alométricas) (BROWN et al., 1989 apud PIVA et al, 2021). No entanto, Piva et al. (2021) destacam que os dados brutos de inventários florestais no Brasil ainda são escassos ou estão dispersos em diversas bases de dados, muitas vezes com acesso restrito, o que limita a realização de estudos interdisciplinares.

3.5.1 Compensação de GEE como Estratégia Sustentável

Nas últimas três décadas, as implicações das atividades econômicas nas emissões de CO₂ tornaram-se uma questão de extrema importância tanto a nível nacional quanto internacional. O aumento na escala de produção tem contribuído para uma crescente degradação ambiental, influenciando as escolhas políticas e econômicas em diversos países (ZAKARYA ET AL., 2015). Zakarya (2015) observa que essa preocupação global foi evidenciada em conferências importantes, como as realizadas em Estocolmo em 1979, no Rio de Janeiro em 1992, em Joanesburgo em 1998 e em Lisboa em 2001, e continuou a ser abordada em eventos subsequentes, como as conferências em Joanesburgo em 2002, Copenhague em 2009 e Durban em 2011. Atualmente, muitos países em desenvolvimento enfrentam desafios significativos relacionados às complexas interconexões entre os aspectos econômicos, sociais e ambientais do desenvolvimento. Estes países buscam enfrentar a pobreza, promover oportunidades econômicas e proteger o meio ambiente, alinhando suas políticas aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) estabelecidos pela ONU na Agenda 2030.

Melo e Barbosa (2023) destacam que, devido à urgência de combater as mudanças climáticas e à consciência sobre a importância dos combustíveis fósseis como fontes de emissão de carbono, as organizações estão sendo pressionadas a alinhar suas ações com as metas do ODS 13, que trata das mudanças climáticas. Nesse contexto, é crucial que as empresas desenvolvam ferramentas e projetos para reduzir a pegada de carbono de suas operações e busquem fontes de energia alternativas e menos poluentes para realizar a transição energética.

A compensação de emissões de gases de efeito estufa (GEE) é uma estratégia importante para mitigar as emissões provenientes de atividades humanas. As metodologias de

compensação incluem o reflorestamento, a conservação de áreas verdes, a aquisição de créditos de carbono, práticas agrícolas sustentáveis, tecnologias de captura e armazenamento de carbono (CCS) e investimentos em energias renováveis, como solar, eólica e hidrelétrica. Embora o termo "neutralização" seja utilizado para descrever a tentativa de tornar as emissões totalmente neutras, Nunnenkamp e Corte (2017) sugerem que o termo "compensação" seja mais adequado, uma vez que é extremamente difícil eliminar completamente as emissões de GEE.

3.6 Aspectos Legais

Atualmente, uma extensa gama de legislações visa proteger o meio ambiente. A Constituição Federal de 1988 estabelece o direito a um meio ambiente ecologicamente equilibrado e define a responsabilidade do poder público e da coletividade na sua defesa e preservação para as presentes e futuras gerações. Além disso, exige a realização de estudos prévios de impacto ambiental para atividades que possam causar degradação significativa e impõe a proteção da fauna e flora, proibindo práticas que ameacem a função ecológica ou causem a extinção de espécies. Também determina que a recuperação de áreas degradadas pela exploração mineral deve seguir soluções técnicas exigidas pelos órgãos competentes.

A Lei nº 6.938/1981, conhecida como Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA), tem como objetivo a preservação e recuperação da qualidade ambiental para garantir o desenvolvimento socioeconômico e a proteção da dignidade humana. O Decreto nº 97.632/1989 regulamenta esta lei, detalhando a recuperação de áreas degradadas com base em planos preestabelecidos para uso do solo, buscando a estabilidade ambiental.

A Lei Federal nº 9.605/1998, conhecida como Lei dos Crimes Ambientais, exige que os infratores recompõem o ambiente degradado como parte das penalidades. O Código Florestal (Lei nº 12.651/2012) estabelece normas gerais para a proteção da vegetação nativa, áreas de preservação permanente (APPs), e controle de incêndios florestais, promovendo práticas de desenvolvimento sustentável. Ele também institui programas de apoio à conservação ambiental e determina que o órgão ambiental deve embargar obras de desmatamento irregular para permitir a regeneração e recuperação das áreas afetadas.

A Mata Atlântica, que originalmente cobria 15% do Brasil, foi reduzida para apenas 12,5% devido à ocupação humana. A Lei da Mata Atlântica (Lei nº 11.428/2006) estabelece normas para a conservação, regeneração e uso sustentável do bioma, garantindo a preservação da biodiversidade e a estabilidade social e ambiental. A lei define princípios como a função

socioambiental da propriedade e a equidade intergeracional, além de promover incentivos econômicos e criar o Fundo de Restauração do Bioma Mata Atlântica para financiar projetos de conservação. A compensação ambiental é obrigatória em casos de desmatamento, e práticas como o pousio e o enriquecimento ecológico são regulamentadas.

As Instruções Normativas do IBAMA e do ICMBio, respectivamente, nº 4 (2011) e nº 11 (2014), fornecem diretrizes detalhadas para a elaboração, análise, aprovação e acompanhamento de Projetos de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD), garantindo a conformidade com as normas ambientais e a efetiva reparação dos danos.

4 ÁREA DE ESTUDO

Esta pesquisa concentra-se na Área de Proteção Ambiental (APA) do Pratagy, delimitada pelo município de Maceió, localizada no estado de Alagoas (Figura 2). Criada pelo, essa unidade de conservação abrange parte das bacias hidrográficas dos rios Pratagy, Meirim e Mundaú, totalizando uma área de 21.417,51 hectares ou 214,17 km². Em termos de divisão político-administrativa, as terras que compõem a APA estão distribuídas entre os municípios de Messias, Rio Largo e Maceió (ALAGOAS, 1998).

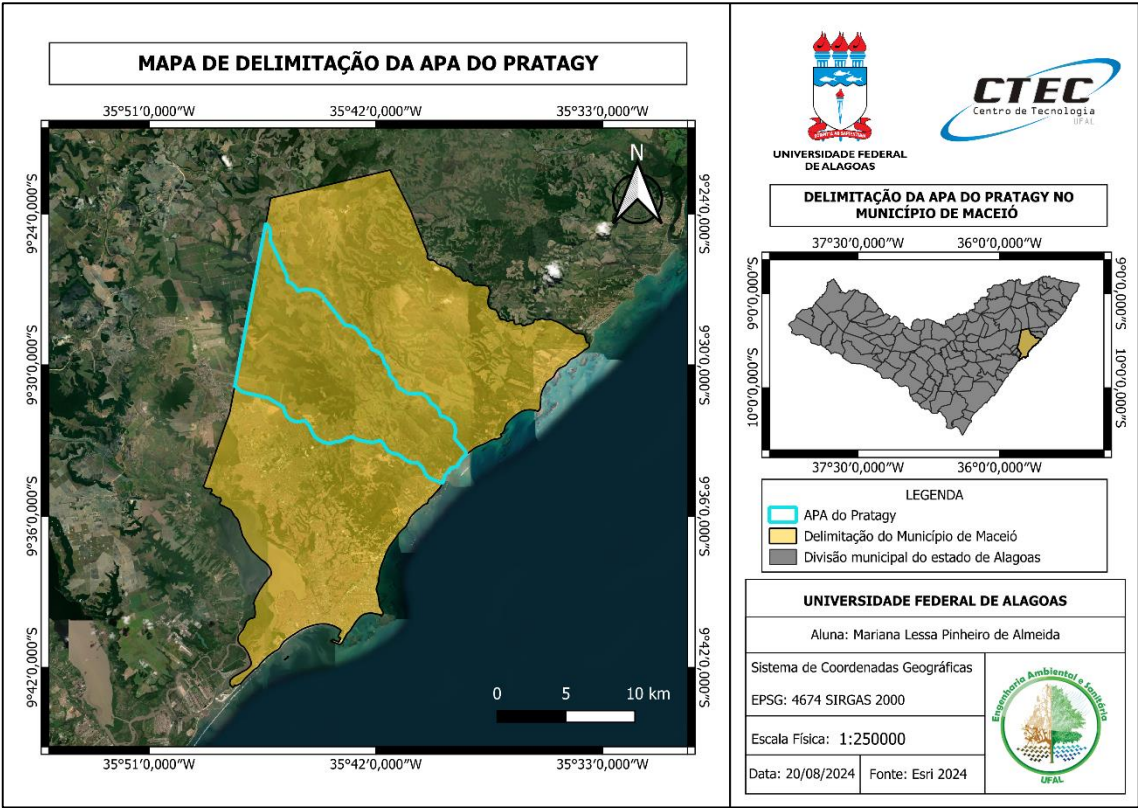
O Decreto Estadual nº 37.589/1998 teve como objetivo promover a harmonização das atividades com o equilíbrio ambiental do ecossistema da Bacia Hidrográfica do Rio Pratagy. Entre os desafios enfrentados estão o crescimento desordenado, a pressão sobre a fauna e flora remanescentes e a precariedade das habitações situadas em algumas áreas ao redor da APA. A população em contato direto com a APA do Pratagy em Maceió é composta pelas comunidades dos bairros Benedito Bentes e Riacho Doce, que somam cerca de 240 mil pessoas, conforme o censo de 2010 (IBGE, 2010). Nessas áreas, as principais atividades econômicas incluem o artesanato, o comércio, o turismo e o cultivo de cana-de-açúcar.

Maceió abriga uma rica diversidade vegetal, em grande parte devido à sua posição privilegiada na costa nordestina do Brasil. A cidade contém trechos remanescentes da Mata Atlântica, incluindo espécies de grande porte e uma biodiversidade associada significativa (ICMBio, 2011). Entre os ecossistemas mais característicos estão os manguezais, que funcionam como importantes berçários naturais para espécies marinhas (Schaeffer-Novelli, 1995). A faixa litorânea é marcada pela vegetação de restinga, adaptada às condições de salinidade e ventos intensos, com arbustos e espécies rasteiras que compõem uma paisagem resistente e única (IBGE, 2012). Esses ecossistemas costeiros formam um mosaico de habitats que contribuem para a preservação da biodiversidade e para a proteção das praias e encostas (IBGE, 2012; ICMBio, 2011).

