

Pelotas, RS / Novembro, 2024

## Restauração ecológica de florestas com semeadura direta mecânica simultânea de árvores e grãos

Bruno Scheffer Del Pino<sup>(1)</sup>, Ernestino de Souza Gomes Guarino<sup>(2)</sup>, Ângelo Vieira dos Reis<sup>(3)</sup>, Isadora Moreira da Luz Real<sup>(1)</sup>, Artur Ramos Molina<sup>(1)</sup>, Marcos Jardel Matias Soares<sup>(1)</sup> e Frederico de Castro Mayer<sup>(4)</sup>

<sup>(1)</sup> Estudantes de pós-graduação, bolsistas na Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS. <sup>(2)</sup> Pesquisador, Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS. <sup>(3)</sup> Professor, Universidade Federal de Pelotas, RS. <sup>(4)</sup> Estudante de graduação, estagiário na Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS.

**Resumo** – A semeadura direta de espécies arbóreas para restauração de florestas é uma técnica que vem ganhando espaço, por seu custo reduzido e capacidade de incorporar altas densidades de indivíduos. Muitos estudos vêm sendo realizados para detalhar a semeadura direta manual. A mecanização dessa técnica ainda é pouco compreendida, mas é promissora no que tange à redução de tempo, custo e penosidade do trabalho na implantação de áreas em restauração. Assim, o objetivo deste trabalho foi: i) calibrar uma máquina semeadora para semeadura de espécies florestais; ii) avaliar a emergência e o estabelecimento total de plântulas de espécies arbóreas plantadas por meio de semeadura direta mecanizada; e iii) avaliar o custo do processo de semeadura direta mecanizada em sistema convencional e em sistema agroflorestal. O estudo foi conduzido por meio de experimento na Estação Experimental Cascata (EEC), da Embrapa Clima Temperado, no período de setembro/2023 a maio/2024. Os tratamentos testados foram semeadura direta mecanizada com cultivo de milho (T1) e sem cultivo de milho (TC). Observou-se que ambos os tratamentos alcançaram médias de indivíduos superiores às densidades de plantios de mudas em área total, a qual é a técnica mais utilizada atualmente para restauração de florestas. Em T1 os custos da implantação foram menores, por conta da produção de milho realizada concomitantemente à semeadura de arbóreas.

**Termos para indexação:** agrofloresta, silvicultura, recuperação de áreas degradadas, otimização da mão de obra, ecologia da restauração.

### Ecological restoration of forests with simultaneous mechanical direct sowing of trees and grains

**Abstract** – Direct seeding of tree species for forest restoration is a technique that has been gaining ground due to its reduced cost and ability to incorporate high densities of individuals. Many studies have been carried out to detail manual direct seeding. The mechanization of this technique is still poorly understood, but it is promising in terms of reducing time, costs and labor burden in the implementation of areas under restoration. Thus, the objective

**Embrapa Clima Temperado**  
BR-392, Km 78, Caixa Postal 403  
96010-971 Pelotas, RS  
Fone: (53) 3275-8100  
www.embrapa.br/clima-temperado  
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações

Presidente

Ana Cristina Richter Krolow

Secretária-executiva

Rosângela Costa Alves

Membros

Newton Alex Mayer, Rosângela

Costa Alves, Bárbara Chevallier

Cosenza, Cláudia Antunez

Arrieche e Sonia Desimon

Edição executiva

Bárbara Chevallier Cosenza

Revisão de texto

Bárbara Chevallier Cosenza

Normalização bibliográfica

Cláudia Antunez Arrieche

(CRB-10/1594)

Projeto gráfico

Leandro Sousa Fazio

Diagramação

Nathália Santos Fick

Publicação digital: PDF

Todos os direitos  
reservados à Embrapa.

of this work was: i) to calibrate a seeder machine for sowing forest species; ii) to evaluate the emergence and full establishment of seedlings of tree species planted through mechanized direct seeding; and iii) to evaluate the cost of the mechanized direct seeding process in conventional systems and in agroforestry systems. The study was conducted through an experiment at the Cascata Experimental Station (EEC), at Embrapa Temperate Agriculture, between September/2023 and May/2024. The treatments consisted of mechanized direct seeding with (T1) and without corn cultivation (TC). It was observed that both treatments achieved average numbers of individuals higher than the densities of seedling plantings in the total area, which is the most used technique currently for forest restoration. In T1, implementation costs were lower, due to the production of corn carried out simultaneously with the sowing of trees.

**Index terms:** agroforestry, silviculture, restoration of degraded areas, work force optimization, ecological restoration.

## Introdução

A restauração ecológica tem um conceito consolidado, aplicado pela Society for Ecological Restoration (Sociedade pela Restauração Ecológica) (Society for Ecological Restoration, 2022) como: “a ciência, prática e arte de assistir e manejar a recuperação da integridade ecológica dos ecossistemas, incluindo um nível mínimo de biodiversidade e de variabilidade na estrutura e funcionamento dos processos ecológicos, considerando-se seus valores ecológicos, econômicos e sociais”. Nesse sentido, uma das funções da restauração ecológica é proporcionar ao ambiente condições para que ele possa evoluir para um sistema mais equilibrado, biodiverso e capaz de se reestruturar.

