

Resposta do capim-marandu e milho em rejeito de mineração à aplicação de bioestimulantes vegetais

Cássio Carlette Thiengo, Pedro Henrique Lopes Santana, Diego Lang Burak, Danilo Messias de Oliveira, Rebyson Bissaco Guidinelle

Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias, Alto Universitário, S/N, Alegre, Espírito Santo, 29500-000, Brasil.

Resumo: Este trabalho teve o objetivo de avaliar atributos fitotécnicos, fisiológicos e nutricionais por plantas de capim marandu (*Brachiaria brizantha* cv. Marandu) e milho (*Pennisetum glaucum* cv. BRS 1501) cultivados sob rejeito de mineração em função da aplicação de substâncias húmicas ou fito-hormônios. O experimento foi conduzido em casa de vegetação utilizando-se rejeito de minério de ferro como substrato, no delineamento experimental de blocos ao acaso, em esquema fatorial 2x4 com quatro repetições, sendo dois bioestimulantes via pulverização foliar (Substâncias húmicas e Stimulate®), em três doses (30, 60 e 90 mg.L⁻¹ de C_{SH} e 0,25, 0,50, 0,75 L.ha⁻¹ de Stimulate) e tratamento controle (dose 0). Ao término do experimento foram obtidos o teor de clorofilas, a matéria seca, assim como os teores nutricionais na parte aérea e raiz. A partir do balanço de nutrientes no sistema solo-planta, obteve-se índices de absorção e mobilização de nutrientes. Todas as doses fornecidas de substâncias húmicas (SH) e Stimulate® aumentaram a absorção de Ca pelo milho, e a dose 0,75 L ha⁻¹ de Stimulate® aumentou a absorção de Mn pelas plantas de capim marandu. O fator de transferência do K por ambas plantas evidenciou a capacidade de formas não trocáveis de K participarem do suprimento destas plantas. A alta disponibilidade de Fe no rejeito de mineração refletiu em grande absorção pelo capim marandu e milho, e ambas as plantas mobilizaram este elemento nas raízes como estratégia para reduzir efeitos de sua toxidez.

Palavras chave: Poaceae, Hormônios vegetais, Substâncias Húmicas

Response of marandu grass and millet in mining tailings to the application of plant biostimulants

Abstract: This work aimed to evaluate phytotechnical, physiological and nutritional attributes of marandu grass (*Brachiaria brizantha* cv. Marandu) and millet (*Pennisetum glaucum* cv. BRS 1501) cultivated under mining tailings due to the application of humic substances or phytohormones. The experiment was conducted in the green house using iron ore tailings as a substrate, in the experimental design of random blocks, in a 2x4 factor scheme with four repetitions, being two biostimulants via leaf spraying (humic substances and Stimulate®), in three doses (30, 60 and 90 mg.L⁻¹ of C_{SH} and 0.25, 0.50, 0.75 L.ha⁻¹ of Stimulate) and control treatment (dose 0). At the end of the experiment, the chlorophyll content, the dry matter, as well as the nutritional contents in the aerial and root parts were obtained. From the balance of nutrients in the soil-plant system, we obtained rates of absorption and mobilization of nutrients. All doses of humic substances (SH) and Stimulate® increased the absorption of Ca by the millet, and the 0.75 L ha⁻¹ dose of Stimulate® increased the absorption of Mn by marandu grass plants. The transfer factor of K by both plants showed the ability of non-exchangeable forms of K to participate in the supply of these plants. The high availability of Fe in mining tailings reflected in high absorption of marandu grass and millet, and both plants mobilized this element in the roots as a strategy to reduce the effects of its toxicity.

Key words: Poaceae, Plant Hormones, Humic Substances..

Introdução

O minério de ferro é uma commodity que apresenta significativa importância econômica para o Brasil, sendo o principal produto mineral exportado de acordo com a Agência Nacional de Mineração [ANM] (2018). No entanto, a extração pode provocar diversos danos à fauna e flora, implicando na supressão da vegetação ou impedindo sua regeneração nas zonas minerárias (Mechi & Sanches, 2010). Para minimizar tais danos, é necessário que sejam propostas medidas mitigadoras, além de estratégias imediatas em casos de rompimento das barragens de armazenamento dos rejeitos, o que vem acontecendo nos últimos anos, configurando grandes tragédias ambientais como os que ocorreram nos municípios de Mariana no ano de 2015 e Brumadinho em 2019, ambos localizados no Estado de Minas Gerais.

Os solos artificiais compostos por rejeito de mineração segundo Schaefer et al. (2015), apresentam-se quimicamente pobres e fisicamente depauperados, com ausência de matéria orgânica e nutrientes (Lange et al., 2012), presença de metais pesados (Chaturvedi et al., 2014), falta de microrganismos e animais do solo (Tordoff et al., 2000), baixa capacidade de retenção de água (Mouazen et al., 2014) e, alta salinidade (Li et al., 2013). Essas características entre outras, restringem o crescimento e desenvolvimento de espécies vegetais e, conseqüentemente, afeta de forma negativa a produção de fitomassa (Silva et al., 2006).

Nas áreas ocupadas por este solo artificial, a técnica da revegetação é a estratégia mais promissora para se iniciar o processo de recuperação ambiental, pois a rápida recomposição vegetal favorece o controle da erosão e da emissão de partículas para o ar, além da manutenção de umidade e aporte de carbono e nutrientes neste sedimento (Almeida, Sanchez, 2005, Carvalho et al., 2013 & Cele et al., 2016).

Dentre as espécies indicadas para o processo de revegetação destacam-se as da família Poacea, por seu rápido recobrimento do solo mesmo em condições edafoclimáticas adversas. O capim-marandu e o milheto ainda possuem alta capacidade de acumular nutrientes e com rápida reciclagem no meio, sendo grandes produtores de massa seca. (Braz et al., 2004).

Pensando em maximizar a produção de massa seca e conseqüentemente maior rapidez no recobrimento do solo e ciclagem do meio, biotecnologias podem ser empregadas, como a

utilização de bioestimulantes a base de substâncias húmicas e de fito-hormônios como estratégia agrônômica que visa promover rápido e vigoroso desenvolvimento das plantas (Paradiković et al., 2019).

A aplicação direta de substâncias húmicas sobre o tecido vegetal pode induzir mudanças no metabolismo do carbono (C) e do nitrogênio (N) por influenciarem a atividade de enzimas associadas ao ciclo fotossintético, o que resulta em maior crescimento da raiz e/ou da parte aérea (Rose et al., 2014). Já o Stimulate[®] é um bioestimulante composto por auxina, citocinina e giberelina, fito-hormônios que regulam o crescimento de células vegetais, com capacidade de potencializar a absorção de água e nutrientes pelas plantas (Alleoni et al., 2000 & Gonçalves et al., 2018).

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a produção de matéria seca, teor de clorofilas e índices de absorção e mobilização de N, P, K, Ca, Mg e Fe em plantas de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu (capim-marandu) e *Pennisetum glaucum* cv. BRS 1501 (milheto) cultivados sob rejeito de minério de ferro em função da aplicação de substâncias húmicas ou fito-hormônios.