Maceió também inclui áreas de Floresta Ombrófila Densa, conhecida como floresta pluvial tropical, uma formação característica das regiões costeiras da Mata Atlântica. Essa floresta é marcada pela vegetação densa e contínua em todos os estratos – arbóreo, arbustivo, herbáceo, e com abundância de lianas – que favorece a presença de uma vasta diversidade de espécies vegetais e animais, adaptadas ao alto índice pluviométrico e à umidade constante.

Como parte do bioma Mata Atlântica, Maceió está inserida no contexto de um dos biomas mais ameaçados do Brasil, com apenas cerca de 27% da cobertura florestal original ainda preservada (IBGE). Em áreas mais afastadas dos tabuleiros costeiros, a vegetação natural está degradada, apresentando remanescentes esparsos de Mata Atlântica, evidenciando a necessidade de conservação e recuperação dessas áreas (SANTIAGO e GOMES, 2016).

Figura 2 - Mapa de delimitação da APA do Pratygy



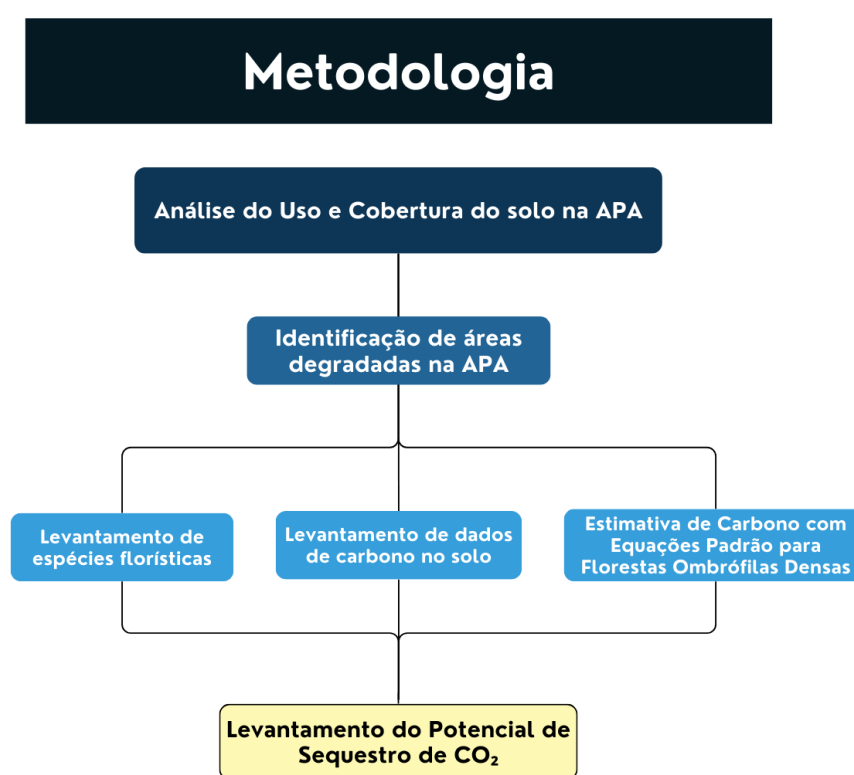
Fonte: Autora, 2024.

5 MÉTODOS

5.1 Metodologia

A metodologia utilizada para o estudo segue a proposição de revegetação visando o sequestro de carbono em áreas degradadas e é composta por um conjunto de etapas que agregam resultados de forma complementar. A Figura 3 abaixo apresenta o fluxograma que ilustra as etapas do processo metodológico adotado.

Figura 3 - Fluxograma da metodologia adotada



Fonte: Autora, 2024.

5.1.1 Análise do Uso e Cobertura do Solo na APA do Pratagy

A análise do Uso e Ocupação do Solo na APA do Pratagy delimitada no município de Maceió, capital do estado de Alagoas, foi iniciada com a coleta de dados geoespaciais, incluindo imagens de satélite e informações de sensoriamento remoto. O processamento de imagens é aplicado para extrair informações relevantes, identificando padrões que representem diferentes usos do solo. Foi possível fazer downloads de cartas imagem, imagens aéreas e orbitais, mapas, entre outros, através de sites confiáveis em que constem informações geoespaciais. No caso deste presente trabalho, foram utilizadas diversas bases de dados, como apresentado no Quadro 1 abaixo para a confecção de mapas geoespaciais.

Quadro 1 - Bases de dados geoespaciais.

Base de dados	Instituto ou Órgão referente	Descrição
IBGE	IBGE	Produção e análise de informações geográficas, mapas digitais e imagens de satélite.
PORTAL TERRABRASILIS	INPE	Dados Geográficos e mapas digitais sobre desmatamento e vegetação.
CAR	SICAR	Mapas digitais, imagens de satélite e dados sobre Reservas Legais, Remanescentes florestais, etc.
MAPBIOMAS	MAPBIOMAS	Plataforma com mapeamento anual da cobertura e uso da terra, monitoramento da superfície de água e cicatrizes de fogo.
IMAGEO	IMA - ALAGOAS	Mapas digitais, dados sobre UC's, RPPN's, APA's no estado de Alagoas.
SISCOM	IBAMA	Mapas digitais, imagens de satélite, dados sobre desmatamento em biomas e geoespaciais vetoriais disponíveis para download.

Fonte: Autora, 2024.

O software QGIS, anteriormente conhecido como Quantum GIS, é fundamental para a análise e mapeamento do solo. Com recursos de análise espacial avançada e visualização de dados geoespaciais, o QGIS facilita a criação de mapas detalhados e a interpretação de informações complexas. Sua natureza de código aberto e gratuito amplia o acesso a tecnologias geoespaciais, e a integração de diversas fontes de dados permite uma visão abrangente da área em estudo.

5.1.2 Identificação de áreas degradadas para a proposição de revegetação

Através de um mapeamento detalhado, foram identificadas áreas degradadas na APA do Pratagy. Isso impulsionou a proposição de medidas de revegetação, apresentando estratégias para restaurar esses locais e promover a sustentabilidade ambiental dentro da área de proteção.

Além da caracterização do local, abordando se é uma área perturbada ou degradada e avaliando sua capacidade de resiliência, é crucial realizar um diagnóstico minucioso. O estudo adotará a metodologia de revegetação integral da área degradada, visando a restabelecer ecossistemas e promover a recuperação ambiental. Esta abordagem busca restituir a biodiversidade e a funcionalidade do solo.

5.1.3 Levantamento de espécies florísticas

O levantamento de espécies florísticas é uma etapa essencial na avaliação da biodiversidade de uma área de estudo, fornecendo informações detalhadas sobre a composição e a diversidade das plantas presentes. Este processo é crucial para compreender a estrutura ecológica do ambiente e identificar as principais espécies que compõem o ecossistema local. Em um contexto de preservação e manejo ambiental, o levantamento de espécies florísticas permite a análise das condições atuais da vegetação, a identificação de espécies nativas e exóticas, e a avaliação dos impactos de possíveis mudanças ambientais.

Os dados sobre as espécies florísticas identificadas serão consultados e complementados com informações catalogadas no Serviço Florestal Brasileiro - Sistema Nacional de Informações Florestais (SNIF), que oferece uma base de dados abrangente sobre a vegetação e os recursos florestais do Brasil. Foram elaborados tabelas e quadros que apresentam as espécies do bioma Mata Atlântica encontradas no estado de Alagoas, organizadas por nome popular, nome científico e família botânica, além das medidas de DAP (diâmetro à altura do peito) e altura correspondentes a essas mesmas espécies.

5.1.4 Levantamento de dados de carbono orgânico no solo

O levantamento de dados de carbono no solo tem como objetivo quantificar a presença e distribuição de carbono orgânico nas camadas de até 30 cm de profundidade, na Área de Proteção Ambiental (APA) do Pratagy. Para isso, foram utilizadas informações da primeira série de mapas anuais de estoques de carbono orgânico no solo (COS) do Brasil, desenvolvida pelo MapBiomas (coleção beta), que abrange o período de 1985 a 2021. Esses mapas, com

resolução espacial de 30 metros, foram criados com base em dados do Repositório SoilData, juntamente com diversas covariáveis ambientais que representam os fatores de formação e vetores de transformação do solo brasileiro.

A plataforma MapBiomass permite o acesso a dados vetoriais detalhados sobre o armazenamento de carbono no solo, expressos em toneladas de carbono por hectare. Essa ferramenta oferece uma visão integrada da dinâmica do carbono no solo, auxiliando na análise do potencial de sequestro de carbono e na compreensão da evolução do estoque de carbono ao longo das últimas décadas na área estudada.

5.1.5 Estimativa de Carbono com Equações Padrão do Software JCarbon

O JCarbon® é um software desenvolvido para auxiliar nas estimativas de volume, biomassa e carbono, aplicando técnicas tradicionais e introduzindo a Mineração de Dados (Data Mining), conforme descrito por Pang-Ning Tan, Michael Steinbach e Vipin Kumar. Esse sistema inclui um banco de dados robusto que armazena informações detalhadas sobre locais cadastrados, permitindo sua visualização espacial por meio do Google Maps. O software fornece dados sobre localização, área e características dos plantios, abrangendo estrutura de parcelas, dimensões das árvores e as equações e modelos usados nos cálculos. Além disso, o JCarbon realiza automaticamente o cálculo de volume, biomassa e carbono total, fornecendo resultados precisos e otimizados para análises ambientais e de gestão de carbono (WOJCIECHOWSKI, 2015).

O software inclui um banco de dados com valores e equações padrão para estimativas de volume, biomassa e carbono em florestas nativas, incluindo algumas relativas ao bioma Mata Atlântica. Essas estimativas são específicas para as formações florestais ombrófilas densas e mistas, além das florestas estacionais semidecíduais (WOJCIECHOWSKI, 2015). Entretanto, a área de estudo segue as equações, detalhadas no Quadro 2, para uma floresta ombrófila densa, conforme as características locais da vegetação no município de Maceió.

