

Aspectos biométricos e produção de etanol em cultivares de mandioca com inoculantes biológicos

Plant biometric aspects and ethanol production in cassava cultivars with biological inoculants

Liliana Santos Silva de Queirós¹, Romano Roberto Valicheski², Silvia Sanielle Costa de Oliveira³, Sihelio Julio Silva Cruz⁴, Sauan Gabriel Marques de Oliveira⁵, Fabiano Almeida Vargas⁶

RESUMO: A mandioca encontra-se em todo território nacional, sendo importante fonte alimentar e de renda. Esta cultura apresenta elevada relação com microrganismos do solo. Neste contexto, objetivou-se avaliar a resposta das cultivares IAC 12 e Talo Branco à inoculação com *Bacillus subtilis*, *Azospirillum brasilense*, *Bacillus megaterium* + *Bacillus subtilis* e *Azospirillum brasilense* + *Bacillus megaterium* + *Bacillus subtilis*. O experimento foi conduzido a campo em Iporá-GO, no delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições. A adubação e os tratamentos fitossanitários foram realizados seguindo as recomendações técnicas para a cultura. A colheita foi realizada em outubro de 2022, onde avaliou-se atributos biométricos, a produtividade, o teor de matéria seca e de amido das raízes, estimando-se também a produção de etanol. As cultivares de mandioca apresentaram resposta diferenciada quanto aos inoculantes utilizados. Para a IAC 12, a inoculação de *Bacillus subtilis* e a coinoculação de *Azospirillum brasilense* + *Bacillus subtilis* + *Bacillus megaterium* proporcionou produção de raízes superior a 34 toneladas por hectare. Esta cultivar também apresentou maior teor de amido, resultando em uma produção estimada de etanol similar à cana-de-açúcar. Por outro lado, para a Talo Branco, não houve resposta aos inoculantes.

Palavras-chave: Bactérias promotoras de crescimento; Genótipos de mandioca; Produção de biocombustível; Produtividade.

ABSTRACT: Cassava is found throughout the national territory, being an important source of food and income. This crop has a high relationship with soil microorganisms. In this context, the objective was to evaluate the response of the cultivars IAC 12 and Talo Branco to inoculation with *Bacillus subtilis*, *Azospirillum brasilense*, *Bacillus megaterium* + *Bacillus subtilis* and *Azospirillum brasilense* + *Bacillus megaterium* + *Bacillus subtilis*. The experiment was conducted in the field in Iporá-GO, in a randomized block design, with four replications. Fertilization and phytosanitary treatments were carried out following technical recommendations for the crop. The harvest was carried out in October 2022, where biometric attributes, productivity, dry matter and starch content of the roots were evaluated, also estimating ethanol production. Cassava cultivars showed different responses to the inoculants used. For IAC 12, the inoculation of *Bacillus subtilis* and the coinoculation of *Azospirillum brasilense* + *Bacillus subtilis* + *Bacillus megaterium* provided root production greater than 34 tons per hectare. This cultivar also had a higher starch content, resulting in an estimated ethanol production similar to sugar cane. On the other hand, for Talo Branco, there was no response to the inoculants.

Keywords: Biofuel production; Cassava geno; Growth-promoting bacteria; Productivity.

Autor correspondente: Liliana Santos Silva de Queirós

E-mail: lilianinha11@hotmail.com

Recebido em: 2023-05-08

Aceito em: 2025-03-12

¹ Mestra em Bioenergia e Grãos pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano (IFGO), Rio Verde (GO), Brasil.

² Doutor em Produção Vegetal pela Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF). Docente efetivo do Instituto Federal Goiano (IFGO), Iporá (GO), Brasil.

³ Doutora em Agronomia pela Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP). Docente efetiva do Instituto Federal Goiano (IFGO), Iporá (GO), Brasil.

⁴ Doutor em Agronomia pela Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP). Docente efetivo do Instituto Federal Goiano (IFGO), Iporá (GO), Brasil.

⁵ Graduado em Agronomia pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano (IFGO), Iporá (GO), Brasil.

⁶ Graduado em Agronomia pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia (IFGO), Iporá (GO), Brasil.

1 INTRODUÇÃO

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) tem importante ocupação no mercado financeiro alimentício, em que na safra 2023/2024 no Brasil, foram cultivados 1,24 milhões de hectares, com uma produção de 19,1 milhões de toneladas e produtividade média de 15,4 t.ha⁻¹, com destaque para os do Pará, Paraná, São Paulo e Mato Grosso do Sul, que responderam respectivamente por 20,9%, 19,2%, 8,7% e 6,7% da produção nacional (IBGE, 2024).

Apesar de quase não explorada para esta finalidade no Brasil, a mandioca pode ser utilizada na produção de etanol (Wei *et al.*, 2015; Pradywong *et al.*, 2018). Quando comparado com cereais e à cana-de-açúcar, considerando seu potencial produtivo, tolerância a baixa pluviosidade e a solos de baixa fertilidade, a mandioca tem se destacado, uma vez que seu rendimento, viabilidade e balanço de massa para obtenção do etanol a tornam uma cultura potencialmente promissora, principalmente para regiões tropicais (Nandiyanto *et al.*, 2018).

O Brasil possui uma vasta diversidade de materiais genéticos de mandioca, muitos dos quais com elevado teor de amido, o que o torna promissor para produção de etanol, sendo possível com uma tonelada de raiz de mandioca com 33% de amido, produzir 211 litros de etanol (Salla, 2008). Apesar de amplamente disseminada no território nacional, devido à heterogeneidade dos cultivos e ao baixo nível tecnológico empregado na maioria das lavouras, a produtividade média nacional é baixa, porém com o uso de fertilizantes e cultivares adequadas, há uma melhora expressiva na produtividade, como ocorre no estado de São Paulo, com produtividade média de 24,3 t.ha⁻¹ (IBGE 2024). No entanto, o elevado custo dos fertilizantes químicos associado ao baixo poder aquisitivo da maioria dos produtores de mandioca impossibilita acesso a estes, tornado os inoculantes biológicos uma alternativa potencial para melhorar a nutrição, desenvolvimento e produtividade da mandioca (Braga Junior *et al.*, 2018; Diaz *et al.*, 2019).

