

Aspectos biométricos e nutricional de cultivares de mandioca com inoculantes biológicos

Biometric and nutritional aspects of cassava cultivars with biological inoculants

Liliana Santos silva de Queirós¹, Romano Roberto Valichesk², Silvia Sanielle Costa de Oliveira³, Sibelio Julio Silva Cruz⁴, Sidinei Leandro Klockner Stürmer⁵, Sauan Gabriel Marques de Oliveira⁶

RESUMO: A mandioca possui relevante importância no agronegócio brasileiro, sendo cultivada em todo território nacional. Seu cultivo em muitas regiões é realizado por produtores de baixo poder aquisitivo, que não utilizam fertilizantes no plantio, resultando em baixa produtividade. Nesta situação o uso de inoculantes biológicos, por ter baixo custo de aquisição, pode vir a ser uma alternativa promissora, uma vez que muitos microrganismos além de serem eficientes na fixação de nitrogênio atmosférico, estimulam o desenvolvimento das plantas, melhorando sua produtividade. Objetivou-se neste trabalho avaliar a resposta de duas cultivares de mandioca (IAC 12 e Talo Branco) a inoculantes biológicos (*Bacillus subtilis*, *Azospirillum brasilense*, *Bacillus megaterium* + *Bacillus subtilis* e *Azospirillum brasilense* + *Bacillus megaterium* + *Bacillus subtilis*). O experimento foi conduzido em vasos em casa de vegetação. As plantas foram colhidas 60 dias após o plantio, avaliando-se os atributos biométricos e o teor de macronutrientes primários da parte aérea. As variedades de mandioca apresentaram resposta diferenciada aos inoculantes. Para Talo Branco, a coinoculação resultou em teores mais elevados de clorofila nas folhas e de nitrogênio e fósforo na parte aérea. Já para a IAC 12 a inoculação de *A. brasilense* de forma isolada foi mais promissora, proporcionando melhores resultados para estas variáveis.

PALAVRAS-CHAVE: Material genético, Inoculação, Coinoculação, Macronutrientes primários.

ABSTRACT: Cassava has relevant importance in Brazilian agribusiness, being cultivated throughout the national territory. Its cultivation in many regions is carried out by producers with low purchasing power, who do not use fertilizers in planting, resulting in low productivity. In this situation, the use of biological inoculants, due to their low acquisition cost, may prove to be a promising alternative, since many microorganisms, in addition to being efficient in fixing atmospheric nitrogen, stimulate the development of plants, improving their productivity. The objective of this work was to evaluate the response of two cassava cultivars (IAC 12 and Talo Branco) to biological inoculants (*Bacillus subtilis*, *Azospirillum brasilense*, *Bacillus megaterium* + *Bacillus subtilis* and *Azospirillum brasilense* + *Bacillus megaterium* + *Bacillus subtilis*). The experiment was conducted in pots in a greenhouse. The plants were harvested 60 days after planting, evaluating the biometric attributes and the primary macronutrient content of the aerial part. Cassava varieties showed different responses to inoculants. For Talo Branco, coinoculation resulted in higher levels of chlorophyll in leaves and nitrogen and phosphorus in shoots. As for IAC 12, inoculation of *Azospirillum brasilense* in isolation provided better results for these variables.

Keywords: Genetic material, Inoculation, Coinoculation, Primary macronutrients.

Autor correspondente: Liliana Santos silva de Queirós
E-mail: lilianinha11@hotmail.com

Recebido em: 08/05/2023
Aceito em: 12/03/2024

¹ Mestre em Bioenergia e Grãos pelo IF Goiano Campus Rio Verde. Tec. e Gestão em Agronegócio pelo IF Goiano Campus Iporá. Iporá-Goiás. Brasil

² Doutorado e Mestrado em Produção Vegetal pela UENF. Licenciado em Ciências Agrícolas pela UFRRJ. Professor efetivo do IF Goiano Campus Iporá. Iporá-Goiás. Brasil.

³ Doutorado em Agronomia/Agricultura pela UNESP - Botucatu. Mestrado em Agronomia/Produção vegetal pelo Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas CECA/UFAL. Graduação em Agronomia CECA/UFAL. Docente efetivo do IF Goiano. Iporá-Goiás. Brasil.

⁴ Doutorado e Pós-Doutorado em Agronomia (Produção Vegetal - Fitotecnia – UNESP. Mestrado em Agronomia/Produção vegetal pelo CECA/UFAL. Agronomia CECA/UFAL. Docente efetivo do IF Goiano. Iporá-Goiás. Brasil.

⁵ Instituto Federal Catarinense. Docente efetivo da Instituição. Mestre em Ciência do Solo pela Universidade Federal de Santa Maria - RS (UFSM). Engenheiro Agrônomo pela UFSM. Docente efetivo do IF Catarinense Campus Rio do Sul. Rio do Sul - SC. Brasil.

⁶ Discente do Curso de Bacharelado em Agronomia. Laboratório de Solo. IF Goiano Campus Iporá. Iporá-Goiás. Brasil.

INTRODUÇÃO

A mandioca apesar de possuir elevado potencial produtivo e estar amplamente disseminada pelo território brasileiro, a heterogeneidade dos cultivos associado ao baixo nível de investimento pela maioria dos produtores, faz com que sua produtividade seja baixa com de apenas 15,0 t.ha⁻¹ na safra 2021 (CONAB, 2021). Nesta safra, São Paulo, com 24,1 t.ha⁻¹, foi o estado que apresentou maior produtividade. Em contrapartida, o estado do Maranhão, com 7,7 t.ha⁻¹, apresentou menor produtividade, demonstrando a discrepância existente da região onde produtores adotam tecnologias de produção e investem no cultivo da mandioca, para a região onde a maioria dos produtores encontra-se descapitalizado, tendo seu cultivo apenas como subsistência (FIALHO & VIEIRA, 2011).

Apesar de ser considerada como uma planta rústica e se desenvolver bem em solos de baixa fertilidade, a mandioca responde de forma significativa ao uso de adubos, uma vez que para produzir 25 toneladas de raízes e parte aérea, são extraídos do solo 123 kg de N, 27 kg de P, 146 kg de K, 46 kg de Ca e 20 kg de Mg (FIALHO & VIEIRA, 2011). Considerando sua elevada demanda nutricional, associado ao baixo poder aquisitivo da maioria de seus produtores, tornam-se necessárias tecnologias de baixo custo e que venham a contribuir para uma melhor nutrição e eficiência do uso dos nutrientes absorvidos pelas plantas, sendo o uso de microrganismos como inoculantes uma alternativa promissora para este propósito (TEIXEIRA et al., 2007; HRIDYA et al., 2013^a; HRIDYA et al., 2013^b).

