

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

Tauã Osaida da Silva

**EFEITO DO USO DE DIFERENTES PRÁTICAS SILVICULTURAIS E  
MODELOS DE PLANTIO MISTO DE ESPÉCIES ARBÓREAS EM  
ÁREA DEGRADADA NO SUL DO BRASIL**

Frederico Westphalen, RS  
2023

**Tauã Osaida da Silva**

**EFEITO DO USO DE DIFERENTES PRÁTICAS SILVICULTURAIS E MODELOS DE PLANTIO MISTO DE ESPÉCIES ARBÓREAS EM ÁREA DEGRADADA NO SUL DO BRASIL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Santa Maria Campus Frederico Westphalen como requisito parcial para obtenção de título de Bacharel em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Felipe Turchetto

Frederico Westphalen, RS  
2023

Tauã Osaida da Silva

**EFEITO DO USO DE DIFERENTES PRÁTICAS SILVICULTURAIS E MODELOS DE PLANTIO MISTO DE ESPÉCIES ARBÓREAS EM ÁREA DEGRADADA NO SUL DO BRASIL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Santa Maria Campus Frederico Westphalen como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal.

**Aprovado em 07 de julho de 2023**

---

**Felipe Turchetto, Dr. em Engenharia Florestal (UFSM-FW)  
(Orientador)**

---

**Edison Rogério Perrando, Dr. em Engenharia Florestal (UFSM-FW)**

---

**Elder Eloy, Dr. em Engenharia Florestal (UFSM-FW)**

Frederico Westphalen, RS  
2023

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente quero agradecer a minha mãe, irmã, padrasto, avó e família pelo constante apoio e incentivo nas horas mais difíceis. Agradeço a todo cuidado, carinho e amor, sempre me apoiando nas escolhas feitas dentro do mundo acadêmico e fora dele também, fazendo com que me tornasse a pessoa que sou hoje. Vocês são em quem me espelho, são minha fonte de inspiração.

Agradeço a minha companheira de vida que me acompanhou em quase toda a minha jornada até aqui, sempre me confortando e me dando o apoio necessário para seguir em frente, sempre me motivando e servindo principalmente de fonte de inspiração para alcançar este objetivo. Não deixando de fora o agradecimento à família da minha companheira que também me concedeu auxílio e orientações para prosseguir minha jornada.

Ao meu orientador, Dr. Felipe Turchetto, por todo o conhecimento compartilhado dentro e fora da universidade, por todo seu compromisso durante a graduação inteira, que me conduziu e conduz a todos os seus orientados ao crescimento acadêmico e pessoal. Agradeço ao zelo, carinho, amizade e principalmente a paciência e a compreensão nos assuntos pessoais e acadêmicos.

Agradeço a todos os professores do curso de Engenharia Florestal da UFSM do campus de Frederico Westphalen por contribuírem constantemente para meu aprendizado, em especial aos professores da área de Manejo florestal, Dr. Edison Rogério Perrando e Dra. Magda Zanon, por toda amizade e parceria desenvolvida nesta jornada.

Por fim, mas não menos importante, agradeço a todos meus amigos que se fizeram presentes nestes anos de graduação, sempre apoiando um ao outro nas horas mais difíceis, sabendo também desfrutar dos momentos de alegria formando uma parceria incrível, levarei vocês daqui para o mundo no meu coração. Agradeço também a todas as pessoas que se fizeram presentes nesta jornada.

## RESUMO

### EFEITO DO USO DE DIFERENTES PRÁTICAS SILVICULTURAIS E MODELOS DE PLANTIO MISTO DE ESPÉCIES ARBÓREAS EM ÁREA DEGRADADA NO SUL DO BRASIL

AUTOR: Tauã Osaida da Silva  
ORIENTADOR: Felipe Turchetto

As áreas de florestas nativas atualmente encontram-se em um cenário de intensa pressão antrópica. O desmatamento e a degradação florestal representam ameaças preservação da biodiversidade e a prestação de serviços ecossistêmicos, sendo a Mata Atlântica uma das formações florestais mais ameaçadas em todo o mundo. A restauração florestal é uma das ciências que permite a recuperação das funções ecológicas de ecossistemas degradados. Nesse sentido, o uso de plantios mistos de espécies nativas e exóticas comerciais, aliado ao uso de práticas silviculturais intensivas tendem maximizar o sucesso no estabelecimento de espécies florestais, o aporte de carbono, bem como possibilita benefícios sociais e econômicos. Nesse sentido, o presente estudo objetivou identificar o efeito do uso de modelos de plantios mistos de espécies nativas e exóticas, aliado a diferentes práticas silviculturais, sobre a sobrevivência, crescimento e aspectos fisiológicos de espécies florestais nativas em área degradada no Sul do Bioma Mata Atlântica. O experimento foi instalado em setembro de 2020, em área degradada no município de Dois Irmãos das Missões, noroeste do Rio Grande do Sul. O estudo foi conduzido em delineamento de blocos ao acaso, contendo 4 repetições em um esquema fatorial 2x2, (dois modelos de plantio misto de espécies arbóreas x duas práticas silviculturais). Os modelos de plantio consideraram o uso de 5 espécies nativas combinado com o uso de *Eucalyptus dunnii* e *Acacia mearnsii*. As práticas silviculturais consistiram no uso de práticas silviculturais intensivas e convencionais. Foram avaliados dados de sobrevivência, crescimento em altura (H), diâmetro do coleto (DC) e atributos da fluorescência da clorofila *a* (Taxa de transporte de elétrons e rendimento quântico máximo do PSII). Não verificou-se interação significativa entre as práticas e os modelos de plantio para a sobrevivência das espécies estudadas. O uso de práticas silviculturais intensivas maximizou a sobrevivência de *Cedrela fissilis* e o crescimento em H e DC para as espécies *Cordia americana* e *Vitex megapotamica* aos 24 meses após o plantio. De maneira geral, plantas conduzidas sob a silvicultura intensiva apresentaram os maiores valores de taxa de transporte de elétrons e rendimento quântico máximo do PSII. Dentre as espécies estudadas, *C. americana* e *V. megapotamica* foram as que apresentaram melhor desempenho nos atributos avaliados. Já a espécie *C. fissilis* se mostrou extremamente suscetível a ocorrência de baixas temperaturas, apresentando sobrevivência inferior a 50 %. Para *Araucaria angustifolia* constatou-se maior desenvolvimento na silvicultura convencional, onde a presença de sombreamento nos primeiros meses de desenvolvimento mostrou ser essencial para o seu estabelecimento.

**Palavras-chave:** Mata Atlântica. Restauração florestal. Espécies nativas.

## ABSTRACT

### EFFECT OF THE USE OF DIFFERENT SILVICULTURAL PRACTICES AND MIXED PLANTING MODELS OF TREE SPECIES IN A DEGRADED AREA IN SOUTHERN BRAZIL

AUTHOR: Tauã Osaida da Silva  
ADVISOR: Felipe Turchetto

Areas of native forests are currently in a scenario of intense anthropic pressure. Deforestation and forest degradation pose threats to the preservation of biodiversity and the provision of ecosystem services, with the Atlantic Forest being one of the most threatened forest formations in the world. Forest restoration is one of the sciences that allows the recovery of ecological functions in degraded ecosystems. In this sense, the use of mixed plantations of native and commercial exotic species, combined with the use of intensive silvicultural practices tend to maximize success in establishing forest species, carbon input, as well as enabling social and economic benefits. In this sense, the present study aimed to identify the effect of using models of mixed plantings of native and exotic species, combined with different silvicultural practices, on the survival, growth and physiological aspects of native forest species in a degraded area in the South of the Atlantic Forest Biome. The experiment was installed in September 2020, in a degraded area in the municipality of Dois Irmãos das Missões, northwest of Rio Grande do Sul. The study was carried out in a randomized block design, with 4 replications in a 2x2 factorial arrangement (two models of mixed planting of tree species x two silvicultural practices). The planting models considered the use of 5 native species combined with the use of *Eucalyptus dunnii* and *Acacia mearnsii*. Silvicultural practices consisted of the use of intensive and conventional silvicultural practices. Data on survival, growth in height (H), collar diameter (DC) and attributes of chlorophyll a fluorescence (electron transport rate and maximum quantum yield of PSII) were evaluated. There was no significant interaction between planting practices and models for the survival of the studied species. The use of intensive silvicultural practices maximized *Cedrela fissilis* survival and growth in H and DC for *Cordia americana* and *Vitex megapotamica* at 24 months after planting. In general, plants conducted under intensive silviculture showed the highest values of electron transport rate and maximum PSII quantum yield. Among the studied species, *C. americana* and *V. megapotamica* were the ones that presented the best performance in the evaluated attributes. The species *C. fissilis*, on the other hand, proved to be extremely susceptible to the occurrence of low temperatures, with a survival rate of less than 50%. For *Araucaria angustifolia*, greater development was observed in conventional silviculture, where the presence of shading in the first months of development proved to be essential for its establishment.

**Keywords:** Atlantic Forest. Forest restoration. Native species.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Localização da área de estudo em uma área degradada pelo uso intensivo de monoculturas no Bioma Mata Atlântica no sul do Brasil..... 13
- Figura 2 - Dados meteorológicos da área de estudo (temperatura média máxima e mínima e precipitação total), durante o período de condução da pesquisa. .... 14
- Figura 3 - Desenho esquemático de uma parcela representando a distribuição das espécies utilizadas na composição dos modelos de plantio..... 15
- Figura 4 - Sobrevivências de *Araucaria angustifolia* (a), *Cedrela fissilis* (b), *Cordia americana* (c) e *Vitex megapotamica* (d), em função de duas práticas silviculturais distintas aos 24 meses de idade. .... 18
- Figura 5 - Variação da sobrevivência ao longo de 24 meses das espécies *Araucaria angustifolia* (a), *Cedrela fissilis* (b), *Cordia americana* (c) e *Vitex megapotamica* (d), em função de duas práticas silviculturais distintas e dois modelos de plantio misto. .... 19
- Figura 6 - Crescimento em altura (a) e diâmetro do coleto (b) de *Cordia americana* em função de duas práticas silviculturais distintas e dois modelos de plantio misto aos 24 meses de idade. .... 20
- Figura 7 - Crescimento em diâmetro do coleto (DC) de *Araucaria angustifolia* (a), *Cedrela fissilis* (b) e *Vitex megapotamica* (c), em função das diferentes práticas silviculturais e dois diferentes modelos de plantio misto aos 24 meses de idade. .... 21
- Figura 8 - Variação temporal do crescimento em diâmetro do coleto ao longo de 24 meses das espécies *Araucaria angustifolia* (a), *Cedrela fissilis* (b), *Cordia americana* (c) e *Vitex megapotamica* (d), em função de duas práticas silviculturais distintas e dois modelos de plantio misto de restauração florestal. .... 22
- Figura 9 - Crescimento em altura de *Araucaria angustifolia* (a), *Cedrela fissilis* (b) e *Vitex megapotamica* (c), em função das diferentes práticas silviculturais aos 24 meses de idade. .... 23
- Figura 10 - Variação temporal do crescimento em altura ao longo de 24 meses das espécies *Araucaria angustifolia* (a), *Cedrela fissilis* (b), *Cordia americana* (c) e *Vitex megapotamica* (d), em função de duas práticas silviculturais distintas e dois modelos de plantio misto de restauração florestal. .... 24
- Figura 11 - Taxa de transporte de elétrons de *Cedrela fissilis* (a), *Cordia americana* (b), *Vitex megapotamica* (c), e para média geral (d), em função das diferentes práticas silviculturais aos 12 meses de idade. .... 25
- Figura 12 - Rendimento quântico máximo do PSII de *Cedrela fissilis* (a), *Cordia americana* (b), *Vitex megapotamica* (c), e para a média geral (d), em função das diferentes práticas silviculturais aos 24 meses de idade. .... 25

## LISTA DE APÊNDICES

- Apêndice A - Valores relativos aos atributos químicos e físicos do solo e interpretação, conforme a SBCS/CQFS (2004) para a área de estudo.....35
- Apêndice B - Atividades realizadas durante a implantação do estudo. a) Vista geral da área de estudo; b) plantio das mudas; c) irrigação das mudas; d) muda de *C. americana* após o plantio conduzida sob silvicultura intensiva; e) muda de *A. angustifolia* após o plantio conduzida sob silvicultura convencional; e f) adubação de plantio. ....36
- Apêndice C – Atividades de condução realizadas ao longo do período de estudo. a) Controle de plantas daninhas por meio da aplicação de glifosato; b) adubação de cobertura; c) coroamento das mudas; d) roçada semimecanizada das plantas de cobertura. ....37
- Apêndice D – Plantas de a) *A. angustifolia*, b) *C. fissilis*, c) *C. americana*, e d) *V. megapotamica* (d) aos 14 meses após o plantio, conduzidas com o uso da silvicultura intensiva, em um plantio misto no sul do Bioma Mata Atlântica. ....38
- Apêndice E - Plantas de *C. fissilis* conduzidas: a) Antes da ocorrência de geadas em abril de 2021; b) durante a ocorrência de eventos de geada em agosto de 2021; c) após a ocorrência de geadas em setembro de 2021; e d) ocorrência *Hypsipyla grandella* Zell. (Lepidoptera: Pyralidae), a broca-do-cedro. ....39