A mandioca forma associações com inúmeras espécies de bactérias promotoras de crescimento (Sarr *et al.*, 2019), podendo o uso de inoculantes biológicos ser uma alternativa para melhorar sua produtividade. Fernandes *et al.* (2023), observaram que a inoculação de *A. brasilense* proporcionou um aumento de 27 a 40% no teor de nitrogênio nas folhas de mandioca, considerando uma alternativa promissora e de baixo custo para melhorar o estado nutricional das plantas. Lopes *et al.* (2019) identificaram a ocorrência de efeito sinérgico da coinoculação do fungo do micorrizico arbuscular (FMAs) *Glomus clarum* e bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCPs) na mandioca, proporcionando desenvolvimento das plantas e nutrição nitrogenada similar a aplicação de 71 kg.ha⁻¹ de sulfato de amônio. Já Aguilera *et al.* (2022), obtiveram melhor desenvolvimento e produtividade da mandioca, quando as manivas são plantadas na posição horizontal e associada a inoculação de *A. brasilense*. No entanto, estas respostas também podem ser influenciadas pelo material genético de mandioca utilizado (Queirós *et al.*, 2024).

O fósforo é outro elemento afetado para colonização microbiana nas raízes. Ferreira *et al.* (2021), identificaram dois isolados de *Bacillus aryabhattai* com elevada capacidade de solubilização de fosfatos, bem como de produção de auxinas, estimulando o desenvolvimento do sistema radicular e da parte aérea da mandioca. Já Dahmani *et al.* (2020), inoculando *Bacillus megaterium*, identificaram estímulo na produção de auxina nas plantas e maior solubilização de fosfato, resultando em maior produção de biomassa e raízes e da parte aérea das plantas. Neste contexto, o uso de inoculantes biológicos pode ser uma alternativa viável para melhorar a produtividade da cultura e sua viabilidade quando se visa à produção de etanol.

Apesar do potencial de uso de microrganismos promotores de crescimento no cultivo da mandioca, pouco se conhece sobre seus efeitos na produtividade desta cultura bem como da resposta dos materiais genéticos a esta tecnologia. Assim, o presente trabalho teve por objetivo avaliar a resposta de duas cultivares

de mandioca à inoculantes biológicos quanto aos aspectos biométricos, produtivos e seu potencial para geração de etanol.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em condições de campo em propriedade rural localizada na comunidade Santo Antônio, Iporá-GO. Trata-se de uma área agricultável, utilizada desde 2020 para o cultivo de milho para produção de silagem e de grãos, sendo o solo caracterizado como Latossolo Vermelho distrófico de textura argilosa. O clima da região, segundo a classificação de Koppen, é tropical (Aw), caracterizado pelas estações de seca e chuva bem definidas.

Em outubro de 2021, visando melhorar os atributos físicos do solo, efetuou-se uma aração até 0,25 m de profundidade, seguida de uma gradagem leve para eliminar os torrões e nivelar o solo. Posteriormente foi coletada amostra de solo na camada de 0,0 a 0,20 m para realização da análise química, que revelou os atributos químicos apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Atributos químicos e composição granulométrica do solo coletado na camada de 0,0 a 0,20 m de profundidade da área experimental

pH	P	Al	H+Al	K	Ca	Mg	T	V	MO	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

P: fósforo; Al: alumínio; H+Al: hidrogênio + alumínio; K: potássio; Ca: cálcio; Mg: magnésio; T: capacidade de troca catiônica; V: saturação por bases; MO: matéria orgânica.

O experimento foi montado no delineamento em blocos ao acaso, 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: 1. Azotrop (*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.L⁻¹); 3. BiomaPhos (Cepas *Bacillus subtilis* (CNPMS B2084) e *Bacillus megaterium* (CNPMS B119) com concentração mínima de 4×10^9 UFC.mL⁻¹); 4. Mistura de todos os inoculantes biológicos (Azotrop + Bio-Imune + BiomaPhos) mantendo-se as mesmas dosagens; 5. Testemunha (sem inoculação).

Em cada parcela experimental com 4,0 m de comprimento x 5,0 m de largura, foram cultivadas 16 plantas de mandioca. Para o plantio adotou-se o espaçamento de 1,1 m entre linhas e 0,6 m entre covas, sendo as covas abertas manualmente com uma enxada. Em seguida, como adubação de base, aplicou-se 18 gramas por cova do formulado NPK 04-30-10.

Em 06/11/2021 realizou-se o plantio da mandioca, sendo as manivas previamente padronizadas por diâmetro (entre 15 e 25 mm) e número de gemas vegetativas (4 a 5 gemas por maniva). Na sequência, visando reduzir o ataque de pragas, principalmente cupim (*Heterotermes tenuis*), realizou-se nas manivas um tratamento químico com inseticida comercial a base de Fipronil, na dosagem de 200 g do ingrediente ativo por hectare. O produto foi diluído em uma caixa com 50L de água, ficando as manivas de molho por cinco minutos nesta solução. Em seguida efetuou-se a distribuição das mesmas nas covas, colocando uma maniva por cova na posição horizontal.

Posteriormente, com um pulverizador costal realizou-se a aplicação dos inoculantes. Para o Azotrop e o BiomaPhos foi utilizado uma dosagem de 400 mL.ha⁻¹ e para o Bio-Imune 1.600 mL.ha⁻¹. Para obter o

volume de cada inoculante a ser aplicado em cada parcela, considerou-se um estande de 15.150 plantas.ha¹. Deste modo, por parcela aplicou-se para o Azotrop e o BiomaPhos 0,416 mL e para o BioImune 1,7 mL. Estas mesmas dosagens também foram utilizadas no tratamento com todos os inoculantes. Considerando que em cada parcela estavam sendo cultivadas 16 plantas, o volume de calda dos inoculantes testados foi diluído em água até completar volume total de 1.600 mL, sendo então pulverizado 100 mL desta solução sobre cada maniva no interior de cada cova.

