



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA
CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

VITÓRIA DE ALMEIDA MOREIRA

**INOCULAÇÃO COM BACTÉRIAS PROMOTORAS DE
CRESCIMENTO, FORNECIMENTO DE SILÍCIO E ADUBAÇÃO
NITROGENADA EM GRAMA ESMERALDA**

Ilha Solteira

2023

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

VITÓRIA DE ALMEIDA MOREIRA

**INOCULAÇÃO COM BACTÉRIAS PROMOTORAS DE
CRESCIMENTO, FORNECIMENTO DE SILÍCIO E ADUBAÇÃO
NITROGENADA EM GRAMA ESMERALDA**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – Unesp como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agronomia. Especialidade: Sistemas de Produção.

Prof. Dr. Marcelo C. Minhoto Teixeira Filho
Orientador

Ilha Solteira

2023

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

Moreira, Vitória de Almeida.

M838i Inoculação com bactérias promotoras de crescimento, fornecimento de silício e adubação nitrogenada em grama esmeralda / Vitória de Almeida Moreira. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2023
87 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Sistemas de Produção, 2023

Orientador: Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho

Inclui bibliografia

1. Acúmulo de nutrientes. 2. *Pseudomonas fluorescens*. 3. *Azospirillum brasilense*. 4. *Zoysia japonica* Steud. 5. Fontes de potássio.


Amanda Sertori dos Santos
Bibliotecária - CRB/8-9061
Seção Técnica de Referência, Atendimento ao
Usuário e Documentação
Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: INOCULAÇÃO COM BACTÉRIAS PROMOTORAS DE CRESCIMENTO,
FORNECIMENTO DE SILÍCIO E ADUBAÇÃO NITROGENADA EM GRAMA
ESMERALDA

AUTORA: VITÓRIA DE ALMEIDA MOREIRA

ORIENTADOR: MARCELO CARVALHO MINHOTO TEIXEIRA FILHO

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em Agronomia,
especialidade: Sistemas de Produção pela Comissão Examinadora:



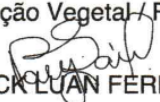
Prof. Dr. MARCELO CARVALHO MINHOTO TEIXEIRA FILHO (Participação Virtual)

Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP



Prof. Dr. FERNANDO SHINTATE GALINDO (Participação Virtual)

Departamento de Produção Vegetal / Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas - UNESP



Pesquisador Dr. PATRICK LUAN FERREIRA DOS SANTOS (Participação Virtual)
Safe Garden

Ilha Solteira, 28 de agosto de 2023



Documento assinado digitalmente

FERNANDO SHINTATE GALINDO

Data: 28/08/2023 11:13:47-0300

Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

DEDICATÓRIA

A Deus.

A todos que contribuíram de alguma forma durante esses 2 anos de mestrado sem qualquer desconfiança do meu desempenho, dedicação e esforço. Estando presente, orgulhando-se e alegrando-se com cada pequena vitória em minha vida. Nunca me esquecerei de todo o cuidado e amor comigo.

Em especial, meu noivo, Vitor, por todo amor, carinho, companheirismo, incentivo e apoio nos momentos difíceis.

Aos meus pais, Noemea e Donizetti, por todo o suporte, compreensão e atenção ao longo de toda a minha vida.

A minha irmã Marja pela qual eu tenho a maior admiração profissional.

Aos pais do Vitor, que também se tornaram meus pais de coração, Nilza e Pedro.

A minha amiga Gabriella, irmã de coração e alma, por sempre me conceder um ombro amigo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por ter me guiado nesses 2 anos.

Ao meu orientador, Marcelinho, por sempre atuar com profissionalismo e competência, confiando em meu trabalho. Tenho muita admiração pelo senhor. Muito obrigada por tudo.

Ao Carlos Eduardo, por todo o suporte e auxílio, sempre disponível para conversar, explicar e tirar eventuais dúvidas. Sou grata por ter tido você ao meu lado nesse período.

Ao grupo de Nutrição de Plantas, que nunca mediram esforços para contribuir e colaborar em todas as coletas de dados, desejo muito sucesso a cada um.

A empresa Yoorin pelo fornecimento da bolsa e os fertilizantes necessários para o desenvolvimento de tal pesquisa.

A Itogress de Pereira Barreto, por ter disponibilizado o espaço, bem como o maquinário e mão de obra necessária para o andamento do projeto, em especial ao Eliu pela atenção.

Ao Marcelo Rinaldi, técnico do laboratório de Nutrição de Plantas sempre disposto a contribuir no que fosse preciso.

A todos, meu imenso carinho e gratidão.

“ O que não te desafia, não te transforma. ”

Autor desconhecido

RESUMO

A grama Esmeralda é o gramado mais comercializado no Brasil e o nutriente exigido em maior quantidade para sua produção, é o nitrogênio (N). A inoculação com bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCPs) podem reduzir o consumo de fertilizantes nitrogenados, principalmente pelo desenvolvimento radicular devido à ação fitohormonal, aumentando assim a absorção de água e nutrientes pela grama, além da fixação de N_2 atmosférico realizado por algumas bactérias, contribuindo para uma agricultura sustentável com menor impacto ao meio ambiente. Outro fator determinante para um bom desenvolvimento das plantas é a maior eficiência do uso da água devido a menor perda de água por evapotranspiração, potencializar o aproveitamento da radiação solar por manter as folhas mais eretas, tornando-a mais resistente ao tráfego ou pisoteio, estes efeitos podem ser benefícios do uso de adubação com silício (Si), além de proporcionar certa tolerância ao ataque de pragas e patógenos, bem como melhor qualidade de tapete. Diante o exposto, as BPCPs aliadas ao fornecimento de Si foram pouco testadas a fim de se aferir a eficiência em áreas de produção de gramas associada à redução da dose de N fornecida. Sendo assim, o objetivo desta pesquisa foi avaliar a taxa de cobertura do solo, índice de cor verde escuro, matéria seca da parte aérea e de raízes, rizomas e estolões, massa dos tapetes, concentração e acúmulo de nutrientes, atributos químicos do solo em área de produção de grama Esmeralda, sob o efeito da inoculação com bactérias promotoras de crescimento de planta (*P. fluorescens* e *A. brasilense*) aliado ao fornecimento de silício por meio da adubação potássica e doses de N, visando à redução em 25% da adubação nitrogenada, maior nutrição de plantas e fertilidade do solo, assim como a produção de tapetes de grama de qualidade. O experimento ocorreu no município de Pereira Barreto, SP e o delineamento experimental foi em blocos casualizados com 12 tratamentos dispostos em esquema fatorial $3 \times 2 \times 2$, com quatro repetições, cada parcela foi constituída por 9 m². O primeiro fator: três inoculações, o controle (não inoculado) e duas inoculações BPCPs (*A. brasilense* e *P. fluorescens*), o segundo fator: redução das doses de N (100 e 75% da dose aplicada na área de produção, de 280 kg ha⁻¹) e o terceiro fator: com e sem o fornecimento de Si via adubação potássica (Potásil com 25% Si total e Cloreto de potássio, nas doses de 240 kg ha⁻¹ de K₂O). A dose de 100 % do N proporcionou aumento de 10% e 12% na TCS aos 90 e 143 DAA, respectivamente, em relação ao fornecimento de 75% da dose de N. Ocorreu maior TCS (10,6 e 8,8%) na testemunha em comparação a inoculação com *A. brasilense* e *P. fluorescens*, respectivamente, aos 143 DAA. Foi verificado que o fornecimento da maior dose de N proporcionou maior ICVE do tapete de grama em duas épocas analisadas (90 DAA e 143 DAA).

As inoculações com *A. brasilense* e *P. fluorescens* proporcionaram incremento de 15 e 23%, respectivamente, na matéria seca da parte aérea em relação a testemunha. A dose recomendada de N promoveu maior taxa de cobertura do solo, assim como proporcionou um verde mais intenso em *Z. japonica*, todavia, a dose de 75% da dose recomendada de N ocasionou maior massa dos tapetes. As inoculações com *P. fluorescens* e *A. brasilense* propiciaram incremento na matéria seca da parte aérea de grama Esmeralda. O fornecimento de silício beneficiou a matéria seca de raízes, rizomas e estolões que foi maior sob o fornecimento deste elemento. A inoculação com *Azospirillum brasilense* resultou em maior teor de P na análise dos atributos químicos de solo e muito provavelmente também promoveu efeito positivo na disponibilização deste nutriente para as plantas. A redução da adubação nitrogenada afetou negativamente as concentrações e acúmulos dos macronutrientes primários em parte aérea de grama Esmeralda. Sendo assim, com o suprimento recomendado de nitrogênio houve maiores concentrações de N, P, K na parte aérea de *Zoysia japonica*. Contudo, a inoculação com *P. fluorescens* aliado ao uso de Potasil com o fornecimento de 75% da dose de N favoreceu o maior crescimento das plantas, sendo esta combinação a mais indicada para o cultivo de grama Esmeralda de acordo com o presente estudo, conseguindo reduzir em 25% a adubação nitrogenada do gramado.

Palavras-chave: acúmulo de nutrientes; *Pseudomonas fluorescens*; *Azospirillum brasilense*; *Zoysia japonica* Steud.; fontes de potássio.

ABSTRACT

The Esmeralda grass is the most commercialized in Brazil and the nutrient required in greater quantity in its production is nitrogen (N). Inoculation with plant growth-promoting bacteria (PGPB) can reduce the consumption of nitrogen fertilizers, mainly due to the effect of atmospheric N₂ fixation carried out by some bacteria, in addition to greater root development due to phytohormonal action, thus increasing water absorption and nutrients from the grass, and contribute to sustainable agriculture with less impact on the environment. Another determining factor for good plant development is greater efficiency in water use due to less water loss through evapotranspiration, enhancing the use of solar radiation by keeping the leaves more upright, making them more resistant to traffic or trampling, these effects may be benefits from the use of silicon (Si) fertilization, in addition to providing a certain tolerance to pest and pathogen attack, as well as better carpet quality. Given the above, the PGPB combined with the supply of silicon were little tested in order to assess their efficiency in areas of sod production associated with the reduction of the supplied N dose. To affirm the beneficial effects of PGPB in the sod production and this possible reduction in production costs with regard to the acquisition of nitrogen fertilizers, research is necessary. Therefore, the objective of this research was to evaluate the soil coverage rate, dark green color index, dry matter of the aerial part and roots, rhizomes and stolons, mat mass, concentration and accumulation of nutrients, chemical attributes of the soil in Esmeralda grass production area, under the effect of inoculation with bacteria that promote plant growth (*P. fluorescens* and *A. brasilense*) combined with silicon nutrition through potassium fertilization and doses of N, resulting in a 25% reduction in nitrogen fertilization, greater plant nutrition and soil fertility, as well as the production of quality grass mats. The experiment took place in the municipality of Pereira Barreto - SP, Brazil and the experimental design was in randomized blocks with 12 treatments invested in a 3x2x2 factorial scheme, with four replications, each plot was included by 9 m². The first factor: three inoculations, the control (not inoculated) and two BPCPs inoculations (*A. brasilense* and *P. fluorescens*), the second factor: Reduction of N doses (100 and 75% of the dose applied in the production area, of 280 kg ha⁻¹) and the third factor: with and without Si supplied via potassium fertilization (potassium with 25% total Si and potassium chloride, in doses of 240 kg ha⁻¹ of K₂O). The 100% N dose provided a 10% and 12% increase in TCS at 90 and 143 DAA, respectively, in relation to the adequate 75% N dose. There was a higher TCS (10.6 and 8.8%) in the control compared to inoculation with *A. brasilense* and *P. fluorecens*, respectively, at 143 DAA. It was verified that the supply of the highest dose of N provided a higher ICVE of the

grass carpet in two proven periods (90 DAA and 143 DAA). Inoculations with *A. brasilense* and *P. fluorescens* provided an increase of 15 and 23%, respectively, in the dry matter of the aerial part in relation to the control. The recommended dose of N promoted a higher rate of soil coverage, as well as providing a more intense green in *Z. japonica*, however, the dose of 75% of the recommended dose of N caused greater mass of the mats. Inoculations with *P. fluorescens* and *A. brasilense* provided an increase in the shoot dry matter of Esmeralda grass. The supply of silicon benefited the dry matter of roots, rhizomes and stolons, which was greater under the supply of this element. Inoculation with *Azospirillum brasilense* was proven to produce a higher P content in the analysis of soil chemical attributes and most likely also promoted a positive effect on the availability of this nutrient for plants. The reduction in nitrogen fertilization affected the concentrations and accumulation of primary macronutrients in the aerial part of Esmeralda grass. Therefore, with the recommended supply of nitrogen there were higher concentrations of N, P, K in the aerial part of *Zoysia japonica*. However, inoculation with *P. fluorescens* combined with the use of potassium with the supply of 75% of the N dose favored greater plant growth, this combination being the most suitable for the cultivation of Esmeralda grass according to the present study, achieving reduce nitrogen fertilization of the lawn by 25%.

Keywords: nutrient accumulation; *Pseudomonas fluorescens*; *Azospirillum brasilense*, *Zoysia japonica* Steud.; potassium sources.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Temperaturas mínimas e máximas e precipitação pluvial durante a condução do experimento com grama Esmeralda.....	28
Figura 2 – Vista parcial da área após delimitação das parcelas.....	29
Figura 3 – Inoculação com BPCPs com auxílio de bomba costal, em 12/11/2021.....	30
Figura 4 – Vista geral da área experimental após a adubação mineral (tratamentos).....	31
Figura 5 – Avaliação de TCS utilizando câmera digital Fujifilm FinePix–S1800, 12 megapixels em altura padrão de 1,30 m, 59 DAA das bactérias.	33
Figura 6 – Leitura da TCS no software Canopeo® através de imagem digital.....	33
Figura 7 – Avaliação do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) 59 DAA das bactérias.	34
Figura 8 – Foto do aparelho GreenSeeker Handheld Crop Sensor (Trimble®) utilizado na avaliação de NDVI.	35
Figura 9 – Amostragem do plug com o tubo de aço inox para posterior obtenção das amostras de rizomas + raízes + estolões de grama Esmeralda.	36
Figura 10 – Amostra do “plug” de grama Esmeralda para posterior obtenção das amostras de rizomas + raízes + estolões de grama Esmeralda.	36
Figura 11 – Pesagem de tapetes no momento da colheita realizada dia 04/08/2022.	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Atributos químicos do solo na camada de 0,00 a 0,20 m antes da instalação do experimento de grama Esmeralda. Ilha Solteira – SP, 2021.....	29
Tabela 2 – Taxa de Cobertura do Solo (TCS) pela grama Esmeralda aos 59, 90 e 143 dias após a aplicação (DAA) das bactérias promotoras do crescimento de plantas (BPCP) em função dos tratamentos.	39
Tabela 3 – Índice de Cor Verde Escura (ICVE) da grama Esmeralda aos 59, 90 e 143 dias após a aplicação (DAA) das bactérias promotoras do crescimento de plantas (BPCP) em função dos tratamentos.	40
Tabela 4 – Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) da grama Esmeralda aos 59, 90 e 143 dias após a aplicação (DAA) das bactérias promotoras do crescimento de plantas (BPCP) em função dos tratamentos.....	42
Tabela 5 – Matéria seca das folhas e das raízes + rizomas + estolões da grama Esmeralda em função da fonte K ₂ O, inoculação com bactérias promotoras do crescimento de plantas e de doses de nitrogênio.	43
Tabela 6 – Efeito da fonte K ₂ O e doses de N sobre a matéria seca das folhas de grama Esmeralda.	44
Tabela 7 – Efeitos das fontes de K ₂ O e das inoculações de BPCPs sobre a massa de matéria seca de raízes + rizomas + estolões de grama Esmeralda.....	45
Tabela 8 – Concentração de nutrientes e silício nas folhas de grama Esmeralda em função da fonte K ₂ O, inoculação com bactérias promotoras de crescimento de plantas e doses de nitrogênio.	47
Tabela 9 – Efeitos das doses de N sobre a concentração foliar de P, Cu e Fe e inoculação com BPCP. Efeito da fonte K ₂ O sobre a concentração foliar de S e Cu e inoculação com BPCP em grama Esmeralda.....	49
Tabela 10 – Concentração de nutrientes e silício nas raízes + rizomas + estolões de grama Esmeralda em função da fonte K ₂ O, inoculação com bactérias promotoras do crescimento de plantas e de doses de nitrogênio.	51
Tabela 11 – Efeito das doses de N e das inoculações de BPCPs sobre a concentração de K, Ca e Cu nas raízes, rizomas e estolões de grama Esmeralda.	52
Tabela 12 – Massa dos tapetes de grama Esmeralda após a colheita, em função da fonte K ₂ O, inoculação com bactérias promotoras do crescimento de plantas e de doses de nitrogênio.....	53

Tabela 13 – Análise química do solo na camada de 0,00 a 0,20 m em função dos tratamentos e após cultivo de grama Esmeralda.	54
Tabela 14 – Efeito das fontes de K ₂ O e doses de N sobre o teor de fósforo (P) e matéria orgânica (M.O.) do solo na camada de 0,00 a 0,20 m após cultivo de grama Esmeralda....	55
Tabela 15 – Efeito das fontes de K ₂ O e das inoculações com BPCPs sobre o teor de P do solo na camada de 0,00 a 0,20 m, após cultivo de grama Esmeralda.....	56
Tabela 16 – Efeito das doses de N e das inoculações de BPCPs sobre o teor de P, M.O. e pH do solo na camada de 0,00 a 0,20 m, após cultivo de grama Esmeralda.....	57
Tabela 17 – Acúmulo de nutrientes e silício nas folhas de grama Esmeralda em função da fonte K ₂ O, inoculação com bactérias promotoras do crescimento de plantas e doses de nitrogênio.....	59
Tabela 18 – Efeito das doses de N e da fonte K ₂ O sobre o acúmulo de Ca, B e Cu nas folhas de grama Esmeralda.....	60
Tabela 19 – Efeito da fonte K ₂ O e inoculação com BPCPs sobre o acúmulo de Cu, doses de N e inoculação com BPCPs sobre o acúmulo de Cu e Fe nas folhas de grama Esmeralda.	61
Tabela 20 – Acúmulo de nutrientes e silício nas raízes, rizomas e estolões de grama Esmeralda em função da fonte K ₂ O, inoculação com bactérias promotoras do crescimento de plantas e de doses de nitrogênio.	62
Tabela 21 – Efeito da fonte K ₂ O e doses de N sobre o acúmulo de K, S e Cu nas raízes, rizomas e estolões de grama Esmeralda.	63
Tabela 22 – Efeito da fonte K ₂ O e inoculação com BPCPs sobre o acúmulo de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn nas raízes, rizomas e estolões de grama Esmeralda...	66
Tabela 23 – Efeito da inoculação com BPCPs e doses de N sobre o acúmulo de K, S, Cu, Fe, Mn, Zn e Si nas raízes, rizomas e estolões de grama Esmeralda.....	68

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
2.1	Gramma Esmeralda (<i>Zoysia japonica</i> Steud.).....	18
2.2	Adubação nitrogenada em gramados	19
2.3	Bactérias Promotoras de Crescimento de Plantas (BPCPs).....	21
2.4	Aspectos gerais da utilização de Si na agricultura	24
2.5	A interação entre o Si e as BPCPs.....	27
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	28
3.1	Caracterização da área e condução experimental.....	28
3.2	Delineamento experimental e tratamentos.....	32
3.3	Avaliações realizadas	32
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
4.1	Taxa de Cobertura do Solo (TCS)	38
4.2	Índice de Cor Verde Escuro (ICVE).....	39
4.3	Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)	39
4.4	Matéria seca das folhas, raízes + rizomas + estolões	40
4.5	Concentração de nutrientes e silício em folhas de grama Esmeralda	45
4.6	Concentração de nutrientes e silício nas raízes, rizomas e estolões de grama Esmeralda	49
4.7	Massa dos Tapetes	52
4.8	Atributos químicos do solo	54
4.9	Acúmulo de nutrientes e silício nas folhas de grama Esmeralda	57
4.10	Acúmulo de nutrientes e silício nas raízes, rizomas e estolões de grama Esmeralda.....	61
5	CONCLUSÃO	69
	REFERÊNCIAS	70

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, a produção de grama cultivada teve seu primeiro registro em 1966 no município de Curitiba, Estado do Paraná (VILLAS BÔAS *et al.*, 2020). De acordo com o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) e a Associação Grama Legal, atualmente, estima-se que a área de produção de gramas possui ocupação média de 32,5 mil hectares no país, e cerca de 79% dessas gramas cultivadas são Zoysias (principalmente grama Esmeralda) (SANTOS; CARRIBEIRO, 2022). A grama Esmeralda (*Zoysia japonica* Steud) é a espécie mais comercializada e utilizada na formação de jardins urbanos, residenciais, áreas esportivas, parques industriais, obras públicas, rodovias, jardins residenciais, contenção de taludes, demonstrando uma boa adaptação a diversas localidades (GAZOLA *et al.*, 2019).

Para alcançar níveis adequados de produção de grama de alta qualidade, é necessário implementar um programa intensivo de adubação nitrogenada com doses elevadas, juntamente com a irrigação, o que acarreta em despesas significativas para os produtores. Essas despesas representam aproximadamente 21,5% dos custos totais de produção da grama (AGRIANUAL, 2023). A dependência da agricultura em relação aos fertilizantes minerais é uma fonte de preocupação significativa, devido aos riscos associados ao uso indiscriminado desses insumos, incluindo a lixiviação de fertilizantes, que pode resultar na eutrofização de águas subterrâneas e corpos d'água, bem como no aumento das emissões de gases de efeito estufa (CHIEN *et al.*, 2011; MARKS *et al.*, 2013).

O nitrogênio influencia em várias características importantes no manejo do gramado (GODOY; VILLAS BÔAS; BACKES, 2012), considerado o nutriente utilizado pelas plantas em maior quantidade, afetando diretamente o rendimento das culturas, por desempenhar papéis importantes na nutrição e no crescimento das plantas (OMARA *et al.*, 2020). Este nutriente é essencial para a manutenção estética da qualidade dos gramados, promovendo um verde intenso (SANTOS *et al.*, 2019), além disso, plantas com um teor adequado de N, fisiologicamente, possuem maior capacidade fotossintética de sintetizar carboidratos dada a maior concentração de clorofila, promovendo melhor captação de energia luminosa da radiação solar (GODOY *et al.*, 2012).

Neste contexto, uma das alternativas para a redução da adubação nitrogenada é a utilização de bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCPs), tais como *Pseudomonas fluorescens* e *Azospirillum brasilense* que podem propiciar uma forma sustentável de produção, com aumento na lucratividade do produtor rural pois as bactérias são uma tecnologia de baixo custo em relação ao fertilizante. E devido ao sucesso obtido, pesquisas sobre inoculação com

BPCPs têm crescido rapidamente, não só em gramíneas e leguminosas, mas também em espécies florestais, ornamentais, frutíferas e vegetais (FUKAMI *et al.*, 2018; TEIXEIRA FILHO; GALINDO, 2019). Estudos foram realizados com a inoculação de *A. brasilense* em gramíneas, em trigo (GALINDO *et al.*, 2020), milho (SOUZA *et al.*, 2019) e capim Mavuno inoculado com *A. brasilense* e *P. fluorescens* (DUARTE *et al.*, 2021). Essas bactérias são epífitas ou endofíticas residentes, não patogênicas, que atuam diretamente promovendo o crescimento ou indiretamente como agentes de controle biológico de doenças de plantas e promoção do crescimento de plantas na rizosfera e/ou nos tecidos vegetais (MARIANO *et al.*, 2004).

Outra prática que exerce inúmeros benefícios em gramíneas tem sido a adubação com silício (Si). Este é o segundo elemento mais abundante na crosta terrestre, logo após o oxigênio (TUBANA *et al.*, 2016; NEU *et al.*, 2017). Todavia, a disponibilidade de Si em solos de clima tropical é restrita, devido aos altos níveis de intemperismo e dessilicação dos minerais silicatados primários (HAYNES *et al.*, 2017; WALSH *et al.*, 2018; LINDEN *et al.*, 2019). De acordo com Etesami (2018), a utilização de Si aliado as BPCPs pode ser uma estratégia interessante e sustentável para melhorar o desenvolvimento de plantas em condições subótimas. A fertilização com Si promove efeitos benéficos principalmente quando as plantas são submetidas a estresses bióticos e abióticos, comuns em condições edafoclimáticas adversas. Este elemento, quando adicionado ao solo, ou via foliar ou até mesmo na solução nutritiva, proporciona efeitos benéficos para a planta, tornando a mesma mais tolerante a possíveis ataques de pragas e patógenos, reduzindo a perda de água por evapotranspiração, promovendo um melhor aproveitamento da umidade (GODOY; VILLAS BÔAS; BACKES, 2012a).

Não foram encontrados estudos relacionados ao uso estratégico de silício aliado a inoculação com as BPCPs para amenizar o uso de fertilizantes nitrogenados em grama Esmeralda. Acredita-se que possa ocorrer efeito sinérgico entre a inoculação com *A. brasilense* ou *Pseudomonas fluorescens* e a aplicação de silício, pois as BPCPs promovem crescimento de raízes e parte aérea, enquanto o Si pode garantir maior resistência das plantas a estresses bióticos e abióticos, possibilitando assim, maior eficiência da adubação nitrogenada com o crescimento de um gramado mais saudável e a redução das doses de N utilizadas na produção de tapetes de grama.

Diante do exposto, objetivou-se com este estudo avaliar a taxa de cobertura do solo, índice de cor verde escuro, matéria seca da parte aérea e de raízes, rizomas e estolões, massa dos tapetes, concentração e acúmulo de nutrientes, atributos químicos do solo em área de produção de grama Esmeralda, sob o efeito da inoculação com bactérias promotoras de

crescimento de planta (*P. fluorescens* e *A. brasilense*) aliado ao fornecimento de silício por meio da adubação potássica e doses de N, visando à redução em 25% da adubação nitrogenada, maior nutrição de plantas e fertilidade do solo, assim como a produção de tapetes de grama de qualidade.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Grama Esmeralda (*Zoysia japonica* Steud.)

Originária da Ásia, a grama Esmeralda foi inserida no Brasil em 1977, pelo engenheiro agrônomo Minoru Ito e seu parceiro de negócios Rene Arruda, tornando-se a mais cultivada e comercializada no país, devido sua facilidade de cultivo, bem como a qualidade dos tapetes (GURGEL, 2003; PIEDADE, 2004; GURGEL, 2012; VILLAS BÔAS *et al.*, 2020). Grama perene, com crescimento prostrado, altura baixa, estolonífera e rizomatosa. Possui folhas enroladas na gema, lígula com franja de pelos, lâmina foliar estreita e rígida, de coloração verde de intensidade média, com pelos finos espalhados pela face ventral da lâmina foliar com bordas lisas, bem como o ápice pontiagudo da folha, assemelhando-se a uma agulha quando em estresse hídrico (PATTON, 1995; CHRISTIANS, 1998; KOMMA, 1999; CASLER; DUNCAN, 2003; GURGEL, 2003; BIGELOW, 2009; GODOY *et al.*, 2012).

