

UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS DE CHAPADINHA
MONOGRAFIA DE CONCLUSÃO DE CURSO

PEDRO LUCAS OLIVEIRA ROCHA

MITIGAÇÃO DO DÉFICIT HÍDRICO UTILIZANDO A FERTILIZAÇÃO
COM SILÍCIO, INOCULAÇÃO DE *AZOSPIRILLUM BRASILENSE* E DOSES DE
NITROGÊNIO NAS CARACTERÍSTICAS MORFOGÊNICAS, ESTRUTURAIS E
PRODUTIVAS DO CAPIM MARANDU

CHAPADINHA, MA

2024

PEDRO LUCAS OLIVEIRA ROCHA

MITIGAÇÃO DO DÉFICIT HÍDRICO UTILIZANDO A FERTILIZAÇÃO
COM SILÍCIO, INOCULAÇÃO DE *AZOSPIRILLUM BRASILENSE* E DOSES DE
NITROGÊNIO NAS CARACTERÍSTICAS MORFOGÊNICAS, ESTRUTURAIS E
PRODUTIVAS DO CAPIM MARANDU

Trabalho de conclusão de curso de Zootecnia da
Universidade Federal do Maranhão, como
requisito indispensável para obtenção do título
de bacharel em Zootecnia.

Orientadora: Profa. Dra. Rosane Cláudia
Rodrigues

CHAPADINHA, MA

2024

PEDRO LUCAS OLIVEIRA ROCHA

MITIGAÇÃO DO DÉFICIT HÍDRICO UTILIZANDO A FERTILIZAÇÃO COM
SILÍCIO, INOCULAÇÃO DE *AZOSPIRILLUM BRASILENSE* E DOSES DE
NITROGÊNIO NAS CARACTERÍSTICAS MORFOGÊNICAS, ESTRUTURAIS E
PRODUTIVAS DO CAPIM MARANDU

Trabalho apresentado ao Curso de Zootecnia da Universidade Federal do
Maranhão como requisito para obtenção do título de Zootecnista

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Rosane Cláudia Rodrigues (Orientadora)
Universidade Federal do Maranhão – UFMA

Prof. Dr. José Roberto Brito Freitas (Examinador)
Universidade Federal do Maranhão – UFMA

Deyvielen Maria Ramos Alves, (Examinadora)
agrônoma (UFOPA), MSc (Unesp) e Doutoranda (Unesp)

CHAPADINHA/MA

2024

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

Oliveira Rocha, Pedro Lucas.

MITIGAÇÃO DO DÉFICIT HÍDRICO UTILIZANDO A FERTILIZAÇÃO
COM SILÍCIO, INOCULAÇÃO DE AZOSPIRILLUM BRASILENSE E DOSES
DE NITROGÊNIO NAS CARACTERÍSTICAS MORFOGÊNICAS,
ESTRUTURAIS E PRODUTIVAS DO CAPIM MARANDU / Pedro Lucas
Oliveira Rocha. - 2024.

46 f.

Orientador(a): Rosane Cláudia Rodrigues.

Monografia (Graduação) - Curso de Zootecnia,
Universidade Federal do Maranhão, Universidade Federal do
Maranhão- Chapadinha-ma, 2024.

1. Estresse Hídrico. 2. Brachiaria. 3. Bactéria. 4.
Parede Celular. 5. Forragem. I. Cláudia Rodrigues,
Rosane. II. Título.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho, antes de tudo, a Deus, cuja presença constante é a base de minha vida. Minha gratidão se estende também à minha família, que sempre esteve ao meu lado nos momentos bons e ruins. Em especial, agradeço à minha mãe Ivonete Rodrigues de Oliveira e ao meu pai Roquiude da Silva Rocha, por seu amor e sacrifícios e aos meus irmãos, Jorge Fernando de Oliveira Rocha, Iara Cristina de Oliveira Rocha e Jhonatan Nicolas de Oliveira Rocha, pelo incentivo e apoio incondicional ao longo de toda minha jornada.

Dedico!

AGRADECIMENTOS

Meus mais profundos agradecimentos vão primeiramente a Deus, pois sem Ele eu não estaria aqui. Sou imensamente grato por me permitir a realização deste sonho, por me conceder a saúde, a força e as condições necessárias para que eu pudesse chegar até aqui. Agradeço por guiar meus passos e iluminar meu caminho, por ser a fonte de inspiração e resiliência em cada momento da minha jornada. Sem Suas bênçãos divinas e Seu amor incondicional, nada disso seria possível. Meu coração transborda de gratidão por Sua presença constante em minha vida, que me permitiu transformar desafios em conquistas e sonhos em realidade.

Meus mais sinceros agradecimentos vão aos meus queridos pais. À minha mãe, **Ivonete Rodrigues de Oliveira** e ao meu pai, **Roquiude da Silva Rocha**, quero expressar minha profunda gratidão por tudo o que fizeram por mim. Vocês foram meu alicerce, meu porto seguro em todos os momentos da minha vida. Agradeço por todos os sacrifícios que fizeram, pelas palavras de encorajamento e pelos abraços reconfortantes. Sem vocês, eu não seria a pessoa que sou hoje. Minha gratidão é eterna, e dedico esta conquista a vocês, com todo o meu amor e respeito.

Aos meus irmãos **Iara Cristina de Oliveira Rocha, Jorge Fernando de Oliveira Rocha e Jhonatan Nicolas de Oliveira Rocha** e minha prima **Nívía Maria Rocha Brandão** pelo o apoio constante, que me inspiram a ser melhor a cada dia, trazendo alegria nos meus momentos mais difíceis e coragem para enfrentar os desafios.

Aos meus amigos em especial, **Miguel Sérgio, Ana Beatriz, Eduarda Castro, Francisco Denilson, Izakiel reis, Maciel Costa e Antonio Marcos**. Obrigado por estarem ao meu lado em todos os momentos, por compartilharem risos e lágrimas, por suas palavras de encorajamento e pelo amor incondicional que sempre me ofereceram. Nossa união e cumplicidade me deram a força necessária para superar obstáculos, através de momentos de descontração para que eu pudesse alcançar meus objetivos.

Aos integrantes e ex-integrantes do **grupo FOPAMA** (Forragicultura e pastagens no maranhão), as professora **Rosane Cláudia e Ana Paula Ribeiro, Eduarda Castro, Ana Beatriz, Ana Karla, Antônio Marcos, Francisco Denilson, Kevin Alcantara, Welkiane Raissa, Heitor Emanuel, Kaique Guilherme, Antonio Maciel, Maycon Jhone, Divina e Raphael Silva, Maciel Teixeira, Michel Rocha, Daywison Blendo, Juraci Loiola, Izakiel Reis e miguel Sérgio**, quero expressar minha mais profunda gratidão. Cada um de vocês desempenhou um papel crucial em minha jornada, e sou

eternamente grato pelo apoio e carinho que sempre me ofereceram. Vocês foram minha rede de apoio ajudando para que a caminhada fosse mais leve, além de celebraram comigo cada conquista, por menor que fosse.

Aos meus amigos que a UFMA proporcionou, **Alana, Thaynara, Irajane, Joana, Maria, Naágylla, Nayonara, Paulo, Maycon, Ana, Pedro Henrique, Samira, Larissa, Murilo, Juan, Brendo, Anailson, Luciano, Henrique, Roselia, Renan, Kaio e Daniel.**

Quero expressar minha profunda gratidão à minha orientadora, Dra. Rosane Cláudia Rodrigues. Durante esses anos de orientação, seus ensinamentos foram fundamentais para o meu desenvolvimento acadêmico e profissional. Agradeço imensamente pela sua paciência e confiança depositada, por me conceder todas as oportunidades que me proporcionou ao longo dessa jornada. Seu papel em minha formação é inestimável, e levarei comigo todos os conhecimentos e experiências adquiridos sob sua orientação.

Ao **Centro de Ciências de Chapadinha** e todo seu corpo docente e demais funcionários pela base e ensinamentos repassados e por colaborar de forma significativa para minha formação acadêmica.

A todos os meus **familiares**, em especial aos **meus avós e minhas tias**, que mesmo com a distância, sempre me apoiaram e torceram por mim. Aos amigos próximos e distantes, vocês foram uma fonte constante de encorajamento e motivação.

Por fim, a todos que, de alguma forma, contribuíram para minha vida acadêmica e para a realização deste trabalho, mas não foram citados nominalmente, meu sincero agradecimento. Cada gesto de apoio e incentivo foi essencial para que eu chegasse até aqui.

“Feliz é quem acha sabedoria; feliz é aquele que alcança entendimento.”
- Provérbios 3:13

RESUMO

Objetivou – se avaliar mitigação do déficit hídrico utilizando a fertilização com silício, inoculação de *azospirillum brasilense* e doses de nitrogênio nas características morfogênicas, estruturais e produtivas do capim Marandu. O experimento foi conduzido no Setor de Forragicultura do Centro de Ciências de Chapadinha da Universidade Federal do Maranhão. Utilizou-se um delineamento inteiramente casualizado (DIC), com 8 tratamento, e 8 repetições. Avaliou-se as características morfogênicas e as produtivas. Houve efeito de interação significativo ($P < 0,05$) para a taxa de alongamento foliar (TALF), onde foram as maiores médias para os tratamentos que receberam silício e maiores doses de nitrogênio (2,12 cm/dia), enquanto que a taxa de alongamento do caule, teve maiores crescimentos quando receberam maiores doses de nitrogênio (0,22 cm/dia), Para a taxa de senescência total (TST) foi observado maiores diferenças para os tratamentos que foram tratados com bactérias (0,46 cm) e maiores doses de nitrogênio (0,50 cm). Também houve interação significativa para a produção folha seca, observou-se diferença significativa ($P > 0,05$) para a utilização de silício. De acordo com os dados, verificou-se que a utilização do silício promoveu um aumento de 7% na matéria seca das folhas, atingindo médias de 2725,42 kg/ha para tratamentos que receberam silício, enquanto que para os tratamentos que não receberam aplicação atingiram uma média de 2544,64 kg/há. Para a variável Colmo seco, observou-se diferença ($P > 0,05$) para a utilização de silício. Os dados indicam que a utilização de silício promoveu um aumento na matéria seca dos colmos, atingindo médias de 395,73 kg/ha para tratamentos que receberam silício, enquanto que para os tratamentos que não receberam aplicação atingiram uma média de 205,69 kg/ha. Para a variável matéria morta seca (MM SECA), observou-se diferença ($P > 0,05$) para os tratamentos receberam silício, para os receberam nitrogênio e suas interações. Os dados indicam que o maior acúmulo de matéria seca foi obtido nas condições de maior aporte de nitrogênio e sem presença de silício, com médias de 165,24 kg/ha para a aplicação de 150 kg/ha de nitrogênio e 139,61 kg/ha para tratamentos sem silício. Para a variável número de perfilhos vivos (NPV) e altura, observou-se diferença ($P > 0,05$) para os tratamentos que receberam silício, nitrogênio e bactérias resultando em um maior número de perfilhos vivos e em maiores alturas. Para as variáveis densidade volumétrica do colmo (DVC) e densidade volumétrica total (DVT) observou-se diferenças ($P > 0,05$) para os tratamentos que receberam apenas silício, com 9,43 e 4,31 kg cm⁻¹ ha⁻¹ para a DVC e 64,13 e 57,4 kg cm⁻¹ ha⁻¹ para a DVT. Recomenda-se o uso de 150 kg/ha de nitrogênio para promover maior altura e número de perfilhos vivos, utilização do silício, pois incrementa na produção de folhas e perfilhos vivos, enquanto a inoculação com *Azospirillum brasilense* aumentou altura e número de perfilhos.