Em seguida, as manivas foram cobertas com aproximadamente 5 cm de solo. Considerando que na área haviam muitas plantas daninhas recentemente germinadas, após o fechamento das covas também foi realizada uma aplicação de herbicida à base de glifosato, na dosagem de 1,5 kg do ingrediente ativo por hectare. Devido a adequada disponibilidade hídrica do solo e a boa germinação das manivas, não foi necessária a realização de replantio. Considerando a boa fertilidade do solo para o cultivo da mandioca (Tabela 1), não se realizou a adubação de cobertura. Para o controle das plantas daninhas, no decorrer do período experimental foram realizadas duas capinas manuais, sendo a primeira em 29/11/2021, e a segunda, em 25/12/2021.

Levando em consideração que no experimento estavam sendo testadas duas cultivares (uma de mesa e outra para a indústria), optou-se por efetuar a colheita um ano após o plantio, sendo a coleta e avaliações realizadas nos dias 28 e 29 de outubro de 2022. Em cada parcela experimental foram colhidas 3 plantas, as quais foram arrancadas do solo com o auxílio de um enxadão. Posteriormente em cada planta avaliou-se o número de raízes, massa total de raiz, massa de raiz comercial, altura da planta, altura da primeira ramificação, diâmetro de caule a 20 cm do solo, teor de clorofila total na folha (determinado com clorofilometro modelo CLorofiLOG 1030, marca Falker), comprimento e diâmetro das raízes e a massa fresca da planta (parte aérea + cepa).

Em seguida, utilizando a metodologia proposta por Salla (2008) e o método da balança hidrostática, determinou-se o teor de matéria seca e o teor de amido das raízes. Para isso, foram utilizados 2,5 kg de raízes de cada tratamento, sendo estas pesadas fora da água (MFA) e totalmente submersas na água (MSA). Na sequência, determinou-se o teor de matéria seca das raízes (TMSR) e o teor de amido da raiz (TAR), utilizando as Equações 1 e 2, respectivamente.

$$TMSR = 158,3 \times \left(\frac{MFA}{MFA - MSA} - 142 \right) \quad (1)$$

$$TAR = TMSR - 4,65 \quad (2)$$

De posse destes dados e considerando o rendimento de etanol por tonelada de raiz de mandioca com 33% de amido publicado por Salla (2008), bem como a produtividade obtida em cada tratamento, foi possível estimar o volume total de etanol que poderia ser gerado caso as raízes fossem utilizadas para esta finalidade. Também se calculou o índice de colheita, determinado pela relação entre o peso de raízes tuberosas e o peso total da planta.

Após tabulação dos dados, foi realizada a análise de variância utilizando-se o programa SASM – Agri para verificar se houve ou não efeitos dos tratamentos ao nível de 5 % de probabilidade de erro. Quando identificada diferença significativa, as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os materiais genéticos de mandioca apresentaram resposta diferenciada para maioria das variáveis avaliadas (Tabela 2). Para cultivar, houve efeito altamente significativo ($p < 0,01$) para massa total de raiz por planta (MTRP), massa de raiz comercial por planta (MRCP), altura da planta (APL), diâmetro do caule (DC), diâmetro médio da raiz (DMR), produtividade de raiz (PRD), estimativa de produção de etanol (EPE) e índice de colheita (IC). Também houve efeito significativo ($p < 0,05$) para o número de raízes por planta (NRP), teor de clorofila total na folha (Clor. Total), teor de matéria seca na raiz (TMSR) e teor de amido na raiz (TAR). Por outro lado, não foi observado efeito isolado para o fator inoculante.

Quanto a interação dos fatores, houve efeito altamente significativo para estimativa de produção de etanol (EPE), e significativo para massa total de raiz por planta (MTRP), massa de raiz comercial por planta (MRCP), teor de matéria seca na raiz (TMSR), teor de amido na raiz (TAR) e produtividade de raiz (PRD).

Em relação ao efeito isolado dos materiais genéticos de mandioca (Tabela 3), a cultivar Talo Branco apresentou maior número de raízes por planta (NRP), altura das plantas (ALP) e diâmetro de caule (DC). Quando comparado com a IAC 12, esta cultivar foi respectivamente 10,08; 9,12 e 13,3% superior nestas variáveis, sugerindo que, apesar de pouco cultivada na região, se adapta bem às condições de clima e solo. Por outro lado, a cultivar IAC 12 apresentou maior teor de clorofila nas folhas (Clor. Total), diâmetro médio de raiz (DMR) e índice de colheita (IC), sendo respectivamente 6,12; 21,9 e 42,4% superior que a Talo Branco.

Tabela 2. Valores de F e nível de significância para as variáveis determinadas um ano após o plantio em função da cultivar de mandioca e dos inoculantes testados

Variável	Cultivar (C)	Inoculante (I)	C x I	CV (%)
NRP	3,73 *	0,89 ^{ns}	0,59 ^{ns}	17,0
MTRP	76,53 **	1,51 ^{ns}	4,46 *	16,6
MRCP	72,19 **	1,11 ^{ns}	3,54 *	18,6
APL	12,32 **	0,58 ^{ns}	0,08 ^{ns}	7,23
APR	3,58 ^{ns}	1,17 ^{ns}	0,47 ^{ns}	19,7
DC	10,83 **	1,63 ^{ns}	0,19 ^{ns}	11,9
Clor. Total	5,07 *	0,98 ^{ns}	0,41 ^{ns}	8,3
TMSR	7,52 *	0,67 ^{ns}	3,66 *	3,39
TAR	7,53 *	0,66 ^{ns}	3,65 *	4,0
MFPA	2,84 ^{ns}	1,00 ^{ns}	0,54 ^{ns}	20,9
CMR	2,22 ^{ns}	0,53 ^{ns}	0,57 ^{ns}	13,5
DMR	31,9 **	1,26 ^{ns}	2,35 ^{ns}	11,0
PRD	72,2 **	1,11 ^{ns}	3,54 *	18,6
EPE	72,6 **	1,12 ^{ns}	4,29 **	19,6
IC	71,9 **	0,35 ^{ns}	1,92 ^{ns}	12,7