De acordo com Godoy *et al.* (2012), possui alta adaptação às condições brasileiras, podendo ser utilizada em diversas regiões do país. Apresentando ampla resistência ao pisoteio, com tolerância a um mínimo de sombreamento, antigamente era a principal espécie de grama utilizada em campos de futebol e recentemente se tornou a mais usada em jardins públicos e residências, campos esportivos de baixa performance e margens de rodovias. A *Z. japonica* é bastante utilizada na contenção de taludes e em solos com possíveis problemas de erosão, devido seu vigoroso sistema radicular e rizomas (GURGEL, 2003; GODOY, VILLAS BÔAS; BACKES, 2012; GODOY; ALMEIDA, 2015), adaptando-se a diferentes tipos de solo com boa capacidade de drenagem (GODOY; VILLAS BÔAS, 2008). Possui grande destaque em jardins litorâneos na região Nordeste do Brasil, em condomínios, playgrounds, campos esportivos, áreas industriais, casas de praia, restaurantes, hotéis, clubes e até mesmo em hospitais (ARIGONI, 2004; ALBUQUERQUE, 2009; LOGES *et al.*, 2013).

Vem sendo muito utilizada em canteiros centrais e laterais de rodovias, sendo estas, responsáveis por grande parte do consumo da grama Esmeralda (ZANON, 2015). É uma planta rizomatosa e estolonífera e como consequência, pode ser colhida em área total, tendo em vista que após a colheita do tapete de grama, os rizomas subsuperficiais permanecem na área, ocorrendo posteriormente a brotação e uma nova cobertura do solo. Gramas com essas propriedades (rizomatosas) detêm uma enorme capacidade de regeneração, e estão protegidas contra possíveis danos (GURGEL, 2003; UNRUH, 2004; GODOY, 2005).

A grama Esmeralda é produzida sobre um forte sistema de manejo e comercializada em tapetes, isto é, uma cobertura da grama “madura” (CHARBONNEAU, 2004). O período de um ciclo de produção do tapete possui média de 12 meses, rendendo aproximadamente 80%, ou seja, 8000 m² de grama por hectare (GODOY, VILLAS BÔAS; BACKES, 2012; SANTOS; CARRIBEIRO, 2022).

2.2 Adubação nitrogenada em gramados

O N é considerado o nutriente mineral com maior custo entre os nutrientes fornecidos para as plantas, o que mais consome energia para ser produzido, assim como o mais poluente, entretanto, é também o mais limitante à produção vegetal (HUNGRIA *et al.*, 2007). Malavolta (2006) cita que a principal fonte de N na natureza, se encontra na atmosfera, apresentando em torno de 79% do volume total composto pelo gás N₂. E pode ser disponibilizado para as plantas por meio da fixação biológica de N utilizando bactérias diazotróficas (PANKIEVICZ *et al.*, 2015).

Ainda que seja um nutriente de extrema importância, a quantidade de N disponível nos solos para suprir as exigências do gramado a este nutriente ainda é insuficiente, portanto, se torna necessário realizar aplicações regulares de adubos nitrogenados que por sua vez é o nutriente exigido em maiores quantidades pelas gramas, influenciando em diversas características que promovem a qualidade dos tapetes de grama (BOWMAN; CHERNEY; RUFTY JUNIOR, 2002; GODOY *et al.*, 2012). Dessa forma, o manejo da fertilização nitrogenada de forma adequada, proporciona tapetes de qualidade (GODOY, VILLAS BÔAS; BACKES, 2012), com sistema radicular vigoroso e profundo, melhorando a eficiência na absorção de água e outros nutrientes (TRENHOLM, 2000).

Vale ressaltar ainda, que na colheita o tapete é retirado da área com os nutrientes absorvidos pela grama, além destes estarem presentes no próprio solo (BACKES *et al.*, 2010; TEIXEIRA, 2016), uma vez que uma camada de solo com cerca de 1 cm de espessura é levada da área junto com o tapete. Neste sentido, deve ser alta a dose de fertilizante aplicada para elevar a concentração do nutriente, suprimindo a redução de aeração nas raízes, bem como a absorção ativa de nutrientes (GODOY, VILLAS BÔAS; BACKES, 2012). Segundo Godoy e Villas Bôas (2003), essas altas doses serão utilizadas por muitos anos após a implantação de grama na área, sem que o solo seja revolvido de forma efetiva, o que acaba reduzindo a eficiência na absorção dos nutrientes pelas plantas.

Doses baixas de nitrogênio têm um impacto negativo na taxa de cobertura do solo pela grama, resultando na restrição do crescimento da parte aérea e no desbotamento da cor verde intensa (geralmente levando ao amarelecimento) (SANTOS et al., 2012; LATORRE; GODOY; TIBÃES, 2015). Por outro lado, doses excessivas de nitrogênio amplificam o crescimento da parte aérea em detrimento do sistema radicular, tornando o gramado mais suscetível a danos após o corte ("liftability") (KOSKE, 1994; CHRISTIANS, 1998; CARROW; WADDINGTON; RIEKE, 2001; SARTAIN, 2002). Além disso, doses excessivas aumentam a vulnerabilidade das plantas a pragas e doenças fúngicas, bem como resultam na lixiviação de nitrato para camadas mais profundas do solo, incluindo o lençol freático, o que pode levar à contaminação da água (ABREU *et al.*, 2015; LATORRE; GODOY; TIBÃES, 2015). Essa prática também aumenta a frequência de cortes da parte aérea, levando à exportação de nutrientes e ao aumento dos custos de manutenção do gramado (GODOY, VILLAS BÔAS; BACKES, 2012; ABREU *et al.*, 2015).

Nesse contexto, quando aplicado corretamente, o nitrogênio (N) promove um crescimento excepcional e aumenta a resistência das gramíneas a danos (BOWMAN; CHERNEY; RUFTY JUNIOR, 2002), desempenhando um papel fundamental no vigor, na coloração e no desenvolvimento adequado dessas plantas (JIMÉNEZ, 2008). A quantidade de adubo a ser usada deve ser determinada com base no uso específico do gramado, que pode ser residencial, campos esportivos ou para contenção de taludes. Em áreas onde as gramas são empregadas para o controle de erosão, é de extrema importância aplicar doses equilibradas de N, pois isso acelera a cobertura do solo (GODOY; VILLAS BÔAS, 2003). A dose de N deve ser ajustada considerando fatores como a necessidade de recuperação, espécie de grama, qualidade desejada, remoção ou não do corte, frequência de irrigação, tipo de solo e condições climáticas (CARROW; WADDINGTON; RIEKE, 2001). A aplicação deve ser realizada durante a fase de maior crescimento e, conseqüentemente, maior demanda por nutrientes (GODOY, VILLAS BÔAS; BACKES, 2012).

Segundo Plank e Carrow (2003), no manejo de gramados, a análise nutricional das plantas desempenha um papel fundamental. Ela serve para confirmar suspeitas visuais de sintomas de deficiência, detectar possíveis toxicidades e até mesmo identificar deficiências ocultas (quando não há sinais visíveis de deficiência, mas a concentração baixa do nutriente é suficiente para prejudicar o desenvolvimento e afetar negativamente a qualidade). Além disso, a análise nutricional auxilia na avaliação da eficácia das adubações, contribui para recomendações de fertilização e permite monitorar o estado nutricional das plantas ao longo do ciclo de crescimento.

Com relação as quantidades de N, Godoy *et al.* (2022) recomendam cerca de 300 kg ha⁻¹. A quantidade total de N que será fornecida deve ser parcelada durando o ciclo produtivo, a fim de evitar perdas do nutriente, bem como a queima do gramado. Dessa forma, recomenda-se aplicar 10 a 15% da dose total de N logo após a colheita do tapete do ciclo anterior, essa adubação é de extrema relevância, visto que estimula o crescimento da parte aérea, principalmente antes dos meses de baixas temperaturas e fotoperíodo mais curto. O restante da dose deverá ser parcelado em quatro aplicações com intervalo de 45 a 60 dias entre estas. Se a fonte de N a ser utilizada for a ureia, é fundamental a irrigação após a adubação, uma vez que podem ocorrer perdas por volatilização da amônia (N-NH₃) (GODOY, VILLAS BÔAS; BACKES, 2012).

Diferentemente de outros sistemas de produção agrícola, a compactação do solo em áreas de produção de grama é comum, devido a passagem do rolo compactador que é um dos manejos necessários na formação de tapetes de grama, esta atividade modifica as características e as propriedades do solo, sobretudo, reduzindo a eficiência na absorção de nutrientes pelas plantas. Tendo em vista que a descompactação destes solos não é possível, pois escarificações e subsolagens, quebrariam a estrutura necessária para se obter o corte do tapete, sendo assim, a quantidade de fertilizantes adicionada no sistema de produção de gramado é alta (GODOY *et al.*, 2012).

Diante do exposto, evidencia-se a importância do N para gramados, assim como a necessidade de se aumentar a eficiência da adubação nitrogenada em paralelo a sustentabilidade.

2.3 Bactérias Promotoras de Crescimento de Plantas (BPCPs)

Projeções indicam que nos próximos anos haverá um aumento considerável no uso de fertilizantes no Brasil para atender às demandas de uma agricultura mais intensiva e à recuperação de áreas degradadas. Considerando que o mercado brasileiro de fertilizantes é altamente vulnerável e dependente de importações, é crucial encontrar métodos alternativos para o uso eficaz desses insumos (CEPEA, 2023). Nesse contexto, certos microrganismos, como as bactérias fixadoras de nitrogênio, as bactérias promotoras do crescimento das plantas e os fungos micorrízicos, entre outros, podem desempenhar um papel relevante e estratégico na busca por altas produtividades a um custo mais baixo e com uma menor dependência das importações de insumos (HUNGRIA, 2011).

A fixação biológica de nitrogênio (FBN) desempenha um papel fundamental na otimização do uso desse nutriente na agricultura. Ela envolve a capacidade das plantas de utilizar o nitrogênio atmosférico, graças à ação de bactérias diazotróficas que convertem o nitrogênio atmosférico em nitrogênio combinado (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). A capacidade de fixação biológica de N_2 estimula o crescimento das plantas (HUERGO *et al.*, 2008); em simbiose com as plantas, essas bactérias capturam o N_2 da atmosfera e o disponibilizam para as plantas na forma amoniacal, facilitando assim a absorção dessas moléculas pelo solo. Esse processo ocorre graças à ação das bactérias após a FBN e o transporte do nitrogênio fixado para os tecidos das plantas (GALINDO *et al.*, 2020).

As BPCPs têm seu habitat no solo e são frequentemente encontradas na rizosfera de diversas plantas cultivadas. Entre os gêneros mais estudados, destacam-se *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Azospirillum* e *Rhizobium*. Esses microrganismos proporcionam uma ampla gama de benefícios para o desenvolvimento das plantas, incluindo efeitos positivos na germinação de sementes, emergência de plântulas e crescimento das plantas (LAZARETTI; BETTIOL, 1997). De acordo com Bolan *et al.* (1997), a inoculação do solo com BPCPs é uma alternativa para estimular o crescimento das plantas e a solubilização de fosfatos inorgânicos, uma vez que eles excretam ácidos orgânicos e colonizam a rizosfera. Além disso, essa prática reduz os custos associados às fontes de fósforo (P) no solo e também atua como uma medida de controle biológico de patógenos (CORREA *et al.*, 2008).

Nas bactérias endofíticas ou associativas, o complexo de dinitrogenase desempenha a função de converter o nitrogênio atmosférico (N_2) em amônia. É importante destacar que, embora essas bactérias realizem a fixação biológica de nitrogênio, esse processo só consegue atender parcialmente às necessidades das plantas. Portanto, a simples inoculação não é suficiente para suprir completamente as demandas de nitrogênio das plantas, embora elas também sejam capazes de fixar nitrogênio (HUNGRIA, 2011). No Brasil, há uma longa tradição de pesquisa na FBN utilizando *Azospirillum* spp. em gramíneas, e os resultados observados após essa inoculação incluem um aumento na absorção de água e minerais, bem como uma maior tolerância ao estresse causado por condições como seca e salinidade. Isso resulta em um aumento no vigor e na produtividade das plantas (BASHAN; HOLGUIN; DE-BASHAN, 2004).

Diversos estudos foram publicados, descrevendo os benefícios dessas bactérias em culturas de gramíneas, como o arroz (TAN *et al.*, 2015), cana-de-açúcar (*Saccharum* sp.) (SCHULTZ *et al.*, 2012), sorgo (SANTOS *et al.*, 2017) e pastagens (*Urochloa* sp.) (HUNGRIA *et al.*, 2016). As substâncias liberadas por essa bactéria, responsáveis pelo estímulo do

crescimento radicular são o ácido indol-acético (AIA), giberelinas e citocininas (TIEN; GASKINS; HUBBELL., 1979).

O aumento no desenvolvimento das raízes também está relacionado a vários outros fatores, como melhorias nos parâmetros fotossintéticos das folhas, incluindo o teor de clorofila e a condutância estomática, um aumento no conteúdo de prolina tanto na parte aérea quanto nas raízes, aprimoramento no potencial hídrico, acréscimo no conteúdo de água no apoplasto, aumento da elasticidade da parede celular e uma maior produção de biomassa (BARASSI, *et al.*, 2008). Bashan *et al.* (2006) também verificaram aumento nos pigmentos fotossintéticos, como a clorofila, resultando em plantas mais verdes e sem estresses relacionados a água.

De acordo com Novakowski *et al.* (2011), uma das estratégias para aumentar a produção agrícola, reduzir custos e minimizar impactos ambientais é combinar o potencial genético das plantas com os recursos biológicos do solo, como as bactérias diazotróficas, especialmente aquelas do gênero *Azospirillum*. Essas bactérias têm sido amplamente utilizadas como inoculantes em várias culturas, incluindo cereais, algodão, cana-de-açúcar, café, *Urochloas* sp. e outras (REIS, 2007). O gênero *Azospirillum* abrange um grupo de bactérias promotoras do crescimento de plantas de vida livre, encontradas em praticamente todos os lugares do planeta. Além disso, há relatos de que esse gênero de bactérias pode também atuar como endofíticas facultativas (HUERGO *et al.*, 2008).

A inoculação com *A. brasilense* pode resultar em um aumento na produção de matéria seca, no acúmulo de nitrogênio nas plantas e na produtividade de grãos, especialmente quando essa associação envolve bactérias e genótipos não melhorados, e em situações de baixa disponibilidade de nitrogênio (OKON; VANDERLEYDEN, 1997). Portanto, essa abordagem pode levar a uma redução no uso de fertilizantes nitrogenados minerais, com economias que podem ser equivalentes ou até superiores às obtidas com leguminosas que fixam seu próprio nitrogênio (HUNGRIA, 2011). Galindo (2015), em seu estudo sobre a inoculação com *Azospirillum brasilense*, combinada com diferentes doses de N (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹) e fontes de N (Ureia e Super N) nas culturas de milho e trigo em uma região de Cerrado, observou maior eficiência agrônômica das fontes de nitrogênio, além de uma redução na quantidade necessária de nitrogênio a ser aplicada em cobertura quando o *A. brasilense* foi utilizado. Isso sugere a necessidade de mais pesquisas em condições semelhantes.

As *Pseudomonas* sp. são consideradas um dos grupos de microrganismos mais importantes devido às suas múltiplas propriedades, que incluem a capacidade de solubilizar fosfatos. Além de contribuir para a solubilização de fosfatos, essas bactérias desempenham um papel fundamental no desenvolvimento das plantas, pois produzem hormônios e vitaminas,

induzem resistência sistêmica contra patógenos e reduzem a população de microrganismos prejudiciais na rizosfera. Isso as torna altamente promissoras como inoculantes em práticas de agricultura sustentável (NAIK *et al.*, 2008). Em particular, as *P. fluorescens* têm sido empregadas como promotoras de crescimento em plantações de milho, enquanto na cultura do arroz, elas produzem concentrações elevadas de citocinina, um hormônio vegetal que estimula o crescimento das plantas (ZUCARELLI *et al.*, 2011).

Na literatura são escassas as pesquisas com a inoculação de BPCPs em gramas, principalmente aliadas ao fornecimento de Si. Por isso, são necessários novos experimentos a fim de aferir a eficiência em áreas de produção associada à redução da dose de N fornecida, tendo em vista os consideráveis aumentos nos custos de produção devido a aquisição de adubos nitrogenados, aumentando, dessa forma, a lucratividade do produtor e reduzindo os danos ambientais.

2.4 Aspectos gerais da utilização de Si na agricultura

O silício (Si) compreende cerca de 28% da crosta terrestre, sendo o segundo elemento mineral mais abundante no solo, logo após o oxigênio (ELAWAD; GREEN, 1979; EPSTEIN, 1994). Embora seja um elemento químico em abundância, a deficiência de Si na maioria dos solos minerais em todo o mundo, ainda pode ocorrer, devido ao contínuo cultivo de culturas acumuladoras deste elemento, como o arroz (ELAWAD; GREEN, 1979).

Várias pesquisas constataram o aumento na produtividade em Poaceas que receberam adubação silicatada, como por exemplo a cana-de-açúcar (KORNDORFER; PEREIRA; CAMARGO, 2002a), arroz (PEREIRA *et al.*, 2004; RAMOS; KORNDÖRFER; NOLLA, 2008), milho e trigo (GALINDO *et al.*, 2020), bem como o aumento de efeitos positivos na atividade de algumas enzimas que participam no processo de fotossíntese de gramas e arroz (SAVANT; DATNOFF; SNYDER, 1997; SCHMIDT; ZHANG; CHALMERS, 1999). O Si propicia a planta um maior aproveitamento da radiação solar, devido ao fato das folhas permanecerem eretas, tornando-as mais resistentes ao acamamento, além proporcionar uma elevada resistência aos gramados com relação ao pisoteio e uso contínuo dos mesmos, sendo essencial para gramados esportivos devido também ao melhor rolamento da bola (GODOY, VILLAS BÔAS; BACKES, 2012).

A presença de silicatos no solo reduz a disponibilidade de elementos tóxicos, como alumínio (Al) e que podem causar toxicidade como ferro (Fe) e manganês (Mn) as plantas, esse fato foi observado em arroz e cana-de-açúcar. Foi constatado também o aumento na resistência

por parte das plantas ao estresse provocado pela salinidade, quando as mesmas recebiam adubações silicatadas (LIANG *et al.*, 1996; SAVANT; DATNOFF; SNYDER, 1997). Este efeito ocorre devido ao fato do Si promover maior acúmulo de solutos nas células da grama, consequentemente, proporcionando a melhora do sistema defensivo da planta contra estresse (GODOY, VILLAS BÔAS; BACKES, 2012). Sendo assim, o Si fortalece folhas e caules, através da deposição de cutícula e pela manutenção da parede celular, lignina, polímeros e polissacarídeos (TAKAHASHI; MA; MIYAKE, 1990; HULL, 2004).

Muitas são as plantas capazes de absorver Si. O teor desta molécula no tecido vegetal pode variar de 1 g kg^{-1} a mais de 100 g kg^{-1} . São consideradas plantas acumuladoras, aquelas que possuem teor de Si maior que 10 g kg^{-1} , sendo este o caso das maiorias das gramíneas como milho, trigo, aveia, arroz, cana-de-açúcar e em alguns tipos de grama, como é o caso das gramas Bermudas e Zoysia. Em espécies como cavalinha, arroz e cana-de-açúcar, a concentração de silício chega a ser maior que a de macronutrientes como N e K (GODOY, VILLAS BÔAS; BACKES, 2012). É o único elemento químico que não acarreta prejuízo quando absorvido em excesso pelas plantas, sendo algumas delas consideradas acumuladoras, tais como arroz e cana-de-açúcar (CAMARGO, 2016).

A deficiência de Si ocorre com mais regularidade em solos muito intemperizados, com reduzida saturação de bases e baixo pH, como por exemplo em Latossolos (SAVANT; DATNOFF; SNYDER, 1997). Fortes chuvas em regiões onde este tipo de solo ocorre, pode promover elevados índices de intemperismo e alta taxa de lixiviação de alguns íons presentes na solução do solo (SAVANT; DATNOFF; SNYDER, 1997). Saigusa *et al.* (2000) demonstraram melhoria significativa na resistência ao desgaste em gramas do gênero *Zoysia* cultivar "Miyako" com o fornecimento de $22,4\text{ kg ha}^{-1}$ de silício como um condicionador de solo, também diminuiu significativamente o prejuízo causado pelo desgaste (ex: pisoteio) em plantas do gênero *Paspalum*, em torno 20% (TRENHOLM; DATNOFF; NAGATA, 2004). Em outro estudo, diversas cultivares de Bentgrass e Zoysiagrass apresentaram melhor qualidade de tapete, crescimento, resistência ao tráfego e de estresse térmico (LINJUAN *et al.*, 1999). A aplicação de fertilizantes silicatados em Santo Agostinho elevaram sua tolerância ao estresse hídrico (TRENHOLM; NAGATA, 2004). Além das Zoysias, que contém cerca de 12 g kg^{-1} de Si em suas folhas quando fornecido o elemento juntamente com a adubação (KORNDORFER *et al.*, 2004).

Em um estudo conduzido por Gussack *et al.* (1998), foi observado um crescimento mais robusto de bentgrass (*Agrostis palustris* HUDs.) durante a fase de implantação dos gramados com a aplicação de fertilizantes contendo silicato. De maneira similar, Brecht,

Kucharek e Nagata (2004), também constataram resultados favoráveis em relação a Santo Agostinho, onde a aplicação de silício resultou em um aumento significativo na cobertura do solo, com valores entre 17% a 24% superiores em comparação ao grupo de controle. Posteriormente, após um período de dez meses, uma área de 46 m² de Santo Agostinho foi colhida em cada tratamento. Além disso, partes frescas de cada tratamento foram transplantadas para uma área com solo arenoso, onde a qualidade do gramado e o desenvolvimento radicular foram monitorados ao longo de 21 dias. Os tratamentos que receberam adubação com silicato apresentaram um aumento de 13% no peso seco em comparação ao grupo de controle. Além disso, os tratamentos com silício promoveram um crescimento de raízes significativamente maior, com um comprimento médio de 0,8 a 1 cm superior em comparação com os tratamentos que não receberam a adubação com silicato (DATNOFF *et al.*, 2005).

Ao se concentrar nas células da camada epidérmica, o Si pode funcionar como uma barreira física contra a penetração de alguns tipos de fungos, principalmente em gramíneas. Além disso, atua como uma barreira química na epiderme das folhas, ativando genes envolvidos na produção de compostos secundários do metabolismo, como por exemplo polifenóis, e enzimas relacionadas ao mecanismo de defesa das plantas. Nesse sentido, o aumento do silício nos tecidos vegetais, promove a resistência da planta ao ataque de patógenos, devido à produção suplementar de toxinas que atuam como substâncias inibidoras do patógeno (KORNDÖRFER; PEREIRA; NOLLA, 2004; REIS *et al.*, 2008; CAMARGO, 2016).

Com a crescente necessidade de métodos ambientalmente corretos para a gestão de estresses bióticos e abióticos, o Si tem se mostrado uma valiosa ferramenta para a utilização em plantas capazes de sua acumulação, seu uso otimizando a performance enquanto unidade controladora de doenças em plantas seria ideal para inclusão na gestão integrada de pragas e doenças, reduzindo a utilização de defensivos (DATNOFF; KORNDORFER; GASPAR, 2008). Entretanto, investigações a respeito da utilização deste elemento para gramados ainda são incipientes.

Segundo Prado e Fernandes (2001) e Castro (2009), para a correção da acidez do solo, diversos materiais que contêm silicato em sua composição podem ser utilizados, como por exemplo escórias de siderurgias, metassilicato de cálcio, silicato de cálcio, silicato de magnésio e silicato de potássio. Estes materiais promovem a elevação do pH, da CTC, dos teores de cálcio e magnésio trocáveis, bem como a saturação por bases dos solos, elevando assim o teor de fósforo disponível e silício, reduzindo a toxidez de ferro, alumínio e manganês (KORNDORFER *et al.*, 2002b; PRADO; FERNANDES, 2003; PULZ *et al.*, 2008; CASTRO; CRUSCIOL, 2013).

Estudos vêm sendo realizados com relação a melhorias nos atributos químicos do solo sob o uso do silicato, podendo acrescentar efeitos benéficos quanto as propriedades químicas do solo, como elevação do pH, bem como teores de Ca e Mg, o ânion silicato pode proporcionar a disponibilidade de fósforo na solução do solo devido sua ocupação nos sítios de adsorção (na CTA) de fosfatos (LEITE, 1997; MELO, 2005; KORNDORFER *et al.*, 2010; SARTO *et al.*, 2014).

2.5 A interação entre o Si e as BPCPs

Pesquisas relacionando a interação entre a aplicação de Si e a inoculação com as BPCPs vem aumentando (CHANDRAKALA *et al.*, 2019; ETESAMI, 2018; REZAKHANI *et al.* 2019a, 2019b; BOROUMAND *et al.*, 2020). Recentemente, Mahmood *et al.* (2016) alegaram que a inoculação com BPCPs junto com a pulverização foliar de fertilizante silicatado promoveu melhor tolerância ao estresse de salinidade em plantas de feijão mungo (*Vigna radiata* L.) em comparação com BPCPs ou fertilizante de Si isolados.

Rezakhani *et al.* (2019a, 2019b) concluíram que a inoculação com *Pseudomonas* spp. combinada com a fertilização de Si pode melhorar trigo e sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench); Akhtar *et al.* (2021) relataram que a combinação entre a adubação silicatada e a aplicação com BPCPs foi benéfica para o crescimento do trigo.

Etesami (2018) propõe que o uso combinado de Si com as BPCPs pode ser uma tática útil e sustentável para elevar o crescimento das plantas em condições subótimas e, embora a aplicação combinada de BPCPs e fertilizante silicatado pareça uma estratégia viável e promissora para melhorar o desempenho da planta em terras agrícolas afetadas pela salinidade, os relatórios sobre o uso dessa técnica ainda são limitados.

Galindo *et al* (2019), estudaram métodos de inoculação aliados ao uso de silicato de Ca e Mg e obtiveram um aumento médio de 6,7% na produtividade de grãos de trigo com a inoculação das sementes e a fertilização de Si. Além disso, Galindo (2020), relatou que a inoculação de trigo com *A. brasilense* pode aumentar a concentração de N nas folhas quando associada a aplicação de silicato.

Portanto, já existem resultados promissores da adubação com silício e a inoculação com as BPCPs, porém, não em gramados. Dessa forma, novos estudos avaliando os efeitos dessa estratégia precisam ser desenvolvidos a fim de avaliar seu potencial em melhorar a qualidade e produtividade dos tapetes de grama Esmeralda.

