

Microrganismos e lodo de esgoto compostado no desenvolvimento inicial de mudas de baru em vasos

Microorganisms and composted sewage sludge in the initial development of baru seedlings in pots

Philippe Solano Toledo Silva^{1*} , Adrielle Rodrigues Prates² , Dirceu Maximino Fernandes² , Ana Maria Rodrigues Cassiolato³ , Katia Luciene Maltoni³ 

RESUMO

O cerrado brasileiro apresenta grande diversidade de plantas e solo ácido com reduzida disponibilidade de certos nutrientes, como fósforo (P). Adição de resíduos orgânicos e microrganismos poderia ajudar no estabelecimento de plantas nesse ambiente. O objetivo do trabalho foi avaliar o desenvolvimento inicial de mudas de baru (*Dipteryx alata*), por meio da disponibilidade de nutrientes (como P) pela adubação com lodo de esgoto compostado (LODO) com bagaço de cana-de-açúcar (1:1) e inoculado com *Bacillus subtilis* e fungo micorrízico arbuscular (FMA) *Glomus clarum*. Os experimentos foram conduzidos em casa de vegetação, com delineamento experimental em blocos casualizados, em esquema fatorial 2 × 4, sendo: LODO (com e sem) e inoculação (1 = controle; 2 = *B. subtilis*; 3 = *G. clarum*; 4 = *B. subtilis* + *G. clarum*), com cinco repetições e uma muda por vaso. Transcorridos 150 dias do transplante das mudas, avaliaram-se massa fresca e massa seca da parte aérea; diâmetro do colmo; altura de plantas; número de folhas; índice de qualidade de mudas; massa fresca e seca, área de superfície, volume, comprimento total e diâmetro médio das raízes; colonização radicular (COL) e número de esporos de FMA; COL por endófitos septados melanizados (DSE) e carbono do CO₂ (C-CO₂) liberado. O baruzeiro mostrou-se uma espécie pouco exigente em adubação, mas responsiva à inoculação, mostrando incrementos para massa fresca, área de superfície, volume e comprimento total de raízes. A inoculação com *G. clarum* elevou o número de esporos e a taxa de C-CO₂ liberado no solo, enquanto *G. clarum* e *B. subtilis* aumentaram a COL por FMA e DSE.

Palavras-chave: *Dipteryx alata* Vogel; lodo de esgoto compostado; promotores de crescimento; cerrado.

ABSTRACT

The Brazilian Cerrado has a great diversity of plants and acidic soils with reduced availability of some nutrients, such as phosphorus (P). Addition of organic residues and microorganisms could help to establish plants in this environment. The aim of this work was to evaluate the initial development of baru (*Dipteryx alata*) seedlings, through the availability of nutrients (such as P) by fertilization with composted sewage sludge (SLUDGE) with sugarcane bagasse (1:1) and inoculated with *Bacillus subtilis* and arbuscular mycorrhizal fungus (AMF) *Glomus clarum*. The experiments were carried out in a greenhouse, with an experimental design in randomized blocks, in a 2 × 4 factorial scheme, being: SLUDGE (with and without) and inoculation (1 = Control; 2 = *B. subtilis*, 3 = *G. clarum* and 4 = *B. subtilis* + *G. clarum*), with 5 replications and one seedling per pot. After 150 days of transplanting the seedlings, the following parameters were evaluated: fresh and dry biomass of the aerial part; stem diameter; plant height; number of leaves; seedling quality index; fresh and dry biomass, surface area, volume, total length and mean diameter of roots; root colonization (COL) and number of AMF spores; COL by melanized septate endophytes (DSE) and carbon from CO₂ (C-CO₂) released. The baruzeiro showed to be an undemanding species in terms of fertilization, but responsive to inoculation, showing increments in fresh biomass, surface area, volume and total length of roots. The inoculation with *G. clarum* increased the number of spores and the rate of C-CO₂ released into the soil, while *G. clarum* and *B. subtilis* increased COL by AMF and DSE.

Keywords: *Dipteryx alata* Vogel; composted sewage sludge; growth promoters; cerrado.

¹Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" - Jaboticabal (SP), Brasil.

²Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" - Botucatu (SP), Brasil.

³Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" - Ilha Solteira (SP), Brasil.

*Autor correspondente: phitoledo@gmail.com

Conflitos de interesse: os autores declaram não haver conflitos de interesse.

Financiamento: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes).

Recebido: 01/09/2021 - Aceito: 23/05/2022 - Reg. ABES: 20210240

INTRODUÇÃO

O cerrado brasileiro é o segundo maior bioma em extensão da América Latina, ocupando aproximadamente 200 milhões de hectares (SANO *et al.*, 2019). Rico em biodiversidade, apresenta diversas espécies endêmicas de plantas com múltiplos usos, como medicinal, alimentício e reflorestamento (BONI *et al.*, 2016). Contudo, com a ausência de políticas de proteção, cerca de 40% da vegetação remanescente está vulnerável à extinção (STRASSBURG *et al.*, 2017).

O baruzeiro (*Dipteryx alata* Vogel), também conhecido como cumbaru ou cumaru (VIEIRA; WEBER, 2016), é uma leguminosa arbórea nativa do cerrado, de ampla distribuição no bioma. De grande utilização na indústria alimentícia e farmacêutica, sua polpa é rica em carboidratos, fibras e açúcares (REIS *et al.*, 2018), e o óleo extraído de suas sementes possui altos teores de ácido oleico e linoleico (ALMEIDA *et al.*, 2016). Ainda, a espécie vem sendo recomendada para programas de revegetação e recuperação de áreas degradadas, por se adaptarem à baixa fertilidade dos solos do cerrado (MASSAD *et al.*, 2020).

A baixa disponibilidade de nutrientes no solo, como o fósforo (P), que é pouco móvel e apresenta alta tendência à adsorção aos óxidos de ferro (Fe) e alumínio (Al) (SUN *et al.*, 2020b), associada à intemperização e acidez, limita o desenvolvimento e o estabelecimento de plantas nessas áreas (PENG *et al.*, 2020). Logo, é indispensável a busca por fontes alternativas e sustentáveis que permitam melhorar as condições químicas, físicas e biológicas desses solos e, assim, disponibilizar às plantas parte de sua necessidade por P e outros nutrientes.

O lodo de esgoto é um material rico em nutrientes e matéria orgânica (RAHEEM *et al.*, 2018), o que viabiliza o seu uso em substituição à adubação mineral (KOMINKO; GORAZDA; WZOREK, 2019), entretanto há a necessidade da utilização de técnicas que o estabilize, sendo a compostagem o procedimento mais indicado (BOINA *et al.*, 2020). O processo caracteriza-se como uma alternativa biológica de digestão aeróbica dos resíduos sólidos orgânicos, inativando a atividade de microrganismos patogênicos e parasitas (MORETTI; BERTONCINI; ABREU JÚNIOR, 2015), resultando em um produto suficientemente estabilizado que pode ser empregado como substrato orgânico na produção de mudas (SIQUEIRA *et al.*, 2018). Juntamente com a adubação com lodo, a introdução de microrganismos pode maximizar a absorção de nutrição, auxiliando na sobrevivência e no crescimento de plantas em ambientes ou condições desfavoráveis.