** significativo a 1,0%, *significativo a 5,0%,^{ns} não significativo, CV: coeficiente de variação; NPR: número de raízes por planta; MTRP: massa total de raiz por planta; MRCP: massa de raiz comercial por planta; APL: altura da planta; APR: altura da primeira ramificação; DC: diâmetro de caule; Clor. Total: teor de clorofila total; TMSR: teor de matéria seca na raiz; TAR: teor de amido na raiz; MFPA: massa fresca da parte aérea; CMR: comprimento médio da raiz; DMR: diâmetro médio da raiz; PRD: produtividade de raiz; EPE: estimativa de produção de etanol; IC: índice de colheita.

Apesar de produzir um maior número de raízes por planta e maior desenvolvimento da parte aérea, a cultivar Talo Branco apresentou baixo índice de colheita. Oliveira Paz *et al.* (2020), estudando o desempenho agrônômico de seis cultivares de mandioca de mesa em Jataí-GO, colhidas 12 meses após o plantio, observou que na safra 2016/2017 todos os materiais genéticos utilizados apresentaram IC superior a 50%, no entanto na safra 2017/2018, as cultivares BRS 400 e BRS 401 apresentaram índice de colheita de 43,0 e 41,0%, indicando que além do material genético, fatores como condições climáticas e solo podem afetar esta variável.

Tabela 3. Efeito isolado das cultivares de mandioca IAC 12 e Talo Branco

Variável	IAC 12	Talo Branco
NRP	8,23 b	9,06 a
APL (m)	2,52 b	2,75 a
DC (mm)	27,5 b	31,16 a
Clor. Total	49,2 a	46,36 b
DMR (mm)	43,9 a	36,0 b
IC	0,47 a	0,33 b

NRP: número de raízes por planta; APL: altura da planta; DC: diâmetro de caule; Clor. Total: clorofila total na folha; DMR: diâmetro médio da raiz; IC: índice de colheita. Média seguida de letra diferentes na linha indica que houve efeito significativo pelo teste de Tukey ao nível de 5,0% de erro.

A adequada fertilidade do solo da área experimental, com teores elevados de P, Ca, Mg e K (Tabela 1) pode ter contribuído para um maior desenvolvimento da parte aérea da Talo Branco. Porém nesta cultivar, apesar do maior número de raízes tuberosas por plantas e do melhor desenvolvimento da parte aérea, não houve maior acúmulo de reservas nas mesmas, indicando que a cultivar foi menos eficiente que a IAC 12 na translocação de fotoassimilados e acúmulo de amido nas raízes de reserva. Além disso a IAC 12, nas mesmas condições apresentou maior teor de clorofila nas folhas, fato que pode ter contribuído para maior produção de fotoassimilados (Taiz *et al.*, 2017), os quais foram translocados para as raízes de reserva, aumentando seu índice de colheita.

A relação fonte-dreno é um dos principais aspectos que podem ser melhorados na Talo Branco visando maximizar sua produtividade de raízes, o que poderia acontecer caso fosse prolongado o ciclo da cultura e a colheita fosse efetuada 18 meses após o plantio (Fialho; Vieira, 2011), porém por ser uma cultivar de mesa, recomenda-se sua colheita dos 8 aos 12 meses após o plantio.

Quanto a interação dos fatores cultivar x inoculantes para massa total de raiz por planta, na cultivar IAC 12 houve maior acúmulo de reservas nas raízes quando coinoculada com todos os inculantes, bem como quando inoculada com BiomaPhos e BioImune, diferindo estatisticamente das plantas inoculadas com Azotrop e as testemunha (Tabela 4).

Nestes tratamentos, quando comparado com as plantas testemunha, houve incremento de respectivamente 42,6; 35,1 e 38,6 na massa de raízes total por planta. Resposta similar também foi observada para a variável massa de raiz comercial, porém para esta variável, também as plantas inoculadas com Azotrop foram superiores a testemunha. Por outro lado, para a cultivar Talo Branco, não houve resposta aos inoculantes em nenhuma destas variáveis. Quando se compara o efeito das cultivares para cada inoculante utilizado, novamente houve maior acúmulo de reservas nas raízes para a cultivar IAC 12, exceto para massa de raiz comercial utilizando o inoculante Azotrop (a base de *Azospirillum brasilense*).

Tabela 4. Efeito da interação dos inoculantes x cultivar de mandioca para as variáveis massa total de raiz por planta e massa de raiz comercial por planta nas condições do experimento

Inoculante	Massa total de raiz (kg.planta ⁻¹)		Massa de raiz comercial (kg.planta ⁻¹)	
	IAC 12	Talo Branco	IAC 12	Talo Branco
Testemunha	2,25 Ba	1,95 Aa	2,03 Ba	1,75 Aa
Azotrop	2,78 Ba	1,90 Ab	2,52 Aa	1,72 Aa
Bio-Imune	3,12 Aa	1,97 Ab	2,93 Aa	1,63 Ab
BiomaPhos	3,04 Aa	1,69 Ab	2,73 Aba	1,43 Ab
Todos	3,21 Aa	1,60 Ab	3,09 Aa	1,49 Ab

Para cada variável, letras maiúsculas comparam o efeito dos inoculantes dentro de cada cultivar de mandioca (coluna) e letras minúsculas comparam o efeito de cada inoculante entre as cultivares de mandioca (linha). Média seguida da mesma letra indica ausência de efeito significativo pelo teste de Tukey ao nível de 5,0% de erro.