Diversos métodos e técnicas são utilizadas para a restauração ecológica de florestas, dentre elas a transposição de solo, poleiros artificiais, o plantio de mudas, a semeadura direta e a regeneração natural (Brancaion et al., 2009). No entanto, o método mais utilizado ainda é o plantio de mudas (Silva et al., 2015), porém esse método possui custos elevados. Custos que envolvem, além da coleta de sementes, o plantio em viveiro, aquisição de substrato, transporte das mudas, e elevada mão de obra para o plantio no campo (Cole et al., 2011). Em contrapartida, a semeadura direta vem sendo amplamente estudada e difundida, e apresenta benefícios ecológicos e econômicos. Trata-se de uma técnica mais

econômica, quando comparada ao plantio de mudas (Durigan et al., 2013; Raupp et al., 2020; Molina, 2023). Além disso, está relacionada a uma grande eficiência ecológica, associada a altas densidades de indivíduos estabelecidos, recriando condições facilitadoras, que se aproximam das áreas de sucessão secundária (Silva et al., 2015; Pellizzaro et al., 2017; Silva; Vieira, 2017).

Existem experiências de uso da semeadura direta mecanizada para restauração de florestas, por meio da semeadura a lanço (Campos Filho et al., 2013). Essa prática pode ser uma importante aliada na redução de tempo, custo e penosidade do trabalho na implantação de áreas em restauração, principalmente áreas extensas ou de difícil acesso (Close; Davidson, 2003).

A Lei de Proteção à Vegetação Nativa nº 12.651, de maio de 2012, conhecida como “Novo Código Florestal”, definiu normas para proteção da vegetação nativa e Reservas Legais (RL), como áreas com possibilidade de uso econômico sustentável de recursos naturais no contexto da agricultura familiar. Essa legislação também colocou os sistemas agroflorestais (SAFs) como possibilidade de uso para computar como RL em propriedades agrícolas familiares (Brasil, 2012). Por isso, esses sistemas podem contribuir para agricultores familiares que precisam se adequar e restaurar áreas na propriedade, com possibilidade de produzir alimentos, extrair lenha, madeira, entre outros.

Os SAFs consorciavam espécies herbáceas, arbustivas e arbóreas, tanto frutíferas como madeireiras, além da possibilidade de aliar a presença animal (Nair, 1993). Esses sistemas são capazes de acelerar os processos naturais de sucessão ecológica, restaurando e produzindo alimentos saudáveis (Peneireiro, 2003).

Outro instrumento legal importante e recente é a Instrução Normativa nº 14, de julho de 2024, do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais (Ibama, 2024), que estabeleceu os “[...] procedimentos para elaboração, apresentação, execução e monitoramento de Projeto de Recuperação de Área Degradada ou Área Alterada (PRAD) pelo administrado com vistas ao cumprimento da legislação ambiental em todos os biomas e suas respectivas fitofisionomias [...]”. Nesse contexto, com o objetivo de apoiar a adoção da semeadura direta como técnica de restauração das formações florestais do Rio Grande do Sul, especialmente com ganho de escala, devido à mecanização do processo, este trabalho visou os seguintes objetivos: i) calibrar uma máquina semeadora para semeadura de espécies florestais; ii) avaliar a emergência e o

estabelecimento total de plântulas de espécies arbóreas plantadas por meio de semeadura direta mecanizada; e iii) avaliar o custo do processo de semeadura direta mecanizada em sistema convencional e em sistema agroflorestal.

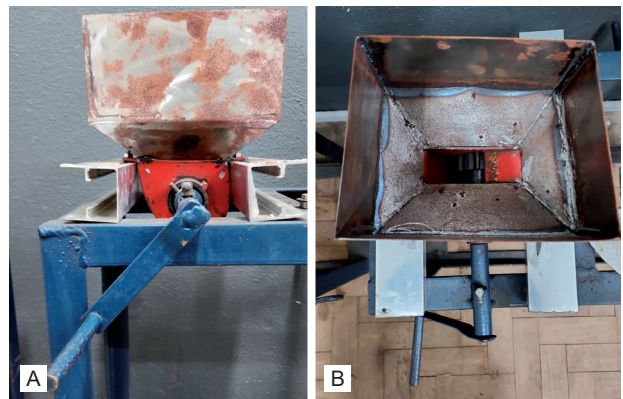
## Material e métodos

### Regulagem da semeadora

Foram selecionadas para o presente estudo 16 espécies florestais (Tabela 1) e 2 espécies de plantas de cobertura [*Vigna unguiculata* (L.) Walp (feijão-miúdo) e *Cajanus cajan* (L.) Millsp. (feijão-guandu)], para a semeadura a campo. As plantas de cobertura, além de emergir e crescer de forma mais acelerada, se comparadas às florestais, cumprem a função de criar um ambiente mais favorável para as espécies florestais e suprimir espécies exóticas que competem com as nativas (Pagoto, 2022). O feijão-miúdo e o feijão-guandu, por pertencerem à família Fabaceae, conhecida pela fixação biológica de nitrogênio no solo, também contribuem para a adubação verde e disponibilidade de nutrientes (Bevilaqua et al., 2024). Com essas 18 espécies, foi feita uma mistura de sementes para compor uma amostra e realizar a regulagem do dosador de rotor acanalado de uma semeadora de fluxo contínuo. Esse é um componente da semeadora que possibilita a semeadura de altas taxas de sementes, utilizado geralmente para culturas que requerem menor espaçamento entre sementes na linha. O critério para a seleção das espécies foi a disponibilidade de sementes no mercado do estado do Rio Grande do Sul e a possibilidade de uso das espécies em SAF.

