

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CAMPUS FREDERICO WESTPHALEN  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL  
CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL

Liandra da Silva Denardi

**FLORÍSTICA E ESTOQUE DE CARBONO EM ÁREAS EM PROCESSO  
DE RESTAURAÇÃO FLORESTAL NO NOROESTE DO RIO GRANDE  
DO SUL**

Frederico Westphalen, RS

2023

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, expresso profunda gratidão a minha família pelo constante apoio, incentivo e compreensão ao longo desta jornada. Cada um de vocês foi fundamental para superar desafios e alcançar este momento tão importante.

Agradeço ao meu orientador, Dr. Felipe Turchetto, pela orientação dedicada, paciência e valiosas sugestões que foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho. Seu comprometimento e conhecimento foram inspiradores e enriqueceram minha experiência acadêmica.

A todos os amigos e colegas que estiveram ao meu lado ao longo dos anos de graduação e contribuíram para que esta etapa fosse concluída, levo cada um de vocês no meu coração.

Ao meu companheiro de vida, por se fazer sempre presente e evoluir comigo, por todo o apoio, carinho e compreensão.

Por fim, expresso minha gratidão à Universidade Federal de Santa Maria e a todos os professores pela oportunidade de me graduar e exercer uma profissão tão linda e cheia de possibilidades.

## RESUMO

### FLORÍSTICA E ESTOQUE DE CARBONO EM ÁREAS EM PROCESSO DE RESTAURAÇÃO FLORESTAL NO NOROESTE DO RIO GRANDE DO SUL

AUTORA: Liandra da Silva Denardi

ORIENTADOR: Felipe Turchetto

O desmatamento e a degradação florestal são ameaças críticas à biodiversidade e à provisão de serviços ecossistêmicos, sendo a Mata Atlântica uma das formações florestais mais ameaçadas do mundo. A restauração florestal emerge como uma ferramenta crucial para recuperar as funções ecológicas de ecossistemas degradados. Assim, o plantio de espécies arbóreas é altamente benéfico na restauração florestal, uma vez que aumenta a viabilidade de ocorrer a sucessão secundária ou acelerar esse processo. Dentre os benefícios da restauração florestal deve-se enfatizar que a mesma é uma ferramenta crucial para neutralizar o carbono e combater as mudanças climáticas. O potencial de sequestro de carbono em áreas alteradas em processo de recuperação no planeta é estimado em  $4,4 \text{ Pg C ano}^{-1}$ . Com isso, o presente estudo teve como objetivo analisar a riqueza, o aporte de biomassa e o estoque de carbono da biomassa acima do solo e da serapilheira em áreas em processo de restauração florestal no sul do Bioma Mata Atlântica. O estudo foi realizado em três áreas em processo de restauração florestal, sendo área em processo de restauração ativa com espécies nativas (APRA1); área em processo de restauração ativa com espécies nativas e exóticas (APRA2) e área em processo de restauração passiva (APRP). Foi realizado inventário fitossociológico, e posteriormente, determinou-se a riqueza e a biomassa acima do solo (BAS). A quantificação da biomassa na camada de serapilheira (BS) foi quantificada por meio de molduras de  $0,0625\text{m}^2$ . A partir dos valores de biomassa foram determinados os estoques de carbono para os dois compartimentos, nas três áreas estudadas. Entre as áreas de estudo, constatou-se maior número de espécies na APRA1, constatando-se a presença de 40 espécies. Dentre as espécies amostradas na APRA1, as que apresentaram maior IVC foram *Sebastiania commersoniana*, *Prunus myrtifolia*, *Cupania vernalis*, *Eugenia uniflora* e *Jacaranda puberula*. No que se refere a biomassa e estoque de carbono na biomassa acima do solo, verificou-se diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre as áreas de estudo. A APRA1 mostrou as maiores médias de BAS e carbono na biomassa acima do solo (CBA). A APRP, 13 anos após atividades antrópicas, apresentou resultado inferior a APRA1. Em contraste, a APRA2, após 3 anos do plantio de espécies nativas e exóticas, apresentou os menores valores de biomassa acima do solo e estoque de carbono. Enquanto os estoques de BS e carbono na camada de serapilheira foram superiores na APRP, sendo os menores valores obtidos na APRA2. A restauração ativa possibilita maior estoque de carbono na biomassa acima do solo em comparação com a passiva, considerando que o uso de plantios mistos de espécies nativas otimiza o uso de nutrientes em solos menos férteis. Desse modo, a restauração desempenha papel crucial na mitigação das mudanças climáticas, uma vez que possibilita o rápido crescimento e recobrimento e aumenta o número de espécies presentes na área, facilitando o processo de sucessão florestal.

**Palavras-chave:** Biodiversidade; Restauração ativa; Restauração passiva; Sequestro de carbono.

## ABSTRACT

### FLORISTIC AND CARBON STOCK IN AREAS UNDER THE FOREST RESTORATION PROCESS IN THE NORTHWEST OF RIO GRANDE DO SUL

AUTHOR: Liandra da Silva Denardi

ADVISOR: Felipe Turchetto

Deforestation and forest degradation are critical threats to biodiversity and the provision of ecosystem services, with the Atlantic Forest being one of the most threatened forest formations in the world. Forest restoration emerges as a crucial tool for recovering the ecological functions of degraded ecosystems. Thus, planting tree species is highly beneficial in forest restoration, as it increases the viability of secondary succession or accelerates this process. Among the benefits of forest restoration, it should be emphasized that it is a crucial tool for neutralizing carbon and combating climate change. The potential for carbon sequestration in altered areas undergoing recovery on the planet is estimated at 4.4 Pg C year<sup>-1</sup>. Therefore, the present study aimed to analyze the richness, biomass input and carbon stock of above-ground biomass and litter in areas undergoing forest restoration in the south of the Atlantic Forest Biome. The study was carried out in three areas in the process of forest restoration, being an area in the process of active restoration with native species (APRA1); area in the process of active restoration with native and exotic species (APRA2) and area in the process of passive restoration (APRP). A phytosociological inventory was carried out, and the richness and above-ground biomass (AGB) were subsequently determined. The quantification of biomass in the litter was quantified using 0.0625m<sup>2</sup> frames. From the biomass values, carbon stocks were determined for the two compartments in the three areas studied. Among the study areas, a greater number of species was found in APRA1, with the presence of 40 species. Among the species sampled in APRA1, those with the highest IVC were *Sebastiania commersoniana*, *Prunus myrtifolia*, *Cupania vernalis*, *Eugenia uniflora* and *Jacaranda puberula*. Regarding biomass and carbon stock in above-ground biomass, there was a significant difference ( $p < 0.05$ ) between the study areas. APRA1 showed the highest averages of AGB and carbon in aboveground biomass (CAGB). APRP, 13 years after anthropogenic activities, presented a lower result than APRA1. In contrast, APRA2, after 3 years of planting native and exotic species, presented the lowest values of above-ground biomass and carbon stock. While biomass and carbon stocks in the litter were higher in APRP, the lowest values were obtained in APRP2. Active restoration allows for greater carbon stock in above-ground biomass compared to passive restoration, considering that the use of mixed plantings of native species optimizes the use of nutrients in less fertile soils. In this way, restoration plays a crucial role in mitigating climate change, as it enables rapid growth and coverage and increases the number of species present in the area, facilitating the process of forest succession.

**Keywords:** Biodiversity; Active restoration; Passive restoration; Carbon sequestration.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Localização das áreas de estudo na região do Médio Alto Uruguai, RS, Brasil ..... 15
- Figura 2 - Áreas de estudo na região do Médio Alto Uruguai, RS. A – Área em processo de restauração ativa, com plantio misto de espécies nativas (APRA1); B - Área em processo de restauração ativa, com plantio misto de espécies nativas e exóticas (APRA2); C – área em processo de restauração passiva (APRP). ..... 17
- Figura 3 - Coleta de serapilheira acumulada com auxílio de moldura de 25 cm x 25 cm (A), área após a coleta da serapilheira (B) ..... 19
- Figura 4 - Relação entre o componente principal 1 (CP1) e o componente principal 2 (CP2) das variáveis observadas em três áreas em processo de restauração (APRA1, APRA2 e APRP), na região noroeste do Rio Grande do Sul. .... 27

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Equações alométricas utilizadas para estimar carbono em florestas tropicais .....	14
Tabela 2 - Descrição das áreas de estudo na região do Médio Alto Uruguai, RS, Brasil.....	16
Tabela 3 - Parâmetros fitossociológicos verificados nas áreas em processo de restauração florestas estudadas (APRA1, APRA2 e APRP), na região noroeste do Rio Grande do Sul .....	21
Tabela 4 - Biomassa acima do solo (BAS) e estoque de carbono (CBA) em três áreas em processo de restauração (APRA1, APRA2 e APRP), na região noroeste do Rio Grande do Sul .....	25
Tabela 5 - Área basal (AB), biomassa acima do solo (BAS), estoque de carbono e grupo ecológico (GE) das 5 espécies mais representativas em três áreas em processo de restauração (APRA1, APRA2 e APRP), na região noroeste do Rio Grande do Sul. ....	26
Tabela 6 - Biomassa da camada de serapilheira (BS) e estoque de carbono na camada de serapilheira (CS) em três áreas em processo de restauração (APRA1, APRA2 e APRP), na região noroeste do Rio Grande do Sul. ....	26

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>7</b>
1.1 OBJETIVOS.....	8
<b>1.1.1 Objetivo Geral .....</b>	<b>8</b>
<b>1.1.2 Objetivos Específicos.....</b>	<b>8</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>9</b>
2.1 BIOMA MATA ATLÂNTICA .....	9
2.2 RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA.....	10
2.3 RESTAURAÇÃO FLORESTAL E SEQUESTRO DE CARBONO .....	11
2.4 DETERMINAÇÃO DO ESTOQUE DE CARBONO .....	12
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>15</b>
3.1 LOCAL DE ESTUDO.....	15
3.2 AMOSTRAGEM E COLETA DE DADOS .....	18
<b>3.2.1 Inventário fitossociológico .....</b>	<b>18</b>
<b>3.2.2 Biomassa acima do solo.....</b>	<b>18</b>
<b>3.2.3 Serapilheira .....</b>	<b>19</b>
3.3 ANÁLISE DE DADOS .....	20
<b>4 RESULTADOS.....</b>	<b>20</b>
4.1 FLORÍSTICA E FITOSSOCIOLOGIA .....	20
4.2 BIOMASSA E ESTOQUE DE CARBONO .....	25
<b>5 DISCUSSÃO .....</b>	<b>28</b>
<b>6 CONCLUSÃO.....</b>	<b>31</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>33</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A Mata Atlântica é a segunda maior floresta tropical da América e representa um dos hotspots mundiais para a conservação da biodiversidade devido à sua alta taxa de espécies endêmicas e à ameaça iminente de extinção (MYERS et al., 2000). O bioma tem uma longa história de desmatamento e uso da terra desde a colonização do país até o presente, resultando em um bioma altamente fragmentado (NAZARENO et al., 2012). Devido a esta fragmentação, a Mata Atlântica perdeu aproximadamente 69 Tg C entre 2005 e 2014, o equivalente a 9–24% da perda anual total de carbono associada ao desmatamento tropical global (PÜTZ et al., 2014). Desse modo, a conservação depende do manejo sustentável, investimento em projetos de conservação e restauração, e identificação de áreas prioritárias para a proteção da biodiversidade.