O maior acúmulo de massa nas raízes da IAC 12, além de estar relacionado a melhor eficiência desta cultivar em translocar os fotoassimilados da parte aérea para as raízes tuberosas, resultando em maior índice de colheita (Tabela 2), pode estar associado a uma melhor interação desta cultivar quando inoculada com as bactérias promotoras de crescimento *Azospirillum brasilense*, *Bacillus subtilis* e *Bacillus subtilis* + *Bacillus megaterium*, com resultados mais expressivos quando em coinoculação.

Esta resposta diferenciada das cultivares de mandioca a inoculação está associada capacidade e especificidade de cada material genético de mandioca em formar associações com as BPCP (Leite *et al.*, 2018), bem como a capacidade de manter esta associação ativa no decorrer de todo o ciclo da cultura. Estes autores ao analisarem acessos de mandioca provenientes de Pernambuco, identificaram a presença de gêneros de bactérias com potencial para promover o crescimento das plantas (*Achromobacter*, *Bacillus*, *Burkholderia*, *Enterobacter*, *Pantoea* e *Pseudomonas*), estando estes associados a diferentes genótipos de mandioca.

Além da melhor interação com o material genético de mandioca, o maior acúmulo de massa nas raízes na cultivar IAC 12, quando na presença das bactérias promotoras de crescimento, está na capacidade destes organismos em estimular o crescimento das plantas, seja através da fixação biológica de nitrogênio (Cortivo *et al.*, 2017; Ferreira *et al.*, 2021), solubilização de fosfatos no solo para as plantas (Ferreira *et al.*, 2021; Dahmani *et al.*, 2020) ou produção de fitormônios (Buchelt *et al.*, 2019; Ferreira *et al.*, 2021; Dahmani *et al.*, 2020), que estimulam o desenvolvimento do sistema radicular das plantas melhorando a absorção de água e nutrientes, resultando em melhores condições para formação de pigmentos fotossintetizantes na planta, e consequentemente, na maior produção de fotoassimilados.

Dentre os principais hormônios vegetais que tem sua produção estimulada pelas BPCP encontra-se o ácido indol acético, as giberelinas, citocininas e o etileno (Taiz *et al.*, 2017), proporcionando um melhor desenvolvimento na planta devido à maior absorção de nutrientes e maior tolerância ao déficit hídrico e ao alumínio, uma vez que possibilita que maior volume de solo seja explorado pelo sistema radicular da planta (Zeng *et al.*, 2022).

Além da produção de raízes pelas plantas, a interação dos fatores cultivar e inoculante afetou o teor de matéria seca (Figura 1A) e o teor de amido das raízes (Figura 1B). Para a cultivar Talo Branco, maior teor de matéria seca e de amido foi observado nas plantas testemunha (sem inoculação), que diferiram estatisticamente dos teores observados nas plantas que receberam a coinoculação de todos os inoculantes. Já com a inoculação isolada de Azotrop, BioImune e BiomaPhos, houve comportamento intermediário, uma vez que os valores obtidos não diferem da testemunha, e nem das que foram coinoculadas.

Deste modo, para Talo Branco, ao se comparar o teor de matéria seca das raízes das plantas testemunhas com as que receberam a inoculação de Azotrop, BioImune, BiomaPhos e a coinoculação, houve uma redução de respectivamente 1,92; 0,64; 5,16 e 7,09%, indicando que a aplicação destes microrganismos promotores de crescimentos não está contribuindo no acúmulo de reservas nas raízes desta cultivar.

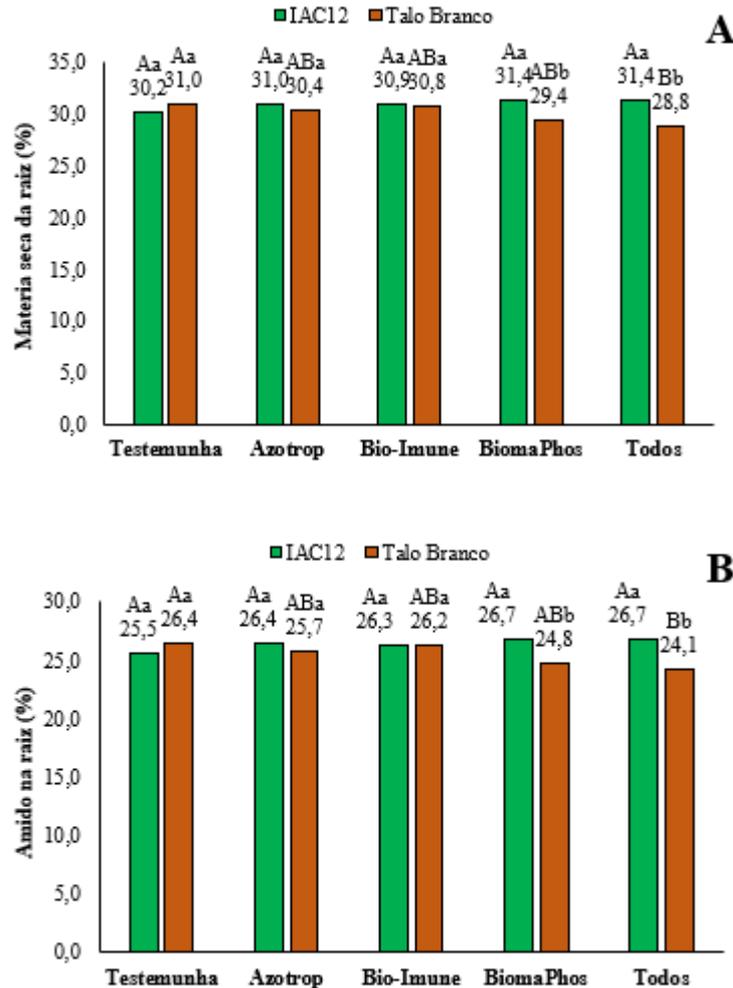


Figura 1. Efeito da interação cultivar x inoculantes para o teor de matéria seca (A) e de amido da raiz (B) nas plantas de mandioca 12 meses após o plantio. Letras maiúsculas comparam o efeito dos inoculantes dentro de cada cultivar e letras minúsculas comparam o efeito da cultivar de mandioca dentro de cada inoculante. Valores seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5,0% de erro.