Os testes realizados para calibrar a semeadora foram realizados por meio de ensaios de bancada, no Laboratório de Máquinas Agrícolas do Departamento de Engenharia Rural da Universidade Federal de Pelotas (UFPEL), ao longo do segundo semestre de 2023. Para isso, foi construído um protótipo para simular o funcionamento da máquina no campo (Figura 1). Os testes envolveram modificações na abertura do rotor acanalado de fluxo contínuo e na abertura de dosagem das sementes, na rotação de 27 rpm. Nos ensaios foram realizadas pesagens da amostra de sementes em balança de precisão,

antes e depois de passar pelo protótipo, a fim de verificar a melhor regulagem para a passagem das sementes.



Fotos: Bruno Scheffer Del Pino

**Figura 1.** Protótipo de bancada, simulador de semeadora de fluxo contínuo com rotor acanalado. (A) Vista lateral do protótipo de bancada. (B) Vista superior do protótipo de bancada

A amostra de sementes arbóreas foi definida buscando-se uma população final de 1.666 plantas por hectare, quantidade equivalente ao plantio de mudas, com espaçamento de 2 m entre plantas e 3 m entre linhas. Nessa amostra, a densidade populacional levou em consideração a germinação das espécies, o peso de mil sementes, e, ao final, multiplicou-se a amostra por 30, para utilizar 30 vezes o número de sementes como base para alcançar essa população.

Tendo em vista que a técnica de plantio de mudas usa 2 m entre plantas, 100 m lineares terão 50 mudas estabelecidas. A parcela utilizada no experimento tinha 12 m lineares de comprimento, devendo haver seis plantas para alcançar a população de um plantio de mudas convencional. Esse valor foi dividido pelo número de espécies do estudo, corrigido de acordo com suas respectivas porcentagens de germinação, disponibilizadas pela empresa fornecedora de sementes, e multiplicado por 30. Assim, cada espécie teve um valor em gramas para compor a amostra final, que continha o total de 14,25 g de arbóreas, mais 127 sementes de feijão-miúdo (15,84 g), buscando 120 plantas, e 73 sementes de feijão-guandu (5,11 g), buscando 60 plantas, totalizando 35,2 g na amostra final da mistura de sementes (Figura 2).

**Tabela 1.** Espécies selecionadas para o estudo, contendo nome popular, espécie, família, estratégia de ocupação, germinação do lote (%), prática para quebra de dormência e peso de mil sementes (g).

Nome comum	Nome científico	Família	Estratégia de ocupação	Germinação do lote%	Quebra de dormência	Peso de mil sementes (g)	Peso de sementes por parcela (g)	Usos em SAF
Açóite-cavalo	<i>Luehea divaricata</i> Mart. & Zucc.	Malvaceae	Secundária	28% <sup>1</sup>	Não necessária	3,5g <sup>1</sup>	0,13	Frutífera; melífera
Angico-vermelho	<i>Parapiptadenia rigida</i> (Benth.) Brenan.	Fabaceae	Pioneira	100% <sup>1</sup>	Não necessária	20,37g <sup>1</sup>	0,22	Madeira; melífera; FBN; biomassa
Aroeira-salvo	<i>Schinus molle</i> L.	Anacardiaceae	Pioneira	19% <sup>1</sup>	Não necessária	22,03g <sup>1</sup>	1,23	Biomassa
Bracatinga	<i>Mimosa scabrella</i> Bentham	Fabaceae	Pioneira	37% <sup>1</sup>	Embebição em água quente por 3 minutos	13,36g <sup>1</sup>	0,38	Madeira; melífera; FBN; biomassa
Canafistula	<i>Peltophorum dubium</i> (Spreng.) Taub.	Fabaceae	Secundária	95% <sup>1</sup>	Embebição em água quente por 3 minutos	51,76g <sup>1</sup>	0,58	Madeira; melífera; biomassa
Cedro	<i>Cedrela fissilis</i> Vell.	Meliaceae	Secundária	82% <sup>1</sup>	Não necessária	35,2g <sup>1</sup>	0,45	Madeira
Chal-chal	<i>Allophylus edulis</i> (A.St.-Hilli. et al.) Hieron. Ex Niederl.	Sapindaceae	Pioneira	99% <sup>1</sup>	Não necessária	41,28g <sup>1</sup>	0,44	Melífera
Grápia	<i>Apuleia leiocarpa</i> (Vogel) J.F.Macbr.	Fabaceae	Secundária	48% <sup>1</sup>	Embebição em água quente por 3 minutos	79,8g <sup>1</sup>	1,76	Madeira; melífera; FBN; biomassa
Guajuvira	<i>Cordia americana</i> (L.) Gottschling & J.S.Mill.	Boraginaceae	Secundária	26% <sup>1</sup>	Não necessária	26,16g <sup>1</sup>	1,06	Madeira; melífera, biomassa
Ipê-roxo	<i>Handroanthus heptaphyllus</i> (Vell.) Mattos	Bignoniaceae	Secundária	90% <sup>1</sup>	Não necessária	26,41g <sup>1</sup>	0,31	Madeira; melífera
Louro-pardo	<i>Cordia trichotoma</i> (Vell.) Arráb. Ex Steud	Boraginaceae	Secundária	64% <sup>1</sup>	Não necessária	21,35g <sup>1</sup>	0,35	Madeira
Pata-de-vaca	<i>Bauhinia forficata</i> Link	Fabaceae	Pioneira	88% <sup>1</sup>	Embebição em água quente por 3 minutos	94,88g <sup>1</sup>	1,14	Melífera; FBN
Pimenta-rosa	<i>Schinus terebinthifolia</i> Raddi	Anacardiaceae	Pioneira	34% <sup>1</sup>	Não necessária	18,98g <sup>1</sup>	0,59	Frutífera; melífera; biomassa

Continua...