Lopes et al. (2019) relatam que a mandioca apresenta elevada interação com microrganismos do solo, dentre os quais bactérias pertencentes aos gêneros *Bacillus* e *Azospirillum*, que além de atuarem como fixadoras de nitrogênio atmosférico (JAMES, 2000; TEXEIRA et al., 2007), induzem a produção de fitormônios, estimulando um maior desenvolvimento radicular e produção de biomassa, e consequente, maior exploração de água e nutrientes do solo. Podem também atuar na solubilização de fosfatos no solo, melhorando o aproveitamento dos fertilizantes aplicados, bem como no controle de microrganismos fitopatogênicos danosos para a cultura (FERREIRA et al., 2021).

O uso de inoculantes biológicos, quando associado a variedades de mandioca adaptadas a região e ao adequado manejo do solo e da adubação, são tecnologias que podem vir a contribuir de forma significativa no desenvolvimento das plantas e na produtividade desta cultura, melhorando sua viabilidade econômica, bem como a condição financeira e alimentar destes produtores.

Dentre os diversos microrganismos utilizados para este propósito, o uso de *Bacillus subtilis* pode vir a ser uma alternativa para melhorar a sanidade e o desenvolvimento das plantas de mandioca. Buchelt et al. (2019) ressaltam que seu uso como bioestimulantes na agricultura é devido a produção de fitormônios como ácido indolacético, ácido abscísico, giberelinas e citocininas, estimulando maior emissão de pelos radiculares e favorecendo o crescimento do sistema radicular (BASHAN & BASHAN, 2010). Ferreira et al. (2021) relatam que seu uso, além de estimular o desenvolvimento das plantas, também é eficiente no controle de *Pythopytium* sp, patógeno que causa a podridão das raízes na mandioca, bem como pode ser um agente potencial para controle biológico de fitopatógenos, como por exemplo, os nematoides.

Além de estimular a produção de fitormônios, bactérias do gênero *Bacillus* contribuem para maior disponibilidade de fósforo, sendo já comercializados inoculantes com este propósito. Na solubilização do fósforo por estes microrganismos estão envolvidos dois mecanismos de ação, sendo sua mineralização, onde o fósforo é liberado de forma imediata para o solo, por uma atividade enzimática de enzimas fosfatases que hidrolisam o fósforo orgânico, e também pela produção de ácidos orgânicos e inorgânicos, reduzindo o pH do solo e contribuindo para solubilização do fosfato existente no solo (KOUR et al., 2021).

Ferreira et al. (2021), em trabalho conduzido em ambiente controlado, observaram dois isolados de *Bacillus aryabhatai* com elevada capacidade de solubilização de fosfatos, bem como de produção

de auxinas, proporcionando maior desenvolvimento do sistema radicular e da parte aérea das plantas de mandioca. Dahmani et al. (2020) relatam que o uso *Bacillus megaterium* proporciona maior produção de auxina nas plantas, e que a mesma possui múltiplas características benéficas associadas à promoção do crescimento de plantas, dentre as quais a solubilização de fosfato, contribuindo positivamente na produção de biomassa no sistema radicular e na parte aérea da planta.

Quando se objetiva estimular o desenvolvimento das plantas e melhorar o seu suprimento de nitrogênio, outras bactérias promissoras como inoculantes são as pertencentes ao gênero *Azospirillum*, uma vez que são consideradas como promotoras do crescimento das plantas (BPCP), bem como são eficientes no processo de fixação biológica de nitrogênio atmosférico (HRIDYA et al., 2013^a). Skonieski et al. (2017) e Moraes et al. (2017) relatam também que o estímulo no desenvolvimento radicular em plantas inoculadas com *Azospirillum* pode trazer outros efeitos benéficos, tais como aumento na absorção de água e nutrientes, maior tolerância a tensões salinas e hídricas, resultando em muitos casos, no desenvolvimento mais vigoroso da planta.

Considerando esta abordagem, bem como o potencial promissor destas bactérias promotoras de crescimento em melhorar o desenvolvimento das plantas, tornam-se relevantes estudos que venham a gerar informações sobre os benefícios que o uso de inoculantes biológicos pode resultar na produção de raízes pela mandioca, bem como sobre a resposta das cultivares quanto ao seu uso, uma vez que até o momento poucos estudos para a cultura da mandioca foram desenvolvidos com este propósito.

Assim, este trabalho teve por objetivo avaliar a resposta de duas cultivares de mandioca a diferentes inoculantes, quanto aos seus atributos biométricos e teor de macronutrientes primários da parte aérea, na fase inicial de desenvolvimento das plantas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Instituto Federal Goiano – Campus Iporá (16° 25' 23" S, 51° 08' 53" W e altitude de 610 m), Goiás, Brasil, no período de 21/11/2021 a 26/01/2022. O clima do local, segundo a classificação de Köppen, é clima tropical (Aw), caracterizado pelas estações de seca e chuva bem definidas. As parcelas experimentais foram compostas por vasos com capacidade volumétrica de 10 litros, sendo estes preenchidos com solo coletado na camada de 0,0-0,20m em Latossolo Vermelho distrófico (SANTOS et al., 2018). Conforme análise química, o material coletado para preenchimento dos vasos possui textura argilosa e seus atributos químicos estão apresentados na Tabela 1. Considerando o laudo da análise química do solo, não foi efetuada a calagem e nem a adubação no momento da montagem dos vasos.

Tabela 1. Atributos químicos e composição granulométrica do solo, coletado na camada de 0 - 0,20m, e utilizado para o enchimento dos vasos.

pH	P	Al	H+Al	K	Ca	Mg	T ¹	V ²	M.O ³	Areia	Silte	Argila
(CaCl ₂)	mg dm ⁻³			cmol _c dm ⁻³				%	g kg ⁻¹		g kg ⁻¹	
4,9	23,9	0,1	5,8	0,52	7,0	1,7	15,0	61,5	28,0	355	75	570

¹T = Capacidade de troca catiônica; ²V = Saturação por bases; ³M.O = Matéria orgânica.

