

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL

PEDRO HENRIQUE LOPES SANTANA

REVEGETAÇÃO DE REJEITO ORIUNDO DO BENEFICIAMENTO DE
MINÉRIO DE FERRO: ESPÉCIES ASSOCIADAS COM
ESTIMULANTES DE CRESCIMENTO

ALEGRE – ES
2018

PEDRO HENRIQUE LOPES SANTANA

**REVEGETAÇÃO DE REJEITO ORIUNDO DO BENEFICIAMENTO
DE MINÉRIO DE FERRO: ESPÉCIES ASSOCIADAS COM
ESTIMULANTES DE CRESCIMENTO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal, na área de Solos e Nutrição de Plantas.

Orientador: Prof. Dr. Diego Lang Burak

**ALEGRE – ES
2018**

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)
(Biblioteca Setorial Sul, Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

S237r Santana, Pedro Henrique Lopes, 1991-
Revegetação de rejeito oriundo do beneficiamento de minério de ferro: espécies associadas com estimulantes de crescimento / Pedro Henrique Lopes Santana. – 2018.
75 f. : il.

Orientador: Diego Lang Burak.

Coorientadores: Eduardo de Sá Mendonça.

Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias.

1. Desastres ambientais. 2. Revegetação. 3. Rios - Recuperação. 4. Leguminosas. 5. Gramíneas. I. Burak, Diego Lang. II. Mendonça, Eduardo de Sá. III. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias e Engenharias. IV. Título.

CDU: 63

OFEREÇO

A sociedade.

A Deus, por possibilitar tudo.

Aos meus pais, Antônio e Shirley, pelo amor incondicional, abdições e confiança em mim.

A Priscila, pelo companheirismo e compreensão.

A Diego, Eduardo e Renato, por não medirem esforços para ajudar, pela amizade, estímulo e sugestões.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela realização desta conquista.

Aos meus familiares, sempre presentes.

A Leidivan, pela inspiração.

Ao orientador, pela confiança, conselhos e amizade.

A Flanders e aos ratos, pelo apoio e incontáveis momentos de alegria que contribuíram para essa realização.

A Cássio, Lenita, Camila, Priscilla e Franciele, pelo auxílio na construção desta pesquisa.

A banca, pela dedicação na leitura deste trabalho.

A UFES, CAPES e FAPES, pelas oportunidades e condições fornecidas.

"Procure ser uma pessoa de valor, em vez de procurar ser uma pessoa de sucesso.
O sucesso é consequência"
(Albert Einstein)

“Não devemos ter medo das novas ideias!
Elas podem significar a diferença entre o triunfo e o fracasso.”
(Napoleon Hill)

RESUMO GERAL

SATANA, P. H. L. Universidade Federal do Espírito Santo. Julho de 2018. Revegetação de rejeito oriundo de minério de ferro: Potencialidades de espécies associadas com estimulantes de crescimento. Orientador: Diego Lang Burak.

O maior desastre ambiental da história do Brasil, ocorrido com o rompimento das barragens operadas pela empresa mineradora Samarco, provocou diversos impactos ao ambiente e população, com destaque para a degradação da bacia do rio Doce. O rejeito de mineração possui baixa coesão entre partículas, ausência de estruturação e alta densidade. Quanto à fertilidade, os minerais presentes (prioritariamente quartzo e hematita) pouco contribuem com a liberação de nutrientes para as plantas, além de baixos teores de carbono orgânico, nitrogênio total e CTC. Deste modo, para recuperação de áreas ocupadas por rejeito de mineração, a técnica de revegetação é imprescindível no âmbito econômico e ambiental, pois os processos de ciclagem de nutrientes e incorporação de carbono são potencializados por meio do cultivo de espécies que se adaptem as condições edafoclimáticas do local em que serão inseridas. Dentre as espécies promissoras para esta finalidade, destacam-se plantas pertencentes às famílias Fabaceae e Poaceae, por tolerarem ampla faixa de pH no meio, se desenvolverem bem em condições de estresse térmico e hídrico, além de serem rústicas, com rápida e completa cobertura do solo, o que favorece os processos de sucessão ecológica com espécies nativas. Ademais, a aplicação de bioestimulantes de crescimento vegetal como fito-hormônios, substâncias húmicas e bactérias diazotróficas favorecem o incremento em matéria seca vegetal e acúmulo de nutrientes que podem ser reciclados ao meio pelas plantas. Neste contexto, esta pesquisa teve o objetivo geral de desenvolver e avaliar biotecnologias que integrem o uso de bioestimulantes em espécies vegetais como estratégia para maximizar a produção de matéria seca e acúmulo de nutrientes em plantas cultivadas sob rejeito de mineração. Os dados desta pesquisa fornecerão informações acerca de revegetação de áreas ocupadas por estes “tecnosolos” de forma a obter um processo tecnológico eficiente, quer seja *in situ* ou após algum desastre ambiental, como um rompimento.

Palavras-chave: Acumulação de nutrientes, leguminosas, gramíneas, recuperação de áreas mineradas.

GENERAL ABSTRACT

The biggest environmental disaster on Brazil's history has occurred at the county of Mariana (MG) with the rupture of two tailing dams, called Fundão and Santarem, which were managed by the Samarco Mining Company. This disaster caused many impacts to the environment and to the population, mainly the pollution of the basin of the Doce River with mining tailings. This tailing has low cohesion between the particles and absence of structuration, besides a high density of the sediment that favors the superficial flow on the soil decreasing the infiltration. The main mineralogical composition of this tailing are quartz and hematite and both do not contribute with the liberation of chemical elements that fertilize the plants. The content of organic carbon and total nitrogen are scarce and the CTC is low because of the small percentage of the fraction of clay. Thus, the technic of revegetation is indispensable to promote the recuperation of the areas occupied with the tailing because the nutrients cyclizing process and the incorporation of carbon are increased with the cultivation of vegetal species that can adapt to the edafoclimatic conditions of the area where they will be planted. However, information about the cultivation of plant species directly on the mining tailing are scarce. Using plants from the families Fabaceae and Poaceae may be a possibility to revegetate the affected area because those plants tolerate a high range of pH and develop well under thermic and hydric stressful conditions. Moreover, plants from those families tend to be rustic, with a fast and complete covering of the soil, favoring the process of ecological succession with native species. Furthermore, the application of biostimulants of vegetal growing (phytormony, humic substances and diazotrophic bacteria) may favoring the increment of vegetal biomass and the accumulation of nutrients that can be recycled to the environment by the plants. In this context, the main aim of this research was developing and evaluating biotechnologies that integrates the use of biostimulants in vegetal species as a strategy to maximize the production of biomass and the accumulation of nutrients in plants cultivated in mining tailing. The data collected and analyzed on this research provides information about the revegetation of the area occupied by this "artificial soil" proposing an efficient technological process in both situations *in situ* or after an environmental disaster as the rupture. This work was developed at the Federal University of Espirito Santo- Brazil (UFES) with the hypothesis that vegetal biostimulants increase the production of biomass and accumulation of nutrients by the plants. To evaluating this hypothesis the dissertation was divided in tree chapters.

Key words: Accumulation of nutrients, legumes, grasses, recovery of mined areas.

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I – MATÉRIA SECA E NUTRIENTES EM FEIJÃO-DE-PORCO E VETIVER CULTIVADOS EM REJEITO DE MINÉRIO DE FERRO

Tabela 1. Atributos químicos e físicos do rejeito de minério de ferro utilizado no estudo, antes da aplicação dos tratamentos.....25

Tabela 2. Fator de transferência de K, Ca, Mg, P, Fe e Mn após cultivo de vetiver e feijão-deporco em função da aplicação de diferentes doses de bioestimulante Stimulate®.....33

Tabela 3. Índice de translocação de K, Ca, Mg, P, Fe e Mn após cultivo de vetiver e feijão-deporco em função da aplicação de diferentes doses de bioestimulante Stimulate®.....35

CAPÍTULO II – RESPOSTA DE FEIJÃO-DE-PORCO E CROTALÁRIA EM REJEITO DE MINÉRIO DE FERRO À APLICAÇÃO DE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS E INOCULAÇÃO DE BACTÉRIAS DIAZOTRÓFICAS

Tabela 1. Atributos químicos e físicos do rejeito de minério de ferro utilizado no estudo, antes da aplicação dos tratamentos.....43

Tabela 2. Balanço de K, Ca, Mg, P, Fe e Mn após cultivo de Feijão-de-porco e Crotalária com ou sem inoculação de bactérias diazotróficas e cultivadas em rejeito de minério de ferro em função da aplicação de diferentes doses de substâncias húmicas fornecidas aos 30 dias após o transplântio.....54

Tabela 3. Fator de transferência de K, Ca, Mg, P, Fe e Mn após cultivo de Feijão-de-porco e Crotalária com ou sem inoculação de bactérias diazotróficas e cultivadas em rejeito de minério de ferro em função da aplicação de diferentes doses de substâncias húmicas fornecidas aos 30 dias após o transplântio.....55