Tabela 1. Continuação.

Nome comum	Nome científico	Família	Estratégia de ocupação	Germinação do lote%	Quebra de dormência	Peso de mil sementes (g)	Peso de sementes por parcela (g)	Usos em SAF
Timbaúva	<i>Enterolobium contortisiliquum</i> (Vell.) Morong	Fabaceae	Pioneira	70% <sup>1</sup>	Embebição em Água quente por 3 minutos	267,25g <sup>1</sup>	4,04	Biomassa; melífera; FBN
Timbó	<i>Ateleia glazioviana</i> Baillon	Fabaceae	Pioneira	94% <sup>1</sup>	Não necessária	48,07g <sup>1</sup>	0,54	Biomassa; melífera; FBN
Urucum	<i>Bixa orellana</i> L.	Bixaceae	Pioneira	58% <sup>2</sup>	Não necessária	24g <sup>2</sup>	0,44	Frutífera, lenha
Feijão-guandu	<i>Cajanus cajan</i> (L.) Millsp.	Fabaceae	Cobertura (verão)	82% <sup>3</sup>	Não necessária	70,2g <sup>3</sup>	5,11	FBN
Feijão-miúdo	<i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp	Fabaceae	Cobertura (verão)	94% <sup>3</sup>	Não necessária	132g <sup>3</sup>	15,84	FBN

<sup>1</sup> Informações fornecidas pela empresa DDPA.

<sup>2</sup> Informações fornecidas pela empresa ISLA.

<sup>3</sup> Testes realizados na Estação Experimental Cascata (Embrapa Clima Temperado).

FBN = fixação biológica de nitrogênio.



Figura 2. Mistura final de sementes arbóreas e espécies de cobertura

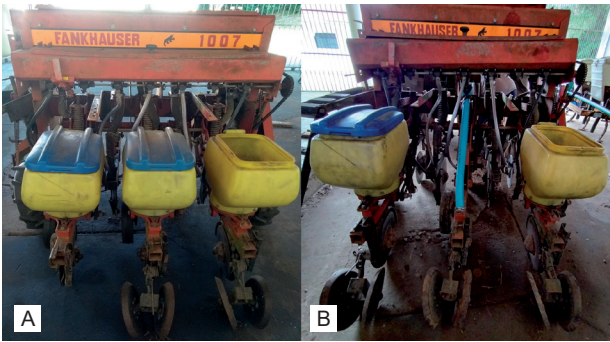
Foto: Bruno Scheffer Del Pino

### Adaptação da máquina

Na semeadora de três linhas, foram utilizados os compartimentos de adubo com dosador de rotor acanalado de fluxo contínuo, da parte superior da máquina, e os reservatórios de semeadura de precisão, com dosadores de discos horizontais para cultura do milho (*Zea mays* L.). O milho foi semeado nas duas linhas mais externas da máquina, espaçadas na distância de 1 m entre linha e 0,17m entre plantas. Devido ao seu maior porte, precocidade e boa produtividade em sistema orgânico de produção, a variedade escolhida para avaliação foi a Tupi Laranja (BRS 019TL) (Schiedeck et al., 2021). Algumas adaptações e regulagens foram necessárias para que a semeadura de espécies florestais e cultivo de milho fosse feita concomitantemente.

Uma das regulagens foi o deslocamento de 4cm lateral do rotor acanalado e total abertura da saída de sementes desse dosador. Com essa regulagem, 76,4% da amostra foi depositada nos 12m previstos, sendo necessário corrigir a amostra para a semeadura no campo. Do total de 35,2g, foram depositados 26,89g, sendo necessário o acréscimo de 8,31g à amostra para alcançar a densidade de semeadura desejada. Além disso, foi realizada a instalação de um cano PVC para levar as sementes do reservatório superior até a saída central de sementes dos discos de semeadura (Figura 3B).

Fotos: Bruno Scheffer Del Pino



**Figura 3.** Modelo de semeadora adaptada. (A) antes e (B) depois das modificações feitas para realização do experimento, com a instalação do cano PVC para levar as sementes do reservatório superior até a saída de sementes dos discos de semeadura.

### Local do experimento

O presente estudo foi realizado na Estação Experimental Cascata da Embrapa Clima Temperado, localizada no município de Pelotas, RS. A área do experimento tem aproximadamente 0,8 ha. A região do estudo conta com a fitofisionomia classificada como Floresta Estacional Semidecidual, e clima do tipo Cfa, subtropical úmido com verões quentes (Alvares et al., 2013). As temperaturas mínimas e máximas durante o período de avaliação (setembro/2023 a maio/2024) variaram entre 6 e 33,8 °C, respectivamente, e a pluviosidade acumulada foi de 1.401,66 mm (Inmet, 2024).

### Preparo do solo

O preparo do solo foi feito com a utilização de trator agrícola, com as operações de aração, gradagem, adubação superficial e, posteriormente, semeadura (Figuras 4 e 5). A adubação das parcelas foi feita a lanço, utilizando esterco de peru peletizado (5 t ha<sup>-1</sup>). O tipo de solo na área do estudo é classificado como Argissolo Vermelho Distrófico (Cunha et al., 2017).

