

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

**Restauração florestal: semeadura direta e efeitos do uso de inoculantes no  
desenvolvimento de espécies arbóreas**

Guel Ledo Kanda Bernucci

Araras

2021

**Restauração ecológica: semeadura direta e efeitos do uso de inoculantes no  
desenvolvimento de espécies arbóreas nativas**

Trabalho de conclusão de curso - TCC  
Bacharelado em Agroecologia - UFSCar CCA

Guel Ledo Kanda Bernucci  
Universidade Federal de São Carlos - UFSCar

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Augusto Gorne Viani  
Departamento de Biotecnologia e de Produção Vegetal e Animal (DBPVA)  
Universidade Federal de São Carlos - UFSCar CCA

Co-orientadora: Dra. Priscilla de Paula Loiola  
Programa de Pós-graduação em Agricultura e Ambiente (PPGAA)  
Universidade Federal de São Carlos - UFSCar CCA

Araras

2021

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao Ricardo Viani, pelas orientações, disposição e empatia.

Agradeço à Márcia Rosa e Victor Forti, pelas orientações.

Agradeço ao Daniel Horle e a ARBEN, por ajudarem a viabilizar o projeto.

Agradeço ao Maurício e toda a equipe da Seção Agrícola.

Agradeço à RIZOBACTER, por ceder os inoculantes.

Agradeço ao Laboratório de Fertilidade do Solo do CCA UFSCar, pelas análises de solo.

Agradeço ao Pedro Sabioni, Lucas Montezuma, Tales Valêncio, Fernando Parré, Tailaine Vasconcelos e todas as pessoas que contribuíram para a realização deste projeto.

Agradeço especialmente à Priscilla Loiola, pelo apoio incondicional, por todas as orientações e por me ensinar os prazeres da ciência.

## Sumário

<b>Resumo.....</b>	<b>5</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>6</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>8</b>
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>12</b>
<b>2.1 Caracterização e preparo da área de estudo.....</b>	<b>12</b>
<b>2.2 Espécies estudadas.....</b>	<b>14</b>
<b>2.3. Delineamento experimental.....</b>	<b>15</b>
<b>2.4. Inoculação, semeadura e manejo.....</b>	<b>17</b>
<b>2.5. Monitoramento e análise de dados.....</b>	<b>19</b>
<b>3. RESULTADOS.....</b>	<b>20</b>
<b>4. DISCUSSÃO.....</b>	<b>23</b>
<b>5. CONCLUSÕES.....</b>	<b>26</b>
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>27</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>34</b>

## **Restauração florestal: semeadura direta e efeitos do uso de inoculantes no desenvolvimento de espécies arbóreas**

**RESUMO:** A restauração de florestas tropicais possui alta demanda, mas há entraves práticos para sua aplicação em larga escala. Visando o aperfeiçoamento da semeadura direta como alternativa, testamos se a inoculação das sementes com microrganismos promotores e antagonistas aumenta o estabelecimento e o crescimento das espécies arbóreas nativas na restauração. Para tanto, em uma área de 900 m<sup>2</sup> de reserva legal do *campus* UFSCar-Araras, implantamos este projeto de restauração florestal por semeadura direta, no qual cada um dos quatro tratamentos contou com 15 réplicas de 15 m<sup>2</sup> cada. Nos quatro tratamentos, usamos (1) a bactéria promotora de crescimento *Azospirillum brasilense*, (2) o fungo antagônico *Trichoderma harzianum*, (3) ambos os microrganismos e (4) o controle, sem inoculação. Medimos o estabelecimento e o crescimento de 10 espécies arbóreas nativas da floresta estacional semidecidual: *J. cuspidifolia*, *A. colubrina*, *E. timbouva*, *M. peruiferum*, *P. dubium*, *P. nitens*, *C. speciosa*, *C. fissilis*, *B. riendelianum* e *S. lycocarpum*. Usamos modelos mistos generalizados para verificar se houve efeito dos tratamentos no desempenho das espécies. Para responder as perguntas, realizamos as análises para (1) toda a comunidade, incluindo plântulas recém-germinadas; (2) comunidade estabelecida (> 50 cm de altura e 5 mm de diâmetro); (3) por espécie, considerando todos os indivíduos. Não houve efeito dos tratamentos por inoculantes no estabelecimento ou no crescimento da comunidade completa, incluindo indivíduos recém-germinados. A comunidade estabelecida apresentou maior altura após 9 meses de plantio. Entre as 10 espécies analisadas, *P. dubium*, *E. timbouva*, *C. speciosa* e *B. riendelianum* apresentaram incremento em pelo menos um dos atributos com o uso dos

dois inoculantes, sendo que *Peltophorum dubium* foi a espécie que melhor respondeu à inoculação, apresentando aumento no número de indivíduos (+30%), na altura (+20%) e no DAS (+15%) em comparação ao tratamento sem inoculante (D). A seleção de espécies arbóreas nativas com potencial de resposta à inoculação deve aumentar a viabilidade e eficiência desta técnica de restauração. A inoculação das sementes arbóreas nativas com uma comunidade diversa de microrganismos é, portanto, uma alternativa promissora para promover a restauração ecológica por semeadura direta.

**Palavras-chave:** Restauração Ecológica; Inoculação; MPCP; *Azospirillum*; *Trichoderma*; Comunidade.

### **Forest restoration: direct seeding and the effects of seed inoculation on the development of tree species**

**ABSTRACT:** There is a large need for tropical forest restoration, however there are practical restrictions that limit its implantation in large-scale. To improve direct seedling efficiency as an alternative, we have tested whether the inoculation of the seeds with microorganisms would increase establishment and growth of native trees in a restoration area. We implemented a field experiment, in 900 m<sup>2</sup> of a protected area destined to be restored. We applied four treatments, each with 15 plots of 15 m<sup>2</sup>. We used (1) the growth-promoter bacteria *Azospirillum brasilense*, (2) the antagonistic fungus *Trichoderma harzianum*, (3) both organisms and (4) no inoculation. The species used were: which were: *J. cuspidifolia*, *A. colubrina*, *E. timbouva*, *M. peruiferum*, *P. dubium*, *P. nitens*, *C. speciosa*, *C. fissilis*, *B. riedelianum* and *S. lycocarpum*, we measured the height, and diameter of every individual of the ten native tree species sown and used mixed models to test our hypothesis. We run the analysis considering (1) all individuals; (2) established community (individuals with > 50 cm

height and >5 mm diameter at soil level); (3) per species, considering all individuals. There was no effect of inoculation in the establishment or growth of the entire community, including recently sprouted individuals. The established community had higher height after nine months, but no variation in the other attributes. Among the species, *P. dubium*, *E. timbouva*, *C. speciosa* and *B. riedelianum* showed greater development in at least one attribute, when the seeds were treated with both inoculants. *Peltophorum dubium* was the species that best responded to inoculation, showing an increase in the number of individuals (+30%), height (+25%) and diameter at soil level (+15%), compared to the treatment without inoculation (D). The selection of tree species that potentially respond to inoculation and the use of greater diversity of microorganisms should increase the viability and efficiency of the direct seeding technique. Inoculation of seeds of native trees with a diverse community of organisms is, therefore, a promising alternative to foster ecological restoration.

**Key words:** Ecological restoration; Inoculation; PGPM; Community; *Azospirillum*; *Trichoderma*.

## 1. INTRODUÇÃO

No Brasil, a pressão sobre os recursos naturais, especialmente a supressão de vegetação nativa, provoca impactos severos em escalas continentais. As consequências da degradação ambiental englobam mudanças no regime hidrológico, emissões de gases de efeito estufa (Fearnside, 2020), além de outros impactos como: perda da biodiversidade, dos serviços ecossistêmicos e de todo o valor biológico associado ao seu uso sustentável (Fearnside, 2006). Em escala regional, o desmatamento leva à fragmentação da vegetação remanescente, ao rebaixamento do lençol freático, assoreamento dos cursos d'água e à perda de solo (Carvalho et al., 2009; Baccaro, 2007). Apesar das repercussões, depois de séculos de exploração, o desmatamento no Brasil segue crescente. A área total desmatada da Amazônia Legal Brasileira aumentou 34,41% entre 2018 (7.536 km<sup>2</sup>) e 2019 (10.129 km<sup>2</sup>) e do Cerrado aumentou em 13,21% entre 2019 (6.484 km<sup>2</sup>) e 2020 (7.340 km<sup>2</sup>) (INPE, 2020).