Os vasos foram organizados em blocos casualizados no esquema fatorial 2 x 5, com 4 repetições. Como tratamentos testou-se duas cultivares de mandioca, sendo uma industrial (IAC 12) e outra de mesa

(Talo Branco) e cinco inoculantes biológicos disponíveis nos estabelecimentos agropecuários da região, sendo: 1- Azzotrop (*Azospirillum brasilense* - Cepas Ab-V5 e Ab-V6 e concentração mínima de 2×10^{11} UFC.mL⁻¹); 2 – Bio-Imune (*Bacillus subtilis* - cepa BV02 e concentração mínima de 3×10^9 UFC.mL⁻¹); 3 – BiomaPhos (Cepas *Bacillus subtilis* (CNPMS B2084) + *Bacillus megaterium* (CNPMS B119) com concentração mínima de 4×10^9 UFC.mL⁻¹; 4 – mistura de todos os inoculantes biológicos (Azzotrop + Bio-Imune + BiomaPhos) mantendo-se as mesmas dosagens; 5 – Testemunha (sem inoculação).

Como material propagativo de mandioca, utilizou-se ramos coletadas de área demonstrativa do banco de germoplasma do próprio IF Goiano - Campus Iporá, sendo as variedades Talo Branco proveniente da Embrapa Cruz das Almas-BA e a variedade IAC 12, proveniente do Instituto Agrônomo de Campinas-SP. No momento da coleta, para facilitar a padronização das manivas, utilizou-se ramos da segunda “pernada” das plantas. As manivas foram cortadas e padronizadas por diâmetro (entre 15 e 25 mm) e número de gemas vegetativas (entre 5 a 6 gemas). Antecedendo o plantio, foi realizada uma irrigação dos vasos, deixando o solo com sua umidade próximo à capacidade de campo. Em seguida, no dia 29 de novembro de 2021 realizou-se o plantio das manivas. Inicialmente em cada vaso foi aberto um pequeno sulco com profundidade de 4 a 5 cm, colocando a maniva na posição horizontal no interior do mesmo. Em seguida, com uma pipeta volumétrica efetuou-se a distribuição dos inoculantes diretamente sobre a maniva, cobrindo-a com solo logo após a inoculação.

Para os inoculantes testados utilizou-se a dosagem de 400 mL.ha⁻¹ para Azzotrop, 1.600 mL.ha⁻¹ para o Bio-Imune e 400 mL.ha⁻¹ para o BiomaPhos. Estas mesmas dosagens também foram utilizadas na coinoculação de todos os inoculantes. Para obtenção do volume de cada inoculante aplicado em cada vaso, considerou-se um estande de 15.150 plantas.ha⁻¹. Deste modo, para o Azzotrop foi aplicado 0,026 mL.planta⁻¹, para o BioImune 0,106 mL.planta⁻¹ e para o BiomaPhos 0,026 mL.planta⁻¹, e para o tratamento com todos os inoculantes, a soma destes volumes. Para facilitar e viabilizar a aplicação destas dosagens, o volume de cada inoculante comercial foi diluído em água até completar 16 mL de solução, aplicando-se durante o plantio 2,0 mL por vaso do inoculante diluído.

No decorrer do período experimental, procurou-se manter o solo sempre com umidade próximo a sua capacidade de campo, sendo as irrigações realizadas via microaspersão durante o decorrer do dia. Neste período também foi efetuado o controle de plantas daninhas, sendo estas removidas manualmente dos vasos conforme foram germinando.

Sessenta dias após o plantio, em 27/01/2022 determinou-se o teor de clorofila a, clorofila b e clorofila total, obtidos com um medidor portátil de clorofila, Modelo ClorofiLOG 1030, marca Falker. Também foi determinada a altura das plantas, o diâmetro de caule e o número de folhas desenvolvidas por planta. Na sequência as plantas foram cortadas rente ao solo, determinando-se a massa fresca da parte aérea. Também se efetuou cuidadosamente a lavagem do sistema radicular de cada planta, obtendo-se então a massa fresca do sistema radicular + massa fresca da cepa. Posteriormente, tanto a parte aérea das plantas quanto o sistema radicular + cepa foram acondicionados em saco de papel e postos para secar em estufa com circulação de ar a 65°C até estarem completamente secos, determinando-se então em balança de precisão a massa seca. A parte aérea das plantas foi triturada em moinho tipo Willey e acondicionadas em embalagens plásticas até o momento das análises. Seguindo a metodologia descrita por Tedesco et al. (1995), efetuou-se a digestão sulfúrica do tecido vegetal, bem como a determinação do teor de nitrogênio total (pelo método micro Kjeldahl), do teor de potássio em fotômetro de chama Benfer - BFC 500 Plus e o teor de fósforo por turbidimetria, utilizando-se um espectrofotocolorímetro no comprimento de onda de 660 nm. Considerando os teores determinados para estes elementos, bem como a fitomassa seca da parte aérea de cada planta, determinou-se a massa de cada nutriente acumulado na parte aérea.

Após a tabulação, todos os dados foram submetidos à análise de variância com aplicação do Teste *F* a 5,0% de probabilidade de erro, utilizando-se o programa SASm - Agri (CANTERI et al. 2001). As diferenças entre os tratamentos foram avaliadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Quanto ao efeito dos inoculantes biológicos na fase inicial de desenvolvimento da mandioca, observa-se na Tabela 1 que ambas as cultivares foram similares na maioria das variáveis biométricas avaliadas, exceto para o número de folhas por planta, variável em que a cultivar Talo Branco (com 12,8 folhas por planta) foi estatisticamente superior a variedade IAC 12, que apresentou 10,8 folhas desenvolvidas.planta⁻¹. Por outro lado, para os inoculantes testados, houve efeito significativo ($p < 0,05$) para número de folhas por planta (NFP), massa seca da parte aérea (MSPA) e o teor de nitrogênio (N) nas folhas, e altamente significativo ($p < 0,01$) para altura de plantas (ALP), diâmetro do caule (DC), teor de clorofila A (Clor. A), clorofila total (Clor. Total), teor de P nas folhas e total de K acumulado na parte aérea das plantas (K APA). Quanto à interação dos fatores, houve efeito significativo para o teor de clorofila A, clorofila B, clorofila total e N total acumulado na parte aérea (N APA), e altamente significativo para o teor de N e P nas folhas das plantas.

Quanto ao efeito isolado das cultivares, um dos fatores que pode ter contribuído para maior número de folhas por planta na variedade Talo Branco é a sua característica genética, pois por ser uma variedade de mandioca que apresenta rápido desenvolvimento inicial e altura superior a 2,5m quando adulta, acabou desenvolvendo mais folhas nesta fase quando comparado com a IAC 12. Para a variedade Talo Branco também foi observado maior teor de nitrogênio na parte aérea da planta (14,8 g.kg⁻¹) quando comparado com as plantas da cultivar IAC 12, que apresentaram teor médio de 12,5 g.kg⁻¹ de N.