Material e métodos

O experimento foi conduzido em casa de vegetação no Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, campus de Alegre, ES (20° 45' 1.1" S e 41° 29'18.4" W, com altitude de 112 metros), no período de janeiro a junho de 2018. O clima segundo a classificação de Köppen é Aw, quente e chuvoso no verão e seco no inverno, com temperatura diária média de 26 °C durante a condução dos experimentos segundo dados do Instituto Nacional de Meteorologia [INMET] (2018). Nos meses de janeiro e fevereiro deste ano (2018), as temperaturas máximas diárias foram superiores a 35 °C.

Coleta e caracterização do rejeito

Foi utilizado como substrato o rejeito proveniente do rompimento das barragens de Fundão e Santarém que foi depositado na Usina Hidrelétrica Risoleta Neves, no município de Santa Cruz do Escalvado, MG (20° 12'29.2" S e 42° 51'13.2" W), às margens do Rio Doce. O material foi coletado após sua dragagem em agosto de 2016. O substrato utilizado apresentou atributos químicos e físicos semelhantes ao

trabalho de Schaefer et al. (2015). Amostras de rejeito foram secas ao ar livre e passadas em peneira de malha de 2 mm para determinação

dos atributos químicos e físicos segundo metodologias preconizadas pela (Embrapa, 2017) (Tabela 1).

Tabela 1 - Atributos químicos e físicos do rejeito de minério de ferro utilizado no estudo, antes da aplicação dos tratamentos.

pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H+Al	Al ³⁺	Na ⁺	P _{disp}	K ⁺	Fe _{disp.}	Mn _{disp.}	SB	t
(H ₂ O)	-----cmolc dm ⁻³ -----					-----mg dm ⁻³ -----					cmolc dm ⁻³
6,95	0,68	0,46	0,66	0	4	8,72	9	88,6	30,8	1,18	1,84
T	V	N	C Orgânico total		Areia fina	Areia grossa	Silte	Argila	Ds	Dp	Pt
cmolc dm ⁻³	%		dag dm ⁻³			-----%-----			g cm ⁻³		%
1,18	64,06	--Não detectados --			63,4	0,5	33,3	2,8	1,67	2,86	41,6
P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	S	Cu	Zn	Mo	Cd	Pb
mg kg ⁻¹											
72,7	5283,3	140,5	245,5	25338,3	260,2	-----Não detectados -----					

pH em água 1:2,5 (v/v) de solo:solução foi determinado com auxílio do pHmetro; Ca²⁺ e Mg²⁺ foram extraídos em solução de KCl 1 mol L⁻¹ e determinados por espectrometria de absorção atômica; Al³⁺ extraído em solução de KCl 1 mol L⁻¹ e determinado por titulometria; K, Na e P disponível pelo método Mehlich-1, determinados por fotometria de chama e colorimetria, respectivamente, e H + Al por titulação com NaOH 0,025 molL⁻¹. Fe e Mn disponíveis foram determinados por espectrometria de absorção atômica após extração pelo método Mehlich-1. Com os resultados, foram calculados a soma de bases (SB), a capacidade de troca de cátions (CTC) efetiva (t), CTC a pH 7,0 (T) e saturação por bases (V) do solo.

O carbono orgânico (CO) foi obtido pelo método Walkley-Black (Yeomans & Bremner, 1988). Após digestão sulfúrica e destilação em Kjeldahl foi determinado o teor de N. A caracterização física do solo foi realizada por análise granulométrica de agitação lenta, obtendo-se as frações areia, silte e argila pelo método da pipeta (Almeida et al., 2012), a densidade do solo (Ds) foi determinada pelo método da proveta e a densidade de partículas (Dp) pelo método do balão volumétrico, posteriormente, com os dados de Ds e Dp obteve-se a porosidade total (Pt). Após digestão nítrica, houve a determinação em ICP-OES dos teores totais de P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, S, Cu, Zn, Mo, Cd e Pb.

Delineamento experimental

Foram cultivados *Pennisetum glaucum* cv. BRS 1501 (milheto) e *Braquiária briazanthera* cv. Marandu (capim-marandu) em experimento instalado no delineamento de blocos ao acaso,

em esquema fatorial 2x4 com quatro repetições, sendo testados dois bioestimulantes vegetais (substâncias húmicas e Stimulate[®]) em quatro doses (30, 60 e 90 mg.L⁻¹ de C_{SH} e 0,25, 0,50, 0,75 L.ha⁻¹ de Stimulate), respectivamente. Logo, para cada cultivo foram totalizados 8 tratamentos e 32 unidades experimentais.

Condução do experimento

Para obtenção de plântulas homogêneas e vigorosas, as sementes de milho e capim-marandu foram germinadas em bandejas de isopor de 200 células, com rejeito de minério de ferro como substrato. Após 5 dias de emergência das plântulas, ocorreu o transplante em vasos plásticos de 5 dm³ com o fundo vedado para evitar perda de nutrientes por lixiviação. Três plântulas de milho foram dispostas de forma equidistante em cada vaso e após 15 dias do transplante, foi conduzido o desbaste, restando apenas uma plântula por vaso. Para o capim-marandu, foram conduzidas 5 plântulas durante

todo o experimento. Não foi realizada adubação mineral nas unidades experimentais e ao longo dos experimentos não foi verificada incidência de plantas invasoras, pragas e doenças.

A partir da curva característica de água do rejeito de minério de ferro em estudo, obtida pelo método da câmara de pressão de Richards, os vasos foram mantidos, a partir de pesagens diárias, em 50% da capacidade máxima de armazenamento de água do rejeito (Ψ_m de -0 kPa = 0,4160 m³/m³). O controle da irrigação foi realizado com água purificada por osmose reversa durante toda a condução dos experimentos.

As SH foram extraídas de vermicomposto, produzido com esterco de curral utilizando-se água deionizada (1:9, v:v). Após seis horas de agitação, o material foi centrifugado e, posteriormente, ficou em repouso por 12 horas para que o sobrenadante fosse separado através de decantação e armazenado. O Stimulate[®] é classificado como um regulador de crescimento vegetal, contendo cinetinas (0,09 g L⁻¹), ácido giberélico (0,05 g L⁻¹), ácido indol-butírico (0,05 g L⁻¹) e produtos inertes (999,80 g L⁻¹), sendo produzido pela Stoller do Brasil Ltda [STOLLER] (2015). A aplicação de ambos os bioestimulantes ocorreu por meio de pulverização foliar, realizada no estádio V4 (4ª folha expandida), 23 dias após a emergência das plântulas.

Ao término dos experimentos, com o auxílio de um clorofilLOG CFL1030, foram realizadas mensurações, no turno matutino, do teor de clorofila *a*, clorofila *b*, clorofila total e obtida a relação clorofila *a*/clorofila *b*.