A restauração florestal tem como objetivo principal reconstruir gradualmente uma floresta, buscando a recuperação da biodiversidade e a promoção da sustentabilidade ao longo do tempo (RODRIGUES et al., 2009). O objetivo final é alcançar, em prazos intermediários e prolongados, um equilíbrio nos processos e nas funções ecológicas que se assemelhe aos da floresta original (LAMB; GILMOUR, 2003). Deste modo, o plantio de espécies arbóreas nativas é altamente benéfico na restauração florestal, uma vez que aumenta a probabilidade de ocorrer a sucessão secundária ou acelerar esse processo (PARROTA et al., 1997). O plantio de espécies florestais é uma ferramenta efetiva na regeneração artificial, permitindo recuperar a forma e a estrutura do ecossistema (KAGEYAMA et al., 1992).

Dentre os benefícios da restauração florestal deve-se enfatizar que a mesma é uma ferramenta crucial para neutralizar o carbono e combater as mudanças climáticas (MORAIS et al., 2020; MIRANDA et al., 2021; HASSAN, 2009). Recuperar florestas é a forma mais simples e eficaz de remediar aquecimento global. O potencial de sequestro de carbono das áreas alteradas em processo de recuperação no planeta é estimado em 4,4 Pg C ano<sup>-1</sup> (HOUGHTON; NASSIKAS, 2018). Além disso, contribui para mitigação dos impactos do desmatamento e da degradação dos ecossistemas, visando a recuperação de áreas degradadas, controle da desertificação, restauração da biodiversidade e provisão de serviços ecossistêmicos (VAN OOSTEN, 2013; LOCATELLI et al., 2015). O desflorestamento é uma das principais causas do aumento nas concentrações de dióxido de carbono na atmosfera, levando a um aumento da temperatura do ar de aproximadamente 2°C (REBOITA et al., 2014). Isso intensifica a atividade dos decompositores, liberando carbono armazenado no solo e ampliando o efeito do aquecimento global (HOPKINS; TORN; TRUMBORE, 2012).

Nesse contexto, torna-se essencial a ampliação dos estudos em áreas de restauração florestal com enfoque no sequestro de carbono, uma vez que estudos dessa natureza ainda são incipientes e podem contribuir não somente como estímulo a preservação de áreas não afetadas por atividades antrópicas, mas também para a restauração de áreas já desflorestadas. As hipóteses de estudo são: (i) plantios mistos de espécies nativas e exóticas apresentam maior estoque de carbono quando comparados a plantios mistos de espécies nativas e a restauração passiva, mesmo que em um tempo menor; e (ii) restauração ativa com espécies nativas promove maior riqueza e estoque de carbono na biomassa acima do solo e serapilheira em comparação a restauração passiva.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

Caracterizar a riqueza, o aporte de biomassa e o estoque de carbono da biomassa acima do solo e da serapilheira em áreas em processo de restauração florestal no sul do Bioma Mata Atlântica.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Verificar a florística e parâmetros fitossociológicos em três áreas em processo de restauração florestal;
- Determinar a biomassa e o estoque de carbono presente na biomassa vegetal viva acima do solo em três áreas em processo de restauração florestal;
- Quantificar a biomassa e o estoque de carbono na camada de serapilheira em três áreas em processo de restauração florestal;
- Comparar o estoque de carbono em diferentes áreas em processo de restauração florestal no sul do bioma Mata Atlântica com diferentes idades.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 BIOMA MATA ATLÂNTICA

No Brasil, inicialmente, o bioma Mata Atlântica abrangia cerca de 1,3 milhões de quilômetros quadrados e, atualmente, possui apenas 12,4% da sua cobertura original (INPE; FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA, 2019). O bioma se estende do extremo sul ao extremo norte da costa marítima brasileira, e também nos territórios do Paraguai e da Argentina (TABARELLI et al., 2005). Subdividida acima de 23 graus de latitude sul, com variações amplas no relevo e na pluviosidade, a Mata Atlântica é integrada por uma afluência de tipologias ou unidades fitogeográficas, formando um mosaico vegetacional que origina a abundante biodiversidade caracterizada para o bioma (PINTO et al., 2009).

Conforme o Art. 2º nº 11.428 (Lei da Mata Atlântica) de 22 de dezembro de 2006, as formações florestais nativas e os ecossistemas associados que englobam o Bioma são: Floresta Ombrófila Densa; Floresta Ombrófila Mista, também intitulada de Mata de Araucárias; Floresta Ombrófila Aberta; Floresta Estacional Semidecidual; e Floresta Estacional Decidual, tal como os manguezais, as vegetações de restingas, campos de altitude, brejos interioranos e encaves florestais do Nordeste (BRASIL, 2006).

A Mata Atlântica abriga uma rica biodiversidade, sendo uma das formações vegetacionais mais relevantes do mundo. No entanto, também é conhecida por ser um dos biomas mais ameaçados, sendo considerado um *hotspot* para a conservação devido ao seu alto índice de espécies endêmicas e à possibilidade iminente de extinção (MYERS et al., 2000). A urbanização e expansão das fronteiras agropecuárias tem causado historicamente significativa perda de cobertura florestal (SCARANO; CEOTTO, 2015), resultando na perda de biodiversidade (CALMON et al., 2011) e degradação dos recursos naturais.

Os casos de desmatamento preexistentes decorreram na época da colonização do Brasil, período marcado por uma série de transformações de vegetações nativas em áreas de agricultura, pecuária, estradas e construções civis (SILVA, 2017), o resultado dessas transformações pode ser observado nas paisagens hoje veementemente dominadas pelo homem (PINTO et al., 2009). Consequentemente, a maioria dos animais e plantas ameaçados de extinção no Brasil pertencem ao ecossistema da Mata Atlântica. Das oito espécies brasileiras que foram consideradas extintas ou extintas na natureza, seis estavam originalmente distribuídas na Mata Atlântica (PAGLIA et al., 2008). Além disso, muitas outras espécies foram exterminadas local ou regionalmente. Ademais, a Mata Atlântica não apenas abriga uma grande

variedade de espécies, mas também é morada de diversas populações tradicionais e fornece água para mais de 122 milhões de pessoas. Assim, a preservação dos remanescentes da Mata Atlântica é crucial para garantir o desenvolvimento sustentável das comunidades existentes. De acordo com Pinto et al. 2006, a conservação das formações florestais da Mata Atlântica dependerá da implementação de práticas de manejo sustentável das espécies e ecossistemas, a fim de garantir a proteção de sua biodiversidade a médio e longo prazo. Portanto, é fundamental investir em projetos de conservação da biodiversidade da Mata Atlântica e em estudos de restauração para alcançar esse objetivo. A identificação das áreas prioritárias para a execução dessas ações torna-se crucial, levando em consideração que regiões que abrigam espécies endêmicas, que possuem maior diversidade ou que apresentam fitofisionomias únicas, devem ser consideradas para a aplicação mais urgente dessas iniciativas (PAGLIA, 2013).

## 2.2 RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA

O objetivo da restauração florestal consiste em promover a reconstrução gradual da floresta, em conjunto com a recuperação da biodiversidade e da sustentabilidade ao longo do tempo (RODRIGUES et al., 2010), uma vez que, em prazos intermediários e prolongados, processos e funções ecológicas devem se igualar aos da floresta original (LAMB; GILMOUR, 2003). De acordo com a Sociedade de Restauração Ecológica – (SER, 2009), o processo de restauração consiste em auxiliar a recuperação de um ecossistema que foi degradado, perturbado ou destruído, gerenciando a integridade ecológica que inclui uma ampla gama de variações na biodiversidade, processos ecológicos e estruturais, contextos históricos e regionais, além da adoção de práticas culturais sustentáveis.

As ações de restauração ecológica possuem uma história de desenvolvimento recente no Brasil, suas ações remontam ao século XIX e meados do século XX, quando foram iniciadas como uma forma de reverter os danos ambientais que afetavam a sociedade ou em decorrência do idealismo dos responsáveis por tais ações, sem que houvesse, ainda, uma imposição legal. Com o objetivo de tornar mais compreensível o progresso na área da restauração, uma síntese da evolução desta área no Brasil foi desenvolvida, com a divisão em fases. Apesar de serem definidas arbitrariamente, estas fases representam uma abstração didática de um processo contínuo no tempo, visando apenas a facilitação do entendimento dos avanços nesta área do conhecimento. (BRANCALION et al., 2015).

Durante as últimas três décadas do século XX, novos plantios de restauração foram desencadeados no Brasil devido a grandes demandas, como a reparação dos danos causados

pelas atividades de mineração e a necessidade de reflorestar as margens dos corpos d'água em áreas de influência de reservatórios de usinas hidrelétricas (RODRIGUES; BRANCALION, 2009). Esse período também marca o início do desenvolvimento das bases científicas da Ecologia da Restauração internacionalmente, com a publicação do livro "Restoration Ecology" no final da década de 1980 (JORDAN, 2003).

