

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL
CURSO DE MESTRADO**

**BACTÉRIAS DIAZOTRÓFICAS OU ADUBAÇÃO
NITROGENADA NOS PARÂMETROS PRODUTIVOS DO
CAPIM-ARUANA**

Beatriz Rodrigues dos Santos Simas

**CRUZ DAS ALMAS – BAHIA
2021**

BACTÉRIAS DIAZOTRÓFICAS OU ADUBAÇÃO NITROGENADA NOS PARÂMETROS PRODUTIVOS DO CAPIM-ARUANA

Beatriz Rodrigues dos Santos Simas
Engenheira Agrônoma
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2019

Dissertação apresentada ao Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, como requisito de avaliação parcial para obtenção do Título de Mestre em Ciência Animal – Área de concentração: Nutrição de Ruminantes

Orientador: Prof. Dr. Ossival Lolato Ribeiro
Coorientador: Prof. Dr. Ulysses Cecato

**CRUZ DAS ALMAS – BAHIA
2021**

FICHA CATALOGRÁFICA

S588b	<p>Simas, Beatriz Rodrigues dos Santos. Bactérias diazotróficas ou adubação nitrogenada nos parâmetros produtivos do capim-aruana / Beatriz Rodrigues dos Santos Simas._ Cruz das Almas, Bahia, 2021. 48f.; il.</p> <p>Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas, Mestrado em Ciência Animal. Orientador: Prof. Dr. Ossival Lolato Ribeiro. Coorientador: Prof. Dr. Ulysses Cecato</p> <p>1.Plantas forrageiras – Adubação – Inoculação. 2.Capim aruana – Bactéria diazotrófica. 3.Crescimento – Análise. I.Universidade Federal dos Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas. II.Título.</p> <p style="text-align: right;">CDD: 633.2</p>
-------	--

Ficha elaborada pela Biblioteca Central de Cruz das Almas - UFRB.
Responsável pela Elaboração - Antonio Marcos Sarmento das Chagas (Bibliotecário - CRB5 / 1615).
(os dados para catalogação foram enviados pela usuária via formulário eletrônico).

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL
CURSO DE MESTRADO**

**BACTÉRIAS DIAZOTRÓFICAS OU ADUBAÇÃO NITROGENADA NOS
PARÂMETROS PRODUTIVOS DO CAPIM-ARUANA**

Comissão Examinadora da Defesa de Dissertação de
Beatriz Rodrigues dos Santos Simas

Aprovada em:

Dr. Ossival Lolato Ribeiro
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Examinador interno

Dra. Adriana Regina Bagaldo
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Examinador interno

Dr. Cecílio Viega Soares Filho
Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Examinador externo

DEDICATÓRIA

A construção desse trabalho está na minha trajetória, dedico-o aos educadores da minha vida, porque a educação é um ato de amor, e por isso, um ato de coragem (Paulo Freire).

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela vida e saúde da minha família, por ter me dado força para não desistir.

À Universidade Federal do Recôncavo da Bahia e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal, pela oportunidade de realizar o mestrado.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB), pela concessão da bolsa de estudos permitindo a finalização do projeto.

Ao Prof.º Dr. Ossival Ribeiro, pela orientação, confiança, pelo exemplo de educador, e toda contribuição para minha formação profissional.

Ao Prof.º Ulysses Cecato, pela orientação e por compartilhar seus conhecimentos para o meu desenvolvimento profissional.

Aos membros do Grupo de Estudos em Forragicultura (GEF), por estarem sempre presentes na condução do experimento com dedicação e esforço, agradeço por toda ajuda.

À minha mãe Adriana, por ser uma incentivadora da minha educação, e ser uma referência de profissional para mim.

Ao meu pai Adeilton, que me ensinou a olhar para o horizonte e para todas possibilidades e oportunidades que o futuro me reserva.

Às minhas irmãs, Maria Clara e Isabella, por serem minhas âncoras e motivação para ser sempre melhor.

À minha vó Pureza (*in memoriam*), pelo exemplo de força e coragem, pela alegria e lições, muita saudade.

À minha vó Nay, que mesmo à distância sempre se manteve por perto, com cuidado e carinho.

Às minhas queridas amigas, Lorena e Graças, por estarem a 10 anos me dando apoio e fazendo essa jornada ser mais leve.

Aos amigos que a graduação me presenteou, por nunca se afastaram, não medirem esforços para ajudar e pelo companheirismo.

Por fim, agradeço a todos que me ajudaram para a realização desse sonho.

EPÍGRAFE

“- Temos um caminho tão longo pela frente... – suspirou o menino.
- Sim, mas veja como já chegamos longe – disse o cavalo.” (Charlie Mackesy)

BACTÉRIAS DIAZOTRÓFICAS OU ADUBAÇÃO NITROGENADA NOS PARÂMETROS PRODUTIVOS DO CAPIM-ARUANA

RESUMO: A produção agropecuária está buscando cada vez mais a utilização de práticas mais sustentáveis e menos agressivas ao meio ambiente. Com isso, esse estudo avaliou o efeito da inoculação de bactérias diazotróficas sobre a produção e características morfogênicas do capim-aruaana (*Panicum maximum* cv. Aruana) na estação da primavera e verão, em um delineamento experimental em blocos casualizados, com seis tratamentos formados por: *Azospirillum brasilense* Ab-V5 (=CNPSO 2083), *Azospirillum brasilense* Ab-V6 (=CNPSO 2084), *Pseudomonas fluorescens* CCTB 03 (=CNPSO 2719), *Rhizobium tropici* CIAT 899 (=CNPSO 103), comparando-os com o fornecimento de N nas doses de 50 e 100 kg ha⁻¹, em quatro blocos. Para determinação dos parâmetros produtivos, foi coletada amostras representativas em cada parcela assim que atingiram a média de 0,50 m de altura. As características morfogênicas foram determinadas em quatro perfilhos por parcela, duas vezes por semana. Não houve diferença ($p > 0,05$) para as variáveis produção de massa seca, porcentagem de folhas e razão folha:colmo na estação da primavera, e para a produção de massa seca, porcentagem de folhas, porcentagem de colmo, porcentagem de material morto e razão folha:colmo no verão. A inoculação com *R. tropici* CIAT 899 influenciou ($p \leq 0,05$) a porcentagem de material morto comparado a adubação nitrogenada de 50 kg ha⁻¹ de N na primavera, com valores de 3,2% e 10,8%, respectivamente. Para as características morfogênicas do capim-aruaana na primavera houve diferença ($p \leq 0,05$) para a taxa de alongamento das folhas, onde a inoculação com *A. brasilense* Ab-V6 diferenciou-se da adubação com 100 kg N ha⁻¹ com valores de 0,14 cm perfilho dia⁻¹ e 0,33 cm perfilho dia⁻¹, respectivamente, no número de folhas senescentes, em que *P. fluorescens* diferenciou-se dos demais tratamentos, com 0,56 folhas perfilho⁻¹ e para o número de folhas em expansão, onde *A. brasilense* Ab-V5 diferenciou-se do inoculado com *P. fluorescens* CCTB 03, conferindo 2,38 e 1,44 folhas perfilho⁻¹, respectivamente. No verão, nenhum tratamento apresentou diferença ($p > 0,05$) para morfogênese e características estruturais. Concluiu-se que a inoculação é capaz de manter positivamente os aspectos produtivos, morfogênicos e estruturais do capim-aruaana. Os efeitos da inoculação foram similares à adubação nitrogenada convencional, onde os tratamentos com *R. tropici* CIAT 899 e *A. brasilense* Ab-V5 destacaram-se. A inoculação forneceu ao capim-aruaana suporte e condições ideais para produção e crescimento da forrageira.

Palavras-chave: Bactérias promotoras de crescimento vegetal; morfogênese; gramíneas tropicais; *Megathyrus maximus*; inoculação.

DIAZOTROPHIC BACTERIA AND NITROGEN FERTILIZATION IN PRODUCTIVE PARAMETERS OF ARUANA GRASS

ABSTRACT: Agricultural production is increasingly seeking to use more sustainable practices that are less harmful to the environment. Thus, this study evaluated the effect of inoculation diazotrophic bacteria on production and morphogenic characteristics of aruana grass (*Panicum maximum* cv. Aruana) in spring and summer season, in a randomized block design, with six treatments formed by: *Azospirillum brasilense* Ab-V5 (=CNPSo 2083), *Azospirillum brasilense* Ab-V6 (=CNPSo = 2084), *Pseudomonas fluorescens* CCTB 03 (=CNPSo 2719), *Rhizobium tropici* CIAT 899 (=CNPSo 103), comparing them with that of N at doses of 50 and 100 kg ha⁻¹, in four blocks. To determine productive parameters, representative samples were collected in each plot as soon as they reached an average of 0.50 m in height. Morphogenic characteristics were determined in four tillers per plot, twice a week. There was no difference ($p > 0.05$) for the variables production of dry mass, percentage of leaves and leaf:stem ratio in spring season, and for production of dry mass, percentage of leaves, percentage of stalk, percentage of material dead and leaf:stem ratio in summer. Inoculation with *R. tropici* CIAT 899 influenced ($p \leq 0.05$) percentage of dead material compared to nitrogen fertilization of 50 kg ha⁻¹ N in spring, with values of 3.2% and 10.8%, respectively. For morphogenic characteristics of aruana grass in spring there was a difference ($p \leq 0.05$) for rate of leaf elongation, where inoculation with *A. brasilense* Ab-V6 differed from fertilization with 100 kg N ha⁻¹ with values of 0.14 cm tiller day⁻¹ and 0.33 cm tiller day⁻¹, respectively, in number of senescent leaves, in which *P. fluorescens* differed from the other treatments, with 0.56 leaves tiller⁻¹ and for the number of expanding leaves, where *A. brasilense* Ab-V5 differed from that inoculated with *P. fluorescens* CCTB 03, yielding 2.38 and 1.44 tiller⁻¹ leaves, respectively. In summer, no treatment showed difference ($p > 0.05$) for morphogenesis and structural characteristics. It was concluded that inoculation is able to positively maintain productive, morphogenic and structural aspects of aruana grass. Inoculation effects were similar to conventional nitrogen fertilization, where treatments with *R. tropici* CIAT 899 and *A. brasilense* Ab-V5 stood out. Inoculation provided the aruana grass with ideal support and conditions for forage production and growth.

Keywords: Inoculation; *Megathyrsus maximus*; morphogenesis; Plant growth promoting bacteria; tropical grasses.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL	4
2	REVISÃO DE LITERATURA	6
	2.1 Bactérias diazotróficas: FBN e promoção de crescimento vegetal 6	
	2.1.1 <i>Azospirillum brasilense</i>	9
	2.1.2 <i>Pseudomonas fluorescens</i> CCTB 03.....	11
	2.1.3 <i>Rhizobium tropici</i> CIAT-899 (SEMIA 4077).....	12
	2.2 <i>Panicum maximum</i> (syn. <i>Megathyrsus maximus</i>) cv. Aruana	13
	2.3 Pastagens tropicais e adubação nitrogenada	15
	CAPÍTULO 1 – BACTÉRIAS DIAZOTRÓFICAS OU ADUBAÇÃO NITROGENADA EM CAPIM-ARUANA: CARACTERÍSTICAS PRODUTIVAS E MORFOGÊNICAS .	17
	CONSIDERAÇÕES FINAIS	36
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37

4 INTRODUÇÃO GERAL

As pastagens no Brasil destacam-se como principal fonte de alimento para a pecuária brasileira. A espécie *Panicum maximum* se sobressai pela alta produtividade, boa qualidade e rápido crescimento, quando em condições favoráveis, e a cultivar Aruana, de interesse para esse estudo, pela sua adaptação às condições edafoclimáticas do recôncavo baiano.

A expressão do potencial de produção de uma gramínea forrageira depende da adequada reposição de nutrientes no solo. O nitrogênio é um dos elementos mais requeridos e absorvidos pelas plantas, em que doses insuficientes prejudicam a produção e seu excesso ocasiona perdas por lixiviação e volatilização.

A fertilização nitrogenada ainda é responsável pela emissão de óxido nitroso (N_2O), contribuindo com 7,9% das emissões e agravamento do efeito estufa. Para minimizar esses impactos, cresce o interesse em práticas alternativas que substituam a aplicação de adubos nitrogenados ou melhorem a absorção destes nas áreas de produção agrícola.

Desse modo, o uso de bactérias fixadoras de nitrogênio (BFN), também denominadas bactérias diazotróficas ou bactérias promotoras de crescimento vegetal (BPCV), que realizam o aporte de N via fixação biológica e aumentam a eficiência da utilização dos fertilizantes nitrogenados, representam uma estratégia que tem benefícios ambientais associados à redução do uso de fontes inorgânicas, que possuem custo elevado, derivam de fontes não-renováveis e são poluentes.

Esses microrganismos secretam metabólitos na rizosfera que fornecem vários benefícios para as plantas, como a produção de fitohormônios, modificação da arquitetura radicular, que permite melhor absorção de água e nutrientes e controle sob a população de organismos fitopatógenos do solo, a partir desses mecanismos, as BPCV incrementam o desenvolvimento e produtividades das culturas.

Estudos em relação aos seus benefícios em plantas forrageiras são indispensáveis para contribuir com a produção pecuária de forma econômica e

sustentável, com isso deve-se ampliar as pesquisas sobre a ação das bactérias diazotróficas no estabelecimento, manutenção, produção e qualidade das pastagens tropicais.

Através da hipótese de que a inoculação de capim-aruaana com bactérias promotoras de crescimento vegetal possibilite uma produção e composição morfológica de forragem semelhante ou superior ao cultivo utilizando adubação nitrogenada mineral.

O presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito desses microrganismos promotores de crescimento vegetal nos parâmetros produtivos, estruturais e morfogênicos de *P. maximum* cv. Aruana em comparação com a adubação nitrogenada.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Bactérias diazotróficas: FBN e promoção de crescimento vegetal

Uma alternativa promissora aos fertilizantes nitrogenados e importante fonte de entrada de N no solo é a interação entre plantas e procaríotos simbióticos em uma associação de grande interesse para agricultura, onde ocorre a conversão biológica de N atmosférico em amônio (NH_4^+) (CARVALHO *et al.*, 2014).

A fixação biológica de nitrogênio (FBN) é realizada por uma pequena parcela de grupos filogenéticos de Bacteria e de Archaea que apresentam diversidade morfológica, fisiológica, genética e filogenética (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). As bactérias diazotróficas fornecem N para a planta hospedeira em troca de nutrientes e carboidratos, onde a enzima nitrogenase catalisa a reação e realiza a conversão de N-atmosférico para NH_4^+ (TAIZ *et al.*, 2017a).

O grau de estimulação bacteriana no crescimento das plantas advém da disponibilidade de substratos específicos (DIMKPA *et al.*, 2009). O genótipo da planta é um fator determinante para uma associação planta-bactéria positiva (AFZAL *et al.*, 2019), fazendo da simbiose um processo regulado por sinais químicos e hormonais e influenciado por fatores externos, como disponibilidade hídrica, teor de oxigênio e a própria adubação nitrogenada (FAGAN *et al.*, 2007).

As bactérias diazotróficas são classificadas quanto à interação com as plantas: As simbióticas formam estruturas denominadas nódulos nas raízes de plantas leguminosas. As de vida livre, não se associam com outras espécies e colonizam a rizosfera, onde os exsudatos das plantas são liberados. E as diazotróficas associativas, que para contribuir com o crescimento da planta, colonizam a superfície e interior das raízes, mas não formam estruturas diferenciadas, como os nódulos (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; VIEIRA, 2017).

Dentro do grupo das bactérias diazotróficas associativas ocorrem dois tipos, as endofíticas facultativas, que colonizam as raízes tanto internamente

quanto externamente, e as endofíticas obrigatórias, que colonizam o interior das raízes e tecidos aéreos das plantas (BALDANI *et al.*, 1997)

A contribuição de N fixado pelas bactérias diazotróficas para gramíneas está em torno de 25 a 50 kg N ha ano⁻¹, equivalente ao suprimento médio aproximado de 17% da necessidade das culturas. Apesar da baixa taxa de FBN, ao considerar a extensão de terras ocupadas por gramíneas, essa associação se faz importante, em aspectos globais (MOREIRA *et al.*, 2010).

Ainda que se tenha uma capacidade limitada das bactérias não-simbióticas de fixar grandes quantidade de N, seus benefícios não são atribuídos somente ao mecanismo de FBN (MARTÍNEZ-VIVEROS *et al.*, 2010).

Também denominadas bactérias promotoras de crescimento vegetal (BPCV), esse grupo estimula o crescimento da planta de forma direta e indireta, onde os mecanismos diretos envolvem o fornecimento de compostos sintetizados pela BPCV ou facilitar a absorção de nutrientes no solo, e os mecanismos indiretos com a diminuição ou prevenção de efeitos deletérios de fitopatógenos na planta (GLICK, 1995).

A indução de mecanismos de defesa contra ataques de patógenos advém da propriedade chamada resistência sistêmica induzida, onde a BPCV é responsável por sinalizar à planta sobre as proteínas patogênicas, fazendo o vegetal aumentar sua capacidade defensiva em todos tecidos (FUKAMI *et al.*, 2017; VAN; BAKKER, 2005).

Outra característica importante das BPCV é a solubilização e mineralização do fósforo, tendo efeitos ainda mais positivos quando realizada a coinoculação com fungos micorrízicos (GLICK, 2012; RODRIGUEZ *et al.*, 2004).

A influência das bactérias diazotróficas sobre determinadas vias hormonais, possibilita a alteração da arquitetura radicular e com isso, a maior absorção de nutrientes (KALYANASUNDARAM *et al.*, 2018). Onde ocorre uma atividade biorreguladora para produção e liberação de fitohormônios, como auxinas, citocininas e giberelinas (TIEN *et al.*, 1979).

A auxina mais importante e abundante é o ácido 3-indolacético (AIA) e está relacionada ao desenvolvimento das plantas, atuando nos processos de dominância apical, diferenciação vascular e formação de raízes laterais (TAIZ *et al.*, 2017b). Após lesão dos tecidos vasculares, a auxina é o fitohormônio responsável pela regeneração dessas células (TAIZ *et al.*, 2017c). Já as

giberelinas e citocininas estão relacionadas ao alongamento celular e longevidade da planta (GLICK, 2012).

A aplicação por pulverização foliar de reguladores de crescimento sintéticos, como AIA e ácido giberélico, de forma exógena é uma prática amplamente adotada. Porém, os produtos comerciais possuem alto custo, o uso de BPCV podem apresentar-se como uma opção de reguladores biológicos alternativos da planta (FUKAMI *et al.*, 2017).

Entre os hormônios que interagem na regulação da senescência, está a citocinina, Taiz *et al.*, (2017b) sugerem que esse hormônio controla a senescência pela regulação da mobilização de nutrientes e relação entre fonte e dreno da planta.

Os resultados benéficos das associações incluem um aumento significativo na altura e biomassa da planta, comprimento das raízes, produção de matéria seca e rendimento de grãos. Indicando que as bactérias associativas e endofíticas fixam N nos tecidos das plantas, o que é uma característica importante para a promoção do crescimento das plantas (CARVALHO *et al.*, 2014).

A manipulação de diazotróficos do solo fornece um meio de reduzir o uso de fertilizantes minerais, proporcionando assim uma solução para a mitigação da poluição ambiental causada pelo N (BATISTA; DIXON, 2019).

Pastagens que fixam N tem grande potencial de incorporar CO₂ (FERRAZ; FELÍCIO, 2010). A relação entre a preocupação em produzir carne de forma sustentável atrelada às pastagens como principal fonte de alimentação do rebanho brasileiro, resultam para o uso de estratégias que associem sustentabilidade e lucratividade. A partir disso, observa-se que a utilização de bactérias diazotróficas em gramíneas forrageiras são uma alternativa de manejo potencial para melhora da produção e qualidade das pastagens, logo, da produção animal (LIMA *et al.*, 2020; SÁ *et al.*, 2019).

2.1.1 *Azospirillum brasilense*

O isolamento do *Azospirillum* das raízes de gramíneas tropicais foi realizado por Johanna Döbereiner na década de 70 através do meio malato semissólido isento de nitrogênio, onde o crescimento das bactérias ocorreu submerso e em diferentes profundidades. A maioria das cepas de *Azospirillum*, colonizam a superfície e, em alguns casos, o interior da raiz, incluindo caules e folhas, por isso, essas bactérias foram classificadas no grupo dos diazotróficos endofíticos facultativos (HARTMANN; BALDANI, 2006).

Essa espécie de bactéria diazotrófica está situada no Domínio Bacteria na subdivisão α -Proteobacteria. As células de *Azospirillum brasilense* são gram-negativas, tem o formato de bastonetes curtos, com 1 x 3 a 5 μm , e são móveis, com flagelos curtos. Desenvolve-se bem em pH entre 6,0-7,8 e temperatura de 32-37°C, em condições anaeróbicas e aeróbicas, mas preferencialmente em meio microaerofílico com N_2 presente ou ausente (DOBEREINER; BALDANI; BALDANI, 1995; OKON; LABANDERA-GONZALEZ, 1994; TARRAND; KRIEG; DÖBERAINER, 1978).

A. brasilense ganhou destaque na década de 1970 pela sua capacidade de fixar biologicamente o nitrogênio atmosférico (TARRAND *et al.*, 1978). Entretanto, os benefícios dessa bactéria estão relacionados em grande parte pelos mecanismos de crescimento relacionados à produção de substâncias promotoras de crescimento de plantas.

Azospirillum interfere nas concentrações de ácido indol-3-acético livre e ácido indol-3-butírico e na atividade respiratória das raízes, fazendo com que estas absorvam mais água e nutrientes que por consequente, aumenta o crescimento das plantas inoculadas (OKON; LABANDERA-GONZALEZ, 1994).

Picazevicz *et al.*, (2017) consideraram que o aumento de matéria seca da parte aérea, matéria seca total e nitrogênio acumulado nas brotações das plantas de milho (*Zea mays* cv. Al Bandeirante) inoculado com *A. brasilense* possivelmente ocorreu devido à solubilização de fosfato e/ou produção de fitohormônios pela bactéria, como auxinas, giberelinas e citocininas.

Esse gênero está amplamente distribuído no ecossistema, colonizando diversas plantas em diferentes habitats, a caracterizando como uma bactéria

universal. Apesar de existir uma boa caracterização a nível fisiológica e molecular da *A. brasilense*, existe um número reduzido de informações a respeito dos mecanismos envolvidos na interação planta-bactéria e como as estirpes contribuem para o nitrogênio acumulado nas plantas, segundo Vieira (2017).

A inoculação de *A. brasilense* em sementes de *P. maximum* cv. BRS Zuri ocasionou o incremento de 28% de N, 18% de potássio, 20 % de cálcio e 24% de magnésio na parte aérea dessa planta comparado ao tratamento sem inoculação. Relacionou-se o acúmulo de N devido a contribuição de *A. brasilense* na FBN, proporcionando a disponibilidade desse nutriente para a planta, o acúmulo dos outros macronutrientes provavelmente ocorreu pela maior superfície de contato das raízes, potencializando a absorção desses elementos (PICAZEVICZ *et al.*, 2020).

A. brasiliense também foi associada com a redução do nitrato (NO_3^-), propiciando crescimento da planta pelo menor gasto de energia necessário para o metabolismo vegetal reduzir nitrato a amônia, sendo essa energia direcionada para outros processos vitais (DUARTE *et al.*, 2020).

Plantas de *Megathyrus maximus* cv. Mombaça inoculados com *A. brasilense* sem fornecimento de N produziram 4,6 t ha⁻¹ de MS em três ciclos, ao passo que para atingir essa produção, plantas não inoculadas necessitariam de 54 kg N ha⁻¹ (LEITE *et al.*, 2019).

Essa economia de adubação nitrogenada evitaria a emissão de 224 kg ha⁻¹ de CO₂, considerando que cada quilo de N-fertilizante equivale a 4,5 kg de CO₂, fazendo da inoculação uma prática que contribui com a proteção do meio ambiente, associada a maiores produções (HUNGRIA *et al.*, 2013).

A inoculação com *A. brasilense* em 'Coastcross-1' incrementou a quantidade total de N fixado biologicamente, com produção de 7,4 kg MS ha⁻¹ no tratamento apenas com o inoculante, contribuindo com 53,8 kg N ha⁻¹, que representou um aumento de 134% de N em relação ao do capim não inoculado (AGUIRRE *et al.*, 2020).

2.1.2 *Pseudomonas fluorescens* CCTB 03

O gênero *Pseudomonas* são um grupo de microrganismos distribuídos por solos e água, apresentam-se muito versáteis metabolicamente, sendo capazes de utilizar compostos orgânicos simples e complexos. Algumas estipes estão relacionadas à promoção de crescimento de plantas e biocontrole de fitopatógenos (ZAGO *et al.*, 2000), e são as bactérias endofíticas mais comumente isoladas (DIMKPA *et al.*, 2009).

Segundo Naik *et al.* (2008) as *Pseudomonas* spp. são gram-negativas, móveis, em forma de bastonete e crescem na faixa de temperatura entre 4°C e 42°C. As cepas de *Pseudomonas* spp. utilizam mecanismos diretos e indiretos para melhorar o crescimento das plantas, podendo solubilizar fosfato, ferro inorgânico, produzir vitaminas, fitohormônios e metabólitos antimicrobianos.

Pseudomonas fluorescens associadas às plantas produzem vários metabólitos secundários, como antibióticos e sideróforos, atuando no controle de doenças fúngicas e bacterianas de plantas, também pela eliminação competitiva de patógenos do solo através da rápida colonização da rizosfera (SINGH *et al.*, 2017).

Zucareli *et al.* (2011) avaliaram a eficiência agronômica da espécie *P. fluorescens* com e sem adubação fosfatada na cultura do milho. A inoculação das sementes com a bactéria aumentou o diâmetro médio das espigas de milho, mesmo sem a utilização da adubação fosfatada.

A inoculação de *Brachiaria brizantha* cv. BRS Piatã com *P. fluorescens* aumentou a área foliar, o incremento foi acima de 700% em relação às plantas controle não fertilizadas e 108% em relação às plantas controle fertilizadas. A produção de biomassa foi maior nas plantas inoculadas, com um incremento de massa seca da parte aérea de mais de 930%, em relação às plantas de controle não fertilizadas, e mais de 334% em relação às plantas de controle fertilizadas. Para a produção de massa seca da raiz, esse incremento foi acima de 770% e 262% em relação às plantas de controle não fertilizadas e fertilizadas, respectivamente (LOPES *et al.*, 2018).

Plantas do híbrido Mavuno (*Urochloa* spp.) inoculadas com *P. fluorescens* tiveram rendimento de massa seca da raiz 9,2% superior do tratamento controle

sem inoculação e sem N-fertilizante e peso seco de perfilhos 13,7% maior que o tratamento com N-fertilizante e (SÁ *et al.*, 2019).

Em comparação com o tratamento controle negativo sem fertilizante, a inoculação com *P. fluorescens* em *P. maximum* cv. BRS Zuri tiveram incremento de 9,7% no acúmulo de N e de 4,8% no acúmulo de magnésio em relação ao controle positivo com N-fertilizante (LIMA *et al.*, 2020).