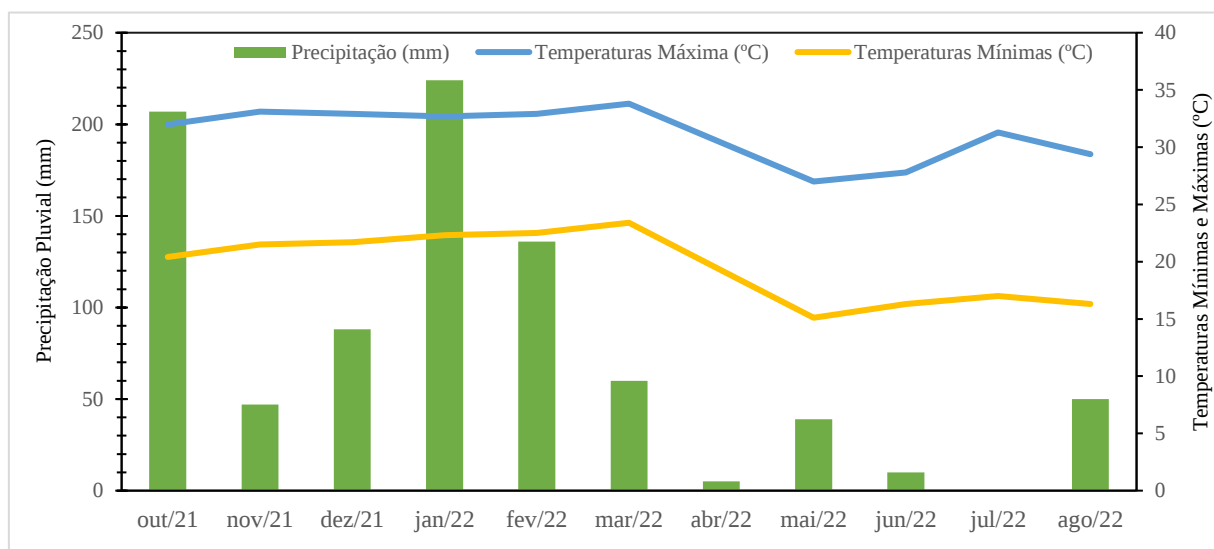
3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área e condução experimental

O estudo foi desenvolvido entre outubro de 2021 e agosto de 2022, em área de produção de grama Esmeralda, no município de Pereira Barreto, Estado de São Paulo, Brasil, com as coordenadas geográficas 20° 45' 14"S e 51° 03' 45"O de Greenwich, com altitude média de 343 m e solo do classificado como Latossolo Vermelho distrófico (SANTOS *et al.*, 2018), de textura arenosa.

Os dados de temperaturas mínima e máxima mensais (°C) foram obtidos pela estação meteorológica de Pereira Barreto, por meio do canal CLIMA da Unesp de Ilha Solteira – Área de Hidráulica e Irrigação e a precipitação pluvial (mm) mensal foi obtida pela coleta de dados no próprio local do experimento, e representados em forma gráfica (Figura 1).

Figura 1 – Temperaturas mínimas e máximas e precipitação pluvial durante a condução do experimento com grama Esmeralda.



Fonte: Elaboração da própria autora. Dados de temperaturas: clima Unesp – Estação Bonança (2021). Dados pluviométricos: Itogress

As parcelas foram delimitadas dia 22 de outubro de 2021 (Figura 2), após o corte do tapete anterior. Nesse momento, foram coletadas amostras de 0,00-0,20 m de solo para análise dos atributos químicos (Tabela 1), conforme metodologia de Raij *et al.* (2001). A adubação fosfatada com superfosfato triplo (444 kg ha⁻¹ - com 45% de P₂O₅) foi igual para todos os tratamentos, fornecido 199 dias após o corte do tapete anterior e 178 dias após a aplicação das

bactérias promotoras de crescimento (DAA). A descompactação do solo da área experimental com o implemento denominado estrelinha, bem como a amostragem do solo foram realizados em 22 de outubro de 2021, além da calagem com calcário dolomítico, feito conforme a rotina da empresa produtora de grama (1.000 kg ha⁻¹ com 80% de Poder Relativo de Neutralização Total - PRNT). O manejo do gramado foi realizado conforme rotina da empresa produtora de grama, efetuando todo o controle químico de plantas daninhas e pragas, além do corte e retirada das aparas de grama.

Tabela 1 – Atributos químicos do solo na camada de 0,00 a 0,20 m antes da instalação do experimento de grama Esmeralda. Ilha Solteira – SP, 2021.

P (resina) (mg dm ⁻³)		MO (g dm ⁻³)	pH (CaCl ₂)	K	Ca	Mg	H+Al	SB	CTC
							mmol _c dm ⁻³		
36,00		12,00	5,00	2,00	11,00	4,00	15,00	17,00	32,00
V	m	Al	S-SO₄²⁻	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Si
%	%	mmol _c dm ⁻³	mg dm ⁻³			mg dm ⁻³			
53,0	0,00	0,00	7,00	0,07	0,60	39,00	12,40	0,10	4,00

Obs.: O extrator usado para os micronutrientes foi o DTPA e para o boro foi a água quente.

Fonte: Elaboração da própria autora.

Figura 2 – Vista parcial da área após delimitação das parcelas.



Fonte: Arquivos da própria autora, 2021.

A aplicação das BPCPs (Figura 3) foi realizada 21 dias após o corte do tapete do grama anterior, em 12/11/2021, sendo aplicados 200 mL ha⁻¹ do inoculante (Biotrop, 2023) contendo as BPCPs diluído em calda de 400 L ha⁻¹ e pulverizado com bomba costal sobre o solo úmido. As inoculações foram realizadas entre 8 e 9 h da manhã, uma única vez. Os inoculantes bacterianos líquidos de *Azospirillum brasilense* (estirpes Ab-V5 e Ab-V6) e de *Pseudomonas*

fluorescens (estirpe CCTB03) contém ambos garantia de $2 \times 10^8 \text{ mL}^{-1}$ unidades formadoras de colônias (UFC).

Figura 3 – Inoculação com BPCPs com auxílio de bomba costal, em 12/11/2021.



Fonte: Arquivos da própria autora, 2021.

As doses de N, utilizando como fonte a Ureia (45% de N) e a adubação com K, tanto na forma de Potasil como de Cloreto de potássio, foram aplicadas manualmente (Figura 4), sempre na parte da tarde, com irrigação noturna e repetidas a cada dois meses (totalizando 4 aplicações) até a total cobertura do solo pela grama, sendo a primeira adubação realizada em 17/11/2021 (5 DAA), a segunda em 10/01/2022 (59 DAA), terceira em 10/03/2022 (118 DAA) e quarta em 09/05/2022 (178 DAA).

Figura 4 – Vista geral da área experimental após a adubação mineral (tratamentos).



Fonte: Arquivos da própria autora, 2021.

Na propriedade, são produzidas as espécies São Carlos (*Axonopus compressus*), Esmeralda (*Zoysia japonica* Steud) e Zeon (*Zoysia matrella* L.), todas com irrigação por aspersão, por meio de pivô central. Sendo a mais comercializada a grama Esmeralda, que possui tempo de produção de aproximadamente 12 meses e as colheitas ocorrem mensalmente, de acordo com a demanda. Em Pereira Barreto, esta área agrícola já vem sendo usada para esses fins há 18 anos.

Na área de produção, são realizadas as seguintes práticas: a) a cada dois anos, é feito o uso de um subsolador, assim como de um escarificador superficial chamado "estrelinha" após a colheita; b) a calagem com 1.000 kg ha^{-1} de calcário dolomítico após a colheita do tapete; c) em relação à adubação, após o corte do tapete, é aplicada uma quantidade típica de 400 kg ha^{-1} de MAP (10-50-00) a lanço. Além disso, a fórmula 20-00-20 é aplicada a uma taxa de 200 kg ha^{-1} , sendo repetida a cada dois meses, totalizando seis aplicações. Essa aplicação é feita a lanço em toda a área. Portanto, durante o ciclo de produção, são fornecidos 280 kg ha^{-1} de nitrogênio, 200 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 240 kg ha^{-1} de K_2O ; d) o corte das folhas é realizado quatro meses após o fechamento ou formação do tapete, com uma frequência de um corte por semana e remoção das aparas; e) a irrigação é efetuada por um sistema de pivô central, com uma oferta diária de 10 a 12 mm de água durante o período seco ou conforme necessário; f) o controle de pragas, doenças e plantas daninhas é executado sempre que necessário e avaliado visualmente; g) antes da colheita, é realizada uma única passagem do rolo compactador; h) a colheita ocorre 12 meses após o último corte, com uma profundidade de 1,5 cm.

Entretanto, na área onde o experimento foi instalado, utilizou-se apenas: a) escarificador superficial denominado estrelinha; b) aplicação em torno de $1,2 \text{ t ha}^{-1}$ de calcário dolomítico; c) aplicação a lanço de 100% da dose de N que a empresa aplica na área (280 kg ha^{-1}) e 75% dessa dose (210 kg ha^{-1}), 240 kg ha^{-1} de K_2O pelo fertilizante Potasil (com 12% de K_2O e 25% Si total) e cloreto de potássio (60% de K_2O), divididos em 4 aplicações com 1 aplicação a cada 2 meses (não houve a aplicação de MAP (10-50-00), bem como a fórmula 20-00-20 como era de rotina da empresa); d) aplicação a lanço de Superfosfato triplo (444 kg ha^{-1} - com 45% de P_2O_5); e) o corte das folhas: realizou-se o corte 1 vez por semana a partir do quarto mês após a colheita dos tapetes do ciclo anterior, com remoção das aparas; f) irrigação feita por pivô central, onde foi fornecido cerca de 10 a 12 mm de água diariamente na ausência de chuvas; g) o controle de pragas, doenças e plantas daninhas foi efetuado pela própria empresa produtora sempre que necessário, sendo determinado visualmente.

3.2 Delineamento experimental e tratamentos

O experimento foi realizado utilizando o delineamento experimental em blocos casualizados com 12 tratamentos dispostos em esquema fatorial $3 \times 2 \times 2$, com quatro repetições, em parcelas de 3 m de largura e 3 m de comprimento (9 m^2). O primeiro fator foram as 3 inoculações, sendo o controle (não inoculado) e duas inoculações com as BPCPs (*A. brasilense* e *P. fluorescens*), o segundo fator foram duas doses de N [100% ($280 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N ano}^{-1}$) e 75% (210 kg ha^{-1}) da dose aplicada na área de produção, parceladas em 4 vezes], e o terceiro fator foi o fornecimento de silício (com e sem a aplicação de Si) por meio da adubação com K_2O [Potasil (com 12% de K_2O e 25% Si total) e Cloreto de potássio (60% de K_2O), nas doses de 240 kg ha^{-1} de K_2O – dose esta já utilizada na área de produção)], parcelada em 4 vezes

3.3 Avaliações realizadas

- a) Taxa de cobertura do solo pela grama esmeralda (TCS): As avaliações da taxa de cobertura foram realizadas em 10/01/2022 (59 DAA), 10/02/2022 (90 DAA) e 11/04/2022 (143 DAA) por análise da imagem digital da parte aérea (Figura 5). Nesta pesquisa, as imagens digitais foram obtidas a partir de uma câmera digital Fujifilm FinePix-S1800, 12 megapixels em altura padrão de 1,3m para que as imagens fossem registradas paralelamente à superfície do gramado, sempre em mesma altura, evitando a sombra do fotógrafo, ou de qualquer parte da câmera

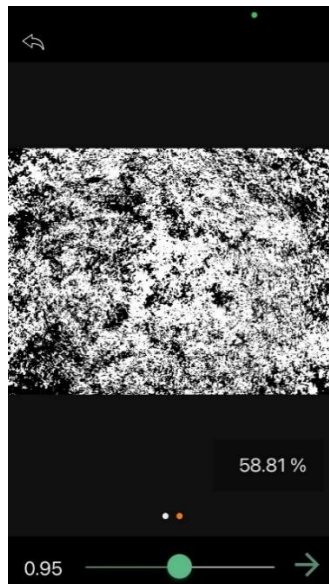
(Figura 6). Cada figura foi descarregada em telefone celular e analisada através de software de cor verde Canopeo® (Figura 6), uma ferramenta multifuncional de medição de cobertura do dossel verde.

Figura 5 – Avaliação de TCS utilizando câmera digital Fujifilm FinePix–S1800, 12 megapixels em altura padrão de 1,30 m, 59 DAA das bactérias.



Fonte: Arquivos da própria autora, 2022.

Figura 6 – Leitura da TCS no software Canopeo® através de imagem digital.



Fonte: Arquivos da própria autora, 2022.

- b) Intensidade de coloração verde da grama: Avaliações realizadas em 10/01/2022 (59 DAA), 10/02/2022 (90 DAA) e 11/04/2022 (143 DAA) também por análise da imagem digital da parte aérea, utilizando a metodologia presente no trabalho de Godoy (2005). As imagens captadas foram transferidas para um computador, e com auxílio de um programa de análise de imagens (Adobe Fireworks®), foi

constatado o valor de RGB (Azul, Verde e Vermelho) de cada imagem. Como somente o componente verde (G) não define a cor verde, dependendo também dos componentes vermelho (R) e azul (B), os resultados em RGB devem ser compilados para uma planilha eletrônica no MS Excel e convertidos para valores HSB (“Hue” – matiz, “Saturation” – saturação e “Brigthness” – brilho), de acordo com Karcher e Richardson (2003), e com esses, calculado o Índice de Cor Verde Escuro (ICVE) que varia de 0 – 1 (KARCHER; RICHARDSON, 2003).

c) Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI- Normalized Difference Vegetation Index): Realizado em 10/01/2022 (59 DAA), 10/02/2022 (90 DAA) e 11/04/2022 (143 DAA), com o auxílio do equipamento GreenSeeker Handheld Crop Sensor (Trimble®) (Figuras 7 e 8), posicionado paralelamente à superfície gramada a 1,3 m de altura, sendo realizada três leituras em cada parcela para o cálculo da média, (ALFONSI *et al.*, 2015; LATORRE; GODOY; TIBÃES, 2015).

Figura 7 – Avaliação do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) 59 DAA das bactérias.



Fonte: Arquivos da própria autora, 2022.

Figura 8 – Foto do aparelho GreenSeeker Handheld Crop Sensor (Trimble®) utilizado na avaliação de NDVI.



Fonte: Fotografado por Graziela Ferraz, 2019.

- d) Matéria seca das folhas: Realizada em 22/06/2022 (222 DAA), com o auxílio de um quadrado de metal (1,0 x 1,0 m) e tesoura manual, adotou-se a altura de corte rente ao solo, foram coletadas 3 amostras aleatórias de 1 m² por parcela, para quantificação da massa seca de folhas, posteriormente, as amostras permaneceram em estufa de ventilação forçada de ar à 65 °C por 72 h para a quantificação de matéria seca extrapolada para kg ha⁻¹.
- e) Matéria seca das raízes, rizomas e estolões: Conduzida em 04/08/2022 (265 DAA). Para realizar essa medição, foram coletadas três amostras (plugs) por parcela (Figuras 9 e 10) usando um tubo de aço inoxidável com 50 cm de comprimento e 8 cm de diâmetro, que se afunila na extremidade até 6,8 cm de diâmetro. Cada amostra foi devidamente identificada e acondicionada em um saco plástico até ser levada para o laboratório. Inicialmente, as amostras passaram por uma separação preliminar, onde as folhas foram removidas com o auxílio de uma tesoura, e o solo aderido ao material foi lavado. Em seguida, ocorreu uma nova separação, desta vez entre raízes, rizomas e estolões, e folhas. Essas partes separadas foram colocadas em sacos de papel identificados e submetidas à estufa a 65 °C, pelo período de 72 horas, conforme o procedimento descrito por Godoy *et al.* (2012). As amostras foram pesadas em uma balança analítica e os valores foram expressos em kg ha⁻¹.

Figura 9 – Amostragem do “plug” com o tubo de aço inox para posterior obtenção das amostras de rizomas + raízes + estolões de grama Esmeralda.



Fonte: Arquivos da própria autora, 2022.

Figura 10 – Amostra do “plug” de grama Esmeralda para posterior obtenção das amostras de rizomas + raízes + estolões de grama Esmeralda.



Fonte: Arquivos da própria autora, 2022.

- f) Concentração de macro + micronutrientes e silício em folhas e raízes + rizomas + estolões: Após a determinação das matérias secas, as amostras foram moídas, separadamente, e enviadas para o Laboratório de Nutrição de Plantas da

Universidade Estadual Paulista (UNESP), Campus de Ilha Solteira, para determinação da concentração de macro + micronutrientes e silício de acordo com a metodologia de Malavolta *et al.* (1997), enquanto a análise do Si seguiu a metodologia proposta por Silva (2009).

- g) Massa dos tapetes: Realizada em 04/08/2022 (265 DAA), após a irrigação e a passagem do rolo compactador, ambos em área total, foram pesados, em balança analítica, a partir de três tapetes colhidos para aferição do peso médio em kg para cada parcela (Figura 11).

Figura 11 – Pesagem de tapetes no momento da colheita realizada dia 04/08/2022.



Fonte: Arquivos da própria autora, 2022.

- h) Atributos químicos do solo (fósforo, matéria orgânica, pH, potássio e silício): de acordo com metodologia proposta por Raij *et al.* (2001), na camada de 0 a 0,20 m após a colheita dos tapetes, coletando-se três pontos por parcela experimental com um trado tipo caneco. O silício foi determinado após extração em cloreto de Ca ($0,01 \text{ mol L}^{-1}$) conforme metodologia de Korndörfer *et al.* (2004).
- i) Acúmulo de nutrientes: Calculado com base nas respectivas concentrações de nutrientes encontrados e matéria seca. Utilizando a equação (produção de peso seco em g m^{-2} X concentração de nutrientes encontrados em g kg^{-1} ou mg kg^{-1} = acúmulo em mg m^{-2} ou $\mu\text{g m}^{-2}$).

Como os dados de todas as variáveis apresentaram distribuição normal e variâncias homogêneas (Shapiro Wilk-Test e Levene Test), foram submetidos à análise de variância pelo teste F. A significância dos quadrados médios obtidos na análise de variância foi testada pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade para os fatores isolados e suas interações, utilizando o programa SISVAR (FERREIRA, 2019).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Taxa de Cobertura do Solo (TCS)

Houve efeito significativo ($p < 0,01$) das doses de N aos 90 e 143 DAA para a TCS em que a dose de 100 % do N proporcionou aumento de 10,0 e 12,0% na TCS aos 90 e 143 DAA, respectivamente, em relação ao fornecimento de 75% da dose de N (Tabela 2). A ênfase está na importância que a adubação possui no desenvolvimento da grama e o consequente recobrimento do solo para formação de tapetes. Trabalhos de Backes *et al.* (2010), Lima *et al.* (2015) e Silva (2016) apresentaram resultados parecidos, isto é, quanto maior a dose de N aplicado mais rápido e maior será o fechamento dos tapetes de grama e, consequentemente, a taxa de cobertura do solo.

Uma vez que Carrow, Waddington e Rieke (2001) citaram que o efeito mais conhecido da aplicação do N em grama é o aumento no crescimento da parte aérea e na intensidade da coloração verde das folhas, além de um ganho no crescimento de raízes e produção de rizomas. Todavia, doses muito elevadas de N podem, no entanto, ocasionar um desenvolvimento exagerado de parte aérea em detrimento das raízes, rizomas e estolões, além de deixar a planta suscetível a doenças e ataque de pragas (JONES JUNIOR *et al.*, 1991).

Foi constatado significância das inoculações sobre a TCS aos 143 DAA ($p < 0,01$) com maior TCS (10,6 e 8,8%) na testemunha em comparação a inoculação com *A. brasilense* e *P. fluorescens*, respectivamente, aos 143 DAA (Tabela 2). O possível motivo que possa explicar a não efetividade das bactérias sobre as variáveis avaliadas é o baixo teor de matéria orgânica (12 g dm^{-3}) contidos no solo da área experimental, podendo ter sido um fator limitante para a plena atividade destes microrganismos. Rodrigues *et al.* (2014), estudando a cultura do trigo, constataram aumento no desenvolvimento inicial dessas plantas quando as BPCPs estão associadas com ácidos húmicos.

A TCS indica indiretamente o tempo de fechamento do gramado (COSTA, 2021), sendo assim, uma maior TCS antecipa a colheita, sendo uma avaliação interessante para a utilização pelos produtores.

Tabela 2 – Taxa de Cobertura do Solo (TCS) pela grama Esmeralda aos 59, 90 e 143 dias após a aplicação (DAA) das bactérias promotoras do crescimento de plantas (BPCP) em função dos tratamentos.

F.V.	TCS	TCS	TCS
		%	
	59DAA	90DAA	143DAA
Bloco	0,05	0,04	0,05
Fonte K ₂ O (F)	0,54 ^{ns}	0,52 ^{ns}	0,82 ^{ns}
Dose N (%) (D)	0,13 ^{ns}	0,00**	0,00**
Inoculação BPCP (I)	0,17 ^{ns}	0,25 ^{ns}	0,00**
F * D	0,09 ^{ns}	0,46 ^{ns}	0,22 ^{ns}
F * I	0,28 ^{ns}	0,52 ^{ns}	0,73 ^{ns}
D * I	0,56 ^{ns}	0,55 ^{ns}	0,18 ^{ns}
F * D * I	0,59 ^{ns}	0,23 ^{ns}	0,62 ^{ns}
CV (%)	23,94	9,64	8,41
Média Geral	44,32	63,28	74,30
DMS	6,23	3,58	3,67
Fonte K ₂ O			
KCl	45,28	64,00	74,10
Potasil	43,37	63,00	74,50
Dose N(%)			
75	41,93	60,00b	70,00b
100	46,72	66,00a	78,70a
Inoculação BPCP			
Sem Inoculação	46,72	64,90	79,00a
<i>A. brasilense</i>	46,11	63,75	71,39b
<i>P. fluorescens</i>	40,15	61,27	72,61b

ns - Não significativo pelo teste F; *, ** - Significativo em $p \leq 0,05$ e $p \leq 0,01$ pelo teste F, respectivamente. As médias seguidas de letras distintas na coluna diferem pelo teste de Tukey a 5%. 100% da dose de N equivale a 280 kg ha⁻¹ de N parcelados em 4 aplicações.

Fonte: Elaboração da própria autora.

4.2 Índice de Cor Verde Escuro (ICVE)

Foi verificado efeito significativo das doses de N sobre o ICVE ($p < 0,01$) (Tabela 3) aos 90 DAA e 143 DAA, em que o fornecimento da maior dose de N proporcionou maior ICVE do tapete de grama nessas duas épocas analisadas. Um gramado bem nutrido tende a exibir uma coloração verde intensa, conforme observado por Arantes *et al.* (2015), desde que não esteja sujeito a outros tipos de estresse, sejam eles bióticos ou abióticos. Portanto, o aumento na tonalidade verde das folhas, associado ao maior Índice de Cor Verde Escuro (ICVE) devido à aplicação de doses mais elevadas de nitrogênio, pode estar relacionado à presença de maiores

quantidades de clorofila a e b nas folhas da grama Esmeralda. Os resultados referentes ao ICVE obtidos neste estudo confirmam que doses mais altas de nitrogênio resultam em um verde mais intenso nos gramados, o que é considerado esteticamente desejável, conforme mencionado por Godoy *et al.* (2012). Entretanto, fontes de K₂O e a inoculação com BPCP não afetaram o ICVE em nenhuma das épocas analisadas.

Os resultados de ICVE da grama esmeralda aos 59 DAA se assemelharam aos relatados por Karcher e Richardson (2003), de 0,45; 0,46 e 0,48; e foram inferiores aos dados de ICVE registrados por Godoy (2005), de 0,53 e por Backes *et al.* (2010) que constatarem valor de 0,55.

Tabela 3 – Índice de Cor Verde Escura (ICVE) da grama Esmeralda aos 59, 90 e 143 dias após a aplicação (DAA) das bactérias promotoras do crescimento de plantas (BPCP) em função dos tratamentos.

F.V.	ICVE 59DAA	ICVE 90DAA	ICVE 143DAA
Bloco	0,00	0,28	0,22
Fonte K ₂ O (F)	0,82 ^{ns}	0,99 ^{ns}	0,40 ^{ns}
Dose N (%) (D)	0,21 ^{ns}	0,00**	0,01**
Inoculação BPCP (I)	0,45 ^{ns}	0,13 ^{ns}	0,38 ^{ns}
F * D	0,29 ^{ns}	0,38 ^{ns}	0,20 ^{ns}
F * I	0,52 ^{ns}	0,72 ^{ns}	0,75 ^{ns}
D * I	0,82 ^{ns}	0,62 ^{ns}	0,82 ^{ns}
F * D * I	0,99 ^{ns}	0,75 ^{ns}	0,65 ^{ns}
CV (%)	18,09	18,32	18,53
Média Geral	0,45	0,37	0,39
DMS	0,04	0,04	0,04
Fonte K ₂ O			
KCl	0,45	0,38	0,40
Potasil	0,45	0,38	0,38
Dose N (%)			
75	0,44	0,34b	0,37b
100	0,47	0,41a	0,42a
Inoculação BPCP			
Sem Inoculação	0,44	0,40	0,41
<i>A. brasilense</i>	0,44	0,35	0,38
<i>P. fluorescens</i>	0,48	0,38	0,38

ns - Não significativo pelo teste F; *, ** - Significativo em $p \leq 0,05$ e $p \leq 0,01$ pelo teste F, respectivamente. As médias seguidas de letras distintas na coluna diferem pelo teste de Tukey a 5%. 100% da dose de N equivale a 280 kg ha⁻¹ de N parcelados em 4 aplicações. Fonte: Elaboração da própria autora.

4.3 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)

Houve valores significativos ($p < 0,01$) para doses de N sobre o NDVI aos 90 e 143 DAA, em que a dose de 100% de N proporcionou aumento de 7 e 5%, respectivamente, em comparação a dose de 75% de N (Tabela 4). O nitrogênio desempenha um papel direto na molécula de clorofila e, como resultado, afeta diretamente o NDVI, que está relacionado à quantidade de clorofila e à absorção de energia. Portanto, o aumento no NDVI está correlacionado com a assimilação de nitrogênio pela planta. Esse fenômeno ocorre porque os índices baseados nas bandas do espectro vermelho e infravermelho próximo, como o NDVI, medem tanto a quantidade de clorofila presente quanto a absorção de energia pela vegetação, conforme destacado por Myneni *et al.* (1997). Souza *et al.* (2009) constataram que o NDVI apresenta aumento de seus valores médios conforme ocorre o aumento da dose de N. Em contrapartida, não ocorreu efeito significativo para a inoculação com BPCPs e fonte de K_2O em nenhuma das épocas analisadas para o NDVI.