A utilização de plantios de espécies arbóreas nativas tem sido adotada na restauração de áreas degradadas com o objetivo de aumentar a probabilidade de ocorrer a sucessão secundária ou mesmo acelerar esse processo (PARROTA et al., 1997). O plantio de espécies florestais representa uma ferramenta efetiva de regeneração artificial para recuperar a forma e a estrutura do ecossistema (KAGEYAMA et al., 1992). No entanto, é importante compreender quais são as barreiras que impedem a regeneração natural e como ela ocorreria sem interferências antrópicas. O estabelecimento de espécies nativas lenhosas pode auxiliar na restauração, seja por meio da dispersão de propágulos ou por meio do sombreamento das gramíneas invasoras (HOLL; AIDE, 2011).

Desse modo, a avaliação e o monitoramento são essenciais para determinar se os objetivos estabelecidos para a restauração de uma área foram ou estão sendo gradualmente alcançados. A avaliação consiste na análise pontual de indicadores ou variáveis ambientais e populacionais da área restaurada, permitindo inferir se o projeto de restauração atingiu os objetivos definidos durante o planejamento (BRANCALION et al., 2012). Suding et al. (2015) sugerem que, em vez de usar uma única definição, os projetos de restauração devem ser avaliados com base em quatro princípios: 1) aumento da integridade ecológica; 2) sustentabilidade em longo prazo; 3) se a restauração é informada pelo passado e pelo futuro; e 4) benefícios e engajamento da sociedade.

### 2.3 RESTAURAÇÃO FLORESTAL E SEQUESTRO DE CARBONO

A restauração florestal pode ser uma ferramenta importante para a neutralização de carbono (MORAIS et al., 2020). O plantio de árvores é uma técnica amplamente utilizada na neutralização de carbono por empresas e instituições que visam combater as mudanças climáticas (MIRANDA et al., 2021; HASSAN, 2009). Nos últimos anos, a restauração florestal tem sido cada vez mais enfatizada na agenda ambiental internacional como uma estratégia para mitigar os impactos do desmatamento e da degradação dos ecossistemas, que acompanham o desenvolvimento econômico em muitos países. As iniciativas de reflorestamento têm como objetivo principal a recuperação de bacias hidrográficas e áreas produtivas degradadas, bem

como o controle da desertificação, a restauração da biodiversidade, a mitigação das mudanças climáticas e a provisão de serviços ecossistêmicos (VAN OOSTEN, 2013; LOCATELLI et al., 2015).

As florestas desempenham um papel fundamental como o principal reservatório de carbono nos ecossistemas terrestres (FALKOWSKI et al., 2000) uma vez que a vegetação e o solo possuem alta capacidade em remover carbono da atmosfera, conseqüentemente elas desempenham um papel crucial na regulação das emissões de gases de efeito estufa na atmosfera (SCHLESINGER; ANDREWS, 2000); (SMITH et al., 2013). Esse papel desempenhado é definido como um serviço ecossistêmico de regulação climática (DE GROOT et al., 2010), pois influi na mitigação dos efeitos das mudanças climáticas (STUART CHAPIN III et al., 2009). Os estoques de carbono representam a quantidade de dióxido de carbono que foi removido da atmosfera e armazenado nos organismos vivos. As árvores possuem a capacidade de absorver e fixar carbono, e essa capacidade varia de acordo com a espécie, taxa de crescimento, longevidade, localização, clima e período de crescimento, entre outros fatores (DIMANDE, 2018).

No entanto, o desflorestamento é reconhecido como uma das principais causas do aumento nas concentrações de dióxido de carbono na atmosfera. Esse fenômeno tem sido associado a um aumento de aproximadamente 2°C na temperatura do ar na América do Sul entre os anos de 2010 e 2040 (REBOITA et al., 2014). Como consequência, a atividade dos decompositores é intensificada, resultando na liberação de carbono armazenado no solo na forma de matéria orgânica para a atmosfera, isso amplifica o efeito do aquecimento global (HOPKINS et al., 2012). Esse cenário evidencia a necessidade de restaurar áreas desmatadas para aumentar o sequestro e o armazenamento de carbono e assim contribuir para a mitigação das mudanças climáticas (JOLY et al., 2014)

#### 2.4 DETERMINAÇÃO DO ESTOQUE DE CARBONO

As abordagens mais utilizadas para estimar o estoque de carbono envolvem a utilização de métodos diretos e métodos indiretos. O método direto envolve a coleta de amostras destrutivas, seguido pela medição do peso de suas partes individuais, incluindo o tronco, galhos, folhas e raízes, gerando modelos alométricos específicos da área (ZANINI, 2018).

O método indireto ocorre através da estimativa da biomassa por meio de equações alométricas já existentes ou por meio de sensoriamento remoto (Tabela 1) (BOMBELLI et al.,

2009). Nesse contexto, os modelos matemáticos devem ser capazes de estimar a biomassa e o carbono das árvores usando variáveis facilmente mensuráveis, como o diâmetro à altura do peito (DAP) e a altura, evitando a necessidade de métodos diretos, como o corte e a pesagem completa das árvores (MIRANDA, 2008).

Em contrapartida, o estoque de carbono pode ser calculado multiplicando-se a biomassa pelo teor de carbono. Esse teor de carbono pode ser adquirido por meio de referências na literatura especializada ou por meio de análises laboratoriais específicas, um método que consome tempo e pode ser dispendioso, tornando frequentemente sua aplicação inviável. Uma alternativa viável é a utilização de equações alométricas que incorporam variáveis de fácil obtenção (SILVA et al., 2015).

Tabela 1 - Equações alométricas utilizadas para estimar carbono em florestas tropicais

<b>Autor</b>	<b>Tipologia</b>	<b>Histórico da área</b>	<b>Equação</b>
Brown (1997)	Mata Atlântica – Floresta Ombrófila Densa (Cachoeiras de Macacu – RJ)	Área em processo de restauração	$Biomassa = \exp(-2,134 + 2,53 \times \ln DAP)$
Tiepolo et al. (2002)	Mata Atlântica – Floresta Ombrófila Densa (Cachoeiras de Macacu – RJ) – (deve ser aplicada especificamente para indivíduos pertencentes à família Arecaceae)	Floresta nativa	$Biomassa = (0,3999 + (7,907 \times Ht))$
Scolforo et al. (2008)	Floresta Estacional Semidecidual (Itutinga – MG)	Área em processo de restauração	$\ln(C) = -12,3034390630 + 2,6584231780 \times \ln(DAP) + 0,5711719721 \times \ln(H)$
Higuchi et al. (1998)	Floresta Estacional Semidecidual Aluvial Alterada (Dueré – TO)	Floresta nativa	$CA = (0,077 + 0,492 \times DAP^2 \times H) \times 0,6 \times 0,5$
Chave et al. (2014)	38 Locais – Diferentes tipos de vegetação	Floresta nativa	$\ln(AGB) = \alpha + \beta \ln(\rho \times D^2 \times H) + \varepsilon$

Onde: DAP= Diâmetro a altura do peito; Ht= Altura total; H= Altura total; CA= Estoque de carbono do componente arbóreo aéreo; AGB= Estoque de biomassa acima do solo; D= Diâmetro a altura do peito.

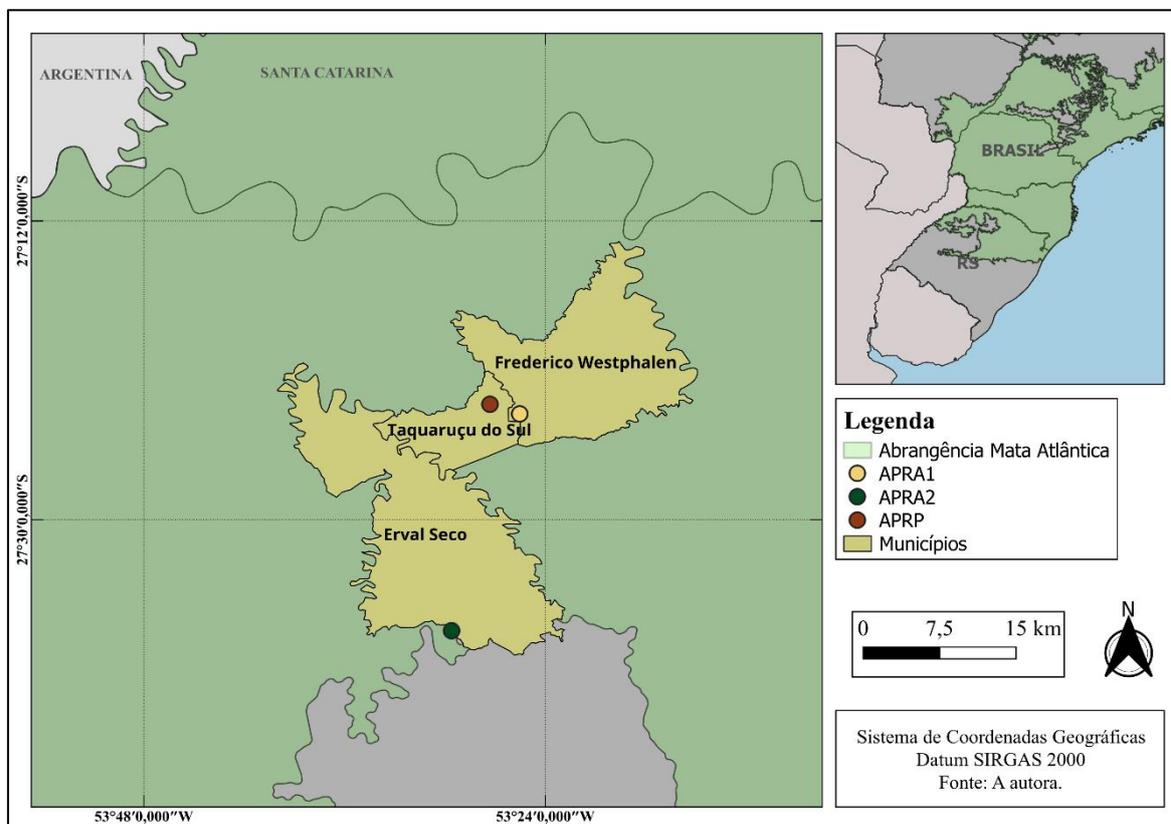
Fonte: A Autora (2023)

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 LOCAL DE ESTUDO

O estudo foi realizado em três áreas em processo de restauração florestal localizadas no sul do Bioma Mata Atlântica, na região do Médio Alto Uruguai (Figura 1). De acordo com a classificação climática de Köppen, a região de estudo apresenta clima subtropical, classificado como "Cfa", com média anual de precipitação entre 1400 e 1760 mm e temperaturas entre -3°C e 30°C (ALVARES et al., 2013).