2.1.3 *Rhizobium tropici* CIAT-899 (SEMIA 4077)

Martinez-Romero *et al.* (1991) citaram a espécie *Rhizobium tropici* dentro das linhagens existentes de *Rhizobium* spp., sendo a SEMIA 4077 a estirpe-padrão. Essas cepas foram isoladas de áreas tropicais, nodulando e fixando nitrogênio em feijão-caupi (*Phaseolus vulgaris*), guaje (*Leucaena esculenta*) e leucena (*Leucaena leucocephala*). *R. tropici* é uma α -proteobactéria, hastes flageladas aeróbias e gram-negativas. O pH ideal para o crescimento está entre 5,0-7,0 e pode ocorrer em temperaturas acima de 40°C.

De acordo com Chueire *et al.* (2003) e Mercante *et al.* (2017), a cepa CIAT 899 (SEMIA 4077) é recomendada comercialmente no Brasil para a cultura do feijoeiro. Caracteriza-se pela sua estabilidade genética, adaptação a altas temperaturas e elevada competitividade (VIEIRA, 2017).

Em comparação com outras bactérias formadoras de nódulos, *R. tropici* CIAT 899 apresenta maior resistência a condições de crescimento ácidas. Essa capacidade de crescer e persistir sob mudanças ambientais é importante para a sobrevivência na rizosfera (GUERRERO-CASTRO *et al.*, 2018). Essa condição de baixo pH podem ser uma característica da rizosfera, pela liberação de exsudatos vegetais composto por prótons e ácidos orgânicos (UDVARDI; DAY, 1997).

As cepas de CIAT 899 conseguem sobreviver em condições de estresse oxidativo e osmótico, tem resistência a compostos antimicrobianos o que permite que *R. tropici* CIAT 899 competir eficientemente no solo contra outros microrganismos e produtos antimicrobianos, tendo uma ampla gama de hospedeiros (ORMEÑO-ORRILLO *et al.*, 2012).

Os sinais-chave da simbiose em *Rhizobium* spp. são os oligossacarídeos de lipoquitina, denominados fatores NOD (TAIZ *et al.*, 2017d). *R. tropici* sintetiza uma grande variedade desses metabólitos, foi mencionado que os oligossacarídeos de lipoquitina promovem o crescimento de plantas não-leguminosas, em que há uma provável imitação dos efeitos de fitohormônios vegetais, como auxinas e citocininas (MARKS *et al.*, 2015).

A inoculação em espécies não-leguminosas não forma nódulos, com poucos estudos desse microrganismo em gramíneas. Picazevicz *et al.* (2017) realizaram a inoculação de *R. tropici* em milho da cultivar 'Al Bandeirante' e verificaram que o efeito combinado da adubação nitrogenada com o rizóbio permitiu o aumento de 34% no crescimento total das plantas e de 37% no teor de N acumulado nas brotações, além de incrementar em matéria seca da raiz e matéria seca total, ao contrário do que ocorre em espécies leguminosas que formam nódulos, em que o fertilizante inibe a atividade diazotrófica da bactéria.

Os resultados mostram que, com a aplicação de N-inorgânico e inoculação das sementes de milho com *R. tropici*, as plantas se beneficiam do N fornecido via fertilizante e do N derivado da FBN, e que a aplicação combinada das duas fontes é mais eficiente que o uso único de adubo nitrogenado no solo (PICAZEVICZ *et al.*, 2017).

A coinoculação de *A. brasilense* Ab-V6 + *R. tropici* CIAT 899 em capim Zuri, promoveu o aumento da concentração média de 45% de N e incremento de 25% no número de perfilhos, com 370 perfilhos m² em relação ao tratamento controle de 100 kg ha⁻¹ de N (CARVALHO *et al.*, 2020).

2.2 *Panicum maximum* (syn. *Megathyrsus maximus*) cv. Aruana

Panicum maximum é uma das mais produtivas espécies de pastagens, adaptando-se a diversos tipos de clima e sendo exigente quanto a fertilidade do solo (GOMES *et al.*, 2011; JANK *et al.*, 2009). A gramínea forrageira *Panicum maximum* Jacq cv. Aruana é uma cultivar proveniente da África, introduzida em 1974 no Instituto de Zootecnia de Nova Odessa sob o nº IZ-5 e lançada para comercialização em 1995. É uma cultivar propagada por sementes, possui

crescimento cespitoso, em touceiras, produzindo entre 18 a 21 toneladas de MS/ha/ano (SANTOS *et al.*, 1998).

As folhas são estreitas de coloração verde escuro, com colmos finos e bainha foliar levemente pilosos e a inflorescência é uma panícula pequena. O capim-aruana pode ser cultivado em áreas com precipitação pluviométrica anual acima de 800 mm. Comparada a outras cultivares de *P. maximum* é a que possui menor porte (ZIMMER *et al.*, 2007).

Para Pompeu *et al.* (2010), o dossel forrageiro do capim-aruana é ideal para animais em pastejo, pelo fato de oferecer elevada proporção de lâminas foliares, variando entre 2,33 e 3,08 folhas por perfilho com a aplicação de 750 kg ha⁻¹ de N, e segundo Cecato *et al.* (2000), pela alta velocidade de surgimento de folhas, obtendo maior número de perfilhos. Apresenta-se entre os melhores capins para ovinos, em relação a sua viabilidade e aceitabilidade (BIANCHINI *et al.*, 1999).

Coelho *et al.* (2013), ao avaliarem as características produtivas e nutricionais do capim-aruana durante a fase de estabelecimento, observaram que a cultivar possui boa produção de matéria seca (MS) por hectare, produzindo uma massa total de forragem de aproximadamente 12 t MS ha⁻¹ com 17,11% de proteína bruta aos 80 dias após semeadura, com boa aceitabilidade pelos animais em pastejo.

Dada a sua exigência de N, Colozza *et al.* (2000) observaram que a aplicação de doses crescentes de N incrementou o número de perfilhos (29 perfilhos na ausência de N para 82 perfilhos na dose de 210 mg N⁻¹), a produção de matéria seca das raízes (5 g vaso⁻¹ na ausência de N para 17,72 g vaso⁻¹ para dose de 120 mg N kg⁻¹) da parte aérea (8,34 g vaso⁻¹ na ausência de N para 18,10 g vaso⁻¹ para 160 mg N kg⁻¹), proporcionando aumentos significativos na produtividade e qualidade do capim-aruana.

Em outro estudo, Sacramento *et al.* (2019) testaram diferentes doses de nitrogênio, e obtiveram resultados positivos com a fertilização nitrogenada em relação a produção de matéria seca, sendo de aproximadamente 5,84 t ha⁻¹ em plantas sem adubação, para 8,86 t ha⁻¹ em plantas adubadas com 225 kg ha⁻¹ de N.

Lavres e Monteiro (2006) ao avaliarem por determinação indireta o teor de clorofila na atividade da redutase do nitrato, e as concentrações de N nos

componentes da parte aérea, elucidaram que o capim-aruaana é uma cultivar exigente em nitrogênio (N), e que esse elemento é limitante para o crescimento da gramínea.

2.3 Pastagens tropicais e adubação nitrogenada

O Brasil concentra a alimentação do seu rebanho em plantas forrageiras tropicais inseridas em diferentes ecossistemas e interagindo com os fatores ambientais (VERAS *et al.*, 2017). A atividade à pasto necessita de planejamento e manejo adequado da gramínea forrageira (ZANINI *et al.*, 2012). Em que a carência de reposição dos nutrientes no solo têm sido as principais causas que acometem a degradação do pasto, conforme dito por Lavres e Monteiro (2006).

Latawiec *et al.* (2014) apontam como resposta à falta de fertilização de manutenção e também controle de ervas daninhas como fatores que resultam em baixas taxas de lotação e conseqüentemente, menor produtividade.

A disponibilidade de nitrogênio, em quantidade menor do que a requerida pelas plantas, compromete a expressão do potencial de produção das plantas forrageiras (LUGÃO *et al.*, 2003). A degradação do pasto pode ocorrer até mesmo em solos com alto teor de nutrientes, isso porque a rocha, material de origem do solo não possui o elemento N (CABRAL *et al.*, 2021).

O N é o responsável pela maior produtividade das plantas forrageiras, como exemplo, foi observado no capim Marandu que a menor reposição de N que a absorção requerida pela planta leva a diminuição da produção de biomassa e teor de proteína, ocasionando menor capacidade de suporte da pastagem (BACKES *et al.*, 2018).

A deficiência de N prontamente inibe o crescimento vegetal, as folhas mais velhas apresentam clorose, progressivamente as plantas desenvolvem caules mais finos e lenhosos. Quando a deficiência do nutriente é extrema, as lâminas foliares tornam-se completamente amareladas ou castanhas e caem. Como elemento requerido em maiores quantidades pelas plantas, o N serve como constituinte de muitos componentes das células vegetais, incluindo a clorofila, aminoácidos e ácidos nucléicos (TAIZ *et al.*, 2017e).

Contudo, ainda que 80% dos gases atmosféricos serem compostos por N, nenhum animal ou planta conseguem utilizá-lo diretamente como nutriente, devido à tripla ligação existente entre os dois átomos do nitrogênio (N_2), de difícil quebra (HUNGRIA *et al.*, 2001).

As formas finais de N imediatamente disponíveis para absorção pelos vegetais são amônio (NH_4^+) e nitrato (NO_3^-), que diferente dos outros nutrientes essenciais, não é liberado dos minerais para a solução do solo. Nos sistemas agrícolas, a alta produção é acompanhada pela forte dependência e aplicação de grandes quantidades de fertilizantes, principalmente em ambientes tropicais (HIREL *et al.*, 2011; O'BRIEN *et al.*, 2016).

Além disso, o N proveniente das atividades antropogênicas tornou-se motivo de preocupação em muitas partes do mundo, por ser responsável pela poluição do ar, água e dos solos. O processo industrial que transforma N_2 em amônia (NH_3) tem superado a FBN no último século, resultando em uma ciclagem global duplicada, o excesso não consegue ser reaproveitado no ciclo do nitrogênio, ocasionando as perdas (STEVENS, 2019).

Com isso, nos sistemas agrícolas, o nitrogênio pode ser perdido por três vias que causam poluição ambiental: perda de nitrato por lixiviação, volatilização da amônia e perda de óxido nitroso durante a desnitrificação (ISHERWOOD, 2000).

De acordo com Resende (2002), o uso excessivo e inadequado dos fertilizantes nitrogenados, principalmente em solos desprotegidos, provoca a lixiviação desse nutriente da superfície do solo pela água, sendo removido das áreas agrícolas.

Por isso, a eficiência do uso dos recursos, como a água e fertilizantes, deve ser levada em consideração, já que em torno de 70% das emissões de N_2O pelo homem são provenientes da agricultura, e o nível atmosférico de N_2O tem aumentado com a utilização de fontes inorgânicas nitrogenadas (LANA, 2009).

Políticas que protegem o carbono do solo e aumentam sua atividade microbiana possuem prioridade durante o planejamento de restauração de ecossistemas agrícolas (BINGHAM; COTRUFO, 2016).

CAPÍTULO 1 – BACTÉRIAS DIAZOTRÓFICAS OU ADUBAÇÃO NITROGENADA EM CAPIM-ARUANA: CARACTERÍSTICAS PRODUTIVAS E MORFOGÊNICAS

Artigo a ser submetido ao Periódico Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira, qualis B1 na área de Zootecnia/Recursos Pesqueiros.

INTRODUÇÃO

As pastagens podem atuar na diminuição dos impactos ambientais e redução do desmatamento de novas áreas quando atingem o ponto ótimo de crescimento e incrementam os índices de produtividade dos rebanhos no Nordeste do Brasil (CÂNDIDO *et al.*, 2018).

O nitrogênio (N) é o primeiro nutriente que limita a produção em gramíneas forrageiras. Para o gênero *Panicum*, a indisponibilidade de N reduz a massa de forragem desde o primeiro crescimento (CABRAL *et al.*, 2021).

A ureia é a fonte de N prontamente solúvel e disponível para a planta, sendo o fertilizante mais utilizado na agricultura, porém apresenta-se como um problema quando a sua biodisponibilidade não está compatível com a capacidade de assimilação pela planta (SKONIESKI *et al.*, 2019).

As perdas de N por volatilização do amônio (NH_4^+) e lixiviação de nitrato (NO_3^-), resultam na menor utilização de N para a produção agrícola prevista e configura-se um elevado risco de contaminação do solo e águas subterrâneas (GUELFÍ, 2017). Além disso, a fertilização nitrogenada é onerosa, ocupando cerca de 80% dos custos com adubação (CABRAL *et al.*, 2021).

Práticas de manejo que otimizem o uso do nitrogênio pelas plantas e que reduzam os riscos de lixiviação e volatilização são um grande desafio para a produção agropecuária, onde o desenvolvimento de estratégias de mitigação desses riscos deve garantir rendimento agrícola, que acompanhe o crescimento populacional, com o mínimo de poluição ambiental (RUSER; SCHULZ, 2015).

Alternativas que trazem progresso na produção animal, com estratégias que alinhem sustentabilidade e lucratividade devem ser prioridade nos sistemas de manejo (LIMA *et al.*, 2020).

Como opção viável para atenuar os impactos ambientais e também diminuir os custos de produção, vem a inclusão de bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCV) e fixadoras de nitrogênio nos programas de recuperação (HUNGRIA *et al.*, 2016) e renovação das pastagens.

