



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA REGIÃO TOCANTINA DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, NATURAIS E LETRAS - CCANL
CURSO DE ENGENHARIA AGRONÔMICA**

**BACTÉRIAS *Priestia aryabhatai* E *Azospirillum brasilense* NA
PRODUTIVIDADE DA MANDIOCA**

GIVALDO DE OLIVEIRA LIMA JÚNIOR

Estreito - MA

2025

1 GIVALDO DE OLIVEIRA LIMA JÚNIOR

2
3
4
5
6

7 **BACTÉRIAS *Priestia aryabhatai* E *Azospirillum brasilense* NA PRODUTIVIDADE**
8 **DA MANDIOCA**

9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Estadual da
Região Tocantina do Maranhão como
requisito básico para a conclusão do Curso
de Engenharia Agrônômica do Centro de
Ciências Agrárias, Naturais e Letras.

23 **Orientador:**

24 Prof.º Dr. Clemilton Alves da Silva

25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43

Estreito - MA
2025

L732b

Lima Júnior, Givaldo de Oliveira

Bactérias *Priestia Aryabhatai* e *Azospirillum* definitivo: brasileiro na produtividade de mandioca. Givaldo de Oliveira Lima Júnior. – Estreito, MA, 2025.

22 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Agrônômica) – Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão – UEMASUL, Estreito, MA, 2025.

1. *Manihot esculenta*. 2. *Priestia aryabhatai*. 3. *Azospirillum brasilense*.
4. *Azospirillum brasilense*. 5. bioinsumos. 6. Estreito - MA. I. Título.

CDU 635.23:581.143 (81)

44 **BACTÉRIAS *Priestia aryabhattai* E *Azospirillum brasilense* NA PRODUTIVIDADE**
45 **DA MANDIOCA**

46

47

48 Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Estadual da Região Tocantina
49 do Maranhão como requisito básico para a conclusão do Curso de Engenharia Agrônômica
50 do Centro de Ciências Agrárias, Naturais e Letras.

51

52

53 Data de aprovação: 21/07/2025

54

55

56

57

58

Banca Examinadora

59

60

61

62

63

64

65


66

67

68

69

70

Documento assinado digitalmente
 **CLEMILTON ALVES DA SILVA**
Data: 24/07/2025 15:58:20-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Clemliton Alves da Silva

Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão – UEMASUL

71

72

73

74


75

76

77

78

79

Documento assinado digitalmente
 **DEUCLEITON JARDIM AMORIM**
Data: 31/07/2025 14:49:46-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Deucleiton Jardim Amorim

Universidade Estadual Paulista ‘Júlio de Mesquita Filho’ – UNESP


80

81

82

83

84

Documento assinado digitalmente
 **RAISSA RACHEL SALUSTRIANO DA SILVA MATOS**
Data: 31/07/2025 14:37:57-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dra. Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos

Universidade Federal do Maranhão - UFMA

88 **BACTÉRIAS *Priestia aryabhatai* E *Azospirillum brasilense* NA PRODUTIVIDADE**
89 **DA MANDIOCA.**

90 Givaldo de Oliveira Lima Júnior¹, Clemilton Alves da Silva², Weverton Pereira Rodrigues³

91

92 ¹Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL), Av. Brejo do

93 Pinto, S/N, 65975-000, Estreito, MA. Brasil. E-mail: givaldo.junior@uemasul.edu.br

94

95 ²Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL), Av. Brejo do

96 Pinto, S/N, 65975-000, Estreito, MA. Brasil. E-mail: clemilton.silva@uemasul.edu.br

97

98 ³Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL), R. Godofredo

99 Viana, 1300 – Centro, CEP: 65901- 480, Imperatriz-MA. E-mail:

100 weverton.rodrigues@uemasul.edu.br

101

102

103

104

105

106

107

108

109

110

111

112

113

114

115

116

117

118 RESUMO

119 O trabalho avaliou a produtividade da mandioca sob inoculação com *Priestia aryabhatai*
120 e *Azospirillum brasilense* em sistema de agricultura familiar. O experimento foi conduzido
121 em delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições em esquema fatorial triplo
122 $2 \times 2 \times 2+1$, correspondendo a dois métodos de aplicação (imersão e sulco), duas posições
123 da maniva (horizontal e vertical) e duas bactérias (*Priestia aryabhatai* e *Azospirillum*
124 *brasilense*) e testemunha adicional (tratamento controle). Foram analisadas as variáveis
125 produtividade, número, comprimento, diâmetro médio das raízes e teor de amido. O
126 método de aplicação influenciou significativamente a produtividade e o diâmetro das
127 raízes, sendo a aplicação em sulco superior à imersão. Houve interação significativa entre
128 posição da maniva e bactéria, com destaque para o uso de *P. aryabhatai* associado ao
129 plantio vertical, com produtividade de 35,47 t ha⁻¹. A interação tripla (bactéria x método x
130 posição), foi significativa para o comprimento das raízes e teor de amido, cuja média geral
131 foi de 30,63%. As análises de correlação apontam uma associação positiva e significativa
132 entre produtividade e número de raízes ($r = 0,91$), e entre produtividade e diâmetro médio
133 das raízes ($r = 0,89$). O uso de bioinsumos, especialmente *P. aryabhatai* via sulco com
134 maniva em posição vertical, é uma alternativa viável para elevar a produtividade de
135 mandioca em áreas familiares, contribuindo com o aumento da eficiência agrônômica e
136 segurança alimentar.