Palavras chaves: estresse hídrico, brachiaria, bactéria, parede celular, forragem.

ABSTRACT

The objective was to evaluate the mitigation of water deficit using silicon fertilization, inoculation of *Azospirillum brasilense* and doses of nitrogen on the morphogenic, structural and productive characteristics of Marandu grass. The experiment was conducted in the Forage Farming Sector of the Chapadinha Science Center at the Federal University of Maranhão. A very randomized design (DIC) was used, with 8 treatments and 8 replications. essentially as morphogenic and productive characteristics. There was a significant interaction effect ($P < 0.05$) for the leaf elongation rate (TALF), where the highest averages were for the treatments that received silicon and higher doses of nitrogen (2.12 cm/day), while the stem elongation rate, there was greater growth when it received higher doses of nitrogen (0.22 cm/day). For the total senescence rate (TST), greater differences were distributed for treatments that were treated with bacteria (0.46 cm) and higher doses of nitrogen (0.50 cm). There was also a significant interaction for dry leaf production, demonstrating a significant difference ($P > 0.05$) for the use of silicon. According to the data, it was shown that the use of silicon promoted a 7% increase in leaf dry matter, reaching averages of 2725.42 kg/ha for treatments that received silicon, while for treatments that did not receive application reached an average of 2,544.64 kg/ha. For the Dry Stalk variable, a difference ($P > 0.05$) was observed for the use of silicon. The data indicate that the use of silicon promoted an increase in stalk dry matter, reaching an average of 395.73 kg/ha for treatments that received silicon, while for treatments that did not receive application, they reached an average of 205.69 kg/ha. ha ha. For the variable dry dead matter (MM DRY), a difference ($P > 0.05$) was observed for treatments receiving silicon, for those receiving nitrogen and their interactions. The data indicate that the greatest accumulation of dry matter was obtained under conditions of greater nitrogen input and without the presence of silicon, with averages of 165.24 kg/ha for the application of 150 kg/ha of nitrogen and 139.61 kg/ha ha for silicon-free treatments. For the variable number of live tillers (NPV) and height, a difference ($P > 0.05$) was observed for the treatments that received silicon, nitrogen and bacteria resulting in a greater number of live tillers and greater heights. For the variables stalk volumetric density (DVC) and total volumetric density (DVT), differences ($P > 0.05$) were observed for treatments that received only silicon, with 9.43 and 4.31 kg cm⁻¹ ha⁻¹ for DVC and 64.13 and 57.4 kg cm⁻¹ ha⁻¹ for DVT. It is recommended to use 150 kg/ha of nitrogen to promote greater height and number of live tillers, use of silicon, as it increases the production of leaves and live tillers, while inoculation with *Azospirillum brasilense* increased height and number of tillers.

Key words: water stress, brachiaria, bacteria, cell wall, foragem.

LISTA DE FIGURA

Figura 1- Delineamento experimental.....	21
Figura 2 - Coleta de solo para realização da análise química	22
Figura 3- Coleta e pesagem do solo para a realização do experimento.	22
Figura 4- Inoculação das bactérias, pesagem das sementes e plantio.	23
Figura 5 - Plantio de sementes de capim Marandu em vasos.	23
Figura 6- Determinação de lâminas de água.....	24
Figura 7 - Avaliação das características morfogênicas.....	25
Figura 8- Avaliação da produção do capim.....	26
Figura 9 - Programa estatístico utilizado no experimento.	26

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Análise química do solo coletado.....	22
Tabela 2- Características morfogênicas do capim Marandu com utilização de silício, Azuspirilum e doses de nitrogênio.	27
Tabela 3- Características produtivas do capim Marandu com utilização de silício, Azuspirilum e doses de nitrogênio.....	29

LISTA DE EQUAÇÃO

Equação 1 - Determinação de lâminas de água.....	24
---	----

1 INTRODUÇÃO

As alterações climáticas globais estão afetando a produtividade das culturas, o que induz impactos negativos mais acentuados na pecuária, especialmente devido à dependência predominante do setor em pastagens do gênero *Urochloa* (syn. *Brachiaria*). A redução na produtividade agrícola diminui a disponibilidade de forragem e qualidade, essencial para a eficiência do sistema de produção pecuário. Ferguson (2019) destaca que a qualidade e produtividade da forragem são cruciais para a sustentabilidade do setor, e qualquer declínio pode comprometer a produtividade animal. Esses impactos são intensificados por eventos climáticos como El Niño e La Niña, que causam aumentos no nível do mar, variações nas precipitações e ondas de calor (Espinoza, 1996; Enfield, 2020). A água se torna um fator limitante para o crescimento das plantas durante períodos de déficit hídrico, resultando em diminuições significativas na produção das culturas (Guo et al., 2017). Estudos mostram que o silício atenua a deficiência hídrica em várias culturas, melhorando parâmetros de crescimento e produção de biomassa (Ahmed et al., 2011; Sattar et al., 2016; Ahmad et al., 2007; Chen et al., 2011; Rocha et al., 2022). O silício, apesar de não ser essencial, é benéfico para processos metabólicos e estruturais, aumentando a mitigação ao estresse abióticos e bióticos (Viciedo et al., 2019).

Além do silício, a adubação nitrogenada é necessária para a maior produção de matéria seca em plantas forrageiras, promovendo a emergência contínua de folhas e perfilhos (Paciullo et al., 2017; Camilo et al., 2020). No entanto, a adubação nitrogenada aumenta custos e riscos ambientais em solos tropicais, como lixiviação e volatilização de nutrientes (Hungria et al., 2016; Pedreira et al., 2017). Práticas mais sustentáveis, como o uso de insumos biológicos, melhorar a eficiência dos fertilizantes e mitigar impactos ambientais (Di Salvo et al., 2018; Bounaffaa et al., 2018). O uso de insumos biológicos, como microrganismos promotores de crescimento de plantas, pode ser uma alternativa viável para reduzir a dependência de fertilizantes químicos, contribuindo para uma agricultura mais sustentável.

Inoculantes microbianos, ou biofertilizantes, estimulam o crescimento das plantas através de diversos mecanismos, como fixação biológica de nitrogênio, síntese de fitohormônios, e aumento da resistência a estresses abióticos e bióticos (Hungria et al., 2016; Fukami et al., 2018). A espécie *Azospirillum brasilense* tem mostrado aumentar a produtividade em gramíneas e induzir tolerância a estresses (Hungria et al., 2021; Fukami et al., 2016; Guimarães et al., 2020). Além disso, essas bactérias sintetizam e liberam

fitohormônios, como o ácido jasmônico e salicílico, e estimulam a atividade de enzimas desintoxicantes, contribuindo para a resiliência das plantas em condições adversas (Santos et al, 2019). A adoção de biofertilizantes pode reduzir significativamente a necessidade de insumos químicos, promovendo práticas agrícolas mais ecológicas e economicamente viáveis, especialmente em regiões tropicais onde os desafios ambientais são mais pronunciados.

Este trabalho foi norteado pela hipótese de que a aplicação combinada de silício, *Azospirillum brasilense* e nitrogênio influencia na produção e nas características morfológicas do capim Marandu (*Brachiaria brizantha* cv. Marandu). Assim, se aplicados individualmente ou em combinação, esses elementos poderão aumentar a tolerância ao déficit hídrico, promovendo um crescimento vegetativo mais robusto e sustentável. Neste sentido, objetivou-se avaliar a produção de biomassa, as características morfológicas e a mitigação ao déficit hídrico do capim Marandu com a aplicação do silício, *Azospirillum brasilense* e do nitrogênio.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Capim Marandu - *Urochloa brizantha* (Syn. *Brachiaria brizantha*) cv. Marandu.

A espécie *Brachiaria Brizantha*, cv. Marandu foi introduzida no Brasil em 1967, em 1984 *B. brizantha*. cv. Marandu germoplasma originário do Zimbabwe Grassland Station, foi liberada pela Embrapa para o plantio em regiões do Brasil, é uma planta cespitosa, com bainha foliar pilosa, pubescência apenas na parte inferior das folhas, muito robusta, de 1,5 a 2,5 m de altura, com colmos iniciais prostrados, e perfilhos predominantemente eretos (Nunes et al. 1984). É um capim muito versátil no manejo do pastejo e de corte, pois além de poder ser utilizada para lotação intermitente ou contínua, pode ser também para produção de feno ou silagem (Medica et al. 2017).

Essa gramínea apresenta produtividade elevada, bom valor nutritivo, além de boa adaptação à maioria dos solos tropicais (Rodrigues, 2022). Se desenvolve bem em altitudes que variam, desde o nível do mar até 1.500 m, principalmente em regiões com precipitação pluviométrica entre 1.000 e 2.500 mm/ano, embora produza em locais com precipitações próximas de 700 mm (Costa et al., 2001). Em relação a produtividade o capim Marandu quando submetido a doses de adubação recomenda da produziu 13,88 t/ha matéria seca no período chuvoso (Piovesan et al. 2023).

A cultivar Marandu é diversamente utilizada no país, correspondendo a 32% da produção nacional de sementes (Landau et al., 2020). Sendo sua adaptação ao cerrado e outras regiões do país, um dos fatores para ampliar a utilização pelos produtores. Contudo, as adversidades climáticas, torna-se mais desafiador a produção constante de forragem em quantidade e qualidade ideal (Azevedo et al., 2018).

Apesar disso, de capins conhecidos com tolerantes à seca é pequeno e engloba forrageiras como o capim-buffel (*Cenchrus ciliaris*), capim-andropógon (*Andropogon gayanus*) e capim-corrente (*Urochloa mosambicensis*) (Rufino et al., 2022; Braz et al., 2022). Por outro lado, as cultivares de *Urochloa* spp. (Syn. *Brachiaria*) são as mais difundidas no país, ocupando aproximadamente 85% da área de pastagens cultivadas (Pessoa-Filho et al., 2017).

2.2 Mudanças climáticas e déficit hídrico

As mudanças climáticas modificam o ciclo hidrológico, levando ao aumento de eventos extremos de precipitação e períodos de seca mais longos, impactando a gestão dos recursos hídricos (Bailey et al., 2017). O aquecimento global também influencia os

eventos climáticos extremos como do El Niño, aumentando potencialmente a sua intensidade, a relação entre o aumento da temperatura da superfície do mar e a variabilidade da precipitação provocada pelo El Niño não é linear, com uma maior sensibilidade à umidade e contribuições dinâmicas que amplificam os efeitos do El Niño num clima em aquecimento (Ficklin et al.,2022).