Os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) formam simbioses com plantas superiores (WANG *et al.*, 2017). Por meio da rede de hifas formada durante a colonização do solo, eles aumentam a área de aquisição de água e nutrientes, transferindo-se para a planta, viabilizando, por vezes, o seu desenvolvimento (FERROL; AZCÓN-AGUILAR; PÉREZ-TIENDA, 2019). Além dos FMA, as bactérias do gênero *Bacillus*, como as *B. subtilis* Cohn, podem atuar como promotoras de crescimento vegetal por intermédio do controle de fito-hormônios do crescimento, como auxinas e gibberelinas (LI *et al.*, 2020), solubilizadoras de fosfato (ESTRADA-BONILLA; DURRER; CARDOSO, 2021) ou fixadoras de nitrogênio atmosférico (SUN *et al.*, 2020a).

Assim, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito do lodo de esgoto e da inoculação de microrganismos no desenvolvimento inicial de mudas de baru, a colonização radicular e a atividade respiratória do solo em vasos.

MATERIAIS E MÉTODOS

Localização e caracterização da área experimental

O experimento foi implantado em maio e conduzido até outubro de 2020, em casa de vegetação, na área experimental do Departamento de Ciência Florestal, Solos e Ambiente da Faculdade de Ciências Agrônômicas (FCA), da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), no município de Botucatu (SP), localizado nas coordenadas 22°51'03" de latitude Sul e 48°25'37" de longitude Oeste e 786 m de altitude.

O clima da região é classificado como temperado quente (mesotérmico) com chuvas no verão e seca no inverno (Cfa — Köppen), e a temperatura média do mês mais quente é superior a 22°C (ALVARES *et al.*, 2013). A temperatura média (°C), a umidade relativa (%) e a precipitação total (mm) durante o período experimental, de acordo com a estação meteorológica localizada no Departamento de Ciência Florestal, Solos e Ambiente da FCA/UNESP, Campus de Botucatu, se encontram na Figura 1.

Instalação e condução do experimento

O delineamento experimental deu-se em blocos casualizados, no esquema fatorial 2 × 4, com cinco repetições (vasos de 6 L) e uma muda por repetição, totalizando 40 unidades experimentais. O primeiro fator foi com e sem adição de lodo de esgoto compostado como fonte de nutrientes, especialmente P, enquanto o segundo fator consistiu na inoculação, ou seja: *B. subtilis*, FMA *Glomus clarum* T. H. Nicolson & N. C. Schenck, *B. subtilis* + *G. clarum* e controle (sem inoculação).

O solo foi coletado da camada subsuperficial do Setor da Patrulha da Fazenda Experimental Lageado, no município de Botucatu, sendo classificado como latossolo vermelho distrófico, de textura média, contendo 610 g kg⁻¹ de areia total, 322 g kg⁻¹ de argila e 68 g kg⁻¹ de silte, de acordo com Santos *et al.* (2018).

Para a caracterização inicial da área quanto aos atributos químicos, uma amostra de solo, constituída de três amostras simples, foi coletada, seca ao ar, peneirada (malha de 2 mm) e homogeneizada. A análise química seguiu o proposto por Raij *et al.* (2001), e os resultados foram:

- fósforo (P_{resina}) = 6 mg dm⁻³;
- matéria orgânica (MO) = 12 g dm⁻³;
- reação do solo (pH_{CaCl_2}) = 3,7;
- potássio (K^+) = 0,2 mmol_c dm⁻³;
- cálcio (Ca^{2+}) = 2 mmol_c dm⁻³;

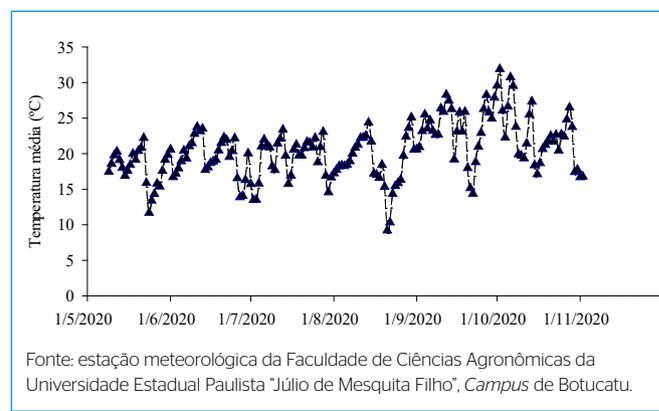


Figura 1 – Valores médios de temperatura (°C) ao longo do período experimental (de maio a outubro de 2020).

- magnésio (Mg^{2+}) = 1 mmol_c dm⁻³;
- soma de bases = 3 mmol_c dm⁻³;
- capacidade de troca catiônica = 83 mmol_c dm⁻³;
- saturação por bases (V%) = 4%;
- alumínio (Al^{3+}) = 14 mmol_c dm⁻³;
- acidez potencial (H + Al) = 80 mmol_c dm⁻³;
- enxofre (S) = 1 mg dm⁻³;
- boro (B) = 0,33 mg dm⁻³;
- cobre (Cu) = 3,2 mg dm⁻³;
- ferro (Fe) = 30 mg dm⁻³;
- manganês (Mn) = 2 mg dm⁻³;
- zinco (Zn) = 0,2 mg dm⁻³.

Caracterização do lodo de esgoto e processo de compostagem

O lodo foi obtido na estação de tratamento de esgoto da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo localizada na FCA/UNESP. Ele foi armazenado em baias durante a compostagem, quando bagaço de cana-de-açúcar foi misturado na proporção 1:1 (v/v). O composto foi revolvido 14 vezes, até que atingisse a umidade de 14%, que ocorreu aos 60 dias. A caracterização química do lodo compostado foi realizada segundo a metodologia proposta pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Brasil, 2017), estando de acordo com a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente nº 498/2020 (BRASIL, 2020) e apresentada na Tabela 1.

Os vasos, com capacidade para 6 L, foram preenchidos com solo e, em seguida, pesados para o cálculo da quantidade necessária de lodo compostado para atingir o equivalente a 50 mg dm⁻³ de P (CRUZ, 2019). Com isso, foram adicionados 23 g⁻¹ de lodo compostado por vaso.

Obtenção do solo inóculo

O inóculo do FMA foi multiplicado, conforme descrito por Santos *et al.* (2016), em uma mistura de solo arenoso coletado na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão da UNESP, Campus Ilha Solteira, e areia de rio (granulação média) na proporção de 1:1 (v/v) autoclavada. A planta hospedeira foi a *Urochloa brizantha* Stapf., e seu crescimento e a multiplicação dos esporos de *G. clarum* ocorreram em condições de cultivo protegido, em jardineiras. Após 80 dias da sementeira, a parte aérea das plantas foi descartada e o sistema radicular misturado ao solo de forma homogênea. Após a mistura, o solo foi seco à sombra.

O número de esporos de *G. clarum* foi quantificado em 100 g de solo seco, seguindo a metodologia de decantação e peneiramento úmido proposta por Gerdemann e Nicolson (1963) e de centrifugação e flutuação em solução de sacarose (JENKINS, 1964). Os esporos coletados foram depositados em uma

placa de acrílico com anéis concêntricos, sob microscópio estereoscópico. O valor médio encontrado foi de 75 esporos por 100 g de solo-inóculo.

