

**FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE RONDÔNIA – UNIR
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROECOSSISTEMAS
AMAZÔNICOS – PPGAA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**Características agronômicas do *Panicum maximum* cv. BRS Tamani em
função de *Azospirillum brasilense*, nitrogênio e trocas gasosas**

CLEITON DIAS ALVES

Rolim de Moura – RO

2022

CLEITON DIAS ALVES

Engenheiro Agrônomo

**Características agronômicas do *Panicum maximum* cv. BRS Tamani em
função de *Azospirillum brasilense*, nitrogênio e trocas gasosas**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas Amazônicos, Área de Sistemas Integrados de Produção Sustentável, do *Campus* de Rolim de Moura da Fundação Universidade Federal de Rondônia, em cumprimento das exigências para obtenção do título de Mestre em Agroecossistemas Amazônicos.

Orientadores:

Profa. Dra. Evelyn Rabelo de Andrade

Prof. Dr. Idelfonso Leandro Bezerra

Rolim de Moura – RO

2022

Ficha catalográfica elaborada por:
Nágila Nerval Chaves CRB 6/363

A474c Alves, Cleiton Dias-
Características agronômicas do *Panicum maximum* cv. BRS Tamani em função de *Azospirillum brasilense*, nitrogênio e trocas gasosas. / Cleiton Dias Alves; orientação Evelyn Rabelo de Andrade; Idelfonso Leandro Bezerra. – 2022.
48 f. ; il.

Dissertação (Mestrado) – Fundação Universidade Federal de Rondônia. Campus Rolim de Moura, Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas Amazônicos. Rolim de Moura, 2022.

1. Fixação biológica de nitrogênio. 2. Bactérias promotoras do crescimento. 3. Fisiologia. I. Andrade, Evelyn Rabelo de. II. Bezerra, Idelfonso Leandro. III. Título.

CDU 633.2

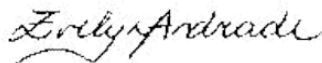
FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE RONDÔNIA – UNIR
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROECOSSISTEMAS
AMAZÔNICOS – PPGAA

PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA DISSERTAÇÃO DE
MESTRADO

CLEITON DIAS ALVES

Características agronômicas do *Panicum maximum* cv. BRS Tamani em
função de *Azospirillum brasilense*, nitrogênio e trocas gasosas

Conceito: APROVADO



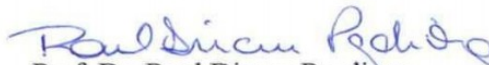
Profª. Dra. Evelyn Rabelo de Andrade
Orientadora – UNIR



Prof. Dr. Idelfonso Leandro Bezerra
Coorientador – UNIR



Prof. Dr. Petrus Luiz de Luna Pequeno
Examinador – UNIR (membro externo)



Prof. Dr. Raul Dirceu Pazdiõra
Examinador – UNIR (membro interno)

DEDICO

Dedico esta conquista a Deus autor da vida, e aos meus pais que me deram todo incentivo incondicional, carinho e apoio sem restrições e nunca mediram esforços para me ajudar nesta caminhada, esta conquista também pertence a eles, sem ao qual não seria possível.

AGRADECIMENTOS

A Deus primeiramente por ter me dado à vida, pela bondade e amor incondicional, por ter me dado o direito de viver e chegar onde meus pés não poderiam alcançar sem a sua graça.

A minha família que sempre me apoiou em todos os momentos me dando suporte e força para que eu pudesse seguir e alcançar os objetivos, em especial aos meus pais, Argemiro e Lurdes, que mesmo nas condições que tinham me deram as melhores condições possíveis.

Aos meus amigos de longa data Emanuel, Valéria, Claudemir, Paulo Freitas, Marcos Lopes que sempre serviram como norte, e sempre me ajudaram sem medir esforços.

A CAPES e PROPesq pelo suporte financeiro. A Fundação Universidade Federal de Rondônia pela oportunidade e conhecimentos adquiridos dentro da Instituição.

Aos Docentes que colaboram durante o Mestrado para minha formação.

Aos meus orientadores Profa. Dr. Evelyn Rabelo de Andrade e Prof. Dr. Idelfonso Leandro Bezerra, pela amizade, pela confiança depositada e pelas orientações, sempre me ajudando a crescer, me concedendo oportunidades de aprendizado que foram muito além do conhecimento oferecido pelo curso de Mestrado.

Cuidado com gente que não tem dúvida.
Gente que não tem dúvida não é capaz de
innovar, de reinventar, não é capaz de fazer
de outro modo. Gente que não tem dúvida
só é capaz de repetir. (Cortela, Mario)

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	viii
LISTA DE FIGURAS	ix
RESUMO	x
ABSTRACT	xi
1. INTRODUÇÃO	12
1.1 OBJETIVOS	14
1.1.1 Geral	14
1.1.2 Específicos	14
2. REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1 <i>Panicum maximum</i> cv. BRS Tamani	15
2.2 Adubação nitrogenada em pastagens	16
2.3 Fixação biológica de nitrogênio	18
2.4 Bactérias Diazotróficas associadas	19
2.5 Adubação nitrogenada em gramíneas: Trocas gasosas	21
3. MATERIAL E MÉTODOS	23
3.1 Localização do experimento	23
3.2 Tratamentos e delineamento experimental	23
3.3 Caracterização do solo	24
3.4 Características da gramínea	25
3.5 Adubação e Plantio	25
3.6 Irrigação	26
3.7 Variáveis analisadas	26
3.7.1 Avaliações morfofisiológicas	26
4. RESULTADO E DISCUSSÃO	27
5. CONCLUSÕES	42
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43

LISTA DE TABELAS

Tabela		Pág.
1.	Delineamento inteiramente casualizados, em esquema fatorial 2x5 para cv. BRS Tamani, em função da inoculação de <i>Azospirillum brasilense</i> e sob doses de N, em cobertura.....	24
2.	Resumo de ANOVA para condutância estomática (<i>gs</i>), taxa de assimilação líquida (<i>A</i>), taxa transpiratória (<i>E</i>) e concentração interna de CO ₂ (<i>Ci</i>) e de <i>Panicum maximum</i> cv. BRS Tamani, em função da inoculação de <i>Azospirillum brasilense</i> e sob doses de adubação.....	27
3.	Resumo de ANOVA para número de perfilhos (NP), altura de perfilho (AP) de <i>Panicum maximum</i> cv. BRS Tamani, em função da inoculação de <i>Azospirillum brasilense</i> e sob doses de N, em cobertura.....	31
4.	Resumo de ANOVA comprimento da folha (CF) e largura da folha (LF) de <i>Panicum maximum</i> cv. BRS Tamani, em função da inoculação de <i>Azospirillum brasilense</i> e sob doses de N, em cobertura.....	35
5.	Resumo de ANOVA para e massa seca de folha (MSF) e massa seca de colmo (MSC) de <i>Panicum maximum</i> cv. BRS Tamani, em função da inoculação de <i>Azospirillum brasilense</i> e sob doses de N, em cobertura.....	38

LISTA DE FIGURAS

Figura		Pág.
1.	Imagem representativa do delineamento experimental em campo.....	23
2.	Condutância estomática (g_s), taxa de assimilação líquida (A) taxa transpiratória (E) e concentração interna de CO_2 (C_i) de <i>Panicum maximum</i> cv. BRS Tamani, em função de diferentes doses de nitrogênio, em cobertura.	28
3.	Número de perfilho – NP (A) e altura de perfilho – AP (B), sob doses de N, em cobertura, em dois cortes de <i>Panicum maximum</i> cv. BRS Tamani.	32
4.	Altura de perfilho – AP, sob doses de N, em cobertura, em dois cortes de <i>Panicum maximum</i> cv. BRS Tamani.	33
5.	Comprimento da folha – CF, sob doses de N, em cobertura, em dois cortes de <i>Panicum maximum</i> cv. BRS Tamani.....	36
6.	Largura da folha – LF, sob doses de N, em cobertura, em dois cortes de <i>Panicum maximum</i> cv. BRS Tamani.....	36
7.	Desdobramento da interação entre doses de nitrogênio, em cobertura, e da inoculação de <i>Azospirillum brasilense</i> sobre a massa seca de folha – MSF (A), de <i>Panicum maximum</i> cv. BRS Tamani; I = inoculado e NI = não inoculado. 1º Corte.	39
8.	Massa seca de folha – MSF, de <i>Panicum maximum</i> cv. BRS Tamani em função de diferentes doses de adubação nitrogenada.	40
9.	Massa seca de colmo – MSC, de <i>Panicum maximum</i> cv. BRS Tamani em função de diferentes doses de adubação nitrogenada.....	40

ALVES, C. D. Características agronômicas do *Panicum maximum* cv. BRS Tamani em função de *Azospirillum brasilense*, nitrogênio e trocas gasosas. 2021. 48 f. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas Amazônicos). Fundação Universidade Federal de Rondônia, *Campus* Rolim de Moura. Rolim de Moura, RO.

RESUMO

A forma extrativista de exploração pecuária e o esgotamento da fertilidade do solo devido à falta de adubação têm sido apontados como uma das principais causas da degradação de pastagens cultivadas. A fixação biológica de nitrogênio, com o uso de bactérias diazotróficas surge como alternativa para aumentar a produtividade das forrageiras. Diante do exposto, objetivou-se avaliar a aplicação foliar de *Azospirillum brasilense* como alternativa para o suprimento da adubação nitrogenada em pastagens. O experimento foi conduzido em condições de campo na Ação Ecológica Guaporé, no município de Rolim de Moura – RO, utilizando solo classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo eutrófico. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, arranjado num fatorial 2x5, com quatro repetições. Os tratamentos adotados foram constituídos pela combinação de dois fatores: inoculação via foliar com *Azospirillum brasilense* (presença e ausência) e doses de nitrogênio (0, 75, 150, 225, 300 kg ha⁻¹ de N). Foram mensuradas: a altura de perfilhos, número de perfilhos, comprimento foliar, largura foliar, massa seca das folhas (MSF), e seca do colmo (MSC), condutância estomática (*gs*), taxa de assimilação líquida de CO₂ (*A*), taxa de transpiração (*E*) e concentração interna de CO₂ (*Ci*) da *Panicum* BRS cv. Tamani. A aplicação via foliar de *Azospirillum brasilense* contribuiu de forma positiva no desenvolvimento e produção da forrageira, na altura de plantas, número de perfilhos, comprimento de folha, largura foliar, massa seca de colmo e seca de folhas quando associado até a dose de 225 kg ha⁻¹ de nitrogênio. As trocas gasosas da cv. BRS Tamani foram influenciadas pelas doses crescentes de nitrogênio, sendo a dose de 300 kg ha⁻¹ a que demonstrou a máxima eficiência biológica. A inoculação via foliar com *Azospirillum brasilense*, em geral, contribuiu de forma positiva para a nutrição da *Panicum maximum* cv. Tamani, podendo ser utilizada como suprimento de parte da adubação nitrogenada em cobertura.

Palavras-chave: Fixação biológica de nitrogênio, bactérias promotoras do crescimento, fisiologia.

ALVES, C. D. Inoculation características agronômicas do *Panicum maximum* cv. BRS Tamani em função de *Azospirillum brasilense*, nitrogênio e trocas gasosas. 2021. 48 f. Dissertation (Master in Amazonian Agroecosystems). Federal University of Rondônia Foundation, *Campus* Rolim de Moura. Rolim de Moura, RO.

ABSTRACT

The extractive form of livestock exploitation and the depletion of soil fertility, due to lack of fertilization, has been pointed out as one of the main causes of degradation of cultivated pastures. Biological nitrogen fixation, with the use of diazotrophic bacteria in this context, appears as an alternative to increase forage productivity. Given the above, the research aimed to evaluate the application of *Azospirillum brasilense* in a foliar way as an alternative for the supply of nitrogen fertilization in pastures, in this way they were measured, tillers height, number of tillers, leaf length, leaf width, leaf dry mass (MSF), stem dry mass (MSC), stomatal conductance (g_s), rate of net assimilation (A), transpiration rate (E) and internal CO_2 concentration (C_i) of *Panicum* BRS cv. Tamani. The experiment was carried out under field conditions at Ação Ecológica Guaporé, in the municipality of Rolim de Moura – RO, using soil classified as Eutrophic Red-Yellow Latosol. The experimental design used was completely randomized, arranged in a 2x5 factorial, with four replications. The treatments adopted were constituted by the combination of two factors: inoculation via foliar with *Azospirillum brasilense* (presence and absence) and nitrogen rates (0, 75, 150, 225, 300 kg ha⁻¹ of N). *Azospirillum brasilense* foliar application contributed positively to forage development and production, plant height, number of tillers, leaf length, leaf width, stem dry mass and leaf dry mass when associated up to a dose of 225 kg ha⁻¹ of nitrogen. The gas exchange of cv. BRS Tamani were influenced by increasing doses of nitrogen, with the dose of 300 kg ha⁻¹ showing the maximum biological efficiency. Leaf inoculation with *Azospirillum brasiliense*, in general, contributed positively to the nutrition of *Panicum maximum* cv. Tamani, which can be used as a supply of part of the nitrogen fertilization in coverage.