Tabela 4. Índice de translocação de K, Ca, Mg, P, Fe e Mn após cultivo de Feijão-de-porco e Crotalária com ou sem inoculação de bactérias diazotróficas e cultivadas em rejeito de minério de ferro em função da aplicação de diferentes doses de substâncias húmicas fornecidas aos 30 dias após o transplântio.....56

CAPÍTULO III – RESPOSTA DE CAPIM-MARANDU E MILHETO EM REJEITO DE MINÉRIO DE FERRO À APLICAÇÃO DE BIOESTIMULANTES VEGETAIS

Tabela 1. Atributos químicos e físicos do rejeito de minério de ferro utilizado no estudo, antes da aplicação dos tratamentos.....64

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®75

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®76

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®77

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I – MATÉRIA SECA E NUTRIENTES EM FEIJÃO-DE-PORCO E VETIVER CULTIVADOS EM REJEITO DE MINÉRIO DE FERRO

Figura 1. Dados médios (n=4) da matéria seca da parte aérea (MSPA) e de raízes (MSR) de plantas de vetiver e feijão-de-porco sob rejeito de minério de ferro em condição melhorada (C1) e limitante (C2), em função da aplicação de diferentes doses de bioestimulante Stimulate®.28

Figura 2. Dados médios (n=4) do acúmulo de N, P, K, Ca, Mg, Fe e Mn na parte aérea de plantas de vetiver e feijão-de-porco sob rejeito de minério de ferro em condição melhorada (C1) e limitante (C2), em função da aplicação de diferentes doses de bioestimulante Stimulate®31

CAPÍTULO II – RESPOSTA DE FEIJÃO-DE-PORCO E CROTALÁRIA EM REJEITO DE MINÉRIO DE FERRO À APLICAÇÃO DE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS E INOCULAÇÃO DE BACTÉRIAS DIAZOTRÓFICAS

Figura 1. Dados médios (n=4) da matéria seca da parte aérea (MSPA) e de raízes (MSR) de plantas de feijão-de-porco e crotalária com (A) ou sem inoculação de bactérias diazotróficas (B) e cultivadas em rejeito de minério de ferro em função da aplicação de diferentes doses de substâncias húmicas fornecidas aos 15, 30 ou 45 dias após o transplântio (DAT).....46

Figura 2. Dados médios (n=4) do acúmulo de N, P e K na parte aérea (PA) de plantas de feijão-de-porco e crotalária com (A) ou sem inoculação de bactérias diazotróficas (B) e cultivadas em rejeito de minério de ferro em função da aplicação de diferentes doses de substâncias húmicas fornecidas aos 15, 30 ou 45 dias após o transplântio (DAT).....50

Figura 3. Dados médios (n=4) do acúmulo de Ca, Mg, Fe e Mn na parte aérea (PA) de plantas de feijão-de-porco e crotalária com (A) ou sem inoculação de bactérias diazotróficas (B) e cultivadas em rejeito de minério de ferro em função da aplicação de diferentes doses de substâncias húmicas fornecidas aos 15, 30 ou 45 dias após o transplântio (DAT).....53

CAPÍTULO III – RESPOSTA DE CAPIM-MARANDU E MILHETO EM REJEITO DE MINÉRIO DE FERRO À APLICAÇÃO DE BIOESTIMULNTES VEGETAIS EM REJEITO DE MINÉRIO

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.....69

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 milho 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.....72

REVEGETAÇÃO DE REJEITO ORIUNDO DO BENEFICIAMENTO DE MINÉRIO DE FERRO: ESPÉCIES ASSOCIADAS COM ESTIMULANTES DE CRESCIMENTO

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	14
CAPÍTULO I - MATÉRIA SECA E NUTRIENTES EM FEIJÃO-DE-PORCO E VETIVER CULTIVADOS EM REJEITO DE MINÉRIO DE FERRO	20
1. INTRODUÇÃO.....	21
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	23
2.1 Coleta e caracterização do rejeito	23
2.2 Montagem e condução dos experimentos.....	24
2.3 Análises estatísticas.....	26
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	26
3.1 Produção de matéria seca	26
3.2 Acúmulo de nutrientes	28
3.3 Índices de extração de nutrientes	31
4. CONCLUSÕES.....	34
CAPÍTULO II – RESPOSTA DE FEIJÃO-DE-PORCO E CROTALÁRIA EM REJEITO DE MINÉRIO DE FERRO À APLICAÇÃO DE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS E INOCULAÇÃO DE BACTÉRIAS DIAZOTRÓFICAS	38
1. INTRODUÇÃO.....	39
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	41
2.1 Coleta e caracterização do rejeito	41
2.2 Montagem e condução dos experimentos.....	42
2.3 Análises estatísticas.....	43
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	44
3.1 Produção de matéria seca	44
3.2 Acúmulo de nutrientes	46

3.3 Índices de extração de nutrientes	51
4. CONCLUSÕES	54
CAPÍTULO III – RESPOSTA DE CAPIM-MARANDU E MILHETO EM REJEITO DE MINÉRIO DE FERRO À APLICAÇÃO DE BIOESTIMULNTES VEGETAIS.....	59
1. INTRODUÇÃO.....	60
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	61
2.1 Coleta e caracterização do rejeito	61
2.2 Coleta e caracterização do rejeito	63
2.3 Análises estatísticas.....	64
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	64
3.1 Atributos fitotécnicos	65
3.2 Acúmulo de nutrientes	67
3.3 Índices de extração de nutrientes	70
4. CONCLUSÕES.....	73

INTRODUÇÃO GERAL

A extração do minério de ferro, com papel importante para a economia e sociedade brasileira, é responsável pela produção de grandes quantidades de rejeitos advindos dos processos de beneficiamento. Esses rejeitos são dispostos na maioria das vezes em barragens, com intuito de minimizar a degradação do solo e a contaminação do sistema fluvial. Contudo, as barragens ocupam grandes áreas e causam impactos ambientais, além do perigo de desastres, como um rompimento, despertam a atenção de órgãos ambientais e de empresas privadas (de ANDRADE et al., 2017).

O rompimento abrupto das barragens de Fundão e Santarém, desastre ambiental ocorrido em novembro de 2015 no município de Mariana (MG), afetou 1.469 hectares da bacia do rio Doce com danos que se estenderam até sua foz no estado do Espírito Santo, destruindo áreas de proteção permanente (APPs) e unidades de conservação (UCs), como o Parque Estadual do Rio Doce, o Parque Estadual Sete Salões, a Floresta Nacional Goytacazes e o Corredor da Biodiversidade Sete Salões-Aymoré (WANDERLEY et al., 2016). Este material é proveniente da mineração de ferro após o processo de flotação, possui cor escura e é muito fino.

Áreas ocupadas por rejeito oriundo de mineração apresentam matriz de material mineral com estrutura física pouco desenvolvida (Andrade, 2014), o que compromete a infiltração de água, além do baixo nível de fertilidade e do baixo teor de matéria orgânica, prejudicando condições para a germinação de sementes e o desenvolvimento das plantas (EMBRAPA, 2015). Silva et al. (2007), ao caracterizarem rejeito de minério de ferro coletado em Mariana (MG), constataram que este material é pobre tanto em carbono orgânico quanto em macro e micronutrientes, e apresenta atributos físicos que prejudicam o desenvolvimento do sistema radicular das plantas, com altos valores de densidade do solo e de partículas devido a presença de minerais de alta densidade em suas composições mineralógicas, principalmente os óxidos de ferro. Ademais, esses autores afirmam que a mineralogia do rejeito em estudo é basicamente formada por goethita, hematita e quartzo.

A recuperação de áreas afetadas pelos depósitos de minérios ocorre principalmente por meio da revegetação, por ser de baixo custo e adequada no âmbito ambiental. No entanto, a revegetação torna-se um procedimento complexo devido às características químicas, físicas e biológicas dos rejeitos, limitantes ao estabelecimento de plantas por

responderem de forma diferenciada em cada condição de cultivo. Um consenso geral nos objetivos da revegetação de rejeitos é a necessidade de rápida cobertura vegetal, visto que esses materiais possuem elevada erodibilidade. Entretanto, a indicação das técnicas e espécies vegetais mais adequadas para a contenção do processo erosivo necessita de estudos detalhados da interação planta-solo/substrato. Em levantamento feito pela EMBRAPA, a lama depositada ao longo das margens dos rios gera uma condição ambiental inóspita para que a sucessão ecológica natural ocorra e que haja o reestabelecimento das comunidades vegetais originalmente presentes (IBAMA, 2015). Estudo do IBAMA (2015) destaca condições adversas do material depositado com teores de argila inferiores a 10%, limitando a capacidade de troca de cátions. A composição granulométrica extremamente homogênea favorece o adensamento e a baixa oxigenação das camadas mais profundas do material. Nesse contexto, a recuperação das áreas afetadas tem como principal objetivo aumentar os teores de carbono orgânico deste substrato com o uso de espécies adaptadas às condições edafoclimáticas do local em que serão inseridas (ATAÍDE et al., 2011). Dentre as espécies, destacam-se plantas forrageiras pertencentes às famílias Fabaceae e Poaceae que promovam rápida e completa cobertura do solo (RODRIGUES et al., 2004; TEIXEIRA et al., 2015).