Tabela 1. Valores de *F* e nível de significância para número de brotos por planta (NB), altura das plantas (ALP), diâmetro de caule (DC), número de folhas por planta (NFP), teores de clorofila A (Clor. A), clorofila B (Clor. B), clorofila total (Clor. Total), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da cepa (MSCP), massa seca da raiz (MSR) teores de N, P e K na folha das plantas e total de N (N APA), P (P APA) e K (K APA) acumulado na parte aérea aos 60 dias após o plantio em função da cultivar de mandioca e dos inoculantes. Iporá-GO, 2022.

(Continua)				
Variável	Cultivar (C)	Inoculante (I)	C x I	C.V. (%)
NB	1,27 ^{ns}	1,85 ^{ns}	0,38 ^{ns}	41,8
ALP	1,09 ^{ns}	4,74 ^{**}	0,72 ^{ns}	12,7
DC	1,48 ^{ns}	4,88 ^{**}	0,41 ^{ns}	14,9
NFP	7,36 [*]	4,08 [*]	1,45 ^{ns}	18,9
Clor. A	1,63 ^{ns}	6,61 ^{**}	3,78 [*]	5,6
Clor. B	0,29 ^{ns}	2,35 ^{ns}	3,15 [*]	11,5
Clor. Total	0,94 ^{ns}	4,18 ^{**}	3,61 [*]	6,9
MSPA	0,02 ^{ns}	3,17 [*]	0,49 ^{ns}	26,9
MSCP	0,004 ^{ns}	0,24 ^{ns}	0,51 ^{ns}	24,1
MSR	1,71 ^{ns}	1,01 ^{ns}	1,33 ^{ns}	24,9
N na folha	5,27 [*]	2,76 [*]	6,03 ^{**}	23,4

Variável	Cultivar (C)	Inoculante (I)	C x I	(Conclusão)
				C.V. (%)
N APA	0,38 ^{ns}	0,98 ^{ns}	4,11*	29,5
P na folha	0,48 ^{ns}	11,4**	6,04**	14,16
P APA	0,37 ^{ns}	1,91 ^{ns}	1,51 ^{ns}	41,7
K na folha	0,06 ^{ns}	1,54 ^{ns}	1,26 ^{ns}	8,4
K APA	1,16 ^{ns}	4,73**	0,28 ^{ns}	19,5

** significativo a 1,0%, *significativo a 5,0%,^{ns} não significativo, C.V.: coeficiente de variação

O nitrogênio é um dos macronutrientes mais absorvidos pela mandioca (FIALHO e VIEIRA, 2011). Considerando que não foi realizada a aplicação de nenhum fertilizante nitrogenado nos vasos, o teor mais elevado de N da Talo Branco pode estar relacionado a sua melhor interação nesta fase inicial de desenvolvimento das plantas com as bactérias utilizadas, resultando em um melhor suprimento deste elemento nas plantas, favorecendo a emissão de mais folhas. Este efeito estimulatório para emissão de folhas e incremento no teor de N da Talo Branco pode estar associada a uma melhor fixação biológica de nitrogênio atmosférico (James, 2000), bem como a uma possível maior produção de fitormônios (HRIDYA et al., 2013^b).

Já para o efeito isolado dos inoculantes, a aplicação de Azotrop estimulou o desenvolvimento inicial das plantas de mandioca, resultando em maior altura e diâmetro de caule, quando comparado com a testemunha (sem inoculação) e com as que foram coinoculadas com todos os inoculantes. Já com a aplicação isolada do Bio-Imune e do BiomaPhos, houve um desenvolvimento intermediário da parte aérea das plantas (Tabela 2), não diferindo estatisticamente das plantas testemunhas, nem das que receberam a inoculação do Azotrop. Resultados semelhantes a estes também foram observados para o número de folhas por planta (NFP), massa seca da parte aérea (MSPA.) e massa total de potássio acumulada na parte aérea (K APA.), sugerindo que a aplicação de forma isolada deste inoculante a base de *A. brasilense* torna-se mais promissora para o desenvolvimento inicial da mandioca.

Tabela 2. Efeito isolado dos inoculantes biológicos nas variáveis altura das plantas (ALP.), diâmetro do caule (DC.), número de folhas por planta (NFP.), massa seca da parte aérea (MSPA.) e total de K acumulado na parte aérea (K APA.) nas plantas de mandioca aos 60 dias após o plantio. Iporá-GO, 2022.

	ALP (cm)	DC (mm)	NFP	MSPA (g.planta ⁻¹)	K APA (mg.planta ⁻¹)
Azotrop	26,5 A	7,3 A	13,3 A	10,0 A	156,0 A
Bio-Imune	23,4 AB	6,0 AB	12,5 AB	7,8 AB	134,9 AB
BiomaPhos	23,7 AB	6,0 AB	11,9 AB	7,2 AB	125,0 AB
Todos	20,8 B	5,5 B	11,8 AB	6,4 B	103,7 B
Testemunha	21,2 B	5,6 B	9,1 B	8,2 AB	144,8 AB

OBS. Para cada variável, médias seguidas da mesma letra maiúscula (coluna), indicam não haver diferença significativa pelo teste de Tukey ao nível de 5,0% de probabilidade de erro.

Para MSPA, ao se comparar o valor observado com a inoculação de *A. brasilense* com o obtido nos demais tratamentos, este foi 28,2% superior quando com a aplicação de Bio-Imune (produto a base de *Bacillus subtilis*), 38,8% superior quando com a aplicação de BiomaPhos (produto a base de *Bacillus*

subtilis + *Bacillus megaterium*), 56,2% superior quando com a coinoculação de todos inoculantes e 21,9% superior quando comparado com a testemunha, o que sugere melhor desempenho do *A. brasilense* em promover o crescimento das plantas de mandioca nesta fase inicial.

O *A. brasilense* por ser uma bactéria de vida livre e benéfica para as espécies vegetais, é considerada como promotora de crescimento de plantas (BPCP), com capacidade de colonizar a rizosfera do solo e os tecidos, podendo estimular o crescimento vegetal por meio da fixação de nitrogênio (BALOTA et al., 1999). Também pode estimular o crescimento das raízes através da síntese de fitormônios, liberando o ácido indolacético (AIA), giberelinas e citocininas (BASHAN & BASHAN, 2010), resultando em maior desenvolvido da parte aérea das plantas por promover maior absorção e melhor eficiência no uso dos nutrientes.