Keywords: Biological nitrogen fixation, growth-promoting bacteria, physiology

1. INTRODUÇÃO

A pecuária extensiva é uma das atividades mais desenvolvidas no Brasil, sendo a pastagem em sua maioria a principal fonte de alimento forrageiro dos animais (PICAZEVICZ et al., 2020). Todavia, o uso inadequado do solo e da forragem por longos períodos além de degradar o sistema solo-planta, compromete a atividade pecuária, diminuindo drasticamente os índices zootécnicos e elevando o potencial de degradação ambiental, tornando o sistema produtivo insustentável ao longo do tempo (VOGEL et al., 2014).

A cultivar híbrida de *Panicum maximum* BRS Tamani, tem se destacado por apresentar características peculiares como: porte baixo, abundância de folhas e perfilhos, produtividade, vigor, valor nutritivo, resistência à cigarrinha-das-pastagens e facilidade de manejo. Caracterizando-se um cultivar de interesse comercial com boa resposta das plantas a adubação e intensidade de desfolhação, fato este que favorece a adoção da forrageira por parte dos produtores (MARTUSCELLO et al., 2019).

O nitrogênio (N) é o principal nutriente limitante no crescimento da maioria das plantas a aquisição e assimilação de N é o segundo em importância, perdendo apenas para a fotossíntese no que se refere ao crescimento e desenvolvimento dos vegetais. A fertilização com N em plantas não leguminosas é um dos processos mais caros, devido a sua alta exigência nutricional, estima-se cerca de 65% do N mineral aplicado é perdido pelo sistema solo-planta, por meio de emissões gasosas, escoamento, erosão e lixiviação. Os impactos causados podem ser assoladores ao meio ambiente, causando efeitos estufa, na diminuição do ozônio estratosférico, chuva ácida, mudanças no ciclo global de N e poluição por nitrato de águas superficiais e subterrâneas do planeta (TAIZ & ZEIGER, 2017; PANKIEVICZ et al., 2015).

As práticas de manejo usam de insumos químicos, incluindo fertilizantes, para manter a alta produtividade das áreas agricultáveis. As leguminosas oferecem a vantagem de que, em simbiose com o solo e bactérias rizobianas, podem obter N por fixação biológica de nitrogênio (FBN). No entanto, a maioria das plantas agrícolas, especialmente gramíneas, não tem essa capacidade e, portanto, tem sido sustentado interesse em transferir a capacidade do FBN para culturas de gramíneas (WALKER et al., 2012; CHARPENTIER & OLDROYD, 2010).

Com objetivo de minimizar os efeitos causados pelo uso de fertilizantes nitrogenados no setor agropecuário, diversos estudos vêm sendo realizados no intuito de obter mecanismos alternativos de nutrição das plantas, dentre eles pode-se destacar o uso de bactérias diazotróficas. As bactérias promotoras de crescimento atuam colonizando as raízes em simbiose associativa, a promoção do crescimento da planta é atribuída ao antagonismo em relação aos fitopatógenos, possuem um complexo de enzima conhecida como nitrogenase, com capacidade de reduzir o nitrogênio molecular (N_2 atmosférico) em amônia (NH_3). Esta molécula em pH celular rapidamente se converte em amônio (NH_4), podendo ser assimilado pela planta fazendo parte de moléculas orgânicas como clorofilas, aminoácidos (TAIZ & ZEIGER, 2010; PANKIEVICZ et al., 2015).

Neste contexto o uso de bactérias diazotróficas como incremento da adubação nitrogenada em pastagem, surge como um método de manejo alternativo de implantação e reestabelecimento de forrageiras, podendo contribuir para redução de gastos com insumos e minimização de impactos ambientais, além de, propiciar o crescimento das plantas (MOREIRA et al., 2013). De acordo com Freitas et al. (2019) a associação de adubação nitrogenada à inoculação beneficia fortemente a produção de gramíneas, uma vez que só no Brasil, a inoculação das principais gramíneas cultivadas poderia gerar uma economia de mais de um bilhão de dólares por ano.

Bactérias, como do gênero *Azospirillum*, apresentam grande potencial na reabilitação de áreas e na sustentabilidade dos agroecossistemas, incorporando nitrogênio de forma biológica, produzindo e disponibilizando substâncias reguladoras e promotoras do crescimento vegetal, como auxinas, giberelinas e citocininas. Estudos mostram que o uso de bactérias associadas a pequenas doses de nitrogênio tem demonstrado alta eficácia tanto em relação a aspectos morfológicos quanto em produtividade (KUSS et al., 2007; VOGEL et al., 2014).

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Geral

Estudar a biometria e a fisiologia de forrageira cv. BRS Tamani em função da aplicação foliar de *Azospirillum brasilense* sob diferentes níveis da adubação nitrogenada.

1.1.2 Específicos

Avaliar o efeito da interação dose de nitrogênio x *Azospirillum brasilense* sobre as variáveis de crescimento da forrageira cv. BRS Tamani;

Verificar a dose de nitrogênio que melhor promova crescimento morfológico da forrageira cv. BRS Tamani;

Avaliar as alterações fisiológicas, através das trocas gasosas da forrageira cv. BRS Tamani em função da aplicação foliar com *Azospirillum brasilense* e doses de nitrogênio mineral.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 *Panicum maximum* cv. BRS Tamani

As espécies do gênero *Panicum* incluem importantes forrageiras que se destacam no Brasil pela alta produtividade, capacidade de adaptação à pastagem, condições ambientais e manejo, alta taxa de organogênese, expansão de órgãos, fluxo de tecidos e acúmulo de forragem em relação a outras gramíneas de climas tropicais, exigindo uma maior demanda por nutrição mineral para expressar o potencial máximo de rendimento (ABREU et al., 2020). Essas forrageiras têm se tornado uma realidade nas áreas de produção de alimentos, como plantio direto ou opções de produção em larga escala tanto em áreas de pecuária, quanto em manejos de sistemas integrados de produção (QUEIROZ et al., 2014).

O híbrido Tamani (cruzamento intraespecífico entre sexual S12 e apomítico T60) caracteriza-se como uma gramínea cespitosa, que deve ser manejada preferencialmente sob pastejo rotacionado, possui folhas e caules finos, com folhas verde-escuras, longas, finas (até 1,90 cm) e arqueadas com florescimento precoce e maior digestibilidade, sendo resistente a cigarrinhas-da-pastagem, possuindo elevada produção e alto valor nutritivo, produtividade e vigor (BRAGA et al., 2019; MARTUSCELLO et al., 2019; PEREIRA et al.; 2016).

A BRS Tamani é indicada para solos bem drenados do bioma Cerrado, mas também foi avaliada e se destacou positivamente podendo ser manejados em outros biomas como o da Amazônia. Uma das desvantagens do cultivar é a baixa tolerância ao encharcamento do solo, mesmo que temporário, necessitando de solos bem drenados para o cultivo. Quando submetido a baixas temperaturas, apresenta maior persistência que as cvs. Massai e Tanzânia, sendo semelhante a cv. Mombaça (CAVALLI, 2016).

A produção de gramíneas forrageiras é afetada diretamente pela fertilização, principalmente pelo uso de nitrogênio, que pode alterar o processo de crescimento das plantas. Portanto, a aplicação desse nutriente é uma forma de aumentar a produtividade em pastagens, principalmente quando a forragem em questão responde de forma eficaz à aplicação do nutriente, como é o caso da espécie *P. maximum* (MARTUSCELLO et al., 2019).

Conforme Pereira et al. (2016) a cultivar Tamani deve ser recomendada para solos que possuem suas fertilidades classificadas de média a alta. Para implantação das pastagens recomenda-se o uso de 3 a 4 kg ha⁻¹ de sementes puras viáveis, semeadas na profundidade de 2,5 a 5 cm e incorporadas com grade niveladora e seu manejo deve ser realizado de forma rotacionada, mantendo uma altura de resíduo de pelo menos 20-25 cm, e períodos de descanso que giram em torno de 28 dias em épocas de precipitações contínuas. Em estudo realizado com a espécie em condições ideais de manejo, em pastejo alternado por dois anos, suportou 3,2 e 1,6 UA ha⁻¹ durante o período das águas e da seca, respectivamente, apresentando ganho médio de 681 kg de peso vivo por hectare ao ano.

2.2 Adubação nitrogenada em pastagens

A nutrição mineral de espécies forrageiras é essencial para a manutenção de sistemas agrícolas sustentáveis, pois pode aumentar a produtividade animal por área suprindo a deficiência de nutrientes do solo e, assim, proporcionando adequado desenvolvimento das plantas forrageiras (ABREU et al., 2020). A adubação é fundamental para manter a sustentabilidade e, ou, incrementar a produtividade, o uso de fertilizantes é essencial para alcançar os maiores rendimentos possíveis nas culturas, no entanto o excesso de fertilizantes químicos originou como consequência a contaminação de solos e águas, o que provoca a degradação desses recursos naturais (CARPIO et al., 2019).

O nitrogênio é um dos elementos químicos mais importantes no desenvolvimento das plantas, sendo essencial em muitas biomoléculas, incluindo os ácidos nucleicos, que codificam a informação genética, e as proteínas, que realizam a química da vida e cumprem outros papéis funcionais e estruturais nos vegetais. Concentrações de N abaixo dos níveis requeridos para crescimentos e desenvolvimento limitam a produção primária de plantas e outros autótrofos em sistemas naturais e agrícolas (YANG & UDVARDI, 2017).

A maior parte do nitrogênio contido no solo existe na forma, tanto de matéria orgânica, quanto como parte nos organismos vivos. Através dos microrganismos presentes no solo, os compostos de nitrogênio sofrem alterações rapidamente e se modificam em moléculas mais simples (NH₄⁺ e NO₃⁻). Essas moléculas são absorvidas

pelas plantas em grandes quantidades, desta forma o meio necessita de uma reposição química, que pode ocorrer via adubação química ou orgânica (FREITAS et al., 2019).

O manejo da fertilidade do solo, especificamente a reposição de nitrogênio e a frequência de colheita, são fundamentais para prolongar a alta qualidade da forragem e o desempenho animal subsequente. O nitrogênio tem sido usado há muito tempo para aumentar a produção de matéria seca e melhorar a qualidade da forragem em gramíneas. (RUSHING et al., 2019)

A degradação da pastagem é entendida como uma redução acentuada na produção de animal por área devido a uma diminuição significativa no rendimento da forragem e qualidade nutricional, a infestação de espécies de plantas invasoras levando a manchas de solo descoberto, compactação do solo, acidificação e redução da biomassa microbiana. Este fenômeno tem enormes implicações econômicas e ecológicas, pois deixa grandes áreas de terras degradadas e promove uma pressão pela abertura de novas áreas, gerando um aumento no desmatamento. Na Amazônia esses solos ácidos, normalmente possuem baixo estoque de nitrogênio e microrganismos, e associado a uma grande taxa de lotação, fazem com que a escassez de nutrientes, principalmente de N, seja um fator limitante que causa a degradação das pastagens (VILLEGAS et al., 2020).

Os sintomas de deficiência de nitrogênio nas plantas são caracterizados pelo amarelecimento das folhas mais velhas, redução da taxa fotossintética, e crescimento reduzido das plantas. Quando fornecido adequadamente e em condições favoráveis para o crescimento das plantas, proporciona aumento na produção de matéria seca e do teor de proteína, a partir da produção de carboidratos (HAVLIN et al., 2005).

Para Beche et al. (2014), a utilização de fertilizantes com base na eficiência de uso é de suma importância para garantir uma produção sustentável. Grande parte do nitrogênio aplicado é perdida no ambiente (volatilização, desnitrificação e lixiviação), o que por consequência reduz a produção, aumenta custos e causa danos ambientais. Quando se considera o manejo da utilização da adubação nitrogenada, associados à adubação mineral ou associados à matéria orgânica, as perdas para o ambiente pode ser maiores. Desta forma, dentre alternativas para diminuir a utilização de adubos nitrogenados são de grande importância, aparecendo o uso de bactérias diazotróficas,

como uma opção, já que são capazes de fixar nitrogênio atmosférico no solo e, garantir altas taxas de produtividade (FREITAS et al., 2019).

Souza & Bittar (2021), estudando o efeito do nitrogênio nas características estruturais e produção de biomassa em forrageiras do gênero *Panicum* constataram um aumento na produção de massa seca total em 40% quando o nitrogênio foi adicionado nas doses de 300 kg ha⁻¹ de N, em comparação com o controle que não recebeu fertilizante. Resultados semelhantes foram descritos por Martuscello et al, (2019), que avaliando a produção de forragem e as características morfogênicas e estruturais do *Panicum maximum* cv. BRS Tamani, em função de doses de nitrogênio e intensidades de corte constataram que adubação nitrogenada aumentou a produção de forragem do capim BRS Tamani de forma linear as doses de adubação nitrogenadas realizadas.