O sensor portátil GreenSeeker ajuda na identificação da variabilidade espacial da produção de biomassa e opera como indicador da necessidade de adubo a ser aplicado na cultura em questão, contribuindo para a eficiência na utilização dos fertilizantes, principalmente, os nitrogenados (CARNEIRO, 2018; TRIMBLE, 2016). Márin *et al.* (2020), relataram que o NDVI se correlaciona com a qualidade do gramado, podendo ser usado como um instrumento adicional no manejo da irrigação, tendo em vista que quanto maior o índice de vegetação, melhor será a condição do gramado. Todavia, valores abaixo do ideal podem indicar déficit hídrico, falta de nutrientes ou doenças, sendo assim, antes de ajustar a irrigação, outros fatores que também interferem na qualidade do gramado, devem ser descartados. De acordo com Bremer *et al.* (2011), há necessidade de comparar o NDVI com a densidade do gramado, ângulo das folhas, sombra no dossel e estado de água na planta, visto que essas informações, de acordo com os autores, podem auxiliar na verificação da qualidade visual do gramado e a compreensão dos fatores que interferem no índice de vegetação.

Tabela 4 – Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) da grama Esmeralda aos 59, 90 e 143 dias após a aplicação (DAA) das bactérias promotoras do crescimento de plantas (BPCP) em função dos tratamentos.

F.V.	NDVI 59DAA	NDVI 90DAA	NDVI 143DAA
Bloco	0,00	0,17	0,60
Fonte K ₂ O (F)	0,97 ^{ns}	0,61 ^{ns}	0,28 ^{ns}
Dose N (%) (D)	0,81 ^{ns}	0,00**	0,00**
Inoculação BPCP (I)	0,22 ^{ns}	0,50 ^{ns}	0,19 ^{ns}
F * D	0,18 ^{ns}	0,92 ^{ns}	0,40 ^{ns}
F * I	0,25 ^{ns}	0,23 ^{ns}	0,61 ^{ns}
D * I	0,97 ^{ns}	0,70 ^{ns}	0,27 ^{ns}
F * D * I	0,56 ^{ns}	0,47 ^{ns}	0,56 ^{ns}
CV (%)	16,56	7,10	5,83
Média Geral	0,50	0,59	0,61
DMS	0,04	0,02	0,02
Fonte K ₂ O			
KCl	0,50	0,59	0,60
Potasil	0,50	0,59	0,62
Dose N (%)			
75	0,50	0,57b	0,60b
100	0,51	0,61a	0,63a
Inoculação BPCP			
Sem Inoculação	0,53	0,60	0,62
<i>A. brasilense</i>	0,50	0,58	0,61
<i>P. fluorescens</i>	0,48	0,59	0,60

ns - Não significativo pelo teste F; *, ** - Significativo em $p \leq 0,05$ e $p \leq 0,01$ pelo teste F, respectivamente. As médias seguidas de letras distintas na coluna diferem pelo teste de Tukey a 5%. 100% da dose de N equivale a 280 kg ha⁻¹ de N parcelados em 4 aplicações.

Fonte: Elaboração da própria autora.

4.4 Matéria seca das folhas, raízes + rizomas + estolões

Observou-se efeito significativo ($p < 0,01$) para fontes K₂O, inoculação com BPCP, e para a interação entre esses dois fatores, além do efeito significativo ($p < 0,05$) para doses de N na matéria seca das folhas de grama Esmeralda (Tabela 5). Verificou-se significância ($p < 0,01$) para fonte K₂O, bem como a interação entre fonte K₂O e inoculação com as BPCPs para a matéria seca de rizomas, raízes e estolões (Tabela 5). As inoculações com *A. brasilense* e *P. fluorescens* proporcionaram incremento de 15 e 23%, respectivamente, na matéria seca da parte aérea em relação a testemunha (Tabela 5).

Tabela 5 – Matéria seca das folhas e das raízes + rizomas + estolões da grama Esmeralda em função da fonte K₂O, inoculação com bactérias promotoras do crescimento de plantas e de doses de nitrogênio.

F.V.	Matéria seca das folhas	Matéria seca das raízes + rizomas + estolões
	kg ha ⁻¹	
Bloco	0,00	0,25
Fonte K ₂ O (F)	0,01 **	0,01 **
Dose N (%) (D)	0,05 *	0,38 ^{ns}
Inoculação BPCP (I)	0,00 **	0,29 ^{ns}
F * D	0,01 **	0,93 ^{ns}
F * I	0,82 ^{ns}	0,00 **
D * I	0,51 ^{ns}	0,54 ^{ns}
F * D * I	0,70 ^{ns}	0,98 ^{ns}
CV (%)	13,72	17,38 ^{ns}
Média Geral	319,70	6577,10
DMS	2,57	67,12
Fonte K ₂ O		
KCl	304,00	6167,80
Potasil	335,40	6986,40
Dose de N (%)		
75	307,10	6722,80
100	332,30	6431,40
Inoculação BPCP		
Sem Inoculação	283,31 b	6945,90
<i>A. brasilense</i>	326,90 a	6420,20
<i>P. fluorescens</i>	349,00 a	6365,20

ns - Não significativo pelo teste F; *, ** - Significativo em $p \leq 0,05$ e $p \leq 0,01$ pelo teste F, respectivamente. As médias seguidas de letras distintas na coluna diferem pelo teste de Tukey a 5%. 100% da dose de N equivale a 280 kg ha⁻¹ de N parcelados em 4 aplicações.

Fonte: Elaboração da própria autora.

Constatou-se incremento de 23,0% na massa seca das folhas de grama Esmeralda na dose de 75% de N sob adubação com Potasil em relação ao uso de KCl como fonte (Tabela 6). O silício pode estimular a germinação e aumentar o comprimento da raiz (TORABI *et al.*, 2012, RAMÍREZ-OLVERA *et al.*, 2019), o número de folhas e arquitetura de planta (XU *et al.*, 2015, DORNELES *et al.*, 2018), refletindo no aumento da matéria seca. Além do possível incremento do aparato fotossintético e acúmulo de água pelas parcelas de grama fortificadas com Si, e também pela melhor síntese de N pelas plantas estimulados pela menor perda de água por transpiração (ASHFAQUE *et al.*, 2017).

Os dados obtidos nesta pesquisa confirmaram o efeito do N no crescimento da parte aérea do gramado e evidenciaram associação entre as doses de N e a produção de matéria seca

(OLIVEIRA *et al.*, 2010; FONSECA; ROSA; FONTANA, 2002). Todavia, o excesso de matéria seca da parte aérea também não é desejável para gramados, tendo em vista que esse aumento é diretamente proporcional a necessidade de cortes para a manutenção da grama (AMARAL; CASTILHO, 2012) e, conseqüentemente, promove maior gasto com manutenção (combustível, maquinários e operadores).

A maior dose de N sob a fonte KCl contribuiu para um incremento de 20,6% na massa seca das folhas em relação a menor dose (Tabela 6). O nitrogênio é um nutriente estrutural de macromoléculas e enzimas envolvidas no processo vegetativo do crescimento das plantas (MALAVOLTA, 2006), podendo aumentar a atividade da clorofila foliar e contribuir para o aumento de fotoassimilados que melhoram as características morfogênicas e estruturais da planta como o número e tamanho dos perfilhos (OLIVEIRA *et al.*, 2014).

Tabela 6 – Efeito da fonte K₂O e doses de N sobre a matéria seca das folhas de grama Esmeralda.

Dose de N (%)	Matéria seca das folhas (kg ha ⁻¹)	
	Fonte K ₂ O	
	KCl	Potasil
75	275,20 Bb	338,90 Aa
100	332,80 Aa	331,90 Aa

Médias seguidas de mesma letra maiúscula nas linhas e mesma letra minúscula nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05). 100% da dose de N equivale a 280 kg ha⁻¹ de N parcelados em 4 aplicações.

Fonte: Elaboração da própria autora.

A fonte Potasil sob a testemunha promoveu aumento de 31,7% na matéria seca de raízes + rizomas + estolões em relação a *A. brasilense* (Tabela 7) e cerca de 29,0% a mais de matéria seca em comparação a KCl sob a testemunha, a mesma observação pode ser constatada na inoculação com *P. fluorescens* também sob a fonte Potasil, porém 30,0% a mais comparada com a fonte KCl. Estas bactérias têm a capacidade de promover crescimento das raízes das plantas pelo incremento da produção de fitohormônios na zona radicular (WANG *et al.*, 2013) e além disso, K também é essencial para a translocação de fotoassimilados para as raízes (HASANUZZAMAN *et al.*, 2018).

Tabela 7 – Efeitos das fontes de K₂O e das inoculações de BPCPs sobre a massa de matéria seca de raízes + rizomas + estolões de grama Esmeralda.

Inoculação BPCP	Matéria seca das raízes + rizomas + estolões (kg ha ⁻¹)	
	Fonte de K ₂ O	
	KCl	Potasil
Sem Inoculação	6063,80 Ba	7828,00 Aa
<i>A. brasilense</i>	6895,30 Aa	5945,00 Ab
<i>P. fluorescens</i>	5544,30 Ba	7186,10 Aab

Médias seguidas de mesma letra maiúscula nas linhas e mesma letra minúscula nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). 100% da dose de N equivale a 280 kg ha⁻¹ de N parcelados em 4 aplicações.

Fonte: Elaboração da própria autora.

4.5 Concentração de nutrientes e silício em folhas de grama Esmeralda

Ocorreu efeito significativo nas doses de N ($< 0,01$) para as concentrações foliares de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe) e zinco (Zn) (Tabela 8). Houve um incremento de 18,6, e 12,5% sob as concentrações de N e K, respectivamente, na parte aérea de grama Esmeralda na dose de 100% de N em relação a dose de 75% de N (Tabela 8). De acordo com Dreyer *et al.* (2017), o potássio é um dos íons mais absorvidos pelas plantas e pode atuar em diversos mecanismos fisiológicos, contribuindo com o aumento do carregamento de outros íons pelo sistema vascular diretamente para as paredes celulares do caule e das folhas das plantas, favorecendo uma melhor nutrição e maiores concentrações de outros nutrientes nos tecidos do vegetal.

Em contrapartida, as concentrações de B e Zn nas folhas foram 18,7% e 9,5%, respectivamente, maiores na menor dose de N em comparação com a maior dose de N (Tabela 8). De acordo com Gazola *et al.* (2016) as maiores concentrações foliares de K em grama Esmeralda ocorreram nas maiores doses de N aplicadas em relação à ausência do nutriente. As BPCP promoveram efeito significativo ($p < 0,01$) nas concentrações foliares de B, Cu e Zn (Tabela 8). Ocorreu efeito significativo para a fonte K₂O ($p < 0,01$) na concentração foliar de Cu e Zn (Tabela 8). Potasil proporcionou um aumento de 9,5% na concentração de Zn nas folhas de *Z. japonica* em relação a fonte KCl (Tabela 8).

Houve efeito significativo para a interação entre fontes de K₂O e inoculação com BPCP na concentração de Cu ($p < 0,01$) e S ($p < 0,05$) nas folhas de grama Esmeralda (Tabela 8), bem como a interação entre doses de N e inoculação com BPCP para as concentrações foliares de P ($p < 0,05$), Cu e Fe ($p < 0,01$). Não houve efeito dos tratamentos para as concentrações de Ca, Mg, S, manganês (Mn) e Si na parte aérea de grama Esmeralda (Tabela 8). Eram esperados no presente estudo que as concentrações desses nutrientes e principalmente do silício nas folhas

de grama Esmeralda fossem maiores na presença da fertilização com Si e inoculação com as BPCPs, uma vez que as gramíneas, são acumuladoras de Si, Korndorfer *et al.* (2004), observaram um aumento expressivo na concentração deste elemento nas principais gramas de clima tropical. De acordo com Godoy *et al.* (2012) as gramas Zoysias são as que possuem maior teor de Si, observações estas que não foram verificadas neste estudo.

Os microrganismos têm a capacidade de realizar a fixação de nitrogênio e também de liberar substâncias que desencadeiam mecanismos de estímulo ao crescimento das plantas. Esses mecanismos favorecem o desenvolvimento do sistema radicular, o que resulta em um aumento na capacidade das plantas de absorver água e nutrientes do solo. Além disso, essas interações microbianas podem contribuir para melhorar a resistência das plantas ao estresse hídrico. (LANNA FILHO *et al.*, 2010, HUNGRIA *et al.*, 2016, THOMAZINI *et al.*, 2019, SILVA *et al.*, 2019, STEINER *et al.*, 2020). Provavelmente houve um efeito diluição destes nutrientes em função do maior desenvolvimento da parte aérea vegetal. Além disso, *A. brasilense* pode ter seu desempenho prejudicado em condições desfavoráveis de crescimento, que ao invés de agir como promotor de crescimento passa a competir pelos nutrientes disponíveis para as plantas e prejudicar seu crescimento (OLIVEIRA *et al.*, 2020), tendo em vista que o solo de áreas de produção de grama tendem a ser mais compactados e com baixo teor de matéria orgânica devido ao manejo adotado.

Tabela 8 – Concentração de nutrientes e silício nas folhas de grama Esmeralda em função da fonte K₂O, inoculação com bactérias promotoras de crescimento de plantas e doses de nitrogênio.

F.V.	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Si
	g kg ⁻¹						mg kg ⁻¹					
Bloco	0,00	0,03	0,00	0,16	0,01	0,01	0,00	0,23	0,00	0,93	0,17	0,00
Fonte K ₂ O (F)	0,39 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,19 ^{ns}	0,54 ^{ns}	0,91 ^{ns}	0,39 ^{ns}	0,68 ^{ns}	0,00**	0,12 ^{ns}	0,66 ^{ns}	0,00**	0,99 ^{ns}
Dose N (%) (D)	0,00**	0,01**	0,00**	0,74 ^{ns}	0,17 ^{ns}	0,41 ^{ns}	0,00**	0,00**	0,00**	0,95 ^{ns}	0,00**	0,17 ^{ns}
Inoculação BPCP (I)	0,22 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,72 ^{ns}	0,56 ^{ns}	0,09 ^{ns}	0,49 ^{ns}	0,00**	0,00**	0,51 ^{ns}	0,17 ^{ns}	0,00**	0,40 ^{ns}
F * D	0,73 ^{ns}	0,29 ^{ns}	0,28 ^{ns}	0,59 ^{ns}	0,43 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,38 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,63 ^{ns}	0,81 ^{ns}	0,10 ^{ns}	0,85 ^{ns}
F * I	0,90 ^{ns}	0,17 ^{ns}	0,17 ^{ns}	0,14 ^{ns}	0,41 ^{ns}	0,04*	0,69 ^{ns}	0,00**	0,91 ^{ns}	0,09 ^{ns}	0,77 ^{ns}	0,67 ^{ns}
D * I	0,11 ^{ns}	0,00*	0,29 ^{ns}	0,55 ^{ns}	0,22 ^{ns}	0,95 ^{ns}	0,70 ^{ns}	0,00**	0,01**	0,82 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,08 ^{ns}
F * D * I	0,96 ^{ns}	0,99 ^{ns}	0,25 ^{ns}	0,41 ^{ns}	0,23 ^{ns}	0,26 ^{ns}	0,75 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,51 ^{ns}	0,47 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,77 ^{ns}
CV (%)	14,78	10,04	10,02	20,05	15,01	11,77	15,12	25,32	25,63	17,27	10,64	22,29
Média Geral	11,10	4,23	12,37	3,35	1,13	1,73	18,86	11,52	621,95	129,89	10,60	0,64
DMS	0,96	0,25	0,72	0,39	0,09	0,12	1,67	3,22	93,61	13,17	1,24	0,08
Fonte K ₂ O												
KCl	10,90	4,35	12,14	3,41	1,13	1,76	18,69	13,37	585,25	131,33	10,12b	0,64
Potasil	11,31	4,12	12,61	3,29	1,12	1,71	19,03	9,66	658,66	128,45	11,08a	0,64
Dose N (%)												
75	10,16b	4,08	11,64b	3,38	1,09	1,71	20,47a	14,83	782,37	130,08	11,08a	0,67
100	12,05a	4,39	13,10a	3,31	1,16	1,76	17,25b	8,20	461,54	129,70	10,12b	0,61
Inoculação BPCP												
Sem inoculação	11,24	4,43	12,53	3,48	1,18	1,78	21,06a	5,75	644,75	129,00	11,06a	0,62
<i>A. brasilense</i>	1,54	4,18	12,35	3,22	1,15	1,73	18,34b	10,10	636,50	122,75	10,93a	0,62
<i>P. fluorescens</i>	10,53	4,09	12,21	3,34	1,05	1,69	17,18b	18,68	584,62	137,93	9,81b	0,68

ns - Não significativo pelo teste F; *, ** - Significativo em $p \leq 0,05$ e $p \leq 0,01$ pelo teste F, respectivamente. As médias seguidas de letras distintas na coluna diferem pelo teste de Tukey a 5%. 100% da dose de N equivale a 280 kg ha⁻¹ de N parcelados em 4 aplicações.

Fonte: Elaboração da própria autora.

A testemunha sob a dose de 100% de N incrementou 15,3 e 21,9% a concentração de P em relação a *A. brasilense* e *P. fluorescens*, respectivamente (Tabela 9), resultados semelhantes foram constatados por Ziadi *et al.* (2008), onde plantas de trigo que apresentavam maiores concentrações de N por conta da fertilização nitrogenada, apresentaram maiores teores de P no seu tecido, podendo ser atribuído a uma relação sinérgica em que o N funcionou como um facilitador na absorção de P. O tratamento sem inoculação promoveu um aumento de 23,4% na concentração foliar de P em relação a dose de 75% de N também sob a testemunha (4,90 g kg⁻¹), sendo superior ao teor foliar adequado de P (1,90-2,20 g kg⁻¹) para grama Esmeralda, de acordo com Godoy *et al.* (2022). Muito provavelmente devido a relação benéfica aqui já citada, onde o N funcionou como um facilitador na absorção de P.

A menor dose de N sob a inoculação com *P. fluorescens* proporcionou incremento de 479,0% na concentração foliar de Cu em comparação a maior dose (Tabela 9), que por sua vez sob a inoculação com *A. brasilense* propiciou um aumento de 130,7% na concentração foliar deste micronutriente na parte aérea de grama Esmeralda em relação a dose de 75% de N. A inoculação com *P. fluorescens* sob a menor dose de N promoveu maior teor foliar de Cu (420,8 e 390,0%) em relação a *A. brasilense* e a testemunha, respectivamente (Tabela 9). Contudo, a inoculação com *Azospirillum* sob a dose de 100% de N promoveu incremento de 182,4 e 156,7% em comparação a testemunha e *P. fluorescens*, respectivamente. Sendo todas estas concentrações de Cu citadas na Tabela 9 muito superiores a faixa de concentração considerada ideal (2,0-4,0 mg kg⁻¹) por Godoy *et al.* (2022).

Na dose de 75% de N verificou aumento de 118,5 e 77,9% sob a testemunha e *A. brasilense*, respectivamente, em relação a dose de 100% de N para a concentração foliar de Fe (Tabela 9). A testemunha sob a menor dose de N promoveu incremento de 36,6% na concentração de Fe em comparação a *P. fluorescens* (Tabela 9). Ípek e Esitken (2017), relataram que a inoculação de plantas com cepas de rizobactérias aumentou a absorção de nutrientes pelo vegetal, afetando a disponibilidade de Fe e também potencializando a absorção de outros micronutrientes como Zn, Mn, Cu e B devido a liberação de ácido orgânico e produção de fitossideróforos, reforçando os efeitos benéficos das inoculações com BPCP em muitas espécies de plantas diferentes.

A fonte KCl sob a testemunha proporcionou acréscimo de 16,7% na concentração de S nas folhas de grama Esmeralda em relação a *P. fluorescens* (Tabela 9). Os valores aqui relatados (Tabela 9) para a concentração foliar de S em grama Esmeralda estão abaixo do teor considerado ideal (3,2-3,7 g kg⁻¹) com base em Godoy *et al.* (2022).

P. fluorescens sob a fonte KCl foi 42,7 e 290,5% superior em relação a *A. brasilense* e a testemunha, concomitantemente, para a concentração foliar de Cu na parte aérea (Tabela 9). *P. fluorescens* sob Potasil proporcionou aumento de 87,4 e 169,9% em comparação a *A. brasilense* e a testemunha, simultaneamente (Tabela 9). A fonte KCl propiciou acréscimo de 21,5 e 144,8% sob as inoculações com *P. fluorescens* e *A. brasilense*, respectivamente, em relação a fonte Potasil para a concentração foliar de Cu (Tabela 9). A inoculação com *Azospirillum brasilense* pode potencializar a absorção de vários macros e micronutrientes, o que, por sua vez, aumenta a eficiência da planta na utilização dos nutrientes disponíveis (GALINDO *et al.*, 2019, 2020).

Tabela 9 – Efeitos das doses de N sobre a concentração foliar de P, Cu e Fe e inoculação com BPCP. Efeito da fonte K₂O sobre a concentração foliar de S e Cu e inoculação com BPCP em grama Esmeralda.

Inoculação	P (g kg ⁻¹)		Cu (g mg ⁻¹)		Fe (g mg ⁻¹)	
	Dose N (%)		Dose N (%)		Dose N (%)	
	75	100	75	100	75	100
Sem Inoculação	3,97 Ba	4,90 Aa	6,50 Ab	5,00 Ab	884,62 Aa	404,87 Ba
<i>A. brasilense</i>	4,11 Aa	4,25 Ab	6,12 Bb	14,12 Aa	814,87 Aab	458,12 Ba
<i>P. fluorescens</i>	4,16 Aa	4,02 Ab	31,87 Aa	5,50 Bb	647,62 Ab	521,62 Aa

Inoculação	S (g kg ⁻¹)		Cu (g mg ⁻¹)	
	Fonte K ₂ O		Fonte K ₂ O	
	KCl	Potasil	KCl	Potasil
Sem Inoculação	1,89 Aa	1,67 Aa	5,25 Ac	6,25 Ab
<i>A. brasilense</i>	1,77 Aab	1,68 Aa	14,37 Ab	5,87 Bb
<i>P. fluorescens</i>	1,62 Ab	1,77 Aa	20,50 Aa	16,87 Ba

Médias seguidas de mesma letra maiúscula nas linhas e mesma letra minúscula nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05). 100% da dose de N equivale a 280 kg ha⁻¹ de N parcelados em 4 aplicações.

Fonte: Elaboração da própria autora

4.6 Concentração de nutrientes e silício nas raízes, rizomas e estolões de grama Esmeralda

Houve efeito significativo (p<0,05) para a inoculação com as BPCPs nas concentrações de P e B (Tabela 10), assim como (p<0,01) para Cu e Zn nas raízes + rizomas + estolões de *Zoysia japonica*. A testemunha foi superior em 16,5% para a concentração de P e 9,7% para a concentração de B em comparação a *P. fluorescens* (Tabela 10). Com a *P. fluorescens* e a testemunha verificaram-se acréscimo de 21,3% comparados com *A. brasilense*

para a concentração de Zn nas raízes, rizomas e estolões de grama Esmeralda (Tabela 10). No que diz respeito a absorção de nutrientes pelas plantas, as BPCPs conseguem agir disponibilizando nutrientes que se encontram no solo, melhorando o acesso das plantas a eles (MALUSÁ; VASSILEV, 2014). Acredita-se que estas auxiliam na produção de fitohormônios como etileno, giberelinas, auxinas e citocininas, que atuam no crescimento da raiz, refletindo assim, no crescimento da parte aérea, melhorando e aumentando a absorção de nutrientes pelas plantas (CASSÁN; VANDERLEYDEN; SPAEPEN, 2014).

As fontes K₂O promoveram significância para B ($p < 0,05$) e Cu ($p < 0,01$) (Tabela 10). Potasil verificou um aumento de 6,3% na concentração de B em comparação a KCl. De acordo com Godoy *et al.* (2012), a possibilidade de constatação de sintomas de deficiência de B em grama é menos comum do que a probabilidade de ocorrência de toxidez por erro na adubação, pelo uso de materiais orgânicos ricos neste micronutriente ou até mesmo pelo uso de água de irrigação com altos teores de B, o que não ocorreu no presente experimento tendo em vista que o teor contido no solo antes da instalação do experimento se encontrava abaixo do ideal (0,07 mg dm⁻³) (Tabela 1). Contudo, embora seja difícil a constatação de sintomas visuais de deficiência de micronutrientes em gramados, assim como os seus efeitos, ressalta-se a importância dos mesmos na tolerância a estresses, doenças e principalmente no processo fotossintético.

Ocorreu efeito significativo ($p < 0,01$) para as interações entre doses de N e inoculação com BPCP para as concentrações de Ca e Cu e para ($p < 0,05$) K nas raízes, rizomas e estolões de grama Esmeralda (Tabela 10).

Tabela 10 – Concentração de nutrientes e silício nas raízes + rizomas + estolões de grama Esmeralda em função da fonte K₂O, inoculação com bactérias promotoras do crescimento de plantas e de doses de nitrogênio.

F.V.	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Si
	g kg ⁻¹						mg kg ⁻¹				g kg ⁻¹	
Bloco	0,30	0,73	0,69	0,52	0,52	0,70	0,44	0,47	0,98	0,00	0,05	0,05
Fonte K ₂ O (F)	0,11 ^{ns}	0,37 ^{ns}	0,51 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,93 ^{ns}	0,69 ^{ns}	0,03*	0,00**	0,27 ^{ns}	0,39 ^{ns}	0,88 ^{ns}	0,88 ^{ns}
Dose N (%) (D)	0,79 ^{ns}	0,89 ^{ns}	0,94 ^{ns}	0,56 ^{ns}	0,68 ^{ns}	0,24 ^{ns}	0,30 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,77 ^{ns}	0,72 ^{ns}	0,31 ^{ns}	0,31 ^{ns}
Inoculação BPCP (I)	0,70 ^{ns}	0,02*	0,15 ^{ns}	0,80 ^{ns}	0,16 ^{ns}	0,24 ^{ns}	0,02*	0,00**	0,62 ^{ns}	0,14 ^{ns}	0,00**	0,06 ^{ns}
F * D	0,60 ^{ns}	0,70 ^{ns}	0,17 ^{ns}	0,33 ^{ns}	0,22 ^{ns}	0,31 ^{ns}	0,14 ^{ns}	0,09 ^{ns}	0,82 ^{ns}	0,86 ^{ns}	0,74 ^{ns}	0,74 ^{ns}
F * I	0,47 ^{ns}	0,24 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,56 ^{ns}	0,99 ^{ns}	0,68 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,34 ^{ns}	0,34 ^{ns}	0,77 ^{ns}	0,77 ^{ns}
D * I	0,26 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,05*	0,01**	0,71 ^{ns}	0,68 ^{ns}	0,73 ^{ns}	0,00**	0,36 ^{ns}	0,22 ^{ns}	0,37 ^{ns}	0,37 ^{ns}
F * D * I	0,35 ^{ns}	0,47 ^{ns}	0,10 ^{ns}	0,63 ^{ns}	0,17 ^{ns}	0,23 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,77 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,44 ^{ns}	0,44 ^{ns}
CV (%)	13,66	15,72	18,30	17,39	20,52	14,39	9,85	24,58	22,06	16,08	14,70	14,70
Média Geral	5,71	1,42	6,42	2,55	0,85	1,27	45,00	24,29	2273,87	138,12	0,54	0,57
DMS	0,45	0,13	0,69	0,26	0,10	0,10	2,60	3,93	294,58	13,04	18,65	0,04
Fonte K ₂ O												
KCl	5,52	1,45	6,54	2,69	0,85	1,26	43,62b	37,85a	2193,20	140,91	0,54	0,54
Potasil	5,89	1,40	6,31	2,42	0,85	1,28	46,37a	16,72b	2354,54	135,33	0,53	0,53
Dose N (%)												
75	5,68	1,42	6,41	2,59	0,86	1,30	45,66	36,08	2295,04	139,25	0,52	0,52
100	5,74	1,43	6,44	2,52	0,84	1,24	44,33	18,50	2252,70	137,00	0,55	0,55
Inoculação BPCP												
Sem Inoculação	5,60	1,55a	6,75	2,57	0,86	1,31	46,62a	52,12	2240,68	133,81	0,57a	0,57
<i>A. brasilense</i>	5,70	1,39ab	5,96	2,60	0,78	1,30	45,87ab	16,06	2371,81	133,31	0,47b	0,56
<i>P. fluorescens</i>	5,83	1,33b	6,56	2,50	0,90	1,21	42,50b	13,68	2209,12	147,25	0,57a	0,57

ns - Não significativo pelo teste F; *, ** - Significativo em $p \leq 0,05$ e $p \leq 0,01$ pelo teste F, respectivamente. As médias seguidas de letras distintas na coluna diferem pelo teste de Tukey a 5%. 100% da dose de N equivale a 280 kg ha⁻¹ de N parcelados em 4 aplicações.