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>2 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>12</b>
2.1 ÁREA DE ESTUDO.....	12
2.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL .....	14
2.3 ATRIBUTOS AVALIADOS.....	16
<b>2.3.1 Atributos morfológicos.....</b>	<b>16</b>
<b>2.3.2 Fluorescência da clorofila a .....</b>	<b>17</b>
<b>2.4 Análises estatísticas .....</b>	<b>17</b>
<b>3 RESULTADOS.....</b>	<b>18</b>
3.1 SOBREVIVÊNCIA .....	18
3.2 ALTURA E DIÂMETRO DO COLETO .....	19
3.3 FLUORESCÊNCIA DA CLOROFILA A .....	24
<b>4 DISCUSSÃO .....</b>	<b>26</b>
<b>5 CONCLUSÃO .....</b>	<b>30</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>31</b>
<b>APÊNDICES .....</b>	<b>35</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O desmatamento e a degradação florestal representam ameaças a preservação da biodiversidade e a prestação de serviços ecossistêmicos (FAO 2020), todos os anos milhões de hectares de florestas nativas são convertidas em pastagens e áreas de monocultura. Nesse contexto, a Mata Atlântica é uma das formações florestais mais ameaçadas em todo o mundo (FAO, 2011), restando menos de 10 % da cobertura vegetal original (INPE, 2014).

Assim, visando reverter esse cenário de intensa degradação antrópica e combater a crise climática global, nos últimos anos foi demonstrado grandes esforços para a restauração de ambientes em larga escala. Em 2011, foi lançado pelo governo da Alemanha e pela IUNC o Bonn Challenge, onde pretende-se restaurar 350 milhões de hectares até 2030. Além disso, em declaração, a Organização das Nações Unidas (ONU) decretou 2021-2030 a década de restauração de ecossistemas, com o objetivo de apoiar e intensificar os esforços para prevenir, deter e reverter a degradação dos ecossistemas em todo o mundo (FAO, 2019).

Nesse sentido, a restauração florestal é uma ciência que permite a recuperação das funções ecológicas de ecossistemas degradados, tornando-se uma solução estratégica para combater a perda de biodiversidade e as mudanças climáticas (SUDING *et al.*, 2015). Dentre as diferentes metodologias de restauração destaca-se o plantio de espécies florestais (RODRIGUES *et al.*, 2009), os quais podem acelerar o processo de restabelecimento do ecossistema (OMEJA *et al.*, 2011; TURCHETTO *et al.*, 2020) e melhorar a condição do ambiente (LOZANO-BAEZ *et al.*, 2019). Além disso, o uso de espécies arbóreas de rápido crescimento pode ser especialmente útil em plantações multifuncionais que levam em conta fatores econômicos e ecológicos (GHAZOUL; BUGALHO; KEENAN, 2019; BADARI *et al.*, 2020).

Nesse sentido, e recentemente, é perceptível um acréscimo no uso de plantios consorciados, podendo ser utilizadas espécies de diferentes grupos ecológicos, e combinações de espécies nativas e exóticas no restabelecimento de áreas alteradas (MARRON; EPRON, 2019). Os plantios mistos podem proporcionar maiores benefícios em termos de biodiversidade, sequestro de carbono, maior resistência à doenças e ataques de pragas, concomitante a geração de receitas pelo acúmulo de produtos madeireiros e não madeireiros (SILVA; FREER-SMITH; MADSEN, 2019).

Aliado a isso, a intensificação das práticas silviculturais nos estágios iniciais de implantação tende a aumentar a efetividade dos plantios de restabelecimento de áreas alteradas, uma vez que tais áreas geralmente apresentam solos pobres, com baixo teor de matéria orgânica e nutrientes, além da presença de gramíneas invasoras (CAMPOE et al., 2013). Segundo Turchetto et al. (2020), o uso de práticas silviculturais intensivas, como o fornecimento de maiores doses de nutrientes e o controle químico de plantas daninhas, permite que as espécies arbóreas plantadas maximizem as taxas fotossintéticas e, conseqüentemente, as taxas de sobrevivência e crescimento inicial das espécies florestais nativas em plantios de restauração possam ser melhoradas.

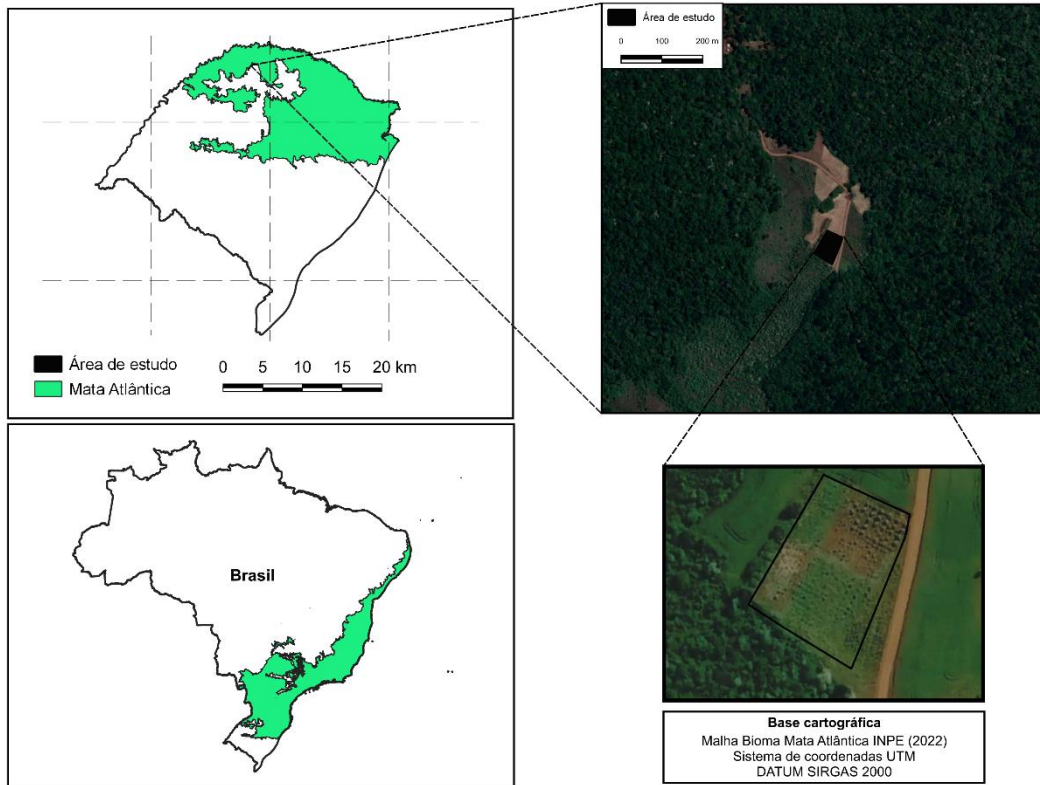
Nesse sentido, o presente estudo objetivou identificar o efeito do uso de modelos de plantios mistos de espécies nativas e exóticas, aliado a diferentes práticas silviculturais, sobre a sobrevivência, crescimento e aspectos fisiológicos de espécies florestais nativas em área degradada no Sul do Bioma Mata Atlântica.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Área de estudo

O estudo foi implementado em setembro de 2020, em uma área degradada adjacente à Reserva Biológica Moreno Fortes, uma Unidade de Conservação de Proteção Integral (27°36'40.21"S e 53°29'34.59"O) (Figura 1). A área de implantação ficou abandonada dada a sua baixa produção (solos com baixa fertilidade natural e pedregosidade média – Apêndice A), e antes da instalação do estudo, era destinada à produção de monoculturas agrícolas (soja, milho e trigo).

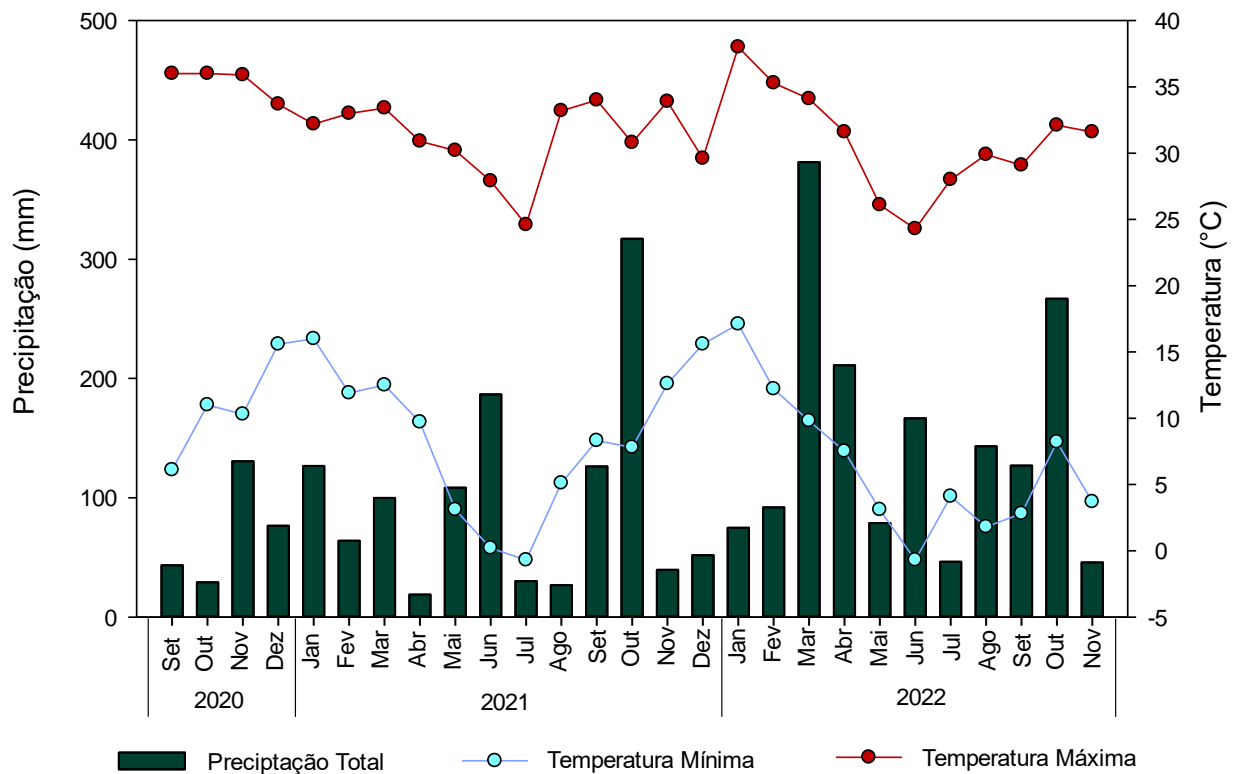
Figura 1- Localização da área de estudo em uma área degradada pelo uso intensivo de monoculturas no Bioma Mata Atlântica no sul do Brasil.



Fonte: Autor (2023)

Conforme classificação de Köppen, o clima do local é Cfa (subtropical úmido), com temperaturas que variam entre 28°C e 35°C nos meses mais quentes do ano, e entre -3°C e 17°C nos meses mais frios. A precipitação tem uma distribuição regular com um índice pluviométrico médio de 1600 mm anuais (ALVARES et al., 2013). Na Figura 2, pode-se observar os dados meteorológicos para o período de condução do estudo.

Figura 2 - Dados meteorológicos da área de estudo (temperatura média máxima e mínima e precipitação total), durante o período de condução da pesquisa.