Figura 1 – Localização das áreas de estudo na região do Médio Alto Uruguai, RS, Brasil



Fonte: A Autora (2023)

A vegetação da região de estudo é classificada como Floresta Estacional Decidual, caracterizada por um estrato arbóreo superior composto principalmente por árvores altas e emergentes, que geralmente perdem suas folhas sazonalmente. A grápia (*Apuleia leiocarpa*) é a espécie mais comum nessas formações florestais, juntamente com a canafístula (*Peltophorum dubium*), o louro pardo (*Cordia trichotoma*), a canjerana

(*Cabralea oblongifoliola*) e o angico-vermelho (*Parapiptadenia rigida*), que também ocorrem como árvores emergentes (REITZ et al., 1988).

Para a realização do estudo foram selecionadas três áreas em processo de restauração: (I) Área em processo de restauração ativa com espécies nativas (APRA1); (II) Área em processo de restauração ativa com espécies nativas e exóticas (APRA2); e (III) Área em processo de restauração passiva (APRP). As três áreas de estudo podem ser caracterizadas conforme Tabela 2.

Tabela 2 - Descrição das áreas de estudo na região do Médio Alto Uruguai, RS, Brasil

Área de estudo	Descrição
Restauração ativa (APRA1)	Área de 0,45 ha localizada no município de Frederico Westphalen (27°23'31"S e 53°25'32"W). A área encontra-se em processo de restauração ativa, implantada no ano de 2011. Na área foram plantadas as espécies <i>Araucaria angustifolia</i> (Bertol.) Kuntze, <i>Mimosa scabrella</i> Benth, <i>Schizolobium parahyba</i> Vell. Blake e <i>Trichilia clausenii</i> C. DC. Anterior a intervenção, a área era constituída por um plantio de <i>Eucalyptus</i> spp., explorado no ano de 2009.
Restauração ativa (APRA2)	Área de 0,48 ha localizada no município de Erval Seco (27°36'40.21"S e 53°29'34.59"W). Na área foi realizado um plantio misto de espécies florestais nativas e exóticas comerciais em setembro de 2020. Para o plantio foram utilizadas as espécies: <i>Araucaria angustifolia</i> (Bertol.) Kuntze, <i>Vitex megapotamica</i> (Spreng.) Moldenke, <i>Cedrela fissilis</i> Vell., <i>Cordia americana</i> (L.) Gottschling & J.S.Mill., <i>Acacia mearnsii</i> De Wild. e <i>Eucalyptus dunnii</i> Maiden. Anteriormente a área era destinada à produção de monoculturas agrícolas (soja, milho e trigo).
Restauração passiva (APRP)	Área de 0,42 ha localizada no município de Taquaruçu do Sul (27°23'02"S 53°27'19"W) em processo de restauração passiva. A área era utilizada para o cultivo agrícola e encontra-se em processo de regeneração natural desde 2010.

Fonte: A autora (2023)

Figura 2 - Áreas de estudo na região do Médio Alto Uruguai, RS. A – Área em processo de restauração ativa, com plantio misto de espécies nativas (APRA1); B - Área em processo de restauração ativa, com plantio misto de espécies nativas e exóticas (APRA2); C – área em processo de restauração passiva (APRP).



Fonte: A autora (2023)

## 3.2 AMOSTRAGEM E COLETA DE DADOS

### 3.2.1 Inventário fitossociológico

Para a coleta dos dados utilizou-se parcelas de 10 m x 10 m (100 m<sup>2</sup>), as quais foram distribuídas de forma aleatória em cada uma das três áreas avaliadas. Nas áreas APRA1 e APRA2 utilizou-se 6 parcelas, enquanto na APRP foram instaladas 5 parcelas, totalizando 17 parcelas entre as três áreas.

Neste estudo foram avaliados todos os indivíduos com Diâmetro a Altura do Peito, a 1,30 m do solo (DAP) maior ou igual a 1 cm, sendo mensurado o DAP, com o auxílio de uma fita métrica e a altura total, de forma visual. As espécies que não foram identificadas no local tiveram material botânico coletado e posteriormente avaliado, por meio de consulta bibliográfica e/ou auxílio de especialista. As espécies foram classificadas nas famílias botânicas reconhecidas pelo Angiosperm Phylogeny Group IV (APG IV 2016), e foi realizada a atualização dos binomes científicos de acordo com a Lista de Espécies da Flora Brasileira (JBRJ 2014). A caracterização da estrutura das áreas de estudo foi realizada por meio de parâmetros relativos: densidade, frequência, dominância, valor de importância e valor de cobertura (MORO; MARTINS, 2011).

### 3.2.2 Biomassa acima do solo

Para a determinação do estoque de biomassa acima do solo utilizou-se a base de dados do inventário fitossociológico. A biomassa aérea viva foi determinada através da equação proposta por Chave et al. (2014) (Equação 1). A estimativa do carbono armazenado na biomassa foi realizada multiplicando os valores de biomassa pelo fator de conversão 0,47 para as espécies arbóreas (IPCC, 2006). Com base na biomassa média por parcela, é possível extrapolar a biomassa (Mg ha<sup>-1</sup>) e o estoque de carbono (Mg ha<sup>-1</sup>) para todas as áreas.

$$AGB = 0,0673 * (WD * H * DAP^2)^{0,976} \quad (1)$$

Onde: AGB = Biomassa acima do solo; WD = Densidade da madeira; H = altura total; e DAP = Diâmetro a Altura do Peito.

### 3.2.3 Serapilheira

A coleta da serapilheira acumulada foi realizada com auxílio de um gabarito de madeira de 25 cm x 25 cm, sendo realizada a coleta de duas amostras em cada parcela de 10 m x 10 m (Figura 3). O material coletado (folhas, galhos, casca, material reprodutivo, e miscelânea) foi pesado no campo com auxílio de uma balança portátil, para a determinação do peso fresco da amostra e após colocados em sacos plásticos com as devidas identificações.

Figura 3 - Coleta de serapilheira acumulada com auxílio de moldura de 25 cm x 25 cm (A), área após a coleta da serapilheira (B)



Fonte: A autora (2023)

Para a quantificação da biomassa seca de serapilheira as amostras foram acondicionadas em sacos de papel e secas em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C e posteriormente foram pesadas em balança de precisão. Para a conversão em estoque de carbono utilizou-se o fator de conversão de 0,37 conforme recomendação do IPCC (2006).

### 3.3 ANÁLISE DE DADOS

A análise dos dados e a estimativa dos parâmetros fitossociológicos foram conduzidas utilizando o software Excel (Microsoft, 2016). A análise estatística da biomassa e do estoque de carbono dos diferentes compartimentos nas diferentes áreas foi conduzida por meio da análise de variância (ANOVA) utilizando modelos lineares generalizados (GLM) e as comparações pareadas das médias foram então realizadas usando o pacote ‘emmeans’ (Lenth et al., 2023), sendo as análises realizadas no *software* RStudio (R CORE TEAM, 2020).

De forma complementar, foi realizada análise de componentes principais (ACP) para verificar a estrutura de correlação e o grau de associação das diferentes variáveis consideradas nesse estudo. Essa análise permite a identificação de associações mais complexas entre os atributos mensurados e identifica aqueles com maior contribuição para as diferenças evidenciadas entre as áreas de estudo. A análise foi realizada com auxílio dos pacotes Factoextra e FactoMineR do software R (R CORE TEAM, 2018), onde considerou-se apenas os componentes 1 e 2, cujos autovalores foram maiores que 1.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 FLORÍSTICA E FITOSSOCIOLOGIA

No levantamento florístico das áreas estudadas foram amostrados 968 indivíduos, distribuídos em 28 famílias botânicas, 45 gêneros e 55 espécies, sendo 51 nativas e 4 exóticas. Do total de espécies, 54 foram identificadas ao nível de espécie e 1 ao nível de gênero. Entre as áreas de estudo constatou-se maior número de espécies na APRA1, onde foram amostradas 40 espécies (Tabela 3).





Tabela 3 - Parâmetros fitossociológicos verificados nas áreas em processo de restauração florestas estudadas (APRA1, APRA2 e APRP), na região noroeste do Rio Grande do Sul

(continuação)

Família / Espécie	APRA1					APRA2					APRP				
	FR	DR	DoR	IVI	IVC	FR	DR	DoR	IVI	IVC	FR	DR	DoR	IVI	IVC
<i>Trichilia elegans</i> A. Juss.	0,83	0,19	0,01	0,34	0,10						1,41	0,30	0,01	0,57	0,15
<i>Guarea macrophylla</i> Vahl											2,82	1,50	0,08	1,46	0,79
<b>Moraceae</b>															
<i>Morus nigra</i> L.	2,50	1,86	1,18	1,85	1,52						1,41	0,90	0,37	0,89	0,63
<b>Myrtaceae</b>															
<i>Eugenia involucrata</i> DC.	0,83	0,19	0,26	0,43	0,22										
<i>Eugenia rostrifolia</i> D. Legrand	0,83	0,56	0,05	0,48	0,30										
<i>Eugenia uniflora</i> L.	5,00	13,94	1,88	6,94	7,91										
<i>Myrcia oblongata</i> DC.	3,33	2,23	1,08	2,22	1,66										
<i>Eucalyptus dunnii</i> Maiden						11,63	16,67	60,21	-	38,44					
<b>Polygonaceae</b>															
<i>Ruprechtia laxiflora</i> Meisn.	0,83	0,37	0,05	0,42	0,21										
<b>Piperaceae</b>															
<i>Piper aduncum</i> L.											7,04	11,98	1,21	6,74	6,59
<b>Rhamnaceae</b>															
<i>Hovenia dulcis</i> Thunb.											4,23	2,10	0,79	2,37	1,44
<b>Rosaceae</b>															
<i>Prunus myrtifolia</i> (L.) Urb.	5,00	10,22	19,02	11,41	14,62						4,23	2,40	0,16	2,26	1,28
<b>Rutaceae</b>															
<i>Zanthoxylum rhoifolium</i> Lam.	2,50	1,12	0,16	1,26	0,64						1,41	0,30	0,10	0,60	0,20
<b>Salicaceae</b>															
<i>Casearia sylvestris</i> Sw.	2,50	0,74	0,09	1,11	0,41						5,63	2,10	0,64	2,79	1,37
<i>Xylosma</i> sp.	0,83	0,93	0,23	0,67	0,58						1,41	0,60	0,69	0,90	0,64