Foto: Bruno Scheffer Del Pino



**Figura 4.** Preparo do solo sendo realizado para a implantação do experimento.

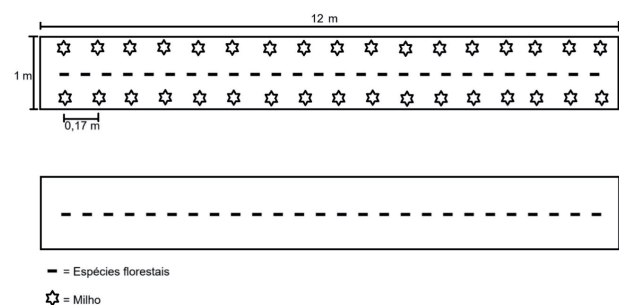


Foto: Bruno Scheffer Del Pino

**Figura 5.** Visão geral do Tratamento 1, aproximadamente 60 dias após a semeadura, indicando a emergência do milho.

### Delineamento experimental

O experimento contou com quatro blocos casualizados, com dois tratamentos, sendo eles a semeadura de florestais com cultivo de milho (T1) e a semeadura de florestais sem cultivo de milho (TC) em parcelas de 12 m cada (Figura 6). Ambos os tratamentos contaram com a utilização das plantas de cobertura na mistura de sementes. A parcela teve os 2 m de bordadura eliminados das avaliações, para evitar erros de contagem de indivíduos nas amostragens.



**Figura 6.** Representação de um dos quatro blocos do experimento.

Ilustração: Bruno Scheffer Del Pino.



## Coleta e análise de dados

As avaliações foram realizadas semanalmente até o terceiro mês de experimento (setembro-dezembro), quinzenalmente até o sexto mês (dezembro-março) e mensalmente até o oitavo mês (março-maio). Em cada avaliação foram feitas as contagens de indivíduos emergidos nas parcelas, para estimar a porcentagem de emergência e estabelecimento após oito meses das espécies florestais.

Os custos da semeadura foram estimados para 1 ha, levando em conta o tempo de cada operação para preparo do solo, semeadura, combustível e hora de trabalho do tratorista. Além disso, os custos de insumos também foram estimados, levando em conta o preço do adubo, das sementes de arbóreas e sementes de milho. Para T1, foi possível abater do custo final a estimativa de preço da produção total de milho por hectare.

Os cálculos utilizados para obter os resultados da porcentagem de emergência e estabelecimento das plantas foram adaptados de Lima et al., (2022), sendo E% a porcentagem de emergência e ES% a porcentagem de estabelecimento.

$$E\% = 100x \left( \frac{\text{sementes emergidas}}{\text{total de sementes viáveis}} \right)$$

$$ES\% = 100x \left( \frac{\text{indivíduos vivos}}{\text{total de sementes viáveis}} \right)$$

A estatística do trabalho foi realizada no software R (R Core Team, 2024), com os pacotes 'ggplot2' (Wickham, 2016) para geração de gráficos, e o 'lme4' (Bates et al., 2015) para realizar o Modelo Linear Misto Generalizado (GLMM). No GLMM foi utilizada a distribuição de Poisson, para ambas as variáveis, e o bloco do delineamento foi considerado como o efeito misto do modelo. O nível de significância delimitado para o modelo foi de 5%.

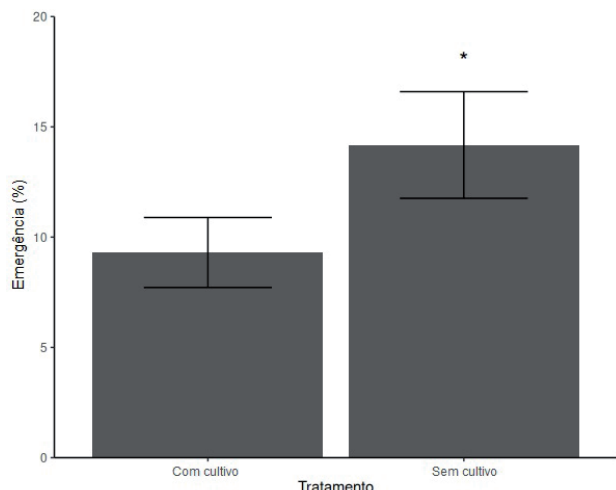
## Resultados e discussão

A semeadura direta vem sendo amplamente estudada e utilizada para restauração ecológica (Ceccon et al., 2016). O uso dessa técnica de

forma mecanizada no Brasil foi relatado em apenas um estudo, que não possui a mesma metodologia apresentada nesta publicação (Campos Filho et al., 2013). Os dados mostraram a eficiência da mecanização para restauração florestal, que alcançou altas densidades de indivíduos por hectare após oito meses de acompanhamento do estudo. A emergência das espécies arbóreas se comportou de maneira distinta em cada um dos tratamentos estudados. A emergência média no TC foi de 14,2% ( $\pm 2,29$ ), estatisticamente superior a T1, com 9,30% ( $\pm 1,86$ ) (GLMM;  $P < 0,05$ ; Figura 7; Tabela 2).