Neste cenário, a restauração florestal se faz imprescindível e em larga-escala, o que apresenta entraves práticos, especialmente de natureza logística. O Brasil se comprometeu internacionalmente a restaurar 12 milhões de hectares de vegetação nativa até 2030 no desafio de Bonn ([www.bonnchallenge.org](http://www.bonnchallenge.org)). Até 2021, 6,3 milhões de propriedades, totalizando 630 milhões de hectares, se cadastraram no Cadastro Ambiental Rural (CAR, 2021) e deverão se adequar às exigências da Lei de Proteção da Vegetação Nativa nos próximos anos (Lei Federal 12.651, de 25 de maio de 2012.). Considerando apenas a área mínima a ser restaurada por exigência desta lei, o Brasil carece de 13,1 milhões de hectares de áreas de Reserva Legal (Freitas et al., 2019) e 4,5 milhões de hectares de Área de Preservação Permanente (Soares-Filho et al., 2014). Tendo em vista a extensão da área a ser restaurada no Brasil e um custo estimado de R\$15.000/ha a ser restaurado, seria necessário um investimento da ordem de US\$1 bilhão por ano até 2030 para atingirmos as metas assumidas (Branca et al., 2019). Portanto, pesquisas e investimentos para aumentar a eficiência das ações e iniciativas de restauração ecológica se fazem extremamente



necessários.

O modelo de restauração mais utilizado, aqui chamado de método, é o plantio de mudas, difundido no Brasil a partir da década de 80 (Ferreira et al., 2007; Rodrigues et al., 2009). No entanto, este modelo apresenta uma série de limitações, principalmente de ordem logística (Zahawi & Holl, 2009; Palma & Laurance, 2015) e também apresenta elevado custo. Este custo varia muito dependendo das adversidades, mas em média esse tipo de restauração custa R\$15.000,00 por hectare, não raro chegando a mais de R\$20.000,00 por hectare (Benini et al., 2016; Costa, 2016; Benini et al., 2017). Os fatores limitantes operacionais e de custos ocorrem principalmente durante a fase de estabelecimento das mudas no campo, devido à alta necessidade de manejo e à competição com espécies invasoras (Oliveira et al., 2021).

Em contraposição ao plantio convencional de mudas, o uso de sementeira direta na restauração florestal vem sendo testado com sucesso (Isernhagen, 2010; Santos et al., 2012; Aguirre et al., 2015). Este método, ainda considerado novo no Brasil, apresenta um enorme potencial de restaurar fitofisionomias nativas de maneira eficiente, rápida e com menor custo (Ferreira et al., 2007). Algumas das vantagens da sementeira direta sobre o método convencional de plantio de mudas são: questões logísticas mais simples (e.g. transporte de sementes e sementeira mais simples do que a produção, transporte e plantio das mudas) e custos associados às mesmas são menores, o desenvolvimento das árvores oriundas de sementes tem a possibilidade de utilizar maior diversidade de espécies mesmo em locais de difícil acesso (Engel & Parrotta, 2001, Paula & Laurance, 2015).

Mesmo com seu enorme potencial, no Brasil a restauração ecológica por sementeira direta ainda é considerada arriscada, pois apresenta limitações especialmente relacionadas a baixas taxas de estabelecimento, que culminam em uma densidade de plantas abaixo da esperada ou em um custo muito elevado com sementes (Engel & Parrotta, 2001; Meli et al., 2018). Este risco, que pode ser sanado pelo aumento do conhecimento acerca das espécies

nativas, é o principal entrave para a difusão da semeadura direta na restauração ecológica, especialmente no contexto da conformidade legal e das políticas públicas (Brancalion et al., 2016).

Em outros países, como na Austrália, a semeadura direta já vem sendo aplicada na restauração ecológica com sucesso desde 1870 (Carr et al., 2009; Irving, 2004). Mesmo no Brasil, em outras áreas do conhecimento, como no cultivo de grãos, o uso da semeadura direta data de 1969 nos cultivos de soja do Rio Grande do Sul (Seguy & Bouzinac, 2003), sendo tão antiga quanto a própria restauração ecológica brasileira. Considerando isso, percebemos que a semeadura direta não é tida como nova e arriscada para a agricultura e em 2016 já ocupava 33.052.696 ha, ou seja, 43% do total de áreas cultivadas do Brasil (IBGE, 2018). Neste contexto, a semeadura é frequentemente associada a outras tecnologias, como o uso de inoculantes no tratamento de sementes e o uso de cobertura vegetal morta (plantio direto), gerando resultados muito desejáveis, como: maiores produtividades, produções mais limpas, melhor aproveitamento de recursos, melhores condições fitossanitárias e de solo, melhor desenvolvimento radicular, menor necessidade de insumos e maior retorno econômico (D'angioli et al., 2017, Bashan & de-Bashan, 2010).

Tendo em vista o atual cenário da restauração ecológica no Brasil, visando o aperfeiçoamento da semeadura direta como alternativa e considerando os avanços tecnológicos desenvolvidos para este método em outras áreas do conhecimento, neste trabalho testamos se o uso de inoculantes leva ao aumento em número de indivíduos e no crescimento das espécies arbóreas nativas em um plantio de restauração florestal. Especificamente, aplicamos a bactéria promotora de crescimento *Azospirillum brasilense* e o fungo antagonico *Trichoderma harzianum*, como tratamento às sementes nativas, para testar se essa inoculação aumentava o desempenho dos indivíduos estabelecidos e os valores dos indicadores da comunidade vegetal em restauração, aos 9 meses após a semeadura.

A bactéria gram negativa *Azospirillum brasilense* é um dos microrganismos mais estudados no mundo (Fukami et al., 2018). Sua interação benéfica já foi observada em centenas de espécies vegetais (Cassán & Dias-Zorita, 2016), apresentando diversos mecanismos de promoção de crescimento, como: atividade hormonal, fixação de nitrogênio e desenvolvimento radicular (Spaepen & Vanderleyden, 2015, Bashan & de-Bashan, 2010) que resultam em elevadas produtividades, com melhor relação custo-benefício e baixo impacto ambiental (Fukami et al., 2018). Outro microrganismo de uso consolidado na agricultura é o *Trichoderma harzianum*, fungo filamentososo, muito utilizado como agente antagônico a fungos fitopatogênicos e fitonematóides (Ethur et al., 2001, Dias, 2011). Ainda que seja usado como antagonista desde os anos 90 (Harman et al., 2004), estudos mais recentes têm demonstrado que este fungo também pode agir promovendo a resistência ao estresse hídrico, por temperatura e por salinidade (Bae et al., 2009).

Como não havia informações sobre o uso de microrganismos promotores do crescimento na restauração ecológica por semeadura direta, estabelecemos as seguintes questões:

- O tratamento de sementes arbóreas nativas com inoculantes aumenta o desempenho, ou seja, a altura, o diâmetro à altura do solo e o número de indivíduos da comunidade estabelecida após nove meses?
- O efeito da inoculação de microrganismos na semeadura varia entre as espécies analisadas?

Esperávamos que as espécies nativas se desenvolvessem melhor e crescessem mais em altura e diâmetro na presença dos microrganismos, em função dos benefícios encontrados para outras espécies na literatura. Também esperávamos que a inoculação de sementes de espécies arbóreas nativas com *Trichoderma harzianum* levasse ao aumento do número total de indivíduos das espécies, já que a incidência de patógenos é causa usual de mortalidade de

plântulas (Dias, 2011). Esperávamos que a adição dos inoculantes melhorasse o desempenho das espécies arbóreas, aumentando a altura e o diâmetro das árvores nativas, causando possível maior cobertura de solo em menor tempo, tornando a manutenção do sistema de menos onerosa, possibilitando a restauração florestal mais eficiente.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