Fonte: Autor (2023)

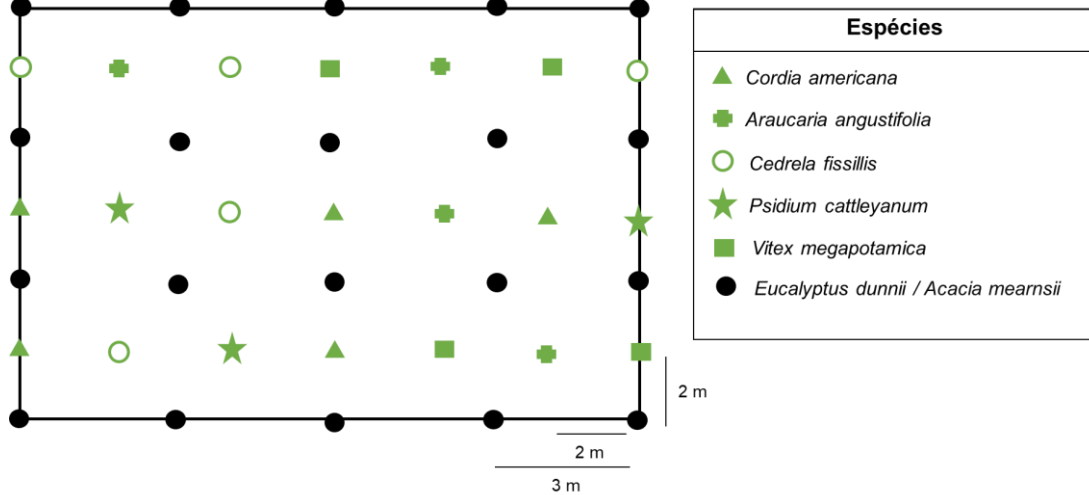
A área de estudo está localizada próxima a um fragmento de Floresta Ombrófila Mista, que é uma das principais tipologias florestais da Mata Atlântica, caracterizada pela ocorrência de *Araucaria angustifolia*. A variedade de recursos ecossistêmicos disponíveis nesta tipologia vegetal é dada pelas diferentes associações entre espécies, essa variedade ocorre em diferentes intensidades, levando em consideração as características estruturais de diferentes estágios de regeneração (GAMA et al., 2003; NARVAES; LOONGHI; BRENA, 2008).

## 2.2 Delineamento experimental

O experimento foi conduzido em delineamento de blocos ao acaso, contendo 3 repetições em um esquema fatorial de 2x2, sendo dois modelos de plantio misto de espécies arbóreas e duas práticas silviculturais. Cada parcela compreendeu 180 m<sup>2</sup> de área total (10 m x 18 m) e 72 m<sup>2</sup> de área útil (6 m x 12 m). Para o fator modelos de plantio foram testados dois níveis: a) plantio misto de espécies nativas

consoiciadas com *Acacia mearnsii* De Wild., dispostas em linhas intercaladas; e b) plantio misto de espécies nativas consoiciadas com *Eucalyptus dunnii* Maiden (Figura 3).

Figura 3 - Desenho esquemático de uma parcela representando a distribuição das espécies utilizadas na composição dos modelos de plantio.



Fonte: Autor (2023)

Na composição dos modelos de plantio utilizou-se cinco espécies florestais nativas da Mata Atlântica com potencial ecológico-econômico (Tabela 1). As espécies comerciais *A. mearnsii* e *E. dunnii* foram utilizadas como espécies pioneiras, visando o rápido recobrimento do solo e a comercialização da madeira no futuro. As mudas da espécie exótica foram adquiridas do viveiro florestal da Associação dos fumicultores do Brasil (AFUBRA), e as mudas das cinco espécies nativas foram doadas pelo viveiro florestal do Universidade de Santa Maria. No desenvolvimento do estudo não foi considerada a espécie *Psidium cattleianum*, haja vista que houve mortalidade de 100 % em decorrência de um ataque de *Lepus europaeus* (lebre europeia).

Tabela 1 – Relação das quatro espécies nativas da floresta Mata Atlântica utilizadas no experimento.

Espécie	Grupo ecológico	Crescimento
<i>Araucaria angustifolia</i>	Pioneira/Clímax <sup>1</sup>	Lento
<i>Vitex megapotamica</i>	Secundária inicial <sup>2</sup>	Médio/Rápido
<i>Cedrela fissilis</i>	Secundária inicial <sup>3</sup>	Médio/Rápido
<i>Cordia americana</i>	Secundária inicial <sup>3</sup>	Médio/Rápido

<sup>1</sup>Sawczuk et al. (2012); <sup>2</sup>Paula et al. (2004); <sup>3</sup>Vaccaro; Longhi; Brena, (1999).

As práticas silviculturais testadas foram: 1) Silvicultura convencional – Adubação de base feita com 200 Kg ha<sup>-1</sup> de superfosfato triplo e 150 Kg ha<sup>-1</sup> de ureia, ambos fertilizantes pós plantio em covas laterais. Adubações de cobertura foram realizadas aos 6 e 12 meses após o plantio com 100 Kg ha<sup>-1</sup> de ureia. Como método de controle da matocompetição foi feito o coroamento de mudas e roçada entre linhas. Como cobertura de solo realizou-se o plantio de *Raphanus sativus* L. (nabo forrageiro) no inverno e *Pennisetum glaucum* (L.) R. Br (milheto) no verão. O tombamento das espécies de cobertura foi realizado na época da floração das mesmas, momento ideal devido à máxima produção de matéria verde; e 2) Silvicultura intensiva – Mesmo regime nutricional testado na prática 1, exceto para as adubações de cobertura aos 6 e 12 meses após o plantio, nas quais se utilizou 150 Kg ha<sup>-1</sup> de ureia.

Para matocompetição foi utilizado o controle químico com ingrediente ativo de ação sistêmica a base de glyphosate (4 L ha<sup>-1</sup>), em área total, realizado periodicamente com auxílio de pulverizador costal. Os berços para plantio, assim como o efetivo estabelecimento das mudas nos berços, foram feitos de forma manual. Em todos os berços, antes do plantio, adicionou-se 1 L de polímero hidrorretentor (hidrogel). Foram realizadas irrigações periódicas, sendo a primeira logo após o plantio e, semanalmente, por aproximadamente 60 dias (Apêndice B).

## 2.3 ATRIBUTOS AVALIADOS

### 2.3.1 Atributos morfológicos

Neste estudo avaliou-se a sobrevivência e o crescimento em altura e diâmetro do coleto das plantas. Os dados foram coletados a cada 30 dias nos primeiros seis meses após o plantio, com avaliações posteriores realizadas a cada 90 dias, até os 24 meses de idade. Para a medição da altura foi utilizada régua graduada em centímetros, e paquímetro digital (com escala milimétrica) para medições realizadas ao nível do solo do diâmetro do coleto das plantas, sendo as.

### 2.3.2 Fluorescência da clorofila *a*

Os atributos da fluorescência da clorofila *a* foram determinados aos 10 meses após o plantio, com o auxílio de um fluorômetro de pulso modulado JUNIOR-PAM (Walz, Alemanha), por meio de avaliações realizadas entre as 07:00-10:30hs, em dias ensolarados. Para as medições foi utilizada a quarta folha expandida, sendo que antes das avaliações as mesmas foram submetidas ao escuro com papel alumínio (30 minutos) para a determinação da fluorescência inicial ( $F_0$ ) e, posteriormente, submetidas a um pulso de luz saturante ( $10.000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) por 0,6 s, determinando-se assim a fluorescência máxima ( $F_m$ ). A eficiência fotoquímica máxima do PSII ( $F_v/F_m$ ) é calculada pela razão da fluorescência variável ( $F_v$ ) e fluorescência máxima, em que  $F_v = F_m - F_0$ . As avaliações foram realizadas somente nas espécies *Cedrela fissilis*, *Cordia americana* e *Vitex megapotamica*, não possibilitando ser feita essa análise para a espécie *A. angustifolia* por conta de sua tipologia foliar.

### 2.4 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

No processamento das análises estatísticas foram considerados os dados obtidos aos 24 meses para os atributos morfológicos e 10 meses para os atributos da fluorescência da clorofila *a*. Foram testados os efeitos principais e a interação entre os fatores de estudo (modelos de plantio e práticas silviculturais). Atendidos os pressupostos de normalidade dos resíduos e homogeneidade de variâncias, respectivamente por meio dos testes de Shapiro-Wilk e Bartlett, os dados foram submetidos à análise de variância considerando o esquema fatorial (Fatorial ANOVA), com posterior comparação de médias pelo teste Tukey (Tukey's studentized range test HSD). O nível de probabilidade de erro usado para determinar a significância, para todas as análises, foi de 5% (95% de confiabilidade), as quais foram processadas com o auxílio dos pacotes estatísticos "ExpDes.pt" (FERREIRA; CAVALCANTI; NOGUEIRA, 2021) e Metan (OLIVOTO; LÚCIO, 2020) do software R (R CORE TEAM, 2018).



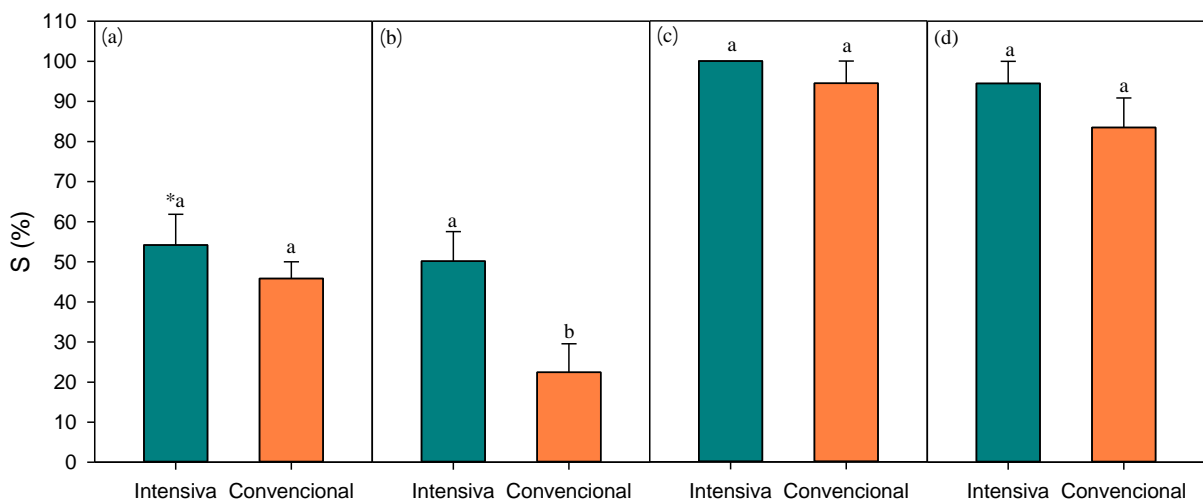
### 3 RESULTADOS

#### 3.1 SOBREVIVÊNCIA

Não verificou-se interação significativa entre as práticas e os modelos para a sobrevivência das espécies estudadas. A análise de variância demonstrou efeito significativo das práticas silviculturais somente para a sobrevivência de *C. fissilis* ( $p=0.00244$ ), com aumento de 22,4 % para 50,2 % com o uso da prática silvicultural intensiva em relação a silvicultura convencional (Figura 4 a).

As espécies *C. americana* e *V. megapotamica* apresentaram elevadas taxas de sobrevivência (> 94 %), para a silvicultura convencional. Por outro lado, *A. angustifolia* e *C. fissilis* apresentaram médias de sobrevivência próximas ou abaixo de 50 % (Figura 4 a e b, respectivamente).

Figura 4 – Sobrevivência (S) de *Araucaria angustifolia* (a), *Cedrela fissilis* (b), *Cordia americana* (c) e *Vitex megapotamica* (d), em função de duas práticas silviculturais distintas, aos 24 meses de idade.