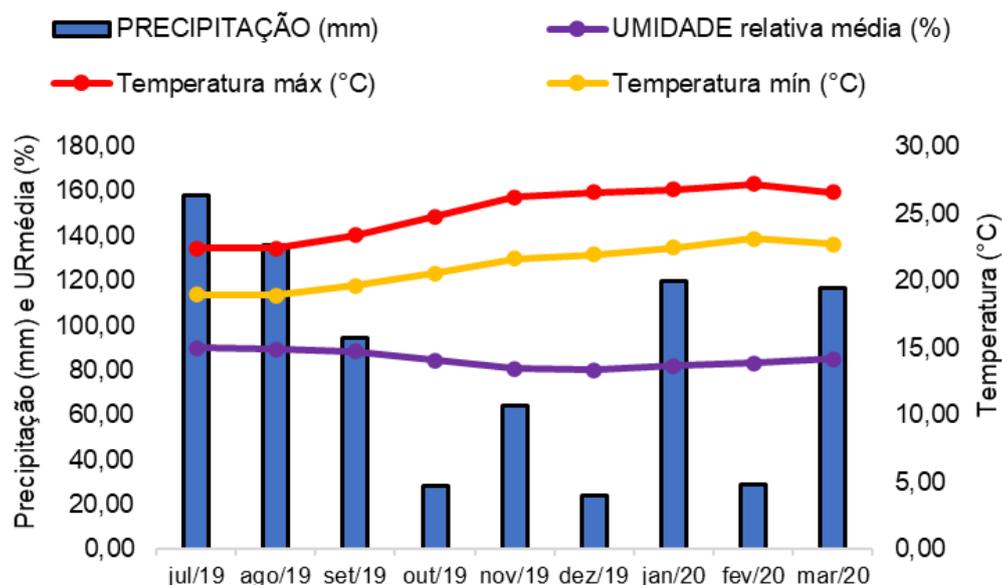
Por isso, esse estudo teve como objetivo avaliar o efeito de bactérias diazotróficas nos parâmetros produtivos e características morfogênicas de *P. maximum* cv. Aruana em comparação com a adubação nitrogenada.

MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na área experimental da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB) no município de Cruz das Almas, Bahia, Brasil (12° 39' 11" S, 39° 7' 19" O), em parceria com a Universidade Estadual de Maringá (UEM) e Embrapa Soja, no Paraná. Com clima caracterizado como Aw a Am, tropical quente e úmido, segundo a classificação de Köppen (KÖPPEN; GEIGER, 1936), com maior incidência de chuvas no período compreendido entre março e junho.

A temperatura média anual e a precipitação são de 24,5 °C e 1224 mm, respectivamente. Os detalhes climáticos durante o experimento são mostrados na Figura 1 a partir de dados retirados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2021) a partir da na estação da Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas-BA.

Figura 1 Precipitação (mm), umidade relativa média (%) e temperaturas máximas e mínimas (°C) durante o período experimental (setembro/2019 até março/2021) na Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, em Cruz das Almas-BA de julho de 2019 até março de 2020.



O solo é classificado como Latossolo Amarelo Distrocoeso e amostrado na camada de 0-20 cm e 20-40 cm antes da instalação experimental para análise das propriedades químicas. Os resultados obtidos foram:

Tabela 1 Características químicas do solo da área experimental (0-20 e 20-40 cm).

Análise química da amostra de solo										
Prof. cm	pH	P mg dm ⁻³	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ⁺²	Al ³⁺	H + Al	CTC _e	V %	M.O. g dm ⁻³
	H ₂ O			cmol _c dm ⁻³						
0-20	4,8	2,86	29,09	1,18	0,64	0,19	3,31	2,08	36,43	9,13
20-40	5,0	2,03	24,31	1,12	0,65	0,19	1,66	2,02	52,50	9,41

pH: potencial hidrogeniônico; P: fósforo disponível; K⁺: potássio; Ca⁺²: cálcio; Mg⁺²: magnésio; Al⁺³: alumínio; H + Al: hidrogênio e alumínio; CTC_e: capacidade de troca de cátions efetiva; V: saturação de bases; M.O: matéria orgânica.

A calagem e adubações de correção foram realizadas de acordo com (VILELA *et al.*, 2004). Para correção da acidez, foi feita calagem com base no

método de elevação da saturação por bases para $V = 60\%$, correspondendo a 1400 kg ha^{-1} de calcário dolomítico (PRNT = 90).

Antes da semeadura, todas as parcelas receberam o equivalente a 90 kg ha^{-1} de P_2O_5 (superfosfato simples, 18% de P_2O_5) em dose única, 20 kg ha^{-1} de N (ureia, 45% de N), objetivando o nivelamento da disponibilidade desse nutriente no solo e 90 kg ha^{-1} de K_2O (cloreto de potássio, 60% de K_2O) dividido em duas aplicações, sendo a primeira incorporada ao solo junto ao fósforo e a segunda após o primeiro corte de uniformização, junto com a adubação de N-fertilizante de acordo com os tratamentos, 50 kg N ha^{-1} e 100 kg N ha^{-1} (ureia, 45% de N), aplicados uma única vez.

O experimento foi instalado em julho de 2019 e a semeadura em parcelas de $3 \times 4 \text{ m}$ (12 m^2). O delineamento experimental foi em blocos casualizados com quatro repetições. Os tratamentos foram sementes de capim-aruaana (*Panicum maximum* cv. Aruana) inoculadas com cepas de bactérias diazotróficas: *Azospirillum brasilense* Ab-V5 (=CNPSo 2083), *Azospirillum brasilense* Ab-V6 (=CNPSo 2084), *Pseudomonas fluorescens* CCTB 03 (=CNPSo 2719), *Rhizobium tropici* CIAT 899 ou SEMIA 4077 (=CNPSo 103) e com fornecimento de N nas doses de 50 kg ha^{-1} e 100 kg ha^{-1} , totalizando seis tratamentos.

Os inóculos de bactérias identificados foram preparados em concentração final de 10^8 células mL^{-1} , no laboratório de biotecnologia da Embrapa Soja, no município de Londrina, Paraná. Para cada quilo de semente das gramíneas foram misturados 15 ml de inóculo e antes do plantio as sementes foram secas ao ar livre por 30 minutos.

Realizou-se o corte de uniformização quando o capim-aruaana atingiu 0,5 m de altura mantendo-se um resíduo de 0,15 m. Uma semana após o corte de uniformização aplicou-se a adubação nitrogenada, de acordo com os tratamentos de 50 kg ha^{-1} e 100 kg ha^{-1} na forma de ureia (45% de N).

Realizou-se um corte por estação, a primeira coleta foi em 08/10//2019 representando a estação da primavera e em 15/01/2020, indicando a estação do verão.

Para determinação dos parâmetros produtivos, assim que as parcelas atingiam a média de 0,5 m de altura houve coleta por meio de amostragem utilizando um quadrado de 0.25 m^2 ($0.5 \times 0.5 \text{ m}$) deixando resíduo de 0,15 m.

Toda a forragem coletada foi homogeneizada, pesada e dividida em duas amostras. Após a coleta, as parcelas foram rebaixadas na altura de resíduo indicada.

Do material coletado, foram feitas duas subamostras, sendo a primeira subamostra foi utilizada para separação botânica em lâminas foliares, colmo + bainha e material morto. A segunda subamostra foi seca em estufa de ventilação forçada a 60°C por 72 horas, segundo o método INCT-CA G-001/1, conforme técnicas descritas por Detmann *et al.*, (2012) e os valores foram utilizados para a estimativa de produção de massa seca de forragem, com valores expressos em kg ha⁻¹.

Foram coletados 10 perfilhos aleatórios e representativos a altura média da parcela, os quais foram pesados em balança digital, de modo que os valores obtidos foram utilizados para estimar o peso médio em massa de seca por perfilho (g perfilho⁻¹).

Para avaliação do desenvolvimento das forrageiras, por meio das características morfogênicas, foram demarcados quatro perfilhos por parcela, diferenciados por fios de arame colorido. Duas vezes por semana foi mensurado comprimento de cada lâmina foliar, registrando-se as ocorrências de senescência, morte e expansão da lâmina foliar dos perfilhos demarcados, durante cinco semanas e na primeira e última semana de avaliação morfogênica, a medida de altura de pseudocolmo, totalizando 160 observações em 32 dias para cada tratamento.

Os dados obtidos foram utilizados para aferição e determinação das seguintes características morfogênicas e estruturais abaixo:

- Taxa de aparecimento de folhas - TApF (folhas dia perfilho⁻¹): divisão do número de folhas surgidas por perfilho pelo número de dias do intervalo de avaliação; $TApF = n^{\circ} \text{ de novas folhas} \div (n^{\circ} \text{ perfilhos} \times \text{duração da avaliação em dias})$
- Taxa de alongamento de folhas - TAIF (cm dia perfilho⁻¹): divisão da variação em comprimento das folhas em expansão do perfilho pelo número de dias do intervalo de avaliação; $TAIF = \Sigma (\text{Comprimento acumulado de folhas em cm} - \text{Comprimento inicial das folhas em cm}) \div (n^{\circ} \text{ perfilhos} \times \text{duração da avaliação em dias})$

- Taxa de alongamento do colmo (cm perfilho dia⁻¹): diferença entre o comprimento final e inicial durante o período de avaliação; $TAIC = (\text{Tamanho final do colmo em cm} - \text{Tamanho inicial do colmo em cm}) \div \text{duração da avaliação em dias}$.
- Filocrono – FIL (dias): inverso da taxa de aparecimento de folhas; $FIL = 1/TApF$
- Duração de vida das folhas - DVF (dias): intervalo, em dias, do aparecimento da folha até sua morte; $DVF = \text{Número de folhas vivas} \times \text{filocrono}$
- Comprimento final da folha - CFF (cm): medido da lígula até a ponta da folha;
- Número de folhas vivas por perfilho - NFV: contagem do número de folhas verdes não senescentes;
- Número de folhas senescentes por perfilho – NFS: contagem do número de folhas senescentes;
- Número de folhas em expansão por perfilho – NFEx: contagem do número de folhas em expansão;
- Número de folhas expandias – NFE: contagem do número de folhas completamente expandidas;
- Número de folhas mortas por perfilho – NFM: contagem do número de folhas mortas.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias dos tratamentos foram comparadas pelo Teste de Scott-Knott a um nível de 5% de significância ($p \leq 0,05$). Foi utilizado para as análises estatísticas o programa computacional R versão 4.0.3

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não houve diferença estatística entre a inoculação e a adubação nitrogenada em relação aos parâmetros produtivos de capim-aruaana nas observações feitas na primavera (Tabela 2) e verão (Tabela 3), exceto para a variável porcentagem de material morto (PMM) na primavera.

Os resultados produtivos indicam que a inoculação com as bactérias promotoras de crescimento vegetal atingiu valores semelhantes aos tratamentos com adubação nitrogenada, demonstrando um efeito positivo da utilização desses microrganismos na produção do capim-aruana.

Para a porcentagem de material morto (PMM), houve diferença para o tratamento inoculado com *R. tropici* CIAT 899 ($p \leq 0,0330$), com menor PMM (3,2%), e para o tratamento adubado com 50 kg N ha⁻¹ (10,8%), conforme apresentado na Tabela 2. É desejável a menor proporção desse componente na planta, já que está relacionada à seleção e aceitação pelos animais em pastejo, que concentram a sua atividade em estratos da pastagem que possuem mais folhas (HODGSON, 1990; SEVERO *et al.*, 2019).

Apesar de não haver diferença estatística, a inoculação com *Rhizobium tropici* CIAT 899 destacou-se com uma produção 10,3% maior que a adubação com 100 kg ha⁻¹ de N, e também *Azospirillum brasilense* Ab-V5 com produção superior 5,5% que a maior dosagem de N.

Para o verão, a produção foi inferior à da primavera, tal resposta é justificada pelas condições climáticas que antecederam o corte da referida estação, na primeira quinzena de janeiro (Figura 1), com baixa umidade e precipitação, e maiores temperaturas. O tratamento que obteve melhor desempenho continuou sendo o inoculado com *R. tropici* CIAT 899, com produção de massa seca 11,3% maior que o tratamento de 100 kg N ha⁻¹ (Tabela 3).

Tabela 2 Atributos produtivos de capim-aruana inoculados com bactérias diazotróficas ou adubação nitrogenada na primavera.

Tratamentos	PMS (kg ha ⁻¹)	PFO (%)	PCO (%)	PMM (%)	RFC --
Ab-V5	8688	46,5	46,3	7,2 ^{ab}	1,21
Ab-V6	7144	52,4	42,2	5,4 ^{ab}	1,49
CIAT 899	9077	47,6	49,2	3,2 ^b	0,99
CCTB03	5053	57,7	32,4	9,9 ^{ab}	1,92
50 kg N ha ⁻¹	8056	43,4	45,8	10,8 ^a	0,95
100 kg N ha ⁻¹	8232	48,9	44,2	6,9 ^{ab}	1,17
CV (%)	30,54%	17,37%	23,02%	42,51%	44,93%
EPM	480,5569	1,7521	2,0363	0,6286	0,1183
Valor de P	0,239441	0,28852	0,29123	0,03307	0,22513

Ab-V5 = *A. brasilense* Ab-V5; Ab-V6 = *A. brasilense* Av-V6; CIAT 899 = *R. tropici* CIAT 899; CCTB03 = *P. fluorescens* CCTB 03. Produção de matéria seca (PMS), porcentagem de folha (PFO, porcentagem de colmo (PCO), porcentagem de material morto (PMM) e razão folha:colmo (RFC). Médias seguidas da mesma letra na coluna não são diferentes (Teste Scott-Knott, $p \leq 0,05$). CV = coeficiente de variação. EPM = Erro padrão da média.

Tabela 3 Atributos produtivos de capim-aruaana inoculado com bactérias diazotróficas ou adubação nitrogenada no verão.