137 **PALAVRA-CHAVE:** *Manihot esculenta*, *Priestia aryabhatai*, *Azospirillum brasilense*,
138 crescimento de plantas, bioinsumos.

139

140 ABSTRACT

141 The study evaluated cassava productivity under inoculation with *Priestia aryabhatai* and
142 *Azospirillum brasilense* in a family farming system. The experiment was conducted in a
143 randomized block design with four replications, using a $2 \times 2 \times 2 + 1$ triple factorial
144 scheme, corresponding to two application methods (immersion and furrow), two cutting
145 positions (horizontal and vertical), two bacterial strains (*Priestia aryabhatai* and
146 *Azospirillum brasilense*), and an additional control treatment. The variables analyzed were
147 yield, number, length, average diameter of roots, and starch content. The application
148 method significantly influenced yield and root diameter, with furrow application
149 outperforming immersion. A significant interaction was observed between cutting position
150 and bacterial strain, with *P. aryabhatai* combined with vertical planting showing the
151 highest yield (35.47 t ha⁻¹). The triple interaction (bacteria \times method \times position) was
152 significant for root length and starch content, with an overall mean of 30.63%. Correlation
153 analyses revealed a positive and significant association between yield and number of roots
154 ($r = 0.91$), as well as between yield and average root diameter ($r = 0.89$). The use of
155 bioinputs, particularly *P. aryabhatai* applied in furrow with vertical cutting position,
156 represents a viable strategy to increase cassava productivity in family farming systems,
157 contributing to greater agronomic efficiency and food security.

158 **KEYWORDS:** *Manihot esculenta*, *Priestia aryabhatai*, *Azospirillum brasilense*, plant
159 growth, bioinputs

160 INTRODUÇÃO

161 A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) é uma cultura de importância social,
162 econômica e alimentar para o Brasil, principalmente para a agricultura familiar, sendo
163 reconhecida por sua ampla adaptabilidade e múltiplos usos, que vão desde a alimentação
164 humana e animal até as indústrias de papel, farmacêutica e cosmética (EMBRAPA 2021).

165 No Brasil, a mandioca ocupa cerca de 1,3 milhão de hectares, com produção
166 estimada em mais de 17 milhões de toneladas (EMBRAPA 2022). A Região Nordeste
167 responde por aproximadamente 21% desse total. No Maranhão, a área de cultivo é de
168 cerca de 52.241 hectares, com produção estimada em 422 mil toneladas, gerando um
169 faturamento de R\$216 milhões para mais de 80 mil produtores rurais (SENAR-MA 2023).

170 Embora relevante para o Maranhão, a produtividade média estadual é de apenas
171 8,08 t/ha, cerca de 47% inferior à média nacional, de 15,30 t/ha (EMBRAPA 2022). Esse
172 baixo desempenho da mandiocultura está diretamente relacionado à limitação tecnológica
173 no cultivo, destacando-se o uso de manivas-semente de baixa qualidade e a ausência de
174 práticas inovadoras. A maniva, principal insumo da mandiocultura, influencia
175 diretamente a produtividade; quando utilizada sem critérios fitossanitários adequados,
176 compromete o rendimento das plantações (Souza e Kalid 2022).

177 Além da sua relevância econômica, a mandioca desempenha papel crucial na
178 segurança alimentar, sendo considerada um dos alimentos estratégicos do século XXI
179 pela Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO 2013),
180 especialmente em regiões vulneráveis. Segundo dados do IBGE (2022), mais de 60% da
181 população do Maranhão apresenta algum grau de insegurança alimentar, reforçando a

182 necessidade de soluções tecnológicas acessíveis para melhorar a produtividade e garantir
183 o abastecimento alimentar.

184 Nesse contexto, torna-se necessário estudar práticas sustentáveis que aumentem a
185 produtividade da cultura, como o uso de microrganismos promotores de crescimento de
186 plantas (BPCPs), alternativa viável e eficiente para potencializar o desenvolvimento da
187 mandiocultura. Entre os BPCPs, destacam-se *Priestia aryabhatai*, com capacidade de
188 fixação biológica de nitrogênio e produção de fitohormônios, e *Azospirillum brasilense*,
189 conhecido por melhorar a tolerância ao estresse hídrico, antecipar a colheita e aumentar
190 a produtividade sem comprometer a qualidade das raízes (Wang et al. 2022; Zhou et al.
191 2024).