Na Índia, estudo desenvolvido em condições de campo por Hridya et al. (2013^b) mostra que a mandioca, quando inoculada com *A. brasilense* e adubada com metade da dose de NPK recomendada, apresentou melhora significativa na produtividade de raízes, fato associado ao uso mais eficiente dos nutrientes absorvidos pela planta. Por outro lado, no presente estudo, sua aplicação juntamente com os demais inoculantes “coinoculação”, resultou em menor produção de fitomassa pela parte aérea da mandioca na fase inicial de desenvolvimento, o que sugere uma possível competição entre os gêneros de bactérias testados. No entanto, quando associado com *Trichoderma*, pode resultar em maior atividade enzimática do solo como a urease (HRIDYA et al., 2013^a), refletindo em maior disponibilidade de N e desenvolvimento das plantas.

Quanto ao efeito da interação dos fatores para o teor de clorofila na folha das plantas (Figura 1), ao se analisar o efeito dos inoculantes dentro de cada cultivar, para a IAC 12 a aplicação de Azotrop e de BiomaPhos resultou em maiores teores de clorofila a (Figura 1A), clorofila b (Figura 1B) e clorofila total (Figura 1 C), quando comparado com os demais tratamentos. Já para cultivar Talo Branco, teores mais elevados de clorofila A e clorofila total foram obtidos com a aplicação de Azotrop e com a coinoculação de todos os inoculantes, porém estes não diferiram estatisticamente das plantas que não receberam inoculação (testemunha).

Em ambas as cultivares verifica-se que o uso de *A. brasilense* foi promissor para a mandioca. O uso de *A. brasilense* pode gerar diversos estímulos para o crescimento vegetal, destacando-se a fixação biológica de N (FUKAMI et al., 2016), produção de hormônios vegetais, solubilização de fosfato, maior desenvolvimento radicular (Kazi et al., 2016), aumento da clorofila e da condutância estomática (HUNGRIA, 2011), além de proporcionar mudanças na atividade fotossintética das plantas, pois pode afetar o teor de clorofilas a e b das folhas, pigmentos fotoprotetores auxiliares (violaxantina, zeaxantina, astaxantina, luteína, neoxantina e beta-caroteno), que resultam em plantas mais verdes e sem estresse hídrico (TAIZ et al., 2017).

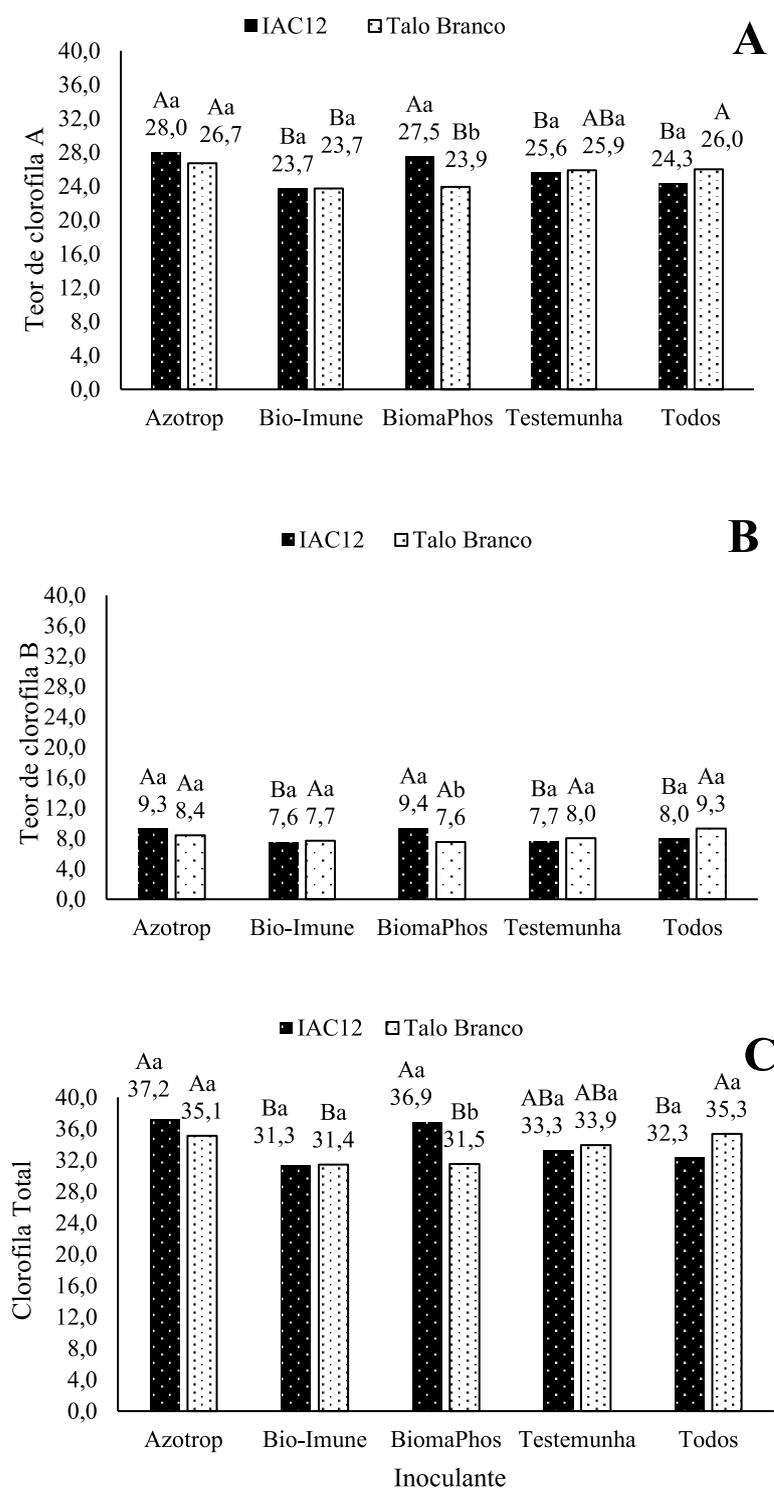


Figura 1. Teor de clorofila a (A), clorofila b (B) e clorofila total (C) para as plantas de mandioca aos 60 dias após o plantio em função da interação dos fatores cultivar x inoculante. Letras maiúsculas comparam o efeito dos inoculantes dentro de cada cultivar e letras minúsculas comparam o efeito da cultivar de mandioca dentro de cada inoculante. Valores seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de erro. Iporá-GO, 2022.