Tabela 3 - Parâmetros fitossociológicos verificados nas áreas em processo de restauração florestas estudadas (APRA1, APRA2 e APRP), na região noroeste do Rio Grande do Sul

(conclusão)

Família / Espécie	APRA1					APRA2					APRP				
	FR	DR	DoR	IVI	IVC	FR	DR	DoR	IVI	IVC	FR	DR	DoR	IVI	IVC
<b>Sapindaceae</b>															
<i>Allophylus edulis</i> (A.St.-Hil., Cambess. & A. Juss.) Radlk.	5,00	3,90	0,50	3,13	2,20										
<i>Cupania vernalis</i> Cambess.	5,00	15,43	9,54	9,99	12,48						2,82	3,29	2,80	2,97	3,05
<i>Matayba elaeagnoides</i> Radlk.	4,17	1,67	0,43	2,09	1,05										
<b>Sapotaceae</b>															
<i>Chrysophyllum marginatum</i> (Hook. & Arn.) Radlk.	1,67	1,30	1,77	1,58	1,53										
<b>Solanaceae</b>															
<i>Solanum mauritianum</i> Scop.	3,33	2,04	7,19	4,19	4,62						4,23	2,40	9,33	5,32	5,86
<i>Solanum pseudoquina</i> A. St.-Hill.	0,83	0,19	0,15	0,39	0,17										
<b>Urticaceae</b>															
<i>Urera baccifera</i> (L.) Gaudich.											1,41	0,60	0,44	0,81	0,52
<b>Verbenaceae</b>															
<i>Citharexylum myrianthum</i> Cham.	1,67	0,56	0,92	1,05	0,74										
<i>Citharexylum montevidense</i> (Spreng.) Moldenke	0,83	0,19	0,17	0,40	0,18										

Onde: FR= frequência relativa; DR= densidade relativa; DoR= dominância relativa; IVI= índice de valor de importância; IVC = índice de valor de cobertura.

Fonte: Autora (2023)

Dentre as espécies amostradas na APRA1, as que apresentaram maior IVC foram *S. commersoniana*, *P. myrtifolia*, *C. vernalis*, *E. uniflora* e *J. puberula*, com valores de 16,75%, 14,62%, 12,48%, 7,91% e 7,84%, respectivamente. Na APRA2, considerando o pouco tempo de intervenção ainda predominam as espécies que foram introduzidas, *E. dunnii*, *A. mearnsii*, *C. americana*, *V. megapotamica* e *A. angustifolia*. Já na APRP as espécies *B. forficata* (12,41%), *O. puberula* (10,40%), *O. pulchella* (9,98%), *S. commersoniana* (9,97%) e *L. campestris* (8,44%) apresentaram os maiores valores de IVC (Tabela 3).

#### 4.2 BIOMASSA E ESTOQUE DE CARBONO

No que se refere a biomassa e estoque de carbono, verificou-se diferença significativa entre as áreas de estudo ( $p < 0,05$ ). A APRA1, que se encontra em processo de restauração ativa com espécies nativas foi a que apresentou a maior média de biomassa acima do solo e estoque de carbono (Tabela 4). A área em processo de restauração passiva, 13 anos após o término das atividades antrópicas, apresentou 85,25 Mg ha<sup>-1</sup> de BAS e 40,07 Mg ha<sup>-1</sup> de CBA. Por outro lado, a APRA2, após 3 anos do plantio de espécies nativas e exóticas apresentou 72,17 Mg ha<sup>-1</sup> e 33,92 Mg ha<sup>-1</sup> de BAS e CBA, respectivamente (Tabela 4).

Tabela 4 - Biomassa acima do solo (BAS) e estoque de carbono (CBA) em três áreas em processo de restauração (APRA1, APRA2 e APRP), na região noroeste do Rio Grande do Sul

Local	BAS		CBA
	----- (Mg ha <sup>-1</sup> ) -----		
APRA1	110,77 ± 39,70 A*		52,06 ± 18,66 A*
APRA2	72,17 ± 29,71 C		33,92 ± 13,96 C
APRP	85,25 ± 37,31 B		40,07 ± 17,54 B

Fonte: Autora (2023)

Na APRA1 as espécies que apresentaram o menor e o maior teor de carbono foram, respectivamente, *A. angustifolia* (3,94 Mg ha<sup>-1</sup>) e *S. commersoniana* (10,13 Mg ha<sup>-1</sup>). Na APRA2 as espécies que apresentaram o menor e o maior teor de carbono, foram, respectivamente, *V. megapotamica* (0,09 Mg ha<sup>-1</sup>) e *E. dunnii* (35,70 Mg ha<sup>-1</sup>). Na APRP as espécies que apresentaram o menor e o maior teor de carbono, foram, respectivamente, *I. vera* (2,77 Mg ha<sup>-1</sup>) e *O. puberula* (11,72 Mg ha<sup>-1</sup>) (Tabela 5).

Tabela 5 - Área basal (AB), biomassa acima do solo (BAS), estoque de carbono e grupo ecológico (GE) das 5 espécies mais representativas em três áreas em processo de restauração (APRA1, APRA2 e APRP), na região noroeste do Rio Grande do Sul.

Área/Família	Espécie	AB	BAS	CBA	GE
APRA1		(m <sup>2</sup> )	--(Mg ha <sup>-1</sup> )--		
Euphorbiaceae	<i>Sebastiania commersoniana</i>	0,25	21,55	10,13	SI
Rosaceae	<i>Prunus myrtifolia</i>	0,28	20,97	9,85	SI
Bignoniaceae	<i>Jacaranda puberula</i>	0,19	16,71	7,85	SI
Sapindaceae	<i>Cupania vernalis</i>	0,14	11,28	5,30	ST
Araucariaceae	<i>Araucaria angustifolia</i>	0,10	8,39	3,94	PI
Total		0,96	78,90	37,08	
APRA2					
Myrtaceae	<i>Eucalyptus dunnii</i>	0,56	75,97	35,70	PI
Fabaceae	<i>Acacia mearnsii</i>	0,31	36,33	17,08	PI
Boraginaceae	<i>Cordia americana</i>	0,04	1,26	0,59	SI
Araucariaceae	<i>Araucaria angustifolia</i>	0,01	0,15	0,07	PI
Lamiaceae	<i>Vitex megapotamica</i>	0,01	0,20	0,09	SI
Total		0,93	113,91	53,54	
APRP					
Lauraceae	<i>Ocotea puberula</i>	0,20	24,94	11,72	SI
Euphorbiaceae	<i>Sebastiania commersoniana</i>	0,14	16,50	7,76	SI
Fabaceae	<i>Bauhinia forficata</i>	0,10	6,79	3,19	PI
Solanaceae	<i>Solanum mauritianum</i>	0,10	5,97	2,81	PI
Fabaceae	<i>Inga vera</i>	0,07	5,89	2,77	PI
Total		0,60	60,09	28,24	

Fonte: A autora (2023)

Com relação a biomassa e ao teor de carbono na camada de serapilheira constatou-se diferença significativa entre as três áreas avaliadas ( $p < 0,05$ ). A APRP foi a mais representativa, com valor médio de biomassa e estoque de carbono de 27,54 Mg ha<sup>-1</sup> e 9,45 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente (Tabela 6). Por outro lado, a APRA2 apresentou os menores valores (Tabela 6).

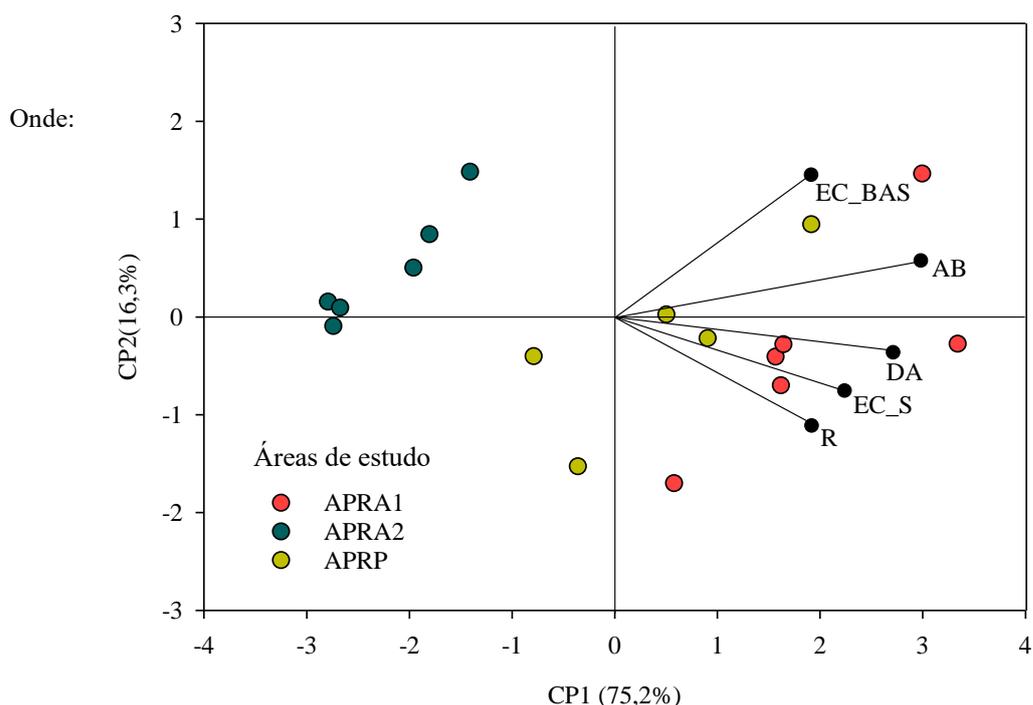
Tabela 6 - Biomassa da camada de serapilheira (BS) e estoque de carbono na camada de serapilheira (CS) em três áreas em processo de restauração (APRA1, APRA2 e APRP), na região noroeste do Rio Grande do Sul.