Fonte: Elaboração da própria autora

P. fluorescens sob a dose de 100% de N promoveu incremento de 28,3% em relação a *A. brasilense* para a concentração de K nas raízes, rizomas e estolões de grama Esmeralda (Tabela 11). A testemunha sob a menor dose de N proporcionou um aumento de 28,9% para a concentração de Ca em relação a maior dose de nitrogênio assim como um acréscimo de 23,4% em relação a inoculação com *P. fluorescens* também na menor dose de N (Tabela 11). Sampaio *et al.* (2021) constataram que a inoculação com *A. brasilense* foi prejudicada por altas doses de nitrogênio em cobertura das plantas de capim Marandu, desfavorecendo o acúmulo de macronutrientes, possivelmente o mesmo pode ter ocorrido neste estudo.

Na dose de 75% de N sob a testemunha verificou cerca de 373,0% a mais na concentração de Cu em relação a dose de 100% de N (Tabela 11). A testemunha sob a menor dose de nitrogênio propiciou acréscimo de 756,0 e 614,0% em comparação com *A. brasilense* e *P. fluorescens*, respectivamente (Tabela 11). Todavia, a maior dose de N sob a inoculação com *A. brasilense* foi 119,3% superior na concentração de Cu em relação a dose de 75% de N (Tabela 11). Estudos com microrganismos promotores de crescimento incluem a capacidade dos mesmos em absorver alguns minerais como Fe, Zn, Cu, Mn e B; essas rizobactérias produzem ácidos cítricos, glutâmicos, succínicos, láticos, oxálicos, málicos, fumáricos e tartáricos que aumentam a disponibilidade destes nutrientes para absorção das plantas (ORHAN *et al.*, 2006; SABIR *et al.*, 2012; IPEK *et al.*, 2014; SHAHEEN *et al.*, 2014; PRATIWI *et al.*, 2016).

Tabela 11 – Efeito das doses de N e das inoculações de BPCPs sobre a concentração de K, Ca e Cu nas raízes, rizomas e estolões de grama Esmeralda.

Inoculação BPCP	K (g kg ⁻¹)		Ca (g kg ⁻¹)		Cu (mg kg ⁻¹)	
	Dose N (%)					
	75%	100%	75%	100%	75%	100%
Sem inoculação	6,93 Aa	6,57 Aab	2,90 Aa	2,25 Ba	86,12 Aa	18,12 Ba
<i>A. brasilense</i>	6,35 Aa	5,58 Ab	2,53 Aab	2,66 Aa	10,06 Bb	22,06 Aa
<i>P. fluorescens</i>	5,96 Aa	7,16 Aa	2,35Ab	2,65 Aa	12,06 Ab	15,31 Aa

Médias seguidas de mesma letra maiúscula nas linhas e mesma letra minúscula nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). 100% da dose de N equivale a 280 kg ha⁻¹ de N parcelados em 4 aplicações.

Fonte: Elaboração da própria autora.

4.7 Massa dos Tapetes

Notou-se efeito significativo ($p < 0,05$) para doses de N (Tabela 12). A menor dose de nitrogênio proporcionou aumento de 9,4% na massa dos tapetes de grama Esmeralda em relação a maior dose, sendo assim, ocorreu maior crescimento das folhas (Tabela 5) em detrimento do

menor desenvolvimento de raízes, rizomas e estolões na maior dose de N. Dessa forma, de acordo com a massa dos tapetes (Tabela 5), a quantidade de rizomas para uma nova rebrota, provavelmente seria maior, no próximo ciclo, inclusive, a massa seca das estruturas de raízes, rizomas e estolões corroboram com essa observação, mesmo não tendo ocorrido efeito estatístico significativo para esta variável (Tabela 5). Em um estudo conduzido por Lima (2009), foram testadas diferentes doses de N-ajifer em grama Esmeralda, variando de 0 a 400 kg ha⁻¹ de N, com aplicações parceladas em três momentos distintos. Os resultados indicaram que, ao aplicar doses de 200 e 300 kg ha⁻¹ de N-ajifer, juntamente com complementação, assim como uma dose de 300 kg ha⁻¹ de N na forma de ureia, houve uma diminuição no peso dos tapetes de grama. Isso possivelmente ocorreu devido ao aumento na produção de rizomas e estolões, que ocuparam mais espaço no solo. Em um estudo similar, Backes *et al.* (2009) também observaram uma redução na massa dos tapetes de grama Esmeralda à medida que as doses de lodo aplicadas aumentaram, variando de 100 a 400 kg ha⁻¹ de N.

Tabela 12 – Massa dos tapetes de grama Esmeralda após a colheita, em função da fonte K₂O, inoculação com bactérias promotoras do crescimento de plantas e de doses de nitrogênio.

F.V.	Massa dos tapetes (kg)
Bloco	0,75
Fonte K ₂ O (F)	0,53 ^{ns}
Dose N (%) (D)	0,04 *
Inoculação BPCP (I)	0,26 ^{ns}
F * D	0,34 ^{ns}
F * I	0,64 ^{ns}
D * I	0,19 ^{ns}
F * D * I	0,81 ^{ns}
CV (%)	13,49
Média Geral	6,76
DMS	0,53
Fonte K ₂ O	
KCl	6,67
Potasil	6,84
Dose N (%)	
75%	7,00a
100%	6,49b
Inoculação BPCP	
Sem inoculação	6,60
<i>A. brasilense</i>	6,60
<i>P. fluorescens</i>	7,07

ns - Não significativo pelo teste F; *, ** - Significativo em $p \leq 0,05$ e $p \leq 0,01$ pelo teste F, respectivamente. As médias seguidas de letras distintas na coluna diferem pelo teste de Tukey a 5%. 100% da dose de N equivale a 280 kg ha⁻¹ de N parcelados em 4 aplicações.

Fonte: Elaboração da própria autora

4.8 Atributos químicos do solo

Constatou-se efeito significativo das fontes K₂O para os teores de matéria orgânica ($p < 0,05$) (M.O.) e K ($p < 0,01$), assim como doses de N para o teor de P ($p < 0,05$), e inoculação com BPCPs ($p < 0,01$) no teor de P e valores de pH na análise química do solo em profundidade de 0,00 a 0,20 m. Houve interação significativa ($p < 0,01$) entre fonte K₂O e doses de N para o teor de P e M.O. do solo, assim como para fonte K₂O e inoculação com BPCPs no teor de P, além da interação entre doses de N e inoculação com BPCPs para o teor de P, M.O. e valor de pH no solo do presente estudo (Tabela 13). A fonte KCl promoveu incremento de 61,5% no teor de K em relação a Potasil (Tabela 13).

Tabela 13 – Análise química do solo na camada de 0,00 a 0,20 m em função dos tratamentos e após cultivo de grama Esmeralda.

F.V.	P mg dm ⁻³	M.O. g dm ⁻³	pH (CaCl ₂)	K mmol _c dm ⁻³	Si mg dm ⁻³
Bloco	0,52	0,57	0,10	0,32	0,40
Fonte K ₂ O (F)	0,90 ^{ns}	0,03 [*]	0,24 ^{ns}	0,00 ^{**}	0,10 ^{ns}
Dose N (%) (D)	0,02 [*]	0,24 ^{ns}	0,75 ^{ns}	0,47 ^{ns}	0,32 ^{ns}
Inoculação BPCP (I)	0,00 ^{**}	0,84 ^{ns}	0,00 ^{**}	0,17 ^{ns}	0,25 ^{ns}
F * D	0,00 ^{**}	0,01 ^{**}	0,85 ^{ns}	0,57 ^{ns}	0,32 ^{ns}
F * I	0,00 ^{**}	0,31 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,35 ^{ns}	0,25 ^{ns}
D * I	0,00 ^{**}	0,01 ^{**}	0,00 ^{**}	0,89 ^{ns}	0,11 ^{ns}
F * D * I	0,06 ^{ns}	0,94 ^{ns}	0,19 ^{ns}	0,64 ^{ns}	0,11 ^{ns}
CV (%)	15,90	5,34	4,70	23,64	14,95
Média Geral	30,50	11,31	4,94	1,70	2,89
DMS	5,35	0,66	0,25	0,44	0,25
Fonte K ₂ O					
KCl	30,58	11,50	4,90	2,10 a	3,00
Potasil	30,41	11,12	4,98	1,30 b	2,79
Dose de N (%)					
75	28,87	11,41	4,95	1,74	2,83
100	32,12	11,20	4,93	1,66	2,95
Inoculação BPCP					
Sem Inoculação	30,06	11,31	5,07	1,68	2,75
<i>A. brasilense</i>	41,00	11,37	4,98	1,85	3,00
<i>P. fluorescens</i>	20,43	11,25	4,78	1,58	2,93

ns - Não significativo pelo teste F; *, ** - Significativo em $p \leq 0,05$ e $p \leq 0,01$ pelo teste F, respectivamente. As médias seguidas de letras distintas na coluna diferem pelo teste de Tukey a 5%. 100% da dose de N equivale a 280 kg ha⁻¹ de N parcelados em 4 aplicações.

Fonte: Elaboração da própria autora.

Observou-se um aumento de 31,8% no teor de P no solo na fonte Potasil sob a dose de 75% de N em relação a fonte KCl (Tabela 14), todavia, esta, por sua vez, sob a maior dose de N proporcionou incremento de 29,5% em relação a Potasil e 45,5% em relação a menor dose de N também na fonte KCl para o teor de fósforo (Tabela 14). Efeito semelhante foi constatado por Niu *et al.* (2013) na cultura do trigo, onde a adubação com K melhorou a eficiência do uso de N e P.

A fonte KCl sob a dose de 75% de N promoveu acréscimo de 7% no teor de M.O. em relação a Potasil e 6% em comparação a dose de 100% de N. De acordo com Godoy *et al.* (2012), o fósforo tem função estrutural nas plantas, sendo assim, faz parte de várias biomoléculas relacionadas ao armazenamento e transferência de energia, está presente em concentrações de 0,2 a 0,6% nas folhas das gramas. Gramados bem nutridos em P possuem maior recuperação de período de seca, tolerância ao frio e um maior aproveitamento da água, possivelmente por ser um nutriente que proporciona o maior desenvolvimento do sistema radicular em profundidade

Tabela 14 – Efeito das fontes de K₂O e doses de N sobre os teores de fósforo (P) e matéria orgânica (M.O.) do solo na camada de 0,00 a 0,20 m após cultivo de grama Esmeralda.

Dose de N (%)	P (mg dm ⁻³)		M.O. (g dm ⁻³)	
	Fonte K ₂ O			
	KCl	Potasil	KCl	Potasil
75	24,91 Bb	32,83 Aa	11,83 Aa	11,00 Ba
100	36,25 Aa	28,00 Bb	11,16 Ab	11,25 Aa

Médias seguidas de mesma letra maiúscula nas linhas e mesma letra minúscula nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). 100% da dose de N equivale a 280 kg ha⁻¹ de N parcelados em 4 aplicações.

Fonte: Elaboração da própria autora

Com a fonte KCl sob a testemunha e *A. brasilense* verificou-se aumento de 21,7 e 23,1%, respectivamente, no teor de P em relação a Potasil (Tabela 15). Algumas estirpes de *Azospirillum* atuam como solubilizadoras de P, aumentando a disponibilidade desse nutriente no solo e conseqüentemente, para as culturas (TURAN *et al.*, 2012).

Potasil sob a inoculação com *P. fluorescens* incrementou cerca de 102,8% o teor de fósforo em comparação a KCl, que por sua vez, sob a inoculação com *A. brasilense* proporcionou acréscimo de 37,1 e 235,2% em relação a testemunha e *P. fluorescens*, concomitantemente, para o teor de P na camada de 0,00 a 0,20m, além de ter promovido

aumento de 35,5 e 34,3% para a concentração deste macronutriente em comparação a testemunha e *P. fluorescens*, simultaneamente, porém, sob a fonte Potasil (Tabela 15). A biofertilização envolve a solubilização de nutrientes, convertendo-os para formas solúveis no solo, entre estas H_2PO_4^- , K^+ e Zn^{2+} (KIM *et al.*, 2018). Essas bactérias, secretam vários ácidos orgânicos, dentre eles ácido oxálico, acético, málico e malônico, para solubilizar os nutrientes do solo, melhorando sua disponibilidade na rizosfera (KIM *et al.*, 2018; SATYAPRAKASH *et al.*, 2017).

Tabela 15 – Efeito das fontes de K_2O e das inoculações com BPCPs sobre o teor de P do solo na camada de 0,00 a 0,20 m, após cultivo de grama Esmeralda.

Inoculação BPCP	P (mg dm^{-3})	
	Fonte K_2O	
	KCl	Potasil
Sem Inoculação	33,00 Ab	27,12 Bb
<i>A. brasilense</i>	45,25 Aa	36,75 Ba
<i>P. fluorescens</i>	13,50 Bc	27,37 Ab

Médias seguidas de mesma letra maiúscula nas linhas e mesma letra minúscula nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). 100% da dose de N equivale a 280 kg ha^{-1} de N parcelados em 4 aplicações.

Fonte: Elaboração da própria autora.

A dose de 100% de N sob a inoculação com *Azospirillum* e *Pseudomonas* verificou aumento de 20,1 e 32,0%, respectivamente, no teor de fósforo em relação a dose de 75% de N (Tabela 16). A testemunha e *A. brasilense* sob a menor dose de N promoveu acréscimo de 80,2 e 111,4%, concomitantemente, em comparação a *P. fluorescens* para a concentração de P no solo (Tabela 16). Todavia, *Azospirillum brasilense* sob a maior dose de N incrementou cerca de 57,0 e 92,5% o teor de fósforo quando comparado com a testemunha e *P. fluorescens*, simultaneamente (Tabela 16). A biofertilização com as BPCP envolve a solubilização de nutrientes, convertendo-os para formas solúveis no solo, entre estas H_2PO_4^- (KIM *et al.*, 2018).

O tratamento controle sob a dose de 75% de N foi 6,8% superior em relação a inoculação com *P. fluorescens*, e 8,1% maior em comparação a dose de 100% de N no teor de M.O. (Tabela 16), isso é explicado pela acidez e a alcalinidade dos solos estarem diretamente ligadas à dinâmica da população microbiana associada ao solo e às plantas (BISWAS *et al.*, 2007, OZHALNINA *et al.*, 2015), e no presente estudo o solo se encontrava ácido.

Na testemunha sob a menor dose de N verificou acréscimo de 0,30 no valor de pH em comparação a *A. brasilense* (Tabela 16), todavia, a inoculação com essa bactéria e o tratamento sem inoculação sob a maior dose de N proporcionaram aumento de 0,45 e 0,34, respectivamente, comparados com *P. fluorescens*. Segundo Carrow, Waddington e Rieke *et al.*

(2001) as principais gramas utilizadas no Brasil, entre elas a grama Esmeralda são consideradas tolerantes às condições de elevada acidez do solo (pH em água < 5,0 ou pH em CaCl₂ < 4,4). Baldwin *et al.* (2005), estudando o a redução no valor de pH do solo de 6,5 para 4,0, acompanhada ou não da presença de Al, constataram que não houve alteração no desenvolvimento radicular e da parte aérea de grama Esmeralda.

Tabela 16 – Efeito das doses de N e das inoculações de BPCPs sobre o teores de P, M.O. e pH do solo na camada de 0,00 a 0,20 m, após cultivo de grama Esmeralda.

Inoculação BPCP	P (mg dm ⁻³)		M.O. (g dm ⁻³)		pH (CaCl ₂)	
			Dose de N (%)			
	75	100	75	100	75	100
Sem Inoculação	31,75 Aa	28,37 Ab	11,75 Aa	10,87 Ba	5,13 Aa	5,01 Aa
<i>A. brasilense</i>	37,25 Ba	44,75 Aa	11,50 Aab	11,25 Aa	4,83 Bb	5,12 Aa
<i>P. fluorescens</i>	17,62 Bb	23,25 Ab	11,00 Ab	11,50 Aa	4,90 Aab	4,67 Ab

Médias seguidas de mesma letra maiúscula nas linhas e mesma letra minúscula nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05). 100% da dose de N equivale a 280 kg ha⁻¹ de N parcelados em 4 aplicações.

Fonte: Elaboração da própria autora.

4.9 Acúmulo de nutrientes e silício nas folhas de grama Esmeralda

Ocorreu efeito significativo nos acúmulos de N e B (p<0,05) para fonte K₂O nas folhas de grama Esmeralda, assim como (p<0,01) para K, Cu, Fe e Zn (Tabela 17). Os maiores acúmulos de nutrientes foram observados sob a fonte Potasil que promoveu incremento de 14,3, 14,5, 44,5 e 18,5% no acúmulo de N, K, Fe e Mn, respectivamente, em relação a fonte KCl, na parte aérea de grama Esmeralda (Tabela 17). O aumento do acúmulo de K em 14,5% provavelmente ocorreu pela função principal do K de melhorar o balanço hídrico das plantas, que foi um dos efeitos proporcionados pelo Si (Tabela 17). Este efeito foi anteriormente descrito por Santos *et al.* (2021), em que a maior absorção de Si pelas plantas contribuiu para o aumento da absorção de K, este efeito sinérgico ocorre principalmente em plantas acumuladoras de Si, por melhorar o transporte de água e fotoassimilados via xilema e floema.

Houve resultados significativos (p<0,01) para as doses de N no acúmulo foliar de N, K, Cu e Fe, além de (p<0,05) P, Mg, S e B (Tabela 17). A dose de 100% de N proporcionou incremento de 25,8, 15,5, 21,6 e 13,7% no acúmulo de N, P, K e Mg, respectivamente, em relação a dose de 75% (Tabela 17), entretanto, na dose mais baixa de N verificou-se aumento de 11,7 para o acúmulo de S nas folhas de *Z. japonica* em comparação com a maior dose de N. O fornecimento adequado de N favorece a absorção de outros nutrientes como o K, Mg e Cu que tiveram aumento nos acúmulos foliares.

A inoculação com as BPCPs promoveu significância para os acúmulos foliares de K e S ($p<0,05$) (Tabela 17), assim como para Cu e Mn ($p<0,01$). *P. fluorescens* proporcionou aumento de 20,0, 19,3 e 29,5% para os acúmulos de K, S e Mn, simultaneamente, nas folhas de grama Esmeralda em relação a testemunha (Tabela 17). Bactérias promotoras de crescimento apresentam múltiplos mecanismos de ação sobre o crescimento vegetal, como a produção e secreção de fitormônios como o ácido indol-3-acético (AIA), citocininas e giberelinas (MEZA *et al.*, 2015), aumento na disponibilidade de nutrientes e solubilização do fosfato (Puente *et al.*, 2004; Galindo *et al.*, 2016).

Observa-se efeito significativo na interação entre fonte K_2O e doses de N nos acúmulos de Ca ($p<0,05$), B e Cu ($p<0,01$) (Tabela 17), assim como para a interação entre fonte K_2O e inoculação com BPCPs no acúmulo foliar de Cu ($p<0,01$), além da significância para a interação de doses de N e inoculação com BPCPs no acúmulo de Cu ($p<0,01$) e Fe ($p<0,05$) nas folhas de grama Esmeralda.

Tabela 17 – Acúmulo de nutrientes e silício nas folhas de grama Esmeralda em função da fonte K₂O, inoculação com bactérias promotoras do crescimento de plantas e doses de nitrogênio.

F.V.	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Si
	----- mg m ⁻² -----							----- µg m ⁻² -----			----- mg m ⁻² -----	
Bloco	0,02	0,02	0,01	0,00	0,10	0,02	0,00	0,78	0,00	0,07	0,00	0,00
Fonte K ₂ O (F)	0,04*	0,45 ^{ns}	0,01**	0,27 ^{ns}	0,11 ^{ns}	0,13 ^{ns}	0,03*	0,01**	0,00**	0,20 ^{ns}	0,00**	0,13 ^{ns}
Dose N (D)	0,00**	0,02*	0,00**	0,37 ^{ns}	0,04*	0,04*	0,05*	0,01**	0,00**	0,22 ^{ns}	0,76 ^{ns}	0,92 ^{ns}
Inoculação (I)	0,10 ^{ns}	0,24 ^{ns}	0,02*	0,10 ^{ns}	0,24 ^{ns}	0,03*	0,96 ^{ns}	0,00**	0,37 ^{ns}	0,00**	0,08 ^{ns}	0,30 ^{ns}
F * D	0,10 ^{ns}	0,25 ^{ns}	0,30 ^{ns}	0,03*	0,24 ^{ns}	0,46 ^{ns}	0,01**	0,00**	0,06 ^{ns}	0,09 ^{ns}	0,00**	0,07 ^{ns}
F * I	0,99 ^{ns}	0,82 ^{ns}	0,76 ^{ns}	0,35 ^{ns}	0,80 ^{ns}	0,49 ^{ns}	0,59 ^{ns}	0,01**	0,66 ^{ns}	0,31 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,56 ^{ns}
D * I	0,51 ^{ns}	0,19 ^{ns}	0,16 ^{ns}	0,87 ^{ns}	0,55 ^{ns}	0,67 ^{ns}	0,65 ^{ns}	0,00**	0,03*	0,57 ^{ns}	0,63 ^{ns}	0,13 ^{ns}
F * D * I	0,91 ^{ns}	0,86 ^{ns}	0,41 ^{ns}	0,81 ^{ns}	0,77 ^{ns}	0,97 ^{ns}	0,96 ^{ns}	0,82 ^{ns}	0,51 ^{ns}	0,59 ^{ns}	0,35 ^{ns}	0,51 ^{ns}
CV (%)	22,18	20,41	18,43	22,61	20,84	18,27	18,09	20,93	25,70	22,72	15,37	22,74
Média Geral	354,93	135,09	395,72	107,16	35,91	55,15	599,39	415,78	19940,15	4156,55	356,17	20,53
DMS	46,23	16,19	42,82	14,23	4,39	5,91	63,69	97,45	3009,55	554,73	32,15	2,74
Fonte K ₂ O												
KCl	331,30b	132,07	368,95b	103,24	34,16	52,90	564,51	491,41	17675,19b	3982,12	325,96	19,49
Potasil	378,56a	138,11	422,48a	111,08	37,65	57,41	634,27	340,16	22205,12a	4330,98	386,39	21,56
Dose N (%)												
75	314,33b	125,39b	357,15b	104,00	33,61b	58,20a	627,83	484,47	24155,85	3987,18	358,53	20,46
100	395,52a	144,78a	434,29a	110,32	38,21a	52,10b	570,95	347,10	15724,46	4325,91	353,82	20,59
Inoculação BPCPs												
Sem inoculação	320,07	126,11	355,96b	98,32	33,32	49,62b	596,00	184,61	18425,12	3681,23b	347,81	19,28
<i>A. brasilense</i>	377,13	136,43	404,08ab	105,97	37,58	56,59ab	605,00	452,57	20483,08	4024,15ab	381,45	20,45
<i>P. fluorescens</i>	367,58	142,71	427,10a	117,18	36,81	59,24a	597,17	610,17	20912,27	4764,26a	339,26	21,85

ns - Não significativo pelo teste F; *, ** - Significativo em $p \leq 0,05$ e $p \leq 0,01$ pelo teste F, respectivamente. As médias seguidas de letras distintas na coluna diferem pelo teste de Tukey a 5%. 100% da dose de N equivale a 280 kg ha⁻¹ de N parcelados em 4 aplicações.

Fonte: Elaboração da própria autora

Observou-se maior contribuição (23,85%) da dose de 100% de N sob a fonte KCl em relação a dose de 75% para o acúmulo de Ca e acréscimo de 25,5% para Potasil sob a menor dose de N em relação a KCl no acúmulo deste macronutriente em folhas de *Z. japonica* (Tabela 18). Ocorreu incremento de 27,8% no acúmulo de B para a fonte Potasil sob a dose de 75% de N em comparação a KCl e a dose de 100% de N (Tabela 18). Todavia, a fonte KCl sob a maior dose de N promoveu maior acúmulo de Cu (166,7%) comparado com a fonte Potasil (Tabela 18), entretanto, esta segunda fonte sob a menor dose de N proporcionou um acúmulo de 159,3% a mais de Cu na parte aérea de grama Esmeralda. Uma planta bem nutrida consegue melhorar o desenvolvimento radicular, a absorção de nutrientes, translocação e acúmulo dos nutrientes para a parte aérea das plantas, principalmente gramíneas (Sampaio *et al.*, 2021).

Tabela 18 – Efeito das doses de N e da fonte K₂O sobre o acúmulo de Ca, B e Cu nas folhas de grama Esmeralda.

de grama Esmeralda:						
Dose de N (%)	Ca (mg m ⁻²)		B (µg m ⁻²)		Cu (µg m ⁻²)	
	Fonte K ₂ O					
	KCl	Potasil	KCl	Potasil	KCl	Potasil
75	92,24 Bb	115,75 Aa	551,15 Ba	704,51 Aa	477,95 Aa	490,99 Aa
100	114,24 Aa	106,40 Aa	577,88 Aa	564,03 Ab	504,87 Aa	189,33 Bb

Médias seguidas de mesma letra maiúscula nas linhas e mesma letra minúscula nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05). 100% da dose de N equivale a 280 kg ha⁻¹ de N parcelados em 4 aplicações.

Fonte: Elaboração da própria autora.