Utilizando as equações disponibilizadas pelo software e dados da estrutura da vegetação, como o DAP e a altura, obtidos por meio do Inventário Florestal Brasileiro, foi possível calcular o volume, a biomassa aérea e de raízes, bem como o carbono presente nessas estruturas. Dessa forma, foi realizada uma estimativa precisa do carbono total estocado pela floresta.

Quadro 2 - Equações padrões do programa JCarbon para florestas nativas

Formação	Equação	Descrição das variáveis
Floresta Ombrófila Densa	$V = 0,00824 + 0,00006DAP^2Ht$	V: volume em m ³ DAP: diâmetro a altura do peito (medido a 1,30 metros do solo) (cm) Ht: altura total (m).
	$BA = -1,13617 + 0,03128DAP^2Ht$	BA: Biomassa aérea, em tonelada (t); DAP: diâmetro a altura do peito (medido a 1,30 metros do solo) (cm) Ht: altura total (m).
	$BR: \exp(-2,96 + 1,072\ln(DAP^2))$	BR: Biomassa de Raízes, em tonelada (t) DAP: diâmetro a altura do peito (medido a 1,30 metros do solo) (cm)
	$CA: -0,44653 + 0,01229DAP^2Ht$	CA: Carbono Aéreo, em tonelada (t) DAP: diâmetro a altura do peito (medido a 1,30 metros do solo) (cm) Ht: altura total (m)
	$CR: \exp(-2,960 + 1,072\ln(DAP^2) \times 0,3909)$	CR: Carbono de Raízes, em tonelada (t) DAP: diâmetro a altura do peito (medido a 1,30 metros do solo) (cm)

Fonte: Adaptado de Wojciechowski (2015)

5.1.6 Levantamento do Potencial de Sequestro de CO₂ na APA do Pratagy

O levantamento do potencial de sequestro de CO₂ na área de estudo será realizado através do somatório da Equação 1, do carbono fixo pelo solo e pela vegetação (compartimentos aéreos e raízes), onde seus valores serão obtidos por meio dos cálculos baseados nas equações padrão definidas pela metodologia de Wojciechowski (2015).

$$\text{Sequestro de CO}_2 \text{ (tCO}_2\text{/ha)} = (C_{\text{solo}} + C_{\text{aéreo}} + C_{\text{raízes}}) \times 3,67 \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

- C_{solo} = Carbono armazenado no solo (em toneladas de carbono por hectare);
- $C_{\text{aéreo}}$ = Carbono armazenado na biomassa viva acima do solo (em toneladas de carbono por hectare);
- $C_{\text{raízes}}$ = Carbono armazenado nas raízes vivas abaixo do solo (em toneladas de carbono por hectare);
- 3,67 = Fator de conversão do estoque de carbono (C) para a emissão de carbono equivalente (CO₂).

Para converter o carbono armazenado na vegetação e no solo em dióxido de carbono equivalente (tCO₂), utiliza-se um fator de conversão de 3,67, que é baseado na relação entre as massas molares do dióxido de carbono (CO₂) e do carbono (C) – sendo 44 g/mol para o CO₂ e 12 g/mol para o C. Multiplicando-se o total de carbono por 3,67, obtém-se a quantidade equivalente de CO₂, representando o potencial de sequestro de gases de efeito estufa.

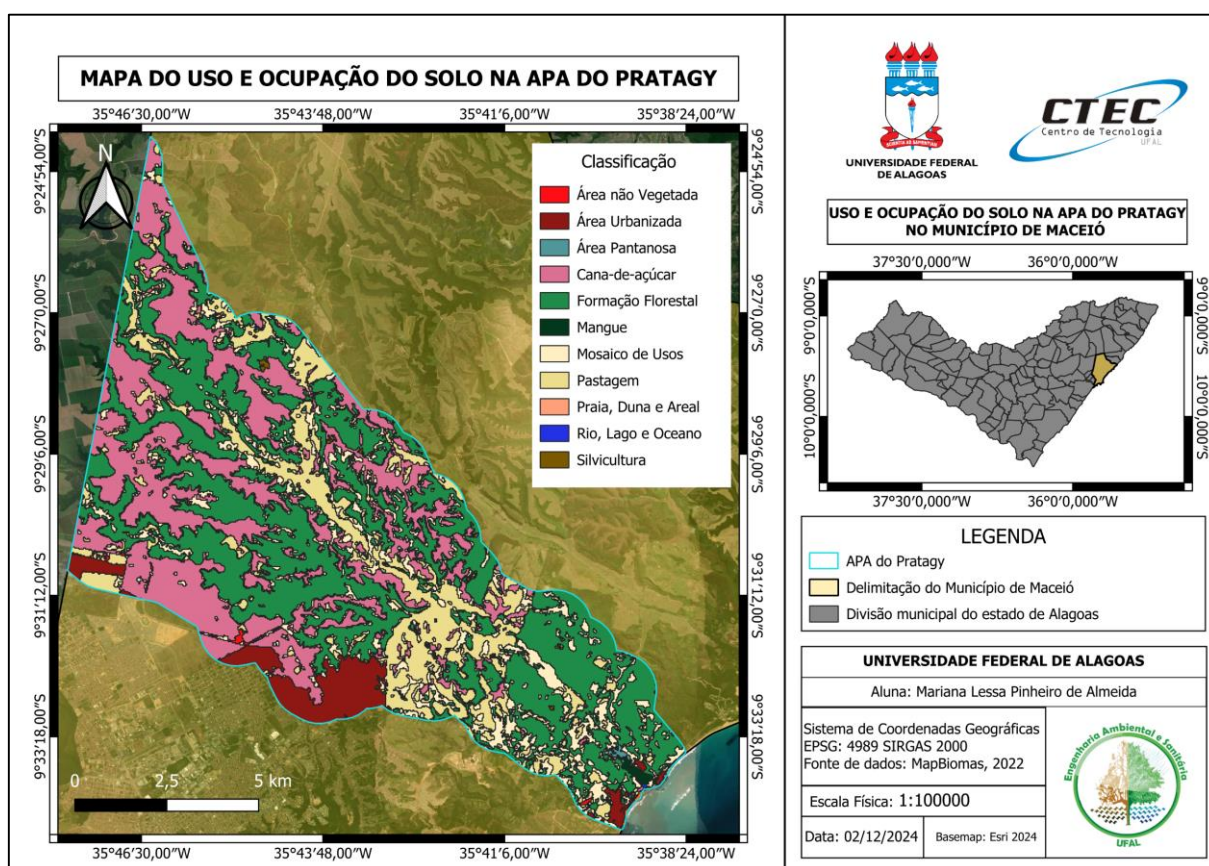
Para garantir a precisão dos cálculos, é essencial dispor das variáveis necessárias nas equações, como o DAP (diâmetro à altura do peito) e a altura total das árvores, que já foram registrados. Além disso, a proporção de mudas utilizadas no processo de revegetação também influencia as estimativas de estoque de carbono por hectare, uma vez que esse valor depende tanto da área total a ser reflorestada quanto da quantidade de mudas por espécie.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 Análise do Uso e Cobertura do Solo na APA do Pratagy

A partir da análise detalhada dos dados da coleção 8 do MapBiomias, a mais atual disponível, foi possível identificar e classificar de forma precisa o uso e a cobertura do solo na APA do Pratagy (Figura 4), oferecendo uma visão clara das mudanças ocorridas e das áreas que necessitam de maior atenção em termos de conservação e manejo ambiental.

Figura 4 - Uso e cobertura da APA do Pratagy



Fonte: Autora, 2024

A Área de Proteção Ambiental (APA) do Pratagy abrange um total de 21.417,51 hectares, dos quais 12.293,62 hectares estão localizados dentro dos limites do município de Maceió, representando 57,4% da área total da APA. De acordo com o Quadro 3 a seguir, é possível observar as áreas correspondentes a cada classificação, conforme disponibilizado na legenda oficial do MapBiomias.

Quadro 3 - Uso e cobertura do solo na APA do Pratagy

Classe	Área (ha)	%
Área não Vegetada	21,398	0,17%
Área Urbanizada	546,300	4,44%
Área Pantanosa	14,198	0,12%
Cana-de-açúcar	3215,695	26,14%
Formação Florestal	4649,888	37,84%
Mangue	24,781	0,20%
Mosaicos de Usos	1824,229	14,85%
Pastagem	1813,763	14,74%
Praia, Duna e Areal	5,719	0,05%
Rio, Lago e Oceano	2,116	0,02%
Silvicultura	16,707	0,14%
Sem informação ou dados	9,066	0,07%

Fonte: Autora, 2024.

A maior parte da APA do Pratagy é composta por formação florestal, que representa 37,84% da área total. Essa formação refere-se à preservação do bioma da Mata Atlântica, que se estende ao longo de todo o litoral brasileiro, incluindo a região de Maceió. Além disso, a plantação de cana-de-açúcar, os mosaicos de usos e a pastagem correspondem a 26,14%, 14,85% e 14,74%, respectivamente, da área da APA. Vale ressaltar que a classificação “Mosaicos de Usos” refere-se às áreas de uso agropecuário onde não foi possível distinguir entre pastagem e agricultura.