192 O uso desses microrganismos tem se mostrado promissor. Por exemplo, a ação de
193 *P. aryabhatai* no cultivo de arroz (*Oryza sativa*) resultou em maior crescimento
194 vegetativo, produção de clorofila e absorção de nutrientes (BHARTI 2017). Na cultura
195 do milho (*Zea mays*), a aplicação de *A. brasilense*, associada à adubação recomendada,
196 proporcionou aumento de produtividade de 27%. De forma semelhante, Cassán (2019)
197 observou, em trabalhos com milho e soja, que a coinoculação com *A. brasilense* e
198 *Bradyrhizobium* elevou o rendimento das culturas em 15,4%, reduzindo a necessidade de
199 fertilizantes químicos.

200 Apesar da relevância dos microrganismos em culturas agrícolas, estudos nessa
201 área ainda são incipientes na mandiocultura, considerando o potencial das BPCPs e a
202 necessidade de soluções tecnológicas adaptadas à realidade da agricultura familiar. Diante
203 disso, o presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito das bactérias *A. brasilense* e
204 *P. aryabhatai* como estratégia para aumentar a produtividade da mandioca.

205 MATERIAL E MÉTODOS

206 A pesquisa foi desenvolvida em uma propriedade familiar no município de Porto
207 Franco (06° 20' 18" S, 47° 23' 57" W e altitude de 162 m), Maranhão, Brasil, no período
208 de 05 de outubro de 2024 a 05 de maio de 2025, totalizando 7 meses de experimento. O
209 clima do município, conforme classificação Köppen, é tipo Aw, com estações chuvosas
210 e secas bem definidas (Álvares, 2013).

211 O experimento foi implantado em uma área de 15 m x 20 m, totalizando 300 m²,
212 e disposto em delineamento em blocos casualizados com quatro repetições utilizando o
213 esquema fatorial triplo 2 x 2 x 2 + 1, referentes a duas posições de maniva (horizontal e
214 vertical), duas bactérias (*P. aryabhatai* e *A. brasilense*) e dois métodos de inoculação
215 (imersão e direto em sulco de plantio), além de um tratamento adicional (padrão utilizado
216 na região).

217 No processo de inoculação das manivas, foi utilizada solução com proporção
218 composta por 5 litros de água para 90 mL da bactéria *P. aryabhatai*, a mesma proporção
219 sendo empregada para *A. brasilense*. Os tratamentos culturais, como controle de plantas
220 daninhas, calagem e controle de pragas e doenças, foram realizados de acordo com o
221 recomendado para a cultura (Fialho *et al.* 2017).

222 Aos 212 dias após inoculação, foram avaliadas 3 plantas para as seguintes
223 variáveis: a) peso total das raízes por planta (PTRP) – calculado com balança e expresso
224 em quilos (kg); b) peso total das raízes por área plantada (PTR) – calculado com balança
225 e expresso em toneladas por hectare (t/ha); c) número de raízes por planta (NRP) –
226 realizado por meio de contagem, considerando apenas raízes comerciais; d) peso médio
227 das raízes por planta (PMRP) – calculado individualmente com balança; e) comprimento

228 das raízes (CMR) – expresso em centímetros e medido com régua; f) diâmetro das raízes
229 (DMR) – determinado na região central da raiz, calculado com paquímetro e expresso em
230 centímetros. As avaliações das variáveis agrônômicas foram realizadas de acordo com as
231 recomendações de Cardoso (2014).

232 Para avaliação da variável teor de amido (TDA), as raízes foram lavadas,
233 descascadas e pesadas (500 g de cada amostra), cortadas em cubos e posteriormente
234 trituradas com liquidificador industrial na proporção 500 g de raiz para 1 L de água até
235 atingir a homogeneidade. Em seguida, foram transferidas para béqueres de 1000 mL e
236 deixadas em repouso por 24 horas, para que ocorresse a decantação e formação de um
237 precipitado branco, o amido.

238 Após 24 horas, os béqueres foram levados para estufa com circulação forçada de
239 ar, a 65 °C por 3 horas, garantindo a desidratação do material. Essa metodologia foi
240 adaptada a partir do recomendado por Veloso (2019). Para este trabalho, o teor ideal de
241 amido foi considerado acima de 30% (Anjos 2014).

242 A estimativa do teor de amido foi adaptada de acordo com o método proposto por Devos
243 et al. (2018), utilizando a fórmula abaixo:

$$244 \text{ Rendimento de amido (\%)} = \frac{\text{Massa do amido obtido (g)}}{\text{Massa da raiz (g)}} \times 100$$

245 Após coleta e tabulação, os dados foram submetidos ao teste de normalidade pelo
246 método de Shapiro-Wilk e, confirmada a normalidade, realizou-se a análise de variância
247 (ANOVA) e, quando significativa ($p < 0,05$), as médias dos tratamentos foram comparadas
248 pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, com auxílio do programa Agro Estat (Barbosa
249 e Maldonado 2015).
250

251 RESULTADOS E DISCUSSÕES

252 Houve diferenças significativas entre os níveis dos fatores, quando analisados
 253 isoladamente (Fator B - método de inoculação), e por meio de interações duplas (AxB -
 254 posição x método de inoculação) e (AxC - posição x bactérias) para as variáveis
 255 produtividade (PROD) e diâmetro médio das raízes (DMR), e diferença na interação tripla
 256 (interação AxBxC - posição x método x bactéria) para teor de amido (TDA) e
 257 comprimento médio das raízes (CMR) (Tabela 1).