Durante o século XX, um dos fenômenos mais potencializados foi o "El Niño", resultando em aumento e diminuição de precipitações pluviais e conseqüentemente ondas de calor (Espinoza, 1996). Essas alterações oceano e atmosfera, são evidenciados em três eventos extremos relevantes que ocorreram ao longo do tempo, nos anos de 1982, 1997 e 2015. Este último, conhecido como "Súper Niño", ultrapassou os limites de temperatura média do mar, oscilando entre 5 °C e 10 °C. Isso intensificou catástrofes como o prolongamento de períodos de estiagem (Enfield, 2020).

Diante das adversidades climáticas, a água se torna um fator limitante, já que uma planta usa energia para crescer e a água deve estar disponível, caso contrário, a energia atuará apenas para calor e estresse da planta. Desse modo, o desenvolvimento de plantas é afetado negativamente pela deficiência de água, causando diminuições significativas na produção das culturas (Guo et al., 2017).

2.3 Utilização do silício

Para diminuir os danos induzidos nas pastagens pelo déficit hídrico, no período seco, uma alternativa de manejo pode ser a aplicação de Si. Embora o Si não seja considerado um nutriente essencial para as plantas, é classificado como elemento benéfico, pois pode desempenhar papéis importantes em processos metabólicos, fisiológicos e/ou estruturais, podendo aumentar a sobrevivência de plantas expostas a diferentes tipos de estresses, como os abióticos e bióticos (Viciedo et al. 2019).

A aplicação do Si tem mostrado resultados promissores na mitigação dos efeitos negativos do déficit hídrico nas plantas. Estudos em várias espécies de plantas como eucalipto (Barbosa et al, 2023), feijão-caupi (De Sousa Leite et al.,2023), demonstraram que o silício pode aumentar a tolerância das plantas à restrição hídrica.

A aplicação de silício auxilia na manutenção do turgor celular estável, aumentando a eficiência do uso da água, reduzindo a condutância estomática, evitando a perda de água pela transpiração e promovendo a osmorregulação (Figueiredo et al., 2023). Além disso, o silício ajuda a prevenir o declínio no teor de clorofila, atenuando o estresse oxidativo e aumentando a atividade das enzimas antioxidantes, melhorando, em

última análise, o crescimento e o desempenho das plantas em condições de déficit hídrico (Machado et al, 2023).

A aplicação de silício mostra-se promissora na mitigação dos efeitos do déficit hídrico em várias espécies de gramíneas. Estudos indicam que a aplicação de silício melhora os parâmetros de troca gasosa, a morfometria do sistema radicular e a distribuição de biomassa em gramíneas como *Festulolium braunii*, *Festuca arundinacea* e *Lolium perenne* (Mastalerczuk et al, 2022). Além disso, a aplicação de silício via fertirrigação e pulverização foliar tem se mostrado eficaz na melhoria da eficiência do uso da água e do equilíbrio fisiológico na cana-de-açúcar e na cana-energia sob condições severas de déficit hídrico (Teixeira et al, 2022).

2.4 A utilização de inoculantes microbianos

Os inoculantes microbianos são uma excelente alternativa para redução de adubação nitrogenada, também denominados de biofertilizantes, são basicamente produtos compostos por microrganismos que podem estimular o crescimento e desenvolvimento das plantas e são comercializados na forma líquida ou sólidas (Santos et al., 2019).

Os principais processos microbianos relacionados à promoção do crescimento vegetal incluem: fixação biológica de nitrogênio (FBN); síntese de fitohormônios; (por exemplo, auxinas, citocininas, giberelinas, ácido abscísico (ABA) e etileno); de enzimas como ACC (ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico)-desaminase (que reduz os níveis de etileno nas plantas); mineralização e mobilização de nutrientes; solubilização de fósforo (P); ferro (Fe) e potássio (K); moléculas ligadas à indução de resistência sistêmica em plantas; mecanismos de antibiose (Hungria et al.,2016; Fukami et al., 2018; Guimarães et al., 2022).

A espécie *Azospirillum brasilense* tem se destacado, pois o aumento inúmeros relatos de aumentos de produtividade em plantas de interesse agrônomo devido à inoculação com *A.brasilense* (Hungria et al.,2016; Hungria et al., 2021;Fukami et al., 2016; Guimarães et al, 2020). Além disso, essas bactérias são capazes de sintetizar e liberar fitohormônios, além de induzir a tolerância das plantas a estresses abióticos e bióticos devido à produção de moléculas como o ácido jasmônico e salicílico, e estimular a atividade de enzimas desintoxicantes como catalases, superóxido dismutase e ascorbato peroxidase, além da prolina, um osmorregulador, tanto nos brotos quanto nas raízes (Santos et al., 2019; Fukami et al., 2018; David et al, 2016; Fukami et al, 2018).

Outra espécie que tem se destacado são as *Pseudomonas fluorescentes* que são bactérias gram-negativas com metabolismo muito versátil, comumente encontradas no solo e na água, consideradas aeróbicas, mas podem usar nitrato como aceptor final de elétrons durante a respiração anaeróbica; a temperatura ideal para crescimento é entre 25 e 30 °C. Entre as principais propriedades são suas habilidades de produzir auxinas (David et al., 2018). Há também relatos da produção de citocininas, giberelinas e ACC-desaminase (Prasad, et al. 2015).

2.5 Adubação nitrogenada

A adubação nitrogenada em pastagens desempenha um papel crucial no aumento da produção, influenciando vários fatores, como perfilhamento e aumento de matéria seca. Resultados demonstraram que níveis ideais de nitrogênio podem levar ao aumento da massa de forragem, melhor valor nutritivo e maiores ganhos de peso animal (Euclides et al., 2022; Teixeira et al., 2020). Desse modo a adubação com nitrogênio tem sido associada ao aumento do acúmulo de biomassa nas forragens, reduzindo a sazonalidade e melhorando as características produtivas das forragens, sendo essencial para otimizar a produtividade das pastagens e melhorar parâmetros-chave como perfilhamento e acúmulo de matéria seca e verde.

Mesmo com a utilização do silício, para manter a produção de matéria seca das plantas forrageiras, há necessidade de adubação, principalmente nitrogenada (N) (Paciullo et al., 2017), pois a mesma influencia resultando na emergência contínua de folhas e perfilhos (Camilo et al., 2020), no entanto uso de adubação nitrogenada aumenta custos e os riscos ambientais em solos tropicais (Hungria et al., 2016; Pedreira et al., 2017). Buscar práticas mais sustentáveis é essencial (Di Salvo et al., 2018), o uso de insumos biológicos, para melhorar a eficiência dos fertilizantes nitrogenados é uma alternativa promissora para gramíneas em regiões tropicais, mitigando impactos ambientais (Bounaffaa et al., 2018; Numan et al., 2018; Oliveira et al., 2018).

Você vai precisar trabalhar um pouco mais na descrição desse tópico e dos demais da sua revisão de literatura, neste item especialmente, pois as ideias ficaram muito superficiais.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

Avaliar a mitigação do déficit hídrico utilizando a fertilização com silício, inoculação de *azospirillum brasilense* e doses de nitrogênio no capim Marandu.

Objetivos específicos

1. Avaliar as características produtivas do capim *Urochloa brizantha*, cv. Marandu
2. Avaliar as características morfológicas do capim *Urochloa brizantha*, cv. Marandu

4 MATERIAL E MÉTODOS

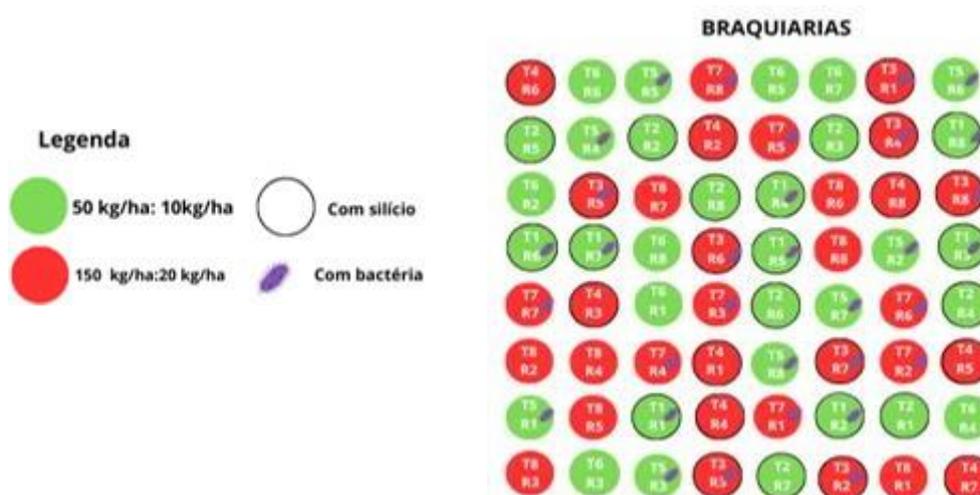
4.1 Localização

O experimento foi realizado em condições controladas no Setor de Forragicultura do Centro de Ciências de Chapadinha da Universidade Federal do Maranhão, nas coordenadas 03°44'33" S de latitude e 43°21'21" W de longitude.

4.2 Delineamento experimental

Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado (DIC), com 8 tratamentos, e 8 repetições. Os tratamentos foram: T1: com silício, com Bactéria e 50 kg/ha de N; T2: com silício, sem bactéria e 50 kg/ha de N; T3: com silício, com bactéria e 150 kg/ha de N; T4: com silício, sem bactéria e 150 kg/h de N; T5: sem silício, com bactéria e 50 kg/ha de N; T6: sem silício, sem bactéria e 50 kg/ha de N; T7: sem silício, com bactéria e 150 kg/ha de N; T8: sem silício, sem bactéria e 150 kg/ha de N.

Figura 1- Delineamento experimental.



4.3 Coleta e correção do solo

Para a realização da análise química do solo, foi escolhido uma área do Setor de Forragicultura, posteriormente foi utilizado uma furadeira com uma broca perfurante de 40 centímetro, em que retirava o solo até um coletor a uma profundidade de 0 a 20 cm, sendo encaminhada ao laboratório de análises de solo para definir as características químicas do solo.

Tabela 1- Análise química do solo coletado.

pH em	P(res)	S	K (res)	Ca	Mg	Al	H+Al	M.O.	SB	CTC	V	m	B	Cu	Fe	Mn	Zn
<i>CaCl₂</i>	mg.dm ⁻³ (ppm)			mmolc . dm ⁻³				g/dm ³ 3	mmolc/dm ³ .		%		mg/dm ³				
4,3	14	< 3	0,5	10	5	4,1	40	16	15,5	56	28	21	0,17	0,6	111	0,5	1,7

pH – potencial hidrogeniônico; P(res) – fosforo; S – enxofre; K(res) – potássio; Ca – cálcio; Mg – magnésio; Al – alumínio; (H+Al) – hidrogênio mais alumínio; M.O – matéria orgânica; SB – soma de bases; CTC - capacidade de troca de cátions; V – saturação por base; “m” – saturação de alumínio; B – Boro; Cu – cobre; Fe – Ferro; Mn – Manganês; Zn – Zinco.