Local	BS	CS
	----- (Mg ha <sup>-1</sup> ) -----	
APRA1	12,51 ± 6,89 B	4,63 ± 2,55 B
APRA2	5,97 ± 4,38 C	2,21 ± 1,62 C
APRP	27,54 ± 14,34 A	9,45 ± 5,31 A

Fonte: A autora (2023)

A ACP demonstrou que a soma da variabilidade dos dois primeiros componentes extraídos explicou 91,5% do total dos resultados obtidos (Figura 4). Deste total, 75,2% da variação foi explicada pelo componente 1 (CP1) e 16,3% pelo componente principal 2 (CP2). Houve diferença evidente entre as áreas estudadas na ACP, concordando com a tendência verificada quando realizada a análise de variância univariada.

Figura 4 - Relação entre o componente principal 1 (CP1) e o componente principal 2 (CP2) das variáveis observadas em três áreas em processo de restauração (APRA1, APRA2 e APRP), na região noroeste do Rio Grande do Sul.



EC\_BAS= Estoque de carbono na biomassa acima do solo; EC\_S= Estoque de carbono na camada de serapilheira; AB = Área basal; DA= Densidade e R= Riqueza de espécies.

Fonte: A autora (2023)

O CP1 foi eficiente em separar as observações realizadas nas três áreas estudadas em três grupos distintos. Os resultados obtidos nas avaliações realizadas na APRA1 indicaram maiores valores de área basal, densidade e riqueza de espécies, o que possibilitou valores superiores de estoque de carbono acima do solo e serapilheira. No entanto, os resultados obtidos nas parcelas da APRA2 situaram-se a esquerda do CP1, indicando correlação inversa com as variáveis analisadas, o que reforça a recuperação parcial dos estoques de biomassa e carbono acima do solo e na camada de serapilheira (Figura 4).

## 5 DISCUSSÃO

A riqueza de espécies encontradas neste estudo (28 famílias botânicas e 55 espécies), foi inferior a estudos realizados em fragmentos de Floresta Estacional Decidual. Scipioni et al. (2011), estudando a estrutura da vegetação de um fragmento de Floresta Estacional Decidual no município de Frederico Westphalen, encontraram 79 espécies considerando indivíduos com  $DAP \geq 9,5$  cm. Turchetto et al. (2017) verificaram a ocorrência de 62 espécies em um fragmento de Floresta Estacional Decidual na região central do Rio Grande do Sul, considerando  $DAP \geq 1,0$  cm. Ressalta-se que entre as áreas avaliadas, a APR2 possui apenas 3 anos, sendo um período de tempo muito curto para verificar o processo de regeneração natural.

No que tange a análise florística em áreas em processo de restauração, Boeni (2016) verificou a ocorrência de 59 espécies, oito anos após o plantio de espécies florestais nativas em uma área de plantio de eucalipto no município de Canela, RS. No presente estudo, verificou-se maior riqueza de espécies na APRA1, onde há cerca de 13 anos realizou-se o plantio misto de espécies florestais nativas em área que foi realizada a supressão de *Eucalyptus* spp. Em muitas plantações de *Eucalyptus* spp. em todo o Brasil, tem sido observada a formação de um sub-bosque de espécies nativas, a partir da regeneração natural (TURCHETTO et al., 2015). Desse modo, verifica-se o potencial dessa espécie como facilitadora da regeneração natural, favorecendo o estabelecimento de núcleos de floresta nativa.

Entre as espécies estudadas destaca-se *S. commersoniana*, a qual apresentou maior IVI na APRA1 e na APRP. *S. commersoniana* apresenta ampla distribuição, com ocorrências em diferentes tipologias florestais (CARVALHO, 1994; SCIPIONI et al., 2011), sendo uma espécie secundária inicial, apresenta características ecológicas favoráveis a ocorrência no início do processo de sucessão. Carvalho (2003) atribuí a ocorrência de *S. commersoniana* a planícies fluviais, contudo, no presente estudo pode-se observar a ocorrência em locais distintos, como a APRP, uma área de encosta com menor disponibilidade hídrica. Desse modo, denota-se a importância da espécie para compor futuros plantios de restauração florestal na região de estudo.

Na APRP predominou indivíduos pertencentes à família Fabaceae o que desempenhou um papel crucial na contribuição para a biomassa viva nessas áreas específicas. Muitas espécies florestais associadas a essa família têm a capacidade de formar simbioses com bactérias fixadoras de nitrogênio atmosférico (AZEVEDO et al.,

2018). Assim, essas plantas contribuem com matéria orgânica, enriquecendo nutricionalmente a camada superficial do solo (0-20 cm), o que, por sua vez, favorece a regeneração natural de uma comunidade diversificada de plantas nativas no sub-bosque (CITADINI-ZANETTE et al., 2017). A família Fabaceae foi notável em termos de indivíduos em diversos estudos conduzidos em uma Floresta Estacional Semidecidual na região de Viçosa, MG, conforme evidenciado por estudos anteriores (SILVA et al., 2004; PINTO et al., 2007; FERREIRA JÚNIOR et al., 2007).

Verificou-se redução do estoque de carbono com o uso da restauração passiva (APRP) em relação a restauração ativa (APRA1), considerando o mesmo tempo de intervenção. Outros estudos comparando os métodos de restauração ativa e passiva na Mata Atlântica também obtiveram conclusões semelhantes. Por exemplo, Zanini et al. (2021) verificaram o estoque de carbono de 2,656 Mg ha<sup>-1</sup>, em área em processo de restauração ativa e 0,279 Mg ha<sup>-1</sup> em área de restauração passiva, 5 anos após o início dos estudos. César et al. (2018) estudando áreas em processo de restauração com sete a 20 anos de idade verificaram que o estoque de carbono acima do solo em locais como restauração passiva era de 45% menor que do que locais com práticas de restauração ativa.

Os resultados observados para áreas em diferentes processos de restauração podem indicar que o plantio de espécies florestais nativas é eficaz para aumentar o estoque de carbono acima do solo. De acordo com Zanini et al. (2021), tendo em vista que grande parte deste reservatório é composto por madeira, a liberação de carbono por meio da decomposição é lenta, o que o torna um reservatório fundamental para aumentar a capacidade local de sumidouro de estoque de carbono.

As diferenças identificadas no potencial de fixação de carbono entre as distintas áreas florestais são resultado da variação de vários elementos, abrangendo a composição da comunidade arbórea, o histórico de perturbação, o estágio sucessional, bem como as condições climáticas e edáficas (MEIRA et al., 2019; NGO et al., 2013). No início do processo de estabelecimento, espécies de crescimento rápido irão acumular carbono a uma taxa maior do que espécies de crescimento lento (SHIMAMOTO et al., 2014). Contudo, ao longo do processo de sucessão ecológica, verifica-se um aumento na biomassa das florestas tropicais, impulsionado pelo acréscimo na diversidade de espécies em estágios sucessionais mais avançados (CHAZDON, 2012). Ademais, considerando a relação da biomassa com a idade da floresta e o grupo ecológico das espécies, a acumulação desses elementos em projetos de restauração pode variar consideravelmente (BORGES et al., 2017).

Desse modo, a prática de adotar plantios mistos em solos com baixa fertilidade pode oferecer uma maior capacidade de aproveitamento dos nutrientes. Esses nutrientes, ao serem incorporados à biomassa e devolvidos ao solo através da serapilheira, têm a possibilidade de serem reabsorvidos por plantas cujas raízes nem sempre terão a capacidade de retirá-los das camadas mais profundas do solo (COÊLHO, 2006). Gama-Rodrigues et al. (2008) ao estudar o balanço de carbono e nutrientes em plantios puros e mistos de várias espécies nativas, os resultados indicaram que há uma capacidade distinta no acúmulo de carbono e nutrientes no sistema solo-planta, dependendo da disposição do povoamento.

Diferentemente da hipótese de estudo a área em processo de restauração ativa por meio do uso de espécies exóticas e nativas apresentou os menores valores de aporte de biomassa e estoque de carbono da vegetação. Contudo, os estoques de biomassa e carbono constatados no presente estudo ( $BAS = 72,17 \text{ Mg ha}^{-1}$  e  $33,92 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) foram superiores a diversos estudos em áreas sob restauração ativa. Azevedo et al. (2018) encontraram valores de estoque de carbono de  $19,94 \text{ Mg ha}^{-1}$  e  $22,89 \text{ Mg ha}^{-1}$  em plantios de reflorestamentos com 3 e 5 anos, respectivamente. Silva et al. (2015) obtiveram cerca de  $50 \text{ Mg ha}^{-1}$  em uma área em restauração no norte de Minas Gerais com 21 anos de idade. Além disso, em um espaço curto de tempo o plantio misto de espécies nativas e exóticas possibilitou a recuperação de 65 % do estoque de carbono quando comparado ao plantio de espécies florestais com 13 anos de idade (APRA1)

Nesse contexto, denota-se a importância de alternativas com o uso de espécies de rápido crescimento para o maior aporte de biomassa e estoque de carbono em áreas de restauração florestal no sul do Bioma Mata Atlântica. Conforme Amazonas (2018) o plantio misto de eucalipto e uma grande diversidade de espécies arbóreas nativas são tecnicamente viáveis e representam uma importante alternativa para o estabelecimento de plantações polivalentes na adaptação às alterações climáticas.

Com relação a biomassa e ao estoque de carbono na camada da serapilheira, verificou-se os maiores valores na APRP, com  $27,54 \text{ Mg ha}^{-1}$  e  $9,45 \text{ Mg ha}^{-1}$ , respectivamente. Azevedo et al. (2018) constataram  $2,67 \text{ Mg ha}^{-1}$  na camada de serapilheira em um reflorestamento com 7 anos na Reserva Ecológica de Guapiaçu, Rio de Janeiro, Brasil. Zanini (2018), estudando um remanescente de Floresta Estacional Semidecidual encontrou  $12,08 \text{ Mg ha}^{-1}$  de carbono na serapilheira.

Os valores superiores de biomassa e conseqüentemente o estoque de carbono verificados na APRP podem estar associados ao predomínio de espécies pioneiras entre

as mais representativas. Em locais onde as espécies pioneiras são predominantes, observa-se uma maior produção de serapilheira devido ao crescimento acelerado dessas plantas, o que resulta no aumento do estoque de serapilheira (LAURANCE; VASCONCELOS, 2009). Isso também enfatiza a relevância da seleção de espécies pioneiras em projetos de restauração florestal.