Obtenção das mudas de baru

A germinação das sementes foi realizada em copos plásticos. Adicionou-se uma semente para aproximadamente 100 g de solo-inóculo. As sementes foram coletadas em diferentes árvores localizadas no município de Ilha Solteira (SP), em setembro de 2019, quando passaram por um breve período de secagem ao ar livre. Após a desinfestação superficial por 1 minuto em solução de hipoclorito de sódio 2%, seguida por enxágues em água corrente, as sementes foram condicionadas em copinhos de plástico de 10 cm de altura, contendo areia de rio lavada. Transcorridos 60 dias da germinação, as mudas foram transportadas para a FCA/UNESP-Botucatu, onde foram transferidas para vasos correspondentes, ou seja, com ou sem adição do lodo de esgoto compostado.

A inoculação de endósporos de *B. subtilis*, estirpe CCTB04, ocorreu por meio da adição de 2×10^8 UFC mL⁻¹ do inoculante líquido comercial Vult, via raízes, distribuindo 2 mL do inoculante após o transplantio das mudas para os vasos. As plantas foram mantidas em casa de vegetação, e o fornecimento de água durante esse período foi de forma manual, a cada dois dias, com o auxílio de um regador.

Avaliações dos experimentos

Transcorridos 150 dias do transplantio das mudas para a casa de vegetação, estas foram avaliadas para diâmetro do coleto (DC), altura (ALT) e número de folhas (NF), antes de as plantas serem removidas do solo e a parte aérea separada do sistema radicular. A parte aérea foi avaliada para massa fresca (MFPA) e condicionada em estufa a 65°C até que fosse verificado peso constante, quando se avaliou a massa seca (MSPA).

O sistema radicular foi pesado para massa fresca (MFR) e, em seguida, analisado para o desenvolvimento de raízes utilizando um escâner e o *software* WinRHIZO, para as variáveis área de superfície de raízes (ASR), volume das raízes (VR), comprimento total de raízes (CTR) e diâmetro médio de raízes (DMR). Na sequência, as amostras seguiram para secagem na estufa a 65°C até que fosse obtido peso constante, quando foram pesadas para massa seca (MSR).

Com os valores de MSPA, MSR, DC e ALT, determinou-se o índice de qualidade de mudas de Dickson (IQD), de acordo com Dickson, Leaf e Hosner (1960), por meio da Equação 1:

$$IQD = (MSPA / MSR) / [(ALT / DC) + (MSPA + MSR)] \tag{1}$$

Para as avaliações microbiológicas, o número de esporos de FMA foi determinado em amostras de 100 g de solo, como anteriormente descrito.

Tabela 1 - Caracterização química do lodo de esgoto compostado com bagaço de cana-de-açúcar na proporção 1:1 (v/v) utilizado como substrato para os experimentos.

N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	S	Umidade	MO	CO	pH	C/N	
----- % (ao natural) -----									seca	(ao natural)	(-)
3,07	2,96	0,11	1,14	0,24	1,86	14	40	26	5,7	9/1	
Na	B		Cu		Fe	Mn		Zn	----- mg kg ⁻¹ (ao natural) -----		
1,554	126		79		40,478	281		521			

MO: matéria orgânica.

Fonte: elaboração própria.

Durante o peneiramento do solo, parte das raízes foi separada, lavada e preservada em álcool 50%. Para a avaliação da colonização radicular por FMA e endofíticos septados melanizados (DSE), as raízes foram lavadas, clareadas em hidróxido de potássio (10%) + peróxido de hidrogênio, acidificadas com ácido clorídrico (HCl) (1%), coloridas com azul de tripano (0,05%), sempre a 90°C, e mantidas em lactoglicerol (PHILLIPS; HAYMAN, 1970). A porcentagem de colonização foi determinada avaliando-se 100 segmentos de raízes finas por amostra, sob microscopia óptica, observando-se as estruturas típicas dos FMA e dos DSE.

A quantificação de C-CO₂ liberado seguiu a metodologia de Mercante et al. (2008), em que 50 g de solo fresco foi depositado em frasco de vidro juntamente com um pequeno recipiente contendo 10 mL de hidróxido de sódio (NaOH) 0,1 mol L⁻¹. Os frascos foram fechados hermeticamente com plástico filme e vedados com tampa e fita isolante, pelo período de incubação de sete dias. Imediatamente após a abertura dos frascos, foi adicionado 2 mL de cloreto de bário 10% ao recipiente contendo NaOH, para a precipitação do CO₂ na forma de Na₂CO₃. A titulação foi realizada com HCl 0,1 mol L⁻¹, tendo fenolftaleína 1% como indicador. A titulação permitiu calcular, por subtração, a quantidade de CO₂ que reagiu com NaOH (ANDERSON; DOMSCH, 1989).

Os dados foram submetidos à análise de variância, e, quando observada significância do teste F, as médias foram comparadas pelo teste Tukey para p < 0,05. O programa estatístico utilizado foi o Sisvar (Ferreira, 2019).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Entre as variáveis ligadas ao crescimento das mudas de baru, os valores para MFPA, MSPA e IQD foram maiores quando ocorreu a inoculação de microrganismos,

especialmente com *G. clarum*, enquanto para DC e NF foram mais elevados com a adição de lodo de esgoto compostado (Tabela 2).

Os resultados deste estudo corroboram os de Pinho et al. (2018), que não verificaram diferenças significativas para MFPA, MSPA nem ALT das mudas de baru cultivadas tanto em solo argiloso contendo 0,6 mg dm⁻³ de P como em substrato comercial contendo mistura de casca de *Pinus*, serragem de madeira, carvão vegetal, casca de arroz, rocha calcária, superfosfato simples e nitrato de amônio, e com os de Oliveira et al. (2014), que relataram efeitos positivos para NF, mas não para DC, em mudas de baru cultivadas por 79 dia após a semeadura em substratos à base de esterco bovino e fibra de coco.

Interações estatísticas significativas foram encontradas para MFPA, DC e IQD. A adição de lodo compostado e a inoculação *B. subtilis* e *B. subtilis* + *G. clarum* elevaram o DC das mudas de baru, os quais exibiram médias de 4,8 e 3,9 mm, respectivamente (Tabela 3).

Apesar do aumento da disponibilidade de P no solo, as mudas de baru não se mostraram exigentes por esse nutriente durante o período de cultivo (150 dias), sendo 6 mg dm⁻³ de P o suficiente para o seu crescimento inicial. O teor de P no solo somado à inoculação de FMA incrementou a MFPA e a MSPA (Tabela 2).

A MFPA quando inoculada com *G. clarum* na ausência de lodo foi superior à dos demais tratamentos (Tabela 3). Esses resultados diferem dos encontrados por Lacerda et al. (2011), os quais não verificaram diferenças para MSPA de mudas de baru inoculadas ou não com *G. clarum*, em condições de alta ou baixa disponibilidade de P no solo. Resultados semelhantes aos do presente estudo foram observados por Martinotto et al. (2012), com espécies de crescimento secundário a clímax, como o baruzeiro, tendo os autores relatado a pouca exigência em relação ao suprimento com P, apesar de a disponibilidade ter aumentado no solo.

Tabela 2 – Médias, valores de F e coeficientes de variação (CV) para massa fresca (MFPA) e seca (MSPA) da parte aérea, diâmetro do coleto (DC), altura (ALT), número de folhas (NF) e índice de qualidade de mudas de Dickson (IQD), massa fresca (MFR) e seca (MSR) de raízes, área de superfície (ASR), volume (VR), comprimento total (CTR) e diâmetro médio (DMR) das raízes, para os fatores inoculação (*Bacillus subtilis* estirpe CCTB04 e *Glomus clarum*) e lodo de esgoto compostado (com ou sem) em mudas de baru, aos 150 dias do transplantio^a.