Além do potencial de crescimento das plantas em diferentes condições edáficas inóspitas, pode-se maximizar o desenvolvimento vegetal ao se utilizar fertilizantes minerais, bactérias diazotróficas (BD), substâncias húmicas (SH) e/ou biorreguladores compostos por fito-hormônios. Os últimos, depois de aplicados, interferem positivamente nos processos fisiológicos e morfológicos das plantas, estimulando a divisão e alongamento celular, crescimento radicular e absorção de nutrientes potencializando vigor e crescimento por estarem relacionados ao metabolismo proteico, interferindo no sistema de germinação e, ainda, na taxa fotossintética, no enraizamento, floração, frutificação e senescência das plantas (TAIZ e ZEIGER, 2013).

Com o objetivo de incrementar a matéria seca de espécies vegetais, pode-se utilizar produtos comerciais como o Stimulate[®], que traz em sua composição auxina, citocinina e giberelina, fito-hormônios sintéticos que regulam o crescimento das plantas, estimulando a divisão e alongamento celular, fotossíntese, crescimento radicular e absorção de nutrientes (TAIZ e ZEIGER, 2013).

O acúmulo de nutrientes nas plantas é proporcional a matéria seca produzida, variando entre espécies e eficiência de absorção (FAVERO et al., 2000). Outra alternativa para

maximizar a produção de matéria seca em espécies vegetais forrageiras é o uso de inoculantes bacterianos capazes de fixar N atmosférico (N₂). Entretanto, a aplicação de inóculos pode não ser eficaz devido a não persistência dos rizóbios adicionados ao meio, nesse contexto, pode-se optar por inoculantes específicos aplicados juntamente com substâncias húmicas (SH), o que pode conferir maior sucesso desta prática bioestimulante. As SH aplicadas se aderem rapidamente aos tecidos vegetais, maximizando a rugosidade e heterogeneidade da superfície, o que favorece a ancoragem de bactérias (MARQUES-JUNIOR, 2006). Hungria et al. (2013) relatam que a aplicação desta tecnologia proporciona melhor desenvolvimento radicular e maior interação da planta com o solo, permitindo maior absorção de água, nitrogênio atmosférico e nutrientes. Schossler et al. (2016), ao avaliarem os componentes de produção do feijoeiro sob influência da inoculação com as bactérias *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasiliense*, obtiveram, independente do microorganismo utilizado, plantas maiores e mais produtivas que plantas não inoculadas. Espera-se que a utilização de BD e SH em conjunto seja benéfica ao solo, planta e persistência dos inoculantes, sendo este um mecanismo para potencializar a capacidade produtiva do solo/substrato.

As SH são polímeros negro-amarronzados de origem vegetal ou animal presentes na superfície terrestre geradas mediante degradação biológica de resíduos orgânicos com potencial para aumentar a fertilidade do solo e complexar metais pesados, minimizando sua toxicidade (SUSIC et al., 1991; ARANCON et al., 2005). Estas substâncias, mesmo fortemente ligadas aos solos e resistentes ao metabolismo microbiano, são eliminadas por meio da erosão e lixiviação hídrica (Falconer et al., 1989), neste contexto, é importante o suprimento destas substâncias para a manutenção e/ou melhoria da fertilidade dos solos pelo acúmulo de nutrientes (Vaughan e Malcolm, 1985; Chen e Avid, 1990; Chen et al., 2004) que além de favorecerem o desenvolvimento radicular (Façanha et al., 2002; Rodda et al., 2006; Zandonadi et al., 2007) e a biossíntese de clorofila (Ferrara e Brunetti, 2008), influenciam positivamente o crescimento das plantas (NARDI et al., 2002; CIMRIN e YILMAZ, 2005). Pinheiro (2014) avaliou o uso, associado ou não, de BD e SH em plantas voltadas para a recuperação de área degradada renovada com braquiária (*Brachiaria decumbens* Stapf), onde observou que a associação de SH e BD proporcionou aumento nos teores de carbono orgânico total do solo e os tratamentos com BD apresentaram teor de nitrogênio total e carbono lábil do solo superiores aos demais tratamentos.

Diante do exposto, com a hipótese de que os bioestimulantes vegetais influenciam

positivamente o crescimento, nutrição e produção de matéria seca pelas plantas, o objetivo geral deste trabalho foi avaliar biotecnologias que empregam o uso de fito-hormônios, substâncias húmicas e bactérias diazotróficas em espécies vegetais como estratégia para maximização da produção de matéria seca e acúmulo de nutrientes em plantas cultivadas sob rejeito proveniente do beneficiamento de mineração de ferro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, L. C. R. 2014. Caracterização de rejeitos de mineração de ferro, in natura e segregados, para aplicação como material de construção civil. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, UFV. 112p.

ARANCON, N. Q.; EDWARDS, C. A.; BIERMAN, P.; METZGER, J. D., e LUCHT C. 2005. Effects of vermicomposts produced from cattle manure, food waste and paper waste on the growth and yield of peppers in the field. *Pedobiologia*. 49:297-306.

ATAÍDE, E. S.; CASTRO, P. T. A., e FERNANDES, G. W. 2011. Florística e caracterização de uma área de Campo Ferruginoso no complexo Minerário Alegria, serra de Antônio Pereira, Ouro Preto, Minas Gerais, Brasil. *Rev. Árvore*, 35:1265-1275.

CHEN, Y., e AVIAD, T. 1990. Effect of humic substances on plant growth. In MACCARTHY, P. Humic substances in soil and crop sciences: selected readings. ASA-SSSA, Madison. p. 161–186.

CHEN, Y.; CLAPP, C. E., e MAGEN, H. 2004. Mechanisms of plant growth stimulation by humic substances: The role organo-iron complexes. *Soil Science*. 50:1089-1095.

CIMRIN, K., M., e YILMAZ, I. 2005. Humic acid applications to lettuce do not improve yield but do improve phosphorus availability. *Acta Agricultura Escandinavica, Section B — Soil e Plant Science*. 55:58-63.

EMBRAPA. 2015. Avaliação dos impactos causados ao solo pelo rompimento de barragem de rejeito de mineração em Mariana, MG: Apoio ao plano de recuperação agropecuária.

FAÇANHA, A. R.; FAÇANHA, A. L. O.; OLIVARES, F. L.; GURIDI, F.; SANTOS, G. A.; VELLOSO, A. C. X.; RUMJANEK, V. M.; BRASIL, F.; SCHRIPEMA, J.; BRAZ-FILHO, R.; OLIVEIRA, M.A., e CANELLAS, L. P. 2002. Bioatividade de ácidos húmicos: Efeito sobre o desenvolvimento radicular e sobre a bomba de prótons da membrana plasmática. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 37:1301-1310.

FALCONER, R. A., GOODWIN, P., e MATTHEW, R. G. S. 1989. Hydraulic and environmental modelling of coastal, estuarine and river waters.

FAVERO, C., JUCKSCH, I., COSTA, L. D., ALVARENGA, R. C., e NEVES, J. C. L. 2000. Crescimento e acúmulo de nutrientes por plantas espontâneas e por leguminosas utilizadas para adubação verde. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 24:171-177.

FERRARA, G., e BRUNETTI, G. 2008. Influence of foliar applications of humic acids on yield and fruit quality of table grape cv. Itália. *Journal International des Sciences de la Vigne*. 42:79-87.

HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M.A., e ARAUJO, R.S. 2013. Co-inoculation of soybeans and common beans with rhizobia and azospirilla: strategies to improve sustainability. *Biology and Fertility of Soils*. 49:791-801.

Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis – IBAMA. 2015. Laudo Técnico Preliminar – Impactos ambientais decorrentes do desastre envolvendo o rompimento da barragem de Fundão, em Mariana, Minas Gerais. Diretoria de Proteção Ambiental - DIPRO e Coordenação Geral de Emergências Ambientais – CGEMA. 38 p.

MARQUES JÚNIOR, R. B. 2006. Potencial do uso combinado de substâncias húmicas e bactérias diazotróficas endofíticas para bioestimulação de plantas. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, UENF, Campos dos Goytacazes. 88p.

NARDI, S.; PIZZEGHELLO, D.; MUSCOLO, A., e VIANELLO, A. 2002. Physiological effects of humic substances on higher plants. *Soil Biology Biochemistry*. 34:1527–1536.

PINHEIRO, P. L. 2014. Estimulação do crescimento de gramíneas forrageiras com ácido húmico e bactérias diazotróficas endofíticas. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito, CCA/UFES.

RODDA, M. R. C.; CANELLAS, L. P.; FAÇANHA, A. R.; ZANDONADI, D. B.; ALMEIDA, D. L.; GUERRA, J. G. M., e SANTOS, G. A. 2006. Estímulo no crescimento e na hidrólise de ATP em raízes de alface tratadas com humatos de vermicomposto. *Revista Brasileira Ciência do Solo*. 30:649-656.