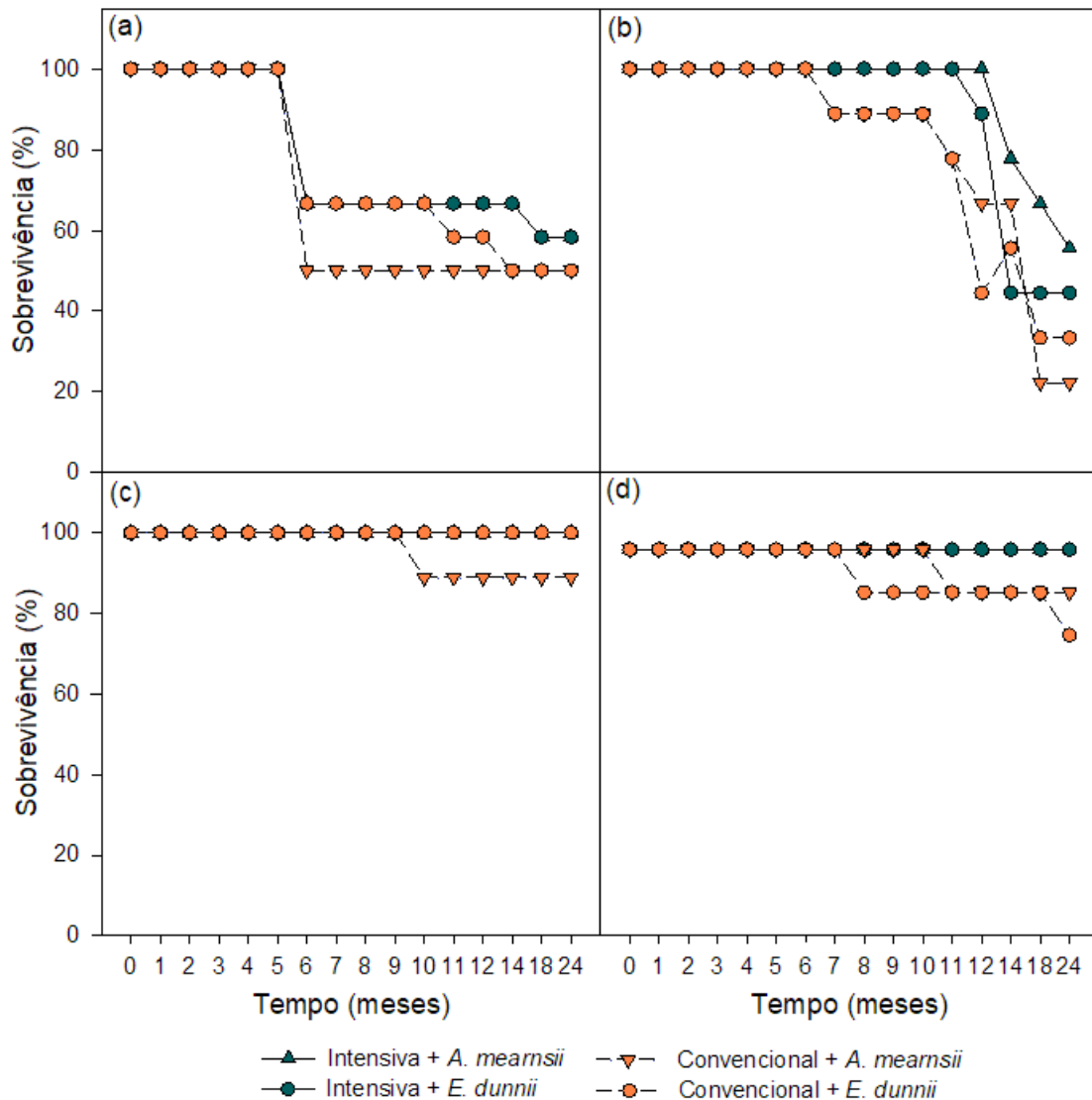
Onde: \*Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Barras verticais indicam a média  $\pm$  erro padrão

Fonte: Autor (2023)

As espécies estudadas apresentaram diferentes padrões de variação da sobrevivência ao longo do período de estudo. *C. americana* e *V. megapotamica* evidenciaram um padrão mais estável de sobrevivência na condição experimental avaliada em campo (Figura 5 c e d). Para *C. fissilis* foram verificados elevados percentuais de mortalidade entre o 12º e 18º mês após o plantio (Figura 5 b), período posterior ao inverno de 2021, o qual foi marcado por períodos de temperaturas

negativas na região de estudo (Figura 2). Já *A. angustifolia* apresentou altas porcentagens de mortalidade entre o 5º e 6º mês após o plantio, período com altas temperaturas e redução dos índices pluviométricos.

Figura 5 - Variação da sobrevivência ao longo de 24 meses das espécies *Araucaria angustifolia* (a), *Cedrela fissilis* (b), *Cordia americana* (c) e *Vitex megapotamica* (d), em função de duas práticas silviculturais distintas e dois modelos de plantio misto.



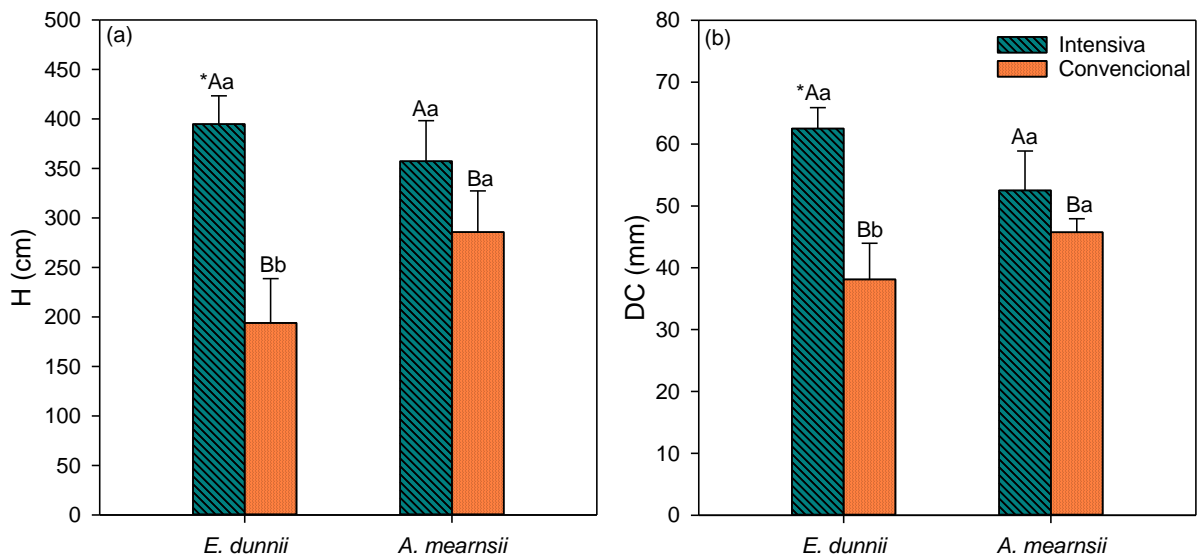
Fonte: Autor (2023)

### 3.2 ALTURA E DIÂMETRO DO COLETO

Aos 24 meses após o plantio verificou-se interação significativa entre os fatores de estudo (práticas silviculturais x modelos de plantio) para o crescimento em altura ( $p= 0.01107$ ) e diâmetro do coleto ( $p= 0.03566$ ) de plantas de *C. americana* (Figura

6). O uso da silvicultura intensiva permitiu aumento no crescimento em altura de *C. americana* em 103,6 % e 25,4 % em relação a silvicultura convencional (Figura 6a), quando utilizado *E. dunnii* e *A. mearnsii* como espécies pioneiras, respectivamente. O crescimento em diâmetro do coleto foi potencializando com o uso combinado da silvicultura intensiva e o *E. dunnii* como espécie pioneira (Figura 6b).

Figura 6 - Crescimento em altura (a) e diâmetro do coleto (b) de *Cordia americana* em função de duas práticas silviculturais distintas e dois modelos de plantio misto, aos 24 meses de idade.

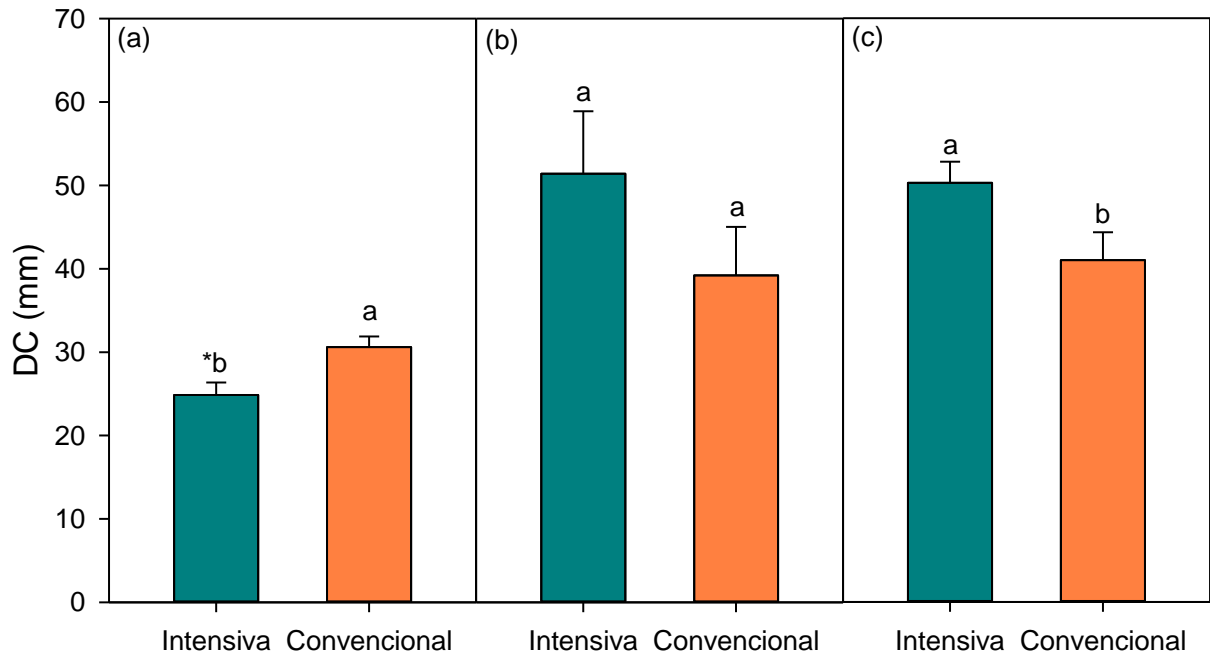


Onde: \*Letras maiúsculas indicam a comparação entre as práticas silviculturais para o mesmo modelo de plantio, e letras minúsculas representam comparação entre os modelos de plantio dentro da mesma prática silvicultural, pelo teste Tukey a 5% de probabilidade de erro. Barras verticais indicam a média  $\pm$  erro padrão

Fonte: Autor (2023)

Verificamos efeito significativo isolado das práticas silviculturais sobre o crescimento em DC das espécies *A. angustifolia* ( $p = 0,0007$ ) e *V. megapotamica* ( $p = 01107$ ). Plantas de *A. angustifolia* apresentaram o melhor crescimento em DC quando utilizado a silvicultura convencional (Figura 7a). Para *V. megapotamica* o uso da silvicultura intensiva aumentou em 22 % o crescimento em DC comparado ao uso da silvicultura convencional (Figura 7c).

Figura 7 - Crescimento em diâmetro do coleto (DC) de *Araucaria angustifolia* (a), *Cedrela fissilis* (b) e *Vitex megapotamica* (c), em função das diferentes práticas silviculturais e dois diferentes modelos de plantio misto aos 24 meses de idade.

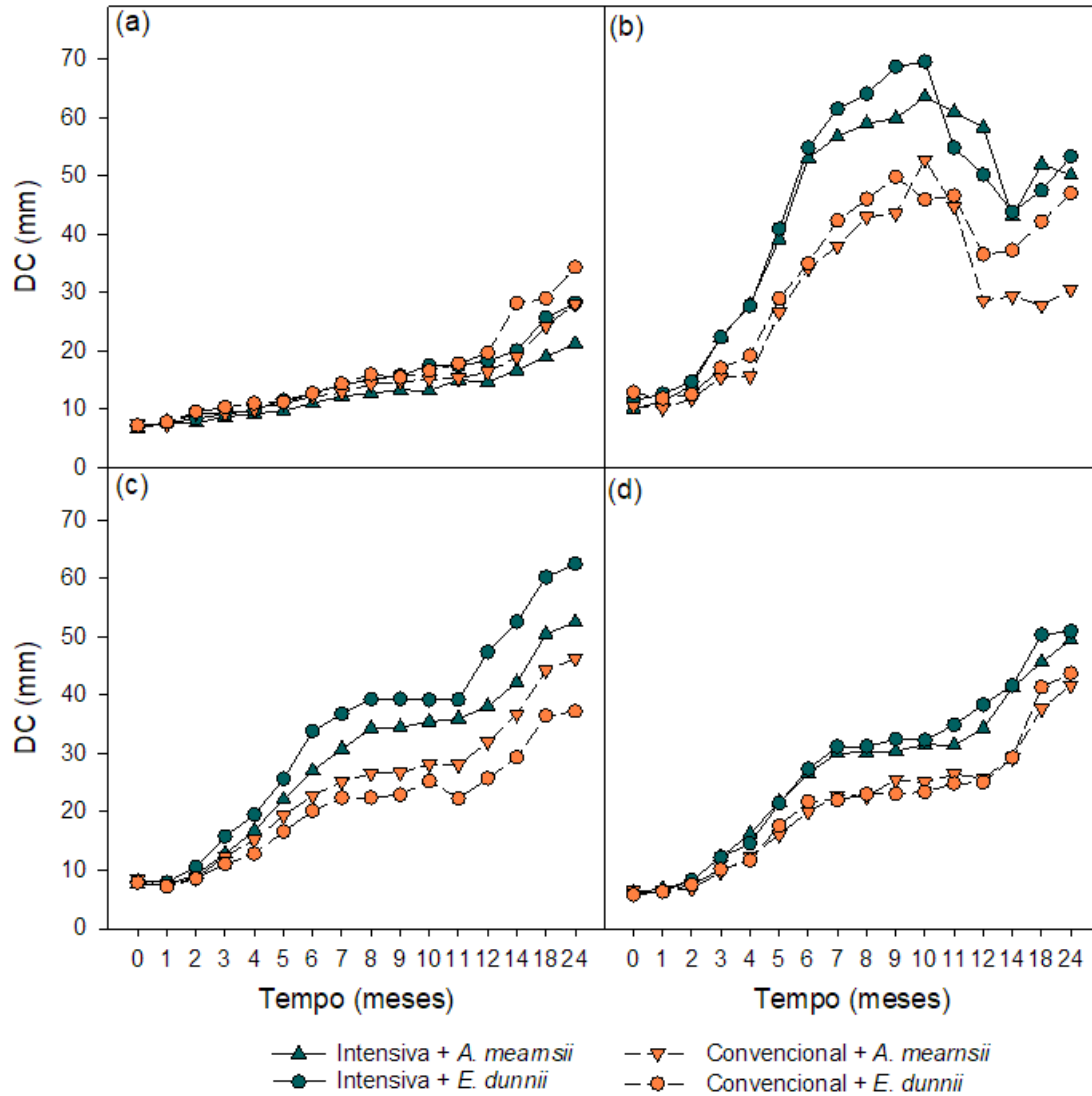


Onde: \*Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Barras verticais indicam a média  $\pm$  erro padrão.