Figura 2 - Coleta de solo para realização da análise química.

Após as análises laboratoriais foram coletado 10 kg de solo para cada vaso e feito as suas devidas correções químicas do solo. A correção da acidez do solo foi realizada pelo método de elevação da saturação por bases, elevando saturação de base a 60% obedecendo a exigência da gramínea. A adubação fosfatada foi realizada no plantio com superfosfato simples elevando-se de acordo com recomendação 2 mg/dm³ de fósforo, sendo necessário 20kg de P₂O₅, assim foi realizado adubação equivalente a 100kg/ha, já adubação potássica foi realizada no plantio, utilizando cloreto de potássio, sendo necessário 50 kg/ha de K₂O equivalente a 83,3 kg KCl/ha.

Figura 3- Coleta e pesagem do solo para a realização do experimento.

4.4 Inoculação das bactérias, plantio, aplicação de silício e de Nitrogênio

Para os tratamentos que receberam bactérias, a aplicadas foi via inoculação líquida nas sementes, com composição de 1,00 g/cm³ com dosagens de 8 mL/kg de sementes de acordo com a recomendação técnica do produto. Para os tratamentos que receberam adubação do silício, ocorreu na forma líquida de silicato de potássio via radicular, utilizando-se doses de 3,5 ml/9L ou 0,388 mL por litro de água, a aplicação ocorreu a cada ciclo, totalizando 3 aplicações. Já adubação nitrogenada foi usado ureia, sendo realizado doses de 150 kg/ha e 50 kg/há, após cada ciclo. Após a germinação e estabelecimento foi realizado a uniformização das plantas dos vasos, no qual cada vaso permaneceu com 5 plantas de capins.

Figura 4- Inoculação das bactérias, pesagem das sementes e plantio.



Figura 5 - Plantio de sementes de capim Marandu em vasos.



4.5 Monitoramento do experimento

4.5.1 Determinação de Lâminas de água

Para determinação das lâminas de água, foi realizada coletas todos os dias as 17:00h durante 90 dias, para a coleta de dados foram pesados os coletores de água drenada antes da irrigação do vaso, após pesagem dos coletores, os vasos foram irrigados com 1000 mL de água e novamente pesados no dia posterior. A diferença média obtida entre o peso inicial e o peso final dos coletores (água drenada) será utilizada nas seguintes fórmulas, sendo utilizadas lâmina com 25%, assim simulando um déficit hídrico de 75% da capacidade de campo das plantas.

Equação 1 - Determinação de lâminas de água.

$$ETp = (I + P - A) / \Delta$$

$$Eto = Etp * Kc$$

$$LâmD^{\prime} / m^2 = (Eto * 1) / \Delta$$

$$LâmD^{\prime} / parcela = LamD^{\prime} / m^2 * \text{área da parcela}$$

ETp: evapotranspiração potencial;

Eto: evapotranspiração real

P é a precipitação

A é a área da parcela;

Kc: coeficiente de cultura

Figura 6- Determinação de lâminas de água.



4.5.2 Características morfológicas e produtivas

A avaliação da dinâmica morfológica do capim foi mensurada semanalmente com o auxílio de uma régua milimetrada, em pontos marcados em cada parcela. Para isso, foram escolhidas dois perfis em estado vegetativo, no qual foi identificado com um fio colorido para mensurações e monitoramento do número de folhas, comprimento da lâmina foliar, comprimento do colmo e classificação da folha quanto ao estágio (em expansão, expandida, senescente e morta). A partir destas informações obtidas pela morfogênese, foram calculados a taxa de alongamento do colmo (TAIC cm dia^{-1}), taxa de alongamento foliar (TAIF cm dia^{-1}), taxa de aparecimento foliar (TApF folhas dia^{-1}), filocrono (FIL $\text{dias folha perfilho}^{-1}$), taxa de senescência total (TST cm dia^{-1}) e número de folhas vivas por perfilho (Nfol $\text{folhas perfilhos}^{-1}$), onde:

- Taxa de aparecimento foliar (TApF): quociente entre o número de folhas por perfilho surgidas no período avaliado e o número de dias do período;

- Filocrono (Filo): número de dias que duas folhas crescem num mesmo perfilho;

- Taxa de alongamento foliar (TAIF): relação entre o somatório de todo alongamento das lâminas foliares (cm) e o número de dias do período de avaliação ((comprimento final – comprimento inicial) / n° de dias contabilizados);
- Taxa de senescência total (TST): variação média no comprimento da porção senescente da folha, resultado do produto entre o comprimento da lâmina foliar senescente e a proporção de tecido senescente correspondente, observada ao longo do período de avaliação;
- Número de folhas vivas (Nfol): contagem do número de folhas vivas, não senescentes;
- Taxa de alongamento de colmo (TAIC): diferença do comprimento do pseudocolmo no final e no início do período experimental pelo número de dias deste ((comprimento final – comprimento inicial) / n° de dias contabilizados).

Figura 7 - Avaliação das características morfogênicas.



As estimativas produtivas ocorreram no período de 28 dias, para estimar a produção de forragem foi realizado a contagem do número de perfilhos para estimar a densidade populacional de perfilhos (DPP), o corte ocorreu na altura de 15 cm, as frações coletadas foram acondicionadas em sacos plástico, identificado, levado para laboratório e pesados, posteriormente separadas em folha, colmo e material senescente, após isso foram levadas a estufa de circulação forçada de ar a 65°C por 72 horas. Posterior ao processo de desidratação na estufa, as amostras foram pesadas novamente para estimar

produção de folha (FOLHA SECA), produção de colmo (COLMO SECO) e produção de material morto (MM SECA).

Figura 8- Avaliação da produção do capim



4.6 Processamento dos dados e análise estatística

Os dados foram submetidos a testes que assegurassem as prerrogativas básicas (testes de homocedasticidade e normalidade) para que pudessem ser submetidos à análise de variância. As médias foram consideradas diferentes quando $p < 0,05$ pelo teste Tukey e SNK a 5% de probabilidade por meio do programa estatístico Infostat.

Figura 9 - Programa estatístico utilizado no experimento.



5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a variável taxa de alongamento foliar observou-se diferença significativa ($P > 0,05$), para o tratamento T1, com um crescimento de 2,12 cm/dia, com um aumento de 13% em comparação aos tratamentos que não receberam o Si e adubação de 150 kg ha⁻¹. Segundo Morreira (2023), em sua pesquisa com utilização de Si e doses de nitrogênio em grama, foi possível observar que o N estimulou o crescimento aérea evidenciando assim uma associação entre as doses de N e Si, esse aumento pode ser justificado pelo o incremento do aparato fotossintético e ao acúmulo de água nas folhas

fortificadas com Si, auxiliando a planta a aumentar a eficiência de uso do N pelas plantas, reduzindo a perda de água por transpiração, causando um crescimento na parte aérea.

Tabela 2- Características morfogênicas do capim Marundu com utilização de silício, *Azospirillum* e doses de nitrogênio.

²FV	P-Valor %						
	³TALF	⁴TALH cm/ dia	⁵TST	⁶Nfol folhas/ perfilhos	⁷TapF folhas/ dia	⁸FiL folhas/ perfilhos	⁹DPP Nº perfilho/vaso
Silício	0,6934	0,5703	0,2892	0,6841	0,888	0,8016	0,0975
Bactéria	0,8291	0,2242	0,0056*	0,2078	0,2405	0,6052	0,1452
Nitrogênio	0,121	0,0384*	0,0004*	0,6421	0,6093	0,4564	0,1452
Silício*bactéria	0,7209	0,2537	0,901	0,7711	0,9649	0,0924	0,7049
Silício* Nitrogênio	0,0288 *	0,5108	0,2433	0,7711	0,9649	0,5655	0,2402
Bactéria*nitrogênio	0,396	0,8093	0,1621	0,3559	0,372	0,7627	0,9999
Silicio*bactéria*nitrogênio	0,8981	0,5253	0,5776	0,1886	0,3636	0,9867	0,1318
¹CV	20,56	41,01	55,09	15,66	18,73	12,65	15,29
Doses de silício							
Silicio	1,86	0,19	0,39	6,47	0,23	4,72	29,48
Sem silício	1,8	0,19	0,32	6,32	0,23	4,67	26,85
Bactéria							
Bactéria	1,88	0,2	0,46 A	6,17	0,22	4,64	27,02
sem bactéria	1,82	0,17	0,25 B	6,63	0,24	4,75	29,31
Doses de N							
150	1,94	0,22 A	0,5 A	6,48	0,23	4,62	29,1
50	1,72	0,16 B	0,21 B	6,31	0,23	4,78	27,23
Doses de silício e doses de N							
Silicio + 50	1,60 B	0,17	0,21 B	6,29	0,22	4,81	29,46
Silicio + 150	2,12 A	0,21	0,58 A	6,35	0,23	4,53	29,5
Sem silicio + 50	1,85 AB	0,14	0,22 B	6,33	0,23	4,75	25
Sem silicio + 150	1,76 AB	0,22	0,42 B	6,6	0,23	4,7	28,71
Doses de silício e bactéria							
Sem silicio + Bact	1,79	0,21	0,43 AB	6,19	0,22	4,48	25,42
Sem silicio + Sem bact.	1,81	0,15	0,21 B	6,75	0,24	4,96	28,29
Silicio + Bact	1,9	0,19	0,50 A	6,15	0,22	4,8	28,63
Silicio + Sem bact.	1,82	0,19	0,29 AB	6,5	0,24	4,54	30,33
Bactéria e doses de N							
Bact + 150	2,01	0,23	0,65 A	6,08	0,22	4,53	27,96
Bact + 50	1,68	0,18	0,34 B	6,25	0,22	4,75	26,08
Sem bact + 150	1,87	0,2	0,27 B	6,88	0,25	4,7	30,25
Sem bact + 50	1,77	0,14	0,16 B	6,37	0,23	4,8	28,37

* - Significativo em $p \leq 0,05$ pelo teste Tukey, respectivamente. Médias seguidas A, 5% de probabilidade. ¹CV: coeficiente de variação; FV: Fator de variação; ³TAIF: taxa de alongamento foliar; ⁴TAIC: taxa de alongamento do colmo; ⁵TST: taxa de senescência total; ⁶Nfol: número de folhas ⁷TApF: taxa de aparecimento foliar; ⁸Fil: filocromo; ⁹DPP: densidade populacional de perfilhos por vaso.

Para a variável taxa de alongamento do colmo observou-se diferença ($P>0,05$) para as doses de N, com um aumento nos tratamentos que receberam o equivalente a 150kg de N por ha. A taxa de alongamento do colmo é uma variável morfogênica crucial para o crescimento, garantindo a manutenção da arquitetura do dossel em níveis elevados de biomassa. Em estudos de Malavolta (2006), sobre a influência do N no crescimento de gramíneas, observou-se que o aumento na quantidade de N promoveu o alongamento do colmo, demonstrando que do nutriente é um potencializador no crescimento do colmo, influenciando diretamente a taxa de alongamento dos entrenós. De acordo com Silva e Oliveira (2023) o processo de alongamento do colmo atuar na manutenção da arquitetura do dossel das plantas, permitindo uma melhor captação de luz e evitando o aumento do coeficiente de extinção luminosa entre as folhas.