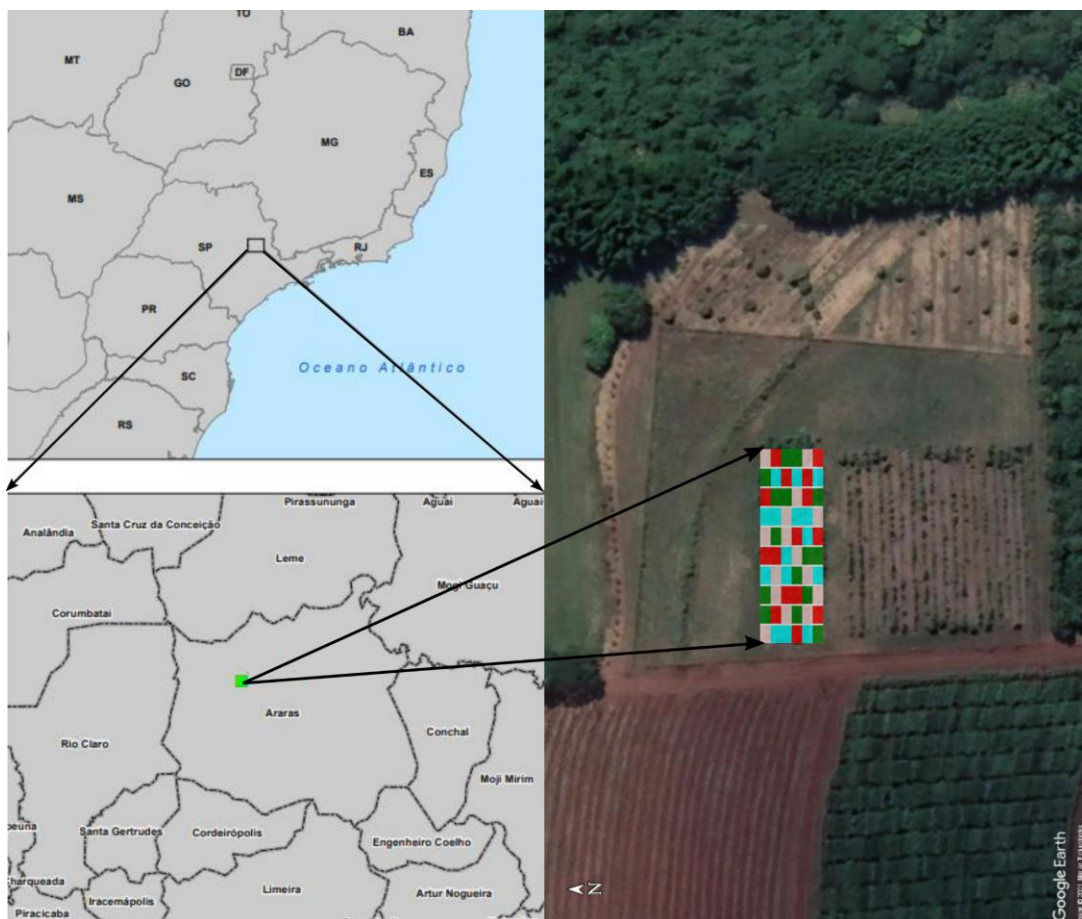
### **2.1 Caracterização e preparo da área de estudo**

Este projeto foi realizado em uma área destinada à reserva legal do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de São Carlos, campus Araras. O clima da região é classificado como Cwa (Köppen, 1948), dotado de verões chuvosos e invernos secos. A temperatura média anual é de 21,4°C, com médias máximas de 22,7°C em janeiro e fevereiro e mínimas de 16,3°C em julho. A precipitação média anual é de 1.441 mm, no entanto entre maio e setembro configura-se o período de estiagem, com pluviosidade média de 50 mm por mês (Alvares et al., 2013).

Embora a fitofisionomia de referência seja a Floresta Estacional Semidecidual, nas últimas décadas, o histórico da área foi de mecanização intensa para a produção de cana-de-açúcar. O cultivo na área cessou em 2016 e por três anos a área permaneceu em pousio. Em novembro de 2019, a área estava coberta por plantas espontâneas, com predomínio de herbáceas dicotiledôneas, como picão-preto (*Bidens pilosa* L.), losna-branca (*Parthenium hysterophorus* L.) e corda-de-viola (*Ipomoea* sp.). Coletamos amostra composta de solo que foi submetida à análise química no Laboratório de Fertilidade do Solo na UFSCar-Araras, indicando que no geral o solo da área apresentava alto nível de fertilidade no momento da implantação do projeto de restauração florestal por semeadura (Tabela S1).

O solo foi preparado por meio de aração em 18/06/2019, gradagem em 10/12/2019 e

aplicação de herbicida não-seletivo e pós-emergente (glifosato) em 19/02/2020. A abertura das linhas para plantio com o riscador foi feita em 03/05/2020. O foco do manejo de solo foi controlar a ocorrência de plantas espontâneas para facilitar o manejo destas em pós-semeadura. Portanto, a aração e a gradagem objetivaram pulverizar o solo e expor o banco de sementes antes da implantação da restauração, diminuindo a competição das sementes nativas com o banco de sementes, após o plantio. O herbicida atuou dessecando as plantas ali presentes, reduzindo a competição remanescente sem revolver o solo e, finalmente, o riscador abriu as linhas para plantio, promovendo pouco revolvimento de solo na área.



**Figura 1.** Localização da área do experimento no Estado de São Paulo, no Centro de Ciências Agrárias - UFSCar (Araras). Quinze parcelas de cada um dos quatro tratamentos (diferentes cores, à direita – Fig. 2) foram alocadas aleatoriamente.

## 2.2 Espécies estudadas

Para este estudo, selecionamos 10 espécies arbóreas nativas da fitofisionomia Floresta Estacional Semidecidual da Mata Atlântica (Tabela 1). As espécies são amplamente utilizadas na restauração florestal (Almeida & Viani, 2020), dotadas de sementes ortodoxas e disponíveis em viveiros florestais. Dentre as espécies escolhidas, *Anadenanthera colubrina* (da Silva et al., 2012), *Cedrela fissilis* (Meneghello & Mattei, 2004), *Ceiba speciosa* (Aguirre et al., 2015), *Enterolobium timbouva* (Soares & Rodrigues, 2008), *Jacaranda cuspidifolia* (Araki, 2005), *Peltophorum dubium* (Meli et al., 2018), *Pterogyne nitens* (Araki, 2005) e *Solanum lycocarpum* (Aguirre et al., 2015) figuraram satisfatoriamente em trabalhos recentes de semeadura direta, no entanto não há literatura sobre *Baufourodendron riedelianum* ou *Myroxylon peruiferum*.

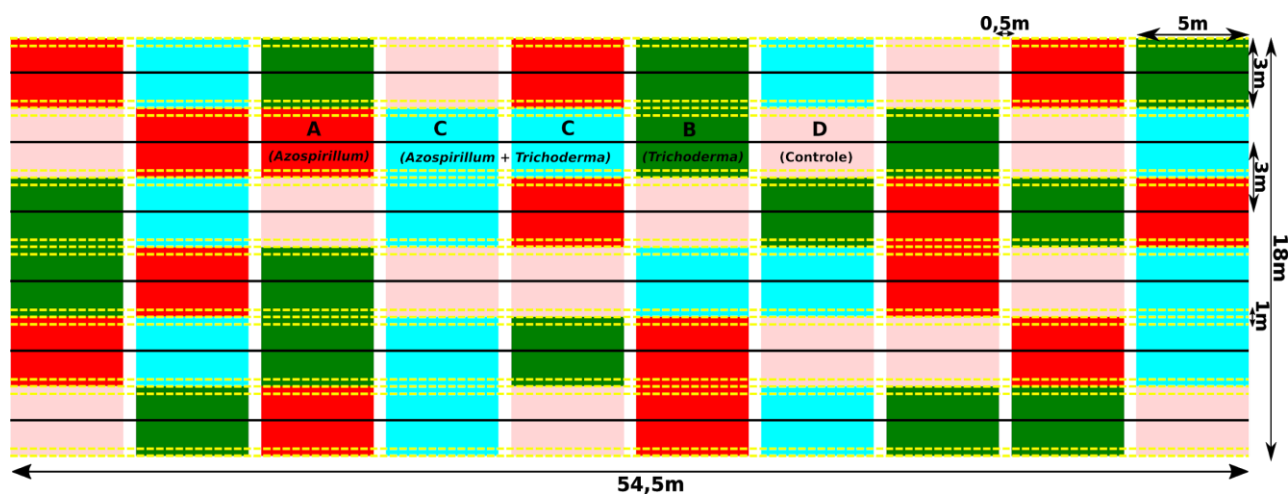
**Tabela 1.** Espécies arbóreas nativas usadas na restauração florestal por meio de semeadura direta, organizadas por ordem alfabética dentro de suas respectivas famílias botânicas. As autoridades que descreveram as espécies, seus nomes populares e as categorias nas quais se organizam na literatura (Almeida & Viani 2020).

Família	Nome Científico	Nome Popular	Categoria
Bignoniaceae	<i>Jacaranda cuspidifolia</i> Mart.	Jacarandá	Não-Pioneira
Fabaceae	<i>Anadenanthera colubrina</i> (Vell.) Brenan	Angico-branco	Pioneira
	<i>Enterolobium timbouva</i> Mart.	Tamboril	Pioneira
	<i>Myroxylon peruiferum</i> L.f.	Cabreúva	Não-Pioneira
	<i>Peltophorum dubium</i> (Spreng.) Taub.	Canafístula	Pioneira
	<i>Pterogyne nitens</i> Tul.	Amendoim-do-campo	Pioneira
Malvaceae	<i>Ceiba speciosa</i> (A.St.- Hill.) Ravenna	Paineira	Pioneira
Meliaceae	<i>Cedrela fissilis</i> Vell.	Cedro-rosa	Não-Pioneira
Rutaceae	<i>Balfourodendron riedelianum</i> (Engl.) Engl.	Pau-marfim	Não-Pioneira
Solanaceae	<i>Solanum lycocarpum</i> A.St.-Hill.	Lobeira	Pioneira

### 2.3. Delineamento experimental

Foram adotados quatro tratamentos. No tratamento A, as sementes foram inoculadas com a bactéria *Azospirillum brasilense*; no tratamento B, foram inoculadas com o fungo *Trichoderma harzianum*; no tratamento C, foram inoculadas com ambos os microrganismos; e no tratamento D não houve inoculação (controle).