Com relação ao estabelecimento de mudas, após oito meses de acompanhamento do experimento, não houve diferença significativa entre as médias dos tratamentos estudados. A média de estabelecimento em TC foi de 5,61% ( $\pm 0,95$ ), enquanto em T1 foi de 4,14% ( $\pm 0,70$ ) (Figura 8; Tabela 3). Ambos os tratamentos estudados superaram o número de indivíduos por hectare, quando comparados ao plantio de mudas (1.666 indivíduos por hectare; espaçamento 2 m na e linha 3 m na entrelinha). Em TC, a média chegou a 3.163,5 ( $\pm 1.199$ ) indivíduos por hectare e, em T1, 2.331 ( $\pm 899$ ) (Tabela 4). Com essa técnica, foi possível alcançar taxas de emergência e estabelecimento semelhantes a estudos que utilizaram a semeadura direta manual (Pierry, 2017; Gazzola, 2021), mas inferiores aos encontrados por Molina (2023), cuja pesquisa de semeadura direta manual foi feita em mesma localidade. O número final de indivíduos por hectare superou a técnica de plantio de mudas, alcançando em ambos os tratamentos valores superiores a 2.300 indivíduos por hectare, corroborando com resultados encontrados por Campos Filho et al. (2013).

Fatores climáticos podem ter afetado as taxas de emergência e estabelecimento das plantas, como a escassez de chuvas, que ocorreu principalmente nos primeiros meses de semeadura (setembro-dezembro) (Inmet, 2024). A água é essencial para o processo de germinação e sobrevivência de plântulas, principalmente nos estágios iniciais (Brancalion et al., 2015). É possível contornar essa dificuldade e alcançar resultados ainda melhores por meio do uso de *mulching* ou irrigação, para favorecer a umidade do solo (Doust et al., 2006).



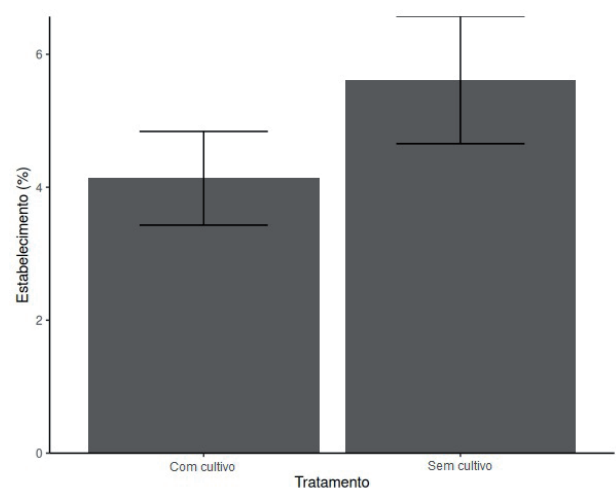
**Figura 7.** Emergência das espécies florestais nos tratamentos T1 (com cultivo) e TC (sem cultivo).

\* Diferença significativa ( $P < 0,05$ ).

**Tabela 2.** Modelos lineares mistos generalizados (GLMM) comparando a emergência entre T1 (com cultivo) e TC (sem cultivo).

	Estimativa	Erro padrão	Valor de z	Pr (> z )
Intercepto	-2,320	0,130	-17,847	<0,05*
Sem cultivo	0,421	0,162	2,598	<0,05*

\* Diferença significativa ( $P < 0,05$ ).



**Figura 8.** Estabelecimento das espécies florestais nos tratamentos T1 (com cultivo) e TC (sem cultivo).

**Tabela 3.** Modelos lineares mistos generalizados (GLMM) comparando o estabelecimento entre T1 (com cultivo) e TC (sem cultivo).

	Estimativa	Erro padrão	Valor de z	Pr (> z )
Intercepto	-3,129	0,189	-16,559	<0,05*
Sem cultivo	0,305	0,249	1,226	0,22

\* Diferença significativa ( $P < 0,05$ ).

**Tabela 4.** Média e desvio padrão de indivíduos de espécies florestais, por metro linear e por hectare, nos tratamentos T1 (com cultivo) e TC (sem cultivo).

Tratamento	Média de indivíduos por metro	Média de indivíduos por hectare
Com cultivo	0,7 ( $\pm 0,27$ )	2.331 ( $\pm 899$ )
Sem cultivo	0,95 ( $\pm 0,36$ )	3.163,5 ( $\pm 1.199$ )

O cultivo de milho teve a produtividade média estimada em  $1,79 (\pm 2,05) \text{ t ha}^{-1}$ . A produção foi inferior à média nacional, estimada em  $5,44 \text{ t ha}^{-1}$  (Conab, 2024). A colheita foi realizada manualmente, e os grãos, depois de secos, foram retirados das espigas com o auxílio de uma debulhadora (Figura 9; Figura 10). O cultivo de milho interferiu na emergência das arbóreas, o que acabou afetando também a quantidade final de indivíduos por hectare em T1. A cultura do milho é capaz de filtrar a incidência de radiação solar no solo e promover sombreamento (Novelini et al., 2018). Aliado à escassez de chuvas, isso interferiu não somente nos processos de germinação, mas também nos fotossintéticos das plântulas. Esse resultado contrasta com o encontrado por Molina (2023), que relatou um incremento na germinação de arbóreas em consórcios com cultivos agrícolas e uso de *mulching*.