Para a taxa de senescência total (TST) foi observada diferença significativa ($P>0,05$) para as doses de N e para a inoculação de bactérias, como mostrado na tabela 2. A inoculação de bactérias resultou em um acréscimo no TST (0,46 cm/dia) em relação aos tratamentos sem inoculação (0,25 cm/dia). O mesmo efeito foi observado em pesquisas de Vessey, 2003, onde as bactérias promotoras de crescimento estimulam o crescimento das plantas, aumentar a qualidade nutricional e a saúde das plantas, impactando de maneira positiva no desenvolvimento das folhas.

Na aplicação de 150 kg/ha de N foi observada diferença ($P>0,05$) para a TST (0,5 cm/dia) em comparação com a dose de 50 kg/ha (0,21 cm/dia). A elevação observada é explicada pelo o aumento do crescimento vegetativo impulsionado pelo nitrogênio, o que resulta em uma renovação mais rápido das folhas e, por conseguinte, uma maior taxa de senescência. O N é essencial para o desenvolvimento das plantas, atuando como um constituinte indispensável da clorofila e dos aminoácidos, por isso, é possível observar uma maior renovação das folhas quando as plantas recebem doses mais elevadas de nitrogênio (Marschner, 2012).

Para as variáveis Nfol, Tapf, Fil e DPP não foi observado diferença significativa ($P>0,05$) das características morfogênicas entre os tratamentos avaliados.

Tabela 3- Características produtivas do capim Marandu com utilização de silício, *Azospirillum* e doses de nitrogênio.

² FV	P-Valor %								
	FOLHA SECA	COLMO SECO	³ MM SECA	⁴ NPV	ALTURA	⁵ DVF	⁶ DVC	⁷ DVT	⁸ RFC
		kg/há		Perfilho/vaso	cm		kg cm ⁻¹ ha ⁻¹		
Silício	0,0115 *	0,0013 *	0,0426 *	0,0041 *	0,0010 *	0,4122	0,0015 *	0,0262*	0,2297
Bactéria	0,7899	0,7963	0,2745	0,0441 *	0,0015 *	0,7778	0,4708	0,849	0,676
Nitrogênio	0,1977	0,7659	0,0004 *	0,0079 *	0,0010 *	0,7075	0,4109	0,4982	0,7507
Silício*Bactéria	0,8796	0,4499	0,0028 *	0,5582	0,4805	0,5187	0,1213	0,2163	0,3441
Silício* Nitrogênio	0,5135	0,8739	0,8654	0,0911	0,7857	0,8748	0,6402	0,8888	0,3348
Bactéria*Nitrogênio	0,7299	0,9041	0,2585	0,641	0,7036	0,8392	0,6901	0,9418	0,0657
Silício*Bactéria*Nitrogênio	0,9686	0,5719	0,795	0,2036	0,2561	0,8441	0,9353	0,8631	0,244
¹ CV	10,5	74,86	111,84	12,12	4,62	14,48	89,61	19,41	95,22
Doses de silício									
Silício	2725,42 A	395,73 A	76,82 B	29,89 A	50,88 A	54,7	9,43 A	64,13 A	8,45
Sem silício	2544,64 B	205,69 B	139,61 A	27,31 B	48,09 B	53,09	4,31 B	57,4 B	6,31
Bactéria									
Bactéria	2644,29	293,41	91,52	29,49 A	50,44 A	54,17	7,43	61,04	7,75
sem Bactéria	2625,78	308,01	124,91	27,71 B	48,53 B	53,62	6,31	60,48	7,01
Doses de N (kg/ha)									
150	2680,12	292,29	165,24 A	29,79 A	51,13 A	54,26	7,5	61,77	7,76
50	2589,94	309,13	51,19 B	27,41 B	47,84 B	53,53	6,23	59,76	7,1
Doses de silício e doses de N									
Silício + 50	2703,08 AB	408,62	17,22 C	29,44 A	49,31 B	54,91	10,43 A	65,34	5,18
Silício + 150	2747,77 A	382,82	136,43 AB	26,17 A	52,44 A	54,49	8,43 A	62,92	7,45
Sem Silício + 50	2476,81 B	209,62	85,15 BC	20,33 B	46,38 C	53,61	4,58 B	58,19	9,02
Sem Silício + 150	2612,47 AB	201,76	194,06 A	29,25 A	49,81 B	52,57	4,03 B	56,6	7,87
Doses de silício e bactéria									
Sem Silício + Bact	2559,17	176,98 B	75,67 B	26,17 B	49,25 B	52,18	3,66 B	55,83	7,98
Sem Silício + Sem Bact.	2530,12	234,4 AB	203,54 A	28,46 AB	46,94 C	54,01	4,96 B	58,96	8,91
Silício + Bact	2729,42	409,84 A	107,37 B	29,25 A	51,63 A	55,06	11,20 A	66,25	7,52
Silício + Sem bact.	2721,43	381,61 AB	46,28 B	30,52 A	50,13 AB	54,34	7,66 AB	62,01	5,11
Bactéria e doses de N									
Bact + 150	2677,38	281,58	165,82 A	29,1 A	52,19 A	53,45	6,48	59,93	9,68
Bact + 50	2611,2	305,23	17,22 B	26,31 B	49,31 B	53,79	8,37	62,16	5,82
Sem Bact + 150	2682,86	303	164,67 A	30,38 A	50,06 B	53,6	5,98	59,58	5,64
Sem Bact + 50	2568,69	313,02	85,15 AB	28,50 B	46,38 C	54,74	6,64	61,38	8,38

* - Significativo em $p \leq 0,05$ pelo teste SNK. Médias seguidas de letras diferentes nas colunas diferem entre si, ¹CV: coeficiente de variação; ²FV: Fator de variação; ³MM seco: produção de material morto seco; ⁴NPV: Número de perfilhos vivos; ⁵DVF: densidade volumétrica da folha; ⁶DVC: densidade volumétrica do colmo; ⁷DVT: densidade volumétrica total; ⁸RFC: relação folha colmo.

Para a variável folha seca, observou-se diferença significativa ($P > 0,05$) para a utilização de silício. De acordo com os resultados, é possível indicar que a utilização de silício promoveu um aumento na matéria seca das folhas, atingindo médias de 2725,42 Kg/ha para tratamentos que receberam Si, enquanto que para os tratamentos que não receberam aplicação atingiram uma média de 2544,64 kg/ha. De acordo com estudos de Korndorfer et al., 2018, que tinha como objetivo investigar os efeitos do silício no crescimento das plantas e na resistência ao estresse hídrico, constatou que o Si trouxe benefícios para as plantas, resultando em uma maior resistência na parede celular, consequentemente aumentando a matéria seca. Estudos realizados por Rezende et al., 2017, com utilização de Si em gramíneas, foi observado que o Si pode aumentar a eficiência no uso de água e nutrientes, além de favorecer a fotossíntese, culminando em um maior acúmulo de biomassa.

Estudos têm destacado os benefícios do Si em diversas culturas. Ma et al (2015) verificaram que a aplicação de Si em plantas de arroz aumentou significativamente a produção de matéria seca, reforçando a importância do Si na promoção do crescimento saudável das plantas. Crusciol et al (2009) também relataram que a aplicação de Si em culturas de milho resultou em um incremento na biomassa foliar

Foi observado interação entre Si e N, nas doses com 150 kg/ha se sobressaíram das demais, culminaram em um maior acúmulo na matéria seca das folhas, atingindo médias de 2747,77 kg/ha, esse aumento pode ser explicado pelo o efeito sinérgico em que ambos proporcionam para as plantas. Oliveira et al. (2020) realizou estudos sobre a aplicação de Si e N em gramíneas forrageiras e constataram que a combinação desses elementos promove um aumento significativo na biomassa, além de melhorar a eficiência no uso da água e a resistência ao estresse hídrico.

Para a variável Colmo seco, observou-se diferença significativa ($P > 0,05$) para a utilização do Si. Os dados indicam que a utilização de silício promoveu um aumento na matéria seca dos colmos, atingindo médias de 395,73 kg/ha para tratamentos que receberam Si, enquanto que para os tratamentos que não receberam a média foi de 205,69 kg/ha.

Pesquisas realizadas por Rodrigues et al (2019) analisaram o uso de Si em plantas forrageiras e observaram que esse elemento proporcionou vantagens importantes para as plantas, resultando em uma parede celular mais resistente e, consequentemente, em um crescimento vegetativo mais vigoroso. A inclusão de Si aprimorou a firmeza dos caules, aumentando a resistência mecânica e a capacidade de sustentação das plantas.

Silva et al (2021) ressaltaram que a utilização de Si em plantas gramíneas auxilia no reforço da estrutura das células e na acumulação de sílica nos tecidos das plantas, resultando em um aumento da resistência física dos caules. Esse impacto é fundamental para suportar o acréscimo de peso da biomassa e para enfrentar condições adversas, tanto bióticas quanto abióticas, como ataques de pragas e doenças.

Foi observado interação entre a utilização de Si e bactérias, para a produção de colmo seco, com produção de 409,84 kg/ha, isso foi possível devido a atuação das bactérias no aumento do sistema radicular, melhorando a disponibilidade de nutrientes. Quando combinadas com Si, essas bactérias podem ter seus efeitos benéficos amplificados, resultando em um maior acúmulo de biomassa nos colmos. Este efeito sinérgico foi observado por Oliveira et al. (2020), que relataram melhorias significativas no crescimento das plantas devido à combinação de silício e bactérias.

Para a variável Matéria Morta Seca (MMS), observou-se diferença significativa ($P > 0,05$) para os tratamentos que não receberam Si, para os receberam N e suas interações. Os dados indicam que o maior acúmulo de matéria seca foi obtido nas condições de maior aporte de N e sem presença de Si, com médias de 165,24 kg/ha para a aplicação de 150 kg/ha de N e 139,61 kg/ha para tratamentos sem Si.

O maior acúmulo de matéria morta para os tratamentos sem Si pode ser explicada de acordo com os estudos Ma et al. (2019), onde é ressaltado em seus resultados que o Si depositado na parede celular e na cutícula das plantas, formaram uma barreira física que reduziu a perda de água e protegendo as folhas e caules contra infecções, mas também minimiza a taxa de desidratação, resultando em uma menor quantidade de material morto.

Almeida et al. (2015) observaram que o Si melhorou a integridade estrutural das plantas com o aumento da parede de celular, resultando em uma menor quantidade de material morto. Além disso, estudos realizados por Luyckx et al. (2017) em culturas de arroz e trigo mostraram que o Si aumentou a resistência das plantas a estresse hídricos, reduzindo significativamente a biomassa morta e promovendo um crescimento mais sustentável.

O maior acúmulo de material morto, foi observado nos tratamentos que receberam as maiores doses de N (150 kg/ha), esse resultado pode ser atribuído ao estímulo do crescimento vegetativo e aumento a produção de biomassa proporcionado pelo N. Zhang et al. (2019) observaram que doses elevadas de N podem levar ao acúmulo excessivo de biomassa vegetal, incluindo material senescente que contribui para o aumento da matéria morta seca.