Após 111 dias do transplântio, as plântulas de milho e capim-marandu foram seccionadas em parte aérea e raiz e, em seguida, lavadas em água deionizada. Posteriormente foram colocadas em estufa de circulação forçada de ar até peso constante (65 °C por 72 horas) e pesadas em balança analítica, para obtenção da matéria seca da parte aérea (MSPA) e da raiz (MSR). O material seco foi triturado em moinho de facas tipo Willey para obtenção dos teores de N, P, K, Ca, Mg e Fe. O N foi determinado a partir de extratos obtidos por digestão sulfúrica e destilação em Kjeldahl (Mendonça & Matos, 2005). Foram realizadas digestões em forno de micro-ondas utilizando HNO₃ concentrado conforme a United States Environmental Protection Agency [US EPA] (2007) (SW-846 3051) para determinação dos teores de P, K, Ca, Mg, Fe e Mn em espectrômetro de emissão

atômica com fonte de indução de plasma acoplada (ICP/OES).

Em posse dos teores nutricionais foi possível obter-se o balanço de nutrientes (BN) no sistema que, posteriormente, foi convertido em % do total estimado do rejeito (BN = acúmulo total de nutriente na planta do tratamento "n"/teor de nutriente no rejeito). Para avaliar o poder de extração de nutrientes pelo capim-marandu e milho, foi realizado o cálculo do fator de transferência (FT = teor de nutriente na parte aérea do tratamento "n"/teor disponível de nutriente no rejeito). Por fim, foi obtido o índice de translocação (IT), que relaciona a mobilização do acúmulo de nutrientes na parte aérea e na raiz (IT = acúmulo de nutriente na parte aérea do tratamento "n"/acúmulo de nutriente na raiz do tratamento "n").

Análise dos dados

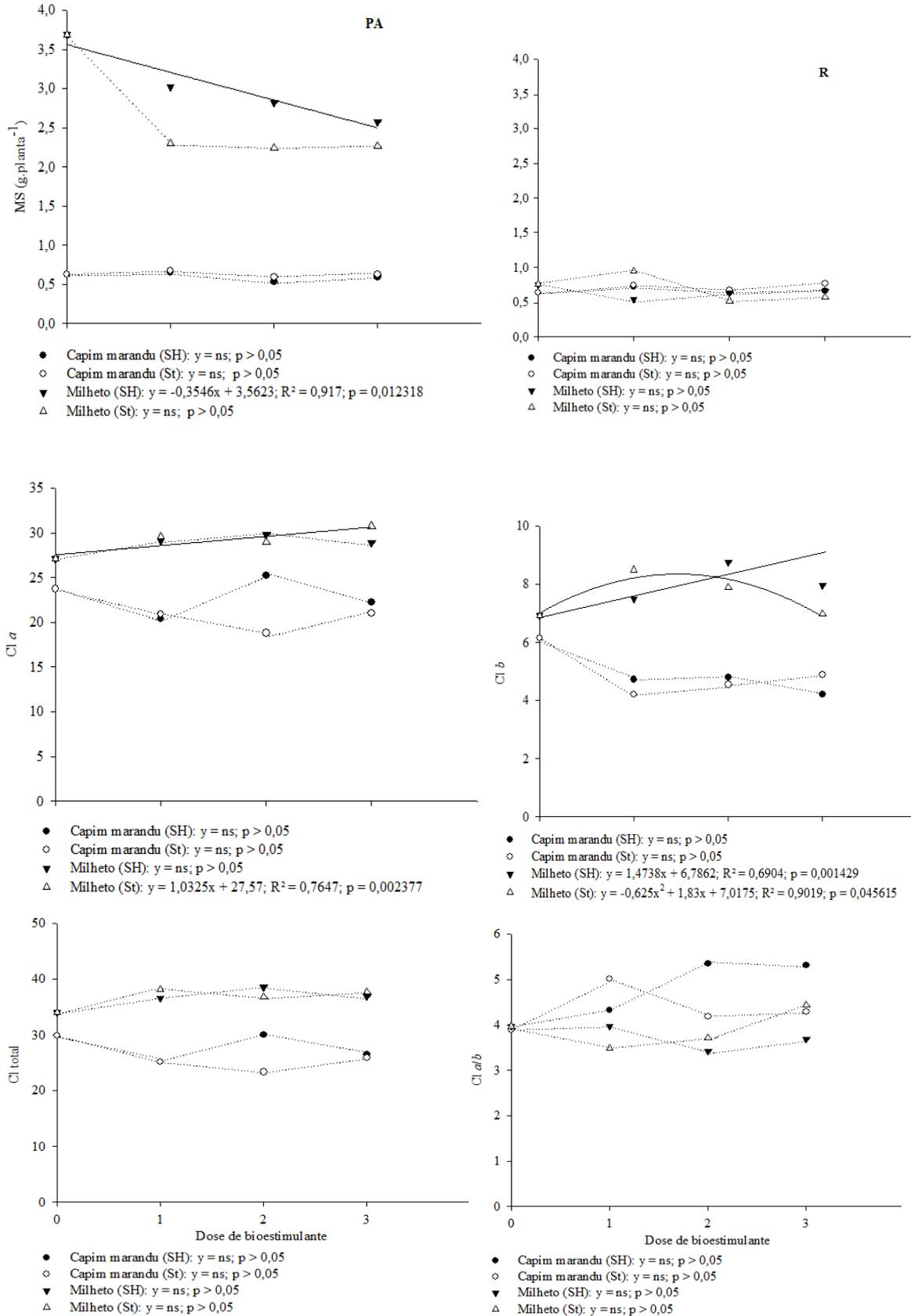
Foram feitos testes de normalidade e homogeneidade de variância, e uma vez atendidas as pressuposições estatísticas, realizou-se análise de variância (ANOVA). Foi realizada análise de regressão para os fatores quantitativos (produção de matéria seca, teores de clorofila e acúmulo de nutrientes em função das doses dos bioestimulantes) através do software Statistica 8.0 (Statsoft, 2007), onde os modelos lineares ou quadráticos foram escolhidos com base na significância dos coeficientes de regressão utilizando-se o teste t de student ao nível de 5 % de probabilidade e o coeficiente de determinação (R²). Estatística descritiva, análise de variância e desvio padrão foram utilizados para identificação dos efeitos dos tratamentos nos índices avaliados.

Resultados e discussão

Produção de matéria seca

Após 111 dias de cultivo sob rejeito de minério de ferro, constatou-se que o capim marandu produziu matéria seca (g planta⁻¹) variando entre 1,05 e 1,64, e o milho entre 2,36 e 5,14. Ressalta-se que na maior parte dos casos não foram encontrados modelos de regressão que se ajustassem significativamente à produção de matéria seca e teores de clorofila das plantas de capim marandu e milho em função das diferentes doses de ambos bioestimulantes vegetais aplicados (Figura 1).

Figura 1 - Dados médios (n=4) da matéria seca da parte aérea (MSPA) e da raiz (MSR), do teor de clorofila a (Cl a), b (Cl b), total (Cl total) e relação clorofila a/clorofila b (Cl a/b) de plantas de capim-marandu e milho em função da aplicação de Substâncias Húmicas (C_{SH}) ou Stimulate[®]. Substâncias húmicas: Dose 0 = 0; Dose 1 = 30; Dose 2 = 60 e Dose 3 = 90 mg de C na forma de substâncias húmicas por litro de solução (mg L⁻¹ de C_{SH}). Stimulate[®]: Dose 0 = 0; Dose 1 = 0,25; Dose 2 = 0,5 e Dose 3 = 0,75 L ha⁻¹.