RODRIGUES, J.E.L.F.; ALVES, R.N.B.; LOPES, O.M.N.; TEXEIRA, R.N.G., e ROSA, E.S. 2004. A Importância do feijão de porco (*Canavalia ensiformis* DC.) como cultura intercalarem rotação com milho e feijão caupi em cultivo de coqueirais no Município de Ponta-de-Pedras/Marajó-PA. Comunicado Técnico- Embrapa. Belém - PA. n.96.

SCHOSSLER H.J.; MEERT L.; RIZZARDI D. A., e MICHALOVICZ L.; Componentes de rendimento e produtividade do feijoeiro comum submetido à inoculação e co-inoculação 20 com estirpes de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*. *Revista Scientia Agrária*. 17:10-15.

SILVA, G. P., FONTES, M. P. F., da COSTA, L. M., e BARROS, N. F. 2007. Caracterização química, física e mineralógica de estéreis e rejeito da mineração de ferro da Mina de Alegria, Mariana-MG. *Pesquisa Agropecuária Tropical*. 36:45-52.

SUSIC, M. 2016. Replenishing humic acids in agricultural soils. *Agronomy*. 6:45 p.

SUSIC, M.; BOTO, K., e ISDALE, P. 1991. Fluorescent humic acid bands in coral skeletons originate from terrestrial runoff. *Mar. Chem.* 33:91-104.

TAIZ, L. e ZEIGER, E. 2013. *Fisiologia Vegetal*. 5. ed. Porto Alegre, RS: Artmed.

VAUGHAN, D. e MALCOLM, R. E. 1985. Influence of humic substances on growth and physiological process. In: VAUGHAN, D.; MALCOLM, R.E. *Soil organic matter and biological activity*. Dordrecht, Kluwer Academic. 37-75.

TEIXEIRA, P. C., de MESQUITA, I. L., de MACEDO, S. T., TEIXEIRA, W. G., e LIMA, W. A. 2015. Resposta de vetiver à aplicação de calcário e fósforo em três classes de solo. *R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental*. 19:99-105.

VAUGHAN, D., e MALCOLM, R. E. 1985. Influence of humic substances on growth and physiological processes. In *Soil organic matter and biological activity*. Springer, Dordrecht. *Developments in Plant and Soil Sciences*. 16:37-75.

WANDERLEY, L. J., MANSUR, M. S., MILANEZ, B., e PINTO, R. G. 2016. Desastre da Samarco/Vale/BHP no Vale do Rio Doce: aspectos econômicos, políticos e socio ambientais. *Ciência e Cultura*. 68:30-35.

ZANDONADI, D. B.; CANELLAS, L. P., e FAÇANHA, A. R. 2007. Indolacetic and humic acids induce lateral root development through a concerted plasmalemma and tonoplast H⁺ pumps activation. *Planta*. 225:1583-1595.

CAPÍTULO I

MATÉRIA SECA E NUTRIENTES EM FEIJÃO-DE-PORCO E VETIVER CULTIVADOS EM REJEITO DE MINÉRIO DE FERRO

RESUMO

Após o maior desastre ambiental da história do Brasil, com o rompimento de duas barragens de mineração da empresa Samarco, o processo de revegetação tornou-se imprescindível. Este trabalho teve o objetivo de avaliar a produção de matéria seca e o acúmulo de nutrientes por plantas de feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis* (L.) D.C.) e vetiver (*Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty) cultivados sob rejeito de mineração em duas condições do rejeito e submetidas a tratamentos com diferentes doses de bioestimulante vegetal comercial. Os experimentos foram conduzidos 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 duas condições do rejeito (1 – condição melhorada: rejeito adubado e com controle da umidade equivalente a 60% da capacidade máxima de armazenamento de água [CMA], e 2 – condição limitante: rejeito de minério de ferro não adubado e com controle da umidade equivalente a 20% da CMA) e pulverização foliar de bioestimulante Stimulate® em quatro doses (0; 0,25; 0,5; 0,75 L.ha⁻¹), totalizando, para cada cultivo, 8 tratamentos e 32 unidades experimentais. Ao término dos experimentos, foram obtidos a matéria seca e os conteúdos de N, P, K, Ca, Mg, Fe e Mn na parte aérea e raiz das plantas, e com estas informações, obteve-se o fator de transferência e índice de translocação de nutrientes. As plantas de feijão-de-porco e vetiver manejadas na condição melhorada apresentaram resposta linear e positiva com a adição de Stimulate® produzindo maior matéria seca e acúmulo de nutrientes na parte aérea. Em relação aos dois experimentos, o feijão-de-porco produziu maior matéria seca total (média geral feijão-de-porco: 9,34 g planta⁻¹; média geral vetiver: 7,49 g planta⁻¹) e exportou mais K, Ca, Mg, Fe e Mn, e o vetiver exportou mais P.

Palavras chave: Bioestimulantes vegetais, revegetação, fito-hormônios, nutrição mineral, stress hídrico.

ABSTRACT

This work had the price of a dry matter production and a stock of nutrients by plants of jack bean (*Canavalia ensiformis* (L.) D.C.) and vetiver grass (*Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty) cultivated under the reject of mining in two edaphic conditions, and submitted to treatments with different doses of commercial vegetable biostimulant. The experiments were conducted in greenhouse using iron ore tailings as substrate in the experimental design of a randomized block, in a 2x4 factorial scheme with four replications, with two soil conditions (optimal condition and condition limiting to the cultivation) and foliar spraying of Stimulate® biostimulant in four doses, totaling, for each crop, 8 treatments and 32 treatments experimental units. At the end of the experiments, the dry mass and the contents of N, P, K, Ca, Mg, Fe and Mn were obtained in the shoot and root of the plants, and with this information, nutrient absorption indexes were obtained. Jack bean and vetiver plants handled in the optimum condition showed a response to the Stimulate® doses producing a higher dry mass, and promoting higher accumulations of N, P, K, Ca, Mg, Fe and Mn at a dose of 0.75 L ha⁻¹ de Stimulate®. The jack bean produced higher total dry biomass (average overall jack bean: 9,34 g plant⁻¹; average overall vetiver: 7,49 g plant⁻¹) and exported more K, Ca, Mg, Fe and Mn, and vetiver exported more P. Vetiver grass is not recommended for the recovery of areas occupied by reject of iron ore with sandy texture due to the reduced biomass production in this edaphic condition.

Key words: Plant biostimulants, revegetation, phyto-hormones, mineral nutrition, water stress.

1. INTRODUÇÃO

O maior desastre ambiental da história do Brasil, ocorrido no município de Mariana (MG) com o rompimento das barragens denominadas Fundão e Santarém, ambas operadas pela empresa mineradora Samarco, provocou diversos impactos ao ambiente e à população, com destaque para a degradação da bacia do rio Doce com rejeito de mineração, o qual possui baixa fertilidade e estruturação, necessitando de técnicas adequadas de revegetação como principal forma de recuperação das áreas afetadas.

Informações são escassas acerca do cultivo de espécies vegetais em rejeito de mineração, e os processos de ciclagem de nutrientes e incorporação de carbono são

potencializados por meio do cultivo de espécies que se adaptem as condições edafoclimáticas do local em que serão inseridas. Dentre as espécies promissoras para esta finalidade, destacam-se plantas pertencentes às famílias Fabaceae e Poaceae (RODRIGUES et al., 2004; TEIXEIRA et al., 2015).

O feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis* (L.) D.C.) é uma espécie Fabaceae que se destaca pela notável rusticidade que favorece a completa cobertura do solo com capacidade de regeneração do solo empobrecido quimicamente, além do grande potencial de aporte de nitrogênio (RODRIGUES et al., 2004). O capim vetiver (*Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty), é uma Poaceae que tem sido utilizada para recuperação de áreas degradadas nas quais os horizontes superficiais do solo foram removidos, com horizonte subsuperficial e menos fértil exposto na superfície do terreno (TEIXEIRA et al., 2015). Ademais, essa forrageira possui resistência ao déficit hídrico e tolera ampla faixa de pH no solo (3,3 a 12,5) (TORRÃO et al., 2011).

O principal agravante gerado pelos rejeitos de mineração que afeta o desenvolvimento de espécies vegetais é a sua baixa qualidade física, com alto valor de densidade e pequena porosidade total. Esta característica pode prejudicar a penetração de raízes no substrato e desencadear alterações fisiológicas nas plantas causadas pelo déficit hídrico, condição que modifica a relação raiz/parte aérea como resposta adaptativa ao estresse sofrido, com influência negativa na taxa fotossintética, que está diretamente associada com a produção de fotoassimilados e, conseqüentemente, com a produção de matéria e acúmulo de nutrientes pelas plantas (TAIZ e ZEIGER, 2013). Um exemplo é o aumento da razão raiz/parte aérea devido à manutenção do crescimento radicular e redução do crescimento de caule e folhas, além do menor acúmulo de nutrientes (SHARP, 2002; ALBACETE et al., 2008; ZILLIANI, 2015).