Para a variável número de perfilhos vivos (NPV) e ALTURA, observou-se diferença ($P > 0,05$) para os tratamentos que receberam Si, N e bactérias resultando em um maior número de perfilhos vivos e em maiores alturas.

A altura e o NPV são indicadores de crescimento vegetativo saudável. Segundo Silva e Ferreira (2020), plantas mais altas geralmente indicam um bom desenvolvimento radicular e uma boa absorção de nutrientes. A aplicação do Si influenciou no aumento da altura atingindo máxima de 50,88 cm para tratamentos que receberam em comparação as plantas que não receberam, atingindo 48,09 cm, quanto ao NPV, os tratamentos que receberam Si a quantidade máxima de perfilhos foi 29,89 e 27,31 para os que não receberam Si. Em estudos feitos Ma et al (2015), o aumento da altura e NPV está ligado a deposição de Si nas folhas, melhorando a eficiência fotossintética das plantas, o que pode resultar em um crescimento mais saudável e, portanto, um NPV mais elevados.

Para os tratamentos que receberam inoculação de bactérias, foi observado uma maior altura média foi de 50,44 para os tratamentos que receberam as bactérias, comparado as que não receberam, com altura de 48,53 cm e o NPV foi de 29,49 para que receberam e o NPV de 27,71 para as que não receberam. A presença de bactérias contribuiu para um maior vigor geral da planta, refletido em ambos os parâmetros. De acordo com o Frew et al (2018), as maiores alturas e maior números de plantas vivos pode ser explicada pela sua capacidade de produzir fitohormônios como as auxinas, que promovem o alongamento celular e a divisão celular nas raízes, aumentando assim o desenvolvimento radicular e a absorção de nutrientes. Em estudo realizado por Smith et al. (2018) onde avaliou os efeitos da inoculação de bactérias fixadoras de nitrogênio na altura das plantas de milho, constataram que a inoculação resultou em um aumento significativo na altura das plantas, demonstrando o potencial das bactérias para melhorar o crescimento através da fixação de nitrogênio.

Doses mais altas de N (150 kg/ha) resultaram em maiores altura, com 51,13 cm e maiores NPV 29,79 comparado com doses mais baixas de N (50 kg/ha), que resultaram em altura de 47,84 cm e NPV de 27,4. O N é um nutriente crucial para o crescimento vegetativo, melhora tanto a altura quanto na manutenção de perfilhos. De acordo com Xiao et al. (2017), a aplicação de N pode afetar diretamente o aumento no NPV, resultado do aumento de nutriente disposto para as plantas, contribuindo para o aumento de vigor das culturas. O N desempenha um papel crucial no crescimento vegetativo das plantas, influenciando diretamente o desenvolvimento de estruturas como folhas e caules. Segundo Wang et al. (2018), doses adequadas de nitrogênio podem promover

significativamente o crescimento em altura das plantas, devido à sua função na síntese de proteínas e na regulação do metabolismo vegetal.

Para as variáveis DVC e DVT, observou-se diferenças significativas ($P > 0,05$) para os tratamentos que receberam silício, com 9,43 e 4,31 kg cm⁻¹ ha⁻¹ para a DVC e 64,13 e 57,4 kg cm⁻¹ ha⁻¹ para a DVT, esses resultados podem ser explicados pelas as maiores produções de colmo e de folhas nos tratamentos que receberam silício, assim como as maiores alturas, incrementando assim em maiores DVC e DVT.

Para as variáveis DVF e RFC, não foi observado diferença significativa ($P > 0,05$) das características produtivas entre os tratamentos avaliados.

6 CONCLUSÃO

A dose de 150 kg/ha nitrogênio promoveu maiores alturas e número de perfilhos vivos, ocasionando em maiores taxa alongamento do colmo e material senescente. O fornecimento de silício beneficiou maior produção de folhas, número de perfilhos vivos, altura, no entanto, obteve maior produção de colmo e maior produção de material morto. A inoculação com *Azospirillum brasilense* resultou em maiores alturas e número de perfilhos vivos. Enquanto que para a interação entre silício e doses de 150 kg/ha nitrogênio promoveram maiores taxas de alongamento de folhas.

Recomenda-se o uso do nitrogênio na dose de 150 kg/ha, uso de silício e inoculação de *Azospirillum brasilense*, por proporcionarem maior incremento nas características morfogênicas e produtivas do capim Marandu.

7 REFERÊNCIA

AHMAD, F., RAHMATULLAH, AZIZ, T., MAQSOOD, M.A., TAHIR, M.A. and KANWAL, S., 2007. Effect of silicon application on wheat (*Triticum aestivum* L.) growth under water deficiency stress. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, vol. 19, no. 2, pp. 1-7. <http://dx.doi.org/10.9755/ejfa.v12i1.5170>.

AHMED, M., QADEER, U. and ASLAM, M.A., 2011. Silicon application and drought tolerance mechanism of sorghum. *African Journal of Agricultural Research*, vol. 6, no. 3, pp. 594-607. <http://dx.doi.org/10.5897/AJAR10.626>.

Almeida, A. A. F., Prado, R. M., & Vale, D. W. (2015). Silicon alleviates salt stress and increases antioxidant potential in sugarcane. *Journal of Plant Nutrition*, 38(1), 159-172.

AZEVEDO, et al. Analysis of the 2012-2016 drought in the northeast Brazil and its impacts on the Sobradinho water reservoir. *Remote Sensing Letters*, v. 9, n. 15, p. 438-446, fev. 2018. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/5f805231-5652-4c57-9e5f-42d5882b3d42/content>. Acesso em: 08 abr. 2024.

BAILEY, A. et al. Detecting shifts in tropical moisture imbalances with satellite-derived isotope ratios in water vapor. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, v. 122, n. 11, p. 5763-5779, 2017. doi: 10.1002/2016JD026222.

BARBOSA, M. P. et al. Effects of foliar and root silicon application on mitigating water deficit stress in young *Eucalyptus urophylla* plants. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2993031/v1>. Acesso em: 08 abr. 2024.

Bounaffaa M, Florio A, Roux XL, Jayet PA. Economic and environmental analysis of maize inoculation by plant growth promoting rhizobacteria in the French Rhône-Alpes region. *Ecol Econ*. 2018;146:334-46. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.11.009>

BOUNAFFAA, M. et al. Economic and environmental analysis of maize inoculation by plant growth promoting rhizobacteria in the French Rhône-Alpes region. *Ecol Econ*. 2018;146:334-46. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.11.009>. Acesso em: 08 abr. 2024.

BRAZ, T. G. S.; MARTUSCELLO, J. A.; SILVA, R. C. Alternativas forrageiras tolerantes à seca: gêneros *Urochloa* e *Megathyrsus*. Informe Agropecuário.v. 43, n. 317, p. 37-50, 2022.

CAMILO, M. G. et al. Evaluation of the availability of mass of forage: Morphological responses and chemical composition of Tanzania grass subjected to two pasture-management strategies. *Bioscience Journal*, 36: 2142-2152, 2020. doi: <http://dx.doi.org/10.14393/BJ-v36n6a2020-47870>

CAMILO, M. G. et al. Evaluation of the availability of mass of forage: Morphological responses and chemical composition of Tanzania grass subjected to two pasture-management strategies. *Bioscience Journal*, 36: 2142-2152, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14393/BJ-v36n6a2020-47870>. Acesso em: 08 abr. 2024.

Cerezini, P.; Kuwano, B.H.; Santos, M.B.; Terassi, F.; Hungria, M.; Nogueira, M.A. Strategies to promote early nodulation in soybean under drought. *Field Crop. Res.* 2016, 196, 160–167. Doi: 10.1007/s11104-016-2954-0

CHEN, W., YAO, X., CAI, K. and CHEN, J., 2011. Silicon alleviates drought stress of rice plants by improving plant water status, photosynthesis and mineral nutrient absorption. *Biological Trace Element Research*, vol. 142, no. 1, pp. 67-76. <http://dx.doi.org/10.1007/s12011-010-8742-x>. PMID:20532668.

Crusciol, C. A. C., Pulz, A. L., Lemos, L. B., Soratto, R. P., & Lima, G. P. (2009). Effects of silicon and drought stress on tuber yield and leaf biochemical characteristics in potato. *Crop Science*, 49(3), 949-954.

DAVID, B. V.; CHANDRASEHAR, G.; SELVAM, P. N. *Pseudomonas fluorescens*: A plant-growth-promoting rhizobacterium (PGPR) with potential role in biocontrol of pests of crops. In *New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering: Crop Improvement through Microbial Biotechnology*, 1st ed.; Prasad, R., Gill, S. S., Tuteja, N., Eds.; Elsevier: Nova Deli, India, 2018; Volume 1, pp. 221–243.

David, B.V.; Chandrasehar, G.; Selvam, P.N. *Pseudomonas fluorescens*: A plant-growth-promoting rhizobacterium (PGPR) with potential role in biocontrol of pests of crops. In *New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering: Crop Improvement through Microbial Biotechnology*, 1st ed.; Prasad, R., Gill, S.S., Tuteja, N., Eds.; Elsevier: Nova Deli, India, 2018; Volume 1, pp. 221–243.

DE SOUSA LEITE, W. et al. O silício alivia os danos causados pela seca, aumentando o desempenho antioxidante e fotossintético do feijão-caupi. *Revista de Agronomia e Ciência de Culturas*, v. 6, pág. 772-787, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/jac.12659>. Acesso em: 08 abr. 2024.

Di Salvo LP, Cellucci GC, Carlino ME, Salamone IEG. Plant growth-promoting rhizobacteria inoculation and nitrogen fertilization increase maize (*Zea mays* L.) grain yield and modified rhizosphere microbial communities. *Appl Soil Ecol.* 2018;126:113-20. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2018.02.010>

DIAS-FILHO, M. B. Desafios da produção animal em pastagens na fronteira agrícola brasileira. 2012. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/925646/1/Doc382.pdf>. Acesso em: 08 abr. 2024.

Dobbelaere S, Vanderleyden J, Okon Y. Plant growth-promoting effects of diazotrophs in the rhizosphere. *Crit Rev Plant Sci.* 2003;22:107-49. <https://doi.org/10.1080/713610853>

Döbereiner, J., Marriel, I., Nery, M., 1976. Ecological distribution of *Spirillum lipoferum*. *Can. J. Microbiol.* 22, 1464–1473.

EMBRAPA. Manejo de pastos de *Brachiaria brizantha*. 2014. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/2386025/artigo-manejo-de-pastos-de-brachiaria-brizantha>. Acesso em: 08 abr. 2024.

Enfield, D. B. (5 de Marzo de 2020). "El Niño". Obtenido de Enciclopedia Británica: <https://www.britannica.com/science/El-Nino>

ENFIELD, D. B. El Niño. Enciclopedia Británica, 5 mar. 2020. Disponível em: <https://www.britannica.com/science/El-Nino>. Acesso em: 08 abr. 2024.