2.3 Fixação biológica de nitrogênio

O uso de fertilizantes teve um aumento exponencial nas últimas décadas dobrando o fluxo de N utilizado, simultaneamente as perdas de N dos sistemas agrícolas danificam os ecossistemas e a saúde humana, e impacta o clima. As taxas atuais de uso de fertilizantes nitrogenados são provavelmente insustentáveis, apesar disso, projeta-se que o uso de fertilizantes aumente devido às demandas da crescente população global (FUKAMI et al., 2018). Neste contexto, estratégias estão sendo identificadas para reduzir a quantidade de fertilizantes nitrogenados necessário para a agricultura em nível mundial, levando em consideração globalmente a produção de alimentos, rações, fibras e combustível, dentre vários se destacam o uso de bactérias diazotróficas, que adicionam N em sistemas agrícolas por meio da fixação simbiótica de nitrogênio de maneira sustentável (YANG & UDVARDI, 2017; KUSS et al., 2007).

A fixação biológica de nitrogênio consiste na redução do nitrogênio molecular (N₂) localizado na atmosfera em um composto nitrogenado na forma de amônia (NH₃). Alguns seres procariotos são capazes de transformar o elemento em compostos utilizáveis pelas plantas. Esses seres são chamados de bactérias diazotróficas associativas ou promotoras de crescimento, capazes de auxiliar o desenvolvimento vegetal de forma limpa e sustentável, uma vez que substitui ou melhora a eficiência da adubação nitrogenada do que fontes oriundas de processos industriais (FREITAS et al., 2019).

Na fixação biológica de nitrogênio a conversão enzimática do N molecular em amônia é catalisada pela nitrogenase, um complexo enzimático oxigenável altamente conservado em diazotróficos autônomos e simbióticos. A forma mais comum de nitrogenase, conhecida como Mo-nitrogenase ou nitrogenase convencional, contém um grupo protético com molibdênio, Fe, Mo e Co. Algumas bactérias, como *Azotobacter* e vários fixadores fotossintéticos de nitrogênio (incluindo algumas cianobactérias), carregam formas adicionais de nitrogenase cujo cofator contém vanádio (V-nitrogenase) ou apenas ferro (Fe-nitrogenase) (FRANCHE et al., 2009).

Vogel et al. (2014) destacam que o uso da fixação biológica de nitrogênio atmosférico (FBN) realizado por bactérias diazotróficas é uma das alternativas que almeja o melhor aproveitamento dos nutrientes, isto se justifica em virtude de uma menor necessidade de aplicação de fertilizantes. O uso dessas bactérias promotoras de crescimento tem mostrado resultados satisfatórios, podendo melhorar o mecanismo de nutrição do nitrogênio por meio da fixação biológica e da produção de hormônios vegetais no sistema radicular, promovendo assim uma melhor absorção de minerais e água pelas plantas.

A FBN é de suma importância para a nutrição de gramíneas nativas nas pastagens sul-americanas, pois o N é de grande importância para todos os organismos que dependem desse ecossistema, sendo muitas vezes um fator limitante para o crescimento das plantas, entretanto, a utilização de microrganismos fixadores na agricultura pode possibilitar a economia em milhões de dólares (MARQUES et., 2017). Desta forma, existe uma grande necessidade em se pesquisar a contribuição da fixação biológica de N e a diversidade de microrganismos diazotróficos que se associam com forrageiras, a fim de se estabelecer o verdadeiro potencial destas bactérias para promover o crescimento das plantas (ABREU et al., 2020; REIS JUNIOR, 2002).

2.4 Bactérias Diazotróficas associadas

A utilização dos microrganismos na forma de inoculantes biológicos pode ajudar o mercado agrícola, por se identificar como uma tecnologia alternativa e eficiente para substituir métodos tradicionais de adubação com fertilizantes à base de ureia e, atualmente é utilizada principalmente em culturas de leguminosas, com muito sucesso nas culturas de gramíneas (SILVEIRA, 2008).

Inoculação é o processo no qual ocorre à utilização de microrganismos vivos que são capazes de promover o crescimento vegetal de forma direta ou indireta, através de diferentes mecanismos, sendo denominado mundialmente de biofertilizantes (MOREIRA et al., 2013).

Entre as bactérias diazotróficas associadas a diferentes espécies de importância agrícola, os gêneros mais importantes são *Arthrobacter*, *Azobacter*, *Azospirillum*, *Bacillus*, *Burkholderia*, *Clostridium*, *Gluconacetobacter*, *Herbaspirillum* e *Pseudomonas* (ZEFFA et al., 2019).

O gênero *Azospirillum* inclui um grupo de bactérias que podem estar associadas à rizosfera das plantas quando colonizadas externamente, ou podem estar associadas a bactérias endofíticas quando o espaço intercelular das raízes é colonizado (FRANCHE et al., 2009). De acordo com a posição na nomenclatura, 19 espécies de *Azospirillum* foram descritas, sendo considerado o gênero mais estudado de bactérias promotoras de crescimento de plantas. Entre as principais espécies do gênero estão: *A. brasilense*, *A. lipoferum*, *A. halopraeferens* e *A. oryzaeue*, estando o gênero associado a mais de 113 espécies de plantas de 35 famílias botânicas e sendo considerado de grande espectro de afinidade vegetal (VOGEL et al., 2014; ZEFFA et al., 2019).

Além da capacidade de fixar N₂, descritas em muitos trabalhos relacionados ao uso do *Azospirillum*, um número crescente de estudos descreve outras propriedades que coincidem em diversos mecanismos e alterações que são correlacionados, no crescimento das plantas que sofre inoculação. De forma direta a síntese de fitohormônios e outros compostos, incluindo auxinas, citocininas, giberelinas, ácido abscísico, etileno e ácido salicílico, (PICAZEVICZ et al., 2020), afetam muito o crescimento da raiz, resultando em melhorias na absorção de umidade e nutrientes. Também há relatos de *Azospirillum* ajudando na mitigação de estresses abióticos, como salinidade e seca, desencadeando a tolerância sistêmica induzida, colaborando na mitigação de composto excessivo e metais pesados e no controle de patógenos nocivos a muitas plantas, um mecanismo conhecido como indução de resistência sistêmica (FUKAMI et al., 2018).

Fica notório que a utilização de bactérias inoculantes é uma alternativa promissora para a formação e recuperação de áreas degradadas, tornando sustentáveis as

atividades relacionadas e colaborando de forma indireta para redução de gases de efeito estufa (HUNGRIA et al., 2016).

Franche et al. (2009), estudando a inoculação de bactérias do gênero *Azospirillum* em na cana-de-açúcar, constataram que a cultura pode se beneficiar de mais de 150 kg N ha⁻¹ ano⁻¹, submetida a inoculação pela fixação biológica de nitrogênio alcançando rendimentos superiores a 30%. Resultados semelhantes foram descritos por Picazevicz et al. (2020), que estudando o crescimento do *Panicum maximum* cv. BRS Zuri em resposta a inoculação com *Azospirillum* e doses de nitrogênio constataram que a associação de adubação nitrogenada mais bactérias aumentou a altura de plantas, incrementou a massa seca e o acúmulo de nitrogênio, potássio, cálcio e magnésio na parte aérea.

Verifica-se que o uso de *Azospirillum brasilense* associado à produção de forrageiras apresenta resultados promissores, promovendo uma contribuição significativa sobre diversas variáveis, podendo a inoculação ser uma alternativa viável de substituição em partes dos fertilizantes minerais nitrogenados (VOGEL et al., 2014). Para Freitas et al. (2019), os benefícios da inoculação são inversamente proporcionais as doses de nitrogênio aplicada, sendo quanto maior a dose de nitrogênio, menor o benefício proporcionado pela inoculação, assim torna-se fundamental o entendimento da necessidade da adubação nitrogenada de acordo com a gramínea em uso.

Para Andrade et al, (2019) a utilização de bactérias promotoras de crescimento nas plantas é de notória importância para a redução do uso de fertilizantes nitrogenados, sem comprometer a produtividade, além de promover a sustentabilidade ambiental nos sistemas de produção.

2.5 Adubação nitrogenada em gramíneas: Trocas gasosas.

Estudar as trocas gasosas em plantas forrageiras, por meio de características como: condutância estomática (g_s), taxa de assimilação líquida (A), taxa transpiratória (E) e concentração interna de CO₂ (C_i), permitem uma avaliação dos processos fisiológicos que estão ocorrendo nas plantas em resposta a influência mútua dos fatores do meio e ao manejo exercido. Dessa forma, conhecer e compreender a ecofisiologia das forrageiras em estudo, se torna essencial para determinar uma estratégia de manejo da pastagem que maximize a resposta biológica da planta (POMPEU et al., 2010; LOPES et al., 2011).

O nitrogênio proporciona respostas positivas sobre o crescimento e desenvolvimento das plantas, sendo o nutriente que mais limita o crescimento das forrageiras tornando a adubação nitrogenada prática de manejo desejável para otimização do uso das pastagens, sendo assim, mudança nos padrões de crescimento dos pastos refletem o efeito do nitrogênio sobre as trocas gasosas (POMPEU et al., 2010; LOPES et al., 2011). O uso de bactérias promotoras de crescimento como do gênero *Azospirillum brasilense* está sendo amplamente estudado, bem como suas formas de aplicação nas forrageiras (GITTI et al., 2012). Toda via, é notório os seus benefícios já identificados, como incrementos no sistema radicular (DARTORA et., 2013), produção de massa seca (RODRIGUES et al., 2014) e nas trocas gasosas (INAGAKI et al., 2015).

A dinâmica do carbono no interior da célula nos vegetais está relacionada à agitação atmosférica por meio das trocas gasosas. Acarretando na maioria das vezes em troca de dióxido de carbono (CO_2) e oxigênio (O_2) entre a parte interna da planta e o meio externo que a envolve. Nestas trocas gasosas, no processo de fotossíntese, a planta fixa CO_2 e libera O_2 , e nas trocas gasosas durante a respiração, realiza o inverso, liberando CO_2 e consumindo O_2 , revertendo assim às trocas desses gases (LARCHER, 2006). Quando do total de CO_2 fixado pela planta (fotossíntese bruta), uma parte excede ao gasto respiratório, tem-se a fotossíntese líquida positiva, que redundando na produção de biomassa (TAIZ; ZEIGER, 2009).

Conforme Lopes et al, (2020) estudos sobre as trocas gasosas em forrageiras intensamente manejadas com adubação de nitrogênio são essenciais para um melhor entendimento de como a produção de biomassa ocorre, bem como entender os níveis ideais de fertilizantes para sua máxima eficiência. Lopes et al., (2011) estudando as trocas gasosas em *Panicum maximum* cv. Massai sob pastejo e adubado com nitrogênio constataram que as doses elevadas dos fertilizantes proporcionaram respostas positivas sobre as trocas gasosas do capim-massai, demonstrando o elevado potencial das gramíneas para a utilização em sistemas sob manejo intensivo, constituindo mais uma boa opção com características relevantes como: alta produção de biomassa foliar, larga relação folha/colmo, baixa produção de colmo, elevado perfilhamento e persistência.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização do experimento

O experimento foi conduzido em recipiente plástico de (20 litros) no período de janeiro a julho de 2021, no viveiro de mudas florestais da Ação Ecológica Guaporé, localizado na Rodovia 010, km 5,5, Rolim de Moura, RO, com coordenadas geográficas: Latitude 11°72' 58" S, Longitude 61°82'12" O e altitude média de 233 m. O clima da região é classificado como Monção (Am), sendo que para o período observou-se precipitação média de 1274 mm, temperatura média em torno de 26 °C e umidade relativa do ar média de 78% (INMET, 2022).



Figura 1. Imagem representativa do delineamento experimental em campo.

3.2 Tratamentos e delineamento experimental

Os tratamentos, com quatro repetições e uma planta por parcela, foram arranjados em delineamento inteiramente casualizados, em esquema fatorial 2x5 sendo o primeiro fator constituído pela a utilização de estirpes inoculante *Azospirillum* via foliar e controle, já o segundo fator, pelas doses de nitrogênio (0, 75, 150, 225, 300 kg ha⁻¹ de N) (Tabela 1), totalizando 40 unidades experimentais.

Tabela 1. Delineamento em blocos casualizados, em esquema fatorial 2x5 para cv. BRS Tamani, em função da inoculação com *Azospirillum brasilense* e sob doses de N, em cobertura.

Fator 1 (Com e sem Inoculação)	Fator 2 (Níveis de N, kg ha ⁻¹)
Sem inoculação	0
Sem inoculação	75
Sem inoculação	150
Sem inoculação	225
Sem inoculação	300
Com Inoculação	0
Com Inoculação	75
Com Inoculação	150
Com Inoculação	225
Com Inoculação	300

3.3 Caracterização do solo

O solo utilizado para o plantio foi proveniente de uma área de pastagens, de horizontes subsuperficiais que foram retirados abaixo dos primeiros 10 cm de profundidade, com coordenadas geográficas: Latitude 11° 41' 22" S, Longitude 61° 53' 22" O e altitude média de 235 m. O mesmo tinha por finalidade inicial a produção de mudas florestais, desta forma seis meses antes (setembro de 2020) ocorreu à mistura neste solo com esterco bovino, para melhorar suas características. O solo foi classificado, conforme os critérios do Sistema Brasileiro e Classificação de Solos – SiBCS (EMBRAPA, 2013) como Latossolo Vermelho-Amarelo eutrófico, amostras do solo foram coletadas e enviadas ao laboratório para serem analisadas, inferindo as seguintes características físico-químicas: M.O = 1,9 dag kg⁻¹; pH em H₂O = 5,1; P = 20,5 mg dm⁻³; K = 0,14 cmol_c dm⁻³; Ca = 3,9 cmol_c dm⁻³; Mg = 0,9 cmol_c dm⁻³; Al = 0,0 cmol_c dm⁻³ e H+Al = 1,80 cmol_c dm⁻³.