Na busca pela revegetação eficiente de áreas afetadas por rejeito de mineração, processos biotecnológicos podem ser incorporados com o objetivo de incrementar a produção de matéria seca e ciclagem de nutrientes pelas plantas. Dentre estes processos, a utilização de bioestimulantes a base de fito-hormônios representam estratégias agrônômicas promissoras pela capacidade de potencializar o desenvolvimento vegetal. O Stimulate® é um bioestimulante composto por auxina, citocinina e giberelina, fito-hormônios capazes de regular o crescimento e tamanho das células vegetais, além de aumentar sua capacidade de absorver água e nutrientes (ALLEONI et al., 2000; RAVEN et al., 2007).

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a produção de matéria seca e o acúmulo de nutrientes por plantas de feijão-de-porco e vetiver cultivadas em duas condições do rejeito oriundo do beneficiamento de minério de ferro e submetidas a tratamentos com diferentes doses de bioestimulante vegetal comercial.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Coleta e caracterização do rejeito

Foi conduzido experimento em casa de vegetação no Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, campus de Alegre, ES, 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 média mínima de 21°C e média máxima de 34°C durante a condução dos experimentos (INMET, 2017). A temperatura da casa de vegetação utilizada na pesquisa era controlada por um sistema automatizado que visa manter 25°C.

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 (H ₂ O)	Ca²⁺	Mg²⁺	H+Al	Al³⁺	Na⁺	P_{disp}	K⁺	Fe_{disp.}	Mn_{disp.}	SB	t
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	5.283,3	140,5	245,5	25.338,3	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; foi determinado o carbono orgânico (CO) 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 de P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, S, Cu, Zn, Mo, Cd e Pb.

2.2 Montagem e condução dos experimentos

Foram cultivados feijão-de-porco e capim vetiver em dois experimentos instalados no delineamento de blocos ao acaso, em esquema fatorial 2x4 com quatro repetições, sendo duas condições do rejeito (1 – condição melhorada: rejeito de minério de ferro adubado e com controle da umidade equivalente a 60% da capacidade máxima de armazenamento de água [CMA], e 2 – condição limitante: rejeito de minério de ferro não adubado e com controle da umidade equivalente a 20% da CMA) e pulverização foliar de bioestimulante Stimulate[®] em quatro doses (0; 0,25; 0,5; 0,75 L ha⁻¹), totalizando, para cada cultivo, 8 tratamentos e 32 unidades experimentais. A dose máxima de 0,75 L ha⁻¹ de Stimulate[®] é recomendada pelo fabricante como limite para aplicação.

A recomendação para a cultura do capim vetiver foi preconizada por Donalísio e Duarte (1990), com 300 mg dm⁻² de nitrogênio, 600 mg dm⁻² de fósforo e 400 mg dm⁻² de potássio.

Após as análises químicas do rejeito de minério, foi adicionado adubo químico segundo Novais et al. (1991), adaptado para o feijão-de-porco, com 100 mg de nitrogênio por kg de rejeito, 200 mg de fósforo por kg de rejeito e 250 mg de potássio por kg de rejeito. A recomendação para a cultura do capim vetiver foi preconizada por Donalísio e Duarte (1990), com 90 mg de nitrogênio por kg de rejeito, 180 mg de fósforo por kg de rejeito e 120 mg de potássio por kg de rejeito. As fontes utilizadas foram: fosfato diamônio, uréia e KCl.

Os vasos foram mantidos, a partir de pesagens diárias, de acordo com o respectivo tratamento, em 20 ou 60% da CMA (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.

O Stimulate[®] é produzido pela Stoller e 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) (STOLLER DO BRASIL LTDA, 2015). A sua aplicação foi realizada no estádio de 3^o trifólio do feijoeiro, 20 dias após a emergência das plântulas e, para o vetiver, sua aplicação foi realizada 60 dias após a emergência dos brotos.

As plantas de feijão-de-porco, após 60 dias do plantio (início da floração), e as plantas de vetiver, após 155 dias, foram seccionados em parte aérea e raiz e, em seguida, secas em estufa (65°C por 72 horas) e pesadas, para obtenção da matéria seca da parte aérea (MSPA) e da raiz (MSR). Após triturado, realizou-se digestões em forno de micro-ondas para obtenção dos teores de N, P, K, Ca, Mg, Fe e Mn nas plantas.

O N foi determinado a partir de extratos obtidos por digestão sulfúrica e destilação em Kjeldahl (MENDONÇA e MATOS, 2005). Foram realizadas digestões em forno de micro-ondas utilizando 0,50 g de matéria seca moída e 10 ml de HNO₃ concentrado, e 0,50 g do rejeito e 12 mL da mistura HNO₃/HCl (3:1) (USEPA SW-846 3051) para quantificação do K, realizada por fotometria de chama, do P por colorimetria e do Ca, Mg, Fe e Mn por espectrometria de absorção atômica (MALAVOLTA et al., 1997).

Para avaliar o poder de extração de nutrientes pelo feijão-de-porco e vetiver, foi realizado o cálculo do fator de transferência (FT = teor de nutriente na parte aérea do tratamento “n”/teor de nutriente no rejeito antes da instalação dos experimentos). O teor de P e K adicionado via adubação foi somado ao teor médio de P e K do rejeito utilizado nesta pesquisa. Obteve-se também o índice de translocação, que relaciona a mobilização

do acúmulo de nutrientes na parte aérea e na raiz ($IT = \text{acúmulo de nutriente na parte aérea do tratamento "n"} / \text{acúmulo de nutriente na raiz do tratamento "n"}$). O acúmulo de nutrientes é uma relação entre o teor de nutrientes e a matéria seca produzida.

2.3 Análises estatísticas

Foram realizados testes de normalidade e homogeneidade de variância e se atendidas as pressuposições estatísticas, realizou-se análise de variância (ANOVA). Foi realizada análise de regressão para os fatores quantitativos através do software Statistica 8.0, 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 (R^2). Estatística descritiva, análise de variância e desvio padrão foram utilizados para identificação dos efeitos dos tratamentos nos índices avaliados.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Produção de matéria seca

Para as plantas de feijão-de-porco cultivadas em rejeito de minério, a produção de matéria seca foi maior na parte aérea e raiz dos tratamentos manejados na condição melhorada ($P < 0,05$) e, nesta condição de cultivo, a aplicação do Stimulate[®] promoveu o crescimento do feijão-de-porco (Figura 1). Tratamentos cultivados na condição melhorada apresentaram aumento médio de 63,2% da MSPA e 53,2% da MSR quando comparados com tratamentos cultivados na condição limitante. Estes resultados estão associados a adubação realizada e a maior disponibilidade hídrica, que favorece o transporte e absorção de nutrientes pelas plantas.

Nos casos em que houve ajustes de regressão, as equações lineares foram as que melhor explicaram o comportamento da produção de matéria seca da parte aérea e raiz do feijão-de-porco e vetiver em função das doses do bioestimulante aplicado. A aplicação de Stimulate[®] promoveu aumento da MSPA do feijão-de-porco manejado na condição melhorada e limitante, e do vetiver manejado na condição melhorada. A presença da giberilina, auxina e citocinina no Stimulate[®] são responsáveis pela divisão celular,

diferenciação de células meristemáticas e promoção do crescimento vegetal, sendo efetivos na produção de matéria seca vegetal (SILVA et al., 2016).

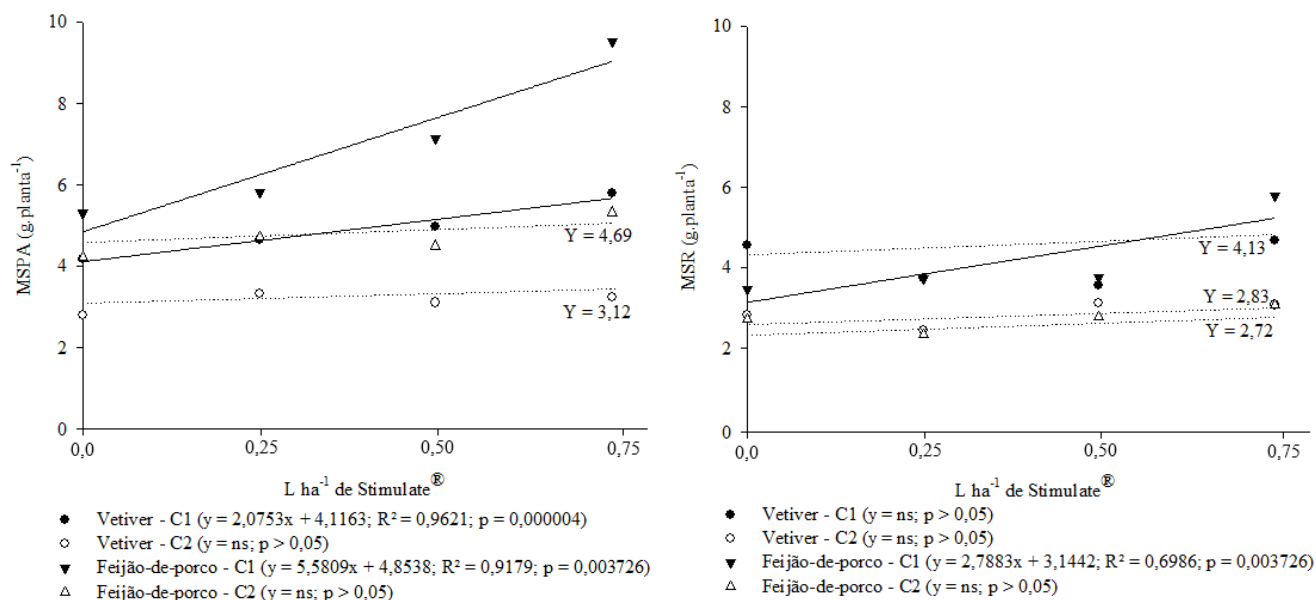


Figura1: Dados médios (n=4) da matéria seca da parte aérea (MSPA) e de raízes (MSR) de plantas de vetiver e feijão-de-porco sob rejeito de mineração em condição melhorada (C1) e limitante (C2), em função da aplicação de diferentes doses de bioestimulante Stimulate®.