Resultado similar ocorre para o teor de amido, uma vez que este foi obtido com base no teor de matéria seca das raízes. Por outro lado, para a cultivar IAC 12, quando comparado com o teor de matéria seca da testemunha, o uso destes inoculantes proporcionou incrementos de respectivamente 2,65; 2,31; 3,97 e 3,97%, demonstrando que além da eficiência dos microrganismos em estimular o crescimento das plantas, o material genético de mandioca influencia nesta interação (Queirós *et al.*, 2024).

Este efeito dos materiais genéticos pode ser melhor visualizado ao se analisar a resposta das cultivares para cada inoculante. Com a inoculação de BiomaPhos e da coinoculação de todos os produtos, a cultivar IAC 12 foi superior a Talo Branco no teor de matéria seca (Figura 1A) e de amido das raízes (Figura 1B), sugerindo melhor interação desta cultivar com as bactérias *Azospirillum brasilense*, *Bacillus subtilis* e *Bacillus megaterium*, e consequentemente, em maior acúmulo de matéria seca e amido nas raízes tuberosas.

Para a cultivar Talo Branco, o menor acúmulo de matéria seca e de amido nas raízes pode estar associado ao maior desenvolvimento da parte aérea desta cultivar (Tabela 3), que apesar do maior número de raízes tuberosas, transloucou menos fotoassimilados para as raízes de reserva, resultando em menor produção de massa de raízes por planta (Tabela 4), e conseqüentemente, em menor teor de matéria seca e amido. Este comportamento da translocação de fotoassimilados da parte aérea para as raízes de reserva pode estar associado a fatores genéticos da planta (Oliveira Paz *et al.*, 2020), e também a indução de hormônios na planta proporcionados por estas bactérias promotoras de crescimento (Ferreira *et al.*, 2021; Dahmani *et al.*, 2020), que contribuem para maior desenvolvimento da parte aérea, tornando-a o principal dreno dos fotoassimilados produzidos na planta.

A regulação do crescimento vegetal é atribuída a nove hormônios principais sendo auxina, citocinina, giberelina, ácido abscísico, etileno, brassinosteróides, ácido salicílico, jasmonato e estrigolactona (Taiz *et al.*, 2017), os quais atuam em conjunto em diversas atividades fisiológicas da planta. Lopes *et al.* (2019) mostraram a capacidade de *Azospirillum brasilense* em colonizar a rizosfera e os tecidos da planta de mandioca, estimulando o crescimento vegetativo por meio da fixação biológica de nitrogênio, e o crescimento das raízes através da síntese de fitormônios, liberando ácido indol-acético (AIA), giberelinas e citocininas.

Buchelt *et al.* (2019), ressaltam que o uso de *Bacillus subtilis* como bioestimulantes na agricultura é devido à produção de fitohormônios, ácido indolacético, ácido abscísico, giberelinas e citocininas, aumentando o número de pelos radiculares e estimulando o crescimento do sistema radicular das plantas. Dahmani *et al.* (2020), mencionam que a aplicação de *Bacillus megaterium* estimulou a produção de auxina nas plantas, sendo também eficiente na solubilização de fosfato, contribuindo para uma maior produção de biomassa pela parte aérea.

Quanto à produtividade de raízes tuberosas, para cultivar IAC 12 na presença das bactérias promotoras de crescimento houve um incremento na massa de raízes (Figura 2A). Quando inoculada com Bio-Imune e coinoculada com todos os inoculantes, esta cultivar diferiu estatisticamente da testemunha, o uso destes inoculantes proporcionou incrementos de respectivamente 43,2 e 49,4%. Já quando inoculada com Azotrop, este incremento foi de 24,7% e com o BiomaPhos de 34,1% na massa de raízes, porém não diferiram das plantas testemunha. Por outro lado, para a cultivar Talo Branco não se observou efeito dos inoculantes na produtividade total de raízes tuberosas. Ao se analisar a resposta das cultivares de mandioca em cada inoculante, para o Azotrop, Bio-Imune, BiomaPhos e a coinoculação de todos, a cultivar IAC 12 apresentou produtividade superior à observada para a Talo Branco (Figura 2A), fato que sugere que além de mais produtiva, esta cultivar forma uma melhor associação com *Azospirillum brasilense*, *Bacillus subtilis* e *Bacillus megaterium*.

Comportamento similar à produção de raízes também foi observado para estimativa do volume de etanol que poderia ser produzido utilizando-se esta produção de raízes (Figura 2B). Neste contexto, para cultivar IAC 12, ao se comparar o total de etanol que poderia ser gerado nas plantas testemunha, a inoculação de *Azospirillum brasilense* (Azotrop) proporcionou um incremento de 1.147,4 L.ha⁻¹, a de *Bacillus subtilis* (Bio-Imune) de 1.898,3 L.ha⁻¹, a de *Bacillus subtilis* + *Bacillus megaterium* (BiomaPhos) de 1.622,5 L.ha⁻¹ e a coinoculação destas bactérias (Todos), incremento de 2.242,3 L.ha⁻¹.