Tratamentos	PMS (kg ha ⁻¹)	PFO (%)	PCO (%)	PMM (%)	RFC --
Ab-V5	2684	60,3	29,3	10,4	2,5
Ab-V6	2564	62,2	28,6	9,2	2,3
CIAT 899	3112	50,7	36,1	13,2	1,9
CCTB03	2754	49,6	33,7	16,7	1,6
50 kg N ha ⁻¹	2731	51,9	30,4	17,7	1,8
100 kg N ha ⁻¹	2797	51,7	31,7	16,6	2,0
CV (%)	27,23	16,71	41,38	70,22	55,50
EPM	154,3522	1,8555	2,6721	2,0019	0,2302
Valor de P	0,9404	0,7557	0,9627	0,7434	0,8373

Ab-V5 = *A. brasilense* Ab-V5; Ab-V6 = *A. brasilense* Av-V6; CIAT 899 = *R. tropici* CIAT 899; CCTB03 = *P. fluorescens* CCTB 03. Produção de matéria seca (PMS), porcentagem de folha (PFO, porcentagem de colmo (PCO), porcentagem de material morto (PMM) e razão folha:colmo (RFC). CV = coeficiente de variação. EPM = Erro padrão da média

Para a produção acumulada das duas estações (Tabela 4), não ocorreu diferença ($p > 0,05$) entre os tratamentos, porém destaca-se a inoculação com *R. tropici* CIAT 899 e *A. brasilense* Ab-V5, em que essas BPCV foram capazes de ultrapassar, em aspectos numéricos, a produção de MS da maior dose de adubação nitrogenada, com produção acumulada 10,5% maior com *R. tropici* CIAT 899 e 3,1% superior com *A. brasilense* Ab-V5 em comparação à dose de 100 kg ha⁻¹ de N.

Tabela 4 Produção acumulada dos cortes da primavera e verão do capim-aruana inoculado com bactérias diazotróficas ou adubação nitrogenada.

Produção acumulada primavera e verão em kg ha ⁻¹ de MS					
Ab-V5	Ab-V6	CIAT 899	CCTB03	50 kg ha ⁻¹	100 kg ha ⁻¹
11372	9709	12190	7821	10787	11029
CV (%) = 29,52		EPM = 610,4056		Valor de P = 0,4231	

Ab-V5 = *A. brasilense* Ab-V5; Ab-V6 = *A. brasilense* Av-V6; CIAT 899 = *R. tropici* CIAT 899; CCTB03 = *P. fluorescens* CCTB 03. CV = coeficiente de variação. EPM = Erro padrão da média.

A razão folha:colmo é uma variável importante para gramíneas forrageiras e utilizada como uma ferramenta de manejo, quanto maior for esse valor, maior a proporção de folhas e qualidade da pastagem (BRÂNCIO *et al.*, 2003; PINTO *et al.*, 1994). Observou-se que todos tratamentos inoculados apresentaram razão folha:colmo correspondente aos dados encontrados na literatura para o capim-aruana.

A razão folha:colmo variando entre 0,95-1,19 na primavera (Tabela 2) possivelmente foi influenciada pela floração do capim-aruana, favorecendo a maior proporção de colmo na planta, o mesmo efeito foi observado em Fernandes *et al.* (2014). No verão, a razão folha:colmo esteve entre 1,59-2,53, esses valores estão correspondentes com o estudo de Costa *et al.* (2021), que obtiveram razão folha:colmo de 1,95 para o capim-aruana,

Sacramento *et al.* (2019) também encontraram valores superiores a 1:1, confirmando a característica de alta produção de folhas do capim-aruana. Os maiores valores de razão folha:colmo no verão sugerem que as BPCV podem melhorar essa característica, fortemente relacionada à aceitabilidade e palatabilidade das plantas pelos animais (CRUZ; BASSO, 2020).

A partir desses dados, nota-se que entender as características produtivas das gramíneas em diferentes épocas do ano é um importante conhecimento para auxiliar nos índices de produtividade, e obter informações necessárias para o manejo adequado (VERAS *et al.*, 2017).

Tabela 5 Características morfogênicas de capim-aruana inoculado com bactérias diazotróficas ou adubação nitrogenada na primavera.

Tratamentos	TApF	TAIF	TAIC	FIL	NFV	NFS	NFM	NFEx	NFE
Ab-V5	0,09	0,20 ^{ab}	0,02	12,91	4,06	0,06 ^b	1,25 ^{ns}	2,38 ^a	1,69
Ab-V6	0,07	0,14 ^b	0,05	18,12	2,88	0,13 ^b	1,75	1,81 ^{ab}	1,13
CIAT 899	0,08	0,20 ^{ab}	0,04	15,14	3,56	0,13 ^b	1,69	1,81 ^{ab}	1,69
PSEUDO	0,07	0,25 ^{ab}	0,02	19,67	2,88	0,56 ^a	1,56	1,44 ^b	1,38
50 kg N ha ⁻¹	0,08	0,25 ^{ab}	0,02	17,10	3,19	0,13 ^b	2,06	2,06 ^{ab}	1,63
100 kg N ha ⁻¹	0,09	0,34 ^a	0,03	12,10	3,69	0,06 ^b	1,88	1,88 ^{ab}	1,19
CV (%)	18,41	33,14	49,48	22,87	18,24	87,72	39,47	17,19	35,04
EPM	0,0029	0,0154	0,0031	0,7393	0,1767	0,0317	0,1368	0,0665	0,1035
Valor de P	0,1061	0,0352	0,1883	0,0615	0,0859	0,0029	0,6402	0,0237	0,4480

Ab-V5 = *A. brasilense* Ab-V5; Ab-V6 = *A. brasilense* Av-V6; CIAT 899 = *R. tropici* CIAT 899; PSEUDO = *P. fluorescens* CCTB 03. TApF = taxa de aparecimento de folhas em folhas. perfilho dia⁻¹; TAIF = taxa de alongamento de folhas em cm. perfilho dia⁻¹; TAIC = taxa de alongamento do colmo em cm. perfilho dia⁻¹; FIL = filocrono em dias; NFV = número de folhas vivas em folhas perfilho⁻¹; NFS = número de folhas senescente em folhas perfilho⁻¹; NFM = número de folhas mortas em folhas perfilho⁻¹; NFEx = número de folhas em expansão em folhas perfilho⁻¹; NFE = número de folhas expandidas; médias seguidas da mesma letra na coluna não são diferentes (Teste Scott-Knott, $p \leq 0,05$). CV = coeficiente de variação. EPM = Erro padrão da média.

Para as características morfogênicas de capim-aruana na primavera, não houve diferença entre os tratamentos ($p > 0,05$), exceto para as variáveis taxa de alongamento das folhas ($p \leq 0,0352$), número de folhas senescentes ($p \leq 0,0029$) e número de folhas em expansão ($p \leq 0,0237$), com dados apresentados na Tabela 5.

Em pastagens, o estudo da morfogênese, tem como objetivo de acompanhar, principalmente, a dinâmica de aparecimento e morte das lâminas foliares, componente que corresponde ao produto básico da pastagem, essa dinâmica de transformações na forma e estrutura das plantas ao longo do tempo (MARCELINO *et al.*, 2006).

A taxa de expansão da parede celular depende de diversos fatores, como espécie e idade da planta, hormônios como auxina e giberelina, condições ambientais e disponibilidade de água (TAIZ *et al.*, 2017a).

O tratamento inoculado com *A. brasilense* Ab-V6 e o fertilizado com 100 kg N ha⁻¹ diferiram quanto a taxa de alongamento de folhas, onde as parcelas que receberam a adubação mineral tiveram maior alongamento foliar (0,34 cm. perfilho dia⁻¹). A taxa de alongamento das folhas estabelece uma relação positiva com o rendimento de forragem e é relevante para a análise de fluxo dos tecidos, quanto maior o alongamento foliar, maior a área fotossinteticamente ativa da

planta e com isso o aumento da produção de biomassa de folhas (MARTUSCELLO *et al.*, 2006; POMPEU *et al.*, 2010).

Por consequência, o tratamento com menor taxa de alongamento de folhas, *A. brasiliense* Ab-V6, foi o que apresentou maior taxa de alongamento de colmo. O colmo é o elemento estrutural básico de sustentação das gramíneas forrageiras, entretanto reserva menos nutrientes do que as lâminas foliares e pode influenciar negativamente no desempenho dos animais se consumido em alta proporção (SILVA *et al.*, 2020).

Sacramento *et al.* (2019) avaliando níveis crescentes de nitrogênio, observaram que na maior dose aplicada (225 kg N ha⁻¹) obteve-se maior número de folhas senescentes comparado ao tratamento sem adubação, com os valores de 4,03 folhas perfilho⁻¹ para a maior dose de N e de 1,21 folhas perfilho⁻¹ para 0 kg N ha⁻¹.

Nesse estudo foi observado o efeito contrário, as parcelas inoculadas com *P. fluorescens* CCTB 03, com menor produção na estação da primavera, o que levou a considerar baixo suprimento nutricional para as plantas, foram as que tiveram maior quantidade de folhas senescentes, diferenciado dos demais tratamentos ($p \leq 0,0317$), com 0,56 folhas senescentes perfilho⁻¹ (Tabela 5).

O aumento das doses de N faz com que a planta tenha maior renovação de tecidos, que faz aumentar a taxa de senescência foliar (MARTUSCELLO *et al.*, 2005), o observado nesse estudo, é que a inoculação com BPCV no capim-aruana mantiveram baixo número de folhas senescentes e sem reduzir a duração de vida das folhas (Figura 3 e 5).

Os resultados obtidos no presente estudo são avaliados de forma positiva, já que a senescência é um dos fatores que compromete a eficiência de uso da forragem (CÂNDIDO *et al.*, 2006).

Para o número de folhas em expansão, houve diferença ($p \leq 0,0237$) entre os tratamentos *P. fluorescens* CCTB 03 e *A. brasiliense* Ab-V5, com valores de 1,44 folhas perfilho⁻¹ e 2,38 folhas perfilho⁻¹ (Tabela 5), respectivamente, em que fatores nutricionais podem estar relacionados a essa resposta.

A quantidade de folhas em expansão por perfilho é uma variável importante para gramíneas em pastejo direto, as lâminas foliares em expansão tem mais chances de serem consumidas do que as folhas mais antigas, pela forma que os animais pastam e seu arranjo no perfilho (SEVERO *et al.*, 2019).

Figura 2 Comprimento final da folha (CFF) em cm de capim-aruana inoculado com BPCV ou adubação nitrogenada na primavera.

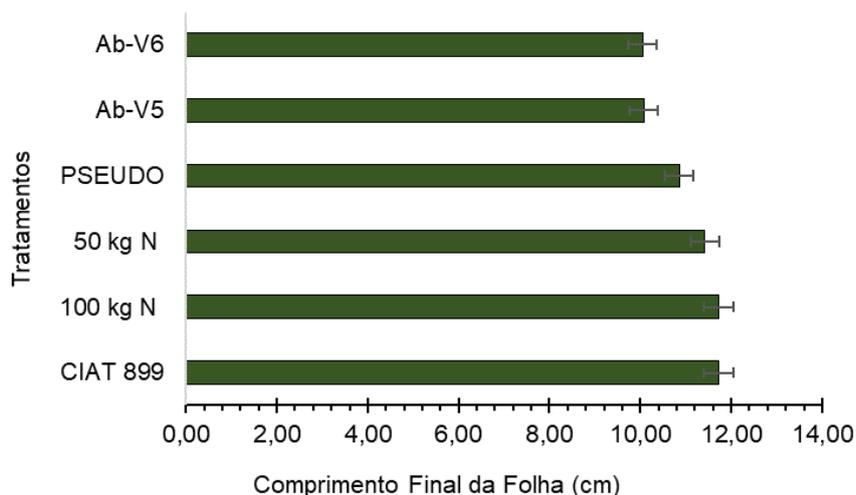
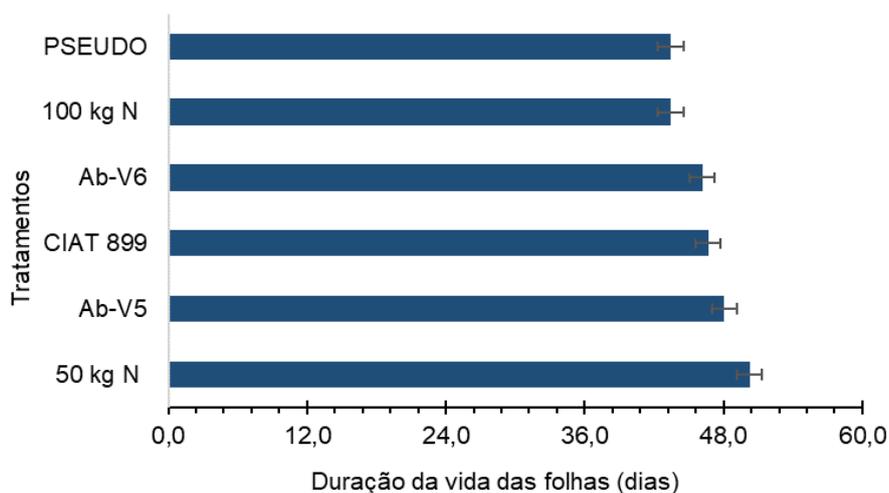


Figura 3 Duração de vida das folhas (DVF) de capim-aruana inoculado com bactérias diazotróficas e adubação nitrogenada na primavera.



Para a duração de vida das folhas (Figura 3 e 5), Silva *et al.*, (2020) relataram que na ausência de adubação as plantas permanecem mais tempo com suas folhas vivas, em detrimento do aparecimento ou expansão de novas folhas, o que contribui para o retardamento do processo de senescência, porém esse fenômeno não foi observado nesse estudo, pois os tratamentos inoculados e adubados com N não diferiram significativamente, ratificando o potencial das bactérias diazotróficas de suprirem as plantas no seu desenvolvimento

Não houve diferença nas morfogênicas no verão ($p > 0,05$), os valores obtidos estão expressos na Tabela 6 e Figuras 4 e 5. Observou-se maior número de folhas senescentes para essa estação, correspondendo com o relatado por Zanini *et al.* (2012), em que a senescência é influenciada pelas estações do ano, com maiores valores no verão.

Tabela 6 Características morfogênicas de capim-aruaana inoculado com bactérias diazotróficas ou adubação nitrogenada no verão.