Verificou-se maior média de acúmulo de Cu (231,4%) na fonte KCl sob a inoculação com *A. brasilense* em relação a potasil (Tabela 19), enquanto que *P. fluorescens* sob esta segunda fonte promoveu aumento de 186,5 e 187,1% no acúmulo foliar deste micronutriente em comparação a *A. brasilense* e a testemunha, respectivamente. A dose de 100% de N sob a inoculação com *Azospirillum* proporcionou acréscimo de 218,9% no acúmulo de Cu comparado com a dose de 75% de N (Tabela 19), todavia, a menor dose de N sob a inoculação com *Pseudomonas* incrementou cerca de 400,0% em relação a maior dose, esta mesma bactéria sob a dose de 75% de N foi 370,0 e 361,9% superior em relação a *Azospirillum* e a testemunha, concomitantemente, para o acúmulo Cu (Tabela 19). Contudo, *A. brasilense* sob a dose de 100% de N promoveu aumento de 239,1 e 362,3% em comparação com *Pseudomonas* e o tratamento controle, simultaneamente (Tabela 19). *Azospirillum* e a testemunha obtiveram melhor desempenho na menor dose de N em comparação a maior dose para o acúmulo de ferro (Tabela 19). Entretanto, a *Pseudomonas* foi superior (57,0%) para o acúmulo de Fe em relação a testemunha. A dose de 75% de N promoveu incremento de 102,2 e 84,6% para a testemunha e *A. brasilense*, respectivamente, em comparação a maior dose de N (Tabela 19). Isso pode ser

atribuído ao fato de que os solos brasileiros são ricos em Fe e de acordo com Godoy *et al.* (2012), a quantidade de micronutrientes acumulados pelas gramas são baixas, normalmente menores que 100 mg m⁻², com exceção do Fe. Fato este observado, neste trabalho, para a quantidade de Fe acumulado nas folhas.

Tabela 19 – Efeito da fonte K₂O e inoculação com BPCPs sobre o acúmulo de Cu, doses de N e inoculação com BPCPs sobre o acúmulo de Cu e Fe nas folhas de grama Esmeralda.

Inoculação BPCP	Cu (µg m ⁻²)		Cu (µg m ⁻²)		Fe (µg m ⁻²)	
	Fonte K ₂ O		Dose N (%)			
	KCl	Potasil	75	100	75	100
Sem inoculação	159,83 Ab	209,39 Ab	220,18 Ab	149,04 Ab	26.568,81 Aa	13.138,98 Bb
<i>A. brasilense</i>	695,31 Aa	209,83 Bb	216,10 Bb	689,04 Aa	25.208,36 Aa	13.655,95 Bab
<i>P. fluorescens</i>	619,09 Aa	601,25 Aa	1.017,12 Aa	203,22 Bb	23.602,67 Aa	20.636,09 Aa

Médias seguidas de mesma letra maiúscula nas linhas e mesma letra minúscula nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05). 100% da dose de N equivale a 280 kg ha⁻¹ de N parcelados em 4 aplicações.

Fonte: Elaboração da própria autora.

4.10 Acúmulo de nutrientes e silício nas raízes, rizomas e estolões de grama Esmeralda

Ocorreu efeito significativo (p<0,01) na fonte K₂O para os acúmulos de N, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn, além de (p<0,05) P e Si (Tabela 20). Houve valores expressivos (p<0,05) em doses de N para os acúmulos de P, K, Mg e Cu (p<0,01) (Tabela 20). A menor dose de N propiciou acréscimo de 7,8, e 13,1% para os acúmulos de P e Mg, respectivamente, nos órgãos radiculares de *Z. japonica* em comparação a dose de 100%, (Tabela 20). O aumento do acúmulo de Mg em função das doses de N é muito interessante para a nutrição da grama Esmeralda, uma vez que o Mg está envolvido em síntese de proteínas e associado a pigmentos de clorofila, atuando principalmente como cofator de uma série de enzimas envolvidas na fixação e metabolismo do carbono fotossintético (GUO *et al.*, 2016).

A inoculação com as bactérias promotoras de crescimento verificou efeito significativo (p<0,01) para os acúmulos de P, K, S, Cu, Zn, Si e (p<0,05) para Ca (Tabela 20).

Tabela 20 – Acúmulo de nutrientes e silício nas raízes, rizomas e estolões de grama Esmeralda em função da fonte K₂O, inoculação com bactérias promotoras do crescimento de plantas e de doses de nitrogênio.

F.V.	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Si
	----- mg m ⁻² -----						----- µg m ⁻² -----			----- mg m ⁻² -----		
Bloco	0,18	0,62	0,07	0,39	0,88	0,14	0,38	0,47	0,27	0,00	0,87	0,22
Fonte K ₂ O	0,00**	0,02*	0,27 ^{ns}	0,67 ^{ns}	0,00**	0,00**	0,00**	0,00**	0,00**	0,00**	0,51 ^{ns}	0,02*
Dose N (%)	0,62 ^{ns}	0,03*	0,04*	0,39 ^{ns}	0,02*	0,89 ^{ns}	0,17 ^{ns}	0,00**	0,66 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,10 ^{ns}	0,51 ^{ns}
Inoculação	0,81 ^{ns}	0,00**	0,00**	0,05*	0,07 ^{ns}	0,00**	0,10 ^{ns}	0,00**	0,18 ^{ns}	0,21 ^{ns}	0,01**	0,00**
F * D	0,75 ^{ns}	0,77 ^{ns}	0,00**	0,46 ^{ns}	0,54 ^{ns}	0,02*	0,64 ^{ns}	0,00**	0,71 ^{ns}	0,76 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,64 ^{ns}
F * I	0,00**	0,00**	0,01**	0,00**	0,00**	0,00**	0,00**	0,01**	0,00**	0,00**	0,01**	0,24 ^{ns}
D * I	0,11 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,03*	0,12 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,00**	0,63 ^{ns}	0,00**	0,00**	0,00**	0,02*	0,01**
F * D * I	0,06 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,22 ^{ns}	0,99 ^{ns}	0,76 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,25 ^{ns}	0,09 ^{ns}	0,34 ^{ns}	0,10 ^{ns}	0,11 ^{ns}	0,06 ^{ns}
CV (%)	15,87	11,86	12,69	17,54	17,44	13,03	16,07	14,13	17,87	13,30	20,17	18,48
Média Geral	3976,57	988,61	4319,67	1563,68	538,56	826,76	29082,97	16262,81	1623276,07	86111,89	14031,51	353,58
DMS	370,69	68,87	322,02	161,10	55,15	63,29	2744,62	6509,66	170355,02	6726,04	1662,04	38,37
Fonte K ₂ O												
KCl	3636,95	948,46	4232,24	1580,30	500,42	781,49	26025,44	21621,93	1407066,25	81538,20	13760,74	332,82
Potasil	4316,19	1028,75	4407,10	1547,06	576,69	872,02	32140,49	10903,69	1839485,90	90685,57	14302,29	375,34
Dose N (%)												
75	4021,58	1025,80a	4483,07	1597,79	571,71a	824,77	30009,17	11961,77	1605236,30	88732,83	14705,86	347,44
100	3931,56	951,41b	4156,27	1529,58	505,40b	828,74	28156,76	20563,85	1641315,85	83490,95	13357,16	359,72
Inoculação BPCPs												
Sem inoculação	3947,99	1114,12	4737,59	1642,27	577,74	906,85	31108,66	28267,39	1725489,78	84257,97	15665,11	393,69
<i>A. brasilense</i>	4058,77	949,58	3873,57	1625,72	498,26	855,80	28475,99	12020,41	1611640,11	83772,85	13857,62	290,35
<i>P. fluorescens</i>	3922,95	902,12	4347,85a	1423,05	539,67	717,62	27664,25	8095,63	1532698,33	90304,85	12571,80	376,72

ns - Não significativo pelo teste F; *, ** - Significativo em $p \leq 0,05$ e $p \leq 0,01$ pelo teste F, respectivamente. As médias seguidas de letras distintas na coluna diferem pelo teste de Tukey a 5%. 100% da dose de N equivale a 280 kg ha⁻¹ de N parcelados em 4 aplicações. Fonte: Elaboração da própria autora.

Houve decréscimo para os acúmulos de K e S nas raízes, rizomas e estolões de grama Esmeralda na dose de 100% de N sob a adubação com KCl (Tabela 21). Dessa forma, a menor dose de N foi capaz de proporcionar maior incremento desses dois macronutrientes nos órgãos subterrâneos de grama Esmeralda (Tabela 21). Isso é de grande relevância, uma vez que o K representa o segundo nutriente mais demandado pelas gramíneas. O K desempenha um papel fundamental na fotossíntese e é essencial para facilitar a circulação eficiente dos produtos fotossintetizados, o que se traduz em uma adequada mobilização de carboidratos para os órgãos de reserva. Além disso, o potássio desempenha um papel significativo na resistência das plantas a condições adversas, como pisoteio, temperaturas extremas, seca, calor e doenças conforme observado por Jiménez (2008) e Godoy *et al.* (2012). O K também desempenha um papel na regulação osmótica, no aumento da matéria seca e na qualidade do produto final (BARKER; PILBEAM, 2015).

Assim como o N, o S desempenha um papel estrutural fundamental nas plantas, fazendo parte da composição de aminoácidos, proteínas, enzimas, coenzimas e vitaminas. Portanto, é crucial que as gramíneas mantenham concentrações adequadas desse nutriente, como também ressaltado por Godoy *et al.* (2012). O KCl promoveu incremento no acúmulo de Cu sob a dose de 75% de N em relação a dose de 100% de N (Tabela 21), contudo, a fonte potasil proporcionou maior acúmulo deste micronutriente sob a maior dose de N em comparação com a menor dose. O Cu desempenha um papel colaborativo na fotossíntese, na respiração, na regulação hormonal e na tolerância a doenças, este último por meio da lignificação. (MESCHEDE *et al.*, 2009; GODOY *et al.*, 2012), dessa forma, é necessário o fornecimento deste micronutriente na produção de grama Esmeralda.

Tabela 21 – Efeito da fonte K₂O e doses de N sobre os acúmulos de K, S e Cu nas raízes, rizomas e estolões de grama Esmeralda.

Fósforo e Estóreo de grama Lombrizada.						
Dose N (%)	K (mg m ⁻²)		S (mg m ⁻²)		Cu (µg m ⁻²)	
	Fonte K ₂ O					
	KCl	Potasil	KCl	Potasil	KCl	Potasil
75	4674,77 Aa	4291,37 Aa	819,12 Aa	838,37 Aa	32587,13 Aa	8540,57 Bb
100	3789,71Bb	4522,84 Aa	743,87 Bb	905,67 Aa	10656,73 Bb	13266,81 Aa

Médias seguidas de mesma letra maiúscula nas linhas e mesma letra minúscula nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05). 100% da dose de N equivale a 280 kg ha⁻¹ de N parcelados em 4 aplicações. Fonte: Elaboração da própria autora.

Para o acúmulo de N nas raízes, rizomas e estolões de grama Esmeralda a inoculação com *A. brasilense* propiciou incremento deste nutriente sob a adubação com KCl em

comparação com *P. fluorescens* e a testemunha que verificaram melhor desempenho sob a adubação com a fonte Potasil para o acúmulo de N e P (Tabela 22). Entretanto, *P. fluorescens* limitou o acúmulo de P sob a fonte KCl assim como *A. brasilense* sob a fonte Potasil (Tabela 22). A testemunha incrementou o acúmulo de K sob a fonte KCl em comparação às inoculações com as BPCPs (Tabela 22), *A. brasilense* promoveu redução para o acúmulo potássico em relação a testemunha e *P. fluorescens* que ocasionou em menor acúmulo de K sob a fonte KCl em comparação a Potasil, limitando também o acúmulo de Ca sob a fonte KCl em relação à testemunha e *A. brasilense* que teve melhor desempenho sob a fonte KCl para o acúmulo de Ca nas raízes, rizomas e estolões de *Z. japonica*.

A testemunha e *P. fluorescens* incrementaram o acúmulo de Mg sob a fonte Potasil (Tabela 22), contudo, essa fonte limitou o acúmulo deste nutriente sob a inoculação com *A. brasilense* e verifica-se o mesmo comportamento para o acúmulo de S nas raízes, rizomas e estolões. Entretanto, Potasil favoreceu o acúmulo deste macronutriente sob a testemunha e *P. fluorescens*, onde nota-se o mesmo desempenho no acúmulo de B (Tabela 22). Para o acúmulo de Cu, a testemunha verificou incremento deste micronutriente sob a fonte KCl em relação a Potasil e também promoveu maior incremento em comparação às inoculações com as BPCPs (Tabela 22). O silício melhora o metabolismo primário das plantas, diminuindo a taxa de transpiração (CAMARGO *et al.*, 2017), melhorando a fotossíntese (ARAUJO *et al.*, 2019; VEGA *et al.*, 2019) e absorção de nutrientes (HAJIBOLAND *et al.*, 2018), corroborando com os dados de acúmulo de nutrientes do presente estudo.

A inoculação com *A. brasilense* sob a fonte Potasil limitou o acúmulo de Fe (Tabela 22), todavia, sob a fonte KCl proporcionou incremento no acúmulo deste micronutriente em relação a testemunha e a *P. fluorescens* que beneficiaram o acúmulo de Fe sob Potasil. A *P. fluorescens* sob a fonte Potasil favoreceram o acúmulo de Mn tanto em relação a testemunha e *A. brasilense* quanto para a fonte KCl (Tabela 22). No acúmulo de Zn nas raízes, rizomas e estolões de grama Esmeralda, *A. brasilense* incrementou o acúmulo deste micronutriente sob a fonte KCl em relação a Potasil (Tabela 22), contudo, a testemunha sob essa mesma fonte promoveu maior acúmulo de Zn em relação às inoculações com as BPCP.

As bactérias auxiliam no desenvolvimento e crescimento das plantas através de diversos aspectos, como a fixação biológica de nitrogênio (FBN) (GUIMARÃES; BALDANI; JACOB-NETO, 2014), a produção de fitohormônios que atuam no crescimento da raiz, refletindo assim, no maior desenvolvimento da parte aérea, melhorando e aumentando a absorção de nutrientes pelas plantas (CASSÁN; VANDERLEYDEN; SPAEPEN, 2014). Diversos estudos demonstraram a importância das BPCPs na absorção de micronutrientes como

B, Cu, Fe, Mn e Zn, após a liberação de ácidos orgânicos ou da produção de sideróforos (IPEK; ESITKEN, 2017), além da excreção de agentes quelantes, promovendo também as alterações redox e acidificação da rizosfera, melhorando a mobilidade desses nutrientes, assim como sua disponibilidade para serem absorvidos pelas plantas (RAJKUMAR, 2010; GLICK, 2014; BAHADUR *et al.*, 2016).

Tabela 22 – Efeito da fonte K₂O e inoculação com BPCPs sobre o acúmulo de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn nas raízes, rizomas e estolões de grama Esmeralda.

Inoculação BPCPs	N (mg m ⁻²)		P (mg m ⁻²)		K (mg m ⁻²)		Ca (mg m ⁻²)	
	Fonte K ₂ O		Fonte K ₂ O		Fonte K ₂ O		Fonte K ₂ O	
	KCl	Potasil	KCl	Potasil	KCl	Potasil	KCl	Potasil
Sem inoculação	3494,13 Bab	4401,84 Aa	1037,55 Ba	1190,69 Aa	4666,12 Aa	4809,06 Aa	1631,03 Aa	1653,50 Aa
<i>A. brasilense</i>	4223,46 Aa	3894,09 Aa	1090,02 Aa	809,13 Bb	4077,16 Aab	3669,99 Ab	1816,40 Aa	1435,04 Ba
<i>P. fluorescens</i>	3193,26 Bb	4652,64 Aa	717,82 Bb	1086,43 Aa	3953,45 Bb	4742,26 Aa	1293,47 Ab	1552,63 Aa
Inoculação BPCPs	Mg (mg m ⁻²)		S (mg m ⁻²)		B (µg m ⁻²)		Cu (µg m ⁻²)	
	Fonte K ₂ O		Fonte K ₂ O		Fonte K ₂ O		Fonte K ₂ O	
	KCl	Potasil	KCl	Potasil	KCl	Potasil	KCl	Potasil
Sem inoculação	505,00 Ba	650,47 Aa	819,76 Ba	993,94 Aa	23805,00 Bb	38412,32 Aa	44730,87 Aa	12613,91 Ba
<i>A. brasilense</i>	536,42 Aa	460,10 Ab	926,82 Aa	784,77 Bb	30099,20 Aa	26852,79 Ab	12593,26 Ab	11447,56 Aab
<i>P. fluorescens</i>	459,84 Ba	619,50 Aa	597,89 Bb	837,35 Ab	24172,11 Bb	31156,38 Ab	7541,66 Ac	8649,61 Ab
Inoculação BPCPs	Fe (µg m ⁻²)		Mn (µg m ⁻²)		Zn (µg m ⁻²)			
	Fonte K ₂ O		Fonte K ₂ O		Fonte K ₂ O			
	KCl	Potasil	KCl	Potasil	KCl	Potasil	KCl	Potasil
Sem inoculação	1303368,88 Bb	2147610,68 Aa	81720,34 Aa	86795,61 Ab	13763,07 Ba	17567,15 Aa		
<i>A. brasilense</i>	1742002,70 Aa	1481277,52 Ab	87629,96 Aa	79915,73 Ab	15141,75 Aa	12573,49 Bb		
<i>P. fluorescens</i>	1175827,17 Bb	1889569,50 Aa	75264,31 Ba	105345,39 Aa	12377,39 Aa	12766,22 Ab		

Médias seguidas de mesma letra maiúscula nas linhas e mesma letra minúscula nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05). 100% da dose de N equivale a 280 kg ha⁻¹ de N parcelados em 4 aplicações.

Fonte: Elaboração da própria autora.

Na testemunha verificou-se melhor desempenho no acúmulo de K em relação às BPCPs sob a dose 75% de N (Tabela 23), enquanto que *A. brasilense* limitou o acúmulo deste macronutriente nas raízes, rizomas e estolões de grama Esmeralda em relação a testemunha e *P. fluorescens* sob a dose de 100% de N. Para o acúmulo de S, a testemunha proporcionou incremento deste nutriente em relação às BPCPs sob a dose de 75% de N (Tabela 23) enquanto que sob a dose de 100% de N *P. fluorescens* propiciou decréscimo de S.

Ocorreu maior acúmulo de Cu na testemunha sob a dose de 75% de N em relação a dose de 100% de N e a inoculação com as BPCPs (Tabela 23), para a dose de 100% de N houve incremento de Cu sob a inoculação com *A. brasilense* em comparação com a testemunha e *P. fluorescens*, além disso, o mesmo comportamento pode ser observado para o acúmulo de Fe (Tabela 23). Os microrganismos são considerados os principais atuantes do ciclo natural dos nutrientes. A solubilização de nutrientes minerais pode ser elevada devido as rizobactérias promotoras de crescimento que liberam ácidos orgânicos e açúcares para a rizosfera, promovendo um meio ácido por CO₂ (MOHITE, 2013).

P. fluorescens beneficiou o acúmulo de Mn sob a dose de 75% de N em relação a dose de 100% de N, já a testemunha também sob a dose de 75% de N proporcionou maior acúmulo de Zn em comparação a dose de 100% de N e a inoculação com as BPCPs (Tabela 23). Alguns microrganismos produzem compostos quelantes que formam um complexo na ligação com zinco, liberando então, compostos quelados de zinco na zona radicular, aumentando a disponibilidade do zinco para o vegetal. Diversas espécies de microrganismos como bactérias e fungos melhoram a disponibilidade do zinco na superfície radicular utilizando diferentes mecanismos (SAXENA *et al.*, 2014; KOUR *et al.*, 2020; RANA *et al.*, 2020).

Para o acúmulo de Si nas raízes, rizomas e estolões de *Z. japonica* a dose de 75% de N sob a inoculação com *A. brasilense* verificou menor acúmulo deste elemento em comparação a dose e 100% de N (Tabela 23), a testemunha e *P. fluorescens*. O maior acúmulo de Si nas estruturas vegetativas de raízes, rizomas e estolões e o não acúmulo deste elemento na parte aérea de grama esmeralda muito provavelmente se deu pelo silício ser pouco móvel na planta, de acordo com Korndorfer e Datnoff (2000). Fato este que também é reforçado por trabalhos de Marschner (1995) com as culturas do arroz (*Oryza sativa*), trigo (*Triticum aestivum*) e soja (*Glycine max* L. Merrill)

Diversas rizobactérias foram determinadas como produtoras de sideróforo, podendo elevar a mobilidade, bem como a disponibilidade de micronutrientes pela produção de sideróforos (GHAVAMI *et al.*, 2016; RADZKI *et al.*, 2013; SADEGHI *et al.*, 2012; SHARMA *et al.*, 2015). A inoculação de plantas com cepas de rizobactérias aumentou a absorção de nutrientes pelo vegetal, afetaram a disponibilidade de Fe e também na potencialização da absorção de outros micronutrientes como Zn, Mn, Cu e B devido a liberação de ácido orgânico e produção de fitossideróforos, reforçando os efeitos benéficos das inoculações com BPC em muitas espécies de plantas diferentes (ÍPEK; ESITKEN, 2017).

Tabela 23 – Efeito da inoculação com BPCPs e doses de N sobre o acúmulo de K, S, Cu, Fe, Mn, Zn e Si nas raízes, rizomas e estolões de grama Esmeralda.

Inoculação BPCPs	K (mg m ⁻²)		S (mg m ⁻²)		Cu (µg m ⁻²)		Fe (µg m ⁻²)	
	Dose N (%)		Dose N (%)		Dose N (%)		Dose N (%)	
	75	100	75	100	75	100	75	100
Sem inoculação	4994,79 Aa	4480,39 Aa	945,44 Aa	868,26 Aa	45668,32 Aa	11676,46 Bb	1871099,20 Aa	1579880,36 Aab
<i>A. brasilense</i>	4239,17 Ab	3507,98 Bb	748,69 Bb	962,90 Aa	7312,63 Bb	16728,19 Aa	1338760,54 Bb	1884519,68 Aa
<i>P. fluorescens</i>	4215,25 Ab	4480,45 Aa	792,10 Ab	643,15 Bb	8710,60 Ab	7480,67 Ac	1605849,15 Aab	1459547,51 Ab
Inoculação BPCPs	Mn (µg m ⁻²)		Zn (µg m ⁻²)		Si (mg m ⁻²)			
	Dose N (%)		Dose N (%)		Dose N (%)			
	75	100	75	100	75	100		
Sem inoculação	79766,44 Ab	88749,51 Aa	17974,42 Aa	13355,80 Ba	411,89 Aa	375,48 Aa		
<i>A. brasilense</i>	83794,99 Ab	83750,70 Aa	13272,60 Ab	14442,64 Aa	243,11 Bb	337,59 Aa		
<i>P. fluorescens</i>	102637,05 Aa	77972,65 Ba	12870,56 Ab	12273,04 Aa	387,33 Aa	366,10 Aa		

Médias seguidas de mesma letra maiúscula nas linhas e mesma letra minúscula nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

100% da dose de N equivale a 280 kg ha⁻¹ de N parcelados em 4 aplicações.

Fonte: Elaboração da própria autora

Era esperado no presente estudo que o acúmulo de nutrientes nas raízes, rizomas e estolões de grama Esmeralda fossem maiores quando inoculadas com as BPCPs, uma vez que são microrganismos capazes de favorecer o desenvolvimento radicular e aumentar a capacidade das plantas em absorver água e nutrientes.

5 CONCLUSÃO

A dose recomendada de N promoveu maior taxa de cobertura do solo, assim como proporcionou um verde mais intenso em *Z. japonica*, todavia, a dose de 75% da dose recomendada de N ocasionou maior massa dos tapetes. As inoculações com *P. fluorescens* e *A. brasilense* propiciaram incremento na matéria seca da parte aérea de grama Esmeralda. O fornecimento de silício beneficiou a matéria seca de raízes, rizomas e estolões que foi maior sob o fornecimento deste elemento. A inoculação com *Azospirillum brasilense* resultou em maior teor de P no solo.

A redução da adubação nitrogenada afetou negativamente as concentrações e acúmulos dos macronutrientes primários em parte aérea de grama Esmeralda. Contudo, a inoculação com *P. fluorescens* aliado ao uso de Potasil com o fornecimento de 75% da dose de N favoreceu o maior crescimento das plantas, sendo esta combinação a mais indicada para o cultivo de grama Esmeralda de acordo com o presente estudo, conseguindo reduzir em 25% a adubação nitrogenada do gramado.

REFERÊNCIAS

ABREU, J. P. J. L.; ANDRADE, T. F.; SILVA, T. B. G.; KOTAMA, E. K.; VILLAS BÔAS, R. L. Produção de matéria seca e crescimento da grama bermuda tifway submetida a diferentes doses de nitrogênio. *In: SIMPÓSIO SOBRE GRAMADOS, SIGRA, 7., 2015, Botucatu. Anais [...].* Botucatu: UNESP/FCA, 2015. PEN-DRIVE.

AGRIANUAL 2023: **Anuário da Agricultura Brasileira**. São Paulo: Informa Economics FNF, 2022. 480 p.

AKHTAR, N.; ILYAS, N.; HAYAT, R.; YASMIN, H.; NOURELDEEN, A.; AHMAD, P. 2021. Synergistic effects of plant growth promoting rhizobacteria and silicon dioxide nanoparticles for amelioration of drought stress in wheat. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 166, p. 160-176.

ALBUQUERQUE, B. C. **Estudo da viabilidade econômica da produção de grama esmeralda na região de Formosa-GO**. 2009. 30 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Agronomia) – Faculdades Integradas, União Pioneira de Integração Social, Planaltina, 2009.

ALFONSI, L. G.; GODOY, L. J. G. de; TIBÃES, L. M.; LATORRE, A. S.; BENTO, M. de S. Distribuição espacial da compactação do solo e índice de vegetação por diferença normalizada em campo de futebol. *In: SIMPÓSIO SOBRE GRAMADOS, SIGRA, 7, 2015, Botucatu. Anais [...].* Botucatu: UNESP/FCA, 2015. PEN-DRIVE.

AMARAL, J. A.; CASTILHO, R. M. M. Fertilizantes comerciais de liberação imediata e controlada na revitalização de grama batatais. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**, Garça, v. 22, n. 2, p. 1-11, 2012. Disponível em: http://faef.revista.inf.br/imagens_arquivos/arquivos_destaque/uwDnVx4jMbjGY0p_2013-5-17-18-12-18.pdf. Acesso em: 15 abr. 2013.

ARANTES, L. F. T.; SILVA, T. B. G.; OLIVEIRA, M. R.; AMARAL, A. L. C.; VILLAS BÔAS, R. L. Comparação entre diferentes adubos foliares em gramado de Tifton 419 após corte vertical. *In: SIMPÓSIO SOBRE GRAMADOS, SIGRA, 7, Botucatu. Anais [...].* Botucatu: UNESP/FCA, 2015. PEN-DRIVE.

ARAUJO, M.; RIOS, J.; SILVA, E.; RODRIGUES, F. Silicon alleviates the changes in the source-sink relationship of wheat plants infected by *Pyricularia oryzae*. **Phytopathology**, Saint Paul, v.109, n.7, p.1129-1140, 2019.