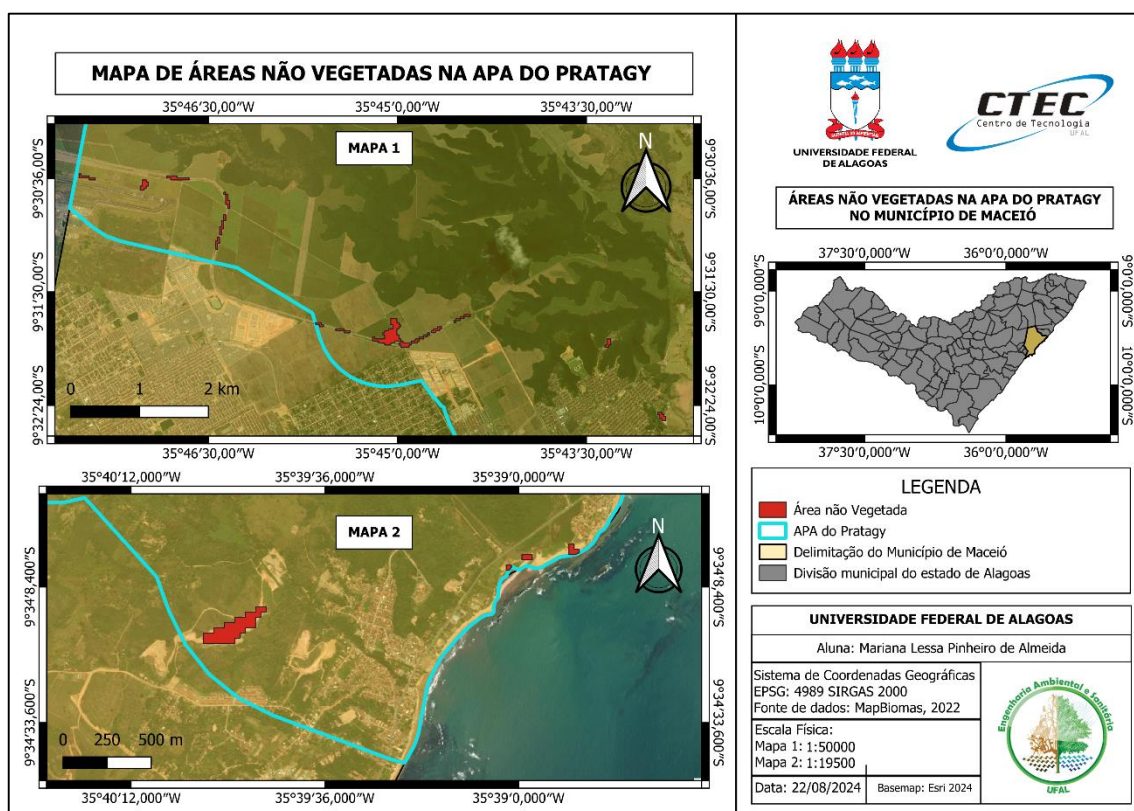
De acordo com Araújo et al. (2008), todas as ações humanas continuam a ser potencialmente consideradas, com uma ênfase particular na ocupação do território e, especificamente, nas que causam degradação do solo e desmatamento prolongado. Assim, atividades extrativistas e processos agropecuários são destacados como áreas de preocupação relevantes. Esta ênfase é reforçada pela inclusão das terras suscetíveis à degradação, que abrange terras agrícolas, pastagens e matas. Isso demonstra que o desmatamento para uso agrícola e agropecuário tem impactos significativos no meio ambiente.

Em particular, a monocultura, onde há pouca diversificação de espécies, resulta em uma baixa ciclagem de nutrientes e pode comprometer a saúde ecológica do solo e a sustentabilidade do ecossistema.

6.2 Identificação de áreas degradadas para a proposição de revegetação

A análise do mapeamento de uso e ocupação do solo revelou a presença de áreas classificadas como não vegetadas, predominantemente compostas por solo exposto e locais pavimentados. Embora essas áreas representem uma pequena fração da APA (Figura 5), com apenas 0,17% de ocupação, elas ainda constituem porções significativas que, idealmente, poderiam estar cobertas por vegetação nativa do bioma.

Figura 5 - Mapa de áreas não vegetadas



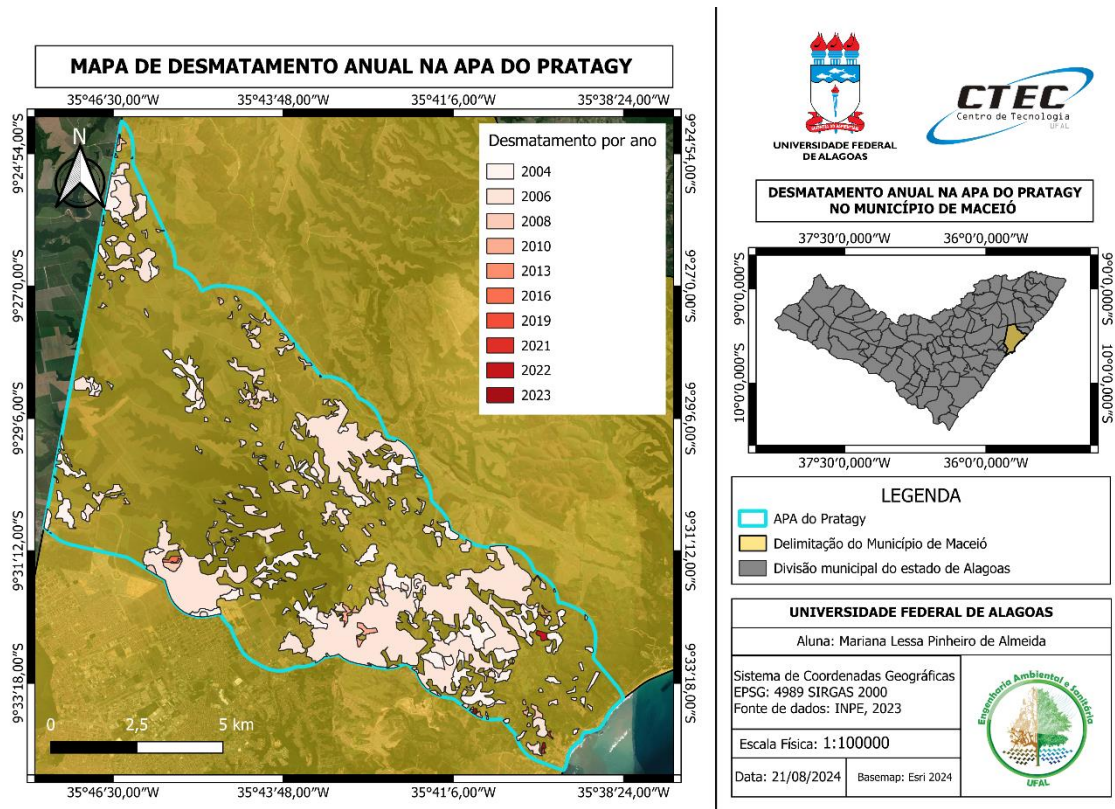
Fonte: Autora, 2024.

Conforme mencionado anteriormente, cerca de 55,73% do território da APA do Pratygy está ocupado por atividades agrícolas ou agropecuárias. Considerando que a área tem como objetivo a conservação do ecossistema, é importante observar como essas atividades influenciam a preservação ambiental. A APA do Pratygy abrange a bacia do rio Pratygy, um rio de grande importância para a comunidade local, incluindo seu papel vital como fonte de captação de água para o abastecimento da cidade.

Seguindo a lógica de ocupação das diversas áreas da APA para atividades produtivas do setor econômico, o desmatamento acaba se tornando o primeiro passo para a expansão das

atividades agrícolas e agropecuárias. Para entender a evolução desse processo, foi elaborado um mapa de desmatamento ao longo dos anos, com a análise iniciando em 2004, que pode ser observado abaixo:

Figura 6 - Mapa de desmatamento anual na APA do Pratygy



Fonte: Autora, 2024.

Observando o mapa na Figura 6, é possível identificar as áreas que foram desmatadas ao longo dos anos e compará-las com as áreas atualmente em uso. A análise revela que muitas das áreas devastadas ao longo do tempo coincidem com as áreas hoje ocupadas por urbanização, pastagem e plantação de cana-de-açúcar.

A análise dos dados da APA do Pratygy revelou importantes percepções sobre o uso e cobertura do solo, destacando tanto as áreas conservadas quanto as pressionadas pelas atividades agropecuárias e urbanização. O uso extensivo para monocultura e agropecuária, ocupando 55,73% da área total, reflete um impacto direto na sustentabilidade ambiental, com a monocultura representando uma ameaça à biodiversidade e à saúde do solo, como apontado por estudos de Araújo et al. (2008) e Ferez (2010).

Em um cenário hipotético, a revegetação de parte dessas áreas produtivas poderia proporcionar diversos benefícios, incluindo o aumento do sequestro de CO₂. Ferez (2010) menciona que a fixação do carbono (C) pelas florestas nativas é um dos benefícios das florestas restauradas (MELO; DURIGAN, 2006; MONTAGNINI; PORRAS, 1998; SILVER et al., 2000) e que pode ser monitorado e valorizado, subsidiando programas de reflorestamento na Mata Atlântica (BELLOTTO et al., 2009).

6.3 Levantamento de espécies florísticas

Com base na metodologia de Wojciechowski (2015), é possível estimar a quantidade de carbono sequestrado pelas estruturas da vegetação. Para isso, é necessário realizar um levantamento das espécies nativas do bioma para o reflorestamento. O Serviço Florestal Brasileiro lançou o Inventário Florestal Nacional com o propósito de produzir informações sobre as florestas em todo o território brasileiro (SNIF, 2022). Foi disponibilizada uma plataforma com dados atualizados sobre a vegetação nativa e recursos florestais em cerca de 60% do território brasileiro, abrangendo diversos estados, incluindo o estado de Alagoas. Com base nas informações coletadas do Inventário Florestal Brasileiro, foi possível elaborar um quadro detalhado das espécies de árvores catalogadas no estado de Alagoas, com um foco específico no município de Maceió (Quadro 4).