Tratamentos	TApF	TAIF	TAIC	FIL	NFV	NFS	NFM	NFEx	NFE
Ab-V5	0,11	0,33	0,43	9,58	4,13	0,45	2,56	2,02	2,15
Ab-V6	0,10	0,21	0,17	11,12	3,94	0,50	2,44	2,13	1,85
CIAT 899	0,12	0,27	0,48	9,43	4,38	0,63	2,88	2,63	1,75
PSEUDO	0,09	0,25	0,14	11,45	3,75	0,75	2,63	1,88	1,88
50 kg N ha ⁻¹	0,09	0,23	0,15	12,76	3,75	0,50	2,31	1,75	2,00
100 kg N ha ⁻¹	0,09	0,26	0,11	12,00	3,88	0,81	2,25	1,94	1,94
CV (%)	24,40	22,12	90,85%	23,11	15,37	51,24	30,80	31,91	38,77
EPM	0,0050	0,0150	0,0505	0,5706	0,1243	0,0636	0,1407	0,1288	0,1441
Valor de P	0,3551	0,1149	0,1152	0,4122	0,6769	0,4742	0,8747	0,5213	0,9823

Ab-V5 = *A. brasilense* Ab-V5; Ab-V6 = *A. brasilense* Av-V6; CIAT 899 = *R. tropici* CIAT 899; PSEUDO = *P. fluorescens* CCTB 03. TApF = taxa de aparecimento de folhas em folhas. perfilho dia⁻¹; TAIF = taxa de alongamento de folhas em cm. perfilho dia⁻¹; TAIC = taxa de alongamento do colmo em cm. perfilho dia⁻¹; FIL = filocrono em dias; NFV = número de folhas vivas em folhas perfilho⁻¹; NFS = número de folhas senescente em folhas perfilho⁻¹; NFM = número de folhas mortas em folhas perfilho⁻¹; NFEx = número de folhas em expansão em folhas perfilho⁻¹; NFE = número de folhas expandidas; CV = coeficiente de variação. EPM = Erro padrão da média.

Figura 4 Comprimento final da folha (CFF) de capim-aruaana decorrida a inoculação com bactérias diazotróficas e adubação nitrogenada no verão.

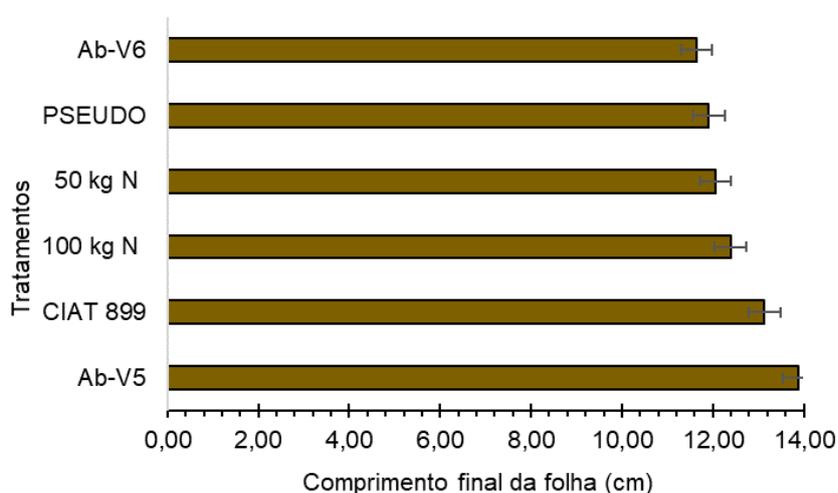
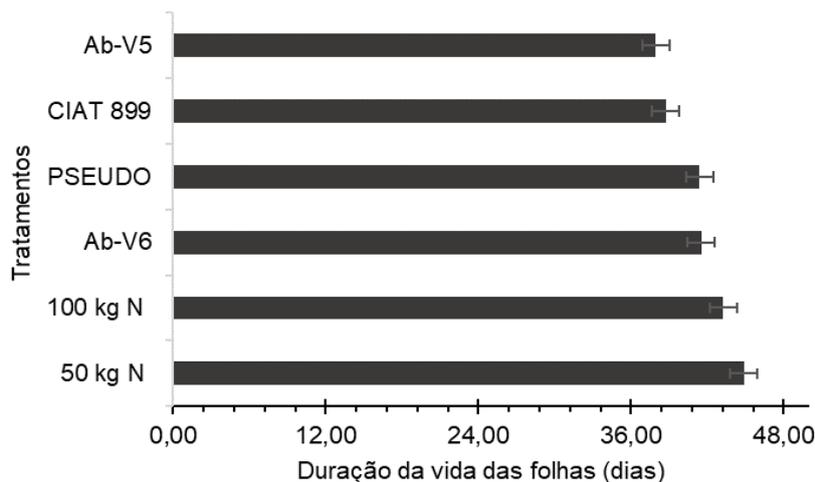


Figura 5 Duração de vida das folhas (DVF) de capim-aruana decorrida a inoculação com bactérias diazotróficas e adubação nitrogenada no verão.



A taxa de aparecimento de folhas pode ser considerada a característica morfogênica que merece maior destaque, pois influencia diretamente o tamanho final da folha, a densidade populacional de perfilhos e o número de folhas perfilho⁻¹ (NABINGER; CARVALHO, 2009). Sacramento *et al.* (2019) encontraram valores para a taxa de aparecimento de folhas entre 0,04 folhas perfilho dia⁻¹ para 0 kg/ha⁻¹ de N e 0,13 folhas perfilho dia⁻¹ para 225 kg ha⁻¹ de N.

O potencial de assimilação de C e produção de forragem a nível de perfilho é expressado no número de folhas vivas por perfilho, essa variável tem grande valor o manejo de gramíneas forrageiras por representar a porção com melhor atributo qualitativo e retirada pelos animais preferencialmente no pastejo (FULKERSON; DONAGHY, 2001).

No estudo de Pompeu *et al.* (2010), a cultivar aruana obteve o número médio de folhas vivas de 3,08 folhas perfilho⁻¹ para a dose anual de 750 kg ha⁻¹ de N. A comparação dessas variáveis com a resposta encontrada com a inoculação de BPCV colocam a inoculação em perspectiva positiva no manejo de gramíneas forrageiras.

Enquanto Lima *et al.* (2020) propuseram que bactérias diazotróficas rizosféricas não conseguem suprir todas as demandas de N da planta, pode-se observar que a reposta de capim-aruana foi favorável até mesmo nos tratamentos inoculados com menor produção de MS, razão folha:colmo e

comprimento final da folha visto que a proposta inicial de reduzir a utilização de fertilizantes minerais pode ser cumprida com a inoculação.

Os valores de comprimento foliar final obtidos na inoculação com *A. brasilense* Ab-V5 e *R. tropici* CIAT 899 ratificaram a hipótese de que esses microrganismos contribuem com a promoção do crescimento em gramíneas, superando numericamente os tratamentos com adubação mineral. Pode-se afirmar que as bactérias ofereceram o mesmo suporte para incremento da produtividade e crescimento do capim-aruaana que os tratamentos com 50 kg ha⁻¹ e 100 kg ha⁻¹ de N.

Para a massa seca média de perfilhos, houve diferença ($p \leq 0,0063$) para o tratamento inoculado com *R. tropici* CIAT 899 na primavera, com peso superior aos demais, atingindo 0,90 g perfilho⁻¹, 45,16% maior que a dose de 100 kg ha⁻¹ de N. No verão, nenhum tratamento diferenciou-se ($p > 0,05$), numericamente, valores superiores foram encontrados em *R. tropici* CIAT 899 e *A. brasilense* Ab-V5.

Tabela 7 Massa seca média de perfilhos de capim-aruaana inoculado com bactérias diazotróficas ou adubação nitrogenada na primavera e verão

Massa seca média de perfilhos		
Tratamentos	Primavera (g perfilho⁻¹)	Verão (g perfilho⁻¹)
Ab-V5	0,46 ^b	0,65
Ab-V6	0,43 ^b	0,60
CIAT 899	0,90 ^a	0,66
PSEUDO	0,45 ^b	0,47
50 kg N ha⁻¹	0,58 ^b	0,55
100 kg N ha⁻¹	0,62 ^b	0,61
CV (%)	27,15%	40,84%
EPM	0,0318	0,0493
Valor de P	0,0063	0,8849

Ab-V5 = *A. brasilense* Ab-V5; Ab-V6 = *A. brasilense* Av-V6; CIAT 899 = *R. tropici* CIAT 899; PSEUDO = *P. fluorescens* CCTB 03. Médias seguidas da mesma letra na coluna não são diferentes (Teste Scott-Knott, $p \leq 0,05$). CV = coeficiente de variação. EPM = Erro padrão da média.

O microbioma existente na rizosfera das plantas tem grande importância para os sistemas de produção agropecuários em consequência dos seus efeitos benéficos. A utilização de BPCV em sistemas agrícolas é ideal não somente para

a saúde das plantas, mas também para melhorar a fertilidade do solo e é caminho a seguir para uma agricultura que protege o meio ambiente (KALYANASUNDARAM; SYED; SUBBURAMU, 2018).

Mesmo que de forma não significativa, verificou-se respostas positivas nos tratamentos inoculados, confirmando a existência de diferentes mecanismos de interação planta-bactéria. Os exsudatos liberados pelas BPCV promovem o crescimento das plantas fazendo com que elas tenham maior suporte e condições para alcançar a produtividade esperada (CARVALHO et al., 2020).

CONCLUSÃO

A inoculação com bactérias diazotróficas pode substituir a adubação nitrogenada nas doses de 50 kg ha⁻¹ e 100 kg ha⁻¹ de N, exibindo resultados equivalentes às doses utilizadas na produção e composição morfogênica e estrutural do capim-aruana, com destaque para as cepas *Rhizobium tropici* CIAT 899 e *Azospirillum brasilense* Ab-V5, mantendo as características desejáveis para uma gramínea forrageira. E garante uma produção sustentável e economicamente viável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRÂNCIO, P. A.; EUCLIDES, V. P. B.; NASCIMENTO JUNIOR, D.; FONSECA, D. M.; ALMEIDA, R. G.; MACEDO, M. C. M.; BARBOSA, R. A. Avaliação de três cultivares de *Panicum maximum* Jacq. sob pastejo: disponibilidade de forragem, altura do resíduo pós-pastejo e participação de folhas, colmos e material morto. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 32, n. 1, p. 55–63, 2003.
- CABRAL, C. E. A.; CABRAL, C. H. A.; SANTOS, A. R. M.; MOTTA, A. M.; MOTA, L. G. Impactos técnico-econômicos da adubação de pastos. **Nativa**, v. 9, n. 2, p. 173–181, 2021.
- CÂNDIDO, M. J. D.; SILVA, R. G.; NEIVA, J. N. M.; FACÓ, O.; BENEVIDES, Y. I.; FARIAS, S. F. Fluxo de biomassa em capim-tanzânia pastejado por ovinos sob três períodos de descanso. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 35, n. 6, p. 2234–2242, 2006.
- CÂNDIDO, M. J. D.; LOPES, M. N.; FURTADO, R. N.; POMPEU, R. C. F. F. Potenciais e desafios para a produção animal sustentável em pastagens cultivadas no Nordeste. **Revista Científica de Produção Animal**, v. 20, n. 1, p. 59–70, 2018.
- CARVALHO, C. L. M.; DUARTE, A. N. M.; HUNGRIA, M.; MOREIRA, A.; SOARES-FILHO, C. V. Nitrogen in Shoots; Number of Tillers, Biomass Yield and Nutritive Value of Zuri Guinea Grass Inoculated with Plant-Growth Promoting Bacteria. **International Journal for Innovation Education and Research**, v. 8, n. 5, o. 437-463, 2020.
- CRUZ, S. P.; BASSO, K. C. Response of jiggs grass to inoculation with plant growth-promoting microorganisms. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 19, n. 4, p. 396–402, 2020.
- DETMANN, E.; SOUZA, M. A.; VALADARES FILHO, S. C.; QUEIROZ, A. C.; BERCHIELLI, T. T.; SALIBA, E. O. S.; CABRAL, L. S.; PINA, D. S.; LADEIRA, M. M.; AZEVEDO, J. A. G. **Métodos para análise de alimentos**. Visconde do Rio: Suprema, 2012.
- FERNANDES, F. D.; RAMOS, A. K. B.; JANK, L.; CARVALHO, M. A.; MARTHA JÚNIOR, G. B.; BRAGA, G. J. Forage yield and nutritive value of *Panicum maximum* genotypes in the Brazilian savannah. **Scientia Agricola**, v. 71, n. 1, p. 23–29, 2014.
- FULKERSON, W. J.; DONAGHY, D. J. Plant-soluble carbohydrate reserves and senescence - Key criteria for developing an effective grazing management system for ryegrass-based pastures: A review. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v. 41, n. 2, p. 261–275, 2001.
- GUELFÍ, D. Fertilizantes nitrogenados estabilizados, de liberação lenta ou controlada. **Informações Agrônomicas**, n. 157, p. 1–14, mar. 2017.
- HODGSON, J. **Grazing management. Science into practice**. Harlow: Longman Group UK Ltd., 1990.
- HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A.; ARAUJO, R. S. Inoculation of *Brachiaria* spp. with the plant growth-promoting bacterium *Azospirillum brasilense*: An environment-friendly component in the reclamation of degraded pastures in the tropics. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 221, p. 125–131, 2016.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Banco de Dados Meteorológicos do INMET**. Disponível em: <<https://bdmep.inmet.gov.br/>>. Acesso em: 12 jul. 2021.
- KALYANASUNDARAM, G. T.; SYED, N.; SUBBURAMU, K. Recent developments in plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) for sustainable agriculture. In: VISWANATH, B. (Ed.). **Recent Developments in Applied Microbiology and Biochemistry**. 1. ed. [s.l.] Academic Press, 2018. p. 181–192.
- KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Classificação climática de Köppen- Geiger** Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported, 1936. Disponível em: <<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>>