Fonte: Autor (2023)

Ao longo do tempo verificou-se as menores taxas de crescimento para *A. angustifolia* (Figura 8a). *C. fissilis* apresentou tendência de rápido crescimento nos primeiros meses após o plantio, mas demonstrou redução nos valores após o período do inverno (Figura 8b). Para as espécies *C. americana* e *V. megapotamica* observou-se crescimento contrastante mesmo em meses com temperaturas mais baixas (Figura 8).

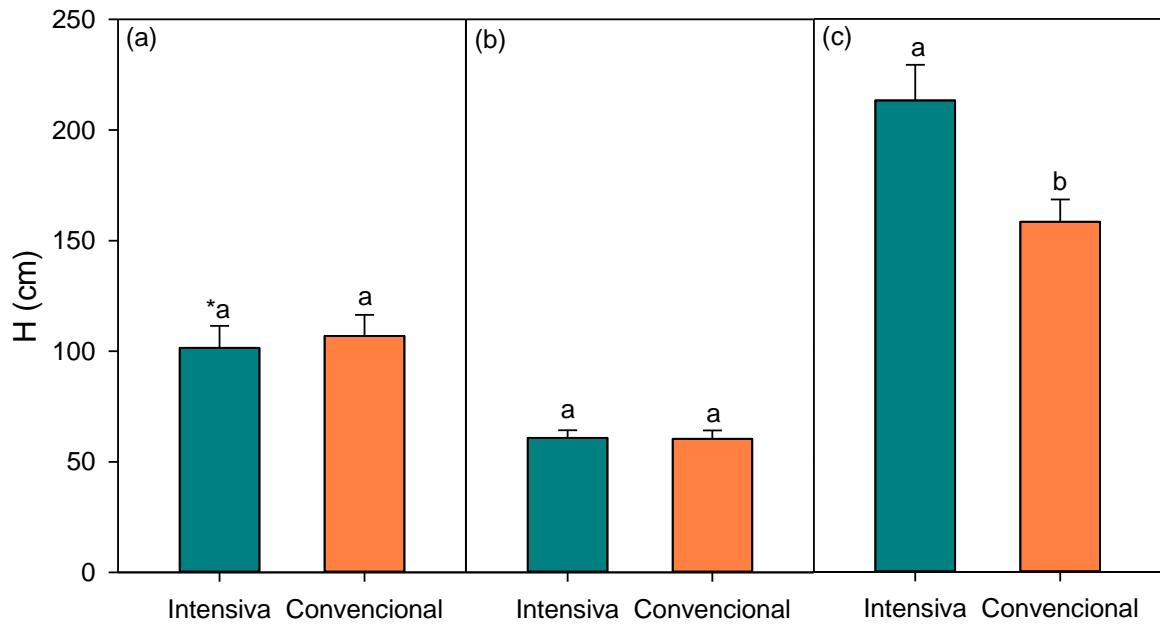
Figura 8 - Variação temporal do desenvolvimento em diâmetro do coleto ao longo de 24 meses das espécies *Araucaria angustifolia* (a), *Cedrela fissilis* (b), *Cordia americana* (c) e *Vitex megapotamica* (d), em função de duas práticas silviculturais distintas e dois modelos de plantio misto de restauração florestal.



Fonte: Autor (2023)

O uso das práticas silviculturais denotou em efeito significativo no crescimento em H de *V. megapotamica* ( $p= 0,00927$ ). Aos 24 meses após o plantio o crescimento em H de plantas de *V. megapotamica* foi 35 % superior na silvicultura intensiva em relação a silvicultura convencional (Figura 9c). Contudo, não foi verificada diferença significativa no crescimento em altura de *A. angustifolia* ( $p= 0,06766$ ; Figura 9a) e *C. fissilis* ( $p= 0,75371$ ; Figura 9b), com as menores médias de altura aos 24 meses após o plantio constatadas para *C. fissilis*.

Figura 9 - Crescimento em altura de *Araucaria angustifolia* (a), *Cedrela fissilis* (b) e *Vitex megapotamica* (c), em função das diferentes práticas silviculturais aos 24 meses de idade.

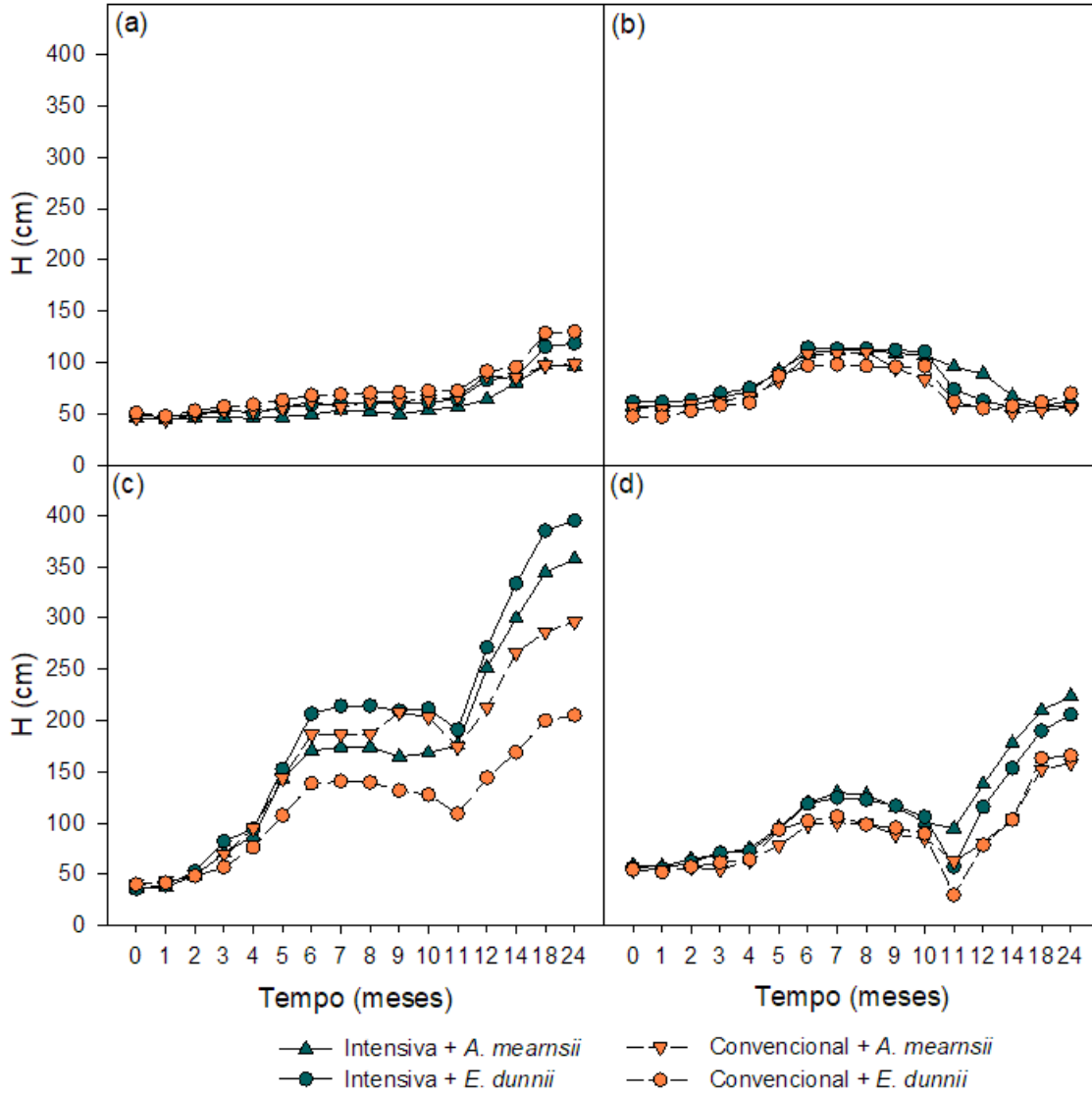


Onde: \*Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Barras verticais indicam a média  $\pm$  erro padrão

Fonte: Autor (2023)

Ao longo do período de monitoramento observou-se influência da sazonalidade climática no crescimento em altura das espécies estudadas (Figura 10). Verificou-se redução de crescimento em H das espécies *C. fissilis*, *C. americana* e *V. megapotamica* no 11º mês após o plantio, período subsequente a ocorrência de um longo período com temperaturas abaixo de 0°C.

Figura 10 - Variação temporal do crescimento em altura ao longo de 24 meses das espécies *Araucaria angustifolia* (a), *Cedrela fissilis* (b), *Cordia americana* (c) e *Vitex megapotamica* (d), em função de duas práticas silviculturais distintas e dois modelos de plantio misto de restauração florestal.

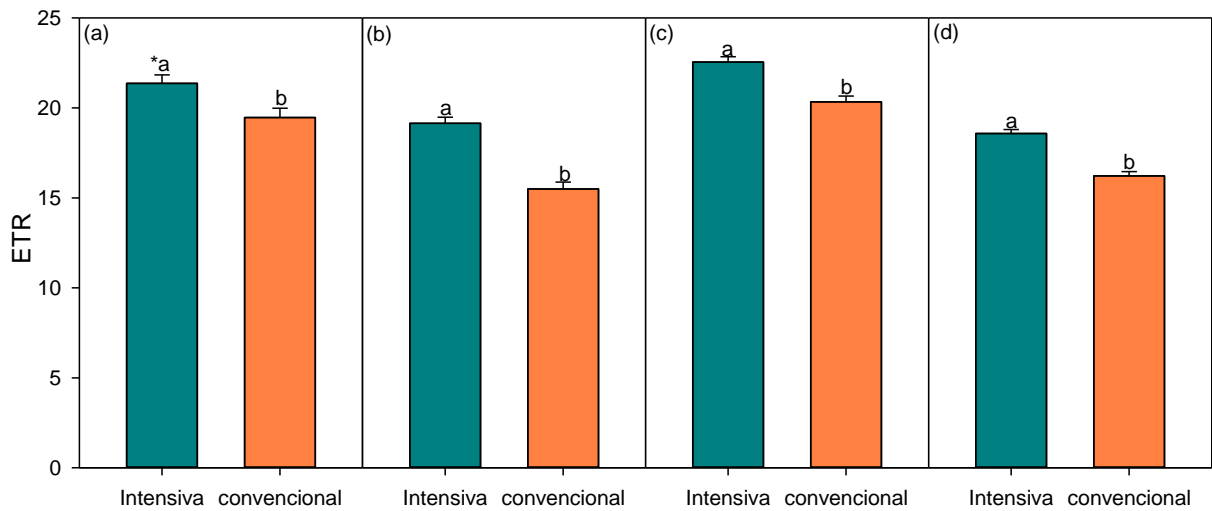


Fonte: Autor (2023)

### 3.3 FLUORESCÊNCIA DA CLOROFILA A

No que tange o resultado para a ETR verificou-se efeito significativo para as três espécies testadas e para a média geral do estudo ( $p < 0,05$ ). Plantas conduzidas sob a silvicultura intensiva apresentaram os maiores valores de ETR (Figura 11).