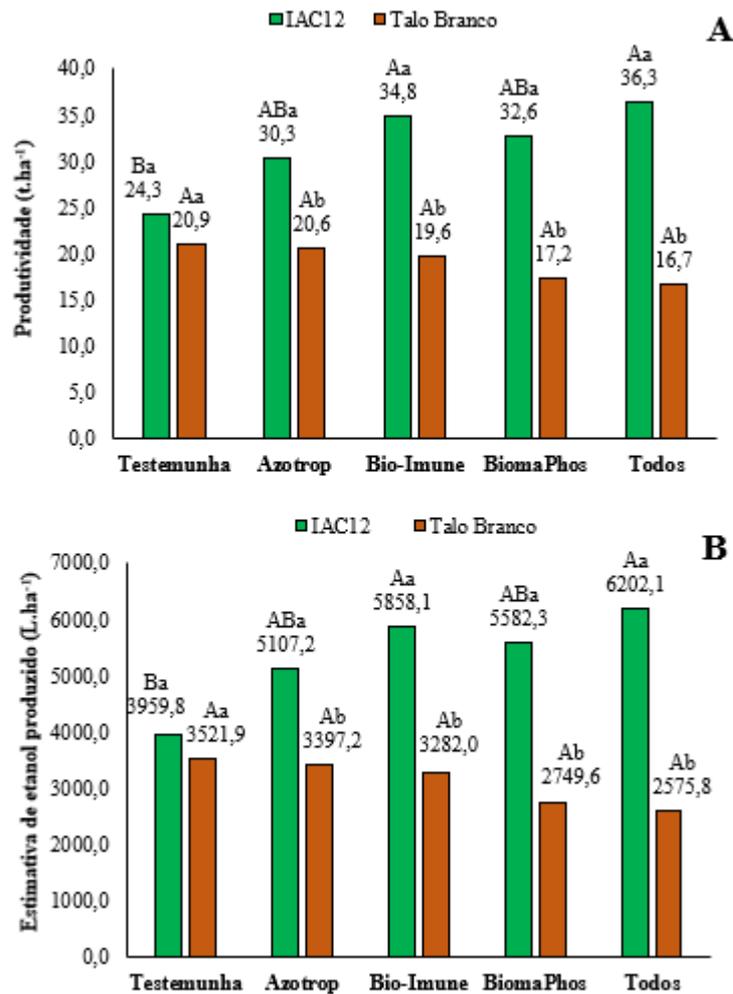


Figura 2. Efeito da interação cultivar de mandioca x inoculantes para produtividade de raiz (A) e estimativa de produção de etanol (B) por hectare nas plantas de mandioca 12 meses após o plantio. Letras maiúsculas comparam o efeito dos inoculantes dentro de cada cultivar e letras minúsculas comparam 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%.

Os resultados obtidos para estas variáveis sugerem melhor eficiência e interação da IAC 12 em formar associações com as bactérias promotoras de crescimento *Azospirillum*, *Bacillus subtilis* e *Bacillus megaterium*, proporcionaram incremento na massa de raízes tuberosas (Figura 2A), bem como no volume de etanol a ser gerado (Figura 2B).

Assim nesta cultivar, o uso destes bioestimulantes, por estimular a produção de fitohormônios, auxinas e citocininas, bem como expansinas que contribuem para o crescimento e desenvolvimento das plantas (Ferreira *et al.*, 2021; Zeng *et al.*, 2022), pode ser uma alternativa de baixo custo e ecologicamente correta para aumentar a produtividade da mandioca (Leite *et al.*, 2018), tornando-a competitiva quando se visa a produção de biocombustível (Pradywong *et al.*, 2018).

Considerando os dados de Salla (2008), em que uma tonelada de cana-de-açúcar pode gerar 86 litros de etanol, bem como a produtividade média desta cultura no Brasil, que na safra 2021/2022 foi de 69,3 t.ha⁻¹ (CONAB, 2023), tem-se uma produção estimada de 5.959 L.ha⁻¹ de etanol, valor este muito próximo do volume de etanol estimado para IAC 12, quando inoculada com Bio-Imune e coinoculada com todos os inoculantes.

A crescente demanda por bioetanol tem resultado no aumento de 2% na produção global, que passou de 111 bilhões de litros em 2018 para 114 bilhões de litros em 2019 (REN21, 2019). Essa demanda transformou a mandioca em uma cultura de relevante interesse comercial, com países como Tailândia, Camboja, Colômbia, Vietnã, China e Índia, utilizando sua produção ao bioetanol (Marx, 2019).

Considerando a crescente demanda mundial por bioenergia, sua utilização para esta finalidade, associada a bactérias promotoras de crescimento torna-se uma estratégia promissora, principalmente em países como o Brasil, onde seu cultivo ocorre em todo o território nacional, podendo vir a ser uma aliada da cana-de-açúcar para a produção de etanol (Wei *et al.*, 2015).

Porém, é necessário que mais estudos sejam desenvolvidos nesta área, uma vez que há vasta diversidade de materiais genéticos de mandioca, os quais podem apresentar resposta diferenciada quando inoculadas com bactérias promotoras de crescimento, necessitando de mais estudos para melhor entender esta interação entre os materiais genéticos de mandioca e as bactérias promotoras de crescimento de plantas.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Houve resposta diferenciada das cultivares de mandioca nos parâmetros biométricos quando inoculadas com as bactérias promotoras de crescimento das plantas. Para a IAC 12, esta prática, independente do inoculante, proporcionou incremento nos componentes de produção e produtividade, enquanto que para a Talo Branco, não houve resposta à inoculação.

Para cultivar IAC 12 a inoculação com *Bacillus subtilis* e coinoculação com *Azospirillum brasilense* + *Bacillus subtilis* + *Bacillus megaterium* proporcionou aumento na a produtividade, teor de matéria seca e amido das raízes tuberosas, bem como o volume de etanol gerado, tornando-a competitiva para geração deste biocombustível.

Considerando o vasto acesso de materiais genéticos de mandioca existentes no Brasil, bem como a diversidade de interações que podem ocorrer das BPCP com a planta, torna-se necessário que mais estudos sejam desenvolvidos nesta área, visando entender melhor este processo e identificar as associações mais promissoras.