Adicionalmente, o acúmulo de serapilheira é influenciado por diversos fatores ambientais, tais como a presença de árvores, a densidade arbórea, a diversidade de espécies e a idade das árvores (CARPANEZZI, 1997). Além disso, outros elementos como precipitação, temperatura, umidade do solo, organismos do solo, grau de perturbação e nível de degradação da área também desempenham um papel significativo (MARTINS; RODRIGUES, 1999). A taxa de decomposição e a taxa de crescimento são igualmente relevantes nesse contexto (MACHADO; RODRIGUES; PEREIRA, 2008).

Verificou-se no presente estudo que a biomassa e o estoque de carbono na vegetação e na serapilheira estão fortemente associados a variáveis de crescimento, como a área basal e ecológicas, como a riqueza e densidade de indivíduos. Desse modo, é crucial estratégias de restauração florestal que possibilitem o rápido crescimento e recobrimento e número de espécies presentes na área, facilitando o processo de sucessão florestal. Nesse sentido, restaurar áreas florestais, é de fundamental importância à mitigação das mudanças do clima, pois as árvores sombreiam o solo, o que reduz a temperatura e, conseqüentemente, a taxa de mineralização e liberação de carbono do solo para a atmosfera (AZEVEDO et al., 2018). Além de manter o carbono no solo, a restauração de áreas retém uma grande quantidade de carbono nas árvores e na camada de serapilheira, uma vez que as florestas secundárias têm uma alta taxa de crescimento e sequestram carbono mais rapidamente (OSURI et al., 2019; POORTER et al., 2016).

## 6 CONCLUSÃO

- A riqueza de espécies em áreas de restauração florestal varia significativamente, sendo influenciada pelo tempo de intervenção e pelas práticas de restauração empregadas.
- A restauração ativa, por meio do plantio misto de espécies nativas aumenta o estoque de carbono acima do solo em comparação com a restauração passiva.

- Áreas em processo de restauração passiva com maior proporção de espécies dos estágios iniciais de sucessão apresentam maior estoque de carbono na camada de serapilheira.
- Plantios mistos de espécies nativas e exóticas apresentam potencial de armazenamento de carbono, aliado aos benefícios econômicos decorrentes do uso de espécies comerciais.
- A restauração florestal apresenta um papel fundamental na mitigação das mudanças climáticas, sendo que o uso de plantios mistos garante maiores estoques de carbono armazenado. Aliando a isso, recomenda-se aumentar a densidade e diversidade de espécies em área de restauração, visando maximizar a quantidade de CO<sub>2</sub> compartimentada.
- Ademais, ressalta-se a necessidade de realização de mais estudos em áreas em processo de restauração de diferentes idades e conduzidas sob diferentes metodologias, sendo de fundamental importância pesquisas com enfoque na quantificação e análise de todos os compartimentos de estoque de carbono.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.
- AMAZONAS, Nino tavares. **High diversity mixed plantations in Brazil: Eucalyptus intercropped with native tree species**. Tese (Doutorado em Recursos Florestais). Universidade de São Paulo/Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2018. Disponível em: <[https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/tde-07052018-112057/publico/Nino\\_Tavares\\_Amazonas\\_versao\\_revisada.pdf](https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/tde-07052018-112057/publico/Nino_Tavares_Amazonas_versao_revisada.pdf)>. Acesso em: 12 julho 2023.
- AZEVEDO, A. D. et al. Estoque de carbono em áreas de restauração florestal da Mata Atlântica. **Floresta**, v. 48, n. 2, p. 183, 17 abr. 2018.
- BOENI, A. F. **Caracterização florística e fitossociológica de uma área em processo de restauração florestal comparada a uma área em sucessão secundária (regeneração natural) no Sul do Brasil**. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais). Universidade de São Paulo/Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2016. Disponível em <[https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/tde-26042016-175442/publico/Ana\\_Flavia\\_Boeni\\_versao\\_revisada.pdf](https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/tde-26042016-175442/publico/Ana_Flavia_Boeni_versao_revisada.pdf)>. Acesso em: 25 novembro 2023.
- BOMBELLI, A. et al. **Assessment of the status of the development of the standards for the Terrestrial Essential Climate Variables**. Rome, 2009. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/237196758>>.
- BORGES, R.A. et al. Estoque de carbono em área de pastagem em restauração com espécies do bioma Mata Atlântica no Litoral do Paraná. **Floresta**, v.48, n.2, p.183-194, 2017.
- BRANCALION, P. H. S. et al. Avaliação e Monitoramento de Áreas em Processo de Restauração. Em: MARTINS, S. V. (Ed.). **Restauração Ecológica de Ecossistemas Degradados**. 1. ed. Viçosa: UFV, 2012. v. 1p. 262–291.
- BRANCALION, P. H. S.; GANDOLFI, S.; RODRIGUES, R. R. Histórico da Restauração Florestal no Brasil. Em: CHAVES, A. P. et al. (Eds.). **Restauração Florestal**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. v. 1p. 41–68.
- BROWN, S. **Estimating Biomass and Biomass Change of Tropical Forests: A Primer**. Rome, 1997. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/w4095e/w4095e00.htm>>.
- Carpanezi, A.A. **Banco de sementes e deposição de folheto e seus nutrientes em povoamentos de Bracatinga (Mimosa scabrella Bentham) na região metropolitana de Curitiba-PR**. Tese (Doutorado em Biologia Vegetal) – Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1997.

- CARVALHO, P. E. R. **Espécies florestais brasileiras**: recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira. Brasília: EMBRAPA, 1994.
- CARVALHO, P.E.R. Espécies arbóreas brasileiras. Brasília: **Embrapa Informações Tecnológicas**; Colombo, PR: Embrapa Florestas, 2003. 1039p
- CALMON, M. et al. Emerging Threats and Opportunities for Large-Scale Ecological Restoration in the Atlantic Forest of Brazil. **Restoration Ecology**, v. 19, n. 2, p. 154–158, mar. 2011.
- CÉSAR, R. G. et al. Early ecological outcomes of natural regeneration and tree plantations for restoring agricultural landscapes. **Ecological Applications**, v. 28, n. 2, p. 373–384, 22 mar. 2018.
- CHAVE, J. et al. Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. **Global Change Biology**, v. 20, n. 10, p. 3177–3190, out. 2014.
- CHAZDON, R. Regeneração de florestas tropicais. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi Ciências Naturais**, v.7, n.3, p.195-218, 2012.
- CITADINI-ZANETTE, V.; NEGRELLE, R. R. B.; LEAL-FILHO, L. S.; REMOR, R.; ELIAS, G. A.; SANTOS, R. *Mimosa scabrella* Benth. (Fabaceae) enhances the restoration in coal mining areas in the Atlantic Rainforest. **Cerne**, Lavras, v. 23, n. 1, p. 103 - 114, 2017
- COÊLHO, S. R. de F. **Crescimento e fixação de nitrogênio em plantios mistos de eucalipto e leguminosas arbóreas nativas**. 2006. 55 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais – Silvicultura e Manejo Florestal) – Escola Superior de Agricultura, Piracicaba.
- DE GROOT, R. S. et al. Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making. **Ecological Complexity**, v. 7, n. 3, p. 260–272, set. 2010.
- DE MORAIS JUNIOR, V. T. M. et al. Growth and survival of potential tree species for carbon-offset in degraded areas from southeast Brazil. **Ecological Indicators**, v. 117, p. 106514, out. 2020.
- DIMANDE, F. DAS D. L. J. T. **Estimativa de Estoque de Carbono nos Ecossistemas Florestais da Província de Manica**. Maputo: [s.n.].
- FALKOWSKI, P. et al. The Global Carbon Cycle: A Test of Our Knowledge of Earth as a System. **Science**, v. 290, n. 5490, p. 291–296, 13 out. 2000.
- FERREIRA JÚNIOR, W.G. et al. Composição florística da vegetação arbórea de um trecho de floresta estacional semidecídua em Viçosa, Minas Gerais, e espécies de maior ocorrência na região. **Revista Árvore**, v. 31, n. 6, p. 1121-1130, 2007.
- Gama-Rodrigues, A. C.; Gama-Rodrigues, E. F.; Barros, N. F. (2008) Balanço de carbono e nutrientes em plantio puro e misto de espécies florestais nativas no Sudeste da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32: 1165-1179.

HASSAN, A. B. R. DA S. **Reservas legais e projetos de neutralização de emissões de carbono: uma estratégia para auxiliar a implementação de áreas protegidas na Mata Atlântica**. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

HIGUCHI, N. et al. Biomassa da parte aérea da vegetação da Floresta Tropical úmida de terra-firme da Amazônia Brasileira. **Acta Amazonica**, v. 28, n. 2, p. 153–153, jun. 1998.

HOLL, K. D.; AIDE, T. M. When and where to actively restore ecosystems? **Forest Ecology and Management**. v. 261, n. 10, p. 1558-1563, 2011.

HOPKINS, F. M.; TORN, M. S.; TRUMBORE, S. E. Warming accelerates decomposition of decades-old carbon in forest soils. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 109, n. 26, 26 jun. 2012.

HOUGHTON, R. A.; NASSIKAS, A. A. Negative emissions from stopping deforestation and forest degradation, globally. **Global Change Biology**, v. 24, n. 1, p. 350–359, 22 jan. 2018.

INPE; FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA. **SOS Mata Atlântica e INPE lançam novos dados do Atlas do bioma**. Disponível em: <[http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod\\_Noticia=5115](http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod_Noticia=5115)>. Acesso em: 24 set. 2023.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: agriculture, forestry and other land use. **Japan: Institute for Global Environmental Strategies**, v. 4, 2006.

JOLY, C. A.; METZGER, J. P.; TABARELLI, M. Experiences from the Brazilian Atlantic Forest: ecological findings and conservation initiatives. **New Phytologist**, v. 204, n. 3, p. 459–473, 10 nov. 2014.

Jordan, WR, III. **The Sunflower Forest**. Berkeley: University of California Press. 2003.

KAGEYAMA, P. Y.; FREIXÊDAS, V. M.; GERES, W. L.; DIAS, J. H. P.; BORGES, A. S. Consórcio de espécies nativas de diferentes grupos sucessionais em Teodoro Sampaio-SP. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 4, n. 2, p. 527–533, 1992. DOI: 10.24278/2178-5031.199242829. Disponível em: <https://rif.emnuvens.com.br/revista/article/view/829>. Acesso em: 24 nov. 2023.

LAMB, D.; GILMOUR, D. **Rehabilitation and Restoration of Degraded Forests**. 1 jan. 2003.