3.4 Características da gramínea

A cv. BRS Tamani é uma planta cespitosa de porte ereto e baixo (até 1,3 m) com folhas verdes escuras, longas, finas (até 1,9 cm) e arqueadas. As folhas apresentam baixa pilosidade. Os colmos são finos, e não apresentam cerosidade. As bainhas são glabras (sem pêlos). A inflorescência é uma panícula, com ramificações primárias curtas. As espiguetas são glabras e apresentam alta quantidade de manchas roxas. Seu florescimento é precoce (EMBRAPA, 2015).

3.5 Adubação e Plantio

Após o enchimento dos vasos (capacidade para 20 L) com o material de solo foi realizada a adubação fosfatada em fundação, com superfosfato simples, em dose única, que foi misturado ao solo. A potássica (cloreto de potássio, 60% de K_2O) foi parcelada em duas aplicações iguais, uma no plantio, e aos 30 dias após o plantio – DAP (NOVAIS, et al., 1991).

Foi acrescentado, ainda, na adubação, 40 kg ha⁻¹ do complexo de micronutrientes FTE 12 (9% de zinco; 1,8% de boro; 0,8% de cobre; 2% de manganês; 3,5% de ferro e 0,1% de molibdênio). As adubações nitrogenadas foram feitas no estabelecimento e durante a condução do experimento, dois dias após o corte, conforme os tratamentos estabelecidos, sendo utilizada a ureia (45% de N) como fonte.

A semeadura foi realizada com oito sementes por vaso, e quinze dias após a emergência foi realizado o desbaste deixando apenas três plantas. A aplicação na forma foliar de *Azospirillum brasilense* foi realizada com uma bomba de pressão manual, calibrada para um volume de calda de 250 L ha⁻¹ usando a diluição do concentrado de *Azospirillum brasilense* contendo $2,0 \times 10^{11}$ UFC mL⁻¹ sendo aplicada uma dose de (400 mL ha⁻¹), enquanto que o nitrogênio foi distribuído a lanço nas unidades experimentais. Para realizar a aplicação do inoculante, aguardou-se 07 dias após cada corte, isto para a forrageira desenvolver uma parte do dossel, já que a aplicação seria de forma foliar.

Aos 15 dias após o plantio, foi realizado um corte a 5 cm do solo para uniformização. O primeiro, segundo e o terceiro corte para avaliações foram realizados 40, 65 e 90 dias após o plantio respectivamente, sendo destes o material coletado para avaliação, conforme descrito por Bonfim-Silva e Monteiro (2007). Após cada corte foi reaplicada a adubação nitrogenada (100 mg dm⁻³) para a adubação completa e adubação potássica (200 mg dm⁻³) para todos os tratamentos, na forma de ureia e cloreto de potássio, respectivamente.

3.6 Irrigação

O manejo da irrigação utilizado foi manual, adotando-se a frequência de duas aplicações por dia, uma, pela manhã e, outra, à tarde, de acordo com a necessidade hídrica das plantas. Em cada irrigação, foi aplicado volume de água suficiente para elevar à umidade do solo próximo a máxima capacidade de retenção de água de forma que as irrigações eram encerradas quando se observava início de drenagem.

3.7 Variáveis analisadas

3.7.1 Avaliações morfofisiológicas

Foram realizadas três medições biométricas: aos 40, 65 e 90 DAP. Para isso foram demarcados três perfis por vaso com auxílio de fios coloridos. As avaliações destes perfis ocorreram antes do corte, e foram utilizados para mensurar a o comprimento foliar (CF) e largura da folha (LF). A altura de perfis (AP) foi medida com régua graduada, do solo até a o horizonte visual das folhas. O número de perfis (NP) foi determinado através da contagem de todas as parcelas. Após o corte da parte aérea, ocorreu à separação de folha e colmo, em seguida o material coletado foi seco em estufa de circulação forçada de ar, a temperatura de 65 °C. Após atingir peso constante, o material seco foi pesado separadamente, utilizando-se balança digital (0,01 g), para determinar a massa seca de folhas (MSF) e seca do colmo (MSC).

As avaliações de trocas gasosas foram realizadas aos 90 DAP, utilizou-se um analisador de CO₂ por radiação infravermelha (“Infra Red Gas Analyser - IRGA”). Em cada uma das unidades experimentais (vasos), escolheu-se folhas recém-expandidas, sendo efetuadas as leituras na parte mediana da folha, antes das 10 horas da manhã, utilizando-se uma fonte de radiação artificial com intensidade de 1200 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, sob condições de temperatura e concentração de CO₂ ambientes. No momento das leituras, o solo apresentava-se com umidade próxima à capacidade de campo. As variáveis analisadas foram: condutância estomática (*g_s*), taxa de assimilação líquida de CO₂ (*A*), taxa transpiração (*E*) e concentração interna de CO₂ (*C_i*).

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade Shapiro-Wilk a 5% de probabilidade, e posteriormente à análise de variância, pelo teste de F em níveis de 0,05 e 0,01 de probabilidade, quando significativo realizou-se análise de regressão polinomial para o fator quantitativo. Para o fator qualitativo, as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey a 5%. Para submeter a análise dos dados utilizou-se o software SISVAR 5.4 (FERREIRA, 2014).

4. RESULTADO E DISCUSSÃO

Tabela 2. Resumo de ANOVA para condutância estomática (g_s), taxa de assimilação líquida (A), taxa de transpiração (E) e concentração interna de CO_2 (C_i) e de *Panicum maximum* cv. BRS Tamani, em função da inoculação de *Azospirillum brasilense* e sob doses de adubação.

Causa da variação	Quadrados médios			
	g_s	A	E	C_i
Nitrogênio (N)	0,0626**	1,9570**	0,0719*	44866,7250**
Reg. Linear	0,2268**	6,7977**	0,0877*	178699,5125**
Reg. Quadrática	0,0234**	0,1530 ^{ns}	0,1163*	3,9375 ^{ns}
<i>Azospirillum</i> (A)	0,0027 ^{ns}	0,0126 ^{ns}	0,0034 ^{ns}	136,9000 ^{ns}
Interação				
NxA	0,0028**	0,0781 ^{ns}	0,0530 ^{ns}	2083,1500 ^{ns}
Bloco	0,0045**	0,3019*	0,0529 ^{ns}	4120,4666**
Resíduo	0,0007	0,0561	0,0239	806,2444
CV(%)	13,52	13,44	28,36	7,97
	Médias			
<i>Azospirillum</i>	mol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹	μmol m ⁻² s ⁻¹	mmol H ₂ O ₂ m ⁻² s ⁻¹	μmol mol ⁻¹
Inoculado	0,20	1,74	0,53	354,35
Não inoculado	0,19	1,78	0,55	358,05
dms	0,01	0,15	0,10	18,42

** e * significativo à probabilidade de 0,01 e 0,05 pelo teste F, ^{ns} não significativo pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Houve efeito significativo ($p < 0,01$), para condutância estomática (g_s), taxa de assimilação líquida (A), concentração interna de CO_2 (C_i), e ($p < 0,05$) para taxa de transpiração (E), nas doses de nitrogênio aplicadas, ocorrendo interação entre as doses e a aplicação de inoculante apenas para a variável condutância estomática (g_s) (Tabela 2).

Na Figura 2A, B e D, verifica-se que o aumento nas doses de N, favoreceu de forma crescente a condutância estomática (g_s), taxa de assimilação líquida de CO_2 (A) e concentração interna de CO_2 (C_i) das plantas em cada dose de nitrogênio na qual se pode perceber que os dados apresentaram melhor ajuste às equações lineares e crescentes, onde os maiores valores, comparados com o tratamento ausência de N e a maior dose (300 kg ha⁻¹ de N) foram de 0,21 mol H₂O m⁻² s⁻¹ (70,47%), 1,17 μmol m⁻²

s^{-1} (49,78%) e $189,06 \mu\text{mol mol}^{-1}$ (41,94%), respectivamente para g_s , A e C_i . Para a variável taxa de transpiração (E) a equação de regressão foi representada por um modelo quadrático (Figura 2C). O maior valor ($0,71 \text{ mmol H}_2\text{O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) de E foi obtido na dose de 300 kg ha^{-1} de N.

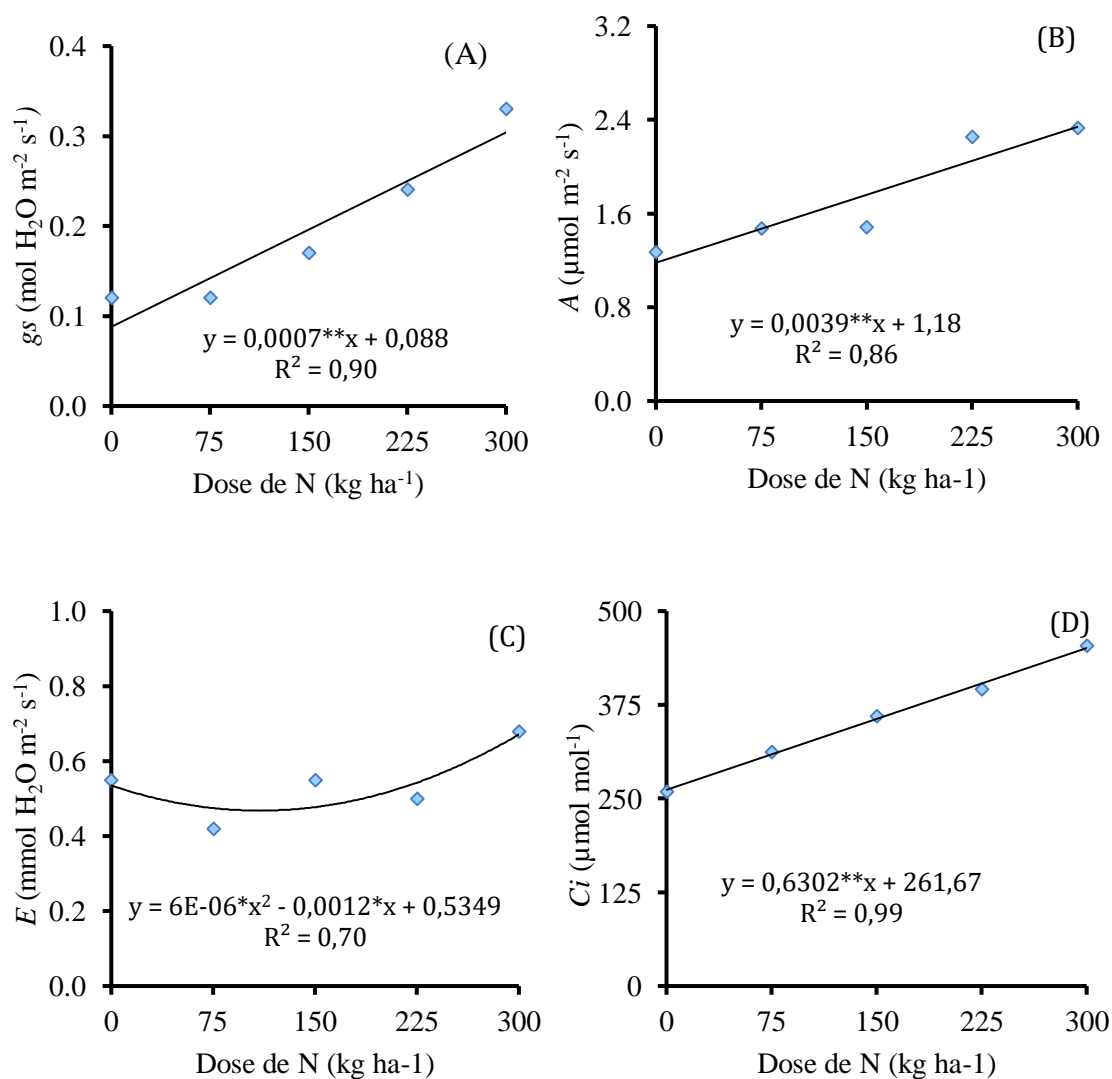


Figura 2. Condutância estomática – g_s (A) , taxa de assimilação líquida de CO_2 – A (B) taxa de transpiração – E (C) e concentração interna de CO_2 – C_i (D) de *Panicum maximum* cv. BRS Tamani, em função de diferentes doses de nitrogênio, em cobertura. ** e * significativo a 1 e 5%.