Quadro 4 - Espécies catalogadas presentes no IFN

Nome Popular	Nome Científico	Família
Arranha gato	<i>Chaetocarpus myrsinites</i>	Peraceae
Arruda Vermelha	<i>Swartzia apetala Raddi</i>	Fabaceae
Barbatimão	<i>Abarema cochliacarpus</i>	Fabaceae
Batiputá	<i>Ouratea fieldingiana</i>	Ochnaceae
Bom-nome	<i>Monteverdia obtusifolia</i>	Celastraceae
Cabuçu	<i>Coccoloba alnifolia</i>	Polygonaceae
Canelão	<i>Miconia amoena</i>	Melastomataceae
Carne de Vaca	<i>Roupala montana</i>	Proteaceae
Catucá-Vermelho ou Feijão Manso	<i>Salzmannia nitida</i>	Rubiaceae
Folha de bronze	<i>Byrsonima sericea</i>	Malpighiaceae
Folha Pareada	<i>Myrcia rosangelae</i>	Myrtaceae
Goiabinha	<i>Alseis pickelii</i>	Rubiaceae
Inhaiba-Gigante	<i>Lecythis lurida</i>	Lecythidaceae
Maçaranduba	<i>Manilkara rufula</i>	Sapotaceae
Massaranduba-Vermelha	<i>Pouteria gardneri</i>	Sapotaceae

Nome Popular	Nome Científico	Família
Mirtes ou Maria Preta	<i>Myrcia polyantha</i>	Myrtaceae
Pau-Ferreira	<i>Byrsonima verbascifolia</i>	Malpighiaceae
Pau-Piranha	<i>Guapira graciliflora</i>	Nyctaginaceae
Verruguinho	<i>Schoepfia brasiliensis</i>	Schoepfiaceae

Fonte: Adaptado do Inventário Florestal Nacional, 2022.

Esta análise permitiu filtrar e observar as espécies exclusivamente do bioma Mata Atlântica, fornecendo uma visão abrangente da vegetação nativa presente na região. No entanto, foram descartadas da tabela as espécies que não puderam ser identificadas devido à ausência do nome científico. Além disso, os nomes populares das espécies foram ajustados para garantir uma melhor compreensão.

Para estimar o sequestro futuro de carbono, serão usados os valores médios de DAP e altura das espécies com mais dados catalogados. Espécies sem DAP representam diâmetros abaixo de 5 cm e, portanto, estão fora do intervalo analisado. O DAP e a altura são essenciais, pois as equações usadas para calcular o teor de carbono na biomassa dependem dessas medidas, segmentando a vegetação em compartimentos para análise. Essas equações são fundamentais para estimar a biomassa florestal com base em amostras de árvores.

As espécies que não apresentavam dados de diâmetro e altura foram descartadas dos cálculos das equações padrões para garantir maior precisão na estimativa de carbono. Isso porque, conforme afirmado por Alemu (2014), citado por Lemma (2007), as árvores têm um potencial significativamente maior de produzir biomassa, tanto acima quanto abaixo do solo, em comparação com arbustos ou ervas, que geralmente possuem valores de DAP (diâmetro à altura do peito) bem inferiores aos das árvores. Alemu também destaca que o aumento da biomassa resulta em maior produção de matéria orgânica na superfície do solo e intensifica a atividade das raízes no subsolo, tornando as árvores um elemento crucial para o sequestro de carbono orgânico no solo.

Tabela 1 - Valores de DAP e Ht para cada espécie

Nome científico	DAP $\leq 5 \leq 10$ (cm)	DAP ≥ 10 (cm)	Ht (m) (DAP $\leq 5 \leq 10$)	Ht (m) (DAP ≥ 10)
<i>Chaetocarpus myrsinites</i>	6,00	14,04	6,16	9,57
<i>Swartzia apetala</i> Raddi	7,65	-	6,75	-
<i>Abarema cochliacarpus</i>	8,05	11,45	6,75	6
<i>Ouratea fieldingiana</i>	5,87	14,4	5,88	4,5
<i>Monteverdia obtusifolia</i>	7,1	10,2	6	7,75
<i>Coccoloba alnifolia</i>	5,1	19,08	5	12,74
<i>Miconia amoena</i>	Sem valor DAP		Sem valor Ht	
<i>Roupala montana</i>	-	21,4	-	15,6
<i>Salzmannia nitida</i>	Sem valor DAP		Sem valor Ht	
<i>Byrsonima sericea</i>	7,25	-	5,5	-
<i>Myrcia rosangelae</i>	Sem valor DAP		Sem valor Ht	
<i>Alseis pickelii</i>	5,3	-	8	-
<i>Lecythis lurida</i>	6,25	10,9	3,25	7,17
<i>Manilkara rufula</i>	7,52	12,22	6,5	8,85
<i>Pouteria gardneri</i>	-	12,82	-	11,48
<i>Myrcia polyantha</i>	6,19	10,9	4,82	5,18
<i>Byrsonima verbascifolia</i>	6,23	-	6	-
<i>Guapira graciliflora</i>	5,9	14,46	6,5	9,68
<i>Schoepfia brasiliensis</i>	Sem valor DAP		Sem valor Ht	

Fonte: Adaptado do Inventário Florestal Nacional, 2022.

6.4 Proposta de revegetação

De acordo com o roteiro da EMBRAPA para elaboração de projetos de recomposição de áreas degradadas, os espaçamentos mais comuns para o plantio de mudas são de 2 m x 2 m (2.500 plantas por hectare) e 3 m x 2 m (1.667 plantas por hectare). Esses espaçamentos devem ser indicados no croqui do plantio. Como a área de estudo em questão é relativamente pequena em comparação com demais vistas na análise do uso e ocupação do solo, foi adotado o espaçamento de 2 m x 2 m, com 2.500 mudas por hectare, o que resulta em aproximadamente 132 mudas por espécie para o plantio. A área a ser revegetada possui 21,4 hectares, e, para determinar o número total de mudas necessárias, utilizou-se o espaçamento padrão que contém 2.500 mudas por hectare. O cálculo, utilizando a Equação 2, foi realizado multiplicando o número de mudas por hectare pela área total, conforme a fórmula abaixo:

$$\text{Total de mudas} = \text{mudas por hectare} \times \text{área total em hectare} \quad (\text{Equação 2})$$

Aplicando os valores disponíveis:

$$\text{Total de mudas} = 2.500 \times 21,4 = 53.500$$

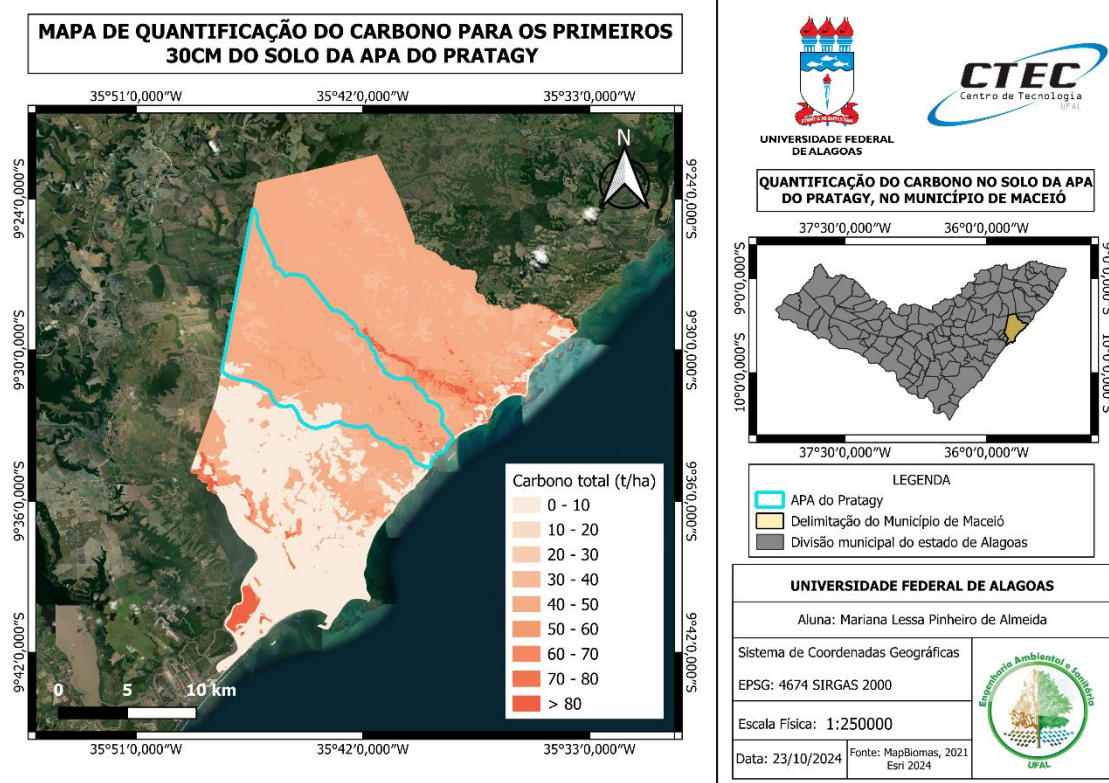
Portanto, serão necessárias 53.500 mudas para cobrir adequadamente os 21,4 hectares da área. Essas mudas serão distribuídas entre 15 espécies nativas da mata atlântica, em estado de sucessão secundária, o que contribuirá para uma maior diversidade e resiliência na revegetação. Caso a distribuição das mudas seja feita de forma igualitária entre as espécies, serão plantadas aproximadamente 3.567 mudas de cada uma. Dessas, 1.783 mudas serão destinadas a espécies com DAP entre 5 e 10 cm, e outras 1.783 mudas serão para espécies com DAP acima de 10 cm, garantindo a cobertura adequada da área.

6.5 Levantamento de dados de carbono orgânico no solo

Com base no levantamento de dados de carbono no solo realizado pelo MapBiomass Solo, foi elaborado um mapa que quantifica o carbono armazenado nos primeiros 30 cm do solo na Área de Proteção Ambiental (APA) do Pratagy, localizada no município de Maceió, Alagoas. O mapa utiliza uma escala de carbono total em toneladas por hectare (t/ha), que varia de 0, onde não há dados de estoque de carbono, até mais de 80 t/ha, com diferentes cores representando variações na concentração de carbono. Os tons mais escuros indicam áreas com maior concentração de carbono, enquanto os tons mais claros representam áreas com menor quantidade. As maiores concentrações de carbono (representadas pelos tons de laranja mais escuro) estão predominantemente em regiões não urbanizadas e menos alteradas, onde há maior potencial de acúmulo de matéria orgânica no solo. Em contraste, as menores concentrações de carbono correspondem às áreas urbanas consolidadas, caracterizadas por grandes porções impermeabilizadas por cobertura asfáltica, o que reduz a capacidade de armazenamento de carbono no solo.