LAURANCE, W. F.; VASCONCELOS, H. L. Conseqüências ecológicas da fragmentação florestal na Amazônia. **Oecologia Brasiliensis**, Rio de Janeiro, v. 13, n. 3, p. 434 - 451, 2009.

LEGISLAÇÃO CITADA ANEXADA PELA COORDENAÇÃO DE ESTUDOS LEGISLATIVOS - **CEDI**. 2006. [s.l: s.n.]. Disponível em: <[https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/prop\\_mostrarintegra?codteor=645180#:~:text=2%C2%BA%20Para%20os%20efeitos%20desta](https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/prop_mostrarintegra?codteor=645180#:~:text=2%C2%BA%20Para%20os%20efeitos%20desta)>. Acesso em: 21 maio. 2023.

LENTH R.V, BOLKER B., BUERKNER P., VÁZQUEZ IG, HERVE M, JUNG M et al. **Emmeans: Estimated Marginal Means, aka Least-Squares Means**. 2023. v. 1.8.8.

LOCATELLI, B. et al. Tropical reforestation and climate change: beyond carbon. **Restoration Ecology**, v. 23, n. 4, p. 337–343, 13 jul. 2015.

MACHADO, M. R.; RODRIGUES, F. C. M. P.; PEREIRA, M. G. Produção de serapilheira como bioindicador de recuperação em plantio adensado de revegetação. **Revista Árvore**, v. 32, n. 1, p. 143–151, fev. 2008.

MARTINS, S. V.; RODRIGUES, R. R. Produção de serapilheira em clareiras de uma floresta estacional semidecidual no município de Campinas, SP. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 22, n. 3, dez. 1999.

MEIRA, A. C. S. et al. Estimativas de biomassa e carbono em área de Mata Atlântica, implantada por meio de reflorestamento misto. **BIOFIX Scientific Journal**, v. 5, n. 1, p. 130, 12 nov. 2019.

MIRANDA, Dirceu Lucio Carneiro de. **Modelos matemáticos de estoque de biomassa e carbono em áreas de restauração florestal no Sudoeste Paulista**. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008. Disponível em: < <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/15930>>. Acesso em 24 novembro 2023.

MIRANDA, M. L. D. et al. Crédito de carbono como tema gerador de um projeto de extensão executado no IF Goiano – Campus Rio Verde. Em: **Agroecologia: Métodos e Técnicas para uma Agricultura Sustentável - Volume 5**. [s.l.] Editora Científica Digital, 2021. p. 103–113.

MORO, M. F.; MARTINS, F. R. Métodos de levantamento do componente arbóreo-arbustivo. In: FELFILLI, J. M. et al. (Ed.). **Fitossociologia no Brasil: Métodos e estudos de caso**. Viçosa: Ed. UFV. 2011 p. 174-212.

MYERS, N. et al. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, n. 6772, p. 853–858, 24 fev. 2000.

NAZARENO, A. G. et al. Serious New Threat to Brazilian Forests. **Conservation Biology**, v. 26, n. 1, p. 5–6, 26 fev. 2012.

OSURI, A. M. et al. Effects of restoration on tree communities and carbon storage in rainforest fragments of the Western Ghats, India. **Ecosphere**, v. 10, n. 9, 25 set. 2019.

PAGLIA, A. P. Avaliação das abordagens e iniciativas de priorização de ações para a conservação da biodiversidade na Mata Atlântica. Em: **Mapeamentos para a conservação Mata Atlântica: em busca de uma estratégia espacial integradora para orientar ações aplicadas**. Brasília: [s.n.]. p. 85–134.

PAGLIA, A. P.; FONSECA, G. A. B.; SILVA, J. M. C. A Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção: síntese taxonômica e geográfica. Em: MACHADO, A. B. M.; DRUMMOND, G. M.; PAGLIA, A. P. (Eds.). **Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção**. Brasília: [s.n.]. v. 1p. 63–70.

PARROTA, J.A.; KNOWLES, O.H.; WUNDERLE JR., J.M. Development of floristic diversity in 10 year-old restoration forests on a bauxite mined site in Amazonia. **Forest Ecology and Management**, v.99, p.21-42, 1997.

PINTO, L. P. et al. Mata Atlântica Brasileira: Os Desafios para Conservação da Biodiversidade de um Hotspot Mundial. Em: **Biologia da conservação: Essências**. RiMa Editora ed. Rio de Janeiro: [s.n.]. p. 91–118.

PINTO, S. I. C. et al. Estrutura do componente arbustivo-arbóreo de dois estádios sucessionais de Floresta Estacional Semidecidual na reserva florestal Mata do Paraíso, Viçosa, MG, Brasil. **Revista Árvore**, v. 31, n. 5, p. 823-833, 2007.

PINTO, L. P. et al. A Mata Atlântica. Em: RODRIGUES, R. R.; BRANCALION, P. H. S.; ISERNHAGEN, I. (Eds.). **Pacto pela restauração da Mata Atlântica: referencial dos conceitos e ações de restauração florestal**. 1. ed. São Paulo: Laboratório de Ecologia e Restauração Florestal - LCB/ESALQ/USP, 2009. v. 1p. 6–8.

POORTER, L. et al. Biomass resilience of Neotropical secondary forests. **Nature**, v. 530, n. 7589, p. 211–214, 3 fev. 2016.

PÜTZ, S. et al. Long-term carbon loss in fragmented Neotropical forests. **Nature Communications**, v. 5, n. 1, p. 5037, 7 out. 2014.

R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria. 2020

REBOITA, M. S. et al. Climate Projections for South America: RegCM3 Driven by HadCM3 and ECHAM5. **Advances in Meteorology**, v. 2014, p. 1–17, 2014.

RODRIGUES, R. R. et al. On the restoration of high diversity forests: 30 years of experience in the Brazilian Atlantic Forest. **Biological Conservation**. V. 142, n. 6, p. 1242-1251, 2009.

RODRIGUES, R. R.; BRANCALION, P. H. S. Pacto para a restauração ecológica da Mata Atlântica: Referencial dos conceitos e ações de restauração florestal. **Instituto BioAtlântica**, São Paulo, p. 256, 2009.

RODRIGUES, R. R. et al. Atividades de adequação ambiental e restauração florestal do LERF/ESALQ/USP. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 0, n. 55, p. 7, 24 jun. 2010.

REITZ, R.; KLEIN, R. M.; REIS, A. **Projeto madeira de Santa Catarina**. Sellowia, Itajai, 1978.

SCARANO, F. R.; CEOTTO, P. Brazilian Atlantic forest: impact, vulnerability, and adaptation to climate change. **Biodiversity and Conservation**, v. 24, n. 9, p. 2319–2331, 2 set. 2015.

SCHLESINGER, W. H.; ANDREWS, J. A. Soil respiration and the global carbon cycle. **Biogeochemistry**, v. 48, n. 1, p. 7–20, 2000.

SCIPIONI, M. C. et al. Fitossociologia em fragmento florestal no noroeste do estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, v. 21, n. 3, p. 409–419, 30 set. 2011.

SCOLFORO, J. et al. **Equações para quantidade de carbono das fisionomias, em Minas Gerais**. p. 198–216, 2008.

SER. **Society For Ecological Restoration**. Disponível em: <Society For Ecological Restoration>. Acesso em: 24 set. 2023.

SHIMAMOTO, C. Y. et al. How much carbon is sequestered during the restoration of tropical forests? Estimates from tree species in the Brazilian Atlantic forest, **Forest Ecology and Management**, v. 329, p. 1-9, 2014.

SILVA, N. R. S.; MARTINS, S. V.; MEIRA NETO, J. A. A. Composição florística e estrutura de uma Floresta Estacional Semidecidual Montana em Viçosa, MG. **Revista Árvore**, v. 28, n. 3, p. 397-405, 2004.

SILVA, H. F. et al. Estimativa do estoque de carbono por métodos indiretos em área de restauração florestal em Minas Gerais. **Scientia Forestalis**, v. 43, n. 108, p. 943–953, 1 dez. 2015.

SILVA, M. P. K. L **Monitoramento de estratégias de nucleação para restauração ecológica no bioma Mata Atlântica, sul do Brasil**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2017.

SMITH, P. et al. REVIEW: The role of ecosystems and their management in regulating climate, and soil, water and air quality. **Journal of Applied Ecology**, v. 50, n. 4, p. 812–829, ago. 2013.

STUART CHAPIN III, F. et al. The changing global carbon cycle: linking plant-soil carbon dynamics to global consequences. **Journal of Ecology**, v. 97, n. 5, p. 840–850, set. 2009.

Suding, KN, E Higgs, M Palmer, JB Callicott, CB Anderson, M Baker, JJ Gutrich, et al. 2015. “**Committing to ecological restoration**.” *Science* 348:638–640.

TABARELLI, M. et al. Challenges and Opportunities for Biodiversity Conservation in the Brazilian Atlantic Forest. **Conservation Biology**, v. 19, n. 3, p. 695–700, jun. 2005.

THE ANGIOSPERM GROUP. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. **Botanical Journal of the Linnean Society**. V. 181, n. 2016 <https://doi.org/10.1111/boj.12385>.

TIEPOLO, G.; CALMON, M.; FERETTI ROCHA, A. **Measuring and Monitoring Carbon Stocks at theGuaraqueçaba Climate Action Project, Paraná, Brazil**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<http://www.spvs.org.br>>.

TURCHETTO, F. et al. Potencial de *Eucalyptus grandis* como facilitadora da regeneração natural. **Nativa**, v. 3, n. 4, p. 252–257, 20 dez. 2015.

TURCHETTO, F. et al. Phytosociology as a tool for forest restoration: a study case in the extreme South of Atlantic Forest Biome. **Biodiversity and Conservation**, v. 26, n. 6, p. 1463–1480, 10 jun. 2017.

VAN OOSTEN, C. Restoring Landscapes—Governing Place: A Learning Approach to Forest Landscape Restoration. **Journal of Sustainable Forestry**, v. 32, n. 7, p. 659–676, 3 out. 2013.

ZANINI, A. **Estoque de carbono em restaurações florestais com 5 anos de idade na Mata Atlântica**. 2018.

ZANINI, A. M. et al. The effect of ecological restoration methods on carbon stocks in the Brazilian Atlantic Forest. **Forest Ecology and Management**, v. 481, p. 118734, fev. 2021.