O Stimulate® promoveu aumento da MSR apenas do feijão-de-porco manejado na condição melhorada. Esse incremento está relacionado a adição de auxina via Stimulate®, que estimula o crescimento radicular além de permitir aquisição mais eficiente de nutrientes e água pelas plantas (TAIZ e ZEIGER, 2013). Batista Filho et al. (2013) testaram várias doses de Stimulate® em soja e concluíram que a produtividade teve aumento com a dosagem de bioestimulante até 0,75 L ha⁻¹, com posterior decréscimo mediante o aumento da dose. De acordo com Leite et al. (2009), a eficiência agrônômica dos bioestimulantes é afetada pela dosagem fornecida, uma vez que superdosagens podem provocar efeito tóxico à planta e baixo aproveitamento dos fito-hormônios, reduzindo crescimento e produtividade.

Na condição limitante, não ocorreu incremento significativo da MSR de feijão-de-porco e vetiver com a adição das diferentes doses de Stimulate®. A baixa disponibilidade hídrica e nutricional não favoreceu o desempenho dos tratamentos com bioestimulantes em relação à testemunha (FARIA, 2017). Resultados semelhantes foram obtidos por Santos et al. (2017) ao avaliarem o efeito de Stimulate® e concluírem que o uso deste

bioestimulante não afeta significativamente a produção de matéria seca em condições de stress hídrico.

A partir da pesquisa de Teixeira et al. (2015), em que avaliaram a produção de matéria seca do vetiver após 168 dias do plantio em casa de vegetação em três diferentes solos, Cambissolo Háplico (72,1 g planta⁻¹), Latossolo Amarelo (37,8 g planta⁻¹) e Argissolo Amarelo (83,0 g planta⁻¹), conclui-se que os valores de MST (MSPA + MSR) do vetiver cultivado em rejeito de minério de ferro obtidos em todos os tratamentos desta pesquisa foram baixos, sugerindo impedimento físico do rejeito, que pela alta densidade e baixo volume de macroporos, prejudicou o desenvolvimento radicular do vetiver, minimizando a absorção de água e nutrientes pela resistência oferecida à penetração das raízes fasciculadas desta planta (LIMA et al., 2007).

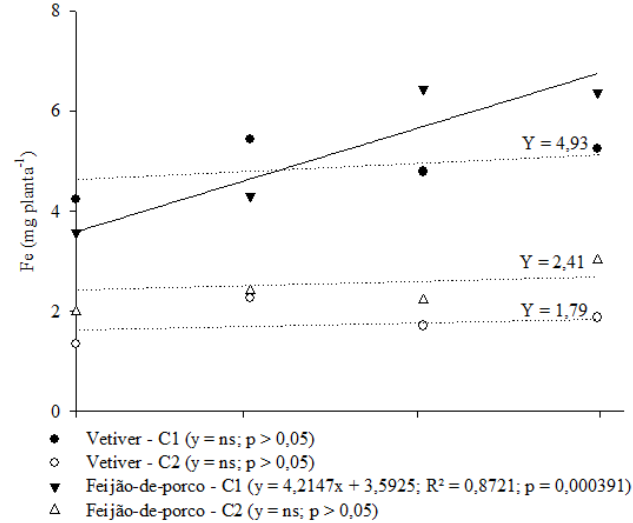
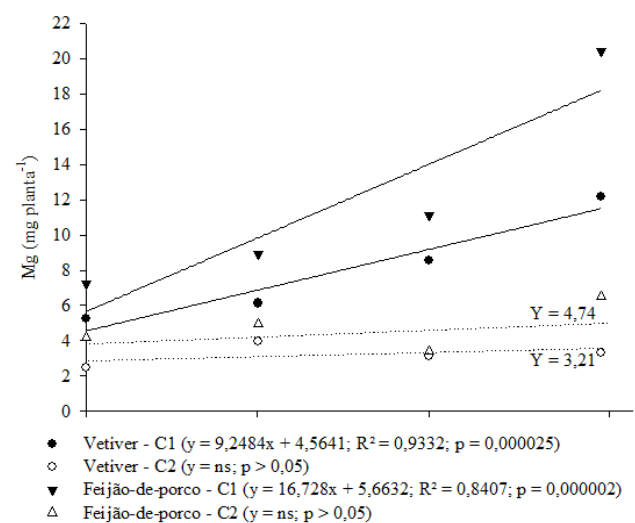
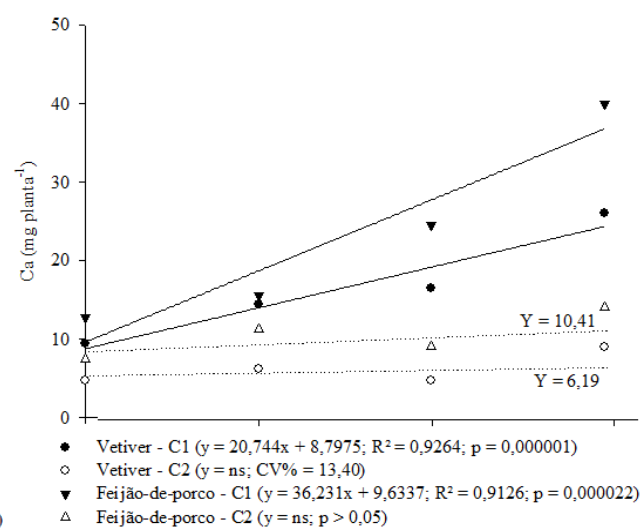
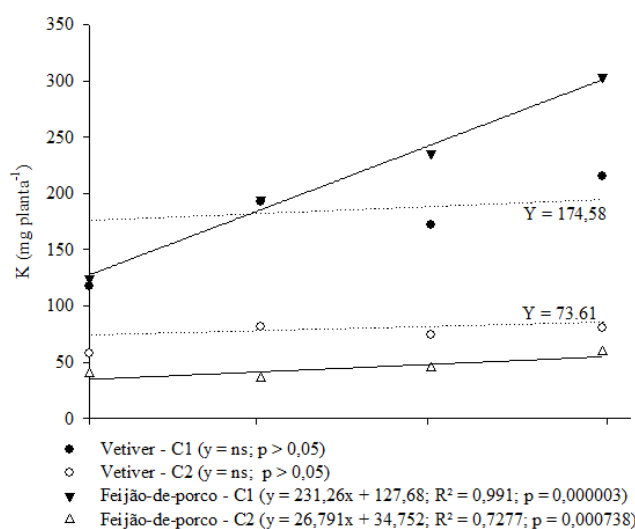
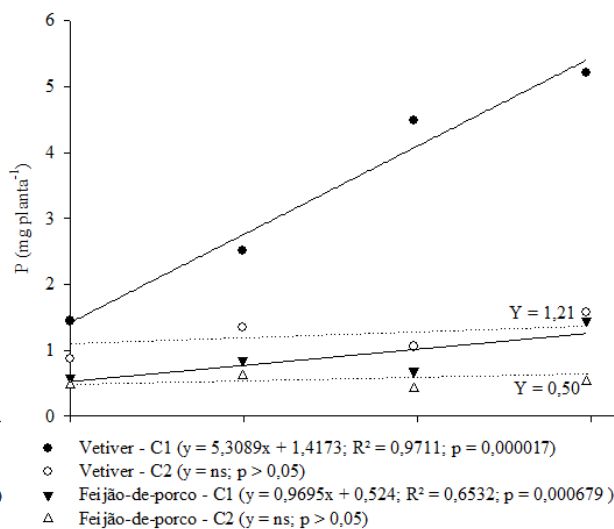
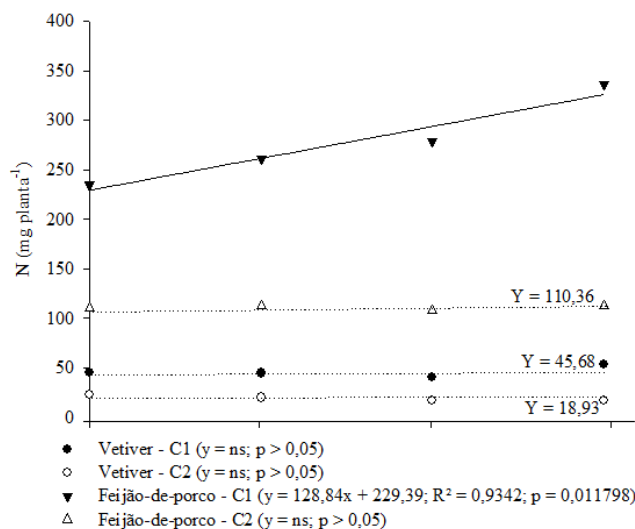
Resultados obtidos nesta pesquisa não concordam com Zilliani (2015), ao avaliar os efeitos de Stimulate[®] sobre o desenvolvimento inicial de cana-de-açúcar sob dois regimes hídricos, controle (100% da capacidade de campo) e déficit hídrico (20% da capacidade de campo), onde observou que plantas em déficit hídrico tratadas com Stimulate[®] tiveram menor redução na produção de matéria seca quando comparadas às plantas que não receberam o tratamento com solução do bioestimulante.