5 AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Federal Goiano por fornecer o transporte e estrutura laboratorial para o desenvolvimento deste trabalho e aos proprietários da Fazenda Pindaíba região Santo Antônio município de Iporá-GO, pelo auxílio nas atividades desenvolvidas.

REFERÊNCIAS

AGUILERA, J.G.; KREWER, B.I.; LIMA, R.E.; ZUFFO, A.M.; RATKE, R.F.; ALFONSO JÚNIOR, J.A.; RIBEIRO, N.J.; RODRIGUES, M.R.M.; ELSAYED, A.Y.; MARTINEZ, L.A. Posição da maniva e aplicação de *Azospirillum brasilense* influenciam caracteres agrônômicos da mandioca. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 4, e53711427750, 2022. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i4.27750>.

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. <https://doi.org/10.32404/rean.v6i4.2762>.

BRAGA JUNIOR, G.M.; CHAGAS, L.F.B.; AMARAL, L.R.O.; MILLER, L.O.; CHAGAS JUNIOR, A.F. Efficiency of inoculation by *Bacillus subtilis* on soybean biomass and productivity. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 13, n. 4, e5571, 2018. DOI: <https://doi.org/10.5039/agraria.v13i4a5571>.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento safra brasileira: cana-de-açúcar, safra 2022/2023, 3º levantamento.** Brasília: CONAB, 2023.

CORTIVO, C.D.; BARION, G.; VISIOLI, G.; MATTAROZZI, M.; MOSCA, G.; VAMERALI, T. Increased root growth and nitrogen accumulation in common wheat following PGPR inoculation: assessment of plant-microbe interactions by ESEM. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, n. 247, p. 396–408, 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2017.07.00>.

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, p. 1–15, 2020. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00124>.

DIAZ, P.A.E.; BARON, N.C.; RIGOBELLO, E.C. *Bacillus* spp. as plant growth-promoting bacteria in cotton under greenhouse conditions. **Australian Journal of Crop Science**. v. 13, n. 12, p. 2003. 2019. <https://doi.org/10.21475/ajcs.19.13.12.p2003>.

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**, v. 116, 101709. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.pmpp.2021.101709>.

FERNANDES, A.M.; DASILVA, J.A.; EBURNEO, J.A.M.; LEONEL, M.; GARRETO, F.G.D.S.; NUNES, J.G.D.S. Growth and nitrogen uptake by potato and cassava crops can be improved by *Azospirillum brasilense* inoculation and nitrogen fertilization. **Horticulturae**, v. 9, 2023. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9030301>.

FIALHO, J. F.; VIEIRA, E.A. **Mandioca no Cerrado: orientações técnicas.** Planaltina, DF: Embrapa Cerrados. 208 p. 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Indicadores IBGE: levantamento sistemático da produção agrícola.** Brasília: IBGE, 2024. Acesso em: 06 mar. 2025. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/2071-np-estatistica-da-producao-agricola.html>.

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. <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. <https://doi.org/10.1590/1983-21252019v32n116rc>.

MARX, S. Cassava as feedstock for ethanol production: a global perspective. **Bioethanol production from food crops**. Cap. 6, p. 101– 113, 2019. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813766-6.00006-0>.

NANDIYANTO, A.B.D.; MAULANA, A.C.; RAGADHITA, R.; A G ABDULLAH, A.G. Economic evaluation of the production ethanol from cassava roots. **Materials Science and Engineering**, v. 288, p. 1 – 6, 2018. <https://doi.org/10.1757-899X/288/1/012023>.

OLIVEIRA PAZ, R.B.; COSTA, C.H.M.; VIEIRA, E.A.; COELHO, M.V.; SILVA CRUZ, S.C.; MACHADO, L.B. Desempenho agrônômico de cultivares de mandioca de mesa em ambiente do Cerrado. **Colloquium Agrariae**, v. 16, n. 3, p. 37 - 47, 2020. <https://doi.org/10.5747/ca.2020.v16.n3.a370>.

PRADYWONG, S.; JUNEJA, A.; SADIQ, M.B.; NOOMHORM, A.; SINGH, V. Comparison of cassava starch with corn as a feedstock for bioethanol production. **Energies**, v. 11, n. 12, p. 3476, 2018. <https://doi.org/10.3390/en11123476>.

QUEIRÓS, L.S.S.; VALICHESKI, R.R.; OLIVEIRA, S.S.C.; CRUZ, S.J.S.; STÜRMER, S.L.K OLIVEIRA, S.G.M. Aspectos biométricos e nutricional de cultivares de mandioca com inoculantes biológicos. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 17, n. 2, e11762, 2024. <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2024v17n2e11762>.

REN21(2019). **Renewables 2019 global status report (Paris: REN21 Secretariat)**. 2019. Disponível em: https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/gsr_2019_full_report_en.pdf Acesso em: 10/03/2023.

SALLA, D. A. **Análise energética de sistemas de produção de etanol de mandica, cana-de-açúcar e milho**. 2008. 168 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciência Agrônomicas de Botucatu, Botucatu, 2008.

SARR, P.S.; SUGIYAMA, A.; BEGOUDE, A.D.B.; YAZAKI, S.; NAWATA, E. Diversity and distribution of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in cassava (*Manihot esculenta* Crantz) croplands in Cameroon as revealed by Illumina MiSeq. **Rhizosphere**, v. 10, 100147, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2019.100147>.

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

WEI, M.; ZHU, W.; XEI, G.; LESTANDER, T.A.; XIONG, S. Cassava stem wastes as potential feedstock for fuel ethanol production: A basic parameter study. **Renewable Energy**, v. 83, p. 970 – 978, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.05.054>.

ZENG, H.; HU, W.; LIU, G.; XU, H.; WEI, Y.; ZHANG, J.; SHI, H. Microbiome-wide association studies between phyllosphere microbiota and ionome highlight the beneficial symbiosis of *Lactococcus lactis* in alleviating aluminium in cassava. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 171, p. 66–74, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.12.029>.