A Figura 7 abaixo, mostra que o solo da APA do Pratagy armazena, em média, entre 40 e 50 toneladas de carbono por hectare. Em algumas regiões específicas, os estoques de carbono no solo chegam a variar entre 50 e 60 tC.ha⁻¹, indicando algumas áreas com potencial de armazenamento ainda mais elevado.

Figura 7 - Mapa de quantificação do carbono no solo da APA do Pratagy



Fonte: Autora, 2024.

6.6 Estimativa de Carbono com Equações Padrão do Software JCarbon

Com base nas equações padrão, foram elaboradas duas tabelas que apresentam uma análise detalhada do volume de material vegetal e lenhoso, da biomassa e do carbono, segmentadas por espécies na APA do Pratagy. A análise das equações foi realizada considerando dois grupos de DAP: um para árvores com DAP entre 5 e 10 cm e outro para aquelas com DAP igual ou superior a 10 cm. Os dados incluem o volume por muda (em m³), a quantidade de mudas e o volume total (em m³) para cada espécie dentro de cada faixa de DAP.

Na **Tabela 2**, observa-se que o grupo com $DAP \leq 5 \leq 10$ cm, apresenta volumes totais menores em comparação ao grupo com $DAP \geq 10$ cm, uma vez que as árvores de menor diâmetro contribuem com volumes individuais reduzidos. Para calcular o volume total, multiplicou-se o volume de cada espécie pelo número de mudas necessárias para revegetar a área de estudo. Com isso, o somatório dos volumes de cada muda resultou em 0,3076 m³ para as espécies do grupo $DAP \leq 5$ a 10 cm, enquanto as espécies com $DAP \geq 10$ cm totalizaram 1,4725 m³.

Entre as espécies com $DAP \leq 5 \leq 10$ cm, a *Abarema cochliacarpus* e *Swartzia apetala Raddi* destacaram-se com volumes significativos de 61,48 m³ e 56,95 m³, seguidas por *Byrsonima sericea* e *Manilkara rufula*, que apresentaram volumes de 45,62 m³ e 54,02 m³, respectivamente. O volume total das espécies com $DAP \leq 5 \leq 10$ cm é de 548,47 m³.

No grupo de árvores com $DAP \geq 10$ cm, observou-se um volume total consideravelmente maior, indicando seu potencial elevado de armazenamento de carbono. Destacam-se *Roupala montana* e *Coccoloba alnifolia*, com volumes de 778,98 m³ e 510,86 m³, respectivamente, além de *Pouteria gardneri* e *Guapira graciliflora*, com 216,54 m³ e 231,22 m³. O volume total para esse grupo alcança 2.610,84 m³, reforçando a importância das árvores maiores na retenção de carbono. No total geral, considerando todos os DAPs, o volume estimado é de 3.159,31 m³, evidenciando que as árvores com $DAP \geq 10$ cm são as principais responsáveis pelo estoque de carbono na floresta.

Tabela 2 – Volume em m³ obtido por espécie

Nome científico	(DAP $\leq 5 \leq 10$)			(DAP ≥ 10)		
	Volume por muda (m ³)	Quantidade de mudas	Volume total (m ³)	Volume por muda (m ³)	Quantidade de mudas	Volume total (m ³)
<i>Chaetocarpus myrsinites</i>	0,0215	1.783	38,4158	0,1214	1.783	216,5047
<i>Swartzia apetala Raddi</i>	0,0319	1.783	56,9519	Sem valor	1.783	Sem valor
<i>Abarema cochliacarpus</i>	0,0345	1.783	61,4868	0,0554	1.783	98,8440
<i>Ouratea fieldingiana</i>	0,0204	1.783	36,3668	0,0642	1.783	114,5171
<i>Monteverdia obtusifolia</i>	0,0264	1.783	47,0491	0,0566	1.783	100,9510
<i>Coccoloba alnifolia</i>	0,0160	1.783	28,6047	0,2865	1.783	510,8599
<i>Roupala montana</i>	Sem valor	1.783	Sem valor	0,4369	1.783	778,9759
Sem valor	0,0256	1.783	45,6192	Sem valor	1.783	Sem valor
<i>Alseis pickelii</i>	0,0217	1.783	38,7325	Sem valor	1.783	Sem valor
<i>Lecythis lurida</i>	0,0159	1.783	28,2734	0,0594	1.783	105,8247
<i>Manilkara rufula</i>	0,0303	1.783	54,0154	0,0875	1.783	156,0720
<i>Pouteria gardneri</i>	Sem valor	1.783	Sem valor	0,1214	1.783	216,5381
<i>Myrcia polyantha</i>	0,0193	1.783	34,4494	0,0452	1.783	80,5312
<i>Byrsonima verbascifolia</i>	0,0222	1.783	39,6051	Sem valor	1.783	Sem valor
<i>Guapira graciliflora</i>	0,0218	1.783	38,8977	0,1297	1.783	231,2202
Total geral	0,3076	-	548,47	1,4725	-	2610,84

Fonte: Autora, 2024

A Tabela 3 detalha a estimativa de biomassa e carbono para diferentes espécies na APA do Pratagy, separadas por dois intervalos de DAP, assim como para a estimativa do volume:

árvores com DAP entre 5 e 10 cm e árvores com $\text{DAP} \geq 10$ cm. Os dados apresentados incluem biomassa aérea e de raízes, além das quantidades de carbono aéreo e de raízes, todas expressas em toneladas (t).

Para as árvores com $\text{DAP} \leq 5 \leq 10$ cm, o total de biomassa aérea é de 160.027,14 toneladas e de biomassa de raízes é de 67.827,79 toneladas. Já o total de carbono aéreo para esse grupo é de 62.872,20 toneladas, enquanto o carbono de raízes soma 5.753,56 toneladas. Entre as espécies com $\text{DAP} \leq 5 \leq 10$ cm, destacam-se *Swartzia apetala Raddi*, com 20.005,74 t de biomassa aérea e 7.247,86 t de biomassa de raízes, e *Abarema cochliacarpus*, com 22.369,93 t de biomassa aérea e 8.084,74 t de biomassa de raízes. Esses valores refletem a capacidade dessas espécies de armazenar carbono mesmo em estágios iniciais de desenvolvimento.

No grupo de árvores com $\text{DAP} \geq 10$ cm, os estoques de biomassa e carbono aumentam substancialmente. O total de biomassa aérea nesse grupo é de 1.254.580,35 toneladas, enquanto a biomassa de raízes soma 303.671,80 toneladas. O carbono aéreo total armazenado é de 492.925,68 toneladas, e o carbono de raízes chega a 9.138,80 toneladas. Espécies como *Roupala montana* e *Coccoloba alnifolia* se destacam pela alta biomassa aérea, com 396.420,91 t e 256.643,13 t, respectivamente, o que também se reflete em suas elevadas quantidades de carbono aéreo, 155.754,67 t e 100.835,58 t, respectivamente. Esses dados evidenciam o importante papel das árvores de maior porte ($\text{DAP} \geq 10$ cm) no armazenamento de carbono, devido à sua capacidade significativamente maior de acumular biomassa e carbono tanto na parte aérea quanto nas raízes.

Esses resultados são fundamentais para compreender o potencial de sequestro de carbono da APA do Pratagy e reforçam a importância de conservar e monitorar as árvores de maior porte, que representam a maior parcela do carbono armazenado, contribuindo de forma relevante para mitigar os efeitos das emissões de gases de efeito estufa.

Tabela 3 - Valor obtido para a Biomassa e Carbono aéreo e de raízes por espécie

Nome científico	Quantidade de mudas com DAP ≤ 5 ≤ 10	DAP ≤ 5 ≤ 10				Quantidade de mudas com DAP ≥ 10	DAP ≥ 10			
		Biomassa aérea (t)	Biomassa de raízes (t)	Carbono aéreo (t)	Carbono de raízes (t)		Biomassa aérea (t)	Biomassa de raízes (t)	Carbono aéreo (t)	Carbono de raízes (t)
<i>Chaetocarpus myrsinites</i>	1.783	10342,26	4305,23	4063,28	414,76	1.783	103185,96	26643,71	40541,83	845,74
<i>Swartzia apetala</i> Raddi	1.783	20005,74	7247,86	7860,09	508,43	1.783	Sem valor	Sem valor	Sem valor	Sem valor
<i>Abarema cochliacarpus</i>	1.783	22369,93	8084,74	8788,98	530,61	1.783	41845,49	17207,53	16440,99	712,88
<i>Ouratea fieldingiana</i>	1.783	9274,03	4107,71	3643,57	407,22	1.783	50016,40	28129,94	19651,36	863,88
<i>Monteverdia obtusifolia</i>	1.783	14843,08	6176,43	5831,66	477,61	1.783	42943,92	13430,08	16872,56	647,05
<i>Coccoloba alnifolia</i>	1.783	5227,39	3038,58	2053,63	361,95	1.783	256643,13	51428,01	100835,58	1093,65
<i>Roupala montana</i>	1.783	Sem valor	Sem valor	Sem valor	Sem valor	1.783	396420,91	65772,87	155754,67	1204,05
<i>Byrsonima sericea</i>	1.783	14097,61	6459,58	5538,77	486,05	1.783	Sem valor	Sem valor	Sem valor	Sem valor
<i>Alseis pickelii</i>	1.783	10507,35	3299,80	4128,14	373,81	1.783	Sem valor	Sem valor	Sem valor	Sem valor
<i>Lecythis lurida</i>	1.783	5054,67	4699,01	1985,77	429,20	1.783	45484,78	15483,96	17870,87	684,06
<i>Manilkara rufula</i>	1.783	18474,84	6986,36	7258,59	501,17	1.783	71680,37	19784,28	28163,19	752,84
<i>Pouteria gardneri</i>	1.783	Sem valor	Sem valor	Sem valor	Sem valor	1.783	103203,35	21925,61	40548,66	783,70
<i>Myrcia polyantha</i>	1.783	8274,43	4602,82	3250,82	425,74	1.783	32298,44	15483,96	12689,92	684,06
<i>Byrsonima verbascifolia</i>	1.783	10962,30	4666,83	4306,90	428,05	1.783	Sem valor	Sem valor	Sem valor	Sem valor
<i>Guapira graciliflora</i>	1.783	10593,51	4152,85	4162,00	408,96	1.783	110857,60	28381,84	43556,04	866,89
Total geral	-	160.027,14	67.827,79	62.872,20	5.753,56	-	1.254.580,35	303.671,80	492.925,68	9.138,80

Fonte: Autora, 2024.