Figura 11 - Taxa de transporte de elétrons de *Cedrela fissilis* (a), *Cordia americana* (b), *Vitex megapotamica* (c), e para média geral (d), em função das diferentes práticas silviculturais aos 12 meses de idade.

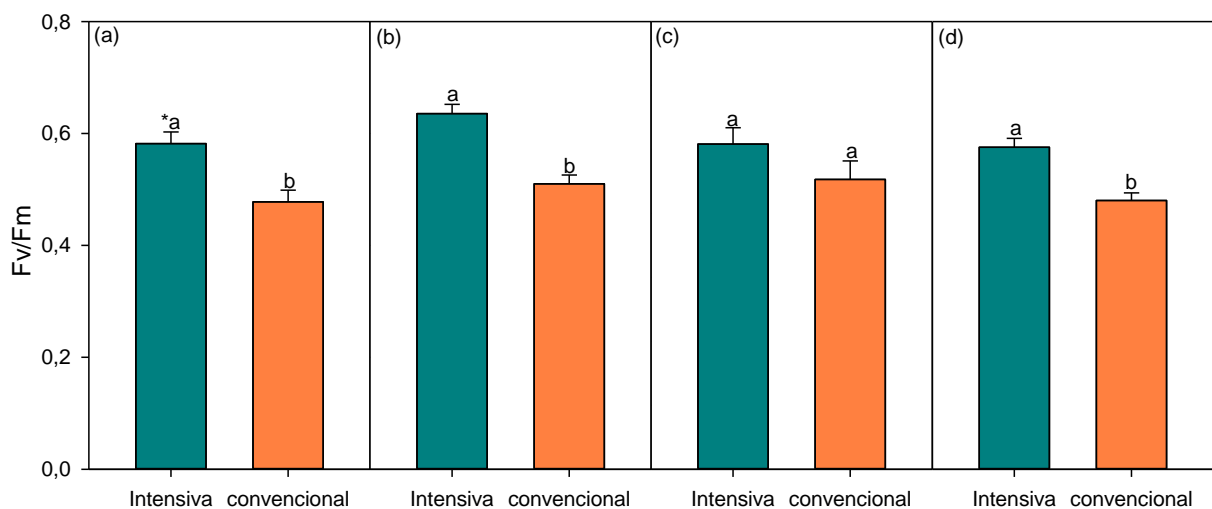


Onde: \*Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Barras verticais indicam a média  $\pm$  erro padrão

Fonte: Autor (2023)

Para o rendimento quântico máximo do PSII ( $F_v/F_m$ ) obtivemos resultados significativos para as espécies *C. fissilis* ( $p = 0.00013$ ; Figura 12a), *C. americana* ( $p = 0.00019$ ; Figura 12b), e para a média geral ( $p = 0.00004$ ; Figura 12d), onde a silvicultura intensiva garantiu os melhores resultados.

Figura 12 - Rendimento quântico máximo do PSII de *Cedrela fissilis* (a), *Cordia americana* (b), *Vitex megapotamica* (c), e para a média geral (d), em função das diferentes práticas silviculturais aos 24 meses de idade.



Onde: \*Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Barras verticais indicam a média  $\pm$  erro padrão.



Fonte: Autor (2023)

## 4 DISCUSSÃO

Os resultados obtidos no presente estudo demonstram que o sucesso de plantios de restauração na região sul do Brasil depende da melhoria das condições de sítio e maior aporte de recursos. O uso de práticas silviculturais intensivas permitiu maiores taxas de sobrevivência para *C. fissilis* e crescimento para as espécies *C. americana* e *V. megapotamica* aos 24 meses após o plantio. O objetivo da utilização da silvicultura intensiva baseia-se na Teoria da Ecologia da Produção, que preconiza que a produção de uma floresta é uma função da taxa de oferta e absorção de recursos (BINKLEY et al., 2004). Portanto, plantas com maior disponibilidade de recursos tendem a apresentar aumento na produtividade líquida.

Outras pesquisas também têm demonstrado o efeito benéfico do controle químico da matocompetição e aplicação de maiores doses de fertilizantes, práticas preconizadas pela silvicultura intensiva. Brancalion et al. (2019), verificaram maior incremento em biomassa de espécies florestais submetidas a silvicultura intensiva, em um plantio de restauração na região sudeste do Brasil. Turchetto et al. (2020), estudando o estabelecimento de espécies florestais nativas no Sul do Brasil constataram que o controle de plantas daninhas com o uso de glyphosate proporcionou melhores taxas de crescimento.

O uso e aplicação de herbicidas tem gerado amplo debate sobre possíveis efeitos adversos ao ecossistema. O uso incorreto do herbicida pode causar danos as espécies nativas, como redução de crescimento e elevada mortalidade, além da contaminação do ambiente (OBIRI et al., 2021; WEIDLICH et al., 2020). Neste sentido, ressalta-se que para a realização de controle químico em projetos de restauração deve-se observar o princípio ativo do herbicida, a aplicação de doses com baixa concentração, bem como o controle de forma localizada, garantido uma menor superfície de contato com o mesmo. Além disso estudos constataram que uma dose adequada de glifosato não apresenta evidências de mudanças prejudiciais na estrutura da comunidade da fauna epiedáfica e microbiana do solo (PERRANDO, 2008; RATCLIFF et al., 2006).

Os resultados positivos do uso de práticas intensivas no desenvolvimento das espécies plantadas estão diretamente relacionados ao favorecimento dos processos fisiológicos das plantas no período inicial de estabelecimento. Plantas conduzidas com

o uso da silvicultura intensiva apresentaram maiores valores de taxa de transporte de elétrons (ETR) e maior rendimento quântico máximo do PSII ( $F_v/F_m$ ). Estudos com espécies florestais vêm demonstrando que o uso de técnicas silviculturais mais intensivas garantem a eliminação da matocompetição, maximizando o aporte de nutrientes e, conseqüentemente, potencializando as taxas fotossintéticas das plantas.

Caron et al. (2012), estudando a interceptação da radiação luminosa pelo dossel de espécies florestais e sua relação com o manejo das plantas daninhas no sul do Brasil, concluíram que o controle da matocompetição nos primeiros meses de plantio permite melhor desempenho fotossintético ao estimularem maiores taxas de crescimento. Turchetto et al. (2020), verificaram maiores médias de  $F_v/F_m$  em plantas conduzidas com o uso da silvicultura intensiva, em um plantio de restauração no sul do Bioma Mata Atlântica.

A relação  $F_v/F_m$  é um atributo capaz de refletir a eficiência máxima das plantas através da absorção de energia luminosa pelo complexo de antenas do PSII e à sua conversão em energia química (BAKER, 2008). Assim, a relação  $F_v/F_m$  pode ser um indicador da ocorrência de estresse causado por fatores bióticos ou abióticos nas plantas (FERREIRA et al., 2015). Os menores valores de  $F_v/F_m$  mensurados em plantas conduzidas com o uso da silvicultura convencional significam, que menor foi a quantidade de luz recebida pela planta, tendo influência direta na formação de ATP e NADPH diminuindo a energia produzida pela planta (KRAUSE; WEIS, 1991).

O uso de plantas de cobertura de solo como adubos verdes, como *Raphanus sativus* L. (nabo forrageiro) e *Pennisetum glaucum* (L.) R.Br (milheto), tem sido considerado uma prática eficiente para o controle da matocompetição. Segundo Surdi, Campos e Nóbrega (2012), o uso em consórcio de espécies leguminosas e gramíneas apresentam diversas vantagens como proteção e adubação do solo, disponibilizando uma ampla gama de nutrientes durante sua decomposição e formando uma barreira de proteção natural para o solo. No presente estudo as plantas de cobertura auxiliaram o controle das plantas daninhas na fase inicial de estabelecimento (Apêndice C), porém, as plantas conduzidas sobre esse sistema não apresentaram crescimento expressivo. Entre as espécies estudadas, apenas *A. angustifolia* apresentou resultado superior no crescimento em diâmetro do coleto, quando utilizado a silvicultura convencional.

As espécies florestais geralmente agrupam-se em relação às suas exigências ambientais e aos locais onde se adaptam, formando grupos ecológicos ou funcionais

(TURCHETTO et al., 2020). Assim, em plantios de restauração é desejável identificar os grupos de espécies com maior desempenho, o que tende a aumentar as chances de sucesso da restauração. De maneira geral, observou-se resposta positiva à silvicultura intensiva para espécies secundárias iniciais. As espécies dos estágios sucessionais iniciais são geralmente mais sensíveis à falta de nutrientes do que as espécies de crescimento mais lento. Entre as espécies estudadas destaca-se *C. americana* e *V. megapomica*, as quais apresentaram elevadas taxas de sobrevivência e crescimento, sinalizando, desta forma, evidências que as qualificam como espécies altamente responsivas à silvicultura intensiva.

Conforme Marcuzzo, Araújo e Longhi (2013), *C. americana* destaca-se na restauração ecológica, podendo influenciar positivamente a entrada de luz propiciando o estabelecimento de outras espécies na área a ser restaurada. Além disso, é uma espécie que tolera sombreamento e baixas temperatura na sua fase juvenil (CARVALHO, 2004). Assim, pode-se considerar uma espécie de extrema importância em plantios mistos de restauração florestal na região sul do Brasil, em função dos resultados obtidos no presente estudo, sobretudo no que tange a resistência a condições climáticas adversas.

*V. megapotamica* demonstrou, neste estudo, uma elevada rusticidade, com sobrevivência superior a 94 % ao final dos 24 meses de idade, mesmo após períodos com registro de extremos climáticos. Os resultados corroboram os obtidos por Sgarbi (2013), que constatou uma sobrevivência de aproximadamente 95 % em um plantio misto de restauração florestal em Dois Vizinhos, Paraná. Carvalho (2002) também indica o uso de *V. megapotamica* para compor plantios mistos, ou sob cobertura, em função de sua auto-ecologia. Desse modo, verifica-se a importância da incorporação de *V. megapotamica* em projetos de restauração florestal no sul do Brasil, principalmente em áreas propensas à ocorrência de geadas.

Embora apresentando taxas percentual consideravelmente elevado para sobrevivência e crescimento nos primeiros meses de estabelecimento (Apêndice E), foi constatado para plantas de *C. fissilis* o menor percentual de sobrevivência aos 24 meses após o plantio, com aproximadamente 50 % e 20 % na silvicultura intensiva e convencional, respectivamente. Os maiores percentuais de mortalidade foram verificados durante o inverno de 2021, onde registrou-se períodos prolongados com temperatura inferior a 0 °C. Considerando que a supracitada espécie apresenta ampla distribuição na região de estudo, Vendruscolo (2013), em estudo fitossociológico em

remanescente adjacente à área do presente estudo, constatou que *C. fissilis* é uma das cinco espécies de maior valor de importância ecológica. Além disso, para Carvalho (2004) a espécie apresenta tolerância variável a baixas temperaturas, de medianamente tolerante a tolerante, podendo indivíduos adultos suportarem temperaturas de até -10 °C.

Assim, os resultados verificados para *C. fissilis*, demonstram o potencial de impacto negativo das mudanças climáticas em projetos de restauração florestal na região sul do Brasil, representando uma barreira ao estabelecimento de espécies florestais, mesmo espécies de alta importância local. Outros estudos também têm demonstrado os efeitos adversos da ocorrência de baixas temperaturas em espécies florestais. Curran, Reid e Skorik (2010) observaram os efeitos da geada severa na restauração da floresta tropical nos trópicos úmidos da Austrália. Vanoni et al. (2016) avaliaram o crescimento e a mortalidade de nove espécies de árvores em resposta à seca e à ocorrência de geadas. Conforme Rorato et al. (2017), a ocorrência de geadas por longos períodos em um ano representa uma importante restrição ambiental para o estabelecimento e crescimento de espécies florestais em plantios de restauração.

No que tange os modelos de plantios, a utilização de espécies comerciais, como o *Eucalyptus dunnii* e a *Acacia mearnsii* visa o rápido sombreamento e melhoria das condições edafoclimáticas da área, aliado a geração de receitas. Conforme Amazonas (2018), na utilização de modelos com espécies exóticas de rápido crescimento o maior desafio é evitar que as espécies nativas sejam suprimidas, o que pode resultar em redução das taxas de crescimento e alta mortalidade. Assim, em nosso estudo não verificamos efeito adverso das espécies exóticas sobre a sobrevivência e/ou crescimento das espécies arbóreas nativas estudadas, o que denota no potencial de utilização desses modelos na fase inicial de estabelecimento em plantios de restauração florestal.