Cada um dos quatro tratamentos contou com 15 parcelas de 15 m<sup>2</sup> (3 m de largura x 5 m de comprimento), totalizando 60 parcelas e 900 m<sup>2</sup> de área amostral (Figura 2). As parcelas foram delimitadas por estacas de madeira identificadas e continham a linha de árvores no centro e linhas de adubação verde nas laterais, diminuindo o efeito de borda. Consideramos ainda o espaçamento de 0,5 m entre parcelas na mesma linha, e 3 m entre as linhas. As 60 parcelas foram estabelecidas de maneira sistemática ao longo de seis linhas de 54,5 m de comprimento. A alocação dos tratamentos nas parcelas foi feita de maneira aleatória



**Figura 2.** Esquema das parcelas sistematicamente alocadas, e dos quatro tratamentos aplicados à restauração florestal por semeadura direta: *Azospirillum* (A) em vermelho; *Trichoderma* (B) em verde; *Azospirillum* + *Trichoderma* (C) em azul e Controle (D) em bege. Linhas de arbóreas (linhas pretas) dispostas com espaçamento de 3 m entre si e espaçamento de 0,5 m entre parcelas, na mesma linha. Entre cada linha de

espécies arbóreas (linhas pretas), houve o plantio de três linhas de adubação verde (linhas amarelas tracejadas), alocadas para prevenir efeitos de borda.

A composição e massa semeada em cada parcela foi a mesma, considerando a densidade esperada de 3.000 indivíduos por ha após um ano e a proporção de sementes viáveis para cada espécie. Para o cálculo do número de sementes, consideramos a área de cada parcela, a taxa de germinação nominal de cada espécie fornecida pelo viveiro florestal (RENASEM SP-14346/2013) e atestadas por técnico responsável (RENASEM SP-14287/2013, Tabela 2), e a taxa de estabelecimento de 2% para todas as espécies. Adotamos uma taxa de estabelecimento conservadora, considerando que esse aspecto varia muito entre espécies, mas frequentemente figura abaixo de 5% (Araki, 2005; Campos-Filho et al., 2013; Aguirre et al., 2015).

A massa fresca por semente de cada espécie foi obtida por meio da média de quatro pesagens em balança de precisão, com 50 sementes cada (RAS, 2009; Tabela S2). Obtivemos a massa fresca por parcela a partir do produto entre a massa fresca por semente de cada espécie e o número de sementes necessárias por parcela. Por meio desta massa fresca correspondente, realizamos dez pesagens por parcela, totalizando 600 pesagens para ter uma quantidade precisa das sementes plantadas em cada parcela. Acondicionamos as sementes de cada parcela em saco plástico com fecho e identificados.



**Tabela 2.** Espécies arbóreas nativas usadas na semeadura direta com fim de restauração florestal e os valores aplicados no experimento com inoculantes. A taxa de germinação considerada (Tx Germ.), a massa unitária da semente (M / Sem), o número total de sementes (N. Sem.) e a massa de sementes por parcela (M / Parcela).

Família	Nome científico	Tx Germ. (%)	M / Sem. (mg)	N. Sem.	M / Parcela (mg)
Bignoniaceae	<i>Jacaranda cuspidifolia</i>	75	36,6	30	1.097
Fabaceae	<i>Anadenanthera colubrina</i>	75	97,2	30	2.916
	<i>Enterolobium timbouva</i>	75	715	30	21.450
	<i>Myroxylon peruiferum</i>	70	411,8	32	13.238
	<i>Peltophorum dubium</i>	70	52,1	32	1.676
	<i>Pterogyne nitens</i>	70	91,8	32	2.950
Malvaceae	<i>Ceiba speciosa</i>	90	140,9	25	3.523
Meliaceae	<i>Cedrela fissilis</i>	70	33,9	32	1.091
	<i>Balfourodendron riedelianum</i>	45	280,4	50	14.020
Solanaceae	<i>Solanum lycocarpum</i>	75	5,8	30	175

#### 2.4. Inoculação, semeadura e manejo

A inoculação das sementes se deu na véspera do dia de plantio, portanto na noite do dia 04/03/2020. De acordo com as recomendações técnicas do fabricante, RIZOBACTER, adotamos a dosagem de 100 ml de Rizospirillum por hectare, inoculante comercial com concentração mínima de  $2 \times 10^8$  UFC/ml de *Azospirillum brasilense*, e 500 g de Rizoderma por hectare, inoculante comercial com concentração mínima de  $1 \times 10^{10}$  UFC/ml de *Trichoderma harzianum*. Adicionamos água mineral para diluir os inoculantes, de maneira que cada ml de solução correspondesse a uma dose de produto. No tratamento C (que contém ambos os microrganismos), utilizamos 1 ml de cada solução para a inoculação. Aplicamos a solução contendo os microrganismos com o auxílio de uma seringa de 3 ml e uma agulha

fina, sempre agitando as sementes até que houvesse uma camada uniforme envolvendo cada semente. Após a inoculação, as sementes de cada parcela foram acondicionadas em seus respectivos sacos plásticos, que permaneceram abertos até que toda a solução aplicada estivesse seca e aderida às sementes.

Não houve nenhum procedimento de quebra de dormência e a semeadura se deu nos dias 05/03 e 06/03/2020. Semeamos as dez espécies arbóreas de maneira sistemática e manual na linha central das parcelas, em seguida, recobrimos as sementes com uma camada de solo com aproximadamente 2 cm de altura. Aplicamos uma camada de cobertura vegetal morta (palhada) com aproximadamente 10 cm de altura e 40 cm de largura, em ambos os lados da linha. Este material foi proveniente de aparas de grama e de folhas de árvores coletados na manutenção do campus da UFSCar em Araras-SP.

A adubação verde foi composta por três linhas, dispostas no centro da entrelinha, com espaçamento de 0,5 m entre elas e 1 m das linhas de arbóreas. Cada linha de adubação verde foi semeada com as leguminosas, guandu fava-larga (*Cajanus cajan* L.), de oito a dez sementes por metro linear, e com crotalária (*Crotalaria juncea* L.), de 15 a 20 sementes por metro linear. As linhas de adubação verde foram cobertas com uma camada de solo com aproximadamente 2 cm de altura. Não houve deposição de palha nas linhas da adubação verde.

O manejo da área pós-semeadura consistiu em três aplicações de isca formicida a base de sulfluramida nos primeiros meses (09/03, 17/05 e 17/06/20); capina seletiva manual (aproximadamente um minuto por parcela) apenas nas linhas de espécies arbóreas nativas (15/04, 15/07 e 15/12/20); supressão de uma linha lateral de adubação verde para evitar sombreamento, poda da linha central de adubação verde e acomodação da biomassa oriunda da poda nas linhas das árvores (15/07/20). Por fim, realizamos uma capina com enxada ao redor das linhas de árvores, a supressão da linha lateral remanescente de adubação, poda da

linha central de adubação e acomodação da biomassa oriunda da poda nas linhas de árvores em 03/2021.

**Tabela 3** - Cronograma demonstrando fluxo de manejo do plantio de restauração ecológica por sementeira direta.

CRONOGRAMA ATIVIDADES DE MANEJO												
ATIVIDADE	Ano 2020										Ano 2121	
	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev
Controle de formigas												
Capina seletiva manual												
Supressão Adub. Lateral												
Poda Adub. Central												
Biomassa												
Capina Enxada												

## 2.5. Monitoramento e análise de dados

O monitoramento do desempenho das espécies nativas ocorreu nove meses após a sementeira. Para medir a altura, usamos uma trena, considerando a distância perpendicular entre o solo e a folha mais alta. Para medir o diâmetro à altura do solo (DAS), usamos um paquímetro digital. Após coletar e tabular os dados, calculamos os valores médios de cada variável por espécie e por parcela (Tabela 4).

Usamos modelos mistos generalizados para verificar se houve efeito dos tratamentos no desempenho das espécies arbóreas nativas, afetando o número de indivíduos, a altura e o diâmetro das espécies, em cada tratamento. Construímos os modelos para cada atributo considerando (1) todos os indivíduos da comunidade; (2) os indivíduos estabelecidos (altura,  $H > 50$  cm ou  $DAS > 5$  mm, aos nove meses) e (3) para cada espécie. Incluímos espécie como fator aleatório nos modelos 1 e 2, enquanto os tratamentos foram considerados como fator fixo, no pacote ‘*lme4*’ (Bates et al., 2015). Nós, então, aplicamos múltiplas comparações, baseadas nos valores de AIC dos modelos, para escolher o melhor modelo explicando a variação dos dados, usando o pacote ‘*emmeans*’ (Lenth et al., 2021). A significância de cada variável foi testada usando a função ‘Anova’, no pacote ‘*car*’ (Fox &

Weisberg, 2019). As diferenças encontradas foram representadas por meio de *boxplots*. Os dados foram transformados quando necessário. Todas as análises foram realizadas no R (R Core Team, 2020).