Tratamentos	MFPA	MSPA	DC	ALT	NF	IQD	MFR	MSR	ASR	VR	CTR	DMR
	(g)	(g)	(mm)	(cm)	(-)	(-)	(g)	(g)	(cm ²)	(cm ³)	(cm)	(mm)
Inoculação												
Controle	6,2 b	3,7 ab	4,4 a	15 a	7,3 a	1,5 b	6,6 ab	3,1 b	162,7 a	3 b	573,5 b	1,9 b
<i>B. subtilis</i>	6,7 ab	3,4 b	4,5 a	16,5 a	7,1 a	1,5 b	5,9 b	3,1 b	124,8 b	2,8 b	498,7 b	1,3 c
<i>Gl. clarum</i>	8,4 a	4,5 a	4,7 a	15,2 a	7,5 a	2,4 a	8 a	4,7 a	181 a	4,3 a	728,9 a	2,7 a
<i>B. subtilis</i> + <i>Gl. clarum</i>	6,8 ab	3,4 b	4,5 a	15 a	7,6 a	1,7 b	7,9 a	4,2 ab	187 a	4,5 a	681,4 a	1,7 bc
Lodo compostado												
Com lodo	7,2 a	3,7 a	4,8 a	15,8 a	7,8 a	1,7 a	7,5 a	3,6 a	147,8 b	3,8 a	493,3 b	2,1 a
Sem lodo	6,9 a	3,8 a	4,3 b	15,1 a	6,9 b	1,7 a	6,6 b	3,9 a	179,9 a	3,5 a	747,9 a	1,7 b
Valores de F												
Inoculação	3,23*	3,95*	0,83 ^{ns}	1,04 ^{ns}	0,90 ^{ns}	15,52**	5,44**	7,48**	12,77**	15,54**	18,30**	28,95**
Lodo	0,25 ^{ns}	0,52 ^{ns}	19,50**	1,13 ^{ns}	13,26**	0 ^{ns}	4,66*	0,76 ^{ns}	16,82**	1,30 ^{ns}	109,47**	14,16**
Inoculação × Lodo	3,58*	1,91 ^{ns}	3,82*	0,43 ^{ns}	0,41 ^{ns}	4,45*	4,31*	2,48 ^{ns}	24,75**	17,27**	40,71**	16,01**
Média geral	7	3,8	4,5	15,5	7,3	1,7	7,1	3,7	163,9	3,7	620,6	1,9
CV (%)	24	20	7	14	10	20	20	24	15	18	12	18

^aMédias seguidas de mesma letra, na coluna, para cada variável, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; *significativo a 1%; significativo a 5%; ^{ns}: não significativo.

Fonte: elaboração própria.

Tabela 3 - Interações significativas entre adição de lodo de esgoto compostado (com ou sem) e inoculação (*Bacillus subtilis* e *Glomus clarum*) para massa fresca da parte aérea, diâmetro do coleto e índice de qualidade de mudas de Dickson, massa fresca das raízes, área de superfície das raízes, volume das raízes, comprimento total das raízes e diâmetro médio das raízes de mudas de baru, aos 150 dias do transplântio*.

Tratamentos	Controle	<i>Bacillus subtilis</i>	<i>Glomus clarum</i>	<i>Bacillus subtilis</i> + <i>Glomus clarum</i>
Lodo compostado	Massa fresca da parte aérea (g)			
Com	4,8 bB	7,2 aAB	7,8 aA	7,7 aAB
Sem	7,4 aAB	6,3 aAB	9 aA	5,8 aB
	Diâmetro do coleto (mm)			
Com	4,4 aA	4,8 aA	4,8 aA	4,9 aA
Sem	4,5 aA	4,1 bA	4,4 aA	4 bA
	Índice de qualidade de Dickson 0			
Com	1,3 aC	1,5 aBC	2,1 aA	2 aAB
Sem	1,6 aB	1,4 aB	2,5 aA	1,3 aB
	Massa fresca das raízes (g)			
Com	6,7 aB	6 aB	7,8 aAB	9,7 aA
Sem	6,3 aA	5,8 aA	8,2 aA	6 bA
	Área de superfície das raízes (cm²)			
Com	135,1 bB	125,9 aB	116,8 bB	213,4 aA
Sem	190,3 aB	123,7 aC	245,3 aA	160,4 bBC
	Volume das raízes (cm³)			
Com	2,8 aB	2,6 aB	3,7 bB	5,9 aA
Sem	3,4 aB	2,9 aB	4,8 aA	3 bB
	Comprimento total de raízes (cm)			
Com	338,3 bC	487,1 aB	444,1 bBC	703,9 aA
Sem	808,7 aB	510,2 aD	1.013,7 aA	658,9 aC
	Diâmetro médio das raízes (mm)			
Com	1,5 bC	1,7 aBC	3,2 aA	2,1 aB
Sem	2,3 aA	1,0 bB	2,2 bA	1,3 bB

*Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, para cada variável, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Fonte: elaboração própria.

Além das condições de fertilidade do solo, a relação entre plantas e microrganismos também é influenciada pelos fatores climáticos (KILPELAINEN; APHALO; LEHTO, 2020). Na região onde está localizado o município de Botucatu, a temperatura média dos meses mais frios é 18°C, com geadas esporádicas.

O experimento foi conduzido no período de inverno e início da primavera, em casa de vegetação com telas laterais abertas, ou seja, sem controle local de temperatura. Como constatado por Mathur, Tomar e Jajoo (2019) e Zhang *et al.* (2020a), a simbiose com o FMA pode elevar a resistência de plantas a estresses abióticos, como baixas temperaturas. Assim, os resultados obtidos nessas condições experimentais podem ser associados ao melhor desenvolvimento das mudas quando inoculadas com *G. clarum*.

Concernente ao IQD, não houve diferenças significativas quanto à adição ou não de lodo de esgoto, contudo incrementos para essa variável foram detectados quando houve inoculação, especialmente do fungo simbiote (Tabela 3). IQD é um índice que, para calcular a qualidade de mudas, leva em consideração vários

parâmetros importantes da planta (SILVA *et al.*, 2020). Assim, quanto maior o IQD, melhor será o padrão de qualidade (COSTA, 2020). Avaliando o crescimento de mudas de baru em substratos enriquecidos com N, P e K, aos 100 dias após a sementeira, Berti *et al.* (2017) não detectaram diferenças para o IQD em relação aos nutrientes, corroborando o presente estudo no que se refere à adição ou não de lodo de esgoto compostado como fonte de nutrientes, incluindo P.

As variáveis ligadas ao sistema radicular (MFR, ASR, CTR e DMR) apresentaram incrementos com a adição de lodo compostado e inoculação, enquanto MSR respondeu positivamente apenas à inoculação de microrganismos, com os valores mais elevados para *G. clarum*, seguida pela associação *B. subtilis* + *G. clarum* (Tabela 2).

A inoculação de FMA incrementou ASR, VR e CTR na ausência de lodo, e o DMR com a adição de lodo. A combinação *B. subtilis* + *G. clarum* elevou os valores de MFR, ASR, VMR e CTR nos tratamentos sem adição de lodo e o DMR quando houve adição de lodo (Tabela 3). Embora a interação e os mecanismos específicos pelos quais o *B. subtilis* e o FMA estimulam um ao outro sejam pouco compreendidos, uma possível explicação para os resultados é a exsudação radicular mais rica, fonte de nutrientes para diversos microrganismos no solo.