Foto: Bruno Scheffer Del Pino

**Figura 9.** Milho colhido e debulhado depois de seco.





Foto: Bruno Scheffer Del Pino

**Figura 10.** Debulhadora utilizada para retirada dos grãos de milho da espiga.

Os custos variaram de acordo com cada um dos tratamentos. O preparo do solo, adubação e semeadura de arbóreas contaram com os mesmos investimentos. A diferença entre eles foi o custo das sementes de milho e a produção da cultura, que, ao final do processo, gerou recursos para reduzir os custos totais da operação (Tabela 5).

**Tabela 5.** Custos estimados por hectare para implantação da semeadura direta mecanizada em T1 (com cultivo) e TC (sem cultivo).

Preparo do solo	Custo TC (R\$)	Custo T1 (R\$)
Aração	400,00	400,00
Gradagem	350,00	350,00
Semeadura	320,00	320,00
<b>Insumos</b>		
Sementes florestais	427,00	427,00
Sementes de cobertura	680,00	680,00
Sementes de milho	0,00	360,00
Esterco	950,00	950,00
<b>Colheita</b>		
Cultivo de milho	0,00	1.969,00
<b>Total</b>	<b>3.127,00</b>	<b>1.518,00</b>

## Conclusões

O estudo mostrou a possibilidade de utilizar uma semeadora para semeadura direta mecanizada de florestas para restauração ecológica, convergindo com Campos Filho et al. (2013). Com essa máquina, é possível alcançar duas vezes mais indivíduos por hectare, em comparação ao plantio de mudas, método mais utilizado atualmente. É possível produzir milho concomitantemente ao processo de restauração ecológica, mas o cultivo reduz a quantidade final de indivíduos de espécies florestais por hectare. O uso de cultivos agrícolas pode ser recomendado para restauração ecológica de Reserva Legal. Essa indicação se deve ao fato de que, além de alcançar altas densidades de plantas, os cultivos podem abater os custos totais da semeadura direta mecanizada em quase metade do valor, em comparação ao tratamento sem cultivo.

## Referências

- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. de M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, n. 22, v. 6, p. 711-728, 2013. DOI: 10.1127/0941-2948/2013/0507.
- BATES, D.; MÄCHLER, M.; BOLKER, B.; WALKER, S. Fitting linear mixed-effects models using lme4. *Journal of Statistical Software*, n. 1, v. 67, p. 1-48, 2015. DOI: 10.18637/jss.v067.i01.
- BEVILAQUA, G. A. P.; GUARINO, E. de S. G.; EICHOLZ, E. D.; ANTUNES, I. F.; MARTINS, C. R.; SCHIAVON, J. S. **Guandu (*Cajanus cajan*) e labe-labe (*Dolichos lab-lab*) para produção de forragem e grãos em sistemas biodiversos e agroecológicos**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2024. (Embrapa Clima Temperado. Circular técnica, 249). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/270819/1/CIRCULAR-249-1-Guandu-Cajanus-cajan-e-labe-labe.pdf>. Acesso em: 30 out. 2024.
- BRANCALION, P. H. S.; GANDOLFI, S.; RODRIGUES, R. R. Restauração ecológica de florestas tropicais. In: LEMKE, N.; FERREIRA, F. G.; RIBEIRO, C. A. da S.; FONSECA FILHO, P. R. da. **Ensaio em Biociências**. Botucatu: Unesp, 2009. p. 24-30
- BRANCALION, P. H. S.; GANDOLFI, S.; RODRIGUES, R. R. **Restauração florestal**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. 66 p.

BRASIL. Lei no 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis no 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis no 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: seção 1, n. 102, p. 1-9, 28 maio 2012. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm). Acesso em: 30 out. 2024.

CAMPOS FILHO, E. M.; COSTA, J. N. M. N. da; SOUSA, O. L. de; JUNQUEIRA, R. G. P. Mechanized direct-seeding of native forests in Xingu, Central Brazil. **Journal of Sustainable Forestry**, v. 32, p. 702-727, 2013.

CECCON, E.; GONZÁLEZ, E. J.; MARTORELL, C. Is direct seeding a biologically viable strategy for restoring forest ecosystems? evidences from a meta-analysis. **Land Degradation & Development**, v. 27, n. 3, p. 511-520, 2016. DOI: 10.1002/ldr.2421.

CLOSE D. C.; DAVIDSON, N. J. Revegetation to combat tree decline in the Midlands and Derwent Valley lowlands of Tasmania: practices for improved plant establishment. **Ecological Management & Restoration**, v. 4, p. 29-36, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1442-8903.2003.00135.x>.

COLE, R. J.; HOLL, K. D.; KEENE, C. L.; ZAHAWI, R. A. Direct seeding of late-successional trees to restore tropical montane forest. **Forest Ecology and Management**, v. 261, n. 10, p. 1590-1597, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.06.038>.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira**: grãos: safra 2023/24 - 7º levantamento. Brasília, DF, abril 2024. v. 11. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em: 31 out. 2024.

CUNHA, N. G. da; SILVEIRA, R. J. da C.; COSTA, F. A. da. **Estudos de solos da Estação Experimental Cascata**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2017. 26 p. (Embrapa Clima Temperado. Circular Técnica, 183).

DOUST, S. J.; ERSKINE, P. D.; CORDEIRO, D. Direct seeding to restore rainforest species: Microsite effects on the early establishment and growth of rainforest tree seedlings on degraded land in the wet tropics of Australia. **Forest Ecology and Management**, v. 234, n. 1-3, p. 333-343, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2006.07.014>.