3.2 Acúmulo de nutrientes

Para os acúmulos de N, P, K, Ca, Mg, Fe e Mn no feijão-de-porco e vetiver ocorreram interações significativas ($P < 0,05$) entre as condições de cultivo e doses de Stimulate[®] aplicadas (Figura 2). As plantas cultivadas na condição 1 apresentaram maior produção de matéria seca e, em consequência, maiores acúmulos de nutrientes, fato explicado pela adubação realizada e maior conteúdo hídrico, que favorece o transporte e absorção de nutrientes pelas plantas. Na maioria dos casos, as equações lineares foram as que melhor se ajustaram para explicar o acúmulo de nutrientes na parte aérea de feijão-de-porco e vetiver cultivados sob rejeito de minério.

A ordem decrescente de acumulação de nutrientes na parte aérea do feijão-de-porco foi: $N > K > Ca > Mg > P$, resultados semelhantes aos preconizados por Malavolta: $N > K > Ca > Mg > P$ (MALAVOLTA, 1980), mas diferentes dos obtidos por Souza et al. (2016) e Neves et al. (2004) para leguminosas, onde relatam a eficiência de plantas desta família em absorver N e ao efeito sinérgico entre N e Ca, em que a maior absorção de N eleva o

teor de Ca na planta (PRADO, 2008). O baixo conteúdo e disponibilidade de Ca no rejeito, provavelmente contribuiu para um menor acúmulo deste nutriente no feijão-de-porco.



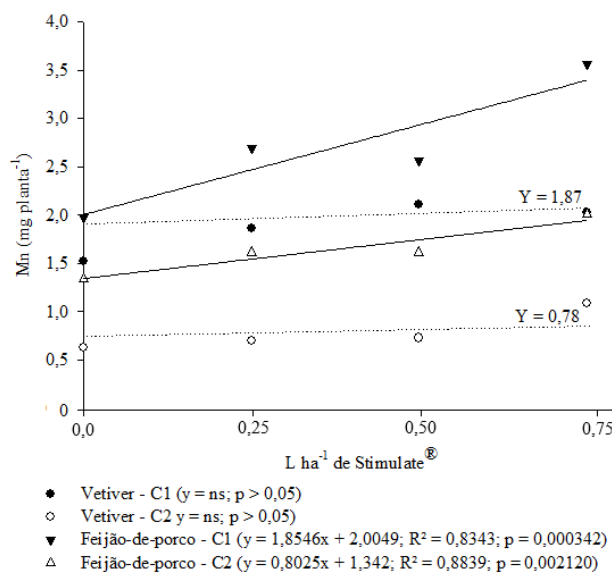


Figura 2: Dados médios ($n=4$) do acúmulo de N, P, K, Ca, Mg, Fe e Mn na parte aérea de plantas de vetiver e feijão-de-porco sob rejeito de mineração em condição melhorada (C1) e limitante (C2), em função da aplicação de diferentes doses de bioestimulante Stimulate®.

A baixa disponibilidade de P ($8,72 \text{ mg dm}^{-3}$) no rejeito (Tabela 1), proporcionou baixo suprimento a parte aérea de feijão-de-porco e vetiver manejados na condição limitante. Entretanto, o acúmulo deste nutriente foi elevado nas plantas manejadas na condição melhorada. Oliveira et al. (1998) verificaram maiores acúmulos de P em cultivos que receberam aplicação de bioestimulante vegetal, devido maior crescimento radicular e exploração de um maior volume de solo, favorecendo a aquisição do P. O Stimulate® promoveu aumento no acúmulo de N, P, K, Ca, Mg, Fe e Mn do feijão-de-porco manejado na condição melhorada. Na condição limitante, o Stimulate® foi efetivo em promover aumento apenas de K e Mn.

Para o vetiver manejado na condição melhorada, P, Ca e Mg tiveram aumento em seu acúmulo na parte aérea com o fornecimento de Stimulate®. A ordem decrescente de acumulação de nutrientes na parte aérea de vetiver foi: $K > N > Ca > Mg > P$, resultados que corroboram com múltiplas pesquisas com gramíneas (BIANCO et al., 2015; FOLONI et al., 2016; MENDONÇA et al., 2014). O menor acúmulo de N em relação ao K nestas plantas é atribuído a escassez e baixa eficiência de plantas desta família em absorver N. Isso demonstra que a concentração de nutrientes no tecido vegetal está relacionada com seus níveis no solo/substrato, independente de seu suprimento para as raízes ser pelo processo de difusão (K e P) ou fluxo de massa (N, Ca e Mg) (FAQUIN, 2005).

3.3 Índices de extração de nutrientes

O fator de transferência (FT) e o índice de translocação (IT) de nutrientes do vetiver e feijão-de-porco comprovou padrões distintos entre as espécies vegetais cultivadas quanto à extração de nutrientes do rejeito (Tabelas 2 e 3). Estas variáveis indicam o poder de absorção de nutrientes e informam em qual componente as plantas o mobilizam majoritariamente a partir dos teores disponíveis no meio.

Em uma análise geral e independente dos tratamentos, a partir do FT do K dos tratamentos sem adubação potássica (condição limitante) em ambos os experimentos, observou-se que o vetiver extraiu mais K que o feijão-de-porco, 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; VICENTINI; STEINER, 2012). O rejeito de mineração utilizado possui alto conteúdo de K (5.283 mg.kg^{-1}), nutriente encontrado na rede cristalina de minerais primários, com grande presença de minerais como feldspatos e micas (muscovita e biotita), que podem disponibilizar K para as plantas (ZÖRB et al., 2014).

Na maioria dos casos, os maiores FT de K, Ca e Mg ocorreram nos tratamentos onde o Stimulate[®] foi fornecido em plantas manejadas na condição 1.

Em relação as plantas de vetiver e feijão-de-porco do tratamento controle nas duas condições de cultivo, o FT de P foi menor nos tratamentos em que houve adubação (condição melhorada), indicando que parte do P adicionado via adubação lixiviou para o fundo dos vasos e não foi absorvido por estas plantas, pois com o fornecimento de Stimulate[®] aumentou-se a rizosfera e elevou a absorção deste nutriente.

Para o vetiver manejado na condição melhorada, o Stimulate[®] elevou o FT de P e K, e a dose 0,75 promoveu extração de Ca e Mg superior ao controle. Esta mesma dose promoveu maior FT de Mg por plantas de vetiver manejadas na condição limitante.

Em plantas de feijão-de-porco manejadas na condição melhorada, o FT de K foi superior ao controle nos tratamentos com fornecimento de 0,50 e 0,75 L ha⁻¹ de Stimulate[®]. Para o FT de Ca e Mg, maiores valores foram obtidos com a dose 0,75, e para o P, a dose 0,50 promoveu FT superior ao controle. De modo geral, plantas manejadas na condição limitante não apresentaram aumento de FT com o fornecimento de Stimulate[®], devido ao baixo teor de nutrientes no rejeito.

Tabela 2. Fator de transferência de K, Ca, Mg, P, Fe e Mn após cultivo de vetiver e feijão-de-porco em função da aplicação de diferentes doses de bioestimulante Stimulate®.