Plantas mais bem nutridas em decorrência da simbiose com *G. clarum*, aliado à ação dos hormônios produzidos por *B. subtilis*, os quais estimulam o crescimento do sistema radicular, permitem maior exploração do solo e absorção de água e nutrientes, com aumento e qualidade dos compostos rizosféricos (ZHANG *et al.*, 2016).

Com relação às variações genéticas para características do sistema radicular de mudas de baru provenientes de diferentes progênies, Oliveira *et al.* (2006) relataram que, aos 45 dias após a germinação sem inoculação de microrganismos, encontraram valores como CTR = 189,3 cm, VR = 1,45 cm³ e DMR = 1,02 mm. Esses resultados, inferiores aos do presente estudo (Tabela 3), indicam que a inoculação possibilita incrementos nessas variáveis ao longo do crescimento das mudas de baru.

Em outro trabalho, utilizando lodo tratado na composição de substratos para a produção de mudas de *Plathymenia reticulata*, aos 120 dias após a sementeira, Siqueira *et al.* (2019) verificaram menor comprimento e volume de raízes para os tratamentos que recebeu o lodo. No presente estudo, o incremento nas variáveis para o sistema radicular da planta que recebeu coinoculação de microrganismos pode estar relacionado ao aumento da disponibilidade de P e outros nutrientes no solo pela ação de *B. subtilis* combinada com *G. clarum*.

Para as variáveis microbiológicas de colonização radicular micorrízica (COL FMA) e por endófitos septados escuros (COL DSE), número de esporos de FMA (NESP) e C-CO₂ liberado, houve significância para adição de lodo compostado, para inoculação de microrganismos e para as interações (Tabelas 4 e 5).

A COL FMA mostrou incrementos quando houve inoculação de *G. clarum*, seguida do tratamento de inoculação com *B. subtilis* (41,3 e 22,5%, respectivamente), na ausência de lodo compostado (Tabela 5). A COL FMA das mudas inoculadas com *G. clarum* pode ser considerada alta. No entanto, para os mesmos tratamentos de inoculação, a adição de lodo de esgoto compostado reduziu a colonização radicular em cerca de 50%, indicando interferência negativa desse resíduo orgânico como fonte de nutrientes, especialmente de P.

Avaliando a colonização por *G. clarum* no crescimento inicial de diferentes arbóreas do cerrado, entre elas baru, gabirola (*Campomanesia cambessedeanana*), jatobá (*Hymenaea courbaril*), ingá (*Inga laurina*), caroba (*Jacaranda cuspidifolia*) e chichá (*Sterculia striata*) sob diferentes teores de P na solução do solo, Lacerda

Tabela 4 - Médias, valores de F e coeficientes de variação (CV) para colonização radicular por fungo micorrízico arbuscular (COL FMA) e por fungo endofítico septado escuro (COL DSE), número de esporos de fungo micorrízico arbuscular (NESP) e carbono do CO₂ (C-CO₂) liberado para os fatores inoculação (*Bacillus subtilis* e *Glomus clarum*) e lodo de esgoto compostado (com ou sem) de mudas de baru, aos 150 dias do transplantio^a.

Tratamentos	COL FMA	COL DSE	NESP	C-CO ₂
	(%)	(%)	(100 g solo)	(µg C-CO ₂ g ⁻¹ solo)
Inoculação				
Controle	5,8 c	2 b	12,8 bc	7,3 a
<i>Bacillus subtilis</i>	16,5 b	2,3 ab	11,7 c	5,4 b
<i>Glomus clarum</i>	31,6 a	2,5 a	17,2 a	6,4 ab
<i>Bacillus subtilis</i> + <i>Glomus clarum</i>	15,1 b	0,8 c	15 ab	6 ab
Lodo compostado				
Com lodo	14 b	1,4 b	10,9 b	5,7 b
Sem lodo	20,5 a	2,4 a	17,5 a	6,9 a
Valores de F				
Inoculação	152,2**	48,5**	17,2**	4,4*
Lodo	56,2**	78,5**	126,5**	9,5**
Inoculação × lodo	47,9**	71,1**	35,7**	14,8**
Média geral	17,2	1,9	14,2	6,3
CV (%)	16	18	13	19

^aMédias seguidas de mesma letra, na coluna, para cada variável, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; *significativos a 1%; **significativo a 5%; ns: não significativo.

Fonte: elaboração própria.

Tabela 5 - Interações significativas entre lodo de esgoto compostado (com e sem) e inoculação (*Bacillus subtilis* e *Glomus clarum*) para colonização radicular por fungos micorrízicos arbusculares (FMA) e por fungos endofíticos septados escuros (DSE), número de esporos de FMA *Glomus clarum* e carbono do CO₂ (C-CO₂) liberado de mudas de baru, aos 150 dias do transplantio^a.

Tratamentos	Controle	<i>Bacillus subtilis</i>	<i>Glomus clarum</i>	<i>Bacillus subtilis</i> + <i>Glomus clarum</i>
Lodo compostado				
Colonização radicular por FMA (%)				
Com	9,9 aB	10,5 bB	21,8 bA	13,7 aB
Sem	1,7 bD	22,5 aB	41,3 aA	16,4 aC
Colonização radicular por DSE (%)				
Com	2,7 aA	1 bBC	1,3 bB	0,6 aC
Sem	1,4 bB	3,6 aA	3,7 aA	1 aB
Número de esporos (100 g solo seco)				
Com	11,9 aA	11,2 aA	91 bA	11,5 bA
Sem	13,7 aC	12,3 aC	25,3 aA	18,5 aB
CCO₂ liberado (µg CCO₂ g⁻¹ solo)				
Com	7,5 aA	3,5 bB	4,6 bB	7,2 aA
Sem	7,5 aA	7,3 aA	8,2 aA	4,9 bB

^aMédias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, para cada variável, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: elaboração própria.

et al. (2011) verificaram que todas essas espécies, com exceção do chichá, responderam à inoculação, corroborando os resultados deste estudo para o baru.

A baixa fertilidade, segundo Gehring et al. (2017), pode contribuir para elevar a esporulação de FMA, facilitando a colonização de raízes, especialmente das espécies mais bem adaptadas às condições presentes. Portanto, o sucesso na colonização de plantas está relacionado com a manutenção e a multiplicação do inóculo de FMA no solo.

A adição de *G. clarum* incrementou o NESP na ausência de lodo compostado, indicando que essa espécie pode ser indicada para utilização em áreas de cerrado para programas recuperação de áreas degradadas e reflorestamento. Essas mudas mostram elevada produção de raízes, garantindo chances mais elevadas para sobrevivência em campo (ASMELASH; BEKELE; BELAY, 2019). Nesse contexto, a introdução e a multiplicação de esporos de *G. clarum* no solo facilitaram a obtenção de água e nutrientes pela planta, com incrementos para o sistema radicular e para a parte aérea (Tabela 3).