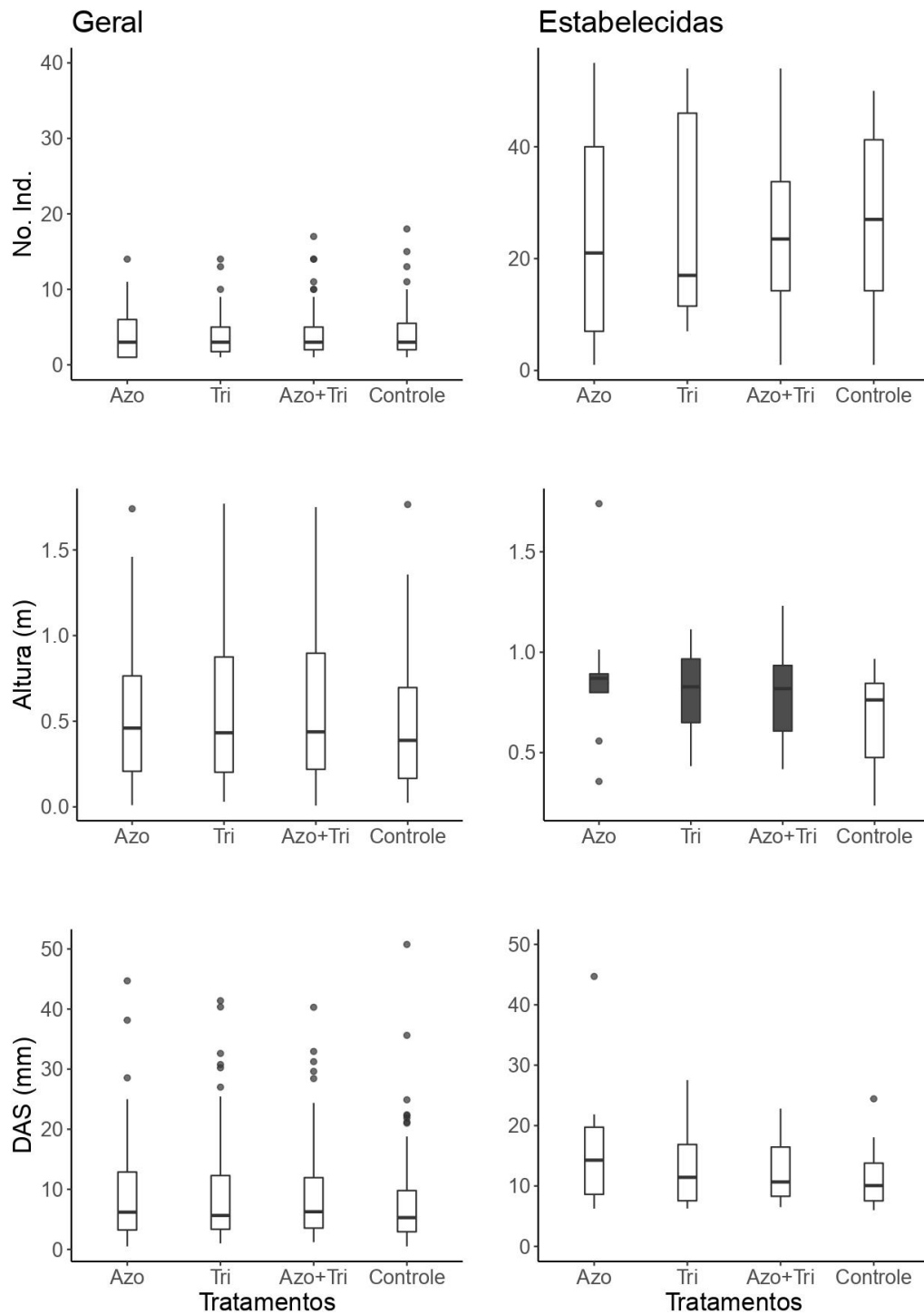
### 3. RESULTADOS

A semeadura direta atingiu as metas esperadas, uma vez que houve um estabelecimento de mais de 9.000 indivíduos por hectare, quase três vezes maior ao esperado e a taxa de estabelecimento média foi de 8,6% (Tabela 4). Considerando toda a comunidade, não encontramos efeito dos tratamentos de inoculantes sobre os atributos medidos ( $P > 0.05$ ). Quando analisamos o efeito para a comunidade estabelecida (não considerando indivíduos recém-germinados, ou seja, considerando somente indivíduos com altura  $> 50$  cm e diâmetro a altura do solo  $> 5$  mm), identificamos efeito positivo do uso de microrganismos na altura das espécies ( $P = 0,03$ ; Figura 3).

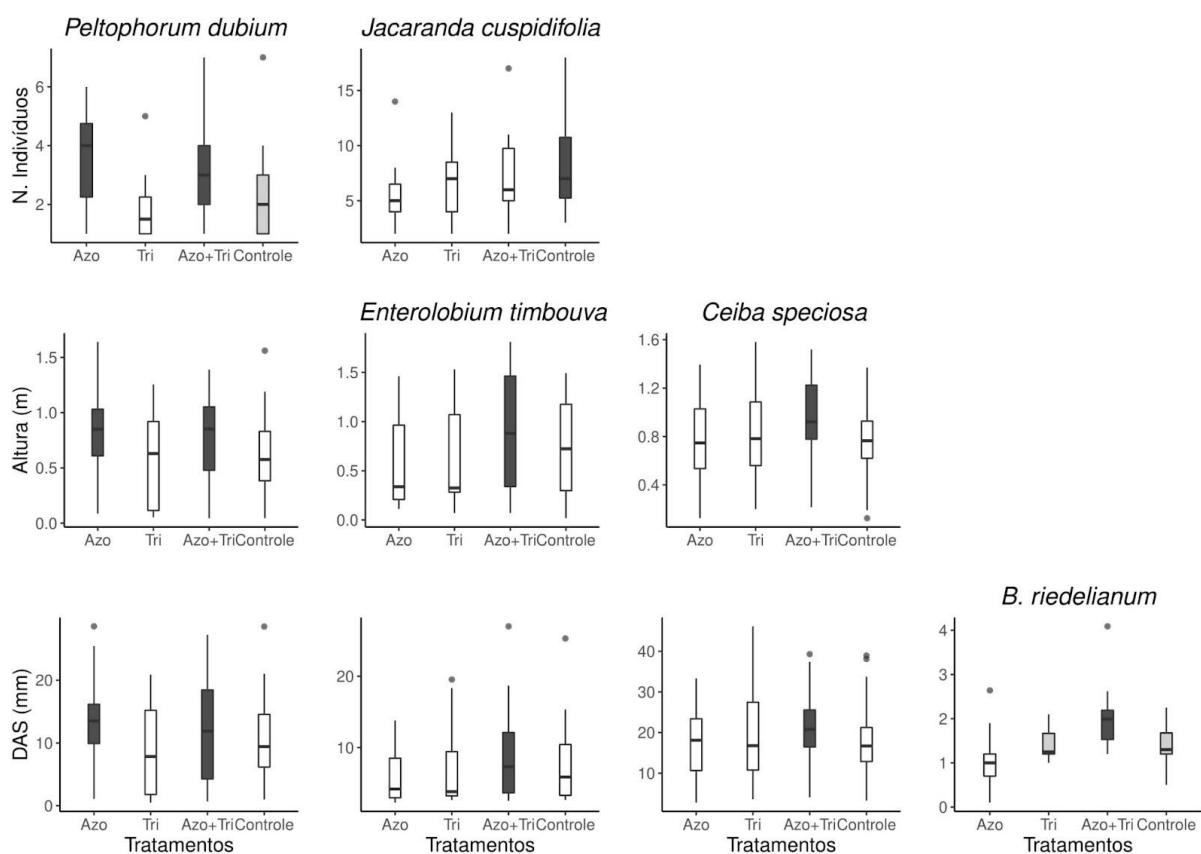
A comparação do desempenho das espécies entre os tratamentos revelou que *Jacaranda cuspidifolia* não diferiu quanto à altura e ao diâmetro à altura do solo, mas teve um decréscimo no número de indivíduos com o uso de inoculantes, nos tratamentos A, B e C (Figura 4). A espécie *Baufourodendron riedelianum* apresentou maior diâmetro à altura do solo, mas não diferiu em altura ou número de indivíduos com o uso associado dos microrganismos. Já *Ceiba speciosa* e *Enterolobium timbouva* tiveram maior altura e maior diâmetro à altura do solo com o uso associado dos microrganismos, apesar de não terem diferido em número de indivíduos. A espécie *Peltophorum dubium* apresentou maior afinidade com o microrganismo *Azospirillum* (Tratamentos A e C), respondendo com maior altura, maior diâmetro a altura do solo e maior número de indivíduos, mas não respondeu ao *Trichoderma*.