6.7 Levantamento do Potencial de Sequestro de CO₂ na APA do Pratagy

A FAO recomenda medir o carbono em cada um desses compartimentos e somá-los para obter o total de carbono na floresta. Em biomas florestais, a maior parte da biomassa vegetal está na parte aérea das árvores com valores DAP maiores (80%). No entanto, foi possível obter dados apenas de três dos cinco compartimentos necessários para a estimativa do carbono total, que são: biomassa viva acima do solo, biomassa viva abaixo do solo e o solo. Na Tabela 4, apresenta-se o estoque total de biomassa e carbono, calculados com base nas equações padrão.

Tabela 4 - Total geral da dinâmica dos estoques de biomassa e carbono

Dinâmica dos estoques	Total geral		Total por estoque
	Aéreo	Raízes	
Biomassa (t)	1.414.607,49	371.499,59	1.786.107,08
Carbono (t)	555.797,89	14.892,36	570.690,24

Fonte: Autora, 2024.

É importante destacar que este levantamento considera apenas as espécies mencionadas no Quadro 4, levando em consideração o número de mudas plantadas e a área que elas abrangeriam. Após a identificação das áreas degradadas, foi possível determinar a área total não vegetada a ser utilizada para a revegetação, que corresponde a 21,4 hectares. Com base no método de revegetação proposto pela EMBRAPA e no número de mudas por espécie definido anteriormente, é possível estimar o total de carbono armazenado em toneladas para essa área. Assim, o estoque de biomassa total e de carbono armazenado no sistema de revegetação será de 83.462,95 t.ha⁻¹ e 26.667,77 t.ha⁻¹, respectivamente.

Para o cálculo do sequestro total de carbono do sistema, que inclui o carbono fixado no solo e o carbono presente na vegetação (compartimentos aéreo e radicular), foi adotado o valor de 50 tC.ha⁻¹ para o carbono armazenado no solo. Esse valor foi escolhido como referência para os cálculos, pois está dentro do intervalo médio observado para a APA, que varia de 40 a 50 tC.ha⁻¹, com algumas regiões alcançando até 60 tC.ha⁻¹. A opção por esse valor médio visa representar de maneira mais precisa o estoque de carbono na maior parte da região, sem levar em consideração os valores mais elevados encontrados apenas em áreas específicas. Logo, satisfazendo a Equação 1, temos que o valor estimado para o sequestro de CO₂ nas áreas não vegetadas da APA do Pratagy é de **98.054,21 tCO₂.ha⁻¹**.

A metodologia de Wojciechowski (2015), utilizada como referência para este estudo, permite a comparação dos resultados obtidos, mesmo com as diferenças entre os tipos de

floresta. Embora o estudo de Wojciechowski tenha abordado a floresta ombrófila mista (ou floresta de araucárias) do sul do país, e este trabalho tenha focado na floresta ombrófila densa, típica da Mata Atlântica e da APA do Pratagy, ambas as pesquisas utilizaram o mesmo método e as equações aplicadas foram adequadas para ambos os ecossistemas. Vale ressaltar que a área estudada pelo autor era significativamente maior que a área degradada definida para este estudo, o que resultou em um volume de carbono sequestrado consideravelmente maior.

6.8 Simulação de Revegetação em Áreas Agrícolas Intensivas

A revegetação de áreas agrícolas intensivas consolidadas em Áreas de Proteção Ambiental (APAs), como a APA do Pratagy, é essencial para promover a recuperação ambiental e assegurar a preservação das condições naturais do bioma e da biodiversidade local. Essa estratégia também desempenha um papel importante no sequestro de carbono, contribuindo para a mitigação das mudanças climáticas e para a sustentabilidade a longo prazo da área protegida. Como apresentado no Quadro 3, aproximadamente 6.853,69 hectares da APA são ocupados por plantação de cana-de-açúcar, pastagem e mosaicos de uso agropecuário. O estado de Alagoas, grande produtor de açúcar e etanol derivados da cana-de-açúcar, além de ser um relevante investidor no setor agrícola, tende a priorizar essas áreas para a produção de culturas de alto retorno financeiro. Foi realizada uma simulação preliminar, apenas com fins comparativos, para estimar o potencial de sequestro de carbono na área agrícola, que possui maior extensão. A simulação utilizou os mesmos métodos aplicados à área não vegetada de 21,4 hectares mencionada anteriormente. Vale destacar que essa área não vegetada é aproximadamente 320 vezes menor que a área destinada ao uso agropecuário na simulação.

Seguindo a proporção de plantio sugerida pela EMBRAPA de 2 m x 2 m (2.500 plantas por hectare), a mesma aplicada anteriormente, o cálculo foi realizado multiplicando o número de mudas por hectare pela área total, conforme a fórmula abaixo:

$$\textit{Total de mudas} = \textit{mudas por hectare} \times \textit{área total em hectares} \quad (\textbf{Equação 2})$$

Aplicando os valores disponíveis:

$$\textit{Total de mudas} = 2.500 \times 6.853,69 = 17.134.225$$

Assim, serão necessárias 17.134.225 mudas para cobrir adequadamente os 6.853,69 hectares da área. Essas mudas estarão distribuídas entre 15 espécies, promovendo maior diversidade e resiliência no processo de revegetação. Caso as mudas sejam distribuídas de

forma igual entre as espécies, serão plantadas cerca de 1.142.282 mudas de cada uma. Dentre essas, 571.141 mudas serão destinadas a espécies com DAP (Diâmetro à Altura do Peito) entre 5 e 10 cm, enquanto 571.141 mudas serão para espécies com DAP superior a 10 cm, garantindo a cobertura adequada e diversificada da área.

Utilizando as mesmas equações padrão, chegamos aos seguintes valores de volume, biomassa e carbono:

Tabela 5 - Total geral da dinâmica dos estoques de biomassa e carbono para a área agrícola

Dinâmica dos estoques	Total geral		Total por estoque
	Aéreo	Raízes	
Biomassa (t)	453.135.353,49	119.000.924,10	572.136.277,59
Carbono (t)	178.036.433,40	4.770.406,39	182.806.839,79
Dinâmica dos estoques	Total geral		Total por estoque
	DAP ≤ 5 ≤ 10	DAP ≥ 10	
Volume (m³)	175.688,37	836.319,18	1.012.007,55

Fonte: Autora, 2024.

Este levantamento considera apenas as espécies listadas no Quadro 4, levando em consideração o número de mudas plantadas e a área coberta por elas. Após identificar as áreas modificadas pela paisagem agropecuária, foi determinado que a área de 6.853,69 hectares correspondente seria simulada para revegetação. Com base no método de revegetação da EMBRAPA e no número de mudas por espécie, estimou-se que o estoque total de biomassa na área será de 83.478,58 t.ha⁻¹, e o carbono armazenado será de 26.672,76 t.ha⁻¹. O sequestro total de carbono, somando o carbono fixado no solo e na vegetação, é estimado em 98.072,53 tCO₂.ha⁻¹, considerando 50 tC.ha⁻¹ para o carbono fixado no solo.

7 CONCLUSÃO

A identificação de áreas degradadas e a proposta de revegetação indicam o potencial para restaurar a cobertura vegetal, contribuindo para o sequestro de carbono e o restabelecimento dos serviços ecossistêmicos da APA. A revegetação planejada para 21,4 hectares com 53.500 mudas distribui espécies nativas do bioma da Mata Atlântica, visando aumentar a diversidade e a resiliência da vegetação. A estimativa de 98.054,21 tCO₂.ha⁻¹ destaca a importância dessa estratégia para a retenção de carbono e a mitigação das emissões de gases de efeito estufa, corroborando a relevância de árvores de maior DAP para o armazenamento de carbono, conforme sugerido pelos dados da biomassa e pelo levantamento de carbono orgânico no solo.

Por fim, a simulação de revegetação em áreas de monocultura intensiva reforça a viabilidade de adotar práticas de conservação mesmo em áreas economicamente exploradas, como a plantação de cana-de-açúcar. Essa estratégia é fundamental para a conservação da biodiversidade e a manutenção dos recursos hídricos, além de mitigar os impactos das mudanças climáticas. Entretanto, apesar da maior área relacionada a atividades agrícolas ter maior potencial de sequestro de carbono, a simulação computacional resultou em valores próximos aos da área menor não vegetada. Isso pode ser devido a inconsistências nos parâmetros de entrada, como densidade de plantio e taxa de crescimento das espécies, que podem ter sido aplicados de forma semelhante em ambas as áreas.

Foram enfrentadas algumas dificuldades metodológicas que impactaram a análise e os resultados obtidos. A ausência de fórmulas específicas e amplamente estabelecidas para estimar o sequestro de CO₂ nas diferentes espécies nativas selecionadas para a revegetação dificultou a obtenção de resultados mais precisos. Também nesse aspecto, a utilização de fórmulas simplificadas para estimar o sequestro de carbono também pode não refletir adequadamente as diferenças entre áreas de tamanhos distintos. Além disso, a análise temporal do sequestro de carbono foi um desafio, uma vez que, para realizar uma projeção precisa, seria necessário comparar dados futuros com amostras coletadas ao longo do tempo ou contar com recursos visuais que permitissem monitorar a evolução da cobertura vegetal. Na ausência dessas informações, a projeção do impacto da revegetação no sequestro de carbono tornou-se limitada.

Contudo, esses esforços de revegetação na APA do Pratagy em conjunto propiciam um caminho sustentável para equilibrar a preservação ambiental e as necessidades produtivas da região, promovendo um modelo de gestão que beneficia o ecossistema local e a sociedade.