258 Tabela 1. Quadrados médios da análise de variância para os efeitos principais e interações
 259 entre fatores, para variáveis agrônômicas avaliadas em plantas mandioca submetidas aos
 260 efeitos de bactérias promotoras de crescimento.

Variáveis	Quadrados médios				Média	CV (%)
	QMB	QMAB	QMAC	QMABC		
TDA	0,36 ^{ns}	1,27 ^{ns}	2,15 ^{ns}	20,96*	30,63	6,25
PROD	481,81**	32,58 ^{ns}	434,75*	138,81 ^{ns}	27,98	27,14
NRP	8,68 ^{ns}	0,01 ^{ns}	8,68 ^{ns}	0,89 ^{ns}	7,72	21,21
CMR	2,27 ^{ns}	8,49 ^{ns}	20,36 ^{ns}	69,28*	29,51	12,62
DMR	38,41*	26,82*	29,83*	20,11 ^{ns}	40,72	5,59

270 TDA – teor de amido (%); PROD – produtividade (t ha⁻¹); NRP – número de raízes por
 271 planta; CMR – comprimento médio das raízes (cm); DMR – diâmetro médio das raízes
 272 (mm); CV – coeficiente de variação; ns – não significativo; * – significativo a 5% de
 273 probabilidade pelo teste F; ** – significativo a 1% de probabilidade pelo teste F. O
 274 quadrado médio do fator método de aplicação (QMB) apresentou significância para
 275 diâmetro (p = 0,0113) e produtividade (p = 0,0075). A interação entre bactéria e método
 276 de aplicação (QMAB) foi significativa para o diâmetro (p = 0,0312). Já a interação entre
 277 bactéria e posição de plantio (QMAC) foi significativa tanto para diâmetro (p = 0,0237)
 278 quanto para produtividade (p = 0,0106). A interação tripla entre bactéria, método de
 279 aplicação e posição de plantio (QMABC) apresentou significância para o comprimento
 280 das raízes (p = 0,0339).
 281

282 A interação tripla (A×B×C) pressupõe que o teor de amido depende da
 283 combinação simultânea desses três fatores. Resultados similares foram observados por
 284 Silva et al. (2023), que demonstraram que a inoculação de mandioca com cepas de A.
 285 brasilense aumentou significativamente o crescimento e o teor de nitrogênio foliar,
 286 especialmente sob condições de baixo nitrogênio mineral.

287 Esses achados reforçam que os efeitos agronômicos da bactéria dependem da
288 interação com práticas de manejo, alinhando-se à interação encontrada neste estudo. Além
289 disso, Silva et al. (2023) demonstraram que, na mandioca, o teor de amido apresentou
290 variações apenas em combinações específicas entre bactéria, método de aplicação e
291 posição, evidenciando a necessidade de um manejo integrado para otimizar essa
292 característica.

293 O comprimento médio de raízes (CMR), considerando a interação tripla
294 ($A \times B \times C$), demonstra que o comprimento das raízes também está condicionado à
295 interação simultânea dos três fatores.

296 O diâmetro das raízes respondeu aos fatores de manejo aplicados, como o método
297 de aplicação (QMB – $p = 0,0113$), a interação entre posição e método de inoculação
298 (QMAB – $p = 0,0312$), e a interação posição da maniva e bactérias (QMAC – $p = 0,0237$).
299 A interação entre a bactéria *P. aryabhatai* e a posição de plantio vertical obteve melhor
300 desempenho quando comparada ao plantio horizontal (Tabela 2), corroborando com May
301 et al. (2019), que observaram maior desenvolvimento radicular com a inoculação de *P.*
302 *aryabhatai* associada a condições de maior aeração e menor compactação do solo, como
303 ocorre na posição vertical de plantio, favorecendo o desenvolvimento das raízes.

304 Tabela 2. Médias das variáveis produtividade de raízes (t/ha) e diâmetro médio de raízes
305 (mm) em função da interação entre bactérias e posição da maniva ($A \times C$) comparadas pelo
306 teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

307
308

Bactérias (Fator C)	Posição (Fator A)	
	Vertical	Horizontal
	Produtividade (t/ha)	Diâmetro (mm)
<i>B. aryabhatai</i>	35,47 a	42,22 a
<i>A. brasilense</i>	25,64 b	39,34 b

317 Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo
 318 teste de Tukey a 5% de probabilidade.
 319

320 Para a variável número de raízes por planta, nenhum dos efeitos principais ou de
 321 interações foi estatisticamente significativo ($p > 0,05$). Apesar do resultado, é possível
 322 supor que a aplicação em sulco possa favorecer a formação de maior número de raízes,
 323 resultantes dos efeitos fisiológicos da bactéria em interação com a planta, e que podem
 324 ser detectados em condições experimentais mais sensíveis ou com maior número de
 325 repetições. Tal hipótese encontra respaldo em estudos realizados com outras culturas; por
 326 exemplo, em tomate, a inoculação com *A. brasilense* induziu a formação de raízes laterais
 327 por meio da produção de óxido nítrico, indicando a atuação dessa bactéria no
 328 desenvolvimento radicular (Creus et al. 2005).