ARIGONI, L. Problemas comuns em gramados de áreas residenciais e industriais. *In: SIMPÓSIO SOBRE GRAMADOS, SIGRA: manejo de gramas na produção e em gramados formados, 2, 2004, Botucatu. Anais [...].* Botucatu: GEMFER/FEPAF, 2004. 1 CD-ROM.

ASHFAQUE, F.; INAM, A.; INAM, A.; IQBAL, S.; SAHAY, S. 2017. Response of silicon on metal accumulation, photosynthetic inhibition and oxidative stress in chromium-induced mustard (*Brassica juncea* L.), **South African Journal of Botany**, v. 111, p. 153-160, ISSN 0254-6299.

BACKES, C.; BULL, L. T.; GODOY, L. J. G.; VILLAS BÔAS, R. L.; LIMA, C. P.; PIRES, E. C. Uso de lodo de esgoto na produção de tapetes de grama esmeralda. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 4, p. 1045-1050, 2009.

BACKES, C.; LIMA, C. P.; GODOY, L. J. G.; SANTOS, A. J. M.; VILLAS BÔAS, R. L.; BÜLL, L. T. Produção, acúmulo e exportação de nutrientes em grama esmeralda adubada com lodo de esgoto. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 2, p. 413-422, 2010.

BACKES, C.; VILLAS BÔAS, R. L.; LIMA, C. P.; GODOY, L. J. G.; BULL, L. T.; SANTOS, A. J. M. Estado nutricional em nitrogênio da grama esmeralda avaliado por meio do teor foliar, clorofilômetro e imagem digital, em área adubada com lodo de esgoto. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 3, p. 661-668, 2010.

BAHADUR, I.; MAURYA, B.R.; KUMAR, A.; MEENA, V.S.; RAGHUWANSHI, R. Towards the Soil Sustainability and Potassium-Solubilizing Microorganisms. In: MEENA, Vijay Singh; MAURYA, Bihari Ram; VERMA, Jay Prakash; MEENA, Ram Swaroop. **Potassium Solubilizing Microorganisms for Sustainable Agriculture**. New Delhi: Springer India, 2016. p. 255-266.

BALDWIN, C. M.; LIU, H.; MCCARTY, L.B.; BAUERLE W.L.; TOLER, J.E. Aluminum tolerances of ten warm-season turfgrasses. **International Turfgrass Society**, Wales, v. 10, p. 811 – 217, 2005.

BARASSI, C.A.; SUELDO, R.J.; CREUS, C.M.; CARROZZI, L.E.; CASANOVAS, W.M.; PEREYRA, M.A. Potencialidad de *Azospirillum* en optimizar el crecimiento vegetal bajo condiciones adversas. In: CASSÁN, F.D.; GARCIA DE SALAMONE, I. (Ed.) ***Azospirillum* sp.: cell physiology, plant interactions and agronomic research in Argentina**. Argentina: Asociación Argentina de Microbiología, 2008. p.49-59.

BARKER, A.V.; PILBEAM, D.J. **Handbook of plant nutrition**. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, 2015. 773p.

BASHAN, Y.; BUSTILLOS, J. J.; LEYVA, L. A.; HERNANDEZ, J. P.; BACILIO, M. Increase in auxiliary photoprotective photosynthetic pigments in wheat seedlings induced by *Azospirillum brasilense*. **Biology and Fertility of Soils**, Heidelberg, v. 42, p. 279-285, 2006.

BASHAN, Y.; HOLGUIN, G. *Azospirillum* – plant relationships: environmental and physiological advances (1990-1996). **Canadian Journal of Microbiology**, Ottawa, v.43, p.103-121, 1997.

BASHAN, Y.; HOLGUIN, G.; DE-BASHAN, L.E. *Azospirillum*-plant relations physiological, molecular, agricultural, and environmental advances (1997-2003). **Canadian Journal of Microbiology**, Ottawa, v.50, p.521-577, 2004.

BIGELOW, C. A. **Turfgrass identification tool**. West Lafayette: Purdue University, Turfgrass Science, Department of Agronomy, 2009. Disponível em: <http://www.agry.purdue.edu/turf/tool/index.html>. Acesso em: 4 jan. 2011.

- BISWAS, A.; DASGUPTA, S.; DAS, S.; ABRAHAM, A. A synergy of differential evolution and bacterial foraging optimization for global optimization. **Neural Networks World**, Oxford, v. 17, n. 6, 2007.
- BOLAN, N. S.; ELLIOTT, J.; GREGG, P. E. H.; WEIL, S. Enhanced dissolution of phosphate rocks in the rhizosphere. **Biology and Fertility of Soils**, Heidelberg, v. 24, n. 1, p. 169-174, 1997.
- BOWMAN, D.C.; CHERNEY, C.T.; RUFTY JUNIOR, T.W. Fate and transport of nitrogen applied to six warm-season turfgrasses. **Crop Science**, Madison, v.42, p.833-841, 2002.
- BRECHT, M. O.; L. E.; KUCHARAK, T. A.; NAGATA, R. T. Influence of silicon and chlorothalonil on the suppression of gray leaf spot and increase plant growth in St. Augustinegrass. **Plant Disease**, St. Paul, v. 88, p. 338-344, 2004.
- BREMER, D.J.; LEE, H.; SU, K.; KEELEY, S.J. Relationships between normalized difference vegetation index and visual quality in cool-season turfgrass: II. Factors affecting NDVI and its component reflectance. **Crop Science**, Madison, v.51, n.5, p.2219, 2011.
- CAMARGO, M. S. de. Efeito do silício na tolerância das plantas aos estresses bióticos e abióticos. **Informações Agrônomicas**, Piracicaba, n. 155, p. 1-8, 2016.
- CAMARGO, M.S.; BEZERRA, B.K.L.; VITTI, A.C.; SILVA, M.A.; OLIVEIRA, A.L. Silicon fertilization reduces the deleterious effects of water deficit in sugarcane. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, Temuco, v.17, n.1, p.99-111, 2017.
- CARNEIRO, F. M. **Sensores de dossel no monitoramento da variabilidade temporal das culturas da soja e do amendoim**. 2018. 107 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Produção Vegetal) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2018.
- CARROW, R. N.; WADDINGTON, D. V.; RIEKE, P. E. **Turfgrass soil fertility and chemical problem: assessment and management**. Chelsea: Ann Arbor, 2001. 400 p.
- CASLER, M. D.; DUNCAN, R. R. (Ed.). **Turfgrass biology, genetics, and breeding**. Hoboken: John Wiley, 2003. 355p.
- CASSÁN, F.; VANDERLEYDEN, J.; SPAEPEN, S. 2014. Physiological and agronomical aspects of phytohormone production by model plant-growth-promoting rhizobacteria (PGPR) belonging to the genus *Azospirillum*. **Journal on Plant Growth and Development**, [S. l], v. 33, p. 440-459.
- CASTRO, G. S. A. **Alterações físicas e químicas do solo em função do sistema de produção e da aplicação superficial de silicato e calcário**. 2009. 160 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2009.
- CASTRO, G. S. A.; CRUSCIOL, C. A. C. Effects of superficial liming and silicate application on soil fertility and crop yield under rotation. **Geoderma**, Amsterdam, v.195- 196, p.234-242, 2013.

CASSÁN, F.; VANDERLEYDEN, J.; SPAEPEN, S. Physiological and Agronomical Aspects of Phytohormone Production by Model Plant-Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR) Belonging to the Genus *Azospirillum*. **Plant Growth Regulation**, [S. l.], v. 33, p. 440–459, 2014.

Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada - CEPEA. **Hortifruti Brasil**, Piracicaba, Ano 21. ed.12, maio 2023. Disponível em: <http://www.hfbrasil.org.br/br/revista/anuario-2023.aspx>. Acesso em: 09 jun. 2023.

CHANDRAKALA, C.; VOLETI, S.R.; BANDEPPA, S.; SUNIL KUMAR, N.; LATHA, P.C. Silicate solubilization and plant growth promoting potential of *Rhizobium* sp. isolated from rice rhizosphere. **Silicon**, Dordrecht, v. 11, p. 1–12, 2019.

CHARBONNEAU, P. **Sod production**. Government of Ontario, Canadá, 2004. Disponível em: http://www.gov.on.ca/OMAFRA/english/crop/facts/info_sod.htm. Acesso em: 21 nov. 2004.

CHRISTIANS, N. E. **Fundamental of turfgrass management**. Chelsea: Arbor Press, 1998. 301p.

CONN, K. L., NOWAK, J.; LAZAROVITS, G. A gnotobiotic bioassay for studying interactions between potatoes and plant growth-promoting rhizobacteria. **Canadian Journal of Microbiology**, Ottawa, v. 43, p. 801-808, 1997.

COREL CORPORATION. **Corel PhotoPaint**. v. 10.4. Corel Corporation and Corel.

CORREA, O. S.; ROMERO, A. M.; SORIA, M. A.; DE ESTRADA, M. *Azospirillum brasilense*-plant genotype interactions modify tomato response to bacterial diseases, and root and foliar microbial communities. In: CASSÁN, F. D.; GARCIA DE SALAMONE, I. (ed.) ***Azospirillum* sp.: cell physiology, plant interactions and agronomic research in Argentina**. Argentina: Asociación Argentina de Microbiología, 2008. p.87-95.

CHIEN, S. H., PROCHNOW, L. I.; TU, S.; SNYDER, C. S. 2011. Agronomic and environmental aspects of phosphate fertilizers varying in source and solubility: an update review. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 89, p. 229-255.

DATNOFF, L.; BRECHT, M.; KUCHARÉK, T.; TRENHOLM, L.; NAGATA, R.; SNYDER, G.; UNRUH, J. B.; CISAR, J. 2005. Influence of silicon (Si) controlling gray leaf spot and more in St. Augustinegrass in Florida. **TPI Turf News**, [S. l.], v. 3, p. 30-32.

DATNOFF, L. E.; KORNDORFER; GASPAR H. Efeitos do silício em gramados. In: SIMPÓSIO SOBRE GRAMADOS, 4., 2008, Botucatu. **Anais [...]**. Uberlândia: Cdd, 2008. p. 37-43. Disponível em: <http://infograma.com.br/wpcontent/uploads/2015/11/topico1.pdf>. Acesso em: 23 abr. 2021.

DATNOFF, L. E.; NAGATA, R. T. Influence of silicon on gray leaf spot development in St. Augustinegrass. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 89, p.519, 1999.

DINALLI, R. P. **Adubação nitrogenada e doses do herbicida glyphosate como regulador de crescimento em grama esmeralda**. 2017. Dissertação (Doutorado em Sistemas de Produção) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2017. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/150612>. Acesso em: 25 abr. 2021.

DORNELES, A.O.S.; PEREIRA, A.S.; POSSEBOM, G.; SASSO, V.M.; ROSSATO, L.V.; TABALDI, L.A. 2018. Growth of potato genotypes under different silicon concentrations. **Advances in Horticultural Science**, Florence, v.32, n.2, p.289-295.

DREYER L.; GOMEZ-PORRAS, J.L.; RIEDELSBERGER, J. The potassium battery: a mobile energy source for transport processes in plant vascular tissues. **New Phytologist**, Chichester, v. 216, p.1049–1053, 2017.

DUARTE, A. N. M.; SOARES FILHO, C.V.; TEIXEIRA FILHO, M.C.M.; CARVALHO, C. L. M.; HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A.; VALVANO, I.M.; ISHIY, A.G. 2021. Inoculação com bactérias promotoras do crescimento vegetal e redução de fertilizante nitrogênio no acúmulo de ervas e valor nutricional da grama de Mavuno. **International Journal for Innovation Education and Research**, [S. l.], v. 9, n. 3, p. 16-34.

ELAWADS, S. H.; GREEN, V. E. 1979. Silicon and the rice plant environment: A review of recent research. **Riso**, v.28, p.235-253.

EPSTEIN, E. 1994. **The anomaly of silicon in plant biology**. Proc. Natl. Acad. Sei. USA 91:1117.

ETESAMI, H. 2018. Can interaction between silicon and plant growth promoting rhizobacteria benefit in alleviating abiotic and biotic stresses in crop plants? **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 253, p. 98–112.

EXNER, M. E.; BURBACH, M. E.; WATTS, D. G.; SHERMAN, R. C.; SPALDING, R. F. Deep nitrate movement in the unsaturated zone of a simulated urban lawns. **Journal of Environmental Quality**, v. 20, p. 658-662, 1991.

FERREIRA, D. F. SISVAR: A computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**, [S. l.], v. 37, n. 4, p. 529-535, 2019.

FONSECA, E. L.; ROSA, L. M. G.; FONTANA, D. C. Caracterização espectral de *Paspalum notatum* em diferentes níveis de adubação nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 37, n. 3, p. 365-371, 2002. Disponível em: <http://seer.sct.embrapa.br/index.php/pab/article/view/6349/3406>. Acesso em: 08 jun. 2012.

FUKAMI, J.; CERZINI P.; HUNGRIA, M. *Azospirillum*: benefits that go far beyond biological nitrogen fixation. **AMB Express**, Münster, v.8, n.1, p.73. 2018.

GALINDO, F. S. **Desempenho Agrônômico do milho e do trigo em função da inoculação com *Azospirillum brasilense* e doses e fontes de nitrogênio**. 2015. 150 f. Dissertação de mestrado (Agronomia – Sistemas de produção) – Universidade Estadual Paulista “Júlio e Mesquita Filho” – UNESP, Ilha Solteira, SP, 2015.

GALINDO, F. S. **Inoculation with *Azospirillum brasilense* associated with silicon applied to correct soil acidity and nitrogen rates in corn and wheat crops**. 2020. 150 f. Tese (Doutorado em Agronomia – Sistemas de produção) – Universidade Estadual Paulista “Júlio e Mesquita Filho” – UNESP, Ilha Solteira, SP, 2020.

GALINDO, F. S.; BUZETTI, S.; RODRIGUES, W. L.; BOLETA, E. H. M.; SILVA, V. M.; TAVANTI, R. F. R.; FERNANDES, G. C.; BIAGINI, A. L. C.; ROSA, P. A. L.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M. 2020b. Inoculation of *Azospirillum brasilense* associated with silicon as a liming source to improve nitrogen fertilization in wheat crops. **Scientific Reports**, v.10, 6160.

GALINDO, F. S.; RODRIGUES, W. L.; BIAGINI, A. L. C.; FERNANDES, G. C.; BARATELLA, E. B.; SILVA JUNIOR, C. A.; BUZETTI, S.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M. Assessing forms of application of *Azospirillum brasilense* associated with silicon use on wheat. **Agronomy**, v. 9, n. 11, 678, 2019.

GALINDO, F. S., TEIXEIRA FILHO, M. C. M., BUZETTI, S., SANTINI, J. M. K., ALVES, C. J., NOGUEIRA, L. M., LUDKIEWICZ, M. G. Z., ANDREOTTI, M., BELLOTTE, J. L. M. 2016. Corn yield and foliar diagnosis affected by nitrogen fertilization and inoculation with *Azospirillum brasilense*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.40, p.1-18.

GALINDO, F.S.; TEIXEIRA FILHO, M.C.M.; BUZETTI, S.; SANTINI, J.M.K.; MONTANARI, R.; FREITAS, L.A.; RODRIGUES, W.L. Micronutrient accumulation with *Azospirillum brasilense* associated with nitrogen fertilization management in wheat. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.50, n.19, p.2429-2441, 2019.

GAZOLA, R. P. D.; BUZETTI, S.; GAZOLA, R. N.; CASTILHO, R. M. M.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; CELESTRINO, T. S. Nitrogen fertilization and glyphosate doses as growth regulators in Esmeralda grass. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.23, n.12, p.930-936, 2019.

GAZOLA, R. P. D.; BUZETTI, S.; GAZOLA, R. N.; CASTILHO, R. M. M.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; CELESTRINO, T. S.; DUPAS, E. Nitrogen dose and type of herbicide used for growth regulation on the green coloration intensity of Emerald grass. **Ciência Rural**, v. 46, p. 984-990. 2016.

GHAVAMI, N.; ALIKHANI, H.A.; POURBABAE, A.A.; BESHARATI, H. Study the effects of siderophore-producing bacteria on zinc and phosphorous nutrition of Canola and Maize plants. **Communications in Soil Science and Plant Analysis** 47(12):1517–1527, 2016.

GLICK, B. 2014. Bacteria with ACC Deaminase Can Promote Plant Growth and Help to Feed the World. **Microbiological Research** 169, 30–39.

GODOY, L.J.G.; BACKES, C.; VILLAS BÔAS, R. L.; SANTOS, A. J. M. **Nutrição, adubação e calagem para a produção de gramas**. Botucatu: FEPAF, 2012. 1ªed. 146p.

GODOY, L. J. G. **Adubação nitrogenada para produção de tapete de grama Santo Agostinho e Esmeralda**. 2005. 106 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2005.

GODOY, L. J. G.; VILLAS BÔAS, R. L.; BACKES, C. **Produção de tapetes de grama Santo Agostinho submetida a doses de nitrogênio**. Semina: Ciências Agrárias, Londrina, v. 33, n. 5, p. 1703-1716, 2012. Disponível em:

<http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/semagrarias/article/viewFile/7789/11550>. Acesso em: 11 nov. 2013.

GODOY, L. J. G.; VILLAS BÔAS, R. L.; BACKES, C.; MATEUS, C. M. D. **Gramados**. In: IAC– Instituto Agronômico de Campinas. Recomendações de Adubação e Calagem para o Estado de São Paulo – Boletim 100. 3. Ed. Campinas: IAC, 2022. p. 474-481.

GODOY, L. J. G.; ALMEIDA, L. C. F. de. 2015. Sazonalidade e evolução dos preços da grama esmeralda, no Ceasa Campinas-SP, no período de 2010 a 2015. In: SIMPÓSIO SOBRE GRAMADOS, SIGRA, 7, Botucatu. **Anais [...]**. Botucatu: UNESP/FCA, 2015. PENDRIVE.

GODOY, L.J.G.; VILLAS BÔAS, R.L. **Calagem e adubação para gramados**: Como potencializar a produção e a manutenção. In: VILLAS BÔAS, R. L; GODOY, L. J. G.; LIMA, C. P.; BACKES, C. Tópicos atuais em gramados. Botucatu: UNESP, 2008, p.2-19.

GODOY, L. J. G.; VILLAS BÔAS, R. L. Nutrição de gramados. In: SIMPÓSIO SOBRE GRAMADOS, SIGRA: produção, implantação e manutenção, 1, Botucatu. **Anais [...]**. Botucatu: GEMFER, 2003. p. 114-160.

GODOY, L. J. G.; VILLAS BÔAS, R. L. Tecnologias para auxiliar o manejo da adubação na produção de gramas. In: V SIGRA – Simpósio de Gramados. **Anais [...]**. UNESP – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, SP, 2010.

GODOY, L. J. G.; VILLAS BÔAS, R. L.; BACKES, C.; LIMA, C. P. Doses de nitrogênio e potássio na produção de grama esmeralda. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 5, p. 1326-1332, 2007. Disponível em: <http://www.readcube.com/articles/10.1590/S1413-70542007000500008?locale=en>. Acesso em: 29 jul. 2022.

GUIMARÃES, S. L.; BALDANI, V. L. D.; JACOB-NETO, J. Viabilidade do inoculante turfoso produzido com bactérias associativas e molibdênio. **Revista Ciência Agronômica**, 44: 10-15, 2012.

GUO, W.; NAZIM, H.; LIANG, Z.; YANG, D. Magnesium deficiency in plants: An urgent problem. **The Crop Journal**, Netherlands, v.4, n.2, p.83–91, 2016.

GURGEL, R. G. A. Principais espécies e variedades de grama. In: SIMPÓSIO SOBRE GRAMADOS, SIGRA, 1, 2003, Botucatu. **Anais [...]**. Botucatu: UNESP/FCA, 2003. Disponível em: <http://infograma.com.br/wp-content/uploads/2015/10/PRINCIPAIS-ESP%C3%89CIESE-VARIEDADES-DE-GRAMAS.pdf>. Acesso em: 22 abr. 2021.

GURGEL, R. G. A. Tendência mundial do mercado de gramas: manejo e uso das espécies. In: BACKES, C.; GODOY, L. J. G.; MATEUS, C. M. D.; SANTOS, A. J. M.; VILLAS BÔAS, R. L.; OLIVEIRA, M. R. (Org.). **Tópicos atuais em Gramados III**. Botucatu: FEPAF, 2012. p.133-147.

GUSSACK, E.; PETROVIC, M.; ROSSI, F. 1998. Silicon: The universal contaminant. **Turfgrass Times**, v. 9, p. 9-11.

HAJIBOLAND, R.; MORADTALAB, N.; ESHAGHI, Z.; FEIZY, J. 2018. Effect of silicon supplementation on growth and metabolism of strawberry plants at three developmental stages. **New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science**, New Zealand, v.46, n.2, p.144-161.

HASANUZZAMAN, M.; BHUYAN, M.H.M.B.; NAHAR, K.; HOSSAIN, M.D.; MOHMUD, J.A.; HOSSEN, M.S.; MASUD, A.A.C.; MOUMITA, M. Potassium: A vital regulator of plant responses and tolerance to abiotic stresses. **Agronomy**, v.8, p.1-29, 2018.

HAYNES, R.J. A contemporary overview of silicon availability in agricultural soils. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, Temuco, v.177, p.831-44, 2014

HUERGO, L.F.; MONTEIRO, R.A.; BONATTO, A.C.; RIGO, L.U.; STEFFENS, M.B.R.; CRUZ, L.M.; CHUBATSU, L.S.; SOUZA, E.M.; PEDROSA, F.O. Regulação da fixação de nitrogênio em *Azospirillum brasilense*. In: CASSÁN, F.D.; GARCIA DE SALAMONE, I. ***Azospirillum sp*: Fisiologia celular, as interações de plantas e pesquisa agrônômica na Argentina**. Associação Argentina de Microbiologia, Argentina, 2008.

HULL, R. J. **Scientists start to recognize silicon's beneficial effects**. *Turfgrass Trends* 8:69-73, 2004.

HUNGRIA, M. **Inoculação com *Azospirillum brasilense*: inovação em rendimento a baixo custo**. Embrapa Soja Londrina, PR 2011. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/879471/1/DOC325.2011.pdf>. Acesso em: 28 set. 2018.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; MENDES, I. C. **A importância do processo de fixação biológica do nitrogênio para a cultura da soja**: componente essencial para a competitividade do produto brasileiro. Londrina: Embrapa Soja, 2007. 80 p. (Embrapa Soja. Documentos, n. 283).

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**, v. 221, p. 125-131, 2016.

IPEK, M.; ESITKEN, A. The Actions of PGPR on Micronutrient Availability in Soil and Plant Under Calcareous Soil Conditions: An Evaluation over Fe Nutrition. In: **Plant-Microbe Interactions in Agro-Ecological Perspectives**. Singapore: Springer Singapore, 2017.

IPEK, M.; PIRLAK, L.; ESITKEN, A.; FIGEN DÖNMEZ, M.; TURAN, M.; SAHIN, F. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) increase yield, growth and nutrition of strawberry under high-calcareous soil conditions. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 37, n. 7, p.990-1001, 2014.

JIMÉNEZ, R. J. M. **Céspedes ornamentales y deportivos**. Sevilla: Ed. Junta de Andalucía, 2008. 527 p.

JONES JÚNIOR, J.B.; WOLF, B.; MILLS, H.A. **Plant analysis handbook**: a practical sampling, preparation, analysis, and interpretation guide. Athens: Micro-Macro, 1991. 213 p.

KARCHER, D. E.; RICHARDSON, M. D. Quantifying turfgrass color using digital image analysis. **Crop Science**, Madison, v. 43, p. 943-951, 2003. Disponível em: <http://www.sroseed.com/resources/pdfs/articles/Digital%20Image%20Analysis%20of%20Color.pdf>. Acesso em: 13 jun. 2012.

KOMMA, C. R. **Identification of morphological characteristics in st. Augustinegrass and zoysiagrass cultivars during establishment and growing under shade and sun**. 1999. 149 f. Thesis (Master of Science of Horticuture) – Agricultural and Mechanical College, Lousiana State University, Lousiana, 1999.

KORNDORFER, G. H.; DATNOFF, L. E. **Papel do silício na produção de cana de açúcar**. In: SECAP 200, SEMINÁRIO DE CANA DE AÇÚCAR DE PIRACICABA, 5., Piracicaba. jul. 2000.

KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; CAMARGO, M. S. Papel do silício na produção de cana-de-açúcar. **STAB**, Piracicaba, v. 21, n. 1, p. 6-9, 2002a.

KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; CAMARGO, M. S. **Silicatos de cálcio e magnésio na agricultura**. Uberlândia: GPSi; ICIAG; UFU, 2002b. 23 p.

KORNDORFER, G. H.; PEREIRA, H.S.; NOLLA, A. **Análise de Silício: Solo, planta e fertilizante**. Uberlândia: GPSi-ICIAG-UFU. 2004. 34p. (GPSi-ICIAG-UFU. Boletim Técnico, 02 – 1ª edição).

KORNDÖRFER, G. H.; SILVA, G. C.; TEIXEIRA, I. R.; SILVA, A. G.; FREITAS, R. S. Efeito da adubação silicatada sobre gramíneas forrageiras e características químicas do solo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v 40, n.2, p.119- 125, 2010.

KOSKE, T. J. **Sod production for Louisiana**. LSU Ag Center, 1994. Disponível em: http://www.lsuagcenter.com/en/lawn_garden/commercial_horticulture/turfgrass/sod_farming/Sod+Production+in+Louisiana.htm. Acesso em 10 de dezembro de 2004.

KOUR, D.; RANA, K.L.; KAUR, T.; SHEIKH, I.; YADAV, A.N.; KUMAR, V.; DHALIWAL, H. S.; SAXENA, A. K. Microbe-mediated alleviation of drought stress and acquisition of phosphorus in great millet (*Sorghum bicolor* L.) by drought-adaptive and phosphorus-solubilizing microbes. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 23, n. 101501, 2020.

LANNA FILHO, R.; FERRO, H.M.; DE. PINHO, R. S. C. Controle biológico mediado por *Bacillus subtilis*. **Revista Trópica**, Chapadinha, v. 4, n. 2, p. 1-12, 2010.

LATORRE, A. S.; GODOY, L. J. G.; TIBÃES, L. M. Correlação do índice de vegetação por diferença normalizada com a taxa de cobertura do solo pela grama e a cor do gramado. In: SIMPÓSIO SOBRE GRAMADOS, SIGRA, 7, 2015, Botucatu. **Anais [...]**. Botucatu: UNESP/FCA, 2015. PEN-DRIVE.

LAZZARETI, E.; BETTIOL, W. 1997. Tratamento de sementes de arroz, trigo, feijão e soja com um produto formulado a base de células e de metabólitos de *Bacillus subtilis*. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 54, p. 89-96.

LAZAROVITS, G.; NOWAK, J. 1997. Rhizobacteria for Improvement of Plant Growth and Establishment. **HortScience**, [S. l.], v.32., p.188-192.