Em relação ao experimento com o milho, foi observado uma resposta linear decrescente na produção de matéria seca com o fornecimento de SH. Ademais, observou-se resposta linear crescente do teor de Clorofila *a* com as diferentes doses de Stimulate® e do teor de Clorofila *b* com as diferentes doses de SH. Com o fornecimento de SH, o maior teor de clorofila *b* foi obtido com a dose 30 mg L⁻¹ de C_{SH}.

A relação entre a aplicação de bioestimulantes e o aumento do teor de clorofila demonstra maior resistência do milho às condições de estresse hídrico e nutricional, características encontradas no rejeito de minério, uma vez que as clorofilas têm a função de captar energia luminosa de diferentes comprimentos de onda para as reações fotoquímicas dos complexos coletores de luz, permitindo maiores taxas de fotossíntese, que por sua vez é responsável por 90% da produção de matéria seca (O'Neill et al., 2006).

Se tratando do capim marandu, nenhum dos tratamentos foi capaz de aumentar o teor de clorofila *a* em relação ao controle, e o patamar do teor de clorofila *b* foi reduzido após o fornecimento dos bioestimulantes, por esta razão, o teor de clorofila total das plantas controle não foi superado pelos diferentes tratamentos.

A redução dos teores de clorofila ocorre em plantas sob estresse, sendo bem documentada em literatura (Coelho et al., 2018 & Araújo et al., 2018) e aponta novamente o milho como mais resistente às condições desfavoráveis de desenvolvimento, fato que corrobora com os resultados de Torres et al. (2008) que constataram maior produção de matéria seca no milho quando comparada a outras sete espécies de cobertura.

Pires et al. (2009) demonstraram que as SH podem causar o desenvolvimento acelerado de estádios fenológicos das plantas, desta forma, o que pode ter ocorrido nos dois experimentos desta pesquisa foi o estímulo precoce a senescência devido às condições edafoclimáticas adversas, que resultou em manutenção/redução da matéria seca e degradação de clorofilas após aplicação dos bioestimulantes. Cabe destacar que condições edafoclimáticas adversas fazem com que as plantas não invistam na produção de matéria seca e reduzam a eficiência fotossintética (Carvalho et al., 2012).

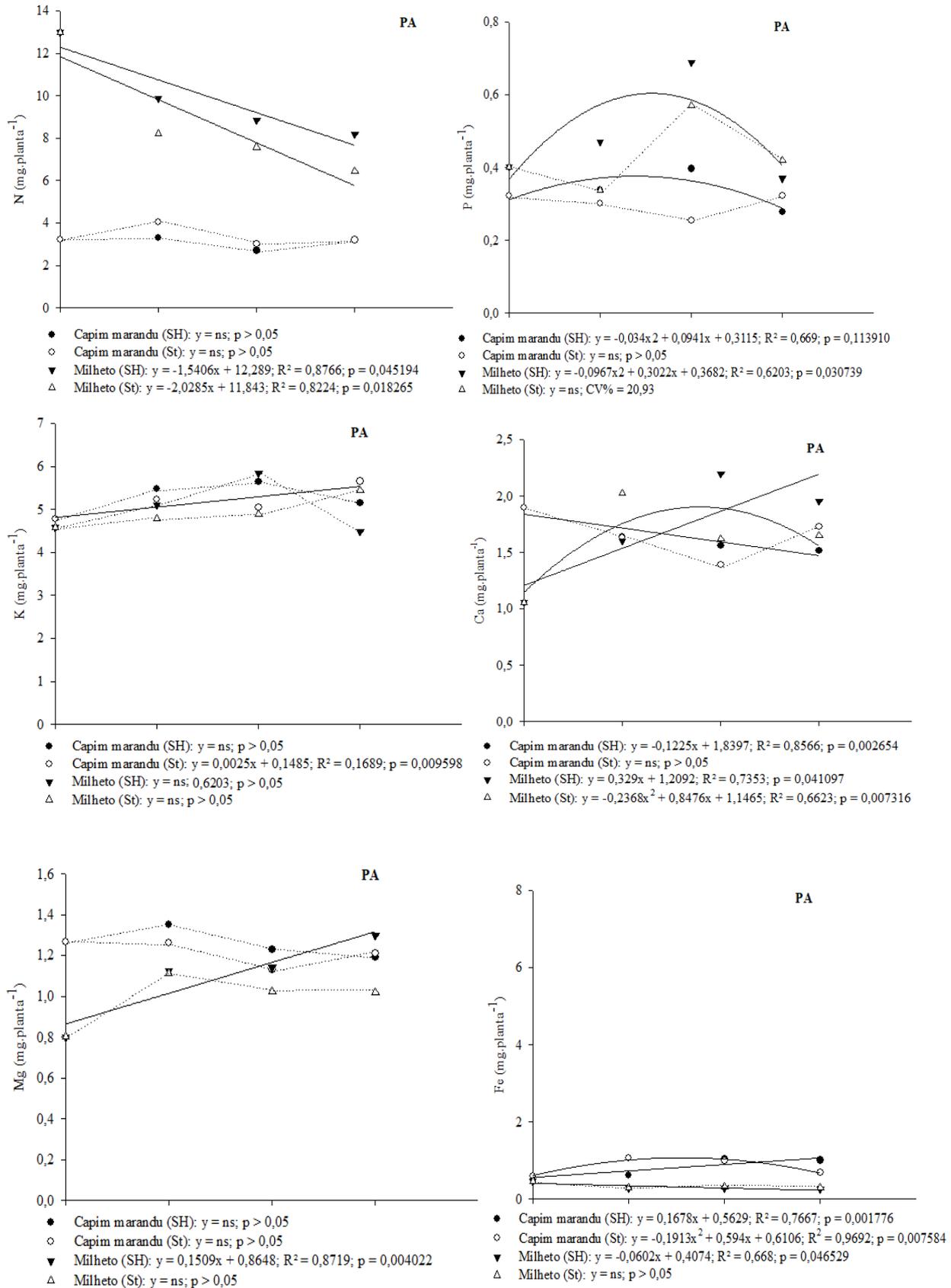
Acúmulo de nutrientes

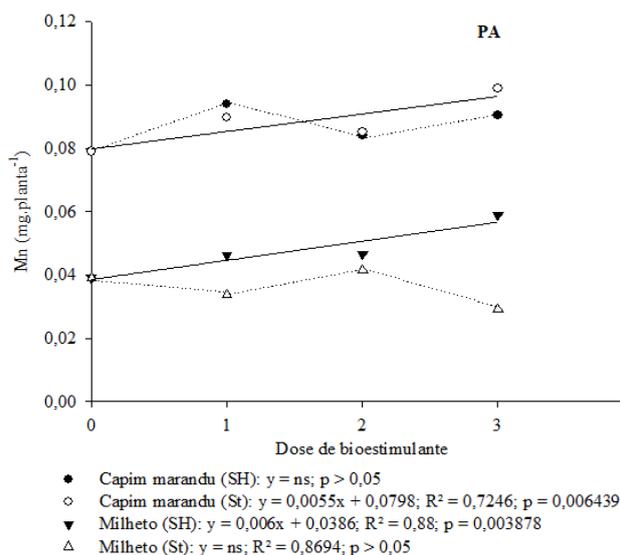
Para os acúmulos de N, P, K, Ca, Mg, Fe e Mn no capim marandu e milho ocorreram interações significativas ($P < 0,05$) com os diferentes tratamentos (Figura 2). Nos casos em que houve ajuste de regressão, a maioria das equações que melhor se ajustaram para explicar o acúmulo de nutrientes na parte aérea de capim marandu e milho cultivados sob rejeito de minério de ferro foram as lineares.