**Tabela 4.** Espécies arbóreas nativas usadas na semeadura direta com fim de restauração florestal e os resultados obtidos. A densidade total de indivíduos por hectare, a taxa de emergência (Tx. Emer.), a densidade total de indivíduos estabelecidos por hectare (Dens. Est.), a taxa de estabelecimento (Tx. Est.) a média da altura (H) e a média do diâmetro à altura do solo (DAS).

<b>Família</b>	<b>Nome científico</b>	<b>Dens. Total (Ind. / ha)</b>	<b>Tx. Emer. (%)</b>	<b>Dens. Est. (Ind. / ha)</b>	<b>Tx. Est. (%)</b>	<b>H (cm)</b>	<b>DAS (mm)</b>
Bignoniaceae	<i>Jacaranda cuspidifolia</i>	4.400	29,3	922	6,1	40,5	6,3
Fabaceae	<i>Anadenanthera colubrina</i>	2.778	18,5	2.278	15,2	84,9	8,4
	<i>Enterolobium timbouva</i>	944	6,3	533	3,6	108,1	10,9
	<i>Myroxylon peruiferum</i>	1.322	8,8	0	0	0	0
	<i>Peltophorum dubium</i>	1.444	9,6	1.144	7,6	86,4	13,8
	<i>Pterogyne nitens</i>	3.711	24,7	1.756	11,7	50,3	7
Malvaceae	<i>Ceiba speciosa</i>	2.011	13,4	1.944	13	84,5	19,4
Meliaceae	<i>Cedrela fissilis</i>	111	0,7	33	0,2	58,6	13
Rutaceae	<i>B. riedelianum</i>	456	3	0	0	0	0
Solanaceae	<i>Solanum lycocarpum</i>	433	2,9	422	2,8	87,6	24,2
<b>Total</b>		17.611	11,7	9.000	8,6		



**Figura 3** Variação no número de indivíduos, na altura média e no diâmetro a altura do solo das árvores na comunidade (considerando 10 espécies nativas), para a comunidade geral e para os indivíduos estabelecidos ( $H > 50$  cm e  $DAS > 5$  mm). Mais informações sobre as espécies podem ser encontradas nas Tabelas 1, 2 e 4. Diferenças significativas entre os tratamentos, segundo os modelos-mistos, são indicadas por diferentes cores ( $P < 0,05$ ).



**Figura 4** – Variação no número de indivíduos, na altura média e no diâmetro à altura do solo para as espécies que indicaram diferenças significativas na análise da comunidade geral e para os indivíduos estabelecidos ( $H > 50$  cm e  $DAS > 5$  mm). Diferenças significativas entre os tratamentos, segundo os modelos-mistos, são indicadas por diferentes cores ( $P < 0,05$ ).

#### 4. DISCUSSÃO

Os tratamentos com inoculantes apresentaram maior altura da comunidade estabelecida após 9 meses de plantio. A partir do filtro para determinar a comunidade estabelecida, de altura  $> 50$  cm e diâmetro à altura do solo  $> 5$  mm, excluímos os indivíduos recém-germinados e plântulas, e selecionamos apenas a comunidade que efetivamente se desenvolveu no período analisado. A comunidade estabelecida apresentou maior altura e não

sofreu prejuízo no diâmetro à altura do solo ou no número de indivíduos, indicando o potencial do uso de inoculantes na restauração ecológica por semeadura direta. O vigor e o desempenho dos indivíduos em campo foram alterados pela presença das inoculações microbiológicas, indicando que houve associação afetando o crescimento das espécies arbóreas nativas. Já a altura, o diâmetro à altura do solo e o número de indivíduos da comunidade total, incluindo as recém-germinadas, não apresentaram efeito dos tratamentos por inoculantes. Provavelmente, como o solo do plantio apresentava condições físico-químicas muito favoráveis para o cultivo, os mecanismos benéficos da inoculação foram pouco necessários e só foram observáveis após maior tempo de exposição ao tratamento, entre os indivíduos maiores. Sob pouco estresse, os tratamentos podem não ser tão eficientes, pois a alta disponibilidade nutricional diminui as diferenças observáveis entre os tratamentos (Almoyna et al., 2021). Além disso, ressaltamos o número limitado de espécies usadas neste estudo, tanto arbóreas quanto de microrganismos, por razões práticas. Em um cenário mais realista da restauração ecológica, o solo das áreas a serem restauradas é pobre e degradado (Bustamante et al., 2019) e normalmente são utilizadas dezenas de espécies vegetais diferentes. Neste contexto, os efeitos promovidos pelos inoculantes poderiam ser mais intensos e eficazes, possivelmente resultando em maior número de espécies colonizadas pelos inoculantes, maiores incrementos na comunidade como um todo e menores custos com adubação.

Ao analisarmos cada espécie separadamente, a interação com os microrganismos se evidencia. As espécies *B. riedelianum*, *C. speciosa* e *E. timbouva* responderam positivamente ao tratamento C, indicando maior desempenho diante da associação dos dois microrganismos, ainda que a inoculação de apenas um microrganismo não tenha sido suficiente para essa resposta. Ressaltamos que em plantios mais adversos, o uso solteiro de inoculantes também pode ser eficiente (So et al., 2011). No entanto, tendo em vista a sinergia apresentada pela



associação desses microrganismos, propomos investir em uma composição mais diversa de microrganismos benéficos capazes de promover antagonismo, facilitação e outros mecanismos que favorecem o desenvolvimento das espécies vegetais nativas, conhecidos como microrganismos promotores do crescimento de plantas (MPCP). A seleção de espécies arbóreas nativas que produzam respostas mais fortes à inoculação também pode ser uma estratégia para viabilizar a técnica voltada à restauração.

A espécie *Jacaranda cuspidifolia* respondeu negativamente à inoculação com os dois microrganismos, apresentando um decréscimo no número de indivíduos. Possivelmente, a árvore não se associou aos microrganismos, e sofreu devido ao aumento da competição com as demais espécies que responderam à inoculação. *Peltophorum dubium*, por sua vez, foi a espécie que apresentou as respostas mais positivas à inoculação, com maior altura, maior diâmetro à altura do solo e maior número de indivíduos nos tratamentos que continham *Azospirillum* (A e C). Os resultados sugerem que a árvore não se associou com o *Trichoderma*. Trabalhos co

mo este, que testam a aptidão de espécies arbóreas nativas para a semeadura direta são necessários, pois é por meio do conhecimento de aspectos ecológicos e silviculturais em nível de espécie que poderemos aperfeiçoar os métodos e alcançar a viabilidade (Ferreira et al., 2009; Aguirre et al., 2015; Meli et al., 2018).

Das 10 espécies analisadas, *P. dubium*, *E. timbouva*, *C. speciosa* e *B. riedelianum* apresentaram incremento em pelo menos um dos atributos com o uso dos dois inoculantes. *Peltophorum dubium* foi a espécie que melhor respondeu à inoculação, apresentando aumento no número de indivíduos (+30%), na altura (+20%) e no DAS (+15%) em comparação ao tratamento sem inoculante (D). O custo dos inoculantes para o tratamento de sementes é bastante reduzido, sendo que os produtos utilizados no experimento custam em média

R\$10,00 por hectare e o processo de inoculação é bastante prático, sendo apenas necessário espalhar uniformemente o produto nas sementes. Considerando esses fatores e o efeito positivo observado na comunidade vegetal estabelecida com o uso de inoculantes associados, acreditamos que a inoculação das sementes arbóreas nativas com uma comunidade diversa de microrganismos promotores do crescimento de plantas (MPCP) se apresenta como uma alternativa bastante promissora no contexto da restauração ecológica por semeadura direta. Ainda, a seleção de espécies arbóreas com potencial de resposta à inoculação pode conferir maior viabilidade e eficiência a esta técnica de restauração.