No entanto, os resultados sugerem que quando inoculada com outros microrganismos de forma isolada ou em coinoculação, as cultivares de mandioca podem apresentar resposta diferenciada, conforme especificidade de cada material genético. Teixeira et al. (2007), analisando amostras de 27 materiais genéticos de mandioca provenientes dos estados do Amazonas, São Paulo e Bahia identificaram 47 espécies de bactérias endofíticas, relatando esta interação diferenciada dos materiais genéticos de mandioca com as rizobactérias identificadas.

Os achados destes autores corroboram com os publicados por Leite et al. (2018), que analisaram amostras de acessos genéticos de mandioca coletadas no estado de Pernambuco, identificando a presença de seis gêneros bacterianos (*Achromobacter*, *Bacillus*, *Burkholderia*, *Enterobacter*, *Pantoea* e *Pseudomonas*), os quais apresentam características bioquímicas associadas a promoção do crescimento das plantas.

Ao se analisar a resposta das cultivares de mandioca para cada inoculante, observa-se que a IAC 12 quando inoculado com BiomaPhos foi superior a Talo Branco em 15,1% no teor de clorofila A (Figura 1A), 23,7% no teor de clorofila B (Figura 1B) e 17,1% superior no teor de clorofila total (Figura 1C), o que indica esta sua possível melhor interação com *Bacillus subtilis* + *Bacillus megaterium* nesta fase de desenvolvimento das plantas. Estas bactérias são classificadas como solubilizadoras de fosfatos inorgânicos (DAHMANI et al., 2020, FERREIRA et al., 2021), e apesar da mandioca requer cerca de 0,05 mg.Kg⁻¹ de P disponível na solução do solo, quantidade considerada baixa quando comparada com outras culturas como a soja, que requer 0,2 mg.kg⁻¹ de P (MENDES JÚNIOR, 2003), fato que geralmente leva seu cultivo ser realizado em solos pouco férteis e com baixa disponibilidade de P.

Deste modo, a presença destas bactérias torna-se de relevante importância, pois podem fornecer parte do fósforo requerido pela cultura da mandioca. Uma melhor disponibilidade de P para a planta pode proporcionar incremento no teor de clorofila nas folhas, pois este elemento é integrante da ATP (adenosina trifosfato), composto que libera energia no processo ativo de absorção de nitrogênio, também contribui para uma maior eficiência no processo simbiótico de fixação biológica de nitrogênio, uma vez que este é dependente da disponibilidade de fósforo para a planta (TAIZ et al., 2017).

Considerando que, cultivares de mandioca podem apresentar respostas diferenciadas quando inoculadas com estas bactérias, torna-se necessário a realização de mais estudos para melhor entender este processo, bem como identificar quais genótipos são mais responsivos a inoculação, desenvolvendo preferencialmente trabalhos a campo que envolvem todo o ciclo da cultura.

Em relação ao efeito da interação cultivar x inoculante para o teor de nitrogênio na parte aérea das plantas (Figura 2A), a cultivar Talo Branco apresentou maior teor de N quando em coinoculação, o que sugere que até esta fase de desenvolvimento da cultura, possa ocorrer certo sinergismo entre os microrganismos aplicados, resultando em melhores condições para fixação biológica de nitrogênio, bem como para maior absorção deste elemento. Nesta condição, apesar de não diferir da testemunha, o teor mais elevado de N no tecido vegetal contribuiu para um maior acúmulo total de nitrogênio na parte aérea das plantas de mandioca.

Quanto ao teor de P (Figura 2B), para variedade Talo Branco tanto a coinoculação quanto a inoculação de forma isolada dos produtos biológicos foram eficientes, aumentando a disponibilidade deste elemento para as plantas, sendo o teor de P nas plantas que receberam estas bactérias promotoras de crescimento estatisticamente superior ao observado nas plantas testemunha. Por outro lado, para a cultivar IAC 12, até esta fase de desenvolvimento das plantas os inoculantes pouco afetaram os teores de N e P do tecido foliar, exceto quando *Azospirillum brasilense* é aplicado de forma isolada, resultando em maior acúmulo total de nitrogênio na parte aérea, diferindo estatisticamente das plantas em houve a coinoculação.

Hridya et al. (2013^a) relatam que a coinoculação de *Azospirillum lipoferum* com outros microrganismos (*Trichoderma harzianum*, *Pseudomonas fluorescens*, *Glomous macrocarpum* e *Bacillus megaterium*) proporcionou aumento significativo na atividade de enzimas como a urease, refletindo em maior disponibilidade de N para a planta e na redução da quantidade de fertilizante aplicado. Lopes et al. (2019), testando a coinoculação de bactérias promotoras de crescimento (*Azospirillum amazonense*, *Herbaspirillum seropedicae*, *Gluconacetobacter diazotrophicus* e *Streptomyces* sp.) com fungos micorrízicos arbusculares (FMA) em mandioca micropropagada, mencionam que as plantas quando

coinoculadas assimilaram N em proporção igual as plantas que receberam nitrogênio mineral, melhorando também o crescimento das plantas no decorrer do tempo, considerando que a coinoculação de BPCPs e FMA pode atender a necessidade de nitrogênio para a mandioca, vindo a ser uma alternativa para reduzir o uso de fertilizante nitrogenado.