Em estudos com gramíneas (Bianco et al., 2015, Foloni et al., 2016 & Mendonça et al., 2014) tem-se a ordem decrescente de acumulação de nutrientes na parte aérea: $K > N > Ca > Mg > P$. O presente estudo apresentou em ordem decrescente de acumulação no capim marandu foi: $K > N > Ca > Mg > Fe > P > Mn$. O maior acúmulo de Fe em relação ao P se deve a alta disponibilidade de Fe no rejeito e a escassez de P. Para o milho, a ordem decrescente de acumulação foi: $N > K > Ca > Mg > P > Fe > Mn$. Quando analisada de forma independente aos tratamentos instalados neste experimento, ou seja, se tratando apenas do potencial de fitoextração de cada espécie, fica claro a maior eficiência do milho em absorver N e P em relação ao capim marandu.

O N é um elemento escasso em rejeitos de mineração (Schaefer et al., 2015), entretanto é o nutriente mais exigido e mais limitante para desenvolvimento do milho, sendo que seu acúmulo ocorre linearmente até a maturação, compondo compostos orgânicos essenciais (Lima et al., 2013). Provavelmente este nutriente foi incorporado pelo milho e capim marandu, por meio da associação com bactérias diazotróficas endofíticas ou epifíticas que disponibilizam N atmosférico (Ferreira et al., 2017 & Morais et al., 2012). Micro-organismos diazotróficos associados às gramíneas são alvos de estudos, porém, ainda não é consolidado se o principal benefício desta simbiose para as gramíneas é a maior disponibilidade de N ou a produção de auxina e/ou outras substâncias promotoras de crescimento que potencialmente alterem a morfologia radicular (como o aumento das raízes laterais e dos pelos radiculares), aumentando a absorção de nutrientes (Videira et al., 2012, Beneduzi et al., 2013 & Alves et al., 2015).

Figura 2 - Dados médios (n=4) do acúmulo de N, P, K, Ca, Mg, Fe e Mn na parte aérea (PA) de plantas de capim marandu e milheto cultivadas em rejeito de minério de ferro em função da aplicação de diferentes doses de substâncias húmicas (SH) ou Stimulate® (St). Substâncias húmicas: Dose 0 = 0; Dose 1 = 30; Dose 2 = 60 e Dose 3 = 90 mg de C na forma de substâncias húmicas por litro de solução (mg L⁻¹ de C_{SH}]. Stimulate®: Dose 0 = 0; Dose 1 = 0,25; Dose 2 = 0,5 e Dose 3 = 0,75 L ha⁻¹.





Quanto a maior absorção de P pelo milheto, relaciona-se os mecanismos desta planta em acessar formas menos lábeis de P no substrato, por meio da combinação com microrganismos capazes de favorecer a clivagem de compostos orgânicos e liberação do ânion fosfato (Vance, Uhde-Stone & Allan, 2003) e/ou exsudação radicular de fosfatases (Kunze et al., 2011).

Verificou-se que para o milheto, houve resposta linear decrescente para o acúmulo de N com o fornecimento de ambos bioestimulantes, e em relação ao acúmulo de P, contatou-se tanto para o milheto, quanto para o capim marandu, resposta quadrática após o fornecimento de diferentes doses de SH, em que o maior acúmulo deste nutriente foi obtido com a dose 60 mg L^{-1} (C_{SH}).

Para o acúmulo de K na parte aérea de capim marandu, houve resposta linear crescente com o fornecimento de Stimulate®. Já se tratando do milheto, foi observada resposta linear crescente para o acúmulo de Mg após aplicação de SH.

Em relação ao acúmulo de Ca após o fornecimento de diferentes doses SH, plantas de capim marandu apresentaram resposta linear decrescente e plantas de milheto, resposta linear crescente. Após a aplicação de Stimulate®, o milheto apresentou resposta quadrática para o acúmulo de Ca, em que o maior acúmulo foi obtido com a dose $0,25 \text{ L ha}^{-1}$.

Para o acúmulo de Fe nas plantas de capim marandu, foi observado resposta linear crescente após o fornecimento de SH e resposta quadrática após fornecimento de Stimulate® (melhor dose: 25 L ha^{-1}). Quanto ao milheto, é

interessante notar que as doses de SH reduziram linearmente o acúmulo de Fe na parte aérea. Foram obtidas respostas lineares crescentes para o acúmulo de Mn em plantas de capim marandu após fornecimento de Stimulate®, e para o milheto após fornecimento de SH.

Sobre o uso de bioestimulantes vegetais, os resultados obtidos neste trabalho são semelhantes aos observados por Lima (2016) em capim marandu, Albrecht et al. (2009) em algodão, Bertolin et al. (2010), Albrecht et al. (2011) e Albrecht et al. (2012) em soja, Sala et al. (2008) em trigo e Costa et al. (2009) em café. Em contrapartida, diversos trabalhos na literatura não apresentaram respostas positivas com a aplicação de bioestimulantes vegetais, principalmente em situações de estresse. (Oliveira et al., 2013, Abrantes et al., 2011, Garcia et al., 2009 & Klahold et al., 2006).

Índices de extração de nutrientes

O balanço, fator de transferência e índice de translocação de nutrientes de milheto e capim marandu cultivados sob rejeito de minério de ferro apontaram efeitos distintos entre as espécies e diferentes tratamentos.

Em uma análise geral e independente de ambos experimentos, cabe destacar que o capim marandu, mesmo com a menor produção de matéria seca, foi responsável em absorver maior porcentagem de Fe e Mn. Já a porcentagem de extração de Ca, K, Mg e P, de modo geral, foi semelhante entre as espécies e tratamentos. Em relação ao balanço de nutrientes das plantas de milheto, todas as doses fornecidas de SH e Stimulate® aumentaram a absorção de Ca, e a dose $0,50$ e $0,75 \text{ L ha}^{-1}$ de Stimulate® reduziram a absorção de Mn. Ademais, a dose $0,75 \text{ L ha}^{-1}$ de

Stimulate[®] aumentou a absorção de Mn pelas plantas de capim marandu (Tabela 2).

Tabela 2 - Balanço de K, Ca, Mg, P, Fe e Mn após cultivo de plantas de milho e capim marandu cultivadas em rejeito de minério de ferro em função da aplicação de diferentes doses de substâncias húmicas ou Stimulate[®].