LEITE, P. C. **Interação silício-fósforo em latossolo roxo cultivado com sorgo em casa de vegetação**. 1997. 84 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, 1997.

LIANG, Y. C.; SHEN; Q. R.; SHEN, Z. G.; MA, T. S. 1996. Effects of silicon on salinity tolerance of two barley cultivars. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 19, p. 173-183.

LIMA, C. P.; BACKES, C.; SANTOS, A. J. M.; FERNANDES, D. M.; VILLAS BÔAS, R. L.; OLIVEIRA, M. R. **Quantidade de nutrientes extraídos pela grama bermuda em função de doses de nitrogênio**. Biosci. J., Uberlândia, v. 31, n. 5, p. 1432-1440. 2015.

LIMA, C. P. **Nutrição, produção e qualidade de tapetes de grama bermuda e esmeralda influenciados pela adubação nitrogenada**. 2009. 139 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2009.

LINDEN, C.H.; DELVAUX, B. The weathering stage of tropical soils affects the soilplant cycle of silicon, but depending on land use. **Geoderma**, Netherlands, v.351, p.209-220, 2019.

LINJUAN, Z.; JUNPING, J.; LIJUN, W.; MIN, L.; FUSUO, Z. 1999. Effects of silicon on the seedling growth of creeping bentgrass and zoysiagrass. Pages 381. In: **Silicon in Agriculture**. L. E., G. H. Snyder, and G. H. Korndorfer, eds. Elsevier Science. Amsterdam, The Netherlands.

LOGES, V.; CASTRO, A. C. R.; SILVA, S. S. L.; MONTARROYOS, A. V. V. Plantas utilizadas no paisagismo no litoral do Nordeste. Palestra. **Revista Brasileira de Horticultura Ornamental**, v. 19, n. 1, p. 25-32, 2013.

MAHMOOD, S.; DAUR, I.; AL-SOLAIMANI, S.G.; AHMAD, S.; MADKOUR, M.H.; YASIR, M.; HIRT, H.; ALI, S.; ALI, Z. Plant growth promoting rhizobacteria and silicon synergistically enhance salinity tolerance of mung bean. **Front Plant Science**. 7:876, 2016.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: POTAFÓS, 1997. 317 p.

MALUSÁ, E.; VASSILEV, N. 2014. A Contribution to Set a Legal Framework for Biofertilisers. **Applied Microbiology and Biotechnology**, 98, 6599–6607.

MARIANO, R.L.R.; SILVEIRA, E.B.; ASSIS, S.M.P.; GOMES, A.M.A.; NASCIMENTO, A.R.P.; DONATO. V.M.T.S. Importância de bactérias promotoras de crescimento e de

biocontrole de doenças de plantas para uma agricultura sustentável. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica**, Recife, v.1, p.89-111. 2004.

MARÍN, J.; YOUSFI, S.; MAURI, P. V.; PARRA, L.; LLORET, J. RBG Vegetation indices, NDVI, and biomass as indicators to evaluate C3 and C4 turfgrass under different water conditions. **Sustainability**, v. 12, p. 1 – 16, 2020.

MARKS, B. B.; MEGÍAS, M.; NOGUEIRA, M. A.; HUNGRIA, M. Biotechnological potential of rhizobial metabolites to enhance the performance of *Bradyrhizobium* spp. and *Azospirillum brasilense* inoculants with soybean and maize. **AMB Express**, 3, 21, 2013.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2. ed. San Diego: Academic Press, 1995. 889p.

MELO, S. P. **Silício e fósforo para o estabelecimento do capim-Marandu num Latossolo Vermelho-Amarelo**. 110f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

MESCHEDE, D. K.; CARBONARI, C. A.; VELINI, E. D.; SANOMYA, R. 2009. Efeitos de baixas doses de glyphosate na nutrição de plantas. In: VELINI, E. D.; MESCHEDE, D. K.; CARBONARI, C. A.; TRINDADE, M. L. B. **Glyphosate**. Botucatu: FEPAF, p. 401- 411.

MOHITE, B. 2013. Isolation and characterization of indole acetic acid (IAA) producing bacteria from rhizospheric soil and its effect on plant growth. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition** 13(3):638–649.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: Editora UFLA, 2006. 729p.

MYNENI, R.B.; RAMAKRISHNA, R.; NEMANI, R.R.; RUNNING, S.W. **Estimation of global leaf area index and absorbed par using radiative transfer models**. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Boston, v.35, p.1380-1393, 1997.

NAIK, P. R.; RAMAN, G.; NARAYANAN, K. B.; SAKTHIVEL, N. Assessment of genetic and functional diversity of phosphate solubilizing fluorescent pseudomonads isolated from rhizospheric soil. **BMC Microbiology** v. 8, 230, 2008. Disponível em: <http://www.biomedcentral.com/1471-2180/8/230>. Acesso em: 28 set. 2018.

NEU, S.; SCHALLER, J.; DUDEL, E.G. Silicon availability modifies nutrient use efficiency and content, C:N:P stoichiometry, and productivity of winter wheat (*Triticum aestivum* L.). **Scientific Reports**, Berlin, v.7, p.40829, 2017.

NIU, J.F.; ZHAN, W.F.; RU, S.H.; CHEN, X.P.; XION, K.; ZHAN, X.Y.; ASSARAF, M.; IMAS, P.; MGEN, H.; ZHANG, F.S. Effects of potassium fertilization on winter wheat under different production practices in North China Plain. **Field Crops Research** 140:69–76, 2013.

NOLLA, A. Correção da acidez do solo com silicatos. In: **SIMPÓSIO SOBRE SILÍCIO NA AGRICULTURA**. 3., Uberlândia, 2004. Palestras. Uberlândia, GPSi/ICIAG/UFU, 2004. CD-ROM

NOVAKOWISKI, J. H.; SANDINI, I. E.; FALBO, M. K.; MORAES, A. de;
NOVAKOWISKI, J.H.; CHENG, N. C. 2011. Efeito residual da adubação nitrogenada e inoculação de *Azospirillum brasilense* na cultura do milho. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 32, n. 4, p. 1687-1698.

OKON, Y.; VANDERLEYDEN, J. Root-associated *Azospirillum* species can stimulate plants. **Applied and Environment Microbiology**, Washington, v. 6, n. 7, p. 366-370, 1997.

OLIVEIRA, M. R.; BACKES, C.; LIMA, C. P.; SANDIN, A. S.; SANTOS, A. J. M.; VILLAS BÔAS, R. L. Quantidade de nutrientes extraídos pelas aparas de grama esmeralda em função de doses de N-ajifer. In: SIMPÓSIO SOBRE GRAMADOS, SIGRA, 5, 2010, Botucatu. **Anais [...]**. Botucatu, UNESP, 2010a. 1 CD-ROM.

OLIVEIRA, C.E.D.S.; ZOZ, T.; VENDRUSCOLO, E. P.; ANDRADE, A. F.; SERON, C. C.; WITT, T. W. Does *Azospirillum brasilense* and biostimulant improve the initial growth of rice sown at greater depths?. **Journal of Crop Science and Biotechnology** 23, 461–468. 2020.

OMARA, P.; AULA, L.; DHILLON, J. S.; OYEBIYI, F.; EICKHOFF, E. M.; NAMBI, E.; FORNAH, A.; CARPENTER, J.; RAUN, W. Variability in winter wheat (*Triticum aestivum* L.) grain yield response to nitrogen fertilization in long-term experiments. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.51, p.403-412. 2020.

ORHAN, E.; ESITKEN, A.; ERCISLI, S.; TURAN, M.; SAHIN, F. Effects of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on yield, growth and nutrient contents in organically growing raspberry. **Scientia Horticulturae**, 111, 38–43, 2006.

PANKIEVICZ, V. C. S.; AMARAL, F. P.; SANTOS, K. F. D. N.; AGTUCA, B.; XU, Y.; SCHUELLER, M. J.; ARISI, A. C. M.; STEFFENS, M. B. R.; SOUZA, E. M.; PEDROSA, F. O.; STACEY, G.; FERRIERI, R. A. Robust biological nitrogen fixation in a model grass-bacterial association. **Plant Journal**, v.81, p.907-919, 2015.

PATTON, A. **Turfgrass morphology**: color plates for vegetative identification of the common turfgrasses. Ames: Iowa State University, 1995. Disponível em: <http://www.hort.iastate.edu/courses/syllabi/hort351/pictures/grasstable/warm1.html>. Acesso em: 10 jan. 2011.

PEREIRA, H. S.; KORNDORFER, G. H.; VIDAL, A. A.; CAMARGO, M. S. Silicon sources for rice crop. **Scientia Agricola**, v. 61, n. 5, p. 522-528, 2004.

PIEDADE, A. R. **Desenvolvimento vegetativo de quatro espécies de grama irrigadas com efluente de estação de tratamento de esgoto doméstico**. 2004. 79 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2004.

PLANK, C. O.; CARROW, R. N. **Plant analysis**: an important tool in turf production. University of Georgia, College of Agriculture and Environmental Sciences, 2003. Disponível em: <http://www.cropsoil.uga.edu/~oplank/plantanalysisiturf/index.html>. Acesso: 05 ago. 2009.

PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M. Efeito da escória de siderurgia e calcário na disponibilidade de fósforo de um latossolo vermelho-amarelo cultivado com cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, p.1199-1204, 2001.

PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M. Efeito residual da escória de siderurgia como corretivo da acidez do solo na soqueira de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.287-286, 2003.

PRATIWI, H.; AINI, N.; SOELISTYONO, R. Effects of *Pseudomonas fluorescens* and sulfur on nutrients uptake, growth and yield of groundnut in an alkaline soil. **Journal of Degraded and Mining Lands Management**, 3(2):507–516, 2016.

PUENTE, M.; LI, C.; BASHAN, Y. 2004. Microbial populations and activities in the rhizoplane of rock-weathering desert plants. II. Growth promotion of cactus seedlings. **Plant Biology**. v.6, p.643-650.

PULZ, A.L.; CRUSCIOL, C. A. C.; LEMOS, L. B.; SORATTO, R. P. Influência de silicato e calcário na nutrição, produtividade e qualidade de batata sob deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p.1651-1659, 2008.

QUIROGA-GARZA, H. M., PICCHIONI, G. A., REMMENGA, M. D. Bermudagrass fertilized with slow-release nitrogen sources. I. Nitrogen uptake and potential leaching losses. **Journal of Environmental Quality**, v. 30, p. 440-448, 2001.

RADZKI, W.; GUTIERREZ MAÑERO, F.J.; ALGAR, E.; LUCAS GARCÍA, J.A.; GARCÍA-VILLARACO, A.; RAMOS SOLANO, B. Bacterial siderophores efficiently provide iron to iron-starved tomato plants in hydroponics culture. **Antonie Van Leeuwenhoek**. Sep;104(3):321-30, 2013.

RAIJ, B. van.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: IAC, 2001. 285 p.

RAJKUMAR, M.; AE, N.; PRASAD, M.N.V.; FREITAS, H. Potential of Siderophore-Producing Bacteria for Improving Heavy Metal Phytoextraction. **Trends Biotechnology**. 28, 142–149, 2010.

RAMÍREZ-OLVERA, S.M.; TREJO-TÉLLEZ, L.I.; PÉREZ-SATO, J.A.; GÓMEZMERINO, F.C. Silicon stimulates initial growth and chlorophyll a/b ratio in rice seedlings, and alters the concentrations of Ca, B, and Zn in plant tissues. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.42, n.16, p.1928-1940. 2019.

RAMOS, L. A.; KORNDÖRFER, G. H.; NOLLA, A. Acúmulo de silício em plantas de arroz do ecossistema de várzea submetido à aplicação de diferentes fontes. **Bragantia**, v. 67, n. 3, p. 751-757, 2008.

RANA, K.L.; KOUR, D.; KAUR, T.; SHEIKH, I.; YADAV, A. N.; KUMAR, V.; SUMAN, A.; DHALIWALL, H. S. 2020. Endophytic Microbes from Diverse Wheat Genotypes and Their Potential Biotechnological Applications in Plant Growth Promotion and Nutrient Uptake. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, India, Sect. B Biol. Sci. 90, 969–979.

REIS, V. M. **Uso de bactérias fixadoras de nitrogênio como inoculante para aplicação em gramíneas**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2007. 22 p. (Documentos, 232).

REIS, M.A.R.; ARF, O.; da SILVA, M.G.; de SÁ, M.E.; BUZETTI, S. Aplicação de silício em arroz de terras altas irrigado por aspersão. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 30, n. 1, p. 3743, 2008.

REZAKHANI, L.; MOTESHAREZADEH, B.; TEHRANI, M.M.; ETESAMI, H.; MIRSEYED, H.H.; 2019a. Phosphate-solubilizing bacteria and silicon synergistically augment phosphorus (P) uptake by wheat (*Triticum aestivum* L.) plant fertilized with soluble or insoluble P source. **Ecotoxicol Environ Saf** 173:504–513.

REZAKHANI, L.; MOTESHAREZADEH, B.; TEHRANI, M.M.; ETESAMI, H.; HOSSEINI, H.M. 2019b. Effect of silicon and phosphate-solubilizing bacteria on improved phosphorus (P) uptake is not specific to insoluble P fertilized sorghum (*Sorghum bicolor* L.) plants. **Journal of Plant Growth Regulation**, p. 1–15.

RODRIGUES, L.F.O.S.; GUIMARÃES, V.F.; SILVA, M.B.; PINTO JUNIOR, A.S.; KLEIN, F.; COSTA, A.C.P.R. Características agrônômicas do trigo em função de *Azospirillum brasilense*, ácidos húmicos e nitrogênio em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.18, n.1, p.21-37, 2014.

SABIR, A.; YAZICI, M.A.; KARA, Z.; SAHIN, F. Growth and mineral acquisition response of grapevine rootstocks (*Vitis* spp.) to inoculation with different strains of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR). **Journal of the Science of Food and Agriculture**. 92(10):2148–2153, 2012.

SADEGHI, A.; KARIMI, E.; DAHAJI, P.A.; JAVID, M.G.; DALVAND, Y.; ASKARI, H. Plant growth promoting activity of an auxin and siderophore producing isolate of *Streptomyces* under saline soil conditions. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, 28(4):1503–1509, 2012.

SAIGUSA, M.; ONOZAWA, K.; WATANABLE, H.; SHIBUYA, K. Effects of porous hydrate calcium silicate on the wear resistance, insect resistance, and disease tolerance of turf grass "Miyako". **Grassland Science**, v. 45, p. 416-420, 2000.

SAMPAIO, F.A.R.; TEIXEIRA FILHO, M.C.M.; DA SILVA OLIVEIRA, C.E.; JALAL, A.; BOLETA, E.H.M.; DE LIMA, B.H.; ROSA, P.A.L.; GALINDO, F.S.; DE SOUZA J.S. 2021. Nitrogen supply associated with rhizobacteria in the first productive cycle of Marandu grass. **Journal of Crop Science and Biotechnology**. 24, 429–439.

SANTOS, A.R.S.; ETTO, R.M.; FURMAM, R.W.; FREITAS, D.L.; SANTOS, K.F.D.N.; SOUZA, E.M.; PEDROSA, F.O.; AYUB, R.A.; STEFFENS, M.B.R.; GALVÃO, C.W. Labeled *Azospirillum brasilense* wild type and excretion-ammonium strains in association with barley roots. **Plant Physiology and Biochemistry**, Netherlands, v.118, p.422-426, 2017.

SANTOS, P. L. F.; CARRIBEIRO, L. S. **Atualidades na produção de gramas**. Infograma, 2022. Disponível em: <https://infograma.com.br/wp-content/uploads/2023/04/Tópicos-atuais-em-gramados>. Acesso em: 29 ago de 2023.

SANTOS, P. L. F.; CASTILHO, R. M. M.; GAZOLA, R. P. D. Pigmentos fotossintéticos e sua correlação com nitrogênio e magnésio foliar em grama bermuda cultivada em substratos. **Acta Iguazu**, v.8, n.1, p. 92-101, 2019.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; OLIVEIRA, J. B.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAÚJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de classificação de solos**. Ed.5. Embrapa Solos. 2018.

SANTOS, A. J. M; VILLAS BÔAS, R. L.; BACKES, C.; GAMERO, C. A. Implementos para descompactação do solo na produção de gramas. In: SIMPÓSIO SOBRE GRAMADOS, SIGRA, 6, 2012, Botucatu. **Anais [...]**. Botucatu: UNESP, Faculdade de Ciências Agrônômicas, 2012. p. 100-110.

SANTOS, S. M. M.; DE MELLO, P. R.; TEIXEIRA, G. C. M.; DE SOUZA JÚNIOR, J. P.; DE MEDEIROS, R. L. S.; BARRETO, R. F. Silicon supplied via roots or leaves relieves potassium deficiency in maize plants. **Silicon**, v.14, p.773-782, 2021.

SARTAIN, J. B. Fertility considerations for sod production. University of Florida, EDIS, 2002. Disponível em : <http://flrec.ifas.ufl.edu/turfgras.htm>. Acesso em: 01 jun. 2023.

SARTO, M. V. M.; RAMPIM, L.; LANA, M. C.; ROSSET, J. S.; ECCO, M.; WOBETO, J. R. Atributos químicos do solo e desenvolvimento da cultura do trigo em função da adubação silicatada. **Agrarian**, Dourados, v.7, n.25, p.390-400, 2014.

SAVANT, N. K.; DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H. Depletion of plant-available silicon in soils: A possible cause of declining rice yields. **Communication of Soil Science and Plant Analysis**, v. 28, p. 1245-1252, 1997.

SAVANT, N. K.; SNYDER, G. H.; DATNOFF, L. E. Silicon management and sustainable rice production. **Advances in Agronomy**, v. 58, p. 151-199, 1997.

SAXENA, A.K.; YADAV, A.N.; RAJAWAT, M. V. S.; KAUSHIK, R.; KUMAR, R.; KUMAR, M.; PRASANNA, R.; SHUKLA, L. Microbial diversity of extreme regions: An unseen heritage and wealth. **Indian Journal of Plant Genetic Resources** 29(3): 246-248, 2016.

SCHMIDT, R. E.; ZHANG, X; CHALMERS, D. R. Response of photosynthesis and superoxide dismutase to silica applied to creeping bentgrass grown under two fertility levels. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 22, p. 1763-1 773, 1999.

SCHULTZ, N.; MORAIS, R.F.; SILVA, J.A.; BAPTISTA, R.B.; OLIVEIRA, R.P.; LEITE, J.M.; PEREIRA, W.; CARNEIRO JUNIOR, J.B.; ALVES, B.J.R.; BALDANI, J.I.; BODDEY, R.M.; URQUIAGA, S.; REIS, V.M. Avaliação agronômica de variedades de cana-de-açúcar inoculadas com bactérias diazotróficas e adubadas com nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, n.2, p.261-268, 2012.

SHAHEEN, S.A.; EL TAWHEEL, A.A.; OMAR, M.N.A. Effect of inoculation by some plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on production of 'manzanillo' olive trees. **Acta Horticulture**, [S. l.] v. 1018, p. 245-254, 2014.

SHARMA, M.; MISHRA, V.; RAU, N.; SHARMA, R.S. 2015. Increased iron-stress resilience of maize through inoculation of siderophore producing *Arthrobacter globiformis* from mine. **Journal of Basic Microbiology**, Weinheim, v. 56, n. 7, p. 719-735.

SILVA, E.R.; ZOZ, J.; OLIVEIRA, C.E.S.; ZUFFO, A.M.; STEINER, F.; ZOZ, T.; VENDRUSCOLO, E.P. Can co-inoculation of *Bradyrhizobium* and *Azospirillum* alleviate adverse effects of drought stress on soybean (*Glycine max* L Merrill.) **Archives of Microbiology**, Heidelberg, v. 201, p. 325-335, 2019.

SILVA, F.C. da (Ed.) **Manual de análises químicas de solo, planta e fertilizantes**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009. 627 p.

SILVA, S.R.; PIRES, J. L. F. 2017. Resposta do trigo BRS Guamirim à aplicação de *Azospirillum*, nitrogênio e substâncias promotoras do crescimento. **Revista Científica Agrônômica**, Fortaleza, v. 48, p. 631 – 638.

SILVA, T. B. G. da. **Desenvolvimento da grama Tifton 419 submetida a distintos manejos de adubação e irrigação**. 2016. 71 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/ Irrigação e Drenagem) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu-SP, 2016.

SOUZA, E. M.; GALINDO, F. S.; TEIXEIRA FILHO, M.C.M.; SILVA, P.R.T.; SANTOS, A.C.; FERNANDES, G.C. Does nitrogen application associated with *Azospirillum brasilense* inoculation influence corn nutrition and yield? **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 23, p.53-59, 2019.

SOUZA, E. G.; ROCHA, T.; URIBE-OPAZO, M. A.; NOBREGA, L. H. P. Índices de vegetação no milho em função da hora do dia e da taxa de nitrogênio aplicada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, supl. p. 865-872, dez. 2009.

STEINER, F.; OLIVEIRA, C.E.S.; ZOZ, T.; ZUFFO, A.M.; FREITAS, R.S. Co-Inoculation of Common Bean with *Rhizobium* and *Azospirillum* Enhance the Drought Tolerance. **Russian Journal of Plant Physiology**, Moscow, 2020.

TAKAHASHI, E.; MA, J. F.; MIYAKE, Y. The possibility of silicon as an essential element for higher plants. **Comments Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Lausanne, v. 2, p. 99-122, 1990.

TAN, K.Z.; RADZIAH, O.; HALIMI, M.S.; KHAIRUDDIN, A.R.; SHAMSUDDIN, Z.H. Assessment of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) and rhizobia as multistrain biofertilizer on growth and N₂ fixation of rice plant. **Australian Journal of Crop Science**, Brisbane, v.9, n.12, p.1257-64, 2015.

TEIXEIRA FILHO, M.C.M.; GALINDO, F.S. Inoculação de bactérias com foco na fixação biológica de nitrogênio e promoção de crescimento vegetal. In: SEVERIANO, E.C.;

MORAES, M.F.; PAULA, A.M. (Eds.). **Tópicos em Ciência do Solo**: v. X. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2019. p.577-648.

TEIXEIRA, R. H. **Implantação de gramados esportivos**. 2016. 41 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Agrônoma) – Universidade Federal de São João del Rei, Sete Lagoas, 2016. Disponível em: <http://www.ufsj.edu.br/portal2repositorio/File/ceagr/TCC%202016%201/IMPLANTACAO%20DE%20GRAMADOS%20E%20SPORTIVOS-%20Rafael%20Henriques%20Teixeira.pdf>. Acesso em: 16 nov. 2016.

THOMAZINI, G.; REICHEMBACK, N.P.; ARF, O.; GERLACH, G. A. X.; BUZETTI, S.; RODRIGUES, R.A.F. 2019. Inoculação de sementes com *Azospirillum brasilense* e doses de nitrogênio mineral em milho cultivado em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v.18, n.3, p. 396-407.

TIEN, T. M.; GASKINS, M. H.; HUBBELL, D. H. Plant growth substances produced by *Azospirillum brasilense* and their effect on the growth of pearl millet (*Pennisetum americanum* L.). **Applied and Environmental Microbiology**, Washington DC, v. 37, n. 5, p. 1016-1024, 1979.

TORABI, F.; MAJD, A.; ENTESHARI, S. Effect of exogenous silicon on germination and seedling establishment in *Borago officinalis* L. **Journal of Medicinal Plants Research**, Washington, v.6, n.10, p.1896-1901. 2012.

TUBANA, B.S.; TAPASYA, B.; DATNOFF, L.E. A review of silicon in soils and plants and its role in US agriculture: History and future perspectives. **Soil Science**, Philadelphia, v.181, n.9-10, p.393-411, 2016.

TURAN, M.; GULLUCE, M.; VON WIRÉN, N.; SAHIN, F. 2012. Yield promotion and phosphorus solubilization by plant growth-promoting rhizobacteria in extensive wheat production in Turkey. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, Temuco, v.175, p.:818–826.

TRENHOLM, L. E. **Environmental stresses and your Florida Lawn**. Gainesville: Environmental Horticulture Department, UF/IFAS Extension (ENH 153), 2000. Disponível em: <https://edis.ifas.ufl.edu/>. Acesso em: 18 fev. 2016.

TRENHOLM, L. E.; DATNOFF, L. E.; NAGATA, R. T. Influence of silicon on drought and shade tolerance of St. Augustinegrass. **HortTechnology**, Alexandria, v.14, p.487-490, 2004.

UNRUH, J. B. **Biologia de gramas de estação quente**. In: SIMPÓSIO SOBRE GRAMADOS, SIGRA: manejo de gramas na produção e em gramados formados, 2., 2004, Botucatu. **Anais [...]**. Botucatu: GEMFER/FEPAF, 2004. p. 9-40.

VEGA, I.; NIKOLIC, M.; PONTIGO, S.; GODOY, K.; MORA, M.L.L.; CARTES, P. Silicon improves the production of high antioxidant or structural phenolic compounds in barley under aluminum stress cultivars. **Agronomy**, Basel, v.9, n.7, p. 388, 2019.

VILLAS BÔAS, R. L.; GODOY, L. J. G.; BACKES, C.; SANTOS, A. J. M.; CARRIBEIRO, L. S. Sod production in Brazil. **Ornamental Horticulture**, Viçosa, v. 26, n. 3, p. 516-522. 2020.

WALSH, O.S.; SHAFIAN, S.; MCCLINTICK-CHESS, J.R.; BELMONT, K.M.; BLANSCET, S.M. Potential of silicon amendment for improved wheat production. **Plants**, Basel, v.7, p.E26, 2018.

WANG, M.; ZHENG, Q.; SHEN, Q.; GUO, S. The critical role of potassium in plant stress response. **International Journal Molecular Science**, Irvine, v.14, p.7370–7390. 2013.

XU, D.; FANG, X.; ZHANG, R.; GAO, T.; BU, H.; DU, G. Influences of nitrogen, phosphorus and silicon addition on plant productivity and species richness in an alpine meadow. **AoB Plants**, Oxford, v.7, p. plv125. 2015.

ZANON, M. E. Desenvolvimento de grama esmeralda, grama bermudas “Tifway 419” e “Celebration” submetidas a aplicação de reguladores de crescimento. 2015. 59 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Produção Vegetal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2015.

ZHALNINA, K.; DIAS, R.; DE QUADROS, P.D.; DAVIS-RICHARDSON, A.; CAMARGO, F.A.; CLARK, I.M.; MCGRATH, S.P.; HIRSCH, P.R.; TRIPLETT, E.W. 2015. Soil pH determines microbial diversity and composition in the park grass experiment. **Microbiology Ecology**, Oxford, 69, 395–406.

ZUCARELI, C.; CIL, I. R.; PRETE, C. E. C.; PRANDO, A. M. Eficiência agrônômica da inoculação à base de *Pseudomonas fluorescens* na cultura do milho. **Revista Agrarian**, [S. l.], v. 4, n. 13, p. 152-157, 2011.