- LIMA, G. C.; HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; MOREIRA, A.; HEINRICH, R.; SOARES FILHO, C. V. Yield, yield components and nutrients uptake in Zuri Guinea grass inoculated with plant growth-promoting bacteria. **International Journal for Innovation Education and Research**, v. 8, n. 4, p. 103–124, 2020.
- MARCELINO, K. R. A.; NASCIMENTO JUNIOR, D.; SILVA, S. C.; EUCLIDES, V. P. B.; FONSECA, D. M. Características morfogênicas e estruturais e produção de forragem do capim-marandu submetido a intensidades e frequências de desfolhação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 35, n. 6, p. 2243–2252, 2006.
- MARTUSCELLO, J. A.; FONSECA, D. M.; NASCIMENTO JÚNIOR, D.; SANTOS, P. M.; RIBEIRO JÚNIOR, J. I.; CUNHA, D. N. F. V.; MOREIRA, L. M. Características morfogênicas e estruturais do Capim-Xaraés submetido à adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 34, n. 5, p. 1475–1482, 2005.
- MARTUSCELLO, J. A.; FONSECA, D. M.; NASCIMENTO JUNIOR, D.; SANTOS, P. M.; CUNHA, D. N. F. V.; MOREIRA, L. M. Características morfogênicas e estruturais de capim-massai submetido a adubação nitrogenada e desfolhação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 35, n. 3, p. 665–671, 2006.
- NABINGER, C.; CARVALHO, P. C. F. Ecofisiología de sistemas pastoriles: aplicaciones para su sustentabilidad. **Agrociencia**, v. 8, n. 3, p. 18–27, 2009.
- PINTO, J. C.; GOMIDE, J. A.; MAESTRI, M.; LOPES, N. F. Crescimento de folhas de gramíneas forrageiras tropicais, cultivadas em vasos, com duas doses de nitrogênio. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v. 23, n. 3, p. 327–332, 1994.
- POMPEU, R. C. F. F.; CÂNDIDO, M. J. D.; LOPES, M. N.; GOMES, F. H. T.; LACERDA, C. F.; AQUINO, B. F.; MAGALHÃES, J. A. Características morfofisiológicas do capim-aruaana sob diferentes doses de nitrogênio. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 11, n. 4, p. 1187–1210, 2010.
- RUSER, R.; SCHULZ, R. The effect of nitrification inhibitors on the nitrous oxide (N₂O) release from agricultural soils-a review. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 178, n. 2, p. 171–188, 2015.
- SACRAMENTO, A. M. H.; MENEZES, O. C.; BARROS, D. N. P.; JAEGER, S. M. P. L.; RIBEIRO, O. L.; RAMOS, C. E. C. O.; OLIVEIRA, G. A. Morphogenic and structural characteristics and chemical composition of grass aruaana, submitted to nitrogen fertilization. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 40, n. 6, p. 3167–3180, 2019.
- SEVERO, P. O.; PÖTTER, L.; ROCHA, M. G.; NEGRINI, M.; MARTINI, A. C.; ROSA, V. B. Leaf tissue flows and defoliation patterns of Alexandergrass grazed by heifers receiving energy supplement. **Acta Scientiarum - Animal Sciences**, v. 41, n. 1, p. 1–8, 2019.
- SILVA, R. O. MIOTTO, F. R. C.; NEIVA, J. N. M.; SILVA, L. F. F. M.; FREITAS, I. B.; ARAÚJO, V. L.; RESTLE, J. Effects of increasing nitrogen levels in Mombasa grass on pasture characteristics, chemical composition, and beef cattle performance in the humid tropics of the Amazon. **Tropical Animal Health and Production**, v. 52, n. 6, p. 3293–3300, 2020.
- SKONIESKI, F. R.; VIÉGAS, J.; MARTIN, T. N.; MINGOTTI, C. C. A.; NAETZOLD, S.; TONIN, T. J.; DOTTO, L. R.; MEINERZ, G. R. Effect of nitrogen topdressing fertilization and inoculation of seeds with azospirillum brasilense on corn yield and agronomic characteristics. **Agronomy**, v. 9, n. 812, p. 1–11, 2019.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Assimilação de Nutrientes Inorgânicos**. In: Fisiologia do Desenvolvimento Vegetal. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017a. p. 354–376.
- VERAS, E. L. L.; DIFANTE, G. S.; RODRIGUES, J. G.; COSTA, A. B. G.; PEREIRA, M. G.; GURGEL, A. L. C.; MONTEIRO, G. O. A.; MONTAGNER, D. B.; CAMPUS, N. R. F. Avaliação agronômica de diferentes cultivares de Panicum maximum no Nordeste brasileiro. **Journal of Chemical Information and Modeling**, v. 53, n. 9, p. 21–25, 2017.
- VILELA, L.; SOARES, W. V.; SOUSA, D. M. G.; MACEDO, M. C. M. Calagem e adubação para pastagens. In: REATTO, A. *et al.* (Eds.). **Cerrado: Correção do Solo e Adubação**. 2. ed. Brasília: Embrapa, 2004. p. 367–382.

ZANINI, G. D.; SANTOS, G. T.; SBRISSIA, A. F. Frequencies and intensities of defoliation in Aruana guineagrass swards: Morphogenetic and structural characteristics. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 41, n. 8, p. 1848–1857, 2012.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A inoculação com bactérias diazotróficas é uma alternativa de manejo potencial para o *P. maximum* cv. Aruana, a adoção dessa biotecnologia oferece o suporte necessário para a produção do capim-aruana mantendo as características desejáveis de uma gramínea forrageira. A economia ambiental e dos custos de produção que poderão ser geradas pela técnica da inoculação resulta em sistemas de produção mais sustentáveis e representa um avanço para uma produção animal menos poluente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AFZAL, I.; SHINWAR, S.; SIKANDAR, S.; SHAHZAD, S. Plant beneficial endophytic bacteria: Mechanisms, diversity, host range and genetic determinants. **Microbiological Research**, v. 221, p. 36–49, 2019.
- AGUIRRE, P. F.; GIACOMINI, S. J.; OLIVO, C. J.; BRATZ, V. F.; QUATRIN, M. P.; SCHAEFER, G. L. Biological nitrogen fixation and urea-N recovery in “coastcross-1” pasture treated with *Azospirillum brasilense*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 55, 2020.
- BACKES, C. C.; SANTOS, A. J. M.; BESSA, S. V.; TEODORO, A. G.; RODRIGUES, L. M.; TOMAZELO, D. A.; LEITE, L. L. F. Taxa de cobertura verde e exportação de macronutrientes pelo capim Marandu em função da aplicação de gesso. **Archivos de Zootecnia**, v. 67, n. 258, p. 234–242, 2018.
- BALDANI, J. I.; CARUSO, L.; BALDANI, V. L. D.; GOI, S. R.; DOBERINER, J. Recent advances in BNF with non-legume plants. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 29, n. 5/6, p. 911–922, 1997.
- BATISTA, M. B.; DIXON, R. Manipulating nitrogen regulation in diazotrophic bacteria for agronomic benefit. **Biochemical Society Transactions**, v. 47, n. 2, p. 603–614, 2019.
- BIANCHINI, D.; CARRIEL, J. M.; LEINZ, F. F.; RODRIGUES, C. F. C. Viabilidade de doze capins tropicais para criação de ovinos. **Boletim de Indústria Animal**, v. 56, n. 2, p. 163–177, 1999.
- BINGHAM, A. H.; COTRUFLO, M. F. Organic nitrogen storage in mineral soil: Implications for policy and management. **Science of the Total Environment**, v. 551–552, p. 116–126, 2016.
- CABRAL, C. E. A.; CABRAL, C. H. A.; SANTOS, A. R. M.; MOTTA, A. M.; MOTA, L. G. Impactos técnico-econômicos da adubação de pastos. **Nativa**, v. 9, n. 2, p. 173–181, 2021.
- CARVALHO, C. L. M.; DUARTE, A. N. M.; HUNGRIA, M.; MOREIRA, A.; SOARES FILHO, C. V. Nitrogen in shoots, number of tillers, biomass yield and nutritive value of Zuri guinea grass inoculated with plant-growth promoting bacteria. **International Journal for Innovation Education and Research**, v. 8, n. 5, p. 437–463, 2020.
- CARVALHO, T. L. G.; BALSEMÃO-PIRES, E.; SARAIVA, R. M.; FERREIRA, P. C. G.; HEMERLY, A. S. Nitrogen signalling in plant interactions with associative and endophytic diazotrophic bacteria. **Journal of Experimental Botany**, v. 65, n. 19, p. 5631–5642, 2014.
- CECATO, U.; MACHADO, A. O.; MARTINS, E. N.; PEREIRA, L. A. F.; BARBOSA, M. A. A. F.; SANTOS, G. T. Avaliação da produção e de algumas características da rebrota de cultivares e acessos de *Panicum maximum* Jacq. sob duas alturas de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 29, n. 3, p. 660–668, 2000.
- CHUEIRE, L. M. O.; BANGEL, E.; FERREIRA, M. C.; GRANGE, L.; CAMPO, R. J.; MOSTASSO, F. L.; ANDRADE, D. S.; PEDROSA, F. O.; HUNGRIA, M. Classificação taxonômica das estirpes de rizóbio recomendadas para as culturas da soja e do feijoeiro baseada no sequenciamento do gene 16S rRNA. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 5, p. 833–840, 2003.
- COELHO, E. M.; CORRÊA, J.; FLÔR, A. A.; ÍTAVO, L. C. V.; ALMEIDA, P. S. G.; VELHO, J. P. Acúmulo de forragem e composição bromatológica do capim-aruaana durante o estabelecimento. **Journal of Agronomic Sciences**, v. 2, n. 2, p. 83–92, 2013.
- COLOZZA, M. T.; KIEHL, J. C.; WERNER, J. C.; SCHAMMASS, E. A. Respostas de *Panicum maximum* cultivar Aruana a doses de nitrogênio. **Boletim de Indústria Animal**, v. 57, n. 1, p. 21–32, 2000.
- COSTA, A. B. G.; DIFANTE, G. S.; GURGEL, A. L. C.; VERAS, E. L. L.; Rodrigues, J. G.; Pereira, M. G.; Santos, A. Y. O.; Neto, J. V. E.; Montagner, D. B. Morphogenic and structural

- characteristics of *Panicum* cultivars during the establishment period in the Brazilian northeast. **Acta Scientiarum Animal Sciences**, v. 43, n. 1, p. 1–7, 2021.
- DETMANN, E.; SOUZA, M. A.; VALADARES FILHO, S. C.; QUEIROZ, A. C.; BERCHIELLI, T. T.; SALIBA, E. O. S.; CABRAL, L. S.; PINA, D. S.; LADEIRA, M. M.; AZEVEDO, J. A. G. **Métodos para análise de alimentos**. Visconde do Rio: Suprema, 2012.
- DIMKPA, C.; WEINAND, T.; ASCH, F. Plant-rhizobacteria interactions alleviate abiotic stress conditions. **Plant, Cell and Environment**, v. 32, n. 12, p. 1682–1694, 2009.
- DOBEREINER, J.; BALDANI, V. L. D.; BALDANI, J. I. **Como isolar e identificar bactérias diazotróficas de plantas não-leguminosas**. Brasília: Embrapa Agrobiologia, 1995.
- DUARTE, C. F. D.; CECATO, U.; BISERRA, T. T.; MAMEDIO, D.; GALBEIRO, S. *Azospirillum* spp. in grasses and forages. Review. **Revista Mexicana De Ciencias Pecuarias**, v. 11, n. 1, p. 223–240, 2020.
- FAGAN, E. B.; MEDEIROS, S. L. P.; MANFRON, P. A.; CASAROLI, D.; SIMON, J.; DOURADO NETO, D.; JONG VAN LIER, Q.; SANTOS, O. S.; MULLER, L. Fisiologia da fixação biológica do nitrogênio em soja - Revisão. **Revista da FZVA**, v. 14, n. 1, p. 89–106, 2007.
- FERNANDES, F. D.; RAMOS, A. K. B.; JANK, L.; CARVALHO, M. A.; MARTHA JÚNIOR, G. B.; BRAGA, G. J. Forage yield and nutritive value of *Panicum maximum* genotypes in the Brazilian savannah. **Scientia Agricola**, v. 71, n. 1, p. 23–29, 2014.
- FERRAZ, J. B. S.; FELÍCIO, P. E. Production systems - An example from Brazil. **Meat Science**, v. 84, n. 2, p. 238–243, 2010.
- FUKAMI, J.; OLLERO, F. J.; MEGÍAS, M.; HUNGRIA, M. Phytohormones and induction of plant-stress tolerance and defense genes by seed and foliar inoculation with *Azospirillum brasilense* cells and metabolites promote maize growth. **AMB Exp**, v. 7, n. 153, p. 1–13, 2017.
- GLICK, B. R. The enhancement of plant growth by free-living bacteria. **Canadian Journal of Microbiology**, v. 41, n. 2, p. 109–117, 1995.
- GLICK, B. R. Plant Growth-Promoting Bacteria: Mechanisms and Applications. **Scientifica**, v. 2012, p. 15, 2012.
- GOMES, R. A.; LEMPP, B.; JANK, L.; CARPEJANI, G. C.; MORAIS, M. G. Características anatômicas e morfofisiológicas de lâminas foliares de genótipos de *Panicum maximum*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 2, p. 205–211, 2011.
- GUELFÍ, D. Fertilizantes nitrogenados estabilizados, de liberação lenta ou controlada. **Informações Agrônomicas**, n. 157, p. 1–14, mar. 2017.
- GUERRERO-CASTRO, J.; LOZANO, L.; SOHLENKAMP, C. Dissecting the acid stress response of *Rhizobium tropici* CIAT 899. **Frontiers in Microbiology**, v. 9, n. 846, 30 abr. 2018.
- HARTMANN, A.; BALDANI, J. I. The Genus *Azospirillum*. **Prokaryotes**, v. 5, p. 115–140, 2006.
- HIREL, B.; TÉTU, T.; LEA, P. J.; DUBOIS, F. Improving nitrogen use efficiency in crops for sustainable agriculture. **Sustainability**, v. 3, n. 9, p. 1452–1485, 2011.
- HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; MENDES, I. C. **Fixação biológica do nitrogênio na cultura da soja**. Londrina, Embrapa Soja, 2001.
- HUNGRIA, M.; MENDES, I. C.; MERCANTE, F. M. **A fixação biológica de nitrogênio como tecnologia de baixa emissão de carbono para culturas do feijoeiro e da soja**. Londrina, Embrapa Soja, 2013.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Banco de Dados Meteorológicos do INMET**. Disponível em: <<https://bdmep.inmet.gov.br/>>. Acesso em: 12 jul. 2021.
- ISHERWOOD, K. F. **O uso de fertilizantes minerais e o meio ambiente**. Edição Revisada ed. Paris: [s.n.].
- JANK, L.; RESENDE, R. M. S.; VALLE, C. B.; CHIARI, L.; CANÇADO, L. J.; SIMIONI, C. **Melhoramento genético de *Panicum maximum***. In: Melhoramento de Forrageiras Tropicais. 1. ed. [s.l.] Embrapa, 2009. p. 55–87.