Tratamento		Ca	Fe	K	Mg	Mn	P
Balanço de nutrientes %							
Bioestimulante	Dose	Milheto					
Substâncias húmicas	0	1,02±0,02	2,59±0,23	47,95±6,75	1,92±0,23	0,18±0,02	5,22±0,97
	1	1,29±0,23	3,01±0,45	56,54±5,08	2,80±0,25	0,22±0,04	6,23±0,89
	2	1,91±0,26	2,76±0,16	63,38±16,85	2,53±0,60	0,20±0,05	8,38±1,48
	3	1,64±0,35	3,70±0,38	47,39±8,01	2,80±0,24	0,25±0,05	4,76±0,81
Stimulate [®]	1	1,67±0,40	3,62±0,96	50,38±9,77	2,64±0,53	0,18±0,04	4,41±1,58
	2	1,56±0,23	2,07±0,37	52,81±10,63	2,37±0,10	0,15±0,02	7,23±1,07
	3	1,59±0,23	3,02±0,23	56,56±8,20	2,25±0,44	0,12±0,03	5,39±1,15
Bioestimulante	Dose	Capim marandu					
Substâncias húmicas	0	1,63±0,08	7,28±0,94	59,05±12,80	3,25±0,16	0,55±0,06	5,47±0,89
	1	1,55±0,18	8,55±0,65	71,07±12,26	3,63±0,31	0,66±0,08	5,59±0,59
	2	1,38±0,21	7,08±1,48	75,26±12,21	3,45±0,16	0,60±0,07	6,63±0,42
	3	1,58±0,15	9,20±0,81	66,14±8,56	3,48±0,32	0,67±0,15	5,08±0,76
Stimulate [®]	1	1,46±0,26	8,57±1,58	70,24±7,13	3,45±0,23	0,59±0,02	5,13±0,69
	2	1,35±0,21	8,61±1,54	66,42±3,04	3,39±0,17	0,63±0,08	4,59±0,68
	3	1,45±0,26	8,44±1,47	72,46±6,96	3,38±0,42	0,66±0,04	5,56±0,83

BN = acúmulo total de nutriente na planta do tratamento "n"/teor de nutriente no rejeito. Substâncias húmicas: Dose 0 = 0; Dose 1 = 30; Dose 2 = 60 e Dose 3 = 90 mg de C na forma de substâncias húmicas por litro de solução (mg L⁻¹ de C_{SH}). Stimulate[®]: Dose 0 = 0; Dose 1 = 0,25; Dose 2 = 0,5 e Dose 3 = 0,75 L ha⁻¹.

Com relação ao fator de transferência de nutrientes pelas plantas de milho e capim marandu (Tabela 3), observou-se que a alta concentração de Fe e Mn na solução do rejeito e baixa exigência vegetal por estes micronutrientes culmina com os menores valores de fator de transferência. Em contrapartida, os baixos teores de K e P e alta exigência por estes macronutrientes refletem em altos valores desta variável. Cabe destacar o fator de transferência do K por ambas plantas, o que evidencia maior capacidade de formas não trocáveis de K participarem do suprimento desta planta, devido a sua demanda ao longo do tempo (Rosolem et al., 2012).

Com o índice de translocação de nutrientes (Tabela 4), observa-se que o Ca, K, Mg, Mn e P

são mais acumulados na parte aérea de milho e capim marandu. Em relação aos nutrientes absorvidos pelas plantas, grande parte é metabolizado na parte aérea, o que justifica a maior concentração neste componente (Vieira et al., 2013). Em análise integrada de ambos os experimentos, observou-se que o milho apresentou índice de translocação de K bastante superior ao obtido para o capim marandu e o componente raiz em todos os tratamentos acumulou mais Fe, mobilizados neste componente, provavelmente como mecanismo vegetal para minimizar efeitos de toxidez pelo seu excesso no meio, prejudiciais a absorção de outros nutrientes e retardo no desenvolvimento vegetal (Epstein & Bloom, 2006).

Tabela 3 - Fator de transferência de K, Ca, Mg, P, Fe e Mn após cultivo de milho e capim marandu cultivadas em rejeito de minério de ferro em função da aplicação de diferentes doses de substâncias húmicas ou Stimulate®.

Tratamento		Ca	Fe	K	Mg	Mn	P
		Fator de transferência					
Bioestimulante	Dose	Milheto					
Substâncias húmicas	0	10,26±0,26	6,98±2,01	585,57±108,77	19,12±4,62	2,20±1,07	57,35±14,91
	1	14,43±3,80	4,54±2,02	663,54±55,59	26,82±4,35	2,37±1,00	82,41±25,31
	2	21,36±4,46	5,78±4,14	771,99±213,38	30,14±9,49	2,75±1,68	94,75±22,88
	3	19,00±4,24	5,67±4,78	570,78±103,46	30,99±3,73	2,21±0,83	74,77±40,78
Stimulate®	1	19,71±4,77	4,45±2,22	710,17±247,83	26,57±6,45	1,92±1,04	45,34±18,09
	2	14,10±5,15	5,46±2,45	630,91±156,09	24,42±1,90	2,53±1,55	79,02±21,23
	3	13,57±5,33	9,18±5,69	713,53±128,22	24,31±5,27	1,56±0,72	63,83±12,80
Bioestimulante	Dose	Capim marandu					
Substâncias húmicas	0	18,77±1,27	10,69±4,25	627,66±108,29	30,68±1,75	3,45±0,75	49,87±9,41
	1	16,21±1,79	11,53±6,04	730,42±164,01	32,76±2,17	4,11±0,43	46,29±14,45
	2	15,44±2,65	12,81±6,12	756,94±111,14	29,83±1,04	3,67±0,66	53,31±17,57
	3	14,99±1,30	12,72±6,45	682,17±102,63	29,93±2,27	3,95±0,98	42,85±10,85
Stimulate®	1	16,15±3,44	15,64±3,26	693,25±140,94	30,56±3,79	3,92±0,57	44,43±13,23
	2	13,72±2,03	10,33±7,83	520,99±296,50	27,43±2,91	3,72±0,73	39,28±9,82
	3	17,06±3,92	19,19±8,67	611,02±293,68	29,35±7,37	4,32±0,89	42,93±18,04

FT = teor de nutriente na parte aérea do tratamento "n"/teor disponível de nutriente no rejeito. Substâncias húmicas: Dose 0 = 0; Dose 1 = 30; Dose 2 = 60 e Dose 3 = 90 mg de C na forma de substâncias húmicas por litro

Tabela 4 - Índice de translocação de K, Ca, Mg, P, Fe e Mn após cultivo de milho e capim marandu cultivadas em rejeito de minério de ferro em função da aplicação de diferentes doses de substâncias húmicas ou Stimulate®.