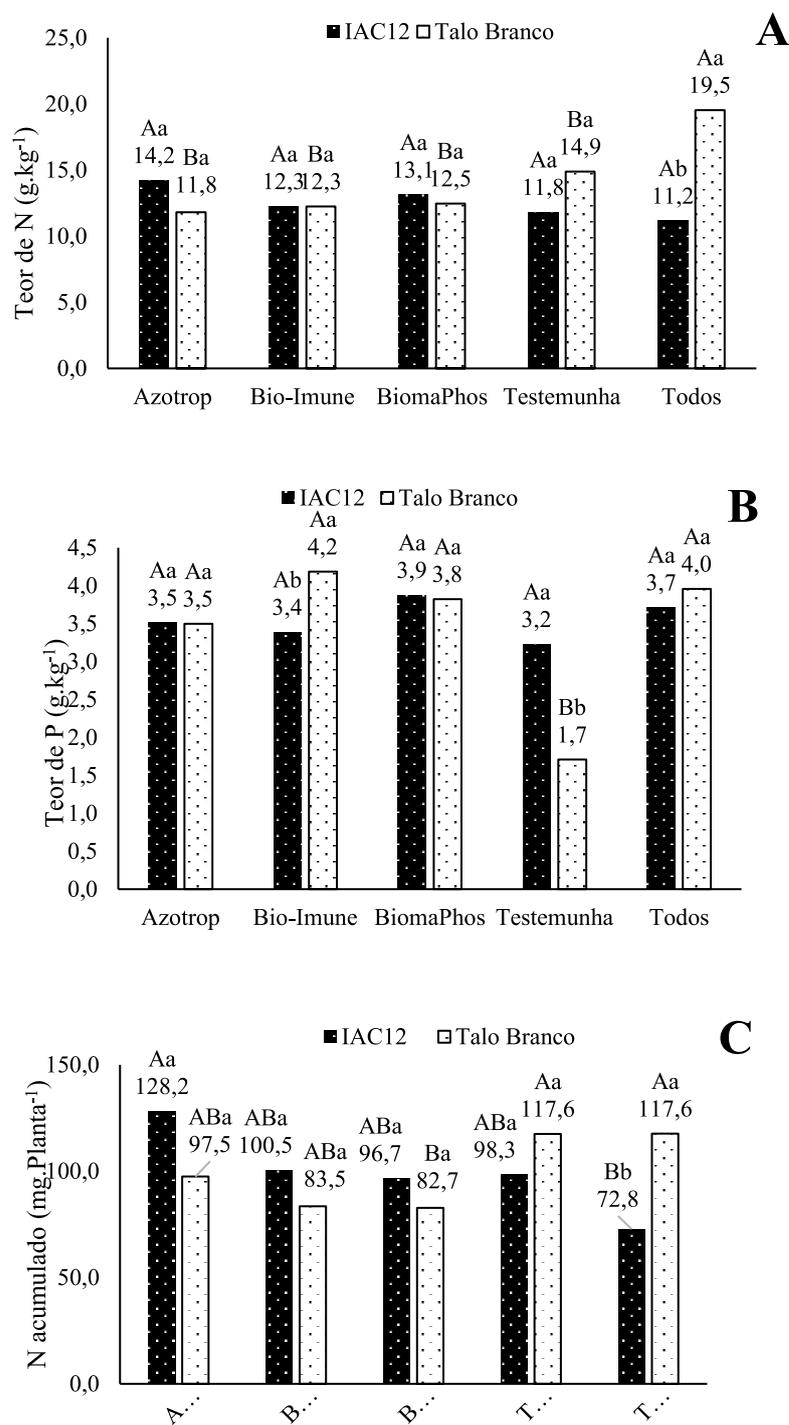


Figura 2. Teor de nitrogênio (A), de fósforo (B) e nitrogênio total acumulado na parte aérea (C) das plantas de mandioca aos 60 dias após o plantio em função do efeito da interação cultivar x inoculantes. Letras maiúsculas comparam o efeito dos inoculantes dentro de cada cultivar e letras minúsculas comparam o efeito da cultivar dentro de cada inoculante. Valores seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5,0%. Iporá, GO, 2022

Para se produzir 25 toneladas de mandioca, conforme Fialho e Vieira (2011), são extraídos do solo 123 kg de N, 27 kg de P, 146 kg de K, 46 kg de Ca e 20 kg de Mg. Deste modo o uso de microrganismos pode contribuir efetivamente para um melhor estado nutricional da planta, uma vez que muitos destes, além de atuarem na fixação biológica de nitrogênio, na solubilização de fosfatos no solo e produção de fitormônios, proporcionam um uso mais eficiente dos nutrientes absorvidos pela planta (HRIDYA et al. 2013^b).

Teixeira et al. (2007) e Hungria (2011) salientam que as interações solo-planta-microrganismos são complexas, sendo que em muitas situações, seus efeitos individuais são difíceis de serem estudados em razão do pouco conhecimento dos processos interativos entre os microrganismos promotores de crescimento e o ambiente que colonizam, devendo nos estudos desenvolvidos considerar o maior número possível de fatores associados à planta (material genético, sanidade, estado nutricional), ao solo (condições químicas, físicas e microbiológicas) e as condições climáticas (drenagem, aeração e temperatura do solo).

Assim conforme observado para o teor de clorofila das folhas, houve também uma resposta diferenciada das cultivares de mandioca quanto aos teores de nitrogênio e de fósforo em função dos inoculantes, bem como quando estes são aplicados em coinoculação, fato que remete a necessidade de se realizar mais estudos para melhor entender a relação dos diversos microrganismos endofíticos encontrados no sistema radicular da mandioca (TEIXEIRA et al., 2007; LOPES et al., 2019), os quais podem ser eficientes no processo de fixação biológica de nitrogênio atmosférico, bem como na produção de fitormônios (JAMES, 2000; BUCHELT et al., 2019), estimulando o desenvolvimento do sistema radicular e da parte aérea da planta (FERREIRA et al., 2021), porém conforme o material genético de mandioca utilizado, as condições de solo e do ambiente, estes benefícios podem não ocorrer para a planta.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As cultivares de mandioca apresentaram resposta diferenciada aos microrganismos utilizados como inoculantes, quando são aplicados de forma isolada ou em coinoculação, remetendo a necessidade de se realizar mais estudos para melhor entender esta interação entre os genótipos de mandioca e as bactérias promotoras de crescimento.

Para cultivar Talo Branco a co-inoculação de todos os microrganismos demonstrou ser mais promissora, resultando em teores mais elevados de clorofila nas folhas e de nitrogênio e de fósforo na parte aérea, já que para a cultivar IAC 12 a inoculação de *Azospirillum brasilense* proporcionou melhores resultados para estas variáveis.

AGRADECIMENTOS

Ao IF Goiano por fornecer a casa de vegetação, equipamentos laboratoriais e todo apoio necessário para o desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BALOTA, E.L.; LOPES, E.S.; HUNGRIA, M; DOBEREINER, J. Ocorrência de bactérias diazotróficas e fungos micorrízicos arbusculares na cultura da mandioca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n. 7, 1265-1276. 1999. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X1999000700020>

BASHAN Y.; BASHAN L.E. How the plant growth-promoting bacterium *Azospirillum* promotes plant growth - a critical assessment. **Advances in Agronomy**, 108:77-136. 2010. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(10\)08002-8](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(10)08002-8)

BUCHELT, A.C.; METZLER, C.R.; CASTIGLIONI, J.L.; DASSOLLER, T.F.; LUBIAN, M.S. Aplicação de bioestimulante e *Bacillus subtilis* na germinação e desenvolvimento inicial da cultura do milho. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 6, n. 4, p. 69-74, 2019. 2019. DOI: <https://doi.org/10.32404/rean.v6i4.2762>

CANTERI, M. G.; ALTHAUS, R. A.; VIRGENS FILHO, J. S.; GIGLIOTI, E. A.; GODOY, C. V. SASM - Agri: Sistema para análise e separação de médias em experimentos agrícolas pelos métodos Scott-Knott, Tukey e Duncan. **Revista Brasileira de Agrocomputação** v.1, p.18-24, 2001.