DURIGAN, G.; GUERIN, N.; COSTA, J. N. M. N. Ecological restoration of Xingu Basin headwaters: motivations, engagement, challenges and perspectives. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Science**, v. 368, p. 1-9, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1098/rstb.2012.0165>.

GAZZOLA, M. D. **Semeando a restauração ecológica**: semeadura direta de espécies florestais na transição Pampa-Mata Atlântica. 2021. Dissertação (Pós-graduação em Engenharia Agrícola) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

IBAMA. Instrução normativa nº 14, de julho de 2024. **Diário Oficial da União**: seção 1, n. 126, p. 181, 3 mar. 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/notas/2024/ibama-publica-in-no-14-2024-que-orienta-sobre-o-projeto-de-recuperacao-de-area-degradada-ou-area-alterada-prad>. Acesso em: 29 jul. 2024.

INMET. **Normais climatológicas**. Brasília, DF, 2024. Disponível em: <https://bdmep.inmet.gov.br/>. Acesso em: 29 jul. 2024.

LIMA, I. L. P.; SCARIOT, A.; GIROLDO, A. B. Direct seeding of native fruit tree species with economic benefits in a Brazilian Cerrado managed landscape. **Brazilian Journal of Botany**, v. 45, n. 3, p. 1067-1080, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40415-022-00831-2>.

MOLINA, A. R. **A Semeadura Direta de espécies arbóreas consorciadas com milho e feijão é uma alternativa viável para a implantação de agroflorestas no Sul do Brasil?** 2023. 75 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Produção Agrícola Familiar) – Universidade Federal de Pelotas, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Capão de Leão.

NAIR, P. K. R. **An introduction to agroforestry**. Kluwer Academic Press: Neatherlands, 1993.

NOVELINI, L.; EICHOLZ, E. D.; BORGES, A. da F.; RAASCH, C. G.; SCHÖFFEL, E. R.; TRENTIN, R. **Radiação solar em cultivos consorciados de milho e feijão**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2018. 26 p. (Embrapa Clima Temperado. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 304). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/189344/1/BOLETIM-304.pdf>. Acesso em 31 out. 2024.

PAGOTO, J. M. **Efeitos da cobertura de adubação verde no sucesso da restauração por semeadura direta (muvuca de sementes) no bioma Mata Atlântica do Sudeste**. 2022. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) – Instituto de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Sorocaba.

PELLIZZARO, K. F.; CORDEIRO, A. O. O.; ALVES, M.; MOTTA, C. P.; REZENDE, G. M.; SILVA, R. R. P.; RIBEIRO, J. F.; SAMPAIO, A. B.; VIEIRA, D. L. M.; SCHMIDT, I. B. “Cerrado” restoration by direct seeding: field establishment and initial growth of 75 trees, shrubs and grass species. **Brazilian Journal of Botany**, v. 40, p. 681-693, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40415-017-0371-6>.

PENEIREIRO, F. M. Fundamentos da agrofloresta sucessional. In: SIMPÓSIO SOBRE AGROFLORESTA SUCESSIONAIS, 2., 2003, Sergipe. **Anais** [...]. Sergipe: Embrapa: Petrobrás, 2003. p. 1-8., 2003. Disponível em: [http://agrofloresta.net/static/artigos/agrofloresta\\_sucessional\\_sergipe\\_peneireiro.pdf](http://agrofloresta.net/static/artigos/agrofloresta_sucessional_sergipe_peneireiro.pdf). Acesso em: 30 out. 2024.

PIERRY, R. B. **Atributos das sementes e germinação de espécies arbóreas**: perspectivas para restauração ecológica. 2017. 55 p. Dissertação (Mestrado em Botânica) – Programa de Pós-graduação em Botânica, Universidade do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

R CORE TEAM. **R**: a language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2024.

RAUPP, P. P.; FERREIRA, M. C.; ALVES, M.; CAMPOS-FILHO, E. M.; SARTORELLI, P. A. R.; CONSOLARO, H. N.; VIEIRA, D. L. M. Direct seeding reduces the costs of tree planting for forest and savanna restoration. **Ecological Engineering**, v. 148, p. 105788, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2020.105788>.

SCHIEDECK, G.; EICHOLZ, E. D.; MACHADO, J. de A.; EICHOLZ, M. D.; REDISS, W. B. **Respostas produtivas de genótipos de milho cultivados sob práticas de manejo de base ecológica**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2021. 12 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 349). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/228184/1/Boletim-349.pdf>. Acesso em: 31 out. 2024.

SILVA, K. A.; MARTINS, S. V.; MIRANDA NETO, A.; CAMPOS, W. H. Semeadura direta com transposição de serapilheira como metodologia de restauração ecológica. **Revista Árvore**, v. 39, n. 5, p. 811- 820, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0100-67622015000500004>.

SILVA, R. R. P.; VIEIRA, D. L. M. Direct seeding of 16 Brazilian savanna trees: responses to seed burial, mulching and an invasive grass. **Applied Vegetation Science**, v. 20, n. 3, p. 410-421, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1111/avsc.12305>.

SOCIETY FOR ECOLOGICAL RESTORATION. **Code of ethics**. Washington, D.C., 2022. Disponível em: <http://www.ser.org/page/CodeofEthics/Code-of-Ethics.htm>. Acesso em: 30 out. 2024.

WICKHAM, H. **ggplot2**: elegant graphics for data analysis. New York: Springer-Verlag, 2016.