Tratamento		Ca	Fe	K	Mg	Mn	P
		Índice de translocação					
Bioestimulante	Dose	Milheto					
Substâncias húmicas	0	3,19±0,16	0,23±0,06	15,02±9,37	3,37±1,98	2,47±0,56	7,95±2,57
	1	10,50±3,78	0,10±0,03	7,82±1,36	2,78±1,18	2,24±1,04	7,03±2,88
	2	5,95±2,70	0,11±0,01	16,21±13,13	4,23±0,90	3,53±1,80	16,33±1,77
	3	7,14±1,56	0,07±0,03	11,56±6,36	5,16±1,17	3,57±0,84	8,43±2,93
Stimulate®	1	8,07±1,86	0,09±0,03	16,09±11,00	3,14±0,62	1,45±0,23	7,17±1,27
	2	3,45±1,40	0,19±0,03	9,92±5,02	3,50±0,56	7,47±1,72	9,48±1,22
	3	3,18±0,25	0,11±0,03	18,80±8,88	4,33±0,58	4,73±2,34	8,31±2,05
Bioestimulante	Dose	Capim marandu					
Substâncias húmicas	0	6,11±1,66	0,10±0,02	4,04±1,12	2,33±0,90	0,87±0,22	2,08±0,18
	1	3,51±0,66	0,08±0,03	3,24±0,77	2,04±0,25	0,88±0,19	2,28±0,38
	2	5,11±1,56	0,21±0,08	2,98±0,35	1,80±0,14	0,86±0,19	2,27±0,68
	3	2,38±0,20	0,14±0,07	3,44±1,22	1,66±0,31	0,80±0,21	1,72±0,58
Stimulate®	1	4,66±0,91	0,16±0,05	2,84±0,61	1,92±0,32	0,98±0,24	2,12±0,76
	2	3,13±0,37	0,15±0,03	3,07±0,89	1,51±0,23	0,8±0,17	1,76±0,50
	3	7,63±4,12	0,10±0,01	3,71±1,08	1,86±0,62	0,99±0,31	2,04±0,69

IT = acúmulo de nutriente na parte aérea do tratamento "n"/acúmulo de nutriente na raiz do tratamento "n". Substâncias húmicas: Dose 0 = 0; Dose 1 = 30; Dose 2 = 60 e Dose 3 = 90 mg de C na forma de substâncias húmicas por litro de solução (mg L⁻¹ de C_{SH}). Stimulate®: Dose 0 = 0; Dose 1 = 0,25; Dose 2 = 0,5 e Dose 3 = 0,75 L ha⁻¹.

Conclusão

Em geral, o milho produziu maior quantidade de matéria seca, independente da ausência ou presença de aplicação de bioestimulantes vegetais, indicando um maior potencial de revegetação de áreas afetadas por rejeito de minério.

Contatou-se que para o milho apresentou, houve resposta linear crescente do teor de Clorofila *a* com as diferentes doses de Stimulate® e do teor de Clorofila *b* com as diferentes doses de SH. Com o fornecimento de SH, o maior teor de clorofila *b* foi obtido com a dose 30 mg L⁻¹ de C_{SH}.

A ordem decrescente de acumulação de nutrientes no capim marandu foi: K > N > Ca > Mg > Fe > P > Mn, e no milho foi: N > K > Ca > Mg > P > Fe > Mn.

Todas as doses fornecidas de SH e Stimulate® aumentaram a absorção de Ca pelo milho, e a dose 0,75 L ha⁻¹ de Stimulate® aumentou a absorção de Mn pelas plantas de capim marandu.

O fator de transferência do K por ambas plantas evidenciou a capacidade de formas não trocáveis de K participarem do suprimento destas plantas.

A alta disponibilidade de Fe no rejeito de mineração refletiu em grande absorção pelo capim marandu e milho, e ambas as plantas mobilizaram este elemento nas raízes como estratégia para reduzir efeitos de sua toxidez.

Referências

Abrantes, F. L., et al. (2011). Uso de regulador de crescimento em cultivares de feijão de inverno. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 41 (2), 148-154.

Albrecht, L. P., et al. (2009). Aplicação de biorregulador na produtividade do algodoeiro e qualidade de fibra. *Scientia Agraria*, Curitiba, 10 (3), 191-198.

Albrecht, L. P., et al. (2012). Biorregulador na composição química e na produtividade de grãos de soja. *Revista Ciência Agronômica*, Fortaleza, 43 (3), 774-782.

Albrecht, L. P., et al. (2011). Manejo de biorregulador nos componentes de produção e desempenho das plantas de soja. *Bioscience*

Journal, Uberlândia, 27 (6), 865- 876.

Alleoni, B., Bosqueiro, M., & Rossi, M. (2000). Efeito dos reguladores vegetais de Stimulate® no desenvolvimento e produtividade do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) *Publicatio UEPG: ciências exatas e da terra, ciências agrárias e engenharias*, Ponta Grossa, 6 (1), 23-35.

Almeida, B., et al. (2012). *Padronização de Métodos para análise granulométrica no Brasil* (Comunicado Técnico, n.66, 11p). Rio de Janeiro: Embrapa Solo.

Almeida, R. O. P. O., & Sanchez, L. E. (2005). Revegetação de áreas de mineração: critérios de monitoramento e avaliação do desempenho. *Revista Árvore*, Viçosa, 29 (1), 47-54.

Alves, G. C., et al. (2015). Differential plant growth promotion and nitrogen fixation in two genotypes of maize by several *Herbaspirillum* inoculants. *Plant and Soil*, Dordrecht, 387, 307-321.

Agência Nacional de Mineração (2018). *Anuário Mineral Brasileiro: Principais Substâncias Metálicas, agosto 2018*. Brasília, DF: ANM. Recuperado de: <http://www.anm.gov.br/>

Araújo Jr., G. D. N., et al. (2018). Estresse hídrico em plantas forrageiras: uma revisão. *PUBVET*, 13 (1), 148.

Beneduzi, A. et al. (2013). Diversity and plant growth promoting evaluation abilities of bacteria isolated from sugarcane cultivated in the South of Brazil. *Applied Soil Ecology*, 63, 94-104.

Bertolin, D. C., et al. (2010). Aumento da produtividade de soja com a aplicação de bioestimulantes. *Bragantia*, Campinas, 69 (2), 339-347.

Bianco, S., et al. (2015). Crescimento e nutrição mineral de *Urochloa arrecta*. *Planta Daninha*, 33 (1), 33-40.

Braz, B. P. A. J., et al. (2004). Acumulação de nutrientes em folhas de milho e dos capins braquiária e mombaça. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 34 (2), 83-87.