329 O comprimento das raízes foi influenciado apenas pela interação tripla entre
 330 bactéria, método de aplicação e posição da maniva ($A \times B \times C$) (QMABC – $p = 0,0339$)
 331 (Tabela 1), resultado que sugere que os fatores isolados não foram suficientes para alterar
 332 o crescimento radicular, sendo necessária a combinação dos três fatores para promover
 333 raízes mais longas. A dependência de fatores combinados está em consonância com
 334 pesquisas sobre desenvolvimento da cultura da mandioca sob diferentes bioinsumos.

335 Santos (2024) verificou que a inoculação de fungos micorrízicos favoreceu
 336 significativamente o comprimento das raízes, além de aumentar produtividade e
 337 parâmetros morfofisiológicos em mandioca.

338 Para a variável produtividade (PROD), os efeitos foram significativos para
 339 métodos de inoculação (QMB – $p = 0,0075$) e para a interação entre posições da maniva
 340 e bactérias (QMAC – $p = 0,0106$), com valor de $p < 0,05$ para ambos (Tabela 1). A
 341 interação significativa entre bactérias e posição da maniva mostrou que a bactéria *P.*
 342 *aryabhatai* teve melhor desempenho produtivo quando associada ao plantio vertical
 343 (Tabela 2), resultado que pode estar relacionado à sua ação promotora de crescimento
 344 radicular. Esse padrão também foi observado por May et al. (2019), em cana-de-açúcar,
 345 onde *P. aryabhatai* aumentou a biomassa radicular mesmo sob estresse hídrico,
 346 reforçando sua eficácia em condições extremas.

347 O método de aplicação em sulco promoveu produtividade e diâmetro
 348 significativamente superior à aplicação por imersão, evidenciando que o método de
 349 aplicação tem forte efeito no desempenho da cultura (Tabela 3).

350 Tabela 3. Médias das variáveis produtividade de raízes (t/ha) e diâmetro médio de raízes
 351 (mm) comparadas entre os níveis do fator B (método de aplicação).

Método de Aplicação (Fator B)	Produtividade (t/ha)	Diâmetro (mm)
Em sulco	32,25 a	41,87 a
Imersão	24,49 b	39,68 b

Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

352 Esses resultados se assemelham aos achados de Fukami et al. (2016), que
353 avaliaram diferentes formas de inoculação com *A. brasilense* em milho e trigo,
354 verificando que a inoculação no sulco foi tão eficaz quanto ou superior à via tradicional
355 de sementes. Hungria et al. (2025) também observaram ganhos produtivos expressivos
356 em cana-de-açúcar com aplicação direta no sulco, associando esse efeito à maior
357 colonização radicular e aproveitamento do inoculante.

358 A variável teor de amido (TDA) expressou média geral de 30,63% (Tabela 1),
359 valor considerado adequado para atender às exigências da indústria, que demanda raízes
360 com teor superior a 30% para a extração eficiente de amido, conforme apontado por Anjos
361 et al. (2014). Esse resultado sugere que, de maneira geral, os tratamentos avaliados
362 possibilitaram o alcance do teor mínimo desejável, indicando que as combinações de
363 manejo aplicadas foram eficazes em manter a qualidade industrial das raízes. A interação
364 significativa entre posição da maniva, bactéria e método de aplicação indica que o teor de
365 amido é sensível às condições de manejo, sendo necessária uma interação para otimizar
366 esse atributo.

367 A variável produtividade (PROD) resultou em média geral de 27,98 t ha⁻¹ (Tabela
368 1), valor superior à média estadual de 8,08 t ha⁻¹ (EMBRAPA 2022), evidenciando o
369 potencial dos tratamentos com bactérias promotoras de crescimento para incrementar o
370 rendimento da cultura. Ao comparar as combinações dos fatores, observou-se amplitude
371 considerável entre os tratamentos, com destaque para a combinação A1B2C2 (*A.*
372 *brasilense*, aplicação em sulco e maniva vertical), que atingiu a maior produtividade
373 (37,33 t ha⁻¹). Esses dados reforçam a influência significativa dos métodos de inoculação

374 e da interação entre bactéria e posição da maniva na maximização do desempenho
375 produtivo, indicando que ajustes no manejo podem potencializar o aproveitamento na
376 cultura da mandioca em sistemas de produção familiar.

377 Os coeficientes de variação (CV) oscilaram de 5,59% (DMR) a 27,14% (PROD), valores
378 considerados adequados para experimentos de campo (Pimentel Gomes 2009), o que
379 indica boa precisão experimental e redução dos fatores residuais inerentes ao
380 experimento.

381 As médias dos tratamentos, para a variável produtividade, resultantes da combinação
382 tripla entre os fatores bactéria, método de aplicação e posição da maniva, foram divididas
383 em dois grupos, mostrando diferenças estatísticas significativas pelo teste de Tukey a 5%
384 de probabilidade. O primeiro grupo de média foi composto por aproximadamente 90%
385 dos tratamentos comparados, e o segundo grupo foi composto pelo tratamento isolado
386 A2B1C2, correspondente à aplicação de *P. aryabhattai* via imersão com maniva em
387 posição vertical, que apresentou desempenho inferior, com média de 17,59 t ha⁻¹, sendo
388 estatisticamente distinta dos demais tratamentos (Tabela 4). De modo complementar, a
389 comparação entre as combinações triplas com o tratamento adicional (controle) também
390 não mostrou diferença significativa pelo teste de Dunnett.

395
396 Tabela 03. Comparação entre médias dos tratamentos (combinação de níveis dos fatores
397 triplo), e comparação com tratamento adicional para variável produtividade submetidas
398 aos testes de Tukey e Dunnett.

399

400

401

402

403

404

405

406

Tratamentos	Médias (tha⁻¹)
A1B1C1	19.84a ^{ns}
A1B1C2	33.61a ^{ns}
A1B2C1	27.61a ^{ns}
A1B2C2	37.33a ^{ns}
A2B1C1	26.9 a ^{ns}
A2B1C2	17.59b ^{ns}
A2B2C1	30.37a ^{ns}
A2B2C2	33.68a ^{ns}
TADC	24.89

407

408 Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de
 409 Tukey a 5% de significância. DMS (diferença mínima de significância =17,66).^{ns} Não
 410 significativo a 5% pelo teste de Dunnet. DMS (diferença mínima de significância =15,35).
 411 TADC- Testemunha adicional.

412

413

414

415

416

417

418

419

420

421

422

423

424

425

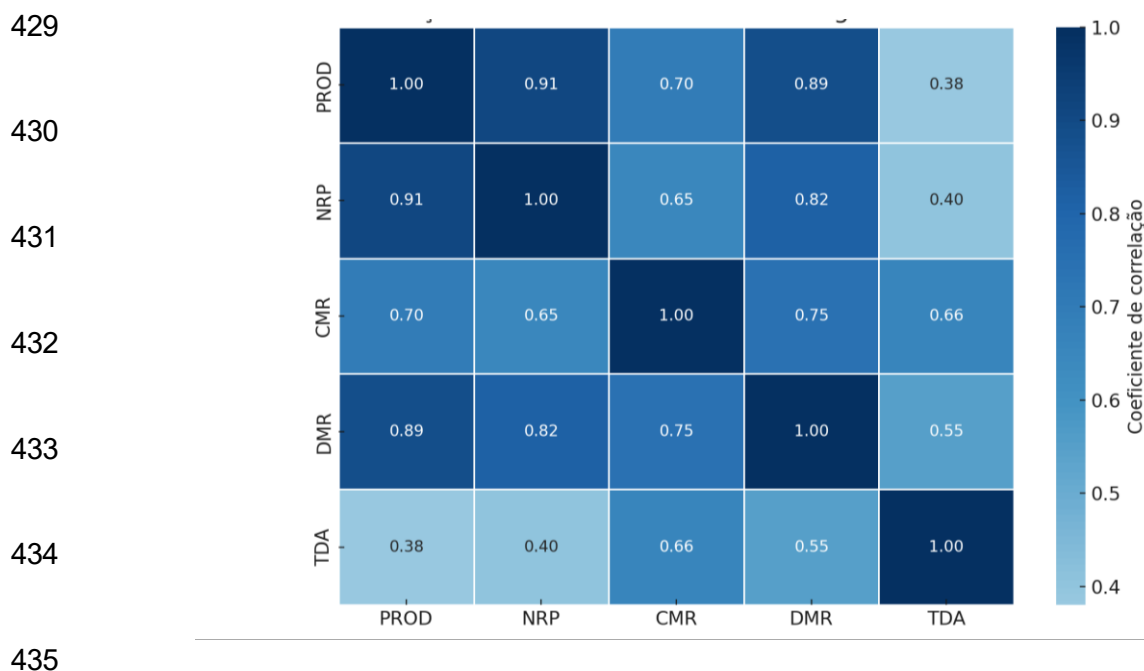
426

427

428

Com o objetivo de compreender as relações entre as variáveis avaliadas no experimento, foi realizada uma análise de correlação de Pearson, a 5% de significância com base nas médias dos tratamentos. A matriz de correlação permitiu estimar o grau de associação linear entre produtividade, número de raízes por planta, comprimento, diâmetro das raízes e teor de amido. (Figura 2), os coeficientes variam de -1 a +1, sendo o menor valor de correlação entre as variáveis (TDA x PROD), (TDA x NRP) e (TDA x DMR) e variáveis de maior correlação, foram (PROD x NRP), (PROD x DMR), onde valores próximos de +1 indicam correlação positiva forte, próximos de -1 indicam correlação negativa forte e valores próximos de 0 indicam ausência de correlação linear.

Figura 2. Matriz de correlação de Pearson, a 5% de probabilidade, entre variáveis TDA – teor de amido (%); PROD – produtividade (t ha⁻¹); NRP – número de raízes por planta; CMR – comprimento médio das raízes (cm); DMR – diâmetro médio das raízes em plantas de mandioca submetidas aos efeitos de bactérias promotoras de crescimento.



436 O coeficiente de correlação de Pearson indicou correlação positiva e de alta
 437 magnitude entre produtividade e número de raízes por planta ($r = 0,91^*$), bem como entre
 438 produtividade e diâmetro médio das raízes ($r = 0,89^*$), indicando que essas características
 439 estão fortemente relacionadas ao aumento do rendimento da cultura. Além disso, houve
 440 correlação de magnitude média entre produtividade e comprimento das raízes ($r = 0,70$),
 441 reforçando a importância do desenvolvimento radicular para a produtividade. Segundo
 442 Cardoso (2014), diâmetro e comprimento são determinantes no desempenho agrônomo
 443 de genótipos voltados à indústria, e Silva et al. (2023) reforçam que raízes mais espessas
 444 e desenvolvidas estão associadas à maior produtividade.

445 Souza e Kalid (2022) também destacam o número de raízes comerciais como
 446 variável explicativa da produção em sistemas familiares, o que corrobora os dados obtidos
 447 neste estudo. Fialho et al. (2017) apontam ainda que a estrutura radicular afeta
 448 diretamente o crescimento da planta ao influenciar a absorção de água e nutrientes.

449 Em relação ao teor de amido (TDA), foram observadas correlações moderadas
450 com o comprimento ($r = 0,66$) e com o diâmetro das raízes ($r = 0,55$), enquanto a
451 correlação com a produtividade foi baixa ($r = 0,38$). Esses dados indicam que, embora
452 raízes mais volumosas tendem a apresentar maior teor de amido, como descrito por
453 Veloso (2019), essa variável isolada não é determinante para o rendimento total da
454 cultura, sugerindo que a produtividade da mandioca está fortemente associada aos
455 aspectos morfológicos das raízes quando comparada ao teor de amido.

456 CONCLUSÃO

457 A utilização das bactérias *Priestia aryabhatai* e *Azospirillum brasilense*,
458 combinadas a práticas específicas de manejo, demonstra ser uma estratégia eficiente e
459 acessível para aumentar a produtividade da mandioca em sistemas de agricultura familiar.
460 O método de aplicação em sulco, especialmente quando associado ao plantio vertical e à
461 inoculação com *P. aryabhatai*, proporciona ganhos significativos em produtividade e
462 diâmetro das raízes. Os resultados evidenciam que a adoção integrada de bioinsumos e
463 práticas adequadas de plantio supera limitações tecnológicas comuns em áreas de
464 pequenos produtores, contribuindo para o fortalecimento da segurança alimentar e
465 geração de renda.

466 REFERÊNCIAS

- 467 ALVARES, C. A. (2013). Mapa de classificação climática de Köppen para o Brasil.
468 *Meteorologische Zeitschrift*, 6, 711–728.
- 469 ANJOS, D. (2014). Desempenho de genótipos de mandioca promissores para indústria.
470 *Enciclopédia Biosfera*, 10(18), 785–793.

- 471 BARBOSA, J. C., e MALDONADO, W. (2015). *Agro estat: Sistema para análises*
472 *estatísticas de ensaios agronômicos*. **Jaboticabal**: FCAV/UNESP.
- 473 BHARTI, N. (2017). Plant growth promoting rhizobacteria *Bacillus aryabhatai*
474 modulates the expression of stress responsive genes providing protection against salinity
475 stress in rice. **PLOS ONE**, 12(3), e0173203.
- 476 CARDOSO, A. D. (2014). Avaliação de variedades de mandioca tipo indústria. *Magistra*,
477 26(4), 456–466.
- 478 CASSÁN, F. (2019). Agronomic effectiveness of *Azospirillum* spp. inoculation in field-
479 grown cereals and legumes. **PLOS ONE**, 14(4), e0215332.
- 480 CREUS, C. M. (2005). Nitric oxide is involved in the *Azospirillum brasilense*-induced
481 lateral root formation in tomato. *Planta*, 221, 297–303. [https://doi.org/10.1007/s00425-](https://doi.org/10.1007/s00425-004-1447-4)
482 004-1447-4
- 483 DEVOS, R. J. B., PESSUTTO, I., ORO, T., e GUTKOSKI, L. C. (2018). Extração e
484 caracterização de amidos de milho. In: *Simpósio Internacional de Alimentos e Laticínios*,
485 Passo Fundo. **Anais... Passo Fundo: Universidade de Passo Fundo**, p. 1–8. Disponível
486 em: [https://www.upf.br/_uploads/Conteudo/simposio-sial-anais/2018/ciencia/c-51.pdf](https://www.upf.br/uploads/Conteudo/simposio-sial-anais/2018/ciencia/c-51.pdf).
487 Acesso em: 29 maio 2025.
- 488 EMBRAPA. (2021). Disponível em: [https://www.embrapa.br/mandioca-e-](https://www.embrapa.br/mandioca-e-fruticultura/cultivos/mandioca)
489 [fruticultura/cultivos/mandioca](https://www.embrapa.br/mandioca-e-fruticultura/cultivos/mandioca). Acesso em: 24 maio 2024.
- 490 EMBRAPA. (2022). Produção brasileira de mandioca em 2022: área colhida, produção e
491 rendimento (ha, t, t/ha). Cruz das Almas: **Embrapa Mandioca e Fruticultura**.