## **5. CONCLUSÕES**

O uso de inoculantes se apresentou como uma alternativa promissora para otimizar plantios de restauração ecológica por semeadura direta, melhorando o desempenho da comunidade estabelecida (altura média) e de 40% das espécies utilizadas (altura média, diâmetro à altura do solo e/ou número de indivíduos). A inoculação de microrganismos associados foi mais eficiente do que o uso solteiro, indicando que seria interessante o uso de uma comunidade diversa de microrganismos promotores do crescimento de plantas (MPCP). Adotar uma composição exclusivamente com espécies que respondam positivamente à inoculação também pode aumentar a eficiência do método (i.e. maior crescimento dos indivíduos arbóreas nativos) e evitar que espécies que não interagem com os MPCP sofram perdas por competição. Esperamos que o método se mostre mais eficiente quando aplicado em áreas com limitações nutricionais no solo e adversidades climáticas, fazendo com que os mecanismos benéficos dos microrganismos se expressem.

O potencial do uso de inoculantes na restauração ecológica por semeadura direta pode ajudar a solucionar entraves cruciais, como a baixa taxa de estabelecimento e o acesso a áreas mais inacessíveis, e viabilizar definitivamente o método. No entanto, ressaltamos a

necessidade de estudos acerca dos aspectos ecológicos e silviculturais das espécies nativas, bem como dos microrganismos, a fim de otimizar os efeitos da inoculação e garantir resposta da comunidade como um todo.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguirre, A.G.; Lima, J.T.; Teixeira, J., Gandolfi, S. 2015. Potencial da semeadura direta na restauração florestal de pastagem abandonada no município de Piracaia, SP, Brasil. *Hoehnea*, v. 42, n. 4, p. 629–640.

Araki, D.F. 2005. Avaliação da semeadura a lanço de espécies florestais nativas para recuperação de áreas degradadas. Mestrado em Ecologia de Agroecossistemas—Piracicaba: Universidade de São Paulo, 19 maio 2005.

Almeida, C. & Viani, R.A.G. 2020. Espécies arbóreas plantadas na restauração da Mata Atlântica (versão 2 – agosto 2020). Laboratório de Silvicultura e Pesquisas Florestais, LASPEF UFSCar. Disponível em <https://laspef.com.br/wp-content/uploads/2020/05/Almeida-e-Viani2020-especies-plantadas-na-restauracao-Mata-Atlantica.pdf>. Acesso em 10/06/2021

Alvares, C.A. Stape JL, Sentelhas PC, Moraes-Gonçalves LJ & Sparovek G. 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22: 711–728.

Baccaro, C. A. D. 2007. Processos erosivos no domínio do Cerrado In: Guerra, A. J. T.; Silva, A.S.; Botelho, R.G.M. (Org.) *Erosões e Conservação dos Solos: Conceitos, Temas e Aplicações*. 3ª Edição –Rio de Janeiro –RJ. Ed. Bertrand Brasil, Cap. VI p. 198.

Bae, H.; Sicher, R.C.; Kim, M.S.; Kim, S.-H.; Strem, M.D.; Melnice, R.L.; et al.

2009. The beneficial endophyte *Trichoderma hamatum* isolate DIS 219b promotes growth and delays the onset of drought response in *Theobroma cacao*. *Journal of Experimental Botany*, 60, 3279–3295.

Bashan, Y; de-Bashan, L.E.; 2010. How the Plant Growth-Promoting Bacterium *Azospirillum* Promotes Plant Growth - A Critical Assessment. Editor(s): Sparks, D.L. *Advances in Agronomy*, Academic Press, 108: 77-136.

Bates D.; Maechler M.; Bolker B.; Walker S. 2015. Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. *Journal of Statistical Software*, 67: 1-48.

Benini, R.M.; Sossai, M.F.; Padovezi, A.; Matsumoto, M.H. 2016. Plano estratégico da cadeia de restauração florestal: Caso do Espírito Santo. In: Silva, A.P.M.; Marques, H.R.; Sambuichi, R.H.R. (Org.). *Mudanças no código florestal brasileiro: desafios para a implementação da nova lei*. Organizadores: - Rio de Janeiro: Ipea, p. 209 - 234.

Benini, R. de M.; Lenti F. E. B.; Tymus, J. R. C.; Silva, A. P. M. da; Isernhagen, I. 2017. Custos de restauração da vegetação nativa no Brasil. *Bilíngue IN: Benini, R. de M.; Adeodato, S. Economia da restauração florestal*. São Paulo: The Nature Conservation, p. 20-37.

Brançalion, P.H.S.; Garcia, L.C.; Loyola, R.; Rodrigues, R.R.; Pillar, V.D. & Lewinsohn, T. M. 2016. A critical analysis of the Native Vegetation Protection Law of Brazil (2012): updates and ongoing initiatives. *Natureza & Conservação* 14: 1-25.

Brançalion, P.H.S.; Meli P.; Tymus, J.R.C.; Lenti F.E.B.; Benini A.P.M.; Isernhagen I.; Holl K.S. 2019. What makes ecosystem restoration expensive? A systematic cost assessment of projects in Brazil. *Biological Conservation* 240: 108274.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA. 2009. *Regras para análise de sementes* / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

Secretaria de Defesa Agropecuária. – Brasília: Mapa/ACS. 399 p.

Bustamante, M. M. C.; Silva, J. S.; Scariot, A.; Sampaio, A. B.; Mascia, D. L.; Garcia, E.; ... Nobre, C. 2019. Ecological restoration as a strategy for mitigating and adapting to climate change: lessons and challenges from Brazil. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*. 24: 1249-1270.

Cadastro Ambiental Rural – CAR. 2021. Boletim informativo Extrato Geral Brasil. Disponível em: < <https://www.car.gov.br/publico/imoveis/index> >. Acesso em 22/07/2021.

Campos-Filho, E.M.; Costa, J.N.M.N.; Sousa, O.L. & Junqueira R.G.R. 2013. Mechanized direct-seeding of native forests in Xingu, Central Brazil. *Journal of Sustainable Forestry*, 32: 702–727.

Carr, D.; Bonney, N.; Huxtable, D. & Bartle, J. 2009. Improving direct seeding for woody crops in temperate Australia: a review. Rural Industries Research and Development Corporation, Canberra, AU.

Carvalho, F.M.V.; de Marco, P.; Ferreira JR., L.G. 2009. The Cerrado into-pieces: Habitat fragmentation as a function of landscape use in the savannas of central Brazil. *Biological Conservation*, 142: 1392-1403.

Cassán, F., & Diaz-Zorita, M. 2016. *Azospirillum* sp. in current agriculture: From the laboratory to the field. *Soil Biology & Biochemistry*, 103: 117–130.

Costa, M.M. 2016. Financiamento para a restauração ecológica no Brasil. In: Silva, A.P.M.; Marques, H.R.; Sambuichi, R.H.R. (Eds.), *Mudanças no código florestal brasileiro: desafios para a implementação da nova lei*. IPEA, Rio de Janeiro, pp. 235–260.

D’Angioli, A.M.; Viani, R.A.G.; Lambers, H.; Sawaya C.H.F. & Oliveira R.S. 2017. Inoculation with *Azospirillum brasilense* (Ab-V4, Ab-V5) increases *Zea mays* root

carboxylate-exudation rates, dependent on soil phosphorus supply. *Plant and Soil* 410: 499–507.

Dias, P.P. 2011. Controle Biológico de Fitopatôgenos de Solo por Meio de Isolados de Fungos do Gênero *Trichoderma* e sua Contribuição para o Crescimento de Plantas. Tese de doutorado em Ciências. Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Ciências do Solo, Seropédica, Rio de Janeiro.

Engel, V.L. & Parrotta, J.A. 2001. An evaluation of direct seeding for reforestation of degraded lands in central São Paulo state, Brazil. *Forest Ecology and Management*, 152: 169–181.

Ethur, L.Z.; Cembranel, C.Z. & Silva, A.C.F. 2001. Seleção de *Trichoderma* spp. visando o controle de *Sclerotinia sclerotiorum*, *in vitro*. *Ciência Rural* 31: 885-887.

Fearnside, P.M. 2006. Deforestation in Amazonia: dynamics, impacts and control. *Acta Amazonica* 36: 395-400.

Fearnside, P.M. 2020. Desmatamento na Amazônia brasileira: História, índices e consequências. p. 7-19. In: Fearnside, P.M. (ed.) *Destruição e Conservação da Floresta Amazônica*, Vol. 1. Editora do INPA, Manaus, Amazonas. 368 p.

Ferreira, R.A.; Santos, P.L.; Aragão, A.G.; Santos, T.I.S.; Santos Neto, E.M. & Rezende, A.M.S. 2009. Semeadura direta com espécies florestais na implantação de mata ciliar no Baixo São Francisco em Sergipe. *Scientia Forestalis* 37: 37-46.

Ferreira, W.C.; Botelha, S.A.; Davide, A.C.; Faria, J.M.R. 2007. Avaliação do crescimento do estrato arbóreo de área degradada revegetada à margem do rio Grande, na Usina Hidrelétrica de Camargos, MG. *Revista Árvore* 31: 177-185.