- Carvalho, A., et al. (2013). Revegetation of abandoned copper mines: the role of seed banks and soil amendments. *Web Ecology*, 13, 69-77.
- Carvalho, R. P., Pinho, R. G. V., & Davide, L. M. C. (2012). Eficiência de cultivares de milho na absorção e uso de nitrogênio em ambiente de casa de vegetação. *Semina: Ciências Agrárias*, 33 (6), 2125-2136.
- Cele, E. N., & Maboeta, M. A. (2016). Greenhouse trial to investigate the ameliorative properties of biosolids and plants on physicochemical conditions of iron ore tailings: Implications for an iron ore mine site remediation. *Journal of environmental management*, 165, 167-174.
- Chaturvedi, N., Ahmed, M. J., & Dhal, N. K. (2014). Effects of iron ore tailings on growth and physiological activities of *Tagetes patula* L. *Journal of soils and sediments*, 14, 721-730.
- Coelho, A. P., et al. (2018). Clorofilômetro portátil como forma de manejo da irrigação e adubação nitrogenada em aveia-branca. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, 12 (2), 2542-2553.
- Costa, N. R., Domingues, M. C. S., & Rodrigues, J. D. (2009). Desempenho do cafeeiro Icatu vermelho sob ação de biorregulador aplicado em fases reprodutivas da cultura. *Agrarian*, 2 (5), 113-130.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (2017). *Manual de métodos de análise de solo* (212p). Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPQ.
- Epstein, E., & Bloom, A. J. (2006). Nutrição e crescimento. In: *Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas* (2. ed., pp.251-286). Londrina: Editora Planta
- Ferreira Neto, R. A., et al. (2017). Nitrogen fixation of Poaceae and Leguminosae in a green manure experiment in the Brazilian semiarid region. *Australian Journal of Crop Science*, 11 (11), 1474-1480.
- Foloni, J. S. S., et al. (2016). Acúmulo de nutrientes e relação C/N em diferentes estádios fenológicos do milho submetido à adubação nitrogenada. *Revista Agro@ambiente Online*, 10 (1), 1-9.
- Garcia, R. A., et al. (2009). Crescimento aéreo e radicular de arroz de terras altas em função da adubação fosfatada e bioestimulante. *Bioscience Journal*, 25 (4), 65-72.
- Gonçalves, B. H. L., et al. (2018). Efeito do bioestimulante Stimulate® no desenvolvimento de mudas de maracujazeiro cv. BRS Rubi do Cerrado. *Revista de Ciências Agrárias*, 41 (1), 147-155.
- Instituto Nacional de Meteorologia. (2018). *Consulta de dados meteorológicos- estação automática - cidade Alegre - ES*. Recuperado de <http://www.inmet.gov.br/portal/>
- Klahold, C. A., et al. (2006). Resposta da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) à ação de bioestimulante. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 28 (2), 179-185.
- Kunze, A., et al. (2011). Phosphatase activity in sandy soil influenced by mycorrhizal and non-mycorrhizal cover crops. *Revista Brasileira de Ciência do solo*, 35, 705-711.
- Lange, C. A., et al. (2012). Effects of different soil ameliorants on karee trees (*Searsia lancea*) growing on mine tailings dump soil e part I: pot trials. *International Journal Phytoremediation*, 14 (9), 908-924.
- Li, X., et al. (2013). Understanding the salinity issue of coal mine spoils in the context of salt cycle. *Environmental Geochemistry and Health*, 36 (3), 453-465.
- Lima, C. B. (2016). *Bioestimulante e fertilizantes foliares no cultivo de Brachiaria híbrida* (54f). Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, Brasil.
- Lima, M. P. D. et al. (2013). Desenvolvimento de plantas de cobertura sob diferentes níveis de água no solo. *Jornal Africano de Pesquisa Agrícola*, 8 (19), 2216-2223.
- Mechi, A., & Sanches, D. L. (2010). Impactos ambientais da mineração no Estado de São Paulo. *Estudos avançados*, 24 (68), 209-220.

- Mendonça, E. S., & Matos, E. D. S. (2005). *Matéria Orgânica do Solo: métodos de Análises* (107p). Minas Gerais: Universidade Federal de Viçosa.
- Mendonça, V. Z., et al. (2014). Teor e acúmulo de nutrientes no consórcio de milho com forrageiras no sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 9 (3), 330-337.
- Morais, R. F., et al. (2012). Contribution of biological nitrogen fixation to Elephant grass (*Pennisetum purpureum* Schum.). *Plant and Soil*, Dordrecht, 356 (1-2), 23-34.
- Mouazen, A. M., et al. (2014). Multiple on-line soil sensors and data fusion approach for delineation of water holding capacity zones for site specific irrigation. *Soil and Tillage Research*, 143, 95-105.
- Oliveira, F. D. A., et al. (2013). Interação entre salinidade e bioestimulante na cultura do feijão caupi. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 17 (5).
- O'Neill, P. M., Shanahan, J. F., & Schepers, J. S. (2006). Use of chlorophyll fluorescence assessments to differentiate corn hybrid response to variable water conditions. *Crop Science*, Madison, 46 (2), 681-687.
- Paradiković, N. et al. (2019) Biostimulants research in some horticultural plant species: A review. *Food and Energy Security*, 8 (2), e00162.
- Pires, C. R. F., et al. (2009). Textural quality of tomatoes grown in organic substrates subjected to application of humic substances. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 44 (11), 1467-1472.
- Rose, M. T., et al. (2014). A meta-analysis and review of plant-growth response to humic substances: practical implications for agriculture. In: Sparks, D.L. (Ed.). *Advances in agronomy* (Vol. 24, pp 37-89). San Diego: Academic Press.
- Rosolem, C. A., Vicentini, J. P. T. M. M., & Steiner, F. (2012). Suprimento de potássio em função da adubação potássica residual em um Latossolo Vermelho do Cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 36 (5), 1507-1515.
- Sala, V. M. R., et al. (2008). Novas bactérias diazotróficas endofíticas na cultura do trigo em interação com a adubação nitrogenada, no campo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, 32 (3), 1099-1106.
- Schaefer, C. E. G. R., et al. (2015). Cenário histórico, quadro fisiográfico e estratégias para recuperação ambiental de Tecno solos nas áreas afetadas pelo rompimento da barragem do Fundão, Mariana, MG. *Arquivos do Museu de História Natural e Jardim Botânico - UFMG*, 24 (1), 104-135.
- Silva, et al. (2006). Potencialidade de plantas para revegetação de estéreis e rejeito da mineração de ferro da mina de alegria, Mariana-MG. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 36 (3), 165-172.
- Statsoft. (2007). (Versão 8.0) [Software]. United States. Recuperado de <http://statsoft.com.br/>
- Stoller do Brasil Ltda. (2015). *Stimulate*. Recuperado em 7 agosto, 2019 de <http://www.adapar.pr.gov.br/arquivos/File/defis/DFI/Bulas/Outros/STIMULATE.pdf>
- Tordoff, G. M., Baker, A. J. M. & Willis, A. J. (2000) Current approaches to the revegetation and reclamation of metalliferous mine wastes. *Chemosphere*, 41(1-2), 219-228.
- Torres, J. L. R., Pereira, M. G., & Fabian, A. J. (2008). Produção de fitomassa por plantas de cobertura e mineralização de seus resíduos em plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 43 (3), 421-428.
- United States Environmental Protection Agency. (2007). *Method 3051: Microwave Assisted Acid Digestion of Sediments, Sludges, Soils, and Oils*. Recupere <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-12/documents/3051a.pdf>.
- Vance, C. P., Uhde-Stone, C., & Allan, D. L. (2003). Phosphorus acquisition and use: critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource. *New phytologist*, 157(3), 423-447.

Vieira, S. S., et al. (2012). Genetic diversity and plant growth promoting traits of diazotrophic bacteria isolated from two xavie Schum. genotypes grown in the field. *Plant and Soil*, Dordrecht, 356, 51-66.

Vieira, M., Mauro, V. S., Peter, T., & Elias, F. A. (2013). Biomassa e nutrientes em um povoamento de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus globulus*, em Eldorado do Sul – RS. *Ecologia e Nutrição Florestal*, 1 (1), 1-13.

Yeomans, J. C., & Bremner, J. M. (1988). A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Communications in soil science and plant analysis*, 19(13), 1467-1476.

Recebido em 12/09/2019
Aceito em: 10/07/2020