- KALYANASUNDARAM, G. T.; SYED, N.; SUBBURAMU, K. **Recent developments in plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) for sustainable agriculture**. In: VISWANATH, B. (Ed.). *Recent Developments in Applied Microbiology and Biochemistry*. 1. ed. [s.l.] Academic Press, 2018. p. 181–192.
- LANA, R. P. Uso racional de recursos naturais não-renováveis: aspectos biológicos, econômicos e ambientais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. SUPPL. 1, p. 330–340, 2009.
- LATAWIEC, A. E.; STRASSBURG, B. B.N.; VALENTIM, J. F.; RAMOS, F.; ALVES-PINTO, H. N. Intensification of cattle ranching production systems: Socioeconomic and environmental synergies and risks in Brazil. **Animal**, v. 8, n. 8, p. 1255–1263, 2014.
- LAVRES, J.; MONTEIRO, F. A. Diagnose nutricional de nitrogênio no capim-aruaana em condições controladas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 5, p. 829–837, 2006.
- LEITE, R. C.; SANTOS, A. C.; SANTOS, J. G. D.; LEITE, R. C.; OLIVEIRA, L. B. T.; HUNGRIA, M. Mitigation of mombasa grass (*Megathyrsus maximus*) dependence on nitrogen fertilization as a function of inoculation with *Azospirillum brasilense*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 43, n. e0180234, 2019.
- LIMA, G. C.; HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; MOREIRA, A.; HEINRICH, R.; SOARES FILHO, C. V. Yield, yield components and nutrients uptake in Zuri Guinea grass inoculated with plant growth-promoting bacteria. *International Journal for Innovation Education and Research*, v. 8, n. 4, p. 103–124, 2020.
- LOPES, M. J. S.; DIAS FILHO, M. B.; CASTRO, T. H. R.; FILIPPI, M. C. C.; SILVA, G. B. Effect of *Pseudomonas fluorescens* and *Burkholderia pyrrocinia* on the growth improvement and physiological responses in *Brachiaria brizantha*. **American Journal of Plant Sciences**, v. 09, n. 02, p. 250–265, 2018.
- LUGÃO, S. M. B.; RODRIGUES, L. R. A.; ABRAHÃO, J. J. S.; MALHEIROS, E. B.; MORAIS, A. Acúmulo de forragem e eficiência de utilização do nitrogênio em pastagens de *Panicum maximum* Jacq. (Acesso BRA-006998) adubadas com Nitrogênio. **Acta Scientiarum Animal Sciences**, v. 25, n. 2, p. 371–379, 2003.
- MARKS, B. B.; MEGÍAS, M.; OLLERO, F. J.; NOGUEIRA, M. A.; ARAUJO, R. S.; HUNGRIA, M. Maize growth promotion by inoculation with *Azospirillum brasilense* and metabolites of *Rhizobium tropici* enriched on lipo-chitoooligosaccharides (LCOs). **AMB Express**, v. 5, n. 71, p. 1–11, 2015.
- MARTINEZ-ROMERO, E.; SEGOVIA, L.; MERCANTE, F. M.; FRANCO, A. A.; GRAHAM, P.; PARDO, M. A. *Rhizobium tropici*, a novel species nodulating *Phaseolus vulgaris* L. beans and *Leucaena* sp. trees. **International Journal of Systematic Bacteriology**, v. 41, n. 3, p. 417–426, 1991.
- MARTÍNEZ-VIVEROS, O.; JORQUERA, M. A.; CROWLEY, D. E.; GAJARDO, G.; MORA, M. L. Mechanisms and practical considerations involved in plant growth promotion by rhizobacteria. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 10, n. 3, p. 293–319, 2010.
- MERCANTE, F. M.; OTSUBO, A. A.; BRITO, O. R. New native rhizobia strains for inoculation of common bean in the Brazilian Savanna. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 41, p. 1–11, 2017.
- MOREIRA, F. M. S.; SILVA, K.; NÓBREGA, R. S. A.; CARVALHO, F. Bactérias diazotróficas associativas: Diversidade, ecologia e potencial de aplicações. **Comunicata Scientiae**, v. 1, n. 2, p. 74–99, 2010.
- MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Fixação biológica de nitrogênio atmosférico**. In: *Microbiologia e Bioquímica do Solo*. 2. ed. Lavras: UFLA, 2006. p. 449–541.
- NABINGER, C.; CARVALHO, P. C. F. Ecofisiologia de sistemas pastorais: aplicaciones para su sustentabilidad. **Agrociencia**, v. 8, n. 3, p. 18–27, 2009.
- NAIK, P. R.; RAMAN, K.; NARAYANAN, K. B.; SAKTHIVEL, N. Assessment of genetic and functional diversity of phosphate solubilizing fluorescent pseudomonads isolated from rhizospheric soil. **BMC Microbiology**, v. 8, n. 230, p. 1–14, 2008.

- O'BRIEN, J. A. A.; VEGA, A.; BOUGUYON, E.; KROUK, G.; GOJON, A.; CORUZZI, G.; GUTIÉRREZ, R. A. A. Nitrate Transport, Sensing, and Responses in Plants. **Molecular Plant**, v. 9, n. 6, p. 837–856, 2016.
- OKON, Y.; LABANDERA-GONZALEZ, C. A. Agronomic applications of *Azospirillum*: An evaluation of 20 years worldwide field inoculation. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 26, n. 12, p. 1591–1601, 1994.
- ORMEÑO-ORRILLO, E.; MENNA, P.; ALMEIDA, L. G. P.; OLLERO, F. J.; NICOLÁS, M. F.; PAINS RODRIGUES, E.; NAKATANI, A. S.; SILVA BATISTA, J. S.; CHUEIRE, L. M. O.; SOUZA, R. C.; VASCONCELOS, A. T. R.; MEGÍAS, M.; HUNGRIA, M.; MARTÍNEZ-ROMERO, E. Genomic basis of broad host range and environmental adaptability of *Rhizobium tropici* CIAT 899 and *Rhizobium* sp. PRF 81 which are used in inoculants for common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **BMC Genomics**, v. 13, n. 735, p. 1–26, 2012.
- PICAZEVICZ, A. A. C.; SHOCKNESS, L. S. S. F.; SANTOS FILHO, A. L.; NASCIMENTO, I. R.; MACIEL, L. D.; SILVA, L. R.; COSTA, G. E. G. Crescimento de *Panicum maximum* cv. BRS Zuri em resposta a rizobactéria e nitrogênio. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 10, p. 33–37, 2020.
- PICAZEVICZ, A. A. C.; KUSDRA, J. F.; MORENO, A. L. Maize growth in response to *Azospirillum brasilense*, *Rhizobium tropici*, molybdenum and nitrogen. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 9, p. 623–627, 2017.
- POMPEU, R. C. F. F.; CÂNDIDO, M. J. D., LOPES, M. N., GOMES, F. H. T., LACERDA, C. F., AQUINO, B. F., MAGALHÃES, J. A. Características morfofisiológicas do capim-aruaana sob diferentes doses de nitrogênio. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 11, n. 4, p. 1187–1210, 2010.
- RESENDE, A. V. **Agricultura e Qualidade da Água: Contaminação da Água por Nitrato**. Planaltina, Embrapa Cerrados, 2002. Disponível em:
<http://www.cpac.embrapa.br/publicacoes/search_pbl/1?q=Qualidade da água>
- RODRIGUEZ, H., GONZALEZ, T.; GOIRE, I.; BASHAN, Y. Gluconic acid production and phosphate solubilization by the plant growth-promoting bacterium *Azospirillum* spp. **Naturwissenschaften**, v. 91, p. 552–555, 2004.
- SÁ, G. C. R.; CARVALHO, C. L. M.; MOREIRA, A.; HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A.; HEINRICH, R.; SOARES FILHO, C. V. Biomass Yield, Nitrogen Accumulation and Nutritive Value of Mavuno Grass Inoculated with Plant Growth-promoting Bacteria. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 50, n. 15, p. 1931–1942, 2019.
- SACRAMENTO, A. M. H.; MENEZES, O. C.; BARROS, D. N. P.; JAEGER, S. M. P. L.; RIBEIRO, O. L.; RAMOS, C. E. C. O.; OLIVEIRA, G. A. Morphogenic and structural characteristics and chemical composition of grass aruaana, submitted to nitrogen fertilization. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 40, n. 6, p. 3167–3180, 2019.
- SANTOS, L. E.; CUNHA, E. A.; BUENO, M. S.; RODA, D. S. Ovinos e o capim-Aruana: a associação ideal. **Instituto de Zootecnia**. v. 627, 1998.
- SINGH, S.; SINGH, V.; PAL, K. **Importance of microorganisms in agriculture**. In: Climate and Environmental Changes: Impact, Challenges and Solutions. [s.l: s.n.]. p. 93–117.
- SKONIESKI, F. R.; VIÉGAS, J.; MARTIN, T. N.; MINGOTTI, C. C. A.; NAETZOLD, S.; TONIN, T. J.; DOTTO, L. R.; MEINERZ, G. R. Effect of nitrogen topdressing fertilization and inoculation of seeds with *Azospirillum brasilense* on corn yield and agronomic characteristics. **Agronomy**, v. 9, n. 812, p. 1–11, 2019.
- STEVENS, C. J. Nitrogen in the environment. **Science**, v. 363, n. 6427, p. 578–580, 2019.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Assimilação de Nutrientes Inorgânicos**. In: Fisiologia do Desenvolvimento Vegetal. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017a. p. 354–376.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Sinais e Transdução de Sinal**. In: Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017b. p. 407–441.

- TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Crescimento Vegetativo e Organogênese**. In: Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017c. p. 553–590.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Interações bióticas**. In: Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017d. p. 693–729.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Nutrição Mineral**. In: Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017e. p. 120–142.
- TARRANT, J. J.; KRIEG, N. R.; DÖBERAINER, J. A taxonomic study of the *Spirillum lipoferum* group, with descriptions of a new genus, *Azospirillum* gen. nov., and two species, *Azospirillum lipoferum* (Beijerinck) comb. nov. and *Azospirillum brasilense* sp. nov. **Canadian Journal of Microbiology**, p. 967–980, 1978.
- TIEN, T. M.; GASKINS, M. H.; HUBBELL, D. H. Plant growth substances produced by *Azospirillum brasilense* and their effect on the growth of pearl millet (*Pennisetum americanum* L.). **Applied and Environmental Microbiology**, v. 37, n. 5, p. 1016–1024, 1979.
- UDVARDI, M. K.; DAY, D. A. Metabolite transport across symbiotic membranes of legume nodules. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v. 48, n. 1, p. 493–523, 1997.
- VAN, L. C.; BAKKER, P. A. H. M. **Induced systemic resistance as a mechanism of disease suppression by rhizobacteria**. In: Siddiqui ZA (ed) PGPR: biocontrol and biofertilization. Netherlands: Springer, 2005. p. 39–66.
- VERAS, E. L. L., DIFANTE, G. S., RODRIGUES, J. G., COSTA, A. B. G., PEREIRA, M. G., GURGEL, A. L. C., MONTEIRO, G. O. A., MONTAGNER, D. B., CAMPUS, N. R. F. Avaliação agrônômica de diferentes cultivares de *Panicum maximum* no Nordeste brasileiro. **Journal of Chemical Information and Modeling**, v. 53, n. 9, p. 21–25, 2017.
- VIEIRA, R. F. **Ciclo do nitrogênio em sistemas agrícolas**. Brasília: Embrapa, 2017. v. 13
- VILELA, L., SOARES, W. V., SOUSA, D. M. G., MACEDO, M. C. M. **Calagem e adubação para pastagens**. In: REATTO, A. et al. (Eds.). Cerrado: Correção do Solo e Adubação. 2. ed. Brasília: Embrapa, 2004. p. 367–382.
- ZAGO, V. C. P.; DE-POLLI, H.; RUMJANEK, N. G. *Pseudomonas* spp. Fluorescentes - Bactérias promotoras de crescimento de plantas e biocontroladoras de fitopatógenos em sistemas de produção agrícola. **Seropédica**. Embrapa Agrobiologia, 2000.
- ZANINI, G. D.; SANTOS, G. T.; SBRISSIA, A. F. Frequencies and intensities of defoliation in Aruana guinea grass swards: Morphogenetic and structural characteristics. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 41, n. 8, p. 1848–1857, 2012.
- ZIMMER, A. H.; VERZIGNASSI, J. R.; LAURA, V. A.; VALLE, C. B.; JANK, L.; MACEDO, M. C. M. **Escolha das forrageiras e qualidade de sementes: Formação, recuperação e manejo de pastagens**. Embrapa Gado de Corte, 2007.
- ZUCARELI, C. CIL, I. R., PRETE, C. E. C., PRANDO, A. M. Eficiência agrônômica da inoculação à base de *Pseudomonas fluorescens* na cultura do milho. **Revista Agrarian**, v. 4, n. 13, p. 152–157, 2011.