Na rizosfera, o FMA pode estabelecer relações com outros microrganismos, entre eles *B. subtilis* e os DSE. A interação entre *B. subtilis* e o FMA, segundo Nanjundappa et al. (2019), pode ter beneficiado o crescimento de plantas por meio de mecanismos que as conferem melhor nutrição e proteção contra estresses bióticos e abióticos. Neste estudo a inoculação da bactéria, isoladamente, aumentou a COL FMA em relação aos tratamentos controle e *B. subtilis* + *Gl. clarum*. Hashem et al. (2016) reportaram aumento na colonização radicular por FMA em *Acacia gerrardii* que recebeu inoculação com *B. subtilis*. Resultados parecidos foram relatados por Sagar et al. (2021) para *G. mosseae* e *G. fasciculatum*, diferindo do presente estudo, inoculado com *G. clarum*.

Há poucos estudos sobre a interação entre *B. subtilis* e *G. clarum* em espécies arbóreas, de maneira especial o baruzeiro. Quando houve inoculação da bactéria isoladamente e sem aplicação do lodo, a COL FMA foi estimulada, entretanto fatores como níveis de fertilidade do solo e especificidade da planta devem ter afetado a colonização por *G. clarum*.

As mudas de baru apresentaram baixíssima colonização pelos DSE, sendo as maiores médias observadas quando houve inoculação de *B. subtilis* ou *G. clarum* sem adição de lodo compostado (Tabelas 4 e 5). Poucos relatos podem ser encontrados sobre o papel que esse grupo fúngico desempenha em espécies arbóreas do cerrado. Embora coexistam, os FMA são biotróficos obrigatórios, e diferentes condições ambientais ou de fertilidade do solo fazem com que um grupo fúngico sobressaia, na aquisição de água e nutrientes à planta (LUGO et al., 2018).

Ainda, pode ser que as condições experimentais não tenham sido adequadas ao estabelecimento da associação entre as mudas e os fungos, o que explica os baixos valores de colonização verificados para o DSE em relação aos de FMA. Segundo Muthukumar e Prabha (2013), maiores taxas de colonização pelos DSE são encontradas em ambientes mais extremos, desfavoráveis aos FMA, contudo sua presença pode estimular o crescimento e as ramificações de hifas do simbionte, por meio da produção de metabólitos solúveis na região da rizosfera, auxiliando os FMA e a planta hospedeira no estabelecimento em dado ambiente.

Para a atividade microbiológica do solo, o C-CO₂ liberado mostrou significância para adição de lodo, inoculação de microrganismos e interações (Tabelas 4 e 5). As taxas de C-CO₂ liberado foram mais baixas nos tratamentos com adição de lodo e inoculação de *B. subtilis* ou de *G. clarum* isoladamente, proporcionando as médias mais elevadas na ausência de lodo compostado, enquanto para a coinoculação *B. subtilis* + *G. clarum* as maiores médias ocorreram na presença de lodo compostado (Tabela 5).

A atividade microbiana do solo tem como principal fonte de nutrientes os compostos orgânicos excretados pelas raízes na forma de exsudatos (ZHANG *et al.*, 2020b). Esse resultado pode ser um indício de baixa atividade microbiana na degradação da MO remanescente no lodo compostado. Dhanker *et al.* (2021), avaliando os atributos biológicos após a adição de lodo de esgoto, relataram aumento da atividade microbiana do solo, diferindo dos resultados deste estudo. Fatores como baixa temperatura e umidade no período experimental podem ter interferido na atividade microbiana do solo e, consequentemente, na mineralização do lodo compostado e liberação de nutrientes.

Durante a fase inicial de crescimento, o baruzeiro apresentou baixa exigência nutricional, condição que pode promover alteração na região da rizosfera. Ou seja, a adição de lodo compostado diminuiu a interação com os microrganismos, reduzindo a sua atividade. Contudo, com a inoculação de *B. subtilis* ou *G. clarum*, a atividade desses microrganismos foi beneficiada pelas mudas de baru, por meio da exsudação radicular mais rica, fonte de fotoassimilados (LANNUCCI *et al.*, 2021), aumentando a taxa de C-CO₂ liberado.

CONCLUSÕES

As mudas de baru mostraram pouca exigência em P para o crescimento inicial.

Na ausência de lodo compostado, a inoculação de microrganismos proporciona incrementos para massa fresca, área de superfície, volume e comprimento total de raízes das mudas de baru.

A inoculação de *G. clarum* elevou o número de esporos de FMA no solo e o C-CO₂ liberado, enquanto *G. clarum* ou *B. subtilis* elevam a colonização radicular pelos FMA e DSE.

CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES

Silva, P.S.T.: Escrita — Primeira Redação, Metodologia, Curadoria dos Dados. Prates, A.R.: Metodologia. Fernandes, D.M.: Supervisão, Recursos, Obtenção de Financiamento. Cassiolato, A.M.R.: Conceituação, Supervisão, Escrita — Revisão e Edição. Maltoni, K.L.: Conceituação, Supervisão, Escrita — Revisão e Edição.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, E.L.; GOULART, G.A.S.; CIARO NETO, S.; CHIERICE, G.O.; SIQUEIRA, A.B. Preparação e caracterização de poliuretanos contendo diferentes quantidades de óleo de baru. *Polímeros*, v. 26, n. 2, p. 176-184, 2016. <https://doi.org/10.1590/0104-1428.2151>
- ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. Koppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- ANDERSON, J.P.E.; DOMSCH, K.H. Ratios of microbial biomass carbon to total organic carbon in arable soils. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 21, n. 4, p. 471-479, 1989. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(89\)90117-X](https://doi.org/10.1016/0038-0717(89)90117-X)
- ASMELASH, F.; BEKELE, T.; BELAY, Z. Comparative field survival and growth of selected Ethiopian native tree species and the effect of whole soil arbuscular mycorrhizal fungi inoculation. *Horticulture and Forestry*, v. 11, n. 2, p. 19-31, 2019. <http://dx.doi.org/10.5897/JHF2018.0573>
- BERTI, C.L.F.; KAMADA, T.; SILVA, M.P.; MENEZES, J.F.S.; OLIVEIRA, A.C.S. Crescimento de mudas de baru em substratos enriquecido com nitrogênio, fósforo e potássio. *Cultura Agrônômica*, v. 26, n. 2, p. 191-202, 2017. <https://doi.org/10.32929/2446-8355.2017v26n2p191-202>
- BOINA, W.L.O.; CORDEIRO, J.S.; VILLAS BÔAS, R.L.; BOINA, R.F. Composto orgânico obtido por processo de compostagem de lodo de esgoto com inoculação de biorremediador. *Revista Aidis*, v. 13, n. 2, p. 655-668, 2020. <https://doi.org/10.22201/ingen.0718378xe.2020.13.2.65229>
- BONI, T.S.; MALTONI, K.L.; BUZZETTI, S.; CASSIOLATO, A.M.R. Avaliação comparativa do estado nutricional de mudas de baru (*Dipteryx alata*). *Ciência Florestal*, v. 26, n. 1, p. 109-121, 2016. <https://orcid.org/0000-0001-6619-4504>
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. *Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes e corretivos*. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2017. 240 p.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Resolução nº 498, de 19 de agosto de 2020. *Diário Oficial da União*, Brasília, Edição 161, Seção 1, p. 265, 2020.
- COSTA, C.C. Avaliação dos parâmetros morfológicos de mudas de aroeira (*Schinus terebinthifolius* Raddi) em tubetes biodegradáveis. *Revista Ambientale*, v. 12, n. 3, p. 1-14, 2020. <https://doi.org/10.48180/ambientale.v12i3.235>
- CRUZ, C.V. *Produção e eficiência agrônômica de composto orgânico bioestabilizado enriquecido com fósforo a partir de lodo de esgoto*. 111f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2019.
- DHANKER, R.; CHAUDHARY, S.; GOYAL, S.; GARG, V.K. Influence of urban sewage sludge amendment on agricultural soil parameters. *Environmental Technology and Innovation*, v. 23, 101642, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101642>
- DICKSON, A.; LEAF, A.L.; HOSNER, J.F. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. *Forest Chronicle*, v. 36, n. 1, p. 10-13, 1960.
- ESTRADA-BONILLA, G.A.; DURRER, A.; CARDOSO, E.J.B.N. Use of compost and phosphate-solubilizing bacteria affect sugarcane mineral nutrition, phosphorus availability, and the soil bacterial community. *Applied Soil Ecology*, v. 157, 103760, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2020.103760>
- FERREIRA, D.F. Sisvar: a computer analysis system to fixed effects split plot type designs. *Revista Brasileira de Biometria*, v. 37, n. 4, p. 529-535, 2019. <https://doi.org/10.28951/rbb.v37i4.450>
- FERROL, N.; AZCÓN-AGUILAR, C.; PÉREZ-TIENDA, J. Review: arbuscular mycorrhizas as key players in sustainable plant phosphorus acquisition: An overview on the mechanisms involved. *Plant Science*, v. 280, p. 441-447, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2018.11.011>