Tratamento		K	Ca	Mg	P	Fe	Mn
		Fator de transferência					
Condição	Stimulate® (L ha ⁻¹)	Vetiver					
Melhorada	0,0	4,71±0,48	20,28±4,86	4,58±1,46	1,95±1,03	0,03±0,01	1,41±0,10
	0,25	7,74±1,04	22,03±1,01	6,50±1,84	3,33±0,36	0,05±0,01	1,55±0,28
	0,50	6,55±0,95	27,29±6,09	6,99±0,92	5,45±1,01	0,04±0,01	1,64±0,36
	0,75	6,92±0,70	31,67±3,83	8,55±0,18	5,51±0,56	0,04±0,01	1,53±0,34
Limitante	0,0	4,56±1,29	10,89±2,45	4,01±1,00	4,27±1,59	0,02±0,01	0,85±0,11
	0,25	4,63±0,40	13,31±0,72	4,81±0,83	5,58±2,03	0,03±0,01	0,81±0,21
	0,50	4,05±1,09	10,98±0,93	4,09±0,12	4,63±0,91	0,02±0,01	1,04±0,26
	0,75	4,01±1,54	19,67±1,77	4,64±1,06	6,66±0,47	0,02±0,01	1,28±0,08
		Feijão-de-porco					
Melhorada	0,0	4,24±0,44	20,45±4,44	5,52±0,52	0,41±0,07	0,03±0,01	1,43±0,11
	0,25	5,20±1,29	22,72±6,44	6,20±1,10	0,53±0,05	0,03±0,01	1,79±0,39
	0,50	6,01±0,96	24,42±3,20	6,31±0,59	0,35±0,08	0,04±0,01	1,38±0,04
	0,75	5,72±0,70	29,89±0,63	8,74±1,00	0,56±0,05	0,03±0,01	1,44±0,04
Limitante	0,0	2,12±0,75	14,02±3,51	3,97±0,62	1,50±0,47	0,02±0,01	1,22±0,20
	0,25	1,44±0,06	16,82±2,92	4,24±0,64	1,76±0,30	0,02±0,01	1,31±0,10
	0,50	1,89±0,40	14,28±0,42	3,07±0,27	1,26±0,40	0,02±0,01	1,37±0,04
	0,75	2,10±0,17	16,20±3,69	5,38±0,84	1,34±0,37	0,02±0,01	1,45±0,03

Fator de transferência (FT) = teor de nutriente na parte aérea do tratamento “n”/teor de nutriente no rejeito antes da instalação dos experimentos.

A alta concentração de Fe e Mn na solução do rejeito culmina com alta absorção destes micronutrientes pelas plantas, entretanto, a toxidez pelo excesso de Fe Mn é pouco relatada na literatura e difícil de ser investigada isoladamente, por interagirem com outros nutrientes e estas interações desencadearem diversos sintomas (ORTEGA; MALAVOLTA, 2012). Os menores valores de FT e IT do Fe em relação aos demais nutrientes indicam que o Fe foi pouco exportado para a parte aérea e que seu acúmulo foi maior nas raízes, pelo fato de plantas desenvolverem mecanismos de absorção e mobilização de nutrientes e metais pesados em excesso neste componente para minimizar efeitos de toxidez (EPSTEIN; BLOOM, 2007).

Na distribuição relativa do acúmulo de nutrientes entre os componentes de ambas as plantas, observou-se que, de modo geral, a maior porção de todos os nutrientes foi alocada na parte aérea, visto que grande parte dos processos metabólicos ocorrerem nas folhas demandando maior concentração nutricional (VIEIRA et al. 2013).

A translocação de nutrientes para a parte aérea das plantas é desejável, devido a facilidade de manejo no processo de adubação verde e ciclagem de nutrientes no meio e, desta forma, o feijão-de-porco e o vetiver apresentaram alta capacidade de extração de K, Ca e Mg.

Tabela 3. Índice de translocação de K, Ca, Mg, P, Fe e Mn após cultivo de vetiver e feijão-de-porco em função da aplicação de diferentes doses de bioestimulante Stimulate®.

Tratamento		K	Ca	Mg	P	Fe	Mn
		Índice de translocação					
Condição	Stimulate® (L ha ⁻¹)	Vetiver					
Melhorada	0,0	1,07±0,21	1,38±0,44	4,73±0,73	2,41±0,83	2,33±0,47	0,62±0,16
	0,25	3,57±0,33	2,16±0,29	8,06±0,47	4,02±1,03	3,02±0,92	0,78±0,12
	0,50	3,21±1,15	2,26±0,64	11,45±4,04	8,06±2,07	2,50±0,45	0,82±0,16
	0,75	1,52±0,27	2,02±0,54	7,82±0,98	4,60±0,58	2,22±0,44	0,56±0,13
Limitante	0,0	1,84±0,46	2,42±1,07	5,28±2,54	10,64±5,84	2,00±0,44	0,95±0,46
	0,25	2,49±0,48	3,88±1,05	10,59±1,99	8,12±4,62	4,66±0,75	0,97±0,23
	0,50	1,73±0,58	3,05±0,66	5,18±1,28	5,26±2,11	3,03±0,36	1,02±0,26
	0,75	1,41±0,31	4,10±0,59	5,95±0,52	5,33±1,36	2,28±0,27	1,01±0,24
		Feijão-de-porco					
Melhorada	0,0	1,60±0,43	8,65±2,00	2,37±0,52	1,61±0,34	1,37±0,13	1,26±0,45
	0,25	2,17±0,19	10,24±0,91	3,30±0,68	1,61±0,39	1,85±0,18	1,35±0,33
	0,50	2,66±0,40	16,5±5,83	3,58±0,95	1,39±0,33	2,74±0,78	1,26±0,21
	0,75	2,30±0,65	10,4±1,25	2,29±0,46	1,82±0,17	1,09±0,22	1,00±0,17
Limitante	0,0	1,56±0,27	8,01±3,79	3,62±1,69	1,41±0,40	1,25±0,39	1,43±0,77
	0,25	2,30±0,51	14,84±3,52	4,72±0,66	0,93±0,29	1,72±0,23	2,02±0,35
	0,50	2,05±0,53	8,61±0,82	2,64±0,73	0,76±0,15	1,20±0,17	1,46±0,24
	0,75	2,01±0,32	9,83±1,14	4,06±0,39	0,77±0,20	1,48±0,32	1,67±0,35

Índice de translocação (IT) = acúmulo de nutrientes na parte aérea do tratamento “n”/ acúmulo de nutrientes na raiz do tratamento “n”.

Para a revegetação eficiente de áreas afetadas com rejeito de minério, a espécie mais adequada a ser cultivada seria aquela que apresentasse a maior taxa de acúmulo de nutrientes. Esse comportamento permitiria, com o passar do tempo, aumento no estoque de nutrientes no sistema substrato-planta com a ciclagem, que culmina com a não insuficiência de nutrientes no meio, e permite a ocorrência da sucessão ecológica com reestabelecimento da flora nativa.

4. CONCLUSÕES

A adição de Stimulate® influenciou linear e positivamente a produção de matéria seca das plantas de vetiver e feijão-de-porco manejadas apenas na condição melhorada, e estes resultados refletiram no acúmulo de nutrientes na parte aérea.

A adição de Stimulate® em plantas manejadas na condição melhorada promoveu, na parte aérea, aumento do acúmulo de N, P, K, Ca, Mg, Fe e Mn em plantas de feijão-de-porco e de P, Ca, Mg e Mn em plantas de vetiver.

Em relação aos dois experimentos, ambas as plantas apresentaram alto poder de extração de Ca, e o feijão-de-porco produziu maior matéria seca total (média geral feijão-de-porco: 9,34 g planta⁻¹; média geral vetiver: 7,49 g planta⁻¹) e exportou mais N, K, Ca, Mg, Fe e Mn, e o vetiver exportou mais P.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBACETE, A., GHANEM, M. E., MARTÍNEZ-ANDÚJAR, C., ACOSTA, M., SÁNCHEZ-BRAVO, J., MARTÍNEZ, V., e PÉREZ-ALFOCEA, F. 2008. Hormonal changes in relation to biomass partitioning and shoot growth impairment in salinized tomato (*Solanum lycopersicum* L.) plants. *Journal of Experimental Botany*, 59:4119-4131.

ALLEONI, B.; BOSQUEIRO, M., e ROSSI, M. 2000. Efeito dos reguladores vegetais de Stimulate® no desenvolvimento e produtividade do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) *Ciências Exatas e da Terra, Ciências Agrárias e Engenharias*, 6:23-35.

BATISTA FILHO, C. G., KÁSSIO, DE M., RIVANILDO, D., ADALBERTO, S., MIRIAM, H. I., e ELIZANGELA, S. S. 2013. Efeito do Stimulate nas características agrônômicas da soja. *Acta Iguazu*, 2:76-86.

BIANCO, S., BIANCO, C. L., MATHEUS, S. Y., e ALFREDO, K. F. 2015. Crescimento e nutrição mineral de *Urochloa arrecta*. *Planta Daninha*, 33:33-40.

CASALI, C. A., TALES, T., JOÃO, K., DANILO, R. S., ADEMIR, C., e ROGÉRIO, P. 2016. Benefícios do uso de plantas de cobertura de solo na ciclagem de fósforo. Manejo e conservação do solo e da água em pequenas propriedades rurais no sul do Brasil: práticas alternativas de manejo visando a conservação do solo e da água [recurso eletrônico]. Cap. 2:23-33.

DONALÍSIO, M. G. R., e DUARTE, F.R. 1990. Vetiver (*Vetiveria zizanioides* Stapf.). *B. Innt. Agron.* 200, 208 p.

EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. 2017. Edição revisada e ampliada – Brasília, DF. 573 p.

EPSTEIN, E., e BLOOM, A. J. 2007. Nutrição e crescimento. Nutrição mineral de plantas, 251-286 p.

FAQUIN, V. 2005. Nutrição mineral de plantas. Editