

Alan Mario Zuffo e Jorge González Aguilera
(Organizadores)



AGRICULTURA 4.0



Pantanal Editora

2020

Alan Mario Zuffo
Jorge González Aguilera
(Organizadores)

AGRICULTURA 4.0



Pantanal Editora

2020

Copyright[©] Pantanal Editora
Copyright do Texto[©] 2020 Os Autores
Copyright da Edição[©] 2020 Pantanal Editora
Editor Chefe: Prof. Dr. Alan Mario Zuffo
Editores Executivos: Prof. Dr. Jorge González Aguilera
Prof. Dr. Bruno Rodrigues de Oliveira

Diagramação: A editora
Edição de Arte: A editora
Revisão: Os autor(es), organizador(es) e a editora

Conselho Editorial

- Prof. Dr. Adailson Wagner Sousa de Vasconcelos – OAB/PB
- Profa. Dra. Albys Ferrer Dubois – UO (Cuba)
- Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – IF SUDESTE MG
- Profa. Msc. Aris Verdecia Peña – Facultad de Medicina (Cuba)
- Profa. Arisleidis Chapman Verdecia – ISCM (Cuba)
- Prof. Dr. Bruno Gomes de Araújo - UEA
- Prof. Dr. Caio Cesar Enside de Abreu – UNEMAT
- Prof. Dr. Carlos Nick – UFV
- Prof. Dr. Claudio Silveira Maia – AJES
- Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – UFGD
- Prof. Dr. Cristiano Pereira da Silva – UEMS
- Profa. Ma. Dayse Rodrigues dos Santos – IFPA
- Prof. Msc. David Chacon Alvarez – UNICENTRO
- Prof. Dr. Denis Silva Nogueira – IFMT
- Profa. Dra. Denise Silva Nogueira – UFMG
- Profa. Dra. Dennyura Oliveira Galvão – URCA
- Prof. Dr. Elias Rocha Gonçalves – ISEPAM-FAETEC
- Prof. Dr. Fábio Steiner – UEMS
- Prof. Dr. Gabriel Andres Tafur Gomez (Colômbia)
- Prof. Dr. Hebert Hernán Soto Gonzáles – UNAM (Peru)
- Prof. Dr. Hudson do Vale de Oliveira – IFRR
- Prof. Msc. Lucas R. Oliveira – Mun. de Chap. do Sul
- Prof. Dr. Leandro Argente-Martínez – ITSON (México)
- Prof. Msc. Javier Revilla Armesto – UCG (México)
- Prof. Dr. José Luis Soto Gonzales – UNMSM (Peru)
- Prof. Dr. Julio Cezar Uzinski – UFMT
- Prof. Msc. Marcos Pisarski Júnior – UEG
- Prof. Dr. Mario Rodrigo Esparza Mantilla – UNAM (Peru)
- Profa. Ma. Nila Luciana Vilhena Madureira – IFPA
- Prof. Dr. Rafael Chapman Auty – UO (Cuba)
- Prof. Dr. Rafael Felipe Ratke – UFMS
- Prof. Dr. Raphael Reis da Silva – UFPI
- Prof. Dr. Ricardo Alves de Araújo – UEMA
- Prof. Dr. Wéverson Lima Fonseca – UFPI
- Prof. Msc. Wesclen Vilar Nogueira – FURG
- Profa. Dra. Yilan Fung Boix – UO (Cuba)
- Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – UFT

Conselho Técnico Científico

- Esp. Joacir Mário Zuffo Júnior
- Esp. Maurício Amormino Júnior
- Esp. Tayronne de Almeida Rodrigues
- Bel. Ana Carolina de Deus

Ficha Catalográfica

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

A278 Agricultura 4.0 [recurso eletrônico] / Organizadores Alan Mario Zuffo, Jorge González Aguilera. – Nova Xavantina, MT: Pantanal, 2020. 114 p. : il.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-990641-5-9

DOI <https://doi.org/10.46420/9786599064159>

1. Agricultura – Brasil. 2. Ecologia agrícola. I. Zuffo, Alan Mario. II. Aguilera, Jorge González.

CDD 630

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

O conteúdo dos livros e capítulos, seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva do(s) autor (es). O download da obra é permitido e o compartilhamento desde que sejam citadas as referências dos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Pantanal Editora

Rua Abaete, 83, Sala B, Centro. CEP: 78690-000. Nova Xavantina – Mato Grosso – Brasil.

Telefone (66) 99682-4165 (Whatsapp).

<https://www.editorapantanal.com.br>.

contato@editorapantanal.com.br

APRESENTAÇÃO

Os avanços nas Ciências Agrárias têm promovido o desenvolvimento de inúmeras tecnologias que tende a proporcionar o incremento da produção de alimentos, a melhoria da qualidade de vida da população, a preservação e sustentabilidade do planeta. Assim, nesse e-book “Agricultura 4.0” tem trabalhos que visam otimizar a produção e/ou promover maior sustentabilidade nas técnicas aplicadas nos sistemas de produção das plantas.

Ao longo dos capítulos são abordados os seguintes temas: manejo da adubação nitrogenada no algodoeiro, sistemas agroflorestais, reguladores de crescimento *in vitro*, escoamento de commodities agrícolas, adubação nitrogenada e inoculação com *Azospirillum Brasilense* na cana-de-açúcar, efeito do pó de rocha no milho, desfolha e adubação nitrogenada na soja.

Portanto, esses conhecimentos irão agregar muito aos seus leitores que procuram promover melhorias quantitativas e qualitativas na produção de alimentos e, ou melhorar a qualidade de vida da sociedade. Sempre em busca da sustentabilidade do planeta.

Aos autores dos capítulos, pela dedicação e esforços sem limites, que viabilizaram esta obra que retrata os recentes avanços científicos e tecnológicos na área de Ciências Agrárias, os agradecimentos dos Organizadores e da Pantanal Editora.

Por fim, esperamos que este e-book possa colaborar e instigar mais estudantes e pesquisadores na constante busca de novas tecnologias. Assim, garantir uma difusão de conhecimento fácil, rápido para a sociedade.

Os organizadores


SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	4
CAPÍTULO I MANEJO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA PARA O ALGODOEIRO NO SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA–PECUÁRIA	6
CAPÍTULO II RIQUEZA E ESTRUTURA DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS BIODIVERSOS CONTRIBUEM PARA A RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS	26
CAPÍTULO III REGULADORES VEGETAIS NO CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO DE PLANTAS CULTIVADAS IN VITRO	46
CAPÍTULO IV ESCOAMENTO DE COMMODITIES AGRÍCOLAS BRASILEIRAS	58
CAPÍTULO V RESPOSTA DE VARIEDADES DE CANA-DE-AÇÚCAR À ADUBAÇÃO NITROGENADA E INOCULAÇÃO COM AZOSPIRILLUM BRASILENSE	79
CAPÍTULO VI RESIDUAL EFFECT OF ROCK DUST DOSES AFTER TWO YEARS OF APPLICATION IN MAIZE	97
CAPÍTULO VII DESFOLHA E ADUBAÇÃO NITROGENADA ASSOCIADA À INOCULAÇÃO DE BRADYRHIZOBIUM JAPONICUM NA SOJA	105
ÍNDICE REMISSIVO	114

Resposta de variedades de cana-de-açúcar à adubação nitrogenada e inoculação com *Azospirillum brasilense*


Recebido em: 06/05/2020

Aceito em: 10/05/2020

 10.46420/9786599064159cap5

Daniel Henrique Santana Rodrigues¹

Sara da Silva Abes¹

Fábio Steiner^{1*} 

INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) é uma das principais culturas energéticas do mundo, sendo cultivada em mais de 100 países. Atualmente, a cana-de-açúcar é considerada uma das grandes alternativas para o setor de biocombustíveis devido ao elevado potencial na produção de etanol e aos respectivos subprodutos. Além da produção de etanol e açúcar, as unidades de produção têm buscado operar com maior eficiência, inclusive com geração de energia elétrica, auxiliando na redução dos custos e contribuindo para a sustentabilidade da atividade sucroenergética (Santos; Borém, 2013).

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, tendo grande importância para o agronegócio brasileiro. No entanto, apesar do país ser o maior produtor de cana-de-açúcar do mundo, apresenta produtividade média relativamente baixa. Na safra 2019/2020, a produção nacional de cana-de-açúcar alcançou 643 milhões de toneladas de colmos, ocupando uma área de 8,5 milhões de hectares (Conab, 2019), o que corresponde a uma produtividade média de colmos de 75,6 Mg ha⁻¹, considerada baixa, uma vez que a cultura tem potencial para produtividades acima de 180 Mg ha⁻¹. As condições climáticas adversas e a baixa disponibilidade de nutrientes dos solos tropicais, especialmente de nitrogênio (N) têm sido apontados como os principais fatores que contribuem para a baixa produtividade da cultura de cana-de-açúcar no Brasil (Prado; Pancelli, 2008; Schultz et al., 2012; Abreu et al., 2013).

O adequado desenvolvimento dos canaviais e a obtenção de altas produtividades de colmos são dependentes do emprego de tecnologias apropriadas, com destaque para o

¹ Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS), Rod. 306, km 6,4, CEP 795400-000, Cassilândia, MS, Brasil.

* Autor de correspondência e-mail: steiner@uems.br.

adequado manejo da adubação nitrogenada. O nitrogênio é requerido em grandes quantidades pelas plantas de cana-de-açúcar. Estima-se que a cultura extrai em torno de 180 kg ha⁻¹ de N para produzir 100 Mg ha⁻¹ de colmos (Oliveira et al., 2011). A maior parte desta demanda é atendida pela adubação nitrogenada (Prado; Pancelli, 2008; Bastos et al., 2017), em complementação à quantidade fornecida pelo solo ou pelo processo de fixação biológica de nitrogênio (FBN) (Urquiaga et al., 2012; Schultz et al., 2012). A resposta de produtividade da cana-de-açúcar à adubação nitrogenada depende de diversos fatores que vão desde o material genético até as condições edafoclimáticas (Cabrera; Zuaznábar, 2010), embora, Pradi e Pancelli (2008) constataram que a cultura tem resposta em produtividade até a dose de 200 kg ha⁻¹ de N. No entanto, o adequado manejo do N no sistema solo-planta-palha é normalmente dificultado, devido à variabilidade dos processos de mineralização, lixiviação, volatilização, desnitrificação e extração pela cultura.

A adoção de práticas de manejo que possibilite otimizar a extração de N pela cultura de cana-de-açúcar são importantes para o setor sucroenergético, em razão do alto custo dos fertilizantes nitrogenados e das perdas de N no sistema solo-planta, que podem representar prejuízos aos agricultores e riscos ao ambiente pela contaminação da água e do solo (Udvardia et al., 2015). Nesse sentido, uma alternativa para melhorar a eficiência do uso de N e, conseqüentemente, reduzir o uso de fertilizantes nitrogenados na cultura, consiste na utilização de bactérias diazotróficas, capazes de promover a FBN (Schultz et al., 2012; Pereira et al., 2013; Gírio et al., 2015; Oliveira; Simões, 2016; Lopes et al., 2019).

As bactérias diazotróficas consistem num grupo de microorganismos capazes de converter o nitrogênio (N₂) presente na atmosfera em formas que podem ser assimiláveis pelas plantas (NH₃), por meio da FBN, processo esse diretamente influenciado pela enzima nitrogenase (Shin et al., 2016). O gênero *Azospirillum* é um dos grupos de microorganismos mais estudados para a inoculação em gramíneas de interesse agrônômico, destacando-se dentre os grupos de bactérias diazotróficas endofíticas com capacidade de fixação biológica de N e promover o crescimento das plantas. Estudos tem comprovado a eficiência da inoculação de *Azospirillum brasilense* na cultura da cana-de-açúcar resultando em maior desenvolvimento e produtividade de colmo (Moutia et al., 2010; Serna-Cock et al., 2011; Moura et al., 2019).

O *Azospirillum brasilense* é uma bactéria endofítica gram-negativas, capaz de fixar nitrogênio e colonizar todas as partes da planta, especialmente as raízes de uma ampla variedade de espécies gramíneas (Bashan; Holguin, 1997). Além da fixação de N₂ atmosférico, essas bactérias contribuem para maior desenvolvimento das plantas através de

diversos mecanismos como a síntese de substâncias promotoras de crescimento, como auxinas, giberilinas e citocininas, aumento da atividade da enzima nitrato redutase, indução da resistências das plantas aos estresses abióticos e bióticos, e a solubilização de fosfatos (Fukami et al., 2018).

Estudos realizados comprovam que a resposta dos genótipos de cana-de-açúcar à inoculação de *A. brasilense* é dependente das condições edafoclimáticas, sendo mais efetiva em solos de baixa e média fertilidade (Oliveira et al., 2006) e em condições ambientais adversas (Moutia et al., 2010). Os ganhos médios decorrentes da FBN no cultivo de cana-de-açúcar no Brasil são em torno de 40 kg ha⁻¹ de N (Urquiaga et al., 2012). Neste contexto, a utilização da inoculação com bactérias diazotróficas pode melhorar a contribuição da FBN para a produção da cultura de cana-de-açúcar, proporcionando uma agricultura de menor impacto ambiental e mais rentável devido a possibilidade de se reduzir o uso de fertilizantes nitrogenados na cultura. Portanto, torna-se importante compreender a resposta dos genótipos de cana-de-açúcar à inoculação de bactérias endofíticas e o quanto esta prática de manejo poderá reduzir a aplicação de fertilizantes nitrogenados.

Este estudo foi conduzido com o objetivo de avaliar a eficiência da inoculação das mudas pré-brotadas com *Azospirillum brasilense* e estabelecer a dose ideal suplementar de adubação nitrogenada em cobertura no desenvolvimento de variedades de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*).

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada em condições de casa de vegetação no Departamento de Produção Vegetal, da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul - UEMS, em Cassilândia, MS (19°05'30" S; 51°48'50" W e altitude de 540 m), no período de março a novembro de 2019. Durante o experimento, as condições ambientais no interior da casa de vegetação foram temperatura média do ar de 24 °C (\pm 4 °C) e umidade relativa do ar de 68% (\pm 6%).

Foram utilizadas amostras de um Neossolo Quartzarênico Órtico (NQo), com 130 g kg⁻¹ de argila, 30 g kg⁻¹ de argila e 840 g kg⁻¹ de areia, coletadas na camada de 0-0,20 m de profundidade, em uma área de pastagem nativa sem histórico de cultivo agrícola. Solo de áreas sem histórico de uso agrícola é considerado ideal para investigar a interação entre a inoculação de bactérias diazotróficas e o uso de nitrogênio. As análises químicas foram efetuadas seguindo indicações de Teixeira et al. (2017), e os resultados são apresentados a seguir: pH (CaCl₂) = 4,5, matéria orgânica = 6,5 g dm⁻³, P (Mehlich-1) = 4,8 mg dm⁻³, K =

0,08 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, Ca = 1,30 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, Mg = 0,40 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, H+Al = 3,70 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, Al = 0,55 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, CTC = 5,48 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ e V = 32%.

A correção da acidez do solo foi realizada com a aplicação de 820 g de calcário por dm^3 de solo (CaO: 28%; MgO: 12%; e, PRNT: 92%), visando elevar a saturação por base à 60% (Sousa; Lobato, 2004). Em seguida, o solo foi homogeneizado, umedecido até alcançar 80% da capacidade de retenção de água e incubado por 40 dias. Decorrido esse período, o solo foi fertilizado com 250 mg dm^{-3} de P (superfosfato triplo), 100 mg dm^{-3} de K (cloreto de potássio), 15 mg dm^{-3} de S (gesso agrícola), 2 mg dm^{-3} de Cu (sulfato de cobre), 2 mg dm^{-3} de Zn (sulfato de zinco), 1 mg dm^{-3} de Mo (molibdato de amônio) e 1 mg dm^{-3} de B (ácido bórico), transferido para vasos plásticos com capacidade para 12,0 dm^3 e submetido ao cultivo de cana-de-açúcar.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso em esquema fatorial $2 \times 5 \times 5$, constituídos por dois tratamentos de inoculação [sem (controle) e com inoculação de *Azospirillum brasilense*], cinco variedades de cana-de-açúcar (CTC 4, CTC 15, RB 867515, RB 966928 e SP 832847) e cinco doses de adubação nitrogenada em cobertura (0, 30, 60, 90 e 120 mg dm^{-3} de N), com quatro repetições. Cada unidade experimental foi constituída por um vaso plástico de 15 L contendo uma planta, perfazendo um total de 200 vasos.

A inoculação com *Azospirillum brasilense* foi realizada utilizando o inoculante comercial líquido AzoTotal® (Total Biotecnologia), contendo as estirpes AbV₅ e AbV₆ [concentração mínima de $2,0 \times 10^8$ unidades formadoras de colônias (UFC) por mL], na dose de 2,0 mL do inoculante por muda pré-brotada. A quantidade de inoculante utilizada foi diluída em uma solução contendo 2 mL de aditivo para inoculante Protege® TS (Total Biotecnologia) e, então, ambos os produtos (inoculante + aditivo) foram aplicados sobre as raízes das plantas por ocasião de transplante das mudas para os vasos, com o auxílio de uma pipeta graduada em mililitros. O aditivo para inoculante é constituído de metabólitos ativos de bactérias, complexo de açúcares e biopolímeros encapsulantes e tem a finalidade de melhorar a proteção e a viabilidade das bactérias no solo. A adubação nitrogenada em cobertura foi realizada aos 30 dias após o transplante das mudas na forma de solução diluída utilizando como fonte de fertilizante à ureia (45% de N).

O transplante das mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar para os vasos plásticos foi realizado aos 30 dias após a brotação. Os minirrebolos (segmentos de colmos com gemas individualizadas) de 3,0 cm de comprimento utilizados para a produção das mudas pré-brotadas (MPB) foram extraídos de colmos-sementes provenientes de viveiros comerciais de 10 meses de idade, da Usina Generalco S/A - Grupo Aralco, localizados em General Salgado

(SP). Os minirrebolos não receberam nenhum tratamento térmico e nem a aplicação de fungicida (Figura 1). As mudas pré-brotadas foram produzidas em caixas plásticas (42 × 28 × 6 cm), preenchidas com substrato comercial (Carolina Soil[®]), com as seguintes características: pH 5,6; 0,85 g dm⁻³ de N; 0,18 g dm⁻³ de P, 0,25 g dm⁻³ de K; 1,24 g dm⁻³ de Ca; 0,72 g dm⁻³ de Mg; 0,30 g dm⁻³ de S; 0,70 dS m⁻¹ de condutividade elétrica (CE); 76% de porosidade total e 55% de capacidade de retenção de água (Figura 1). Após o transplântio, os vasos foram mantidos em condições controladas de casa de vegetação e diariamente irrigados para manter o teor de água próximo à 80% da capacidade de retenção de água do solo (Figura 2).



Figura 1. Corte e seleção dos minirrebolos de cana-de-açúcar com 3,0 cm de comprimento (à esquerda). Plantio dos minirrebolos em bandejas plásticas contendo substrato comercial (no centro). Mudanças de cana-de-açúcar no início do período de brotação das gemas (à direita). UEMS/Cassilândia, 2019. Fonte: Os autores.



Figura 2. Desenvolvimento das plantas de cana-de-açúcar em condições de casa de vegetação aos 60 dias (à esquerda) e aos 150 dias após o plantio das mudas (à direita). UEMS/Cassilândia, 2019. Fonte: Os autores.

Aos 150 dias após o transplântio da cana-de-açúcar, as plantas foram retiradas dos vasos, e as raízes lavadas em água corrente sobre peneiras com malha de 1,0 mm, para remoção do solo. Em seguida, foram mensuradas as seguintes características morfológicas: altura de planta (AP), diâmetro do colmo (DC), número de folhas por planta (NF), número

de perfilhos (NP), área foliar (AF), matéria seca da parte aérea (MSPA) e matéria seca das raízes (MSR).

A AP foi determinada a partir do nível do solo até a altura de inserção da folha +1 (sistema de numeração de Kuijper). O DC foi mensurado na base do colmo principal, utilizando um paquímetro digital. A AF foi determinada seguindo metodologia proposta por Hermann e Câmara (1999). Após a contagem do número de folhas verdes por planta (folhas totalmente expandida com o mínimo de 20% de área verde), a área foliar foi estimada por meio da seguinte equação: $AF = C \times L \times 0,75 \times (N + 2)$, em que C é o comprimento da folha +1, L é a maior largura da folha +1 e N é o número de folhas verdes contadas a partir da folha +1. O sistema radicular e a parte aérea (folhas e colmos) foram separados, secados em estufa à 65 °C, até massa constante, e então pesados em balança semianalítica, para a determinação da MSR e da MSPA.

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e a significância dos efeitos das variedades e da inoculação com *Azospirillum brasilense* foram testados pelo teste t de Fisher (LSD) ao nível de 5% de probabilidade. Para as doses de N em cobertura foram utilizadas a análise de regressão polinomial e as equações significativas (teste F, $p \leq 0,05$) com os maiores coeficientes de determinação (R^2) foram ajustadas. As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o software Sisvar[®] versão 5.6 para Windows (Ferreira, 2014).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância reportou efeitos significativos ($p \leq 0,05$) para os efeitos isolados dos fatores variedades de cana-de-açúcar, inoculação de *A. brasilense* e aplicação de doses de N em cobertura para todas as características morfológicas (Tabela 1). Os efeitos da interação tripla entre os fatores variedades, inoculação com *A. brasilense* e aplicação de doses de N em cobertura foram significativos ($p \leq 0,05$) para todas as características morfológicas das plantas, exceto para o número de perfilhos por planta (Tabela 1). Estes resultados indicam que as variedades de cana-de-açúcar quando inoculadas e não com *A. brasilense* possuem respostas distintas à adubação nitrogenada em cobertura.

Os efeitos das doses de nitrogênio em cobertura na altura da planta e no diâmetro do colmo das variedades de cana-de-açúcar não inoculadas e inoculadas com *A. brasilense* são mostrados na Figura 3. As variedades CTC 4, CTC 15 e RB 96-6928 responderam positivamente à aplicação de N para a variável altura das plantas não inoculadas (Figura 3A). A variedade CTC 15 teve o máximo crescimento de altura das plantas não inoculadas com a aplicação de 91 mg dm⁻³ de N. Em contrapartida, as variedades CTC 4, CTC 15, RB 86-7515

e SP 83-2847 foram responsivas à aplicação de N para a variável altura de planta quando as plantas foram inoculadas com *A. brasilense* (Figura 3B). As variedades CTC 4 e CTC 15 apresentaram o máximo crescimento da altura das plantas com a aplicação de 70 e 89 mg dm⁻³ de N, respectivamente.

Tabela 1. Resumo da análise de variância para os efeitos isolados e associados da interação entre variedades, inoculação de *Azospirillum brasilense* e adubação nitrogenada em cobertura nas características morfológicas das plantas de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*).

Causas de variação	GL	Quadrados Médios						
		AP	DC	NF	NP	AF	MSPA	MSR
Bloco	3	605**	27,7**	7,4	0,69	98**	23	128
Variedade (V)	4	4408**	107,8**	380,2**	10,29**	462**	34624**	1893**
Inoculação (I)	1	8269**	230,7**	253,1**	6,38*	447**	13170**	836**
Dose nitrogênio (N)	4	2475**	10,0*	583,9**	3,01*	1786**	55740**	4689**
V × I	4	598**	13,1**	73,3**	1,30	80**	4775**	513**
V × N	16	234**	8,0**	24,0**	1,11	51**	3014**	341**
I × N	4	109	6,1	40,1**	1,59	68*	2055**	336**
V × I × N	16	338**	5,4*	20,5**	0,98	49**	1965**	216**
Resíduo	147	84	3,0	7,8	0,68	23	224	65
CV (%)		8,08	8,38	7,82	15,56	11,41	8,29	11,10

AP: altura de planta; DC: diâmetro do colmo; NF: número de folha por planta; NP: Número de perfilho; AF: Área foliar; MSPA: matéria seca da parte aérea; MSR: matéria seca das raízes; ** e * significativos a 1% e 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente. Fonte: Os autores.

Estes resultados sugerem que a inoculação com *A. brasilense* potencializou o efeito da aplicação de N em cobertura entre as variedades mais responsivas à altura da planta. Matoso et al. (2020) mostraram que as variedades de cana-de-açúcar possuem respostas distintas à inoculação com bactérias diazotróficas. Oliver e Silva (2018) relataram que a inoculação de bactérias diazotróficas pode otimizar a eficiência do uso do fertilizante nitrogenado nas doses de 60 e 90 kg ha⁻¹ de N, sendo possível obter aumentos de produtividade de colmo em doses mais baixas de N e em associação às bactérias diazotróficas. Por sua vez, Garcia et al. (2013) verificaram que a inoculação de bactérias diazotróficas proporcionou altura de planta para a variedade RB 86-7515 semelhante as plantas com a adubação mineral.

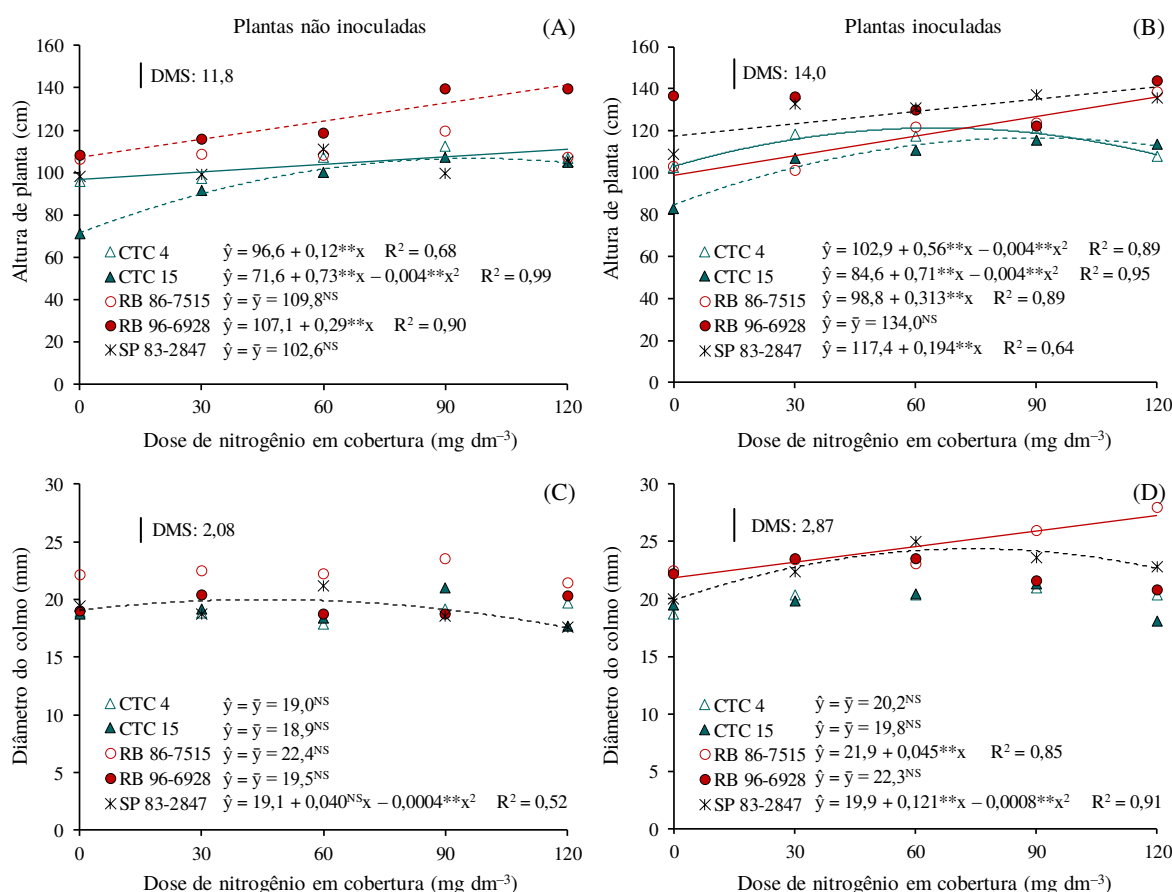


Figura 3. Efeito das doses de nitrogênio em cobertura na altura de planta (A e B) e no diâmetro do colmo (C e D) das variedades de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) não inoculadas (A e C) e inoculadas com *Azospirillum brasilense* (B e D). DMS: diferença mínima significativa do Teste t de Fisher (Teste LSD). ^{NS}: não significativo. ^{**}: significativo à 1% de probabilidade. Fonte: Os autores.

A variedade SP 83-2847 foi responsiva até a aplicação de 50 mg dm⁻³ para a variável diâmetro do colmo das plantas não inoculadas, ao passo que as demais variedades não demonstraram efeitos significativos para a aplicação de N em cobertura (Figura 3C). A variedade RB 86-7515 apresentou desenvolvimento linear para o diâmetro do colmo das plantas inoculadas e, a variedade SP 83-2847 foi responsiva até a aplicação de 76 mg dm⁻³ de N. As variedades CTC 4, CTC 15 e RB 96-6928 não mostraram respostas significativas para o diâmetro do colmo das plantas inoculadas (Figura 3D).

Estes resultados reportaram que as variedades RB 86-7515 e SP 83-2847 foram mais responsivas ao desenvolvimento no diâmetro do colmo das plantas inoculadas, ao passo que a variedade SP 83-2847 teve maior resposta a aplicação de N para as plantas não inoculadas. Estas respostas distintas entre as variedades de cana-de-açúcar podem ser devido às especificidades genóticas. As diferenças entre os genótipos da cana-de-açúcar e as condições edafoclimáticas podem influenciar na resposta à inoculação de bactérias

diazotróficas (Chaves et al., 2015). Silva et al. (2009) verificaram que a inoculação de diferentes estirpes de bactérias diazotróficas endofíticas promoveram aumento da produtividade de colmos para a variedade RB 86-7515. De modo similar, Schultz et al. (2012), Pereira et al. (2013) e Matoso et al. (2020) reportaram que a inoculação de bactérias diazotróficas proporcionou incrementos na produtividade de colmos da variedade RB 86-7515; no entanto, Schutz et al. (2012) constataram que as variedades RB 72-454 e CTC 2 apresentaram redução na produtividade de colmos quando inoculadas com bactérias diazotróficas.

A variedade RB 96-6928 foi responsiva ao uso de bactérias diazotróficas para a altura da planta e diâmetro do colmo nos estudos realizados por Matoso et al. (2020). Simões et al. (2018) constataram que a época de aplicação mais indicada para a inoculação das bactérias fixadoras de nitrogênio, via sistema de irrigação, é aos 10 dias após a emergência das plantas, proporcionando o maior acúmulo de matéria seca dos colmos. Em estudos realizados por Dellabiglia et al. (2018), a inoculação de bactérias diazotróficas não promoveu aumento de produtividade dos colmos na variedade de cana-de-açúcar RB 92-579, o que demonstra a importância da seleção de genótipos de cana-de-açúcar mais responsivos à inoculação com as respectivas estirpes bactérias diazotróficas. A inoculação com bactérias diazotróficas aumenta a produtividade de colmos de cana-de-açúcar de genótipos responsivos, gerando economia do uso de fertilizantes nitrogenados, por meio do processo de FBN.

Em geral, o uso de bactérias diazotróficas no cultivo de cana-de-açúcar tem promovido aumentos significativos em diversas características agronômicas das plantas, tais como altura de planta, diâmetro de colmo e índice relativo de clorofila. Além disso, por meio do processo de FBN é possível aprimorar o estado nutricional das plantas, refletindo no uso de menor quantidade de fertilizantes nitrogenados, minimizando os impactos ambientais da utilização desses insumos e favorecendo o cultivo sustentável da cana-de-açúcar (Matoso et al., 2020).

Os efeitos das doses de N em cobertura no número de folhas por planta e na área foliar das variedades de cana-de-açúcar não inoculadas e inoculadas com *A. brasilense* são mostrados na Figura 4. As variedades CTC 4, RB 86-7515, RB 96-6928 e SP 83-2847 foram responsivas à aplicação de N para o número de folhas das plantas não inoculadas e, somente, a variedade CTC 15 não foi responsiva a aplicação de N (Figura 4A). As variedades RB 96-6928 e SP 83-2847 responderam positivamente até a aplicação de 107 e 79 mg dm⁻³ de N, respectivamente. Todas as variedades foram responsivas à aplicação de N para o número de

folhas das plantas inoculadas com *A. brasilense* (Figura 4B). A variedade CTC 15 apresentou resposta positiva até a aplicação de 100 mg dm⁻³ de N.

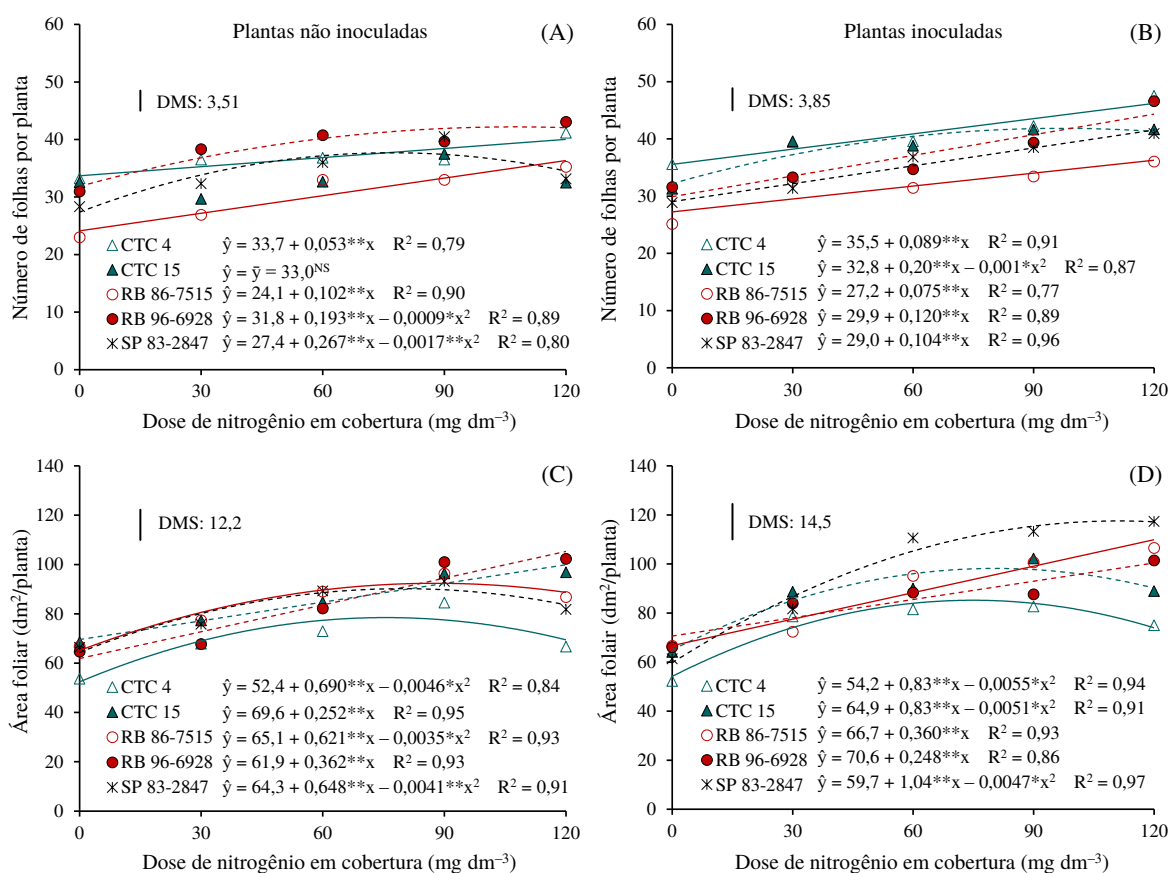


Figura 4. Efeito das doses de nitrogênio em cobertura no número de folhas por planta (A e B) e na área foliar (C e D) das variedades de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) não inoculadas (A e C) e inoculadas com *Azospirillum brasilense* (B e D). DMS: diferença mínima significativa do Teste t de Fisher (Teste LSD). ^{NS}: não significativo. ^{**}: significativo à 1% de probabilidade. Fonte: Os autores.

Todas as variedades foram responsivas à aplicação de N para a área foliar das plantas não inoculadas (Figura 4C). As variedades CTC 4, RB 86-7515 e SP 83-2847 apresentaram resposta positiva até a aplicação de 75, 89 e 79 mg dm⁻³ de N, respectivamente. Todas as variedades foram responsivas à aplicação de N em cobertura para a área foliar das plantas inoculadas com *A. brasilense* (Figura 4D). As variedades CTC 4, CTC 15 e SP 83-2847 apresentaram resposta positiva até a aplicação de 75, 81 e 111 mg dm⁻³ de N, respectivamente.

A maioria das variedades de cana-de-açúcar foram responsivas à aplicação de N em cobertura para o número de folhas e área foliar, independentemente da inoculação ou não das plantas com *A. brasilense* (Figura 2). Kleingesinds (2010) reportou que a inoculação com

Acinetobacter sp. ICB117 proporcionou benefícios à cana-de-açúcar, isto é, aumento das raízes, da assimilação de CO₂ e do número de folhas. Além disso, Martínez (2012) verificou que a presença da bactéria *Rhizobium* sp. ICB503 aumentou significativamente a matéria seca total, área foliar, assimilação máxima de CO₂ e o teor de N nas folhas de plantas da variedade SP 80-1816. Por sua vez, Garcia et al. (2013) observaram que o teor de clorofila das plantas da variedade RB 86-7515 foi maior nos tratamentos com inoculação quando comparado com a adubação mineral.

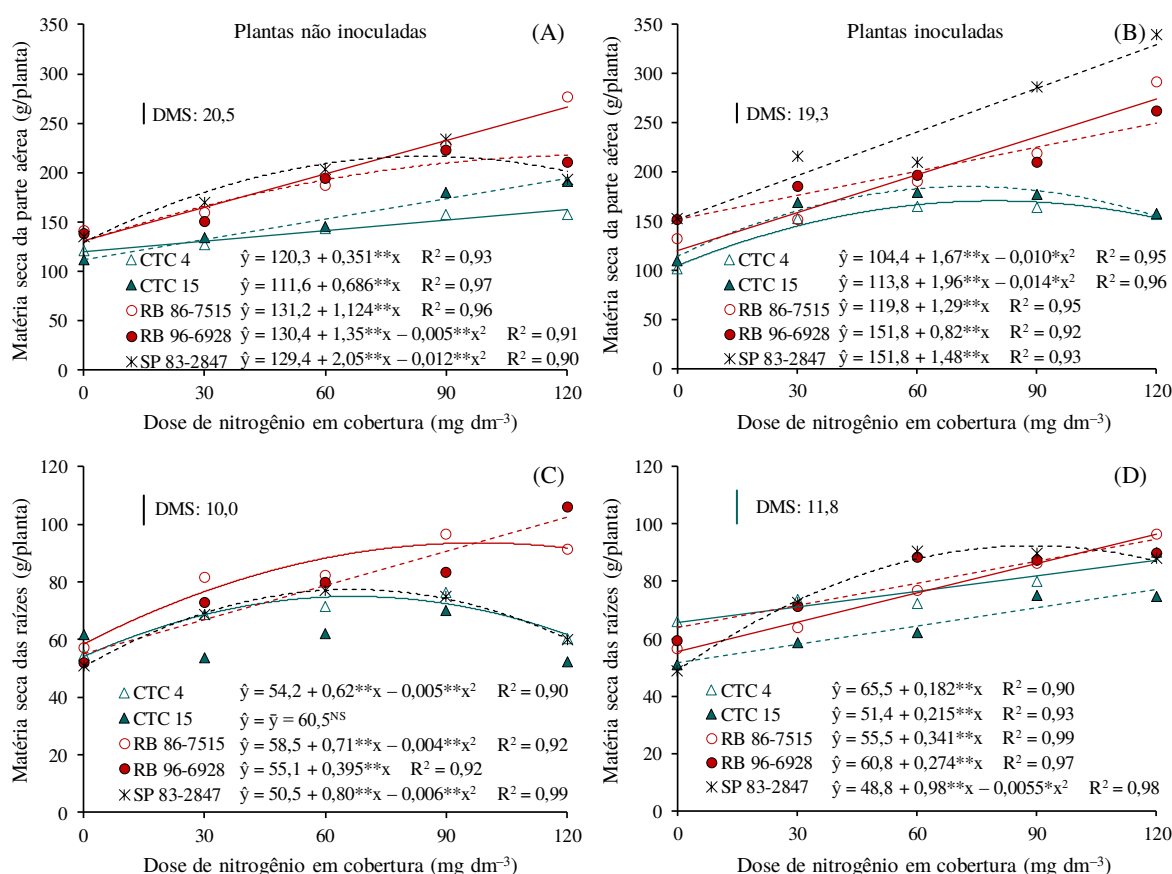


Figura 5. Efeito das doses de nitrogênio em cobertura na produção de matéria seca da parte aérea (A e B) e das raízes (C e D) das variedades de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) não inoculadas (A e C) e inoculadas com *Azospirillum brasilense* (B e D). DMS: diferença mínima significativa do Teste t de Fisher (Teste LSD). ^{NS}: não significativo. ^{**}: significativo à 1% de probabilidade. Fonte: Os autores.

Os efeitos da aplicação de N em cobertura na produção de matéria seca da parte aérea e das raízes das variedades de cana-de-açúcar submetidas ou não a inoculação de *A. brasilense* são mostrados na Figura 5. Todas as variedades foram responsivas à aplicação de N para o acúmulo de matéria seca da parte aérea das plantas não inoculadas (Figura 5A). As variedades RB 96-6928 e SP 83-2847 foram responsivas até a aplicação de 135 e 85 mg dm⁻³

³ de N, respectivamente. Todas as variedades foram responsivas à aplicação de N para o acúmulo de matéria seca da parte aérea das plantas inoculadas com *A. brasilense* (Figura 5B). As variedades CTC 4 e CTC 15 foram responsivas até a aplicação de 83 e 70 mg dm⁻³ de N, respectivamente.

As variedades CTC 4, RB 86-7515, RB 96-6928 e SP 83-2847 foram responsivas à aplicação de N para o acúmulo de matéria seca das raízes das plantas não inoculadas e, somente, a variedade CTC 15 não foi responsiva a adubação nitrogenada (Figura 5C). As variedades CTC 4, RB 86-7515 e SP 83-2847 foram responsivas até a aplicação de 62, 89 e 67 mg dm⁻³ de N, respectivamente. Todas as variedades foram responsivas à aplicação de N para o acúmulo de matéria seca das raízes das plantas inoculadas com *A. brasilense* (Figura 5D). A variedade SP 83-2847 foi responsiva até a aplicação de 89 mg dm⁻³ de N.

Em geral, todas as variedades mostraram efeitos positivos à aplicação de N para o acúmulo de matéria seca da parte aérea e das raízes, tanto para as plantas inoculadas ou não inoculadas com *A. brasilense*, exceto a variedade CTC 15 que não foi responsiva à matéria seca das raízes das plantas não inoculadas. A inoculação de bactérias diazotróficas promoveram o aumento da matéria seca da variedade RB 86-7515 (Silva et al., 2009). Schultz et al. (2012) reportaram que a variedade RB 86-7515, amplamente cultivada no Brasil, foi responsiva à inoculação e à adubação nitrogenada, mas o crescimento e o acúmulo de N total na parte aérea das plantas, promovidos pela inoculação, foram similares aos do tratamento com adubação nitrogenada. Pereira et al. (2013) constataram que a inoculação promoveu maior acúmulo de matéria seca das plantas, mas a contribuição foi diferente entre variedades e estirpes inoculadas, sugerindo uma interação entre os fatores avaliados e, ainda, relataram que a variedade RB 86-7515 é promissora para pesquisas com inoculação, pois respondeu positivamente à inoculação de diferentes bactérias diazotróficas.

Chaves et al. (2015) e Gírio et al. (2015) verificaram que a inoculação aumentou a velocidade de brotação da cultivar RB 86-7515 e, também, o teor de N e o acúmulo de matéria seca das raízes e da parte aérea, produzindo efeitos fisiológicos no crescimento das plantas. Gírio et al. (2015) relataram que a inoculação, associada ao fornecimento de N, favoreceu o crescimento inicial da parte aérea até os 180 dias após o transplante, ao aumentar o perfilhamento, a altura, o diâmetro e a produção da matéria seca dos colmos e das folhas. Porém, a inoculação de bactérias diazotróficas não aumentou o acúmulo de matéria seca das raízes, mas promoveu o incremento no comprimento do sistema radicular. Garcia et al. (2013) constataram que a inoculação de bactérias diazotróficas proporcionou acúmulo de matéria seca da parte aérea semelhante à aplicação doses de nitrogênio. Romano

(2016) relatou que a interação entre *A. brasiliense* e a cultivar RB 86-7515 mostrou resultados satisfatórios para o acúmulo de matéria seca da parte aérea e das raízes, podendo ser uma alternativa sustentável a sua utilização em campo, considerando que esta variedade de cana-de-açúcar tem sido efetiva à inoculação com bactérias diazotróficas em diversos estudos experimentais.

Por outro lado, um decréscimo na produtividade da variedade CTC 15 foi observado em estudos realizados por Pereira et al. (2013), indicando um possível efeito negativo da inoculação de bactérias diazotróficas para esta variedade, que pode ser atribuído aos efeitos decorrentes da interação simbiótica entre planta e bactéria, bem como, das condições edafoclimáticas. Esta variedade é uma das principais em expansão produzidas pelo Centro de Tecnologia Canavieira (CTC), com potencial produtivo promissor, mostrando efeitos satisfatórios para a inoculação de *A. brasiliense* neste estudo.

A necessidade de seleção dos genótipos com maior potencial produtivo, sob condições de baixas doses de adubação nitrogenada e responsivos à inoculação com bactérias diazotróficas, com potencial para a fixação biológica de nitrogênio, otimizando a eficiência de produção em níveis sustentáveis. Schultz et al. (2012) relatou que a cana-de-açúcar tem alta viabilidade de resposta à adubação nitrogenada e à inoculação, em função dos genótipos e condições edafoclimáticas, ou seja, em torno de 50% de nitrogênio acumulado na parte aérea da cana-de-açúcar é proveniente da fixação biológica de N associado à cultura.

As cinco variedades de cana-de-açúcar avaliadas possuem respostas diferentes à aplicação de N e a inoculação com *A. brasiliense*. Estudos sobre bactérias diazotróficas associadas às variedades de cana-de-açúcar mostraram a ocorrência de *A. brasiliense*, dentre outras espécies, em todas as partes da planta e solo rizosférico (Milani et al., 2011; Costa et al., 2013; Zhu et al., 2013; Souza et al., 2015). A fixação biológica de N associada à cana de açúcar é um processo intrínseco que deve ser pesquisado no sentido de melhorar o balanço energético da cultura, bem como, para preservar a qualidade física e química do solo, principalmente, aumentando os estoques de C e N dos solos cultivados (Baudoin et al., 2010; Gosal et al., 2012; Schultz et al., 2012; Souza et al., 2015; Rodrigues et al., 2016; Finkel et al., 2017). Lima et al. (2011) ressaltaram que a fixação biológica em plantas de cana-de-açúcar é um processo complexo que envolve uma gama de fatores relacionados ao genótipo das plantas e respectivas bactérias associadas.

Pesquisas sobre a aplicação tecnológica de bactérias diazotróficas em cana-de-açúcar apontam diversos benefícios ambientais e econômicos para essa cultura, mas os efeitos da aplicação podem variar entre os diversos genótipos da planta e estirpes de bactérias utilizadas

e, principalmente, com as condições edafoclimáticas da região de plantio. Bactérias diazotróficas realizam a fixação biológica de N, por meio de reações químicas de biossíntese catalisadas pela enzima nitrogenase que produzem exsudados, ainda que haja muitas diferenças morfológicas, fisiológicas e genéticas entre as estirpes e nas condições ambientais onde são encontradas. A influência das bactérias na rizosfera das plantas é também devida a produção de fitormônios, tais como, os compostos indólicos (auxina), com grande relevância fisiológica nas interações simbióticas entre bactérias e plantas (Baudoin et al., 2010; Costa et al., 2013; Santi e al., 2013). *Azospirillum lipoferum*, *Azospirillum brasilense*, *Azospirillum amazonense*, *Acetobacter diazotrophicus* e *Herbaspirillum* spp. são espécies de bactérias diazotróficas presentes tanto em genótipos de cana-de-açúcar ditos eficientes quanto em genótipos não eficientes em relação à fixação biológica de nitrogênio e estas bactérias estão presentes nas raízes, colmos e folhas das plantas, com exceção de *A. amazonense* (Reis-Junior et al., 2000).

O aumento da eficiência produtiva da cana-de-açúcar, por meio de tecnologias que visem aumentar seu balanço energético é uma necessidade do setor sucroenergético, pois trata-se de uma cultura estratégica para o país. Dentre as diversas alternativas, a inoculação com bactérias diazotróficas demonstra ser, evidentemente, uma tecnologia promissora e de elevado potencial para agricultura sustentável, pois essa técnica de inoculação com bactérias diazotróficas endofíticas na cana-de-açúcar apresenta-se como uma prática alternativa para promover o crescimento vegetal, com menor dependência da adubação nitrogenada. Neste estudo, foi possível concluir que: i) as cinco variedades de cana-de-açúcar possuem respostas distintas à aplicação de doses de nitrogênio e a inoculação com *A. brasilense*; b) a inoculação *A. brasilense* promoveu maior crescimento das plantas das plantas de cana-de-açúcar quando cultivadas em um solo arenoso da região do Cerrado; c) a maioria das variedades de cana-de-açúcar avaliadas foram responsivas à aplicação de doses de nitrogênio para a altura de planta, número de folhas, área foliar, matéria seca da parte aérea e matéria seca das raízes, especialmente quando as plantas foram inoculadas com *A. brasilense*; d) a dose de N em cobertura ideal para o crescimento e o desenvolvimento das plantas de cana-de-açúcar em condições de casa de vegetação varia de 70 a 100 mg dm⁻³ de N, independentemente da inoculação com *A. brasilense*.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abreu ML, Silva MA, Teodoro I, Holanda LA, Sampaio-Neto GD (2013). Crescimento e produtividade de cana-de-açúcar em função da disponibilidade hídrica dos Tabuleiros Costeiros de Alagoas. *Bragantia*, 72(3): 262-270.
- Bashan Y, Holguin G (1997). Azospirillum-plant relationships: environmental and physiological advances. *Canadian Journal of Microbiology*, 43(2): 103-121.
- Bastos A, Teodoro J, Teixeira M, Silva E, Costa D, Bernardino M (2017). Efeitos da adubação nitrogenada e potássica no crescimento da cultura da cana-de-açúcar segunda soca. *Revista de Ciências Agrárias*, 40(3): 554-563.
- Baudoin E, Couillerot O, Spaepen S, Moëgne-Loccoz Y, Nazaret S (2010). Applicability of the 16S-23S rDNA internal spacer for PCR detection of the phyto-stimulatory PGPR inoculant *Azospirillum lipoferum* CRT1 in field soil. *Journal of Applied Microbiology*, 108(1): 25-38.
- Cabrera JA, Zuaznábar R (2010). Respuesta de la caña de azúcar a la fertilización nitrogenada en un experimento de larga duración con 24 cosechas acumuladas. *Cultivos Tropicales*, 31(1): 93-100.
- Chaves VA, Santos SG, Schultz N, Pereira W, Sousa JS, Monteiro RC, Reis VM (2015). Desenvolvimento inicial de duas variedades de cana-de-açúcar inoculadas com bactérias diazotróficas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 39(5): 1595-1602.
- Conab - Companhia Nacional de Abastecimento. *Acompanhamento da safra brasileira: cana-de-açúcar*, Safra 2019/2020. 6(3): 58.
- Costa PB, Beneduzi A, Souza R, Schoenfeld R, Vargas LK, Passaglia LMP (2013). The effects of different fertilization conditions on bacterial plant growth promoting traits: guidelines for directed bacterial prospecting and testing. *Plant Soil*, 368(3): 267-280.
- Dellabiglia WJ, Gava GJC, Arlanch AB, Boas RLV, Cantarella H, Rossetto R (2018). Produtividade de cana-de-açúcar fertirrigada com doses de N e inoculadas com bactérias diazotróficas. *Irriga*, 1(1): 29-41.
- Ferreira DF (2014). Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. *Ciência e Agrotecnologia*, 38(2),109-112.
- Finkel OM, Castrillo G, Paredes SH, González IS, Dangel JL (2017). Understanding and exploiting plant beneficial microbes. *Current Opinion in Plant Biology*, 38(3): 155-163.
- Fukami J, Cerezini P, Hungria M (2018). *Azospirillum*: benefits that go far beyond biological nitrogen fixation. *AMB Express*, 8(73): 1-12.

- Garcia JC, Vitorino R, Azania CAM, Silva DM, Beluci LR (2013). Inoculação de bactérias diazotróficas no desenvolvimento inicial de cana-de-açúcar, variedade RB 867515. *Nucleus*, 10(1): 1-12.
- Gírio LAS, Dias FLF, Reis VMR, Urquiaga S, Schultz N, Bolonhezi D, Mutton MA (2015). Bactérias promotoras de crescimento e adubação nitrogenada no crescimento inicial de cana-de-açúcar proveniente de mudas pré-brotadas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 50(1): 33-43.
- Gosal SK, Kalia A, Uppal SK, Kumar R, Walia SS, Singh K, Singh H (2012). Assessing the benefits of Azotobacter bacterization in sugarcane: a field appraisal. *Sugar Tech*, 14(2): 61- 67.
- Hermann ER, Câmara GMS (1999). Um método simples para estimar a área foliar de cana-de-açúcar. *Revista da STAB*, 17(5): 32-34.
- Kleingesinds CK (2010). *Efeito da inoculação de uma bactéria endofítica fixadora de nitrogênio (Acinetobacter sp. ICB117) no desenvolvimento da cana-de-açúcar (Saccharum sp. variedade SP791011)*. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) - Instituto de Ciências Biomédicas, Universidade de São Paulo.
- Lima RC, Kozusny-Andreani DI, Andreani-Junior R, Fonseca L (2011). Caracterização fenotípica de bactérias diazotróficas endofíticas isoladas de cana de açúcar. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 64(1): 5803-5813.
- Lopes VR, Bessalho-Filho JC, Figueiredo GGO, Oliveira RA, Daros E (2019). Interaction between sugarcane families and plant growth-promoting bacteria in two crop cycles. *Semina: Ciências Agrárias*, 40(2): 527-538.
- Martínez LRDPR (2012). *Efeito da inoculação da bactéria endofítica fixadora de nitrogênio Rhizobium sp. ICB503 no desenvolvimento de plantas de cana-de-açúcar (Saccharum sp.)*. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Instituto de Ciências Biomédicas, Universidade São Paulo.
- Matoso ES, Avancini AR, Maciel KFK, Alves MC, Simon EDT, Silva MT, Dias NL, Silva SDA (2020). Influência do uso de um mix de bactérias diazotróficas na biometria e no conteúdo de clorofila de plantas de cana-de-açúcar. *Brazilian Journal of Development*, 6(2): 7261-7274.
- Milani KML, Machineski O, Balota EL (2011). Ocorrência e isolamento de bactérias diazotróficas associadas à cana-de-açúcar. *Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer*, Goiânia, 7(13): 1-11.
- Moura JB, Souza RF, Ventura MVA, Furquim LC, Vieira-Junior WG, Braga APM, Lima IR, Caixeta JGA, Milk DC, Silva JC, Rocha ECV, Lopes HPB (2019). Influence of

- nitrogen fixing bacteria in the establishment of pre-broken sugar cane. *Asian Journal of Microbiology, Biotechnology and Environmental Sciences*, 21(1): 22-26.
- Moutia JFY, Saumtally S, Spaepen S, Vanderleyden J (2010). Plant growth promotion by *Azospirillum* sp. in sugarcane is influenced by genotype and drought stress. *Plant and Soil*, 337: 233-242.
- Oliveira ALM, Canuto EL, Urquiaga S, Reis VM, Baldani JI (2006). Yield of micropropagated sugarcane varieties in different soil types following inoculation with endophytic diazotrophic bacteria. *Plant and Soil*, 284(1): 23-32.
- Oliveira AR, Simões WL (2016). Cultivares de cana-de-açúcar inoculadas com bactérias diazotróficas em condições irrigadas no semiárido brasileiro. *Revista Energia na Agricultura*, 31(2): 154-161.
- Oliveira ECA, Freire JF, Oliveira RI, Oliveira AC, Freire MBGS (2011). Acúmulo e alocação de nutrientes em cana-de-açúcar. *Revista Ciência Agronômica*, 42(3): 579-588.
- Oliver R, Silva MA (2018). Interaction between diazotrophic bacteria and N-fertilizer doses on sugarcane crop. *Journal of Plant Nutrition*, 41(6): 722-736.
- Pereira W, Leite JM, Hipólito GS, Santos CLR, Reis VM (2013). Acúmulo de biomassa em variedades de cana-de-açúcar inoculadas com diferentes estirpes de bactérias diazotróficas. *Revista Ciência Agronômica*, 44(2): 363-370.
- Prado RM, Pancelli MA (2008). Resposta de soqueiras de cana-de-açúcar à aplicação de nitrogênio em sistema de colheita sem queima. *Bragantia*, 67(4): 951-959.
- Reis-Junior FB, Silva LG, Reis VM, Döbereiner J (2000). Ocorrência de bactérias diazotróficas em diferentes genótipos de cana-de-açúcar. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 35(5): 985-994.
- Rodrigues AA, Forzani MV, Soares RSS, Sibov ST, Vieira JDG (2016). Isolation and selection of plant growth-promoting bacteria associated with sugarcane. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 46(2): 149-158.
- Romano T (2016). *Inoculação de bactérias diazotróficas em cana-de-açúcar: efeito do nitrogênio e genótipo vegetal*. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Departamento de Fitotecnia e Fitossanitarismo, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.
- Santi C, Bogusz D, Franche C (2013). Biological nitrogen fixation in non-legume plants. *Annals of Botany*, 111(5): 743-767.
- Santos F, Borém A (2013). *Cana-de-açúcar: do plantio à colheita*. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa.

- Schultz N, Morais RF, Silva JA, Baptista RB, Oliveira RP, Leite JM, Pereira W, Carneiro Júnior JB, Alves BJR, Baldani JI, Boddey RM, Urquiaga S, Reis VM (2012). Avaliação agronômica de variedades de cana-de-açúcar inoculadas com bactérias diazotróficas e adubadas com nitrogênio. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 47(2): 261-268.
- Serna-Cock L, Arias-García C, Hernandez LJV (2011). Efecto de la biofertilización sobre el crecimiento en maceta de plantas de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*). *Biotechnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 9(2): 85-95.
- Shin W, Islam R, Benson A, Joe MM, Kim K, Gopal S, Samaddar S, Banerjee S, Sa T (2016). Role of diazotrophic bacteria in biological nitrogen fixation and plant growth improvement. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*, 49(1): 17-29.
- Silva MF, Oliveira PJ, Xavier GR, Rumjanek NG, Reis VM (2009). Inoculantes formulados com polímeros e bactérias endofíticas para a cultura da cana-de-açúcar. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 44(11): 1437-1443.
- Simões WL, Oliveira AR, Reis VM, Pereira W, Lima JA (2018). Aplicação de bactérias diazotróficas via sistema de irrigação para fixação biológica de nitrogênio na cana-de-açúcar. *Energia na Agricultura*, 33(1): 45-51.
- Sousa DMG, Lobato E (2004). *Cerrado: correção do solo e adubação*. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica. 416 p.
- Souza R, Ambrosini A, Passaglia LMP (2015). Plant growth-promoting bacteria as inoculants in agricultural soils. *Genetics and Molecular Biology*, 38(4): 401-419.
- Teixeira PC, Donagemma GK, Fontana A, Teixeira WG (2017). Manual de métodos de análise de solo. 3ª ed. Brasília, DF: Embrapa Solos. 573p.
- Udvardia M, Brodie EL, Riley W, Kaeppler S, Lynch J (2015). Impacts of agricultural nitrogen on the environment and strategies to reduce these impacts. *Procedia Environmental Sciences*, 29(3): 303-318.
- Urquiaga S, Xavier R, Morais RF, Batista R, Schultz N, Leite JM, Resende A, Alves BJR, Boddey RM (2012). Evidence from field nitrogen balance and ¹⁵N natural abundance data of the contribution of biological N₂ fixation to Brazilian sugarcane varieties. *Plant and Soil*, 356(1): 5-21.
- Zhu B, Zhou Q, Lin L, Hu C, Shen P, Yang L, An Q, Xiel G, Li Y (2013). *Enterobacter sacchari* sp. nov., a nitrogen-fixing bacterium associated with sugar cane (*Saccharum officinarum* L.). *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 63(5): 2577-2582.

ÍNDICE REMISSIVO

A

agricultura, 6, 10, 15, 16, 21, 22, 59, 60, 61, 63, 66, 67, 71, 72, 73, 75, 76, 82, 94, 107, 110, 112, 113
agronegócio, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 67, 71, 72, 73, 75, 76, 80

B

biotecnologia, 50, 83, 110, 7
Bradyrhizobium japonicum, 107
braquiária, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 14, 15, 16, 18

C

commodities, 59, 61, 63, 64, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 75, 76
cultivo *in vitro*, 49, 56

D

desfolha, 107, 112

E

escoamento, 59, 76
espécies nativas, 26, 29, 36, 37, 39, 40

G

Gossypium hirsutum, 6, 8, 12, 16, 18, 20, 21

M

micropropagação, 49, 51, 53, 54, 55
microrganismos, 15

N

nitrogênio, 7, 8, 14, 16, 18, 21, 35, 80, 81, 82, 86, 87, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 107, 109, 113

P

planta de cobertura, 10, 16

R

Reguladores vegetais, 47

S

Saccharum officinarum, 29, 80, 82, 86, 87, 90, 91
soja, 28, 56, 60, 61, 62, 64, 65, 66, 67, 69, 72, 73, 75, 76, 105, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113

U

Urochloa, 6, 7, 8, 9, 10, 14, 21



Alan Mario Zuffo

Graduado em Agronomia pela UNEMAT. Mestre em Agronomia - Fitotecnia (Produção Vegetal) UFPI. Doutor em Agronomia - Fitotecnia (Produção Vegetal) UFLA. Pós-Doutorado em Agronomia na UEMS. Prof. UFMS em Chapadão do Sul.



Jorge González Aguilera

Graduado em Agronomia pelo ISCA-B (Cuba). Especialista em Biotecnologia pela Universidad de Oriente (Cuba). Mestrado em Fitotecnia e Doutorado em Genética e Melhoramento pela UFV e Pós-Doutorado na Embrapa Trigo. Prof. UFMS em Chapadão do Sul.

ISBN 978-659906415-9



Pantanal Editora
Rua Abaete, 83, Sala B, Centro. CEP: 78690-000
Nova Xavantina – Mato Grosso – Brasil
Telefone (66) 99682-4165 (Whatsapp)
<https://www.editorapantanal.com.br>
contato@editorapantanal.com.br