De modo geral, no presente estudo constatou-se que os benefícios da silvicultura intensiva estão relacionados à redução da competição das espécies florestais, permitindo melhor desempenho do aparato fotossintético e, em decorrência disso, maior taxa de crescimento. Contudo, na região sul do Brasil a ocorrência de extremos climáticos tende a limitar o estabelecimento de espécies florestais susceptíveis. Assim, torna-se fundamental o desenvolvimento de estratégias eficazes para a restauração florestal, bem como o aprimoramento de pesquisas que foquem

no alcance de informações detalhadas sobre o comportamento de espécies florestais nativas frente a cenários de mudanças climáticas.

## 5 CONCLUSÃO

O uso de práticas silviculturais intensivas potencializam o crescimento e melhoraram o aparato fotossintético de espécies florestais nativas em plantios mistos no Sul do Brasil. Contudo, a ocorrência de longos períodos com baixas temperaturas limitam o desempenho ecofisiológico de espécies florestais em plantios de restauração de áreas degradadas.

Dentre as espécies estudadas destaca-se *C. americana* e *V. megapotamica*, haja vista que ambas apresentaram as maiores taxas de sobrevivência e crescimento, sendo indicadas para compor a fase inicial de projetos de restauração em regiões subtropicais. *C. fissilis* mostrou ser uma espécie com baixas taxas de crescimento e, como contraponto, as maiores taxas de mortalidade, devido a ocorrência de um longo período com baixas temperaturas. Já *A. angustifolia* resultou em uma alta mortalidade nos primeiros meses de desenvolvimento, podendo ser utilizada desde que sejam melhoradas as condições do solo e do ambiente.

Os modelos de plantio testados apresentaram características importantes para o melhor desenvolvimentos dos indivíduos, evidenciando o papel das espécies nativas pioneiras. Nesse contexto, é possível a recomendação de adoção em futuros projetos de restauração no sul do Brasil como meio de incentivo econômico, desde que associados e conduzidos com práticas silviculturais intensivas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARES, Clayton Alcarde *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.

AMAZONAS, Nino tarez. **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\\_Tavarez\\_Amazonas\\_versao\\_revisada.pdf](https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/tde-07052018-112057/publico/Nino_Tavarez_Amazonas_versao_revisada.pdf)>. Acesso em: 12 julho 2023.

BADARI, Carolina Giudice *et al.* Ecological outcomes of agroforests and restoration 15 years after planting. **Restoration Ecology**, v. 28, n. 5, p. 1135–1144, 2020.

BAKER, Neil. Chlorophyll fluorescence: A probe of photosynthesis in vivo. **Plant Biology**, v. 59, p. 89–113, 2008.

BRANCALION, Pedro Henrique Santin *et al.* Intensive silviculture enhances biomass accumulation and tree diversity recovery in tropical forest restoration. **Ecological Applications**, v. 29, n. 2, 2019.

CAMPOE, Otávio *et al.* Atlantic forest tree species responses to silvicultural practices in a degraded pasture restoration plantation: From leaf physiology to survival and initial growth. **Forest Ecology and Management**, v. 313, p. 233–242, 2013.

CARON, Braulio Otomar *et al.* Interceptação da radiação luminosa pelo dossel de espécies florestais e sua relação com o manejo das plantas daninhas. **Ciência Rural**, v. 42, n. 1, p. 75–82, 2012.

CARVALHO, Paulo Ernani Ramalho. Competição entre espécies florestais nativas em Irati-PR, cinco anos após o plantio. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n. 2, p. 41–56, 1981.

CARVALHO, Paulo Ernani Ramalho. **Espécies Arbóreas Brasileiras**. 1. ed. Colombo, PR: Embrapa Florestas, 2003.

CARVALHO, Paulo Ernani Ramalho. Guajuvira - *Patagonula americana* Taxonomia e Nomenclatura. **Circular Técnica 97**. Colombo, PR: Embrapa Florestas, 2004.

CURRAN, Timothy; REID, Ellen; SKORIK, Christian. Effects of a severe frost on riparian rainforest restoration in the Australian Wet Tropics: Foliage Retention by Species and the Role of Forest Shelter. **Restoration Ecology**, v. 18, p. 408-413, 2010.

FERREIRA, Eric Batista; CAVALCANTI, Portya Piscitelli; NOGUEIRA, Denismar Alves. **ExpDes.pt: Experimental Designs package (Portuguese)**. R package version 1.1.2, 2021.

FERREIRA, Evander Alves *et al.* Cassava physiological responses to the application of herbicides. **Semina**, v. 36, n. 2, p. 645–656, 2015.

FONSECA, Debora Aline *et al.* Avaliação da regeneração natural em área de restauração ecológica e mata ciliar de referência. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 2, p. 521–534, 2017.

GAMA, João Ricardo Vasconcellos *et al.* Estrutura e potencial futuro de utilização da regeneração natural de floresta de várzea alta no município de Afuá, estado do Pará. **Ciência Florestal**, v. 13, n. 2, p. 71–82, 2003.

GHAZOUL, Jaboury; BUGALHO, Miguel; KEENAN, Rodney. Forests: economic perks of plantations. **Nature**, v. 570, p. 307, 2019.

KRAUSE, G. Heinrich.; WEIS, Engelbert. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: **Plant Physiology**, v. 42, p. 313–362, 1991.

LOZANO-BAEZ, Sergio *et al.* Land restoration by tree planting in the tropics and subtropics improves soil infiltration, but some critical gaps still hinder conclusive results. **Forest Ecology and Management**, v. 444, p. 89–95, 2019.

MARCUZZO, Suzane Bevilacqua; ARAÚJO, Maristela Machado Araújo; LONGHI, Solon Jonas. Estrutura e relações ambientais de grupos florísticos em fragmento de floresta estacional subtropical. **Revista Árvore**, v. 37, n. 2, p. 275–287, 2013.

MARRON, Nicolas; EPRON, Daniel. Are mixed-tree plantations including a nitrogen-fixing species more productive than monocultures? **Forest Ecology and Management**, v. 441, p. 242–252, 2019.

NARVAES, Igor da Silva; LONGHI, Solon Jonas; BRENA, Doádi Antônio . Florística e classificação da regeneração natural em Floresta Ombrófila Mista na Floresta Nacional de São Francisco de Paula, RS. **Ciência Florestal**, v.18, n. 2, p.233–245, 2008.

OBIRI, Beatrice Darko. Farmers' perceptions of herbicide usage in forest landscape restoration programs in Ghana. **Scientific African**, v. 11, n. 1-3, 2021.

OLIVOTO, Tiago; LÚCIO, Alessandro Dal' Col. Metan: An R package for multi-environment trial analysis. **Methods in Ecology and Evolution**, v. 11, n. 6, p. 783–789, 2020.

OMEJA, Patrick *et al.* Intensive tree planting facilitates tropical forest biodiversity and biomass accumulation in Kibale National Park, Uganda. **Forest Ecology and Management**, v. 261, n. 3, p. 703–709, 2011.

PAULA, Alessandro *et al.* Sucessão ecológica da vegetação arbórea em uma Floresta Estacional Semidecidual, Viçosa, MG, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 18. n. 3, p. 407-423, 2004.

PERRANDO, Edison Rogério. **Caracterização física e biológica do solo após aplicação de herbicida em plantios de acácia negra (*Acacia mearnsii* De Wild.) no Rio Grande do Sul.** Tese (Doutorado em Engenharia Florestal). Universidade

Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008. Disponível em: <<https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/3713/EDISONPERRANDO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 05 maio 2023.

R CORE TEAM. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2018

RODRIGUES, Ricardo Ribeiro *et al.* On the restoration of high diversity forests: 30 years of experience in the Brazilian Atlantic Forest. **Forest Ecology and Management**, v. 142, p. 1242–1251, 2009.

RORATO, Daniele Guarienti *et al.* Tolerance and resilience of forest species to frost in restoration planting in southern Brazil. **Restoration Ecology**, v. 26, p. 537-542, 2017.

SAWCZUK, Alex Roberto *et al.* Alterações na estrutura e na diversidade florística no período 2002-2008 de uma floresta ombrófila mista montana do centro-sul do Paraná, Brasil. **Floresta**, v. 42, n. 1, p. 1 - 10, 2012.

SGARBI, Ana Suelen. **Avaliação de crescimento inicial de espécies nativas em plantio misto de restauração florestal em Dois Vizinhos, PR**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Tecnológica federal do Paraná, Dois Vizinhos, 2013. Disponível em: <[https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/10960/2/DV\\_COENF\\_2012\\_2\\_03.pdf](https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/10960/2/DV_COENF_2012_2_03.pdf)>. Acesso em: 20 maio 2023.

SILVA, Luis Neves; FREER-SMITH, Peter; MADSEN, Palle. Production, restoration, mitigation: a new generation of plantations. **New Forests**, v. 50, n. 2, p. 153–168, 2019.

SUDING, Katharine *et al.* Committing to ecological restoration: Efforts around the globe need legal and policy clarification. **Science**, v. 348, n. 6235, p. 638–640, 2015.

SURDI, Rosilene Zanette; CAMPOS, Rubya, Vieira Mello; NÓBREGA, Helena Pereira. Plantas de cobertura e/ou adubos verdes. **Scientia Agrária**, v. 2, n. 2, p. 165–175, 2012.

TURCHETTO, Felipe *et al.* Intensive silvicultural practices drive the forest restoration in southern Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 473, 2020.

VACCARO, Sandro; LONGHI, Solon Jonas; BRENA, Doádi Antônio. Aspectos da composição florística e categorias sucessionais do Estrato arbóreo de três *subseres* de uma floresta estacional Decidual, no município de Santa Tereza – RS. **Ciência Florestal**, v.9, n.1, p.1-18, 1999.

VANONI, Marco *et al.* Drought and frost contribute to abrupt growth decreases before tree mortality in nine temperate tree species. **Forest Ecology Management**, v. 382, p. 51-63, 2016.

VENDRUSCOLO, Rafael. **Dinâmica fitossociológica e de crescimento de um Fragmento florestal manejado em 1993, no noroeste do RS**. Dissertação (Mestrado em Agronomia e Meio Ambiente) – Universidade Federal de Santa Maria,



Frederico Westphalen, 2015. Disponível em:  
<<https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/4945/VENDRUSCULO%2C%20RAFAEL.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 20 maio 2023.

WEIDLICH, Emanuela. Controlling invasive plant species in ecological restoration: A global review. **Journal of Applied Ecology**, v. 57, p. 1806–1817, 2020.

## APÊNDICES

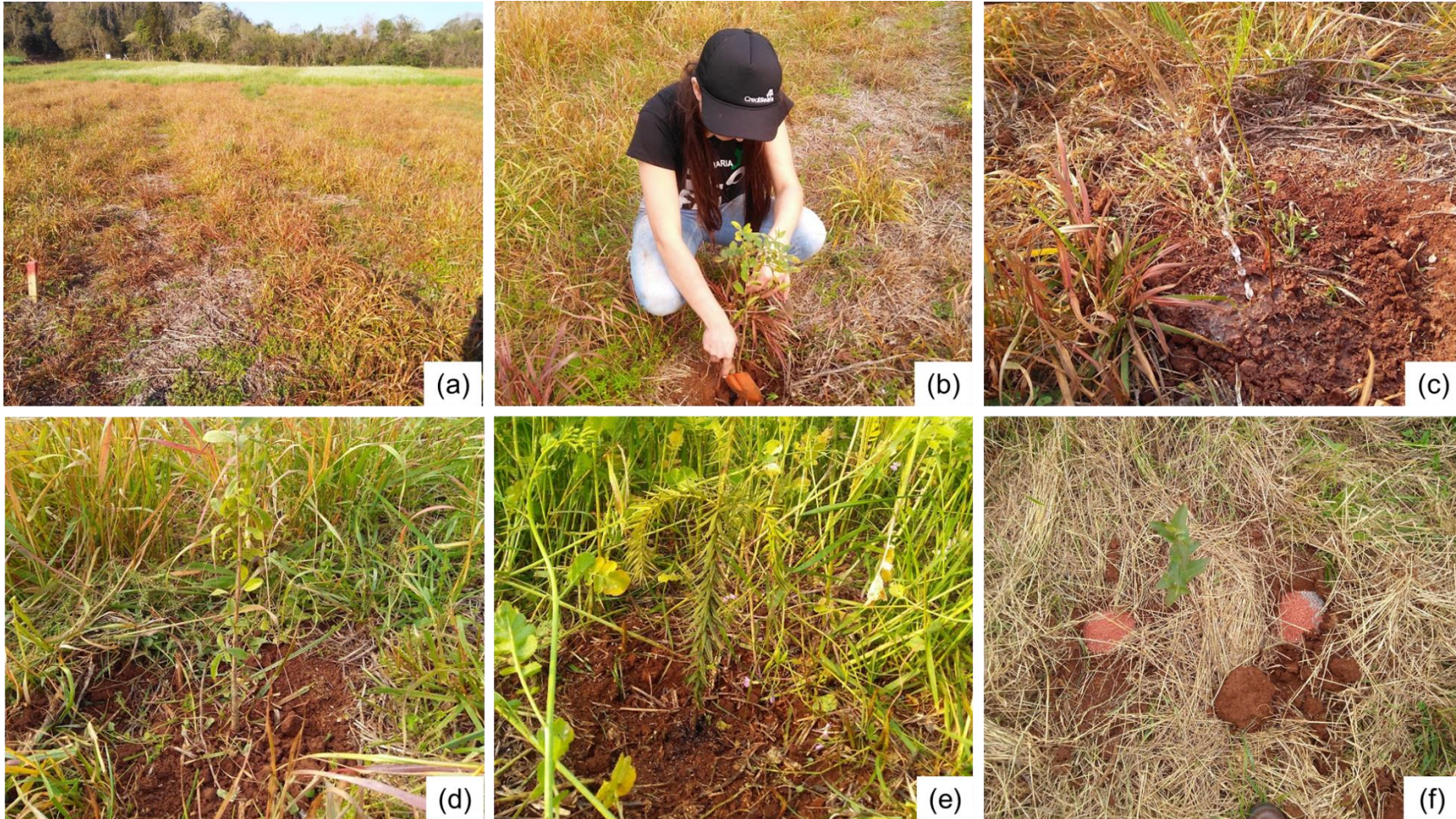
Apêndice A - Valores relativos aos atributos químicos e físicos do solo e interpretação, conforme a SBCS/CQFS (2004) para a área de estudo.