Fox, J. & Weisberg, S. 2019. *An R Companion to Applied Regression*, Third Edition.

Thousand Oaks CA: Sage. <https://socialsciences.mcmaster.ca/jfox/Books/Companion/>

Freitas, M.G.; Rodrigues, S.B.; Campos-Filho, E.M.; Carmo, G.H.P.; Veiga, J.M.; Junqueira, R.G.R. & Vieira D.L. 2019. Evaluating the success of direct seeding for tropical forest restoration over ten years. *Forest Ecology and Management*, 438: 224–232.

Fukami, J.; Cerezini, P. & Hungria, M. 2018. *Azospirillum*: benefits that go far beyond biological nitrogen fixation. *AMB Express*, 8(1), 73.

Harman, G.E.; Howell, C.R.; Viterbo, A.; Chet, I., & Lorito, M. 2004. Trichoderma species – opportunistic, avirulent plant symbionts. *Nature Reviews Microbiology*, 2: 43–56.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. IBGE 2018. Censo agropecuário 2016/2017. Disponível em: [https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/3093/agro\\_2017\\_resultados\\_preliminares.pdf](https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/3093/agro_2017_resultados_preliminares.pdf). Acesso em: 11/06/2021

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. 2020. Taxas de desmatamento. Disponível em: [http://terrabilis.dpi.inpe.br/app/dashboard/deforestation/biomes/legal\\_amazon/rates](http://terrabilis.dpi.inpe.br/app/dashboard/deforestation/biomes/legal_amazon/rates). Acesso em: 08/06/2021.

Irving, F. 2004. A history of direct seeding. *Victorian Landcare and Catchment Management* 31:6-7.

Isernhagen, I. 2010. Uso de semeadura direta de espécies arbóreas ativas para restauração florestal de áreas agrícolas, sudeste do Brasil. Dissertação de Mestrado, Universidade do Estado de São Paulo, Piracicaba.

Köppen, W. *Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra*. México: Fondo de Cultura Economica, 478 P., 1948.

Lenth, R.V. 2021. emmeans: Estimated Marginal Means, aka Least-Squares Means. R package version 1.6.0. <https://CRAN.R-project.org/package=emmeans>

Meneghello, G.E.; Mattei, V.L. 2004. Semeadura direta de timbaúva (*Enterolobium contortisiliquum*), canafístula (*Peltophorum dubium*) e cedro (*Cedrela fissilis*) em campos abandonados. *Ciência Florestal*, 14: 21-27.

Meli, P.; Isernhagen, I; Brancalion, P.H.S.; Isernhagen E.C.C.; Behling, M. & Rodrigues, R.R. 2018. Optimizing seeding density of fast-growing native trees for restoring the Brazilian Atlantic Forest: Optimizing seeding density in forest restoration. *Restoration Ecology*, 26: 212–219.

Oliveira R.E.; Engel, V.L.; Loiola, P.P.; Moraes, L.F.D. & Vismara, E.S. 2021. Top ten indicators for evaluating restoration trajectories in the Brazilian Atlantic Forest. *Ecological Indicators* 127: 107652.

Palma, A.C. & Laurence, S.G.W. 2015. A review of the use of direct seeding and seedling plantings in restoration: what do we know and where should we go? *Applied Vegetation Science* 18: 561–568.

R Development Core Team. 2020. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Disponível em: <http://www.r-project.org/>.

Rodrigues, R.R.; Brancalion, P.H.S.; Isernhagen, I. 2009. Pacto pela restauração da Mata Atlântica: referencial dos conceitos e ações de restauração florestal. LERF/ESALQ: Instituto BioAtlântica, São Paulo, SP. 266p.

Santos, P.L.; Ferreira L.A.; Aragão, A.G.; Amaral, L.A.; Oliveira, A.S. 2012. Estabelecimento de espécies florestais nativas por meio de semeadura direta para a recuperação de áreas degradadas. *Revista Árvore* 36: 237-245.



Scopel, E.; Triomphe, B.; Ribeiro, M. F. S.; Se´guy, L.; Denardin, J. E. & Kochann, R.A. 2004. Direct seeding mulch-based cropping systems (DMC) in Latin America. In “New Directions for a Diverse Planet: Proceedings for the 4th International Crop Science Congress, Brisbane, Australia, 26 September–1 October 2004.” (T. Fischer, N. Turner, J. Angus, L. McIntyre, M. Robertsen, A. Borrell, and D. Llyod, Eds.). Available online at: [www.cropscience.org.au](http://www.cropscience.org.au)

Seguy, L. & Bouzinac, S. 2003. Direct seeding on plant cover: Sustainable Cultivation of our planet’s soils. *Conservation Agriculture* 93–99.

So, T.; Ruthrof, K.X. & Dell, B. 2011. Seed and seedling responses to inoculation with mycorrhizal fungi and root nodule bacteria: implications for restoration of degraded Mediterranean-type Tuart woodlands. *Ecological Management & Restoration* 12: 157–160.

Spaepen, S. & Vanderleyden, J. 2015. Auxin signaling in *Azospirillum brasilense*: a proteome analysis. In: de Bruijn FJ (ed) *Biological nitrogen fixation*. Wiley, Hoboken, pp 937–940.

Silva, L. V.; Queiroz, S. E.; Silva, M. Q.; da Costa Soares, J. M. & Fernandes, R. L. R. 2012. Uso de protetor físico na semeadura direta para recuperação de áreas degradadas. *Bioscience Journal* 28: 266-372.

Soares, P. G. & Rodrigues, R.R. 2008. Semeadura direta de leguminosas florestais: efeito da inoculação com rizóbio na emergência de plântulas e crescimento inicial no campo. *Scientia Forestalis* 36: 115-121.

Soares-Filho, B.S.; Rajão R.; Macedo, M.; Carneiro, A.; Costa, W.; Coe, M.; Rodrigues, H. & Alencar, A. 2014. Cracking Brazil’s Forest Code. *Science* 344: 363–364.

Zahawi, R.A. & Holl, K.D. 2009. Comparing the performance of tree stakes and

seedlings to restore abandoned tropical pastures. Restoration Ecology 17: 854–864.

## ANEXOS

**Tabela S1** – Análise química do solo da área, realizada para quatro amostras compostas, sendo duas de 0-20 cm e duas de 21-40 cm de profundidade. Cada amostra composta foi elaborada a partir de 12 amostras simples, coletadas sistematicamente em zig-zague ao longo de toda a área.

	<b>Prof.</b>	<b>P Resina</b>	<b>M.O.</b>	<b>pH</b>	<b>K</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>H+Al</b>	<b>SB</b>	<b>CTC</b>	<b>V</b>
	<b>(cm)</b>	<b>(mg/dm<sup>3</sup>)</b>	<b>(g/dm<sup>3</sup>)</b>	<b>(CaCl<sub>2</sub>)</b>				<b>(mmolc/dm<sup>3</sup>)</b>			<b>(%)</b>
A1	0-20	8	34	4,1	0,6	49	15	19	64,6	83,6	77
A2	21-40	4	28	5,9	2,1	57	15	38	74,1	112,1	66
B1	0-20	7	35	4	0,8	52	16	28	68,8	96,8	71
B2	21-40	4	31	4,3	1,9	52	14	34	67,9	101,9	67

**Tabela S2** – Valores das pesagens de quatro lotes de 50 sementes por espécie, as massas médias das unidades de sementes, massa média da semente por espécie e seu desvio padrão (DP).

Nome Científico	Massa Lote (50 sem.)				Massa unitária					
	1°	2°	3°	4°	1°	2°	3°	4°	Média	DP
<i>Anadenanthera colubrina</i>	4880	4720	4690	5150	97,6	94,4	93,8	103	97,2	4,2
<i>Peltophorum dubium</i>	2680	2700	2420	2630	53,6	54	48,4	52,6	52,15	2,6
<i>Solanum lycocarpum</i>	300	286	304	280	6	5,72	6,08	5,6	5,85	0,2
<i>Enterolobium timbouva</i>	36000	36000	35000	36000	720	720	700	720	715	10,0
<i>Ceiba speciosa</i>	7250	6700	7040	7200	145	134	140,8	144	140,95	5,0
<i>Jacaranda cuspidifolia</i>	1860	1949	1819	1687	37,2	38,98	36,38	33,74	36,575	2,2
<i>Pterogyne nitens</i>	4583	4554	4585	4637	91,66	91,08	91,7	92,74	91,795	0,7
<i>Myroxylon peruiferum</i>	22509	19476	21262	19122	450,18	389,52	425,24	382,44	411,845	31,7
<i>Baufourodendron riedelianum</i>	14500	14720	12300	14560	290	294,4	246	291,2	280,4	23,0
<i>Cedrela fissilis</i>	1745	1795	1688	1561	34,9	35,9	33,76	31,22	33,945	2,0