- 492 Disponível em:
493 https://www.cnpmf.embrapa.br/Base_de_Dados/index_pdf/dados/brasil/mandioca/b1_m
494 [andioca.pdf](#). Acesso em: 14 jul. 2025.
- 495 FAO – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A ALIMENTAÇÃO E
496 AGRICULTURA. (2013). FAO lança guia sobre produção de mandioca em português.
497 Brasília: ONU Brasil. Disponível em: [https://brasil.un.org/pt-br/62785-fao-](https://brasil.un.org/pt-br/62785-fao-lan%C3%A7a-guia-sobre-produ%C3%A7%C3%A3o-de-mandioca-em-portugu%C3%AAs)
498 [lan%C3%A7a-guia-sobre-produ%C3%A7%C3%A3o-de-mandioca-em-](#)
499 [portugu%C3%AAs](#). Acesso em: 29 maio 2025.
- 500 FIALHO, J. F., VIEIRA, E. A., e BORGES, A. L. (2017). *Cultivo da mandioca para a*
501 *Região do Cerrado*.
- 502 FUKAMI, J. (2016). Accessing inoculation methods of maize and wheat with
503 *Azospirillum brasilense*. *AMB Express*, 6(1), 3. Disponível em:
504 <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1039673/1/135682015Article1>
505 [71.pdf](#). Acesso em: 13 jul. 2025.
- 506 HUNGRIA, J. A. (2025). *Azospirillum brasilense* in the Planting Furrow of Sugarcane to
507 Minimize the Use of N Fertilizer. *Plants, Basel*, 14(11), art. 1599. Disponível em:
508 <https://www.mdpi.com/2223-7747/14/11/1599>. Acesso em: 13 jul. 2025.
- 509 INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). (2024).
510 Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua: módulo Segurança Alimentar,
511 4º trimestre de 2023. Dados divulgados em 25 de abril de 2024. Disponível em:
512 ftp.ibge.gov.br/Perfil_Municipios/2023/Tabelas_de_Resultados/xls/04_Seguranca_alim
513 [entar.xls](#). Acesso em: jul. 2025.

- 514 MAY, A. (2019). Induction of drought tolerance by inoculation of *Bacillus aryabhatai*
515 on sugarcane seedlings. *Científica*, 47(1), 1–8. Disponível em:
516 <https://cientifica.dracena.unesp.br/index.php/cientifica/article/view/1258>. Acesso em: 29
517 jun. 2025.
- 518 PIMENTEL GOMES, F. (2009). *Curso de estatística experimental* (15. ed.). Piracicaba:
519 FEALQ.
- 520 SANTOS, C. H. dos. (2024). Análise do desenvolvimento da cultura da mandioca sobre
521 influência da inoculação com fungos micorrízicos. 27 f. **Trabalho de Conclusão de**
522 **Curso (Graduação em Engenharia Agrônômica)** – Centro Universitário Sagrado
523 Coração. Bauru. Disponível em:
524 <https://repositorio.unisagrado.edu.br/jspui/handle/4393/1>. Acesso em: 29 jun. 2025.
- 525 SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM RURAL – SENAR/MA. (2023). Do
526 solo à renda: mandioca no Maranhão bate recordes e garante sustentabilidade. São Luís:
527 SENAR-MA. Disponível em: [https://senar-ma.org.br/do-solo-a-renda-mandioca-no-](https://senar-ma.org.br/do-solo-a-renda-mandioca-no-maranhao-bate-recordes-e-garante-sustentabilidade/)
528 [maranhao-bate-recordes-e-garante-sustentabilidade/](https://senar-ma.org.br/do-solo-a-renda-mandioca-no-maranhao-bate-recordes-e-garante-sustentabilidade/). Acesso em: 29 maio 2025.
- 529 SILVA, P. S. T. (2023). Growth and nitrogen uptake by potato and cassava crops can be
530 improved by *Azospirillum brasilense* inoculation and nitrogen fertilization.
531 *Horticulturae*, 9(3), 301.
- 532 SOUZA, E., e KALID, R. (2022). Transferência de tecnologia no cultivo de mandioca –
533 o caso do Projeto Reniva. *Interações (Campo Grande)*, 23(2), 423–439. Disponível em:
534 <https://interacoes.ucdb.br/interacoes/article/view/3017>.

- 535 VELOSO, R. (2019). Extração de amido de mandioca, batata-doce e mangarito:
536 rendimento e uso na confecção de plástico biodegradável. **Faculdade de Agronomia e**
537 **Medicina Veterinária**. Universidade de Brasília, Brasília.
- 538 WANG, X. (2022). *Bacillus aryabhattai* LAD, a plant growth-promoting rhizobacterium,
539 enhances maize growth by regulating soil microbial community. *Journal of Basic*
540 *Microbiology*, 62(6), 631–644. Disponível em:
541 <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35603593/>. Acesso em: 29 maio 2025.