- GEHRING, C.A.; STHULTZ, C.M.; FLORES-RENTERIA, L.; WHIPPLE, A.V.; WHITHAM, T.G. Tree genetics defines fungal partner communities the may confer drought tolerance. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 114, n. 42, p. 11169-11174, 2017. <https://doi.org/10.1073/pnas.1704022114>
- GERDEMANN, J.W.; NICOLSON, T.H. Spores of micorrhizal endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Transaction of British Mycology Society*, v. 46, n. 2, p. 235-244, 1963. [https://doi.org/10.1016/S00071536\(63\)80079-0](https://doi.org/10.1016/S00071536(63)80079-0)
- HASHEM, A.; ABD_ALLAH, E.F.; ALQARAWI, A.A.; AL-HUQAIL, A.A.; WIRTH, S.; EGAMBERDIEVA, D. The interaction between arbuscular mycorrhizal fungi and endophytic bacteria enhances plant growth of *Acacia gerrardii* under salt stress. *Frontiers in Microbiology*, v. 7, p. 1089, 2016. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.01089>
- JENKINS, W.R. A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. *Plant Disease Reporter*, v. 48, n. 9, p. 692, 1964.
- KILPELAINEN, J.; APHALO, P.J.; LEHTO, T. Temperature affected the formation of arbuscular mycorrhizas and ectomycorrhizas in *Populus angustifolia* seedlings more than a mild drought. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 146, 107798, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2020.107798>
- KOMINKO, H.; GORAZDA, K.; WZOREK, Z. Potentiality of sewage sludge-based organo-mineral fertilizer production in Poland considering nutrient value, heavy metal content and phytotoxicity for rapeseed crops. *Journal of Environmental Management*, v. 248, 109283, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109283>
- LACERDA, K.A.P.; SILVA, M.M.S.; CARNEIRO, M.A.C.; REIS, E.F.; SAGGIN-JUNIOR, O.J. Fungos micorrízicos arbusculares e adubação fosfatada no crescimento inicial de seis espécies arbóreas do cerrado. *Cerne*, v. 17, n. 3, p. 377-386, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0104-77602011000300012>
- LANNUCCI, A.; CANFORA, L.; NIGRO, F.; DE VITA, P.; BELEGGIA, R. Relations between root morphology, root exudate compounds and rhizosphere microbial community in durum wheat. *Applied Soil Ecology*, v. 158, 103781, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2020.103781>
- LI, H.; QIU, Y.; YAO, T.; MA, Y.; ZHANG, H.; YANG, X. Effects of PGPR microbial inoculants on the growth and soil properties of *Avena sativa*, *Mendicago sativa*, and *Cucumis sativus* seedlings. *Soil and Tillage Research*, v. 199, p. 104577, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104577>
- LUGO, M.A.; MENOVO, E.; ALLIONE, L.R.; NEGRITTO, M.A.; HENNING, J.A. ANTON, A.M. Arbuscular mycorrhizas and dark septate endophytes associated with grasses from the Argentine Puna. *Mycologia*, v. 110, n. 4, p. 654-665, 2018. <https://doi.org/10.1080/00275514.2018.1492846>
- MARTINOTTO, F.; MARTINOTTO, C.; COELHO, M.F.B.; AZEVEDO, R.A.B.; ALBUQUERQUE, M.C.F. Sobrevivência e crescimento inicial de espécies arbóreas nativas do Cerrado em consórcio com mandioca. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 47, n. 1, p. 22-29, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2012000100004>
- MASSAD, M.D.; DUTRA, T.R.; SILVA, F.G.; MENEZES, E.S.; SANTOS, A.R. Desenvolvimento de mudas de baru em resposta a diferentes volumes de tubetes e doses de adubo de liberação lenta. *Caderno de Ciências Agrárias*, v. 12, p. 1-10, 2020. <https://doi.org/10.35699/2447-6218.2020.25629>
- MATHUR, S.; TOMAR, R.S.; JAJOO, A. Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) protects photosynthetic apparatus of wheat under drought stress. *Photosynthesis Research*, v. 139, n. 1-3, p. 227-238, 2019. <https://doi.org/10.1007/s1120-018-0538-4>
- MERCANTE, F.M.; SILVA, R.F.; FRANCELINO, C.S.F.; CAVALHEIRO, J.C.T.; OTSUBO, A.A. Biomassa microbiana, em um Argissolo Vermelho, em diferentes coberturas vegetais, em área cultivada com mandioca. *Acta Scientiarum Agronomy*, v. 30, n. 4, p. 479-485, 2008. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v30i4.5301>
- MORETTI, S.M.L.; BERTONCINI, E.I.; ABREU JÚNIOR, C.H. Decomposição de lodo de esgoto e composto de lodo de esgoto em nitossolo háplico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 39, n. 6, p. 1796-1805, 2015. <https://doi.org/10.1590/01000683rbcscs20150082>
- MUTHUKUMAR, T.; PRABHA, K. Arbuscular mycorrhizal and septate endophyte fungal associations in lycophytes and ferns of South India. *Symbiosis*, v. 59, n. 1, p. 15-33, 2013. <https://doi.org/10.1007/s13199-012-0185-z>
- NANJUNDAPPA, A.; BAGYARAJ, D.J.; SEXENA, A.K.; KUMAR, M.; CHAKDAR, H. Interaction between arbuscular mycorrhizal fungi and *Bacillus* spp. in soil enhancing growth of crop plants. *Fungal Biology and Biotechnology*, v. 6, p. 23, 2019. <https://doi.org/10.1186/s40694-019-0086-5>
- OLIVEIRA, A.N.; SILVA, A.C.; ROSADO, S.C.S.; RODRIGUES, E.A.C. Variação genéticas para caracterização do sistema radicular de mudas de baru (*Dipteryx alata* Vog.). *Revista Árvore*, v. 30, n. 6, p. 905-909, 2006. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622006000600005>
- OLIVEIRA, L.C.; COSTA, E.; OLIVEIRA SOBRINHO, M.F.; BINOTTI, F.F.S.; MARUYAMA, I.; ALVES, A.C. Esterco bovino e fibra de coco na formação de mudas de baruzeiro. *Revista de Agricultura Neotropical*, v. 1, n. 2, p. 42-51, 2014. <https://doi.org/10.32404/rea.n.vi12.240>
- PENG, L.; LI, Y.; HUANG, J.; YUAN, L. Soil phosphorus mobilization and utilization by *Suillus* isolates and *Suillus*-mycorrhized pine plants. *Forest Ecology and Management*, v. 483, 118772, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118772>
- PHILLIPS, J.M.; HAYMAN, D.S. Improved procedures for clearing roots for rapid assessment of infection. *Transaction of British Mycology Society*, v. 55, n. 1, p. 158-161, 1970. [https://doi.org/10.1016/S00071536\(70\)80110-3](https://doi.org/10.1016/S00071536(70)80110-3)
- PINHO, E.K.C.; LOPES, A.N.K.; COSTA, A.C.; SILVA, A.B.V.; VILAR, F.C.M.; REIS, R.G.E. Substratos e tamanhos de recipiente na produção de mudas de baruzeiro (*Dipteryx alata* Vog.). *Ciência Agrícola*, v. 16, n. 1, p. 11-19, 2018. <https://doi.org/10.28998/rcav16i1.4303>
- RAHEEM, A.; SIKARWAR, V.S.; HE, J.; DASTYAR, W.; DIONYSIOU, D.D.; WANG, W.; ZHAO, M. Opportunities and challenges in sustainable treatment and resource reuse of sewage sludge: A review. *Chemical Engineering Journal*, v. 337, p. 616-641, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2017.12.149>
- RAIJ, B.; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. *Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais*. Campinas: Instituto Agrônômico, 2001. 285 p.
- REIS, D.R.; BRUM, F.B.; SOARES, E.J.O.; MAGALHÃES, J.R.; SILVA, F.S.; PORTO, A.G. Drying kinetics of baru flours as function of temperature. *Revista de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 22, n. 10, p. 713-719, 2018. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v22n10p713-719>
- SAGAR, A.; RHATORE, P.; RAMTEKE, P.W.; RAMAKRISHNA, W.; REDDY, M.S.; PECOLARO, L. Plant growth promoting rhizobacteria, arbuscular mycorrhizal fungi and their synergistic interactions to counteract the negative effects of saline soil on agriculture: key macromolecules and mechanisms. *Microorganisms*, v. 9, n. 7, p. 1491, 2021. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9071491>