REFERÊNCIAS:

- ALEMU, BINYAM. **The role of forest and soil carbon sequestrations on climate change mitigation**. Journal of Environment and Earth Science, v. 4, n. 13, p. 98-108, 2014.
- ALMEIDA, D. S. **Histórico e tendências atuais da recuperação ambiental**. In: **RECUPERAÇÃO AMBIENTAL DA MATA ATLÂNTICA** [online]. 3. ed. rev. e ampl. Ilhéus, BA: Editus, 2016. p. 18-21. ISBN 978-85-7455-440-2.
- ALMEIDA, R. O. P. O. **Revegetação de áreas mineradas: estudo dos procedimentos aplicados em minerações de areia**. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.
- ARAÚJO, E. V.; ARAÚJO, M. do S. B.; SAMPAIO, Y. S. **Impactos ambientais da agricultura no processo de desertificação no Nordeste do Brasil**. Revista de Geografia, v. 22, n. 1, p. 90-112, 2008.
- AREVALO, L. A.; ALEGRE, J. C.; MONTOYA VILCAHUAMAN, L. J. **Metodologia para estimar o estoque de carbono em diferentes sistemas de uso da terra**. Colombo: Embrapa Florestas, 2002. Documentos, 73, 41 p. ISSN 1517-536X.
- BIERAS, A. C.; SOUZA, T. M.; ABDO, M. T. V. N.; VALARETTO, R. S.; MARTINS, A. L. M. **O uso de técnicas de nucleação na restauração de áreas degradadas no Polo Centro Norte-APTA, Pindorama-SP e no IMES-Catanduva-SP**. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, v. 10, n. 3, p. 14, 30 dez. 2015.
- BRASIL. Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da **Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências**. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/-L9985.htm. Acesso em: 15 ago. 2024.
- BRIANEZI, D.; JACOVINE, L. A. G.; SOARES, C. P. B.; GONÇALVES, W.; ROCHA, S. J. S. **Balanco de emissões e remoções de gases de efeito estufa no campus da Universidade Federal de Viçosa**. Floresta e Ambiente, v. 21, n. 2, p. 182-191, 2014.
- BRUCE, J. P.; FROME, M.; HAITES, E.; JANZEN, H.; LAL, R.; PAUSTIAN, K. **Carbon sequestration in soils**. Journal of Soil and Water Conservation, v. 54, p. 382-389, 1999.
- CARVALHO, J. L. N.; AVANZI, J. C.; SILVA, M. L. N.; MELLO, C. R. de; CERRI, C. E. P. **Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 34, n. 2, p. 277-290, abr. 2010.
- CHANG, M. Y. **Sequestro florestal do carbono no Brasil: dimensões políticas, socioeconômicas e ecológicas**. São Paulo: Annablume, 2004. 280 p.
- DALLA CORTE, A. P.; SANQUETTA, C. R. **Quantificação do estoque de carbono fixado em reflorestamentos de Pinus sp. na área de domínio da Floresta Ombrófila Mista no Paraná**. Revista Cerne, Lavras, v. 13, n. 1, 2007.

ESTEVEZ, A. O.; SOUZA, M. P. **Avaliação Ambiental Estratégica e as Áreas de Proteção Ambiental**. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 19, n. spe, p. 77–86, 2014.

FAO. **Global Forest Resources Assessment 2000**. FAO Forestry Paper 140., 2001.

FEREZ, A. P. C. **Efeito de práticas silviculturais sobre as taxas iniciais de seqüestro de carbono em plantios de restauração da Mata Atlântica**. Piracicaba, 2010. 104 p.

IBAMA. **Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis**. Instrução Normativa nº 04, de 13 de abril de 2011. Dispõe sobre os procedimentos para elaboração de Projeto de Recuperação de Área Degradada - PRAD ou Área Alterada. Brasília, DF: IBAMA, 2011. Disponível em: <https://www.ibama.gov.br/component/legislacao/?view=legislacao&legislacao=118064>. Acesso em: 26 abr. 2024.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. 2ª ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2012.

ICMBio – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. **Atlas dos Manguezais do Brasil**. Brasília: ICMBio, 2011.

IPCC. **IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry**, 2003.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico**. 2010. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9662-censo-demografico-2010.html?edicao=9758>. Acesso em: 20 ago. 2024.

KRONHARDT, Míriam Helena. **Sistemas agroflorestais como proposta para a recuperação de áreas degradadas no RS**, Brasil. 2018.

LIMA, M. T. D.; MACEDO, L. O. B.; VIGNANDI, R. S. **Valoração das emissões de GEE oriundas de desmatamento na Bacia do Rio São Lourenço, Mato Grosso, Brasil**. Revista em Agronegócio e Meio Ambiente, v. 16, n. 4, p. 1-21, 30 nov. 2023.

MACHADO, A.; MARTINS, A. P. M.; SANQUETTA, C. R.; DALLA CORTE, A. P.; WOJCIECHOWSKI, J.; MACHADO, S. do A.; SANTOS, R.; LANDIM, I. A. de M. **Dinâmica do Volume, Biomassa e Carbono na Mata Atlântica por Ferramenta de Detecção de Mudanças**. *Nativa*, [S. l.], v. 7, n. 4, p. 437–444, 2019. DOI: 10.31413/nativa.v7i4.6935.

MELO, L. S. A. de; BARBOSA, M. de F. N. **Análise dos ODS divulgados nos relatórios de sustentabilidade das empresas com alto potencial poluidor, integrantes do setor de Petróleo, Gás e Biocombustível da B3**. Reunir: Revista de Administração, Contabilidade e Sustentabilidade, v. 13, n. 1, p. 77-94, 22 mar. 2023.

MOGNON, F. et al. **Estimativas de Biomassa para plantas de bambu do gênero Guadua**. Revista Ceres, V.61, n.6, Viçosa, p. 900-906, dez. 2014.

NUNNENKAMP, C. H.; CORTE, A. P. dalla. **Emissão de gases de efeito estufa e proposta de projeto para compensação: um estudo de caso e-commerce**. Biofix Scientific Journal, v. 2, n. 1, p. 69, 31 maio 2017.

OLDEMAN, L. R. **The global extent of soil degradation**. In: WAGENINGEN, THE NETHERLANDS. ISRIC Bi-Annual Report 1991-1992, p. 19-36, 1991.

PIVA, L. R. de O.; SANQUETTA, C. R.; WOJCIECHOWSKI, J.; CORTE, A. P. dalla. **Estoque de biomassa e carbono na Amazônia brasileira: uma nova abordagem**. Revista em Agronegócio e Meio Ambiente, v. 14, n. 2, p. 1-20, 1 dez. 2021.

QUINTÃO, J. M. B.; CANTINHO, R. Z.; ALBUQUERQUE, E. R. G. M. de; MARACAHIPES, L.; BUSTAMANTE, M. M. C. **Mudanças do uso e cobertura da terra no Brasil, emissões de GEE e políticas em curso**. *Ciência e Cultura*, v. 73, n. 1, p. 18-24, jan. 2021.

SALATI, E. **Emissão x sequestro de CO₂ - Uma nova oportunidade de negócios para o Brasil**. Rio de Janeiro, 1994.

SANQUETTA, C. R.; BALBINOT, R. **Metodologias para Determinação de Biomassa Florestal**, 2004.

SANQUETTA, C. R.; MATTEI, E. **Perspectivas de recuperação e manejo sustentável das florestas de Araucária**. Curitiba: PELD/CNPQ: [s.n.], v. 297p., 2006.

SANTIAGO, Dimas de Barros; GOMES, Heliofábio Barros. **Estudo de Ilhas de Calor no Município de Maceió/AL usando Dados Orbitais do Landsat 5**. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 09, n. 03, abril de 2016.

SCHAEFFER-NOVELLI, Yara. **Manguezal ecossistema entre a terra e o mar**. São Paulo: Caribbean Ecological Research. . Acesso em: 01 nov. 2024. , 1995

SCHULZE, E.D.; WIRTH, C.; HEIMANN, M. **Managing forests after Kyoto**. *Science, Washington*, v. 289, p. 2058–2059, 2000.

SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO. **Sistema Nacional de Informações Florestais**. Disponível em: <https://www.gov.br/florestal/pt-br>. Acesso em: 08 de ago. 2024

SOUZA, Helson Gomes de; TABOSA, Francisco José Silva. **Análise das relações entre crescimento econômico e emissões de gases de efeito estufa na América Latina**. *Economia Aplicada*, [S.L.], v. 23, n. 3, p. 157-176, 1 set. 2019. Universidade de São Paulo, Agência USP de Gestão da Informação Acadêmica (AGUIA).

STÜRMER, Sidinei Leandro Klöckner; ROSSATO, Otávio Bagiotto; COPETTI, André Carlos Cruz; SANTOS, Danilo Rheinheimer dos; CALEGARI, Ademir; BRUM, Betania. **"Variações nos teores de carbono orgânico em função do desmatamento e revegetação natural do solo"**. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 21, n. 2, p. 241-250, abr.-jun., 2011.

TAVARES, S. R. L. et al. (2008). **Curso de recuperação de áreas degradadas: a visão da Ciência do Solo no contexto do diagnóstico, manejo, indicadores de monitoramento e estratégias de recuperação**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 228 p.: il. (Documentos / Embrapa Solos, ISSN 1517-2627; 103). Dados eletrônicos.

WADT, P. G. S. et al. (2003). "**Práticas de conservação do solo e recuperação de áreas degradadas.**" Rio Branco, AC: Embrapa Acre. (Embrapa Acre. Documentos, 90). 29 p. il.

WOJCIECHOWSKI, Jaime. **JCARBON - software na web com data mining para estimativas de volume, biomassa e carbono em florestas.** Curitiba, 2015.

ZAKARYA, G. Y., MOSTEFA, B., ABBES, S. M. & SEGHIR, G. M. '**Factors affecting CO₂ emissions in the BRICS countries: a panel data analysis**', Procedia Economics and Finance. 2015, 26, 114–125.