Essa correlação linear crescente entre doses de nitrogênio e condutância estomática pode ser explicada pela maior abertura estomática ocorrida nas plantas como mecanismo para atender à absorção de CO_2 do meio externo e regular a temperatura da folha por meio da transpiração, ilustrando o efeito do nitrogênio sobre a abertura estomática (KUWAHARA et al., 2009) (POMPEU et al., 2010),

Resultados semelhantes são descritos por Pompeu et al. (2010, que estudando as características morfofisiológicas do capim-aruaana sob diferentes doses de nitrogênio observou o mesmo comportamento linear crescente, sendo que para a condutância estomática (g_s), cada miligrama de N dm^{-3} , a g_s elevou-se em $0,00006 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Vasconcelos et al.(2021) estudando a forrageira Brs cv. Tamani sob doses crescentes de nitrogênio, observou correlação linear crescente entre a aplicação do fertilizante e a g_s , efeitos este que condiz com o os resultados apresentado neste trabalho.

Vasconcelos et al. (2021) avaliando as respostas fisiológicas do capim-tamani adubado com doses crescentes de nitrogênio constataram-se que para a taxa de assimilação líquida ocorreu um incremento de 81,12, 15,97 e 28,57 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ nas doses de nitrogênio de 0 e 1200 $\text{kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, respectivamente.

Quando ocorre deficiência de um nutriente essencial como o nitrogênio (N), a atividade das enzimas Rubisco, responsável pela fotossíntese, entre outras, associado ao efeito também sobre a transpiração foliar, e a PEP decrescem, conseqüentemente, a fotossíntese líquida de CO_2 é prejudicada (WEI et al., 2016). Somado a isso, a maior taxa de fotossíntese observada em doses elevadas de nitrogênio também é reflexo de incrementos, tanto na fase fotoquímica, como na fase bioquímica. Na fase fotoquímica, provavelmente houve aumento no aparato de captação de luz, na fase bioquímica, as maiores doses de N podem ter favorecido maior biossíntese de proteínas e enzimas ligadas à fotossíntese (TAIZ; ZEIGER, 2009).

Esse incremento na (E) pode ser explicado pelo maior crescimento foliar proporcionado pelo nitrogênio nas plantas, no qual eleva o índice de área foliar, composto por folhas jovens com maior capacidade fotossintética, devido à maior atividade enzimática, o que ocasiona maior demanda de água pelo sistema radicular, promovendo um incremento na fotossíntese líquida do dossel (YIN et al., 2009).

Lopes et al., 2011, estudando trocas gasosas e morfofisiológica em capim-massai sob pastejo e adubado com nitrogênio observou resultados semelhantes onde a taxa de transpiração foliar (E) revelou padrão de resposta quadrática conforme foram incrementadas as doses de nitrogênio, com valores estimados em 3,24 e 5,55 $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ nas doses 0 e 1200 $\text{kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Pompeu et al. (2010) Estudando as trocas gasosas em *Panicum maximum* cv. Aruaana sob quatro doses de adubo nitrogenado (0; 125; 250 e

375 mg dm⁻³ de solo), verificaram resposta linear crescente para a taxa de transpiração foliar (E), com estimativas de 2,40 a 3,79 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$.

Lopes et al., 2011, estudando trocas gasosas e morfofisiológica em capim-massai sob pastejo e adubado com nitrogênio constatou que concentração interna de CO₂ (C_i) foram influenciadas pela adubação nitrogenada de forma crescente, verificando-se valores estimados de 115,28 e 145,04 ppm (C_i) nas doses 0 e 1200 kg ha⁻¹ ano⁻¹.

A concentração interna de CO₂ é importante porque a produtividade de uma planta pode ser analisada como o produto da energia solar interceptada e do CO₂ fixado durante um período (TAIZ & ZEIGER, 2017). O incremento na (C_i) para as gramíneas supridas com as maiores doses de nitrogênio pode ser atribuída à elevação da condutância estomática, pelo fato de uma maior abertura estomática favorecer a absorção de CO₂ do meio externo demonstrando que a resistência estomática não foi fator limitante para o influxo de CO₂ (LAMBERS et al., 1998).

Observa-se, na Tabela 3, efeito significativo ($p < 0,01$) das doses de nitrogênio (DN) para o número perfilhos (NP) e altura de perfilho (AP) para o 1º corte (40 DAP), 2º corte (65 DAP) e 3º corte (90 DAP). Enquanto que para o fator *Azospirillum* (A) verifica-se efeito significativo ($p < 0,05$) para o segundo e terceiro corte. Os valores referentes aos tratamentos inoculados foram significativamente superiores aos não inoculado, com acréscimos relativos de (6,25 e 6,71%) no segundo e terceiro corte, respectivamente para a variável altura de perfilho. Para a variável número de perfilhos ocorreu um incremento de 11,34% no terceiro corte, quando comparado ao tratamento que não recebeu a aplicação do inoculante. Constatou-se não haver interação entre o fator (DN x A) para as variáveis analisadas.

Tabela 3. Resumo de ANOVA para número de perfilhos (NP), altura de perfilho (AP) de *Panicum maximum* cv. BRS Tamani, em função da inoculação de *Azospirillum brasiliense* e sob doses de N, em cobertura.

Causa da variação	Quadrados médios					
	NP			AP		
	Cortes			Cortes		
	1°	2°	3°	1°	2°	3°
40 DAP	65 DAP	90 DAP	40 DAP	65 DAP	90 DAP	
Dose de N (DN)	56716,312**	114525,962**	138609,962**	54,458**	69,399**	139,368**
Reg. Linear	202910,512**	335016,612**	397479,012**	141,299**	158,512**	366,368**
Reg. Quadr.	21645,080**	92517,508**	154885,937**	65,056**	93,275**	160,640**
<i>Azospirillum</i> (A)	324,900 ^{ns}	1334,025 ^{ns}	8151,025*	0,229 ^{ns}	3,893*	5,488*
Interação						
DNxA	304,087 ^{ns}	1394,462 ^{ns}	1242,587 ^{ns}	1,471 ^{ns}	1,017 ^{ns}	0,696 ^{ns}
CV(%)	16,47	17,43	13,73	11,90	8,09	8,77
	Médias					
<i>Azospirillum</i>	n°			cm		
Inoculado	179,40	250,95	280,25 a	11,86	10,53 a	11,76 a
Não inoculado	185,10	262,50	251,70 b	11,71	9,91 b	11,02 b
dms	19,47	29,02	23,70	0,91	0,53	0,64

** e * significativo à probabilidade de 0,01 e 0,05 pelo teste F, ^{ns} não significativo pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O número de perfilhos por planta foi influenciado significativamente, no terceiro corte, pela inoculação com *A. brasiliense* e nos demais cortes pela aplicação de N em cobertura (Figura 3), com média máxima de 256,12 perfilhos (1° corte), 374,21 perfilhos (2° corte) e 363,1 perfilhos (3° corte) alcançada com a dose de 225 kg ha⁻¹ de N. Resultados como estes evidenciam a capacidade do nitrogênio em estimular os pontos de crescimento da forrageira possibilitando maior perfilhamento, resultando em alta densidade de perfilho, uma vez que, sob boa condição vegetativa as forrageiras apresentam alta taxa de aparecimento foliar, sendo que em cada inserção de folha, existe uma gema, que em condições disponíveis, pode se transformar em um perfilho. (ALEXANDRINO et al., 2010).

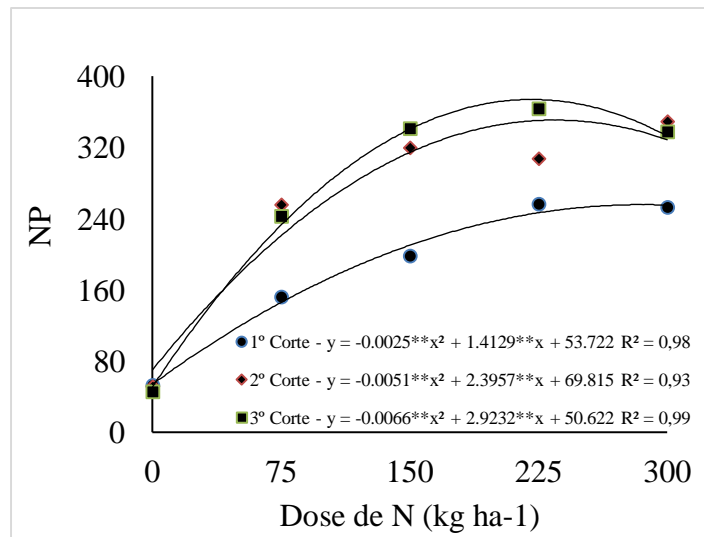


Figura 3. Número de perfilhos – NP e altura de perfilho – AP, sob doses de N, em cobertura, em dois cortes de *Panicum maximum* cv. BRS Tamani. ** significativo a 1%.

Para altura de perfilhos (Figura 4) ocorreu efeito significativo quadrático para a aplicação de N em todos os cortes. A dose de 225 kg ha⁻¹ de N proporcionou os maiores valores de eficiência econômica para o primeiro, segundo e terceiro corte, evidenciando um incremento na altura de perfilhos por plantas, respectivamente, quando comparados aos tratamentos com ausência de nitrogênio. Esses resultados podem ser explicados pelas funções desempenhadas pelo nitrogênio, como componente estrutural de macromoléculas e enzimas, envolvidas no processo de desenvolvimento vegetativo das plantas (MALAVOLTA, 2006). O aumento da altura de perfilhos em gramíneas com adubação nitrogenada pode estar correlacionado com maiores taxas de alongamento de colmos e folhas, estimuladas pela aplicação do fertilizante (MARTUSCELLO et al. 2019).

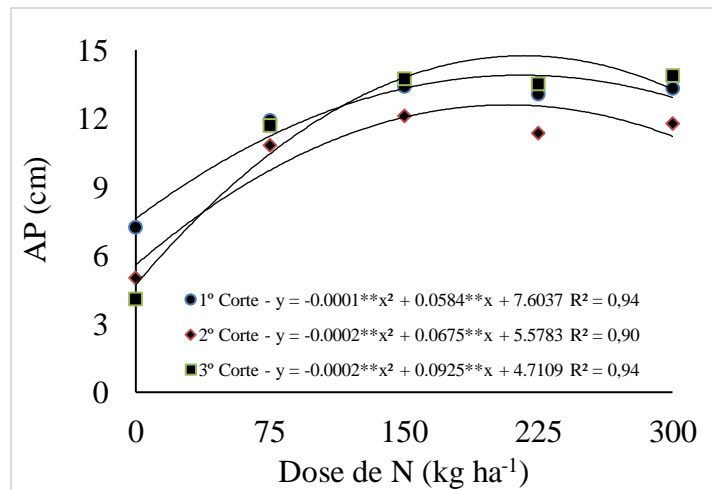


Figura 4. Altura de perfilho – AP, sob doses de N, em cobertura, em dois cortes de *Panicum maximum* cv. BRS Tamani. ** significativo a 1%

Berlamino et al. (2003) avaliando a altura de perfilho e rendimento do capim-tanzânia em condição de campo constatou para a altura de perfilho um acréscimo linear em função da adubação nitrogenada, obtendo-se uma altura média de 22,35 cm nos tratamentos com ausência da adubação nitrogenada e uma média geral de 34,12 cm para os que receberam as maiores doses 200 kg ha⁻¹ de N.

Guimarães et al. (2011), trabalhando com *B. brizantha* cv. Marandu inoculadas com *Azospirillum* sp. observaram para a variável altura de plantas, maiores valores para as plantas inoculadas quando comparado com as plantas que não receberam nitrogênio nem a inoculação. Picazevicz et al. (2020), constataram que quando as sementes de *P. máximo* cv. BRS Zuri foram inoculadas com bactérias do tipo *A. brasilense* AbV5 e AbV6, ocorreu um aumento de 15% na altura da forrageira, apenas com a inoculação, evidenciando o benefício da utilização das mesmas para o incremento do fornecimento de nitrogênio em gramíneas.

Como observado no trabalho ocorreu incremento na altura de perfilho para o segundo e terceiro corte e no número de perfilhos para o terceiro corte nos tratamentos que receberam a aplicação do inoculante via foliar. Isso pode ser explicado pelo fato deste microrganismo ser diazotrófico, portanto, contribuem via correção biológica de nitrogênio, na disponibilização deste macronutriente, propiciando o crescimento vegetativo das plantas (PICAZEVICZ et al., 2020). Os acréscimos em gramíneas inoculadas com *A. brasilense* poder ser atribuídos principalmente à produção de fitohormônios, que por sua vez promovem o crescimento da raiz e da parte aérea (TAIZ E ZEIGER 2009; HUNGRIA et al., 2016; PEDREIRA et al., 2017;).

De acordo com Souza et al. (2017), a auxina IAA (ácido indol-3-acético) atua no aumento do sistema radicular e estimulando a diferenciação nos tecidos meristemáticos que dependem da concentração hormonal. Entre os benefícios do *Azospirillum*, aparentemente a produção de deste fitohormônios é quantitativamente o mais importante para o crescimento das gramíneas (FUKAMI et al., 2017).

Martuscello et al. (2019) estudando o capim BRS Tamani observou um efeito linear positivo da adubação nitrogenada no número de perfilhos, constatando um aumento de 391% quando comparou a testemunha ao tratamento que recebeu 200 kg ha⁻¹ de N, resultados semelhantes foi encontrado nesse trabalho no qual observou-se um aumento em média de (387, 498 e 696%) no número de perfilhos, para o primeiro, segundo e terceiro corte, respectivamente, quando comparado o tratamento que não recebeu adubação nitrogenada em relação aos tratamentos que receberam a dose de 225 kg de nitrogênio por hectare, evidenciando uma relação direta entre crescimento e adubação nitrogenada em forrageiras.

O aumento linear de perfilhos observado neste trabalho pode estar associado ao fornecimento do nitrogênio e a sua capacidade de estimular o desenvolvimento da parte aérea das forrageiras, resultando em uma maior intensidade de perfilhamento (MOREIRA et al., 2009). No trabalho realizado pode-se observar um incremento do número de perfilhos do primeiro para o terceiro corte sob as mesmas condições de tratamento. Em pastagens tropicais, este aumento de perfilhos geralmente está relacionado ao estresse pela frequência de desfolha no dossel forrageiro, levando a uma mudança na estratégia de crescimento da planta para aumentar de forma eficiente à área foliar, fenômeno conhecido como 'enchimento de sítio', em que o comprimento da folha do perfilho diminui, como alternativa para aumentar o índice de área foliar, coincidindo com o aumento da comunidade de perfilhos (ABREU et al., 2020; VERAS et al., 2020; MARTINS et al., 2021)

Na Tabela 4 é apresentada a análise de variância do desempenho das plantas da cv. BRS Tamani em diferentes doses de nitrogênio. Foi observada diferença significativa ($p < 0,01$) para as variáveis analisadas: comprimento da folha (CF) e largura da folha (LF) referente ao segundo corte e terceiro corte não ocorrendo efeito significativo para o primeiro corte. Quanto ao fator *Azospirillum* houve diferença significativa ($p < 0,01$) para a variável CF para o primeiro e terceiro corte. Já a variável LF o efeito significativo foi $p < 0,05$ de probabilidade, para todos os cortes.

Tabela 4. Resumo de ANOVA comprimento da folha (CF) e largura da folha (LF) de *Panicum maximum* cv. BRS Tamani, em função da inoculação de *Azospirillum brasilense* e sob doses de N, em cobertura.

Causa da variação	Quadrados médios					
	CF			LF		
	Cortes			Cortes		
	1°	2°	3°	1°	2°	3°
40 DAP	65 DAP	90 DAP	40 DAP	65 DAP	90 DAP	
Dose de N (DN)	233,957 ^{ns}	534,149 ^{**}	1683,837 ^{**}	0,161 ^{ns}	0,341 ^{**}	0,942 ^{**}
Reg. Linear	0,014 ^{ns}	1360,260 ^{**}	4470,049 ^{**}	0,024 ^{ns}	0,619 ^{**}	2,640 ^{**}
Reg. Quadr.	115,222 ^{ns}	635,269 ^{**}	1977,920 ^{**}	0,025 ^{ns}	0,707 ^{**}	0,941 ^{**}
<i>Azospirillum</i> (A)	673,466 ^{**}	93,391 ^{ns}	219,336 ^{**}	0,770 [*]	0,031 [*]	0,110 [*]
Interação						
DNxA	73,008 ^{ns}	28,186 ^{ns}	22,940 ^{ns}	0,024 ^{ns}	0,019 [*]	0,017 ^{ns}
CV(%)	28,71	17,39	11,06	24,37	8,10	13,13
	Médias					
<i>Azospirillum</i>	----- cm -----			----- cm -----		
Inoculado	28,85 a	29,48	40,81 a	1,22 a	1,00 a	1,23 a
Não inoculado	20,65 b	32,54	36,13 b	0,95 b	1,06 b	1,12 b
dms	4,61	3,50	2,76	0,17	0,05	0,10

** e * significativo à probabilidade de 0,01 e 0,05 pelo teste F, ^{ns} não significativo pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Observou-se, ainda, na Tabela 4, um acréscimo em ambos os cortes para CF e LF quando aplicado o inoculante *Azospirillum brasilense* na espécie *Panicum maximum* cv. BRS Tamani. O acréscimo relativo para CF foi de 28,42% (1° corte) e 11,46% (3° corte). Para a variável LF ocorreu acréscimo relativo de 22,13% (1° corte), 6% (2° corte) e 8,94% (3° corte).

O modelo de regressão que melhor se ajustou aos valores de CF e LF em função da adubação com diferentes doses de nitrogênio foi à quadrática (Figura 5 e 6). De acordo com a equação, estimou-se que o maior valor de CF (52,53 cm) e LF (1,27 cm) foi encontrado com a dose de 225 kg ha⁻¹ de N, sendo que essa dose proporcionou um incremento médio de 37,42 e 0,65 cm, estes valores equivalem a 71,23 e 51,12% para CF e LF, respectivamente, quando comparado com ausência de N.

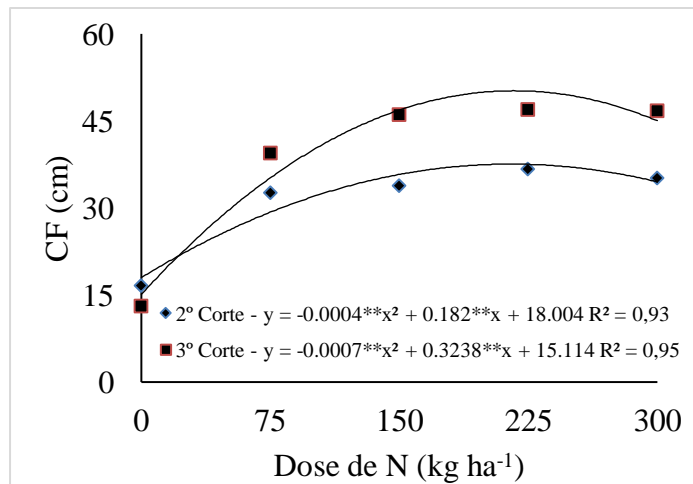


Figura 5. Comprimento da folha – CF, sob doses de N, em cobertura, em dois cortes de *Panicum maximum* cv. BRS Tamani. ** significativo a 1%.

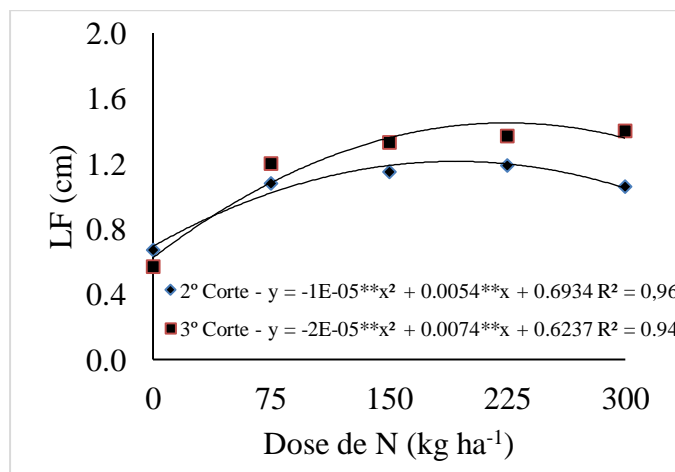


Figura 6. Largura da folha – LF, sob doses de N, em cobertura, em dois cortes de *Panicum maximum* cv. BRS Tamani. ** significativo a 1%.

Skinner e Nelson (1995) ressaltam que, as plantas forrageiras, são altamente responsivas à adubação nitrogenada pelo fato da deposição de nutrientes que ocorrem nas zonas de alongamento e divisão celular das folhas, ocasionando o aumento na produção de novas células e tecidos. Abreu et al. (2020), avaliando o capim *Panicum maximum* cv. BRS Tamani observaram um aumento crescente da lâmina e área foliar em razão do aumento das doses de nitrogênio aplicada.

Resultados como estes evidenciam a importância do nitrogênio no crescimento e manutenção do dossel forrageiro, sendo um dos nutrientes mais limitantes para longevidade das pastagens. Segundo Martuscello et al. (2015) o alongamento foliar é uma medida importante para analisar o fluxo de tecidos e correlaciona-se diretamente

com o rendimento forrageiro, pois folhas que possuem um maior alongamento resultam em maior área foliar fotossinteticamente e em um maior acúmulo de forragem. Esta diferença pode ser explicada pelo uso do inoculante via foliar, uma vez que a ação do mesmo nestas variáveis se deu de forma mais direta devido a forma de aplicação. Os índices menores das variáveis ocorridos entre o primeiro e terceiro corte pode estar relacionado à implantação do dossel forrageiro, pois a gramínea está se adaptando ao manejo adotado (ABREU et al., 2020).

Souza (2014) estudando a inoculação com *Azospirillum brasilense* em *Brachiaria brizantha* cv. Marandu observou que na aplicação de forma foliar de 200 mL ha⁻¹ do inoculante ocorreu um incremento para largura da folha e na taxa de alongamento das folhas, quando comparado o tratamento inoculados e não inoculados o aumento nas variáveis foi de 6,0 e 22,5%, respectivamente. Resultados semelhantes foram observados neste trabalho no qual a inoculação proporcionou um acréscimo médio entre os cortes de 19,94% para comprimento foliar e de 12,35% para largura foliar, evidenciando os benefícios da inoculação via foliar em gramíneas.

A análise de variância reportou efeitos significativos ($p < 0,01$) do fator nitrogênio (N) para todas as variáveis analisadas. Para *Azospirillum* (A) houve efeito significativo para o 2º corte ($p < 0,01$) e terceiro corte ($p < 0,05$) para as variáveis MSF e para MSC ($p < 0,01$). Observa-se, também, que houve efeito significativo ($p < 0,05$) da interação entre N x A apenas para a variável MSF no 1º corte (Tabela 5).

Tabela 5. Resumo de ANOVA para e massa seca de folha (MSF) e massa seca de colmo (MSC) de *Panicum maximum* cv. BRS Tamani, em função da inoculação de *Azospirillum brasilense* e sob doses de N, em cobertura.

Causa da variação	Quadrados médios					
	MSF			MSC		
	Cortes			Cortes		
	1°	2°	3°	1°	2°	3°
40 DAP	65 DAP	90 DAP	40 DAP	65 DAP	90 DAP	
Dose de N (DN)	620,257**	1963,083**	1916,406**	272,324**	292,308**	272,571**
Reg. Linear	1845,504**	4596,360**	4930,114**	792,099**	382,943**	281,662**
Reg. Quadr.	344,752**	3202,189**	2699,518**	269,669**	667,633**	706,063**
<i>Azospirillum</i> (A)	3,757 ^{ns}	432,503**	297,897*	13,018 ^{ns}	81,738**	82,340**
Interação						
DNxA	36,889*	55,340 ^{ns}	28,320 ^{ns}	5,863 ^{ns}	6,623 ^{ns}	9,442 ^{ns}
CV(%)	16,57	20,13	19,62	18,91	30,90	30,70
	Médias					
<i>Azospirillum</i>	----- g -----			----- g -----		
Inoculado	16,94	30,25 a	29,40 a	11,06	12,13 a	11,60 a
Não inoculado	17,55	23,67 b	23,94 b	9,91	9,27 b	8,73 b
dms	1,85	3,52	3,39	1,28	2,15	2,02

** e * significativo à probabilidade de 0,01 e 0,05 pelo teste F, ^{ns} não significativo pelo teste F. Médias seguidas

Quanto aos tratamentos que receberam o inoculante, observa-se que estes auferiram maiores valores, no 2° e 3° corte, para MSF e MSC (Tabela 5). Os acréscimos relativos, comparados com os tratamentos que não receberam aplicação do inoculante foram de 27 e 22% para MSF e 30 e 32% para MSC, para o 2° e 3° corte, respectivamente.

Souza (2014), estudando a inoculação de *Azospirillum brasilense* em *Brachiaria brizantha* cv. Marandu concluiu que a aplicação do inoculante via foliar não apresentou influência produção de massa seca de folha e de colmo, todavia a dose de inoculante utilizada foi de 200 mL ha⁻¹, enquanto a deste trabalho foi de 400 mL ha⁻¹ de inoculante, o que pode justificar essa diferença.

O aumento observado da produção de massa seca da parte aérea da cv. BRS Tamani com o incremento das doses de N pode ser explicado pelo fato de o N agir como fator controlador de diferentes processos de alongamento e desenvolvimento das plantas, proporcionando um aumento de biomassa devido à fixação de carbono (MARTUSCELLO et al. 2015).

Picazevicz et al. (2020) estudando o crescimento do *Panicum maximum* cv. BRS zuri em resposta ao uso de rizobactéria e adubação nitrogenada, constataram um aumento de aproximadamente 15% da massa seca da parte aérea nos tratamentos que receberam a inoculação com *Azospirillum brasilense*, evidenciando o efeito benéfico desta bactéria diazotrófica para o crescimento das plantas, representando o aumento da biomassa da parte aérea.

O desdobramento dos efeitos dos tratamentos para a variável MSF (1º corte) por meio da análise de regressão evidenciou, para a variável, efeito quadrático para as doses nitrogênio (Figura 7). O ponto máximo MSF, para o inoculado (I) e não inoculado (NI), estimado pelo modelo de regressão que melhor se ajustou aos dados (Figura 3) foi obtida com a aplicação da dose de 225 kg ha⁻¹ de N.

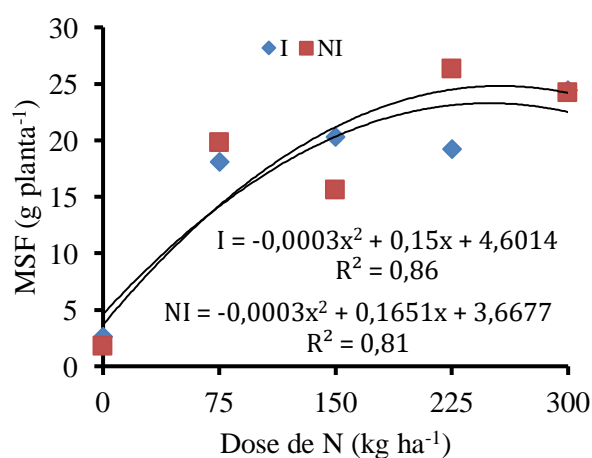


Figura 7. Desdobramento da interação entre doses de nitrogênio, em cobertura, e da inoculação de *Azospirillum brasilense* sobre a massa seca de folha – MSF, de *Panicum maximum* cv. BRS Tamani; I = inoculado e NI = não inoculado. 1º Corte. ** significativo a 1%.

Guimarães et al. (2011), em estudos feitos com *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em função da inoculação com estirpes de *Azospirillum* spp. observaram que para o parâmetro massa seca de folhas, ocorreram maiores valores nos tratamentos que recebeu adubação completa sem o uso do inoculante.

Resultados semelhantes foram encontrados por Santos (2013) que avaliando o capim marandu submetido à inoculação com bactérias diazotróficas, constatou no primeiro corte que para variável massa seca das folhas não ocorreu diferença estatística entre os tratamentos inoculados, sendo a melhor resposta obtida para o tratamento que se utilizou apenas a adubação completa.

Para as doses de nitrogênio observou-se que a aplicação de 225 kg ha⁻¹ de N apresentou os maiores valores, tanto para a MSF, quanto para a MSC, ocorrendo um decréscimo nas variáveis para a dose de 300 kg ha⁻¹ de N (Figura 8 e 9).

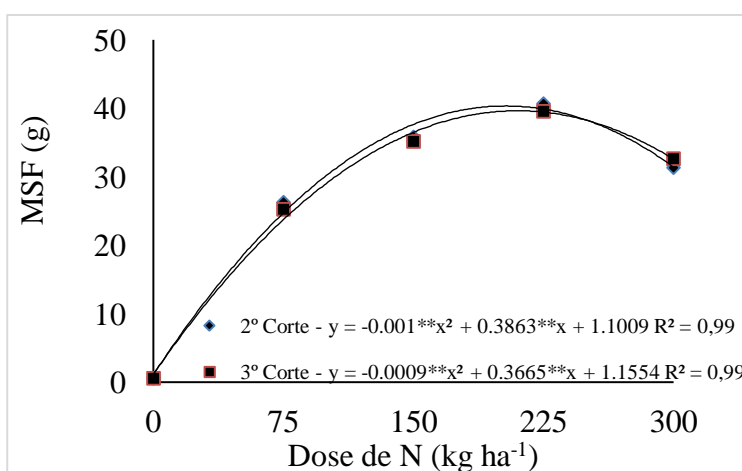


Figura 8. Massa seca de folha – MSF, de *Panicum maximum* cv. BRS Tamani em função de diferentes doses de adubação nitrogenada. ** significativo a 1%.

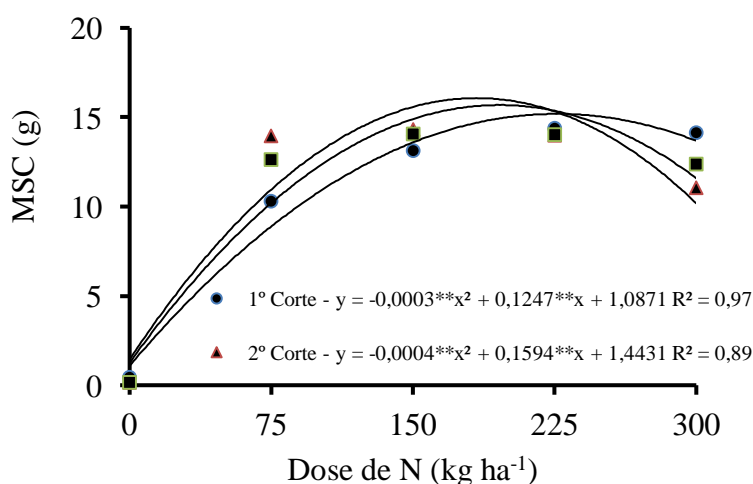


Figura 2. Massa seca de colmo – MSC, de *Panicum maximum* cv. BRS Tamani em função de diferentes doses de adubação nitrogenada. ** significativo a 1%.

Esse incremento na produção de massa seca da parte aérea pode ser atribuído devido ao nitrogênio fazer parte de muitos compostos da planta, incluindo todas as proteínas (formadas de aminoácidos) e ácidos nucléicos (TAIZ & ZEIGER, 2004). Dessa forma, a utilização de nitrogênio nas gramíneas forrageiras pode promover o ritmo de crescimento e a qualidade, incrementando a produção de massa seca aérea e a síntese de proteínas (SILVA, 2008).

Martuscello et al. (2019), avaliando o capim BRS cv. Tamani sob diferentes doses de nitrogênio observaram um acréscimo de 55% para a massa seca de colmo, quando comparado os tratamentos sem uso de fertilizantes nitrogenados com a dose de 200 mg dm⁻³ ha⁻¹. Zanetti (2010) estudando o capim elefante sob os tratamentos com e sem inoculação e com uma mistura de bactérias diazotróficas, observou ganho de biomassa de colmo que promoveu um aumento de produtividade de massa seca de colmos de 2,6 mg MS ha⁻¹.

A produção de matéria seca das folhas e colmo é um parâmetro importante para o desenvolvimento das forrageiras, uma vez que a folha é o componente fotossinteticamente mais ativo, capaz de promover acréscimos na taxa de crescimento de plantas e no acúmulo de forragem (MARTUSCELLO et al. 2019).

Resultados obtidos neste trabalho com a aplicação foliar da estirpe *Azospirillum brasilense* no *Panicum maximum* cv. BRS Tamani, evidenciaram o incremento nas características agrônômicas da cultivar nos tratamentos que receberam a inoculação. É sabido os benefícios da inoculação via semente no momento do plantio das gramíneas, toda via a aplicação via foliar surge como uma alternativa para suplementação da adubação mineral nitrogenada quando a pastagem se encontra estabelecida.

5. CONCLUSÕES

A aplicação via foliar de *Azospirillum brasilense* no *Panicum maximum* cv. BRS Tamani contribuiu de forma positiva no desenvolvimento e produção da forrageira, com aumento na altura de perfilhos, número de perfilhos, comprimento de folha, largura foliar, massa seca de colmo e seca de folhas quando associado até a dose de 225 kg ha⁻¹ de nitrogênio.

As trocas gasosas da cv. BRS Tamani foram influenciadas pelas doses crescentes de nitrogênio, sendo a dose de 300 kg ha⁻¹ a que demonstrou a máxima eficiência biológica. A inoculação via foliar com *Azospirillum brasiliense*, em geral, contribuiu de forma positiva para a nutrição da *Panicum maximum* cv. Tamani, podendo ser utilizada como suprimento de parte da adubação nitrogenada em cobertura.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, V. L. S. de.; GOLIN, H. O.; DE REZENDE, R. P.; FERNANDES, P. B.; THEODORO, G. de F.; FRANCO, G. L.; DIFANTE, G. dos S. Ammonium sulfate rates affect the Structural Characteristics, Biomass and Crude Protein of BRS Tamani Grass. **Journal of Agricultural Studies**, v. 8, n. 4, p. 450, 2020.

ALEXANDRINO, E.; VAZ, R. G. M. V.; SANTOS, A. C. Características da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu durante o seu estabelecimento submetida a diferentes doses de nitrogênio. **Bioscience Journal**, Uberlândia v. 26, n. 6, p. 886-893, 2010.

ANDRADE, R. A.; PORTO, M. O.; CAVALI, J.; FERREIRA, E.; BERGAMIN, A. C.; SOUZA, F. R. de.; AGUIAR, I. D. de. *Azospirillum brasilense* e fosfato natural reativo no estabelecimento de forrageira tropical. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 42, n. 1, p. 146–154, 2019.

BECHE, E.; BENIN, G.; BORNHOFEN, E.; DALLÓ, S. C.; SASSI, L. H. S.; OLIVEIRA, R. Eficiência de uso de nitrogênio em cultivares de trigo pioneiras e modernas. **Pesquisa Brasileira Agropecuária**, Brasília, v.49, n.12, p.948-957, dez. 2014.

BRAGA, G. J.; MACIEL, G. A.; GUIMARÃES JUNIOR, J. R. R. RAMOS, A. K. B.; CARVALHO, M. A.; FERNANDES, F. D.; FONSECA, C. E. L.; JANK, L. Performance of young Nellore bulls on guineagrass pastures under rotational stocking in the Brazilian Cerrado. **Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales.**, v. 7, n. 3, p. 214–222, 2019.

CARPIO, A. C.; JIMENEZ, J. A. A.; BAUTISTA, S. L.; SERNA, S. A.; VILLANUEVA, G. E. D. Rendimiento y rentabilidad de genotipos de papaya en función de la fertilización química, orgánica y biológica. **Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas**, v. 10, n. 3, p. 575–584, 2019.

CAVALLI, J. Estratégias de manejo do pastejo para *Panicum maximum* cvs. Quênia e Tamani. Universidade Federal de Mato Grosso *Campus* Universitário de Sinop. **Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais Programa de Pós-Graduação em Zootecnia**. Mato Grosso. 2016.

CHARPENTIER, M.; OLDROYD, G. How close are we to nitrogen-fixing cereals? **Current Opinion in Plant Biology**, v. 13, n. 5, p. 556–564, 2010.

CORDEIRO, L. A. M.; VILELA, L.; MARCHÃO, R. L.; KLUTHCOUKI, J.; JÚNIOR, G. B. Integração Lavoura-Pecuária e Integração Lavoura-Pecuária-Floresta: Estratégia para Intensificação Sustentável do Uso do Solo. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**. Brasília v. 32, n.1/2, p. 15-53, jan./ago. 2015.

DARTORA, J.; GUIMARAES, V. F.; MARINI, D.; SANDER, G. Adubação nitrogenada associada à inoculação com *Azospirillum brasilense* e *Herbaspirillum seropedicae* na cultura do milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.10, pp. 1023-1029, 2013.

EMBRAPA GADO DE CORTE. **BRS Tamani, forrageira híbrida de *Panicum maximum***. Campo Grande, MS, 2015. Folder.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS)**. 3 ed. 2013. 353p.

- FERREIRA, D. F. Sisvar: A guide for its bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 38, p. 109-112, 2014.
- FRANCHE, C.; LINDSTRÖM, K.; ELMERICH, C. FRANCHE C, LINDSTROM K, ELMERICH C. Nitrogen-fixing bacteria associated with leguminous and non-leguminous plants. **Plant Soil**, v. 321, p 35–59, 2009.
- FREITAS, P. V. D. X de.; TOMAZELLO, D. A.; ISMAR, M. G.; MACIEL, T. T. B. A. F. R. Â. A. L P.; FIRMINO, A. E.; NETO, C. de M. e S.; FRANÇA, A. F. de S. P. Produção de gramíneas forrageiras inoculadas com *Azospirillum brasilense* associada à adubação nitrogenada. **Revista Científica Rural**, v. 21, n. 2, p. 31–46, 2019.
- FUKAMI, J.; CEREZINI, P.; HUNGRIA, M. *Azospirillum*: benefits that go far beyond biological nitrogen fixation. **AMB Express**, v. 8, n. 1, 2018.
- GITTI, D. D. C.; ARF, O.; PORTUGAL, J. R.; CORSINI, D. C. D. C.; RODRIGUES, R. A. F.; KANEKO, F. H. Coberturas vegetais, doses de nitrogênio e inoculação de sementes com *Azospirillum brasilense* em arroz de terras altas no sistema plantio direto. **Bragantia**, v. 71, n. 4, p. 509–517, 2012.
- GUIMARÃES, S. L.; BONFIM, E. M. S.; POLIZEL, A. C.; CAMPOS, D. T. da S. Produção de Capim-Marandu inoculado com *Azospirillum* spp. Enciclopédia Biosfera, v. 7, n. 13, pp.816-826, 2011
- HAVLIN, J. L.; BEATON, J. D.; TISDALE, S. L.; NELSON, W. L. Soil fertility and fertilizers: an introduction to nutrient management. 7.ed. New Jersey: **Pearson**, 515p, 2005.
- 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, jan. 2016.
- INAGAKI, A. M.; GUIMARÃES, V. F.; LANA, M do. C.; KLEIN, J.; DA COSTA, A. C. R.; F.; RODRIGUES, O. L.; RAMPIM, L. Maize initial growth with the inoculation of plant growth-promoting bacteria (PGPB) under different soil acidity levels. **Australian Journal of Crop Science**, v. 9, n. 4, p. 271–280, 2015.
- INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. **Banco de dados meteorológicos**. Brasília, DF, Brasil, 2022.
- KUSS, A.V.; KUSS, V.V.; LOVATO, T.; FLÔRES, M. L. Fixação de nitrogênio e produção de ácido indolacético in vitro por bactérias diazotróficas endofíticas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 10, p. 1459-1465, 2007.
- KUWAHARA, F. A.; SOUZA, G. M. Fósforo como possível mitigador dos efeitos da deficiência hídrica sobre o crescimento e as trocas gasosas de *Brachiaria brizantha* cv. MG-5 Vitória. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 31, n. 2, p. 261-267, 2009.
- LAMBERS, L.; CHAPAIN III, F. S.; PONS, T. L. Plant physiological ecology. Berlin: Springer, 1998.
- LARCHER, W. Ecofisiologia Vegetal. São Carlos: Editora RiMa, 2006. 550p.

- LEITE, R da C.; DOS SANTOS, J. G. D.; SILVA, E. L.; ALVES, C. R. C. R. HUNGRIA, M.; LEITE, R. da C.; SANTOS, A. C dos. Productivity increase, reduction of nitrogen fertiliser use and drought-stress mitigation by inoculation of Marandu grass (*Urochloa brizantha*) with *Azospirillum brasilense*. **Crop and Pasture Science**. v. 70, n. 1, p. 61, 2019.
- LOPES, M. N.; CÂNDIDO M. J. D.; POMPEU, R. C. F. F.; SILVA, R. G da.; LACERDA, C. F de.; BEZERRA, M. A.; NETO, L. B. de M.; CARNEIRO, M. S. de S. (2020). Gas exchange in Massai grass fertilized with nitrogen and grazed by sheep. **Bioscience Journal**, v. 36, n. 1, p. 152-160. 2020
- LOPES, M. N.; LACERDA, C. F.; CÂNDIDO, M. J. D.; POMPEU, R. C. F. F.; SILVA, R. G. D.; LOPES, J. W. B.; BEZERRA, F. M. L. Gas exchange in massai grass under five nitrogen fertilization levels during establishment and regrowth. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, n. 9, p. 1862-1869, 2011.
- MALAVOLTA, E. Manual de nutrição mineral de plantas. São Paulo: **Agronômica Ceres**, 2006. 638p
- MARTINS, C. D. M.; SCHMITT, D.; DUCHINI, P. G.; MIQUELOTO, T.; SBRISSIA, A. F. Defoliation intensity and leaf area index recovery in defoliated swards: implications for forage accumulation. **Scientia Agricola**, v. 78, n. 2, 2021.
- MARTUSCELLO, J. A; RIOS, J.; FERREIRA, M.; ASSIS, J.; BRAZ, T.; & Cunha, D. Produção e morfogênese de capim BRS Tamani sob diferentes doses de nitrogênio e intensidades de desfolhação. **Boletim De Indústria Animal**, v. 76, 2019, p. 1-10.
- MARTUSCELLO, J. A.; SILVA, L. P.; CUNHA, D. N. F. V.; BATISTA, A. C. S.; BRAZ, T. G. S.; FERREIRA, P. S. Adubação nitrogenada em capim-massai: morfogênese e produção. **Ciência animal brasileira**, Goiânia, v.16, n.1, p. 1-13, 2015.
- MOREIRA, F. M. S.; LIMA, A. S.; JESUS, C. E.; SILVA, K.; NÓBREGA, R. S. A; FLORENTINO, L. A. Bactérias fixadoras de nitrogênio atmosférico que nodulam leguminosas. In: MOREIRA, F. M. S.; CARES, J. E.; ZANETTI, R.; STÜRMER, S. L. O ecossistema solo: componentes, relações ecológicas e efeitos na produção vegetal. Lavras: Ed. da **UFLA**, 2013. p.325-340.
- MOREIRA, L. de M.; MARTUSCELLO, J. A.; FONSECA, D. M da; MISTURA, C.; MORAIS, R. V de.; RIBEIRO JÚNIOR, J. I. Perfilamento, acúmulo de forragem e composição bromatológica do capim-braquiária adubado com nitrogênio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 9, p. 1675–1684, 2009.
- NOVAIS, R. F.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F. Ensaio em ambiente controlado. In: OLIVEIRA, A. J.; GARRIDO, W. E.; ARAÚJO, J. D.; LOURENÇO, S., eds. Métodos de pesquisa em fertilidade do solo. Brasília, Embrapa-SEA, p.189-254, 1991.
- PANKIEVICZ, V. C. S.; DO AMARAL, F. P.; SANTOS, K. F. D. N.; AGTUCA, B.; XU Y.; SCHUELLER, M. J.; ARISI, A. C. M.; MARIA B R S.; SOUZA, E, M de.; PEDROSA, F. O.; STACEY, G.; FERRIERI, R. A. Robust biological nitrogen fixation in a model grass-bacterial association. **The Plant Journal**, v. 81, n. 6, p. 907–919, 2015.

- PEDREIRA, B. C.; BARBOSA, P. L.; PEREIRA, L. E. T.; MOMBACH, M. A.; DOMICIANO, L. F.; PEREIRA, D. H.; FERREIRA, A. Densidade de perfilhos e perfilhamento em *Brachiaria brizantha* cv. Pastagens de Marandu inoculadas com *Azospirillum brasilense*. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 69, n. 4, p. 1039–1046, 2017.
- PEREIRA, A.; PAICIULLO, D. S. C.; GOMIDE, C. D. M.; & LEDO, F. D. S. Catálogo de forrageiras recomendadas pela Embrapa. Embrapa Gado de Leite - Livro técnico (INFOTECA-E). Brasília, DF, **Embrapa**, 2016.
- PICAZEVICZ, A. A. C.; SHOCKNESS, L. S. F.; SANTOS FILHO, A. L.; NASCIMENTO, I. R. do.; MACIEL, L. D.; SILVA, L. R. da.; COSTA, G. E. G. Crescimento de *Panicum maximum* cv. brs zuri em resposta a rizobactéria e nitrogênio. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 10, n. 1, p. 33–37, 2020.
- POMPEU, R. C. F. F.; CÂNDIDO, M. J. D.; LOPES, M. N.; LOPES, M. N.; GOMES, F. H. T.; LACERDA, C. F. D.; AQUINO, B. F.; MAGALHÃES, J. A. Características morfofisiológicas do capim-aruaana sob diferentes doses de nitrogênio. **Revista Brasileira de Saúde Produção Animal**, v. 11, n. 4, p. 1187- 1210, 2010.
- QUEIROZ, C. D. A.; FERNANDES, C. D.; VERZIGNASSI, J. R.; VALLE, C. B. D.; JANK, L.; MALLMANN, G.; & BATISTA, M. V. Reaction of accessions and cultivars of *Brachiaria* spp. and *Panicum maximum* to *Pratylenchus brachyurus*. **Summa Phytopathologica**, v. 40, n. 3, p. 226-230, 2014.
- REIS JUNIOR, F. B. Ecologia e diversidade de bactérias do gênero *Azospirillum* em associação com pastagens de *Brachiaria* spp. Seropédica, **Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto de Agronomia**, p 97. (Tese de Doutorado), 2002.
- RODRIGUES, L. F. O. S.; GUIMARÃES, V. F.; SILVA, M. B.; JUNIOR, A. S. P.; KLEIN, J.; COSTA, A. C. P. R. Características agronômicas do trigo em função de *Azospirillum brasilense*, ácidos húmicos e nitrogênio em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 1, p. 31–37, 2014.
- RUSHING, J. B.; LEMUS, R. W.; WHITE, J. A.; LYLES, J. C.; THORNTON, M. T. Yield of Native Warm-Season Grasses in Response to Nitrogen and Harvest Frequency. **Agronomy Journal**, v. 111, n. 1, p. 193–199, 2019.
- SILVA, A. G. Potencial produtivo e valor nutritivo do capim mombaça submetido a doses de nitrogênio e alturas de cortes. Universidade Federal de Goiás, Goiânia 2008. 94 pg. Dissertação de mestrado.
- SILVEIRA, E. L. Inoculações de bactérias promotoras de crescimento no cultivo de arroz em solução nutritiva. 2008. Tese. (Doutorado em Microbiologia Agropecuária) - **Universidade Estadual Paulista**, Jaboticabal, 2008.
- SIRI-PRIETO, G.; BUSTAMANTE, M.; PICASSO, V.; ERNST, O. Impact of nitrogen and phosphorous on biomass yield, nitrogen efficiency, and nutrient removal of perennial grasses for bioenergy. **Biomass and Bioenergy**, v. 136, p. 105526, 2020.
- SKINNER, R. H.; NELSON, C. J. Elongation of the grass leaf and its relationship to the phyllochron. **Crop Science**, vol. 35, n. 1, p. 4-10. 1995.

SANTOS, A. C. DOS. Capim marandu submetido à inoculação com bactérias diazotróficas associativas em latossolo vermelho de cerrado. Universidade Federal de Mato Grosso Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola. 69 pg. 2013. Dissertação de mestrado.

SOUZA, B. A. A. DE.; BITTAR, D. Y. Efeito do nitrogênio nas características estruturais e produção de biomassa em forrageiras do gênero panicum. **Ipê Agronomic Journal**, V.5, N.1, pg. 1-8, 2021.

SOUZA, M. S. T.; BAURA, V. A.; SANTOS, S.; FERNANDES JÚNIOR, P. I.; REIS, F. B.; MARQUES, M. R.; PAGGI, G. M.; SILVA, B. M. *Azospirillum* spp. de gramíneas forrageiras nativas na planície de inundação do Pantanal brasileiro: biodiversidade e potencial de promoção do crescimento vegetal. **World Journal of Microbiology & Biotechnology**. v. 33, n. 4, pág. 1-13, 2017.

SOUZA, P. T. Inoculação com *Azospirillum brasilense* e adubação nitrogenada em *Brachiaria brizantha* cv. Marandu. Universidade Federal de Goiás. 80 p. 2014. Dissertação de Mestrado.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia vegetal. 4.ed. Artmed, Porto Alegre, Brasil. 819p., 2009.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia vegetal. Tradução de E.R. Santarém et al. 3 ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Pant Physiology, 5.ed. **Sunderland: Sinauer Associates Inc.** Publishers, p 782, 2010.

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

VERAS, E. L. de L.; DIFANTE, G. dos S.; GURGEL, A. L. C.; DA COSTA, A. B. G, RODRIGUES, J. G.; COSTA, C, M.; NETO, J. V. E.; PEREIRA, M. de G.; COSTA, P. R. Tillering and Structural Characteristics of *Panicum* Cultivars in the Brazilian Semiarid Region. **Sustainability**, v. 12, n. 9, p. 3849, 2020.

VILLEGAS, D. M.; VELASQUEZ, J.; ARANGO, J.; OBREGÓN, K.; RAO I.; ROSAS G.; OBERSON, A. Urochloa Grasses Swap Nitrogen Source When Grown in Association with Legumes in Tropical Pastures. **Diversity**, v. 12, n. 11, p. 419, 2020.

VOGEL, G. F.; MARTINKOSKI, L.; RUZICKI, M. Efeitos da utilização de *Azospirillum brasilense* em poáceas forrageiras: Importâncias e resultados. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 10, n. 1, p. 01–06, 2014.

WALKER, V.; COUILLEROT, O.; FELTEN, A. V.; BELLVERT, F.; JANSA, J.; MAURHOFER, M.; BALLY, R.; MOENNE-LOCCOZ, Y.; COMTE, G. Variation of secondary metabolite levels in maize seedling roots induced by inoculation with *Azospirillum*, *Pseudomonas* and *Glomus consortium* under field conditions. **Plant and Soil**, **356**, 151 – 163, 2012.

WEI, S.; WANG, X.; SHI, D.; LI, Y.; ZHANG, J.; LIU, P.; ZHAO, B.; DONG, S. The mechanisms of low nitrogen induced weakened photosynthesis in summer maize (*Zea mays* L.) under field conditions. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 105, p. 118–128, 2016.

YANG, J.; UDVARDI, M. Senescence and nitrogen use efficiency in perennial grasses for forage and biofuel production. **Journal of Experimental Botany**, v. 69, n. 4, p. 855–865, 2017.

YIN, C.; PANG, X.; CHEN, K. The effects of water, nutrient availability and their interaction on the growth, morphology and physiology of two poplar species. **Environmental and Experimental Botany**. v. 67, n. 1, p. 196-203, 2009.

ZANETTI, J. B. Identificação de Genótipos de Capim-Elefante (*Pennisetum purpureum* Schumach.) de Alta Produção de Biomassa com Qualidade para Fins Energéticos. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. 84 pg. 2010. Dissertação de mestrado.

ZEFFA, D. M.; PERINI, L. J.; SILVA, M. B.; SOUSA, N. V de.; SCAPIM, C. A.; OLIVEIRA, A. L. M de.; AMARAL JÚNIOR, A. T do.; GONÇALVES, L. S. A. *Azospirillum brasilense* promotes increases in growth and nitrogen use efficiency of maize genotypes. **PLOS ONE**, v. 14, n. 4, p. e0215332, 2019.