Espinoza, J. (1996). Instituto Oceanográfico y Antártico de la Armada. Obtenido de <https://www.inocar.mil.ec/web/index.php/publicaciones/actasoceanograficas/file/102-el-nino-y-sus-implicaciones-sobre-el-medio-ambiente>

ESPINOZA, J. Instituto Oceanográfico y Antártico de la Armada. 1996. Disponível em: <https://www.inocar.mil.ec/web/index.php/publicaciones/actasoceanograficas/file/102-el-nino-y-sus-implicaciones-sobre-el-medio-ambiente>. Acesso em: 08 abr. 2024.

EUCLIDES, V. P. B. et al. Biological and economic responses to increasing nitrogen rates in Mombaça guinea grass pastures. *Scientific Reports*, v. 12, n. 1, p. 1937, 2022. doi: 10.1007/S00344-021-10510-3.

FERGUSON, J.N., 2019. Climate change and abiotic stress mechanisms in plants. *Emerging Topics in Life Sciences*, vol. 3, no. 2, pp. 165- 181. <http://dx.doi.org/10.1042/ETLS20180105>. PMID:33523147.

FICKLIN, D. L. et al. Hydrological intensification will increase the complexity of water resource management. *Earth's Future*, v. 10, n. 3, p. e2021EF002487, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1029/2021EF002487>. Acesso em: 08 abr. 2024.

FIGUEIREDO, V. M. A. et al. Do silicon and salicylic acid attenuate water deficit damage in *Talisia esculenta* Radlk seedlings?. *Plants*, v. 12, n. 18, p. 3183, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/plants12183183>. Acesso em: 08 abr. 2024.

FREW, Adam et al. O papel do silício na biologia vegetal: uma mudança de paradigma na abordagem de pesquisa. *Anais de botânica*, v. 121, n. 7, pág. 1265-1273, 2018.

Fukami J, Ollero FJ, 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 Express*. 2017;7:153. <https://doi.org/10.1186/s13568-017-0453-7>

FUKAMI, J. et al. Antioxidant activity and induction of mechanisms of resistance to stresses related to the inoculation with *Azospirillum brasilense*. *Arch. Microbiol*. 2018, 200, 1191–1203. Doi: 10.1007/s00203-018-1535-x.

FUKAMI, J. et al. Antioxidant activity and induction of mechanisms of resistance to stresses related to the inoculation with *Azospirillum brasilense*. *Arch. Microbiol*. 2018, 200, 1191–1203. Doi: 10.1007/s00203-018-1535-x.

Fukami, J.; Cerezini, P.; Hungria, M. *Azospirillum*: Benefits that go far beyond biological nitrogen fixation. *AMB Express* 2018, 8, 73. Doi: *Azospirillum*: Benefits that go far beyond biological nitrogen fixation. doi: 10.1186/s13568-018-0608-1

Fukami, J.; Nogueira, M.A.; Araujo, R.S.; Hungria, M. Accessing inoculation methods of maize and wheat with *Azospirillum brasilense*. *AMB Express* 2016, 6, 414–430. Link: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/>

/publicacao/1039673/accessing-inoculation-methods-of-maize-and-wheat-with-azospirillum-brasilense

Fukami, J.; Ollero, F.J.; De La Osa, C.; Valderrama-Fernández, R.; Nogueira, M.A.; Megías, M.; Hungria, M. Antioxidant activity and induction of mechanisms of resistance to stresses related to the inoculation with *Azospirillum brasilense*. *Arch. Microbiol.* 2018, 200, 1191–1203. Doi: 10.1007/s00203-018-1535-x

Gao X, Zou C, Wang L, Zhang F (2006) Silicon decreases transpiration rate and conductance from stomata of maize plants. *J Plant Nutri* 29:1637–1647. <https://doi.org/10.1080/019041606008514>

GUIMARÃES, G. S. et al. Pointing out opportunities to increase grassland pastures productivity via microbial inoculants: Attending the society's demands for meat production with sustainability. *Agronomy* 12.8 (2022): 1748. Doi: <https://doi.org/10.3390/agronomy12081748>. Acesso em: 08 abr. 2024.

Guimarães, Gabriel Silva, et al. "Pointing out opportunities to increase grassland pastures productivity via microbial inoculants: Attending the society's demands for meat production with sustainability." *Agronomy* 12.8 (2022): 1748. Doi: <https://doi.org/10.3390/agronomy12081748>

Guimarães, V.F.; Klein, J.; Ferreira, M.B.; Klein, D.K. Promotion of rice growth and productivity as a result of seed inoculation with *Azospirillum brasilense*. *Afr. J. Agric. Res.* 2020, 16, 765–776. Link: https://www.researchgate.net/publication/342727000_Promotion_of_rice_growth_and_productivity_as_a_result_of_seed_inoculation_with_Azospirillum_brasilense

GUO, Q. et al. Alleviation of adverse effects of drought stress on wheat seed germination using atmospheric dielectric barrier discharge plasma treatment. *Scientific Reports*, v. 7, n. 1, p. 16680, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-017-16944-8>. Acesso em: 08 abr. 2024.

GUO, Q., WANG, Y., ZHANG, H., QU, G., WANG, T., SUN, Q. and LIANG, D., 2017. Alleviation of adverse effects of drought stress on wheat seed germination using atmospheric dielectric barrier discharge plasma treatment. *Scientific Reports*, vol. 7, no. 1, p. 16680. <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-017-16944-8>. PMID:29192193.

Herrera EC, Esquivel AAH, Mercado EC, Pineda EG. Effect of *Azospirillum brasilense* Sp245 lipopolysaccharides on wheat plant development. *J Plant Growth Regul.* 2018;37:859-66. <https://doi.org/10.1007/s00344-018-9782-2>

HUNGRIA, M. et al. Seed and leaf-spray inoculation of PGPR in *Brachiaria* (*Urochloa* spp.) as an economic and environmental opportunity to improve plant growth, forage yield and nutrient status. *Plant Soil* 2021, 463, 171–186. Doi: 10.1007/s11104-021-04908 -x.

Hungria, M., Nogueira, M.A., Araujo, R.S. 2016. 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 & Environment*, 221: 125-131, <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.01.024>.

Hungria, M.; Campo, R.J.; Souza, E.M.; Pedrosa, F.O. Inoculation with selected strains of *Azospirillum brasilense* and *A. lipoferum* improves yields of maize and wheat in Brazil. *Plant Soil* 2010, 331, 413–425. Link: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11104-009-0262-0>

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 & Environment*, 221: 125-131, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.01.024>. Acesso em: 08 abr. 2024.

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. *Agric. Ecosyst. Environ.* 2016, 221, 125–131. Doi: 10.1016/j.agee.2015.10.019 .

Hungria, M.; Rondina, A.B.L.; Nunes, A.L.P.; Araujo, R.S.; Nogueira, M.A. Seed and leaf-spray inoculation of PGPR in *Brachiaria* (*Urochloa* spp.) as an economic and environmental opportunity to improve plant growth, forage yield and nutrient status. *Plant Soil* 2021, 463, 171–186. Doi: 10.1007/s11104-021-04908 -x

Kaya C, Tuna L, Higgs D (2006) Effect of silicon on plant growth and mineral nutrition of maize grown under waterstress conditions. *J Plant Nutri* 29:1469–1480. <https://doi.org/10.1080/01904160600837238>

Korndörfer, G. H., Pereira, H. S., & Nolla, A. (2018). Effect of silicon on plant growth and drought stress. *Agricultural Research*, 5(4), 406-412.

LANDAU, E. C. et al. Evolução da área ocupada por pastagens. In: LANDAU, E. C.; DA SILVA, G. A.; MOURA, L.; HIRSC, A.; GUIMARÃES, D. P (Ed.). *Dinâmica da produção agropecuária e da paisagem natural no Brasil nas últimas décadas: produtos de origem animal e da silvicultura*. 1. ed. Brasília: Embrapa. 2020. Cap. 46, p. 1555-1578. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1122718>. Acesso em: 08 abr. 2024.

Luyckx, M., Hausman, J. F., Lutts, S., & Guerriero, G. (2017). Silicon and plants: current knowledge and technological perspectives. *Frontiers in Plant Science*, 8, 411.

Ma, J. F., & Takahashi, E. (2002). *Soil, Fertilizer, and Plant Silicon Research in Japan*. Elsevier.

Ma, J. F., & Yamaji, N. (2019). Silicon uptake and accumulation in higher plants. *Trends in Plant Science*, 24(5), 426-433.

Ma, J. F., Yamaji, N., & Tamai, K. (2015). Silicon uptake and accumulation in higher plants. *Trends in Plant Science*, 10(8), 342-346.

MACHADO, J. et al. The effect of silicon on the antioxidant system of tomato seedlings exposed to individual and combined nitrogen and water deficit. *Annals of Applied Biology*, 2023. doi: 10.1111/aab.12849.

MALAVOLTA, Eurípedes. *Manual de nutrição mineral de plantas*. Agronômica Ceres, 2006.

Malinich EA, Bauer CE. The plant growth promoting bacterium *Azospirillum brasilense* is vertically transmitted in *Phaseolus vulgaris* (common bean). *Symbiosis*. 2018;76:97-108. <https://doi.org/10.1007/s13199-018-0539-2>

MARENGO, J.A. On the hydrological cycle of the Amazon basin: a historical review and current state-of-the-art. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.21: 1-19. 2006.

Martins MR, Jantalia CP, Reis VM, Döwich I, Polidoro JC, Alves BJR, Boddey RM, Urquiaga S. Impact of plant growth-promoting bacteria on grain yield, protein content, and urea-15N recovery by maize in a Cerrado Oxisol. *Plant Soil*. 2018; 422:239-50. <https://doi.org/10.1007/s11104-017-3193-1>

Marschner, H. (2012). *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*. Academic Press.

MASTALERCZUK, G., BORAWSKA-JARMOŁOWICZ, B., DARKALT, A. (2022). Changes in the Physiological and Morphometric Characteristics and Biomass Distribution of Forage Grasses Growing under Conditions of Drought and Silicon Application. *Plants*, 12(1):16-16. doi: 10.3390/plants12010016.

MEDEIROS, F. J; OLIVEIRA, C, P. Dynamical aspects of the recent strong El Niño events and its climate impacts in Northeast Brazil. *Pure and Applied Geophysics*, v.178: 2315-2332, 2021. <https://doi.org/10.1007/s00024-021-02758-3>

MEDICA, J. A.; REIS, N. S.; R., S. M. Caracterização Morfológica em Pastos de Capim-Marandu Submetidos a Frequências de Desfolhação e Níveis de Adubação. *Ciência Animal Brasileira*, 01-13, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1089-6891v18e-40460>. Acesso em: 08 abr. 2024.

Moraes, M. F., Silva, F. C., & Souza, D. M. G. (2019). Manejo de nitrogênio em sistemas agrícolas: desafios e perspectivas. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 14(3), e639.

Moreira, V. D. A. (2023). Inoculação com bactérias promotoras de crescimento, fornecimento de silício e adubação nitrogenada em grama esmeralda.

Numan M, Bashir S, Khan Y, Mumtaz R, Shinwari ZK, Khan AL, Khan A, Al-Harrasi A. Plant growth promoting bacteria as an alternative strategy for salt tolerance in plants: a review. *Microbiol Res*. 2018;209:21-32. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2018.02.003>

NUMAN, M. et al. Plant growth promoting bacteria as an alternative strategy for salt tolerance in plants: a review. *Microbiol Res*. 2018;209:21-32. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.micres.2018.02.003>. Acesso em: 08 abr. 2024.

NUNES, S. G. et al. *Brachiaria brizantha* cv. Marandu. 1984. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/317899>. Acesso em: 08 abr. 2024.

Okon Y, Labandera-Gonzalez CA. Agronomic applications of *Azospirillum*: an evaluation of 20 years worldwide field inoculation. *Soil Biol Biochem*. 1994;26:1591-601. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(94\)90311-5](https://doi.org/10.1016/0038-0717(94)90311-5)

Oliveira IJ, Fontes JRA, Pereira BFF, Muniz AW. Inoculation with *Azospirillum brasilense* increases maize yield. *Chem Biol Technol Agric.* 2018;5:6. <https://doi.org/10.1186/s40538-018-0118-z>

Oliveira, A. B., Silva, E. N., & Rodrigues, J. D. (2020). Effects of silicon and nitrogen on the growth and drought tolerance of forage grasses. *Journal of Plant Nutrition*, 43(5), 705-719.

OLIVEIRA, I. J. et al. Inoculation with *Azospirillum brasilense* increases maize yield. *Chem Biol Technol Agric.* 2018;5:6. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s40538-018-0118-z>. Acesso em: 08 abr. 2024.

Oliveira, P. M., Santos, J. A., & Pereira, C. M. (2017). Interação entre silício e bactérias fixadoras de nitrogênio em culturas agrícolas. *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável*, 7(1), 45-54

Paciullo DSC, Gomide CAM, Castro CRT, Mauricio RM, Fernandes PB, Morenz MJF. Morphogenesis, biomass and nutritive value of *Panicum maximum* under different shade levels and fertilizer nitrogen rates. *Grass Forage Sci.* 2017;72:590-600. <https://doi.org/10.1111/gfs.12264>

PACIULLO, D. S. C. et al. Morphogenesis, biomass and nutritive value of *Panicum maximum* under different shade levels and fertilizer nitrogen rates. *Grass Forage Sci.* 2017;72:590-600. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/gfs.12264>. Acesso em: 08 abr. 2024. Di Salvo LP, Cellucci GC, Carlino ME, Salamone IEG. Plant growth-promoting rhizobacteria inoculation and nitrogen fertilization increase maize (*Zea mays* L.) grain yield and modified rhizosphere microbial communities. *Appl Soil Ecol.* 2018;126:113-20. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2018.02.010>

PANG, Z., TAYYAB, M., ISLAM, W., TARIN, M.W.K., SARFARAZ, R., NAVEED, H., ZAMAN, S., ZHANG, B., YUAN, Z. and ZHANG, H., 2019. Silicon-mediated improvement in tolerance of economically important crops under drought stress. *Applied Ecology and Environmental Research*, vol. 17, no. 3, pp. 6151-6170. http://dx.doi.org/10.15666/aer/1703_61516170.

Pedreira BC, Barbosa PL, Pereira LET, Mombach MA, Domiciano LF, Pereira DH, Ferreira A. Tiller density and tillering on *Brachiaria brizantha* cv. Marandu pastures inoculated with *Azospirillum brasilense*. *Arq Bras Med Vet Zoo.* 2017;69:1039-46. <https://doi.org/10.1590/1678-4162-9034>

PEDREIRA, B. C. et al. Tiller density and tillering on *Brachiaria brizantha* cv. Marandu pastures inoculated with *Azospirillum brasilense*. *Arq Bras Med Vet Zoo*. 2017;69:1039-46. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1678-4162-9034>. Acesso em: 08 abr. 2024.

PESSOA-FILHO, M.; MARTINS, A. M.; FERREIRA, M. E. Molecular dating of phylogenetic divergence between *Urochloa* species based on complete chloroplast genomes. *BMC Genomics*, Brasília, v. 18, n. 516, p. 2-3, jul. 2017. Disponível em: <https://bmcgenomics.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12864-017-3904-2>. Acesso em: 08 abr. 2024.

PIOVESAN, A. S.; GAI, V. F. Rendimento de pastagem do capim *Brachiaria brizantha* cv. Marandu sob diferentes níveis de adubação nitrogenada. *Revista Cultivando o Saber*, p. 134-146, 2023. Disponível em: <https://cultivandosaber.fag.edu.br/index.php/cultivando/article/view/1270/1102>. Acesso em: 08 abr. 2024.

Prasad, R.; Kumar, M.; Varma, A. Role of PGPR in soil fertility and plant health. In *Plant Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR) and Medicinal Plants*, 1st ed.; Egamberdieva, D., Shrivastava, S., Varma, A., Eds.; Springer: Cham, Switzerland, 2015; Volume 42, pp. 247–260.

PRASAD, R.; KUMAR, M.; VARMA, A. Role of PGPR in soil fertility and plant health. In *Plant Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR) and Medicinal Plants*, 1st ed.; Egamberdieva, D., Shrivastava, S., Varma, A., Eds.; Springer: Cham, Switzerland, 2015; Volume 42, pp. 247–260.

Rezende, F. C., Rodrigues, F. A., & Korndörfer, G. H. (2017). Silicon effects on plant growth and disease resistance in rice. *Bragantia*, 76(1), 87-94.

ROCHA, Juan Ricardo; DE MELLO PRADO, Renato; DE CASSIA PICCOLO, Marisa. Mitigation of water deficit in two cultivars of *Panicum maximum* by the application of silicon. *Water, Air, & Soil Pollution*, v. 233, n. 2, p. 63, 2022. 3 Vol.: (0123456789) 1 3 <https://doi.org/10.1007/s11270-022-05539-3>

RODRIGUES, B. N. Avaliação física e química-bromatológica do capim-marandu e híbridos de *Urochloa* diferidos. 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/35248>. Acesso em: 08 abr. 2024.

Rodrigues, F. A., Vale, F. X. R., Korndörfer, G. H., Prabhu, A. S., & Datnoff, L. E. (2019). Effect of Silicon and Host Resistance on Sheath Blight Development in Rice. *Plant Disease*, 93(2), 128-134.

Rubin RL, van Groenigen KJ, Hungate BA. Plant growth promoting rhizobacteria are more effective under drought: a meta-analysis. *Plant Soil*. 2017;416:309-23. <https://doi.org/10.1007/s11104-017-3199-8>

RUFINO, L. D. A.; MONÇÃO, F. P.; BRAZ, T. G. S.; OLIVEIRA, P. M. O capim-buffel. *Informe Agropecuário*. Belo Horizonte, v. 43, n. 317, p. 18-27, 2022.

SANTOS, M. S.; NOGUEIRA, M. A.; HUNGRIA, M. Microbial inoculants: Reviewing the past, discussing the present and previewing an outstanding future for the use of beneficial bacteria in agriculture. *AMB Express* 2019, 9, 205. Doi: 10.1186/s13568-019-0932-0.

Santos, M.S.; Nogueira, M.A.; Hungria, M. Microbial inoculants: Reviewing the past, discussing the present and previewing an outstanding future for the use of beneficial bacteria in agriculture. *AMB Express* 2019, 9, 205. Doi: 10.1186/s13568-019-0932-0

SATTAR, A., CHEEMA, M.A., ALI, H., SHER, A., IJAZ, M., HUSSAIN, M., HASSAN, W. and ABBAS, T., 2016. Silicon mediates the changes in water relations, photosynthetic pigments, enzymatic antioxidants activity and nutrient uptake in maize seedling under salt stress. *Grassland Science*, vol. 62, no. 4, pp. 262-269. <http://dx.doi.org/10.1111/grs.12132>

Silva, E. N., Santos, L. A., & Rodrigues, J. D. (2021). Impact of silicon application on structural integrity and stress tolerance in forage grasses. *Journal of Plant Nutrition*, 44(3), 456-468.

Silva, J. A., & Oliveira, M. R. (2023). *Impacto do alongamento do colmo na arquitetura do dossel e na captação de luz pelas plantas*. *Revista de Fisiologia Vegetal*, 29(4), 563-572. <https://doi.org/10.1234/rfv.2023.0045>.

SILVA, J. P.; FERREIRA, L. M. *Desenvolvimento radicular e sua correlação com a altura das plantas e absorção de nutrientes*. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 15, n. 3, p. 401-410, 2020.

Smith, D. L., & Sánchez, J. A. (2018). Plant growth-promoting bacteria (PGPB): Their potential as antagonists and biocontrol agents. In *Plant-Microbe Interactions in Agro-Ecological Perspectives* (pp. 133-148). Springer, Singapore.

TEIXEIRA, G. C. M. et al. (2021). Beneficial Effect of Silicon Applied Through Fertigation Attenuates Damage Caused by Water Deficit in Sugarcane. *Journal of Plant Growth Regulation*, 1-16. doi: 10.1007/S00344-021-10510-3.

TEIXEIRA, S. O. et al. Doses and Sources of Nitrogen in Two Forage Cultivars on the Dry Season. *Journal of Agricultural Studies*, v. 8, n. 3, p. 352-362, 2020. doi: 10.5296/JAS.V8I3.16487.

Vandegeer RK, Zhao C, Cibils-Stewart X et al (2021) Silicon deposition on guard cells increases stomatal sensitivity as mediated by $-K^+$ efflux and consequently reduces stomatal conductance. *Physiologia Plantarum* 171:358–370. <https://doi.org/10.1111/ppl.13202>

Vessey, J. K. (2003). Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant and Soil*, 255(2), 571-586.

VICIEDO, D. O. et al. Silicon supplementation alleviates ammonium toxicity in sugar beet (*Beta vulgaris* L.). *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 19, 413-419. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s42729-019-00043-w>. Acesso em: 08 abr. 2024.

Viciedo, D.O., de Mello Prado, R., Lizcano Toledo, R., dos Santos, L. C. N., Calero Hurtado, A., Nedd, L. L. T., & Castellanos Gonzalez, L. (2019). Silicon supplementation alleviates ammonium toxicity in sugar beet (*Beta vulgaris* L.). *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 19, 413-419. Link: <https://link.springer.com/article/10.1007/s42729-019-00043-w>.

Wang, Y., Li, M., Li, H., Zhang, J., Li, Y., Wu, P., & Zheng, S. (2018). Effect of nitrogen application rate on rice growth and nitrogen use efficiency under controlled-release nitrogen fertilizer. *Agronomy Journal*, 110(1), 335-344.

Xiao, J., Zou, C., Xu, X., & Zhang, L. (2017). Effects of nitrogen application rates on nitrogen use efficiency and yield of summer maize under different water conditions. *Agronomy Journal*, 109(3), 1095-1103.

Zhang, H., Zhao, X., Liu, Z., Zhou, L., & Han, Y. (2019). Effects of nitrogen fertilizer on plant growth and environmental sustainability. *Environmental Science and Pollution Research International*, 26(3), 2013-2021.