	<b>Atributos</b>	<b>Valor</b>	<b>Interpretação</b>
Análise Química	pH água	5,0	Baixo
	Alumínio (cmol <sub>c</sub> .dm <sup>3</sup> )	0,4	-
	Cálcio (cmol <sub>c</sub> .dm <sup>3</sup> )	8,2	Alto
	Magnésio (cmol <sub>c</sub> .dm <sup>3</sup> )	2,7	Alto
	Potássio (mg.dm <sup>3</sup> )	188,0	Muito alto
	Fósforo (mg.dm <sup>3</sup> )	3,1	Muito Baixo
	Enxofre (mg.dm <sup>3</sup> )	22,9	Alto
	Cobre (mg.dm <sup>3</sup> )	1,1	Alto
	Zinco (mg.dm <sup>3</sup> )	8,1	Alto
	Boro (mg.dm <sup>3</sup> )	0,8	Alto
	MO (%)	1,6	Baixa
	m% (%)	1,8	Baixo
	V (%)	78,8	Médio
	CTC efetiva (cmol <sub>c</sub> .dm <sup>3</sup> )	11,8	Médio
CTC pH 7 (cmol <sub>c</sub> .dm <sup>3</sup> )	13,67	Muito Baixo	
Análise Física	Areia grossa (2-0,2 mm)	12,61	
	Areia fina (0,2-0,05 mm)	33,39	
	Silte (0,05-0,002 mm)	32,82	
	Argila (<0,002 mm)	21,35	
	Classe textural	Franco	

Onde: pH água: acidez ativa; P: fósforo extraído pelo método Mehlich; MO: matéria orgânica; m%: saturação por alumínio; V: saturação por bases; CTC efetiva: capacidade de troca de cátions efetiva; CTC pH7: capacidade de troca de cátions potencial.

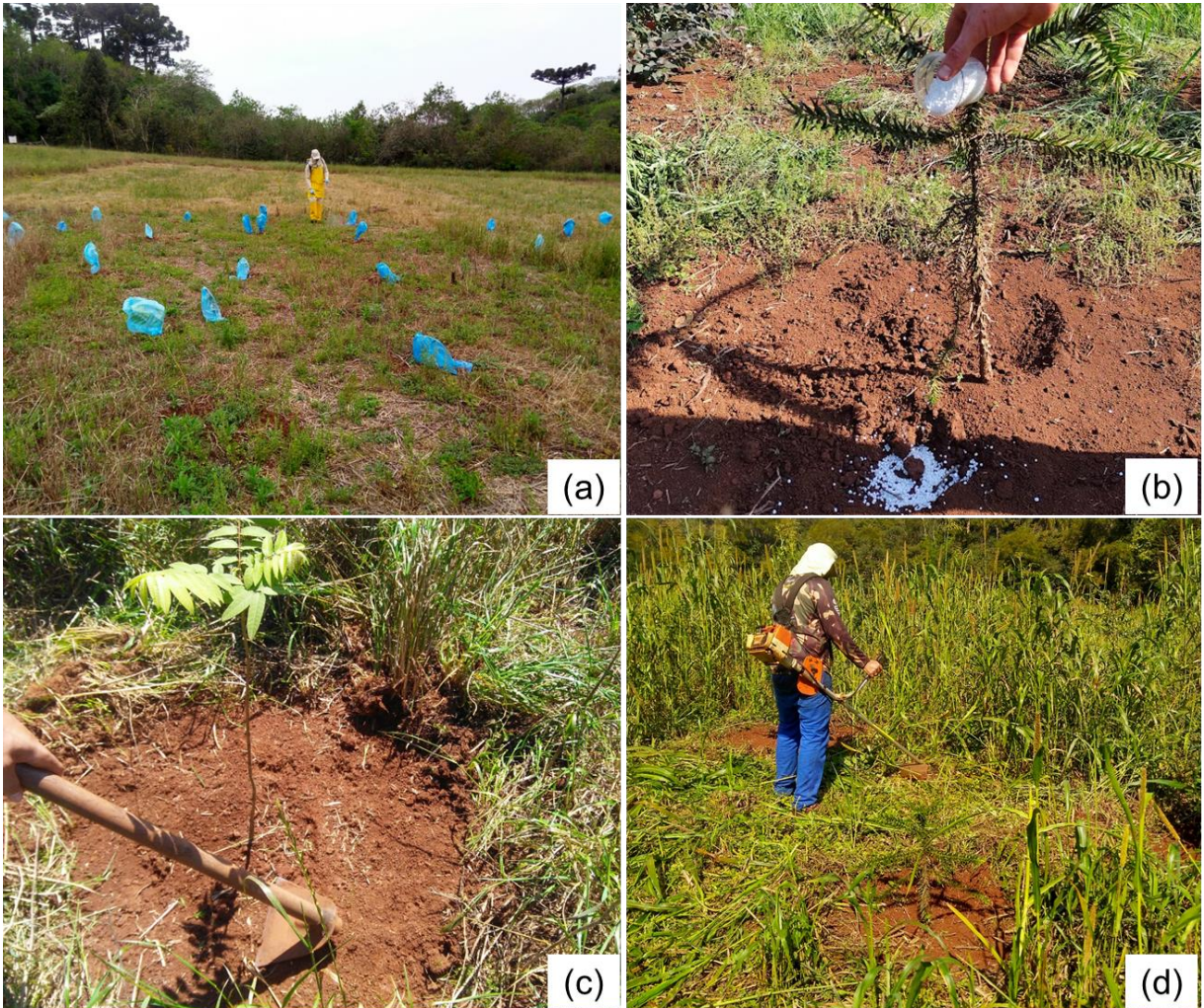
Fonte: Autor (2023)

Apêndice B - Atividades realizadas durante a implantação do estudo. a) Vista geral da área de estudo; b) plantio das mudas; c) irrigação das mudas; d) muda de *C. americana* após o plantio conduzida sob silvicultura intensiva; e) muda de *A. angustifolia* após o plantio conduzida sob silvicultura convencional; e f) adubação de plantio.



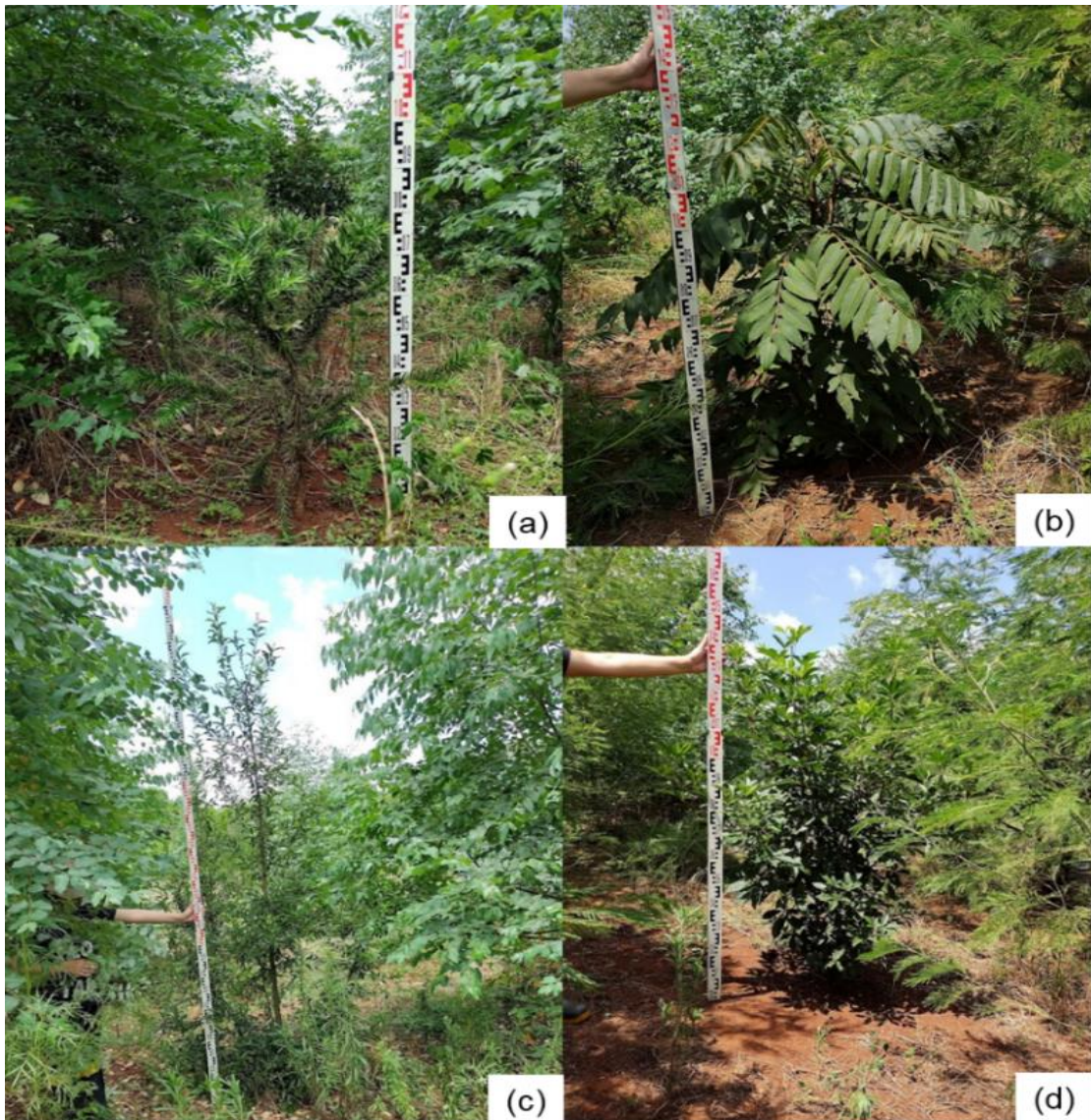
Fonte: Autor (2023)

Apêndice C – Atividades de condução realizadas ao longo do período de estudo. a) Controle de plantas daninhas por meio da aplicação de glifosato; b) adubação de cobertura; c) coroamento das mudas; d) roçada semimecanizada das plantas de cobertura.



Fonte: Autor (2023)

Apêndice D – Plantas de a) *A. angustifolia*, b) *C. fissilis*, c) *C. americana*, e d) *V. megapotamica* (d) aos 14 meses após o plantio, conduzidas com o uso da silvicultura intensiva, em um plantio misto no sul do Bioma Mata Atlântica.



Apêndice E - Plantas de *C. fissilis* conduzidas: a) Antes da ocorrência de geadas em abril de 2021; b) durante a ocorrência de eventos de geada em agosto de 2021; c) após a ocorrência de geadas em setembro de 2021; e d) ocorrência *Hypsipyla grandella* Zell. (Lepidoptera: Pyralidae), a broca-do-cedro.



Fonte: Autor (2023)