CONAB – Companhia nacional de abastecimento de abastecimento. Acompanhamento safra brasileira de grãos, v.8, Safra 2020/21, n.12 - Décimo segundo levantamento, Brasília, p. 1-97, setembro 2021.

DAHMANI, M. A.; DESRUT, A.; MOUMEN, B.; VERDON, J.; MERMOURI, L.; KACEM, M.; COUTOSTH´ EVENOT, P.; KAID-HARCHE, M.; BERG` ES, T.; VRIET, C. Unearthing the plant growth-promoting traits of *Bacillus megaterium* RmBm31, an endophytic bacterium isolated from root nodules of *Retama monosperma*. **Frontiers in Plant Science**. v. 11, 1-15. 2020. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00124>

FERREIRA, S.C.; NAKASONE, A.K.; NASCIMENTO, S.M.C.; OLIVEIRA, D.A.; SIQUEIRA, A.S.; CUNHA, E.F.M.; CASTRO, G.L.S.; SOUZA, C.R.B. Isolation and characterization of cassava root endophytic bacteria with the ability to promote plant growth and control the *in vitro* and *in vivo* growth of *Phytophthium* sp. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, 116, 101709. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.pmpp.2021.101709>

FIALHO, J.F.; VIEIRA, E.A. **Mandioca no Cerrado: orientações técnicas** / editores técnicos, Josefino de Freitas Fialho, Eduardo Alano Vieira. – Planaltina, DF: Embrapa Cerrados. 208 p. 2011. ISBN: 978-85-7075-058-7.

FUKAMI, J.; NOGUEIRA, M.A.; ARAUJO, R.S.; HUNGRIA, M. Accessing inoculation methods of maize and wheat with *Azospirillum brasilense* **AMB Express**, v. p. 61-13, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13568-015-0171-y>

HRIDYA, A.C.; BYJU, G.; MISRA R.S. Effect of biocontrol agents and biofertilizers on root rot, yield, harvest index and nutrient uptake of cassava (*Manihot esculenta* Crantz). **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 59, p.1 215-227. 2013^a. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/03650340.2013.791023>

HRIDYA, A.C.; BYJU, G.; MISRA R.S. Effects of microbial inoculations on soil chemical, biochemical and microbial biomass carbon of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) growing Vertisols. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 60, p. 239-249. 2013^b.

HUNGRIA, M. **Inoculação com *Azospirillum brasilense*: inovação em rendimento a baixo custo**. Londrina, PR: Embrapa Soja, 2011. 36 p. (Documentos, 325).

JAMES E. Nitrogen fixation in endophytic and associative symbiosis. **Field Crops Research**. 65: 197-209. 2000.

KAZI, N.; DEAKER, R.; WILSON, N.; MUHAMMAD, K.; TRETOWAN, R. The response of wheat genotypes to inoculation with *Azospirillum brasilense* in the field. **Field Crops Research**, v. 196, p. 368-378. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.07.012>

KOUR, D.; RANA, K.L.; KAUR, T.; YADAV, N.; YADAV, A.N.; KUMAR, M.; KUMAR, V.; DHALIWAL, H.S.; SAXENA, A.K. Biodiversity, current developments and potential biotechnological applications of phosphorus-solubilizing and -mobilizing microbes: A review. **Pedosphere**, v. 31, n. 1, p. 43-75, 2021. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(20\)60057-1](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(20)60057-1)

LEITE, M.C.B.S.; PEREIRA, A.P.A.; SOUZA, A.J.; ANDREOTE, F.D.; FREIRE, F.J.; SOBRAL, J.K. Bioprospection and genetic diversity of endophytic bacteria associated with cassava plant. **Revista Caatinga**. v. 31 p. 315-325. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/1983-21252018v31n207rc>.

LOPES, E.A.P.; SILVA, A.D.A.; MERGULHÃO, A.C.E.S.; SILVA, E.V.N.; SANTIAGO, A.D.; FIGUEIREDO, M.V.B. Co-inoculation of growth promoting bacteria and *Glomus clarum* in micropropagated cassava plants. **Revista Caatinga**. v. 32, n. 1, p. 152-166. 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252019v32n116rc>

MENDES, I.C.; JUNIOR, F.B.R. **Microrganismos e disponibilidade de fósforo (P) nos solos: uma análise crítica**. 1. ed. Planaltina, DF: EMBRAPA CERRADOS, 2003. 26 p. ISSN 1517-5111.

MORAES, G.P.; GOMES, V.F.F.; MENDES FILHO, P.F.; ALMEIDA, A.M.M.; SILVA JÚNIOR, J.M.T. Adubação nitrogenada associada à inoculação com *Azospirillum brasilense* na 13 cultura do milho. **Revista Agropecuária Técnica**, v. 38, n. 3, p. 109-116, 2017. DOI: <https://doi.org/10.25066/agrotec.v38i3.29919>

SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C.; OLIVEIRA, V.Á.; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.A.; ARAÚJO FILHO, J.C.; OLIVEIRA, J.B.; CUNHA, T.J.F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SKONIESKI, F.R.; FRATA, M.T.; VIÉGAS, J.; MARTIN, T.N.; NORBERG, J.L.; MEINERZ, G.R.; TONIN, T.J.; BERNHARD, P. Effect of seed inoculation with *Azospirillum brasilense* and nitrogen fertilization rates on maize plant yield and silage quality. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v. 46, n. 9, p. 722-730, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/s1806-92902017000900003>.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6.ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888 p. ISBN: 9788582713662

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. **Análises de solos, plantas e outros materiais** 2.ed. Porto Alegre: UFRGS, Departamento de Solos, Faculdade de Agronomia, 1995. 174p. (Boletim técnico, 5).

TEIXEIRA, M.A.; MELO, I.S.; VIEIRA, R.F.; COSTA, F.E.C.; HARAKAVA, R. Microrganismos endofíticos de mandioca de áreas comerciais e etnovarietades em três estados brasileiros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 42, p. 43-49. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2007000100006>.