- SANO, E.E.; RODRIGUES, A.A.; MARTINS, E.S.; BETTIOL, G.M.; BUSTAMANTE, M.M.C.; BEZERRA, A.S.; COUTO JUNIOR, A.F.; VASCONCELOS, V.; SCHULER, J.; BOLFE, E.L. Cerrado ecoregions: A spatial framework to assess and prioritize Brazilian savana environmental diversity for conservation. *Journal of Environmental Management*, v. 232, p. 818-828, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.11.108>
- SANTOS, A.A.; AGUSTINI, J.A.; MALTONI, K.L.; CASSIOLATO, A.M.R. Addition of residues and reintroduction of microorganisms in *Jatropha curcas* cultivated in degraded soil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 20, n. 4, p. 372-377, 2016. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n4p372-377>
- SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C.; OLIVEIRA, V.A.; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, ALMEIDA, J.A.; ARAÚJO FILHO, J.C.; OLIVEIRA, J.B.; CUNHA, T.J.F. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 5. ed. Brasília: EMBRAPA, 2018. 590 p.
- SILVA, L.S.; LEÃO, J.M.; COSTA, F.S.; SUASSUNA, J.F. Qualidade de mudas de cupuaçuzeiro (*Theobroma grandiflorum*) produzidas em substratos compostos por resíduos do agroextrativismo amazônico. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 11, p. 84526-84538, 2020. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n11-025>
- SIQUEIRA, D.P.; BARROSO, D.G.; CARVALHO, G.C.M.W.; ERTHAL, R.M.; RODRIGUES, M.C.C.; MARCIANO, C.R. Lodo de esgoto tratado na composição de substrato para produção de mudas de *Plathymenia reticulata* Benth. *Ciência Florestal*, v. 29, n. 2, p. 728-739, 2019. <https://doi.org/10.5902/1980509827297>
- SIQUEIRA, D.P.; CARVALHO, G.C.M.W.; BARROS, D.G.; MARCIANO, R. Lodo de esgoto tratado na composição de substrato para produção de mudas de *Lafoensia glyptocarpa*. *Floresta*, v. 48, n. 2, p. 277-284, 2018. <https://doi.org/10.5380/rfv48i2.55795>
- STRASSBURG, B.B.N.; BROOKS, T.; FELTRAN-BARBIERI, R.; IRIBARREM, A.; CROUZEILLES, R.; LOYOLA, R.; LATAWIEC, A.E.; OLIVEIRA FILHO, F.J.B.; SCARAMUZZA, C.A.M.; SCARANO, F.R.; SOARES FILHO, B.; BALMFORD, A. Moment of truth for the Cerrado hotspot. *Nature Ecology and Evolution*, v. 1, 0099, 2017. <https://doi.org/10.1038/s41559-017-0099>
- SUN, B.; GU, L.; BAO, L.; ZHANG, S.; WEI, Y.; BAI, Z.; ZHUANG, G.; ZHUANG, X. Application of biofertilizer containing *Bacillus subtilis* reduced the nitrogen loss in agricultural soil. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 148, 107911, 2020a. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2020.107911>
- SUN, F.; SONG, C.; WANG, M.; LAI, D.Y.F.; TARIQ, A.; ZENG, F.; ZHONG, Q.; WANG, F.; LI, Z.; PENG, C. Long-term increase in rainfall decreases soil organic phosphorus decomposition in tropical forests. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 151, 108056, 2020b. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2020.108056>
- VIEIRA, C.R.; WEBER, O.L.S. Saturação por bases de P no crescimento e na qualidade de mudas de cumbaru. *Revista de Estudos Ambientais*, v. 18, n. 1, p. 6-16, 2016. <https://doi.org/10.7867/1983-1501.2016v18n1p6-16>
- WANG, W.; SHI, J.; XIE, Q.; JIANG, Y.; YU, N.; WANG, E. Nutrient exchange and regulation in arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Molecular Plant*, v. 10, n. 9, p. 1147-1158, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.molp.2017.07.012>
- ZHANG, F.; ZOU, Y.N.; WU, Q.S.; KUCA, K. Arbuscular mycorrhizas modulate root polyamine metabolism to enhance drought tolerance of trifoliolate orange. *Environmental and Experimental Botany*, v. 171, 103926, 2020a. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2019.103926>
- ZHANG, S.; HUANG, L.; YAN, A.; LIU, Y.; LIU, B.; YU, C.; ZHANG, A.; SCHIEFELBEIN, J.; GAN, Y. Multiple phytohormones promote root hair elongation by regulating similar set of genes in the root epidermis in *Arabidopsis*. *Journal of Experimental Botany*, v. 67, n. 22, p. 6363-6372, 2016. <https://doi.org/10.1093/jxb/erw400>
- ZHANG, X.; KUZYAKOV, Y.; ZANG, H.; DIPPOLD, M.A.; SHI, L.; SPIELVOGEL, S.; RAZAVI, B.S. Rhizosphere hotspots: root hairs and warming control microbial efficiency, carbon utilization and energy production. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 148, 107872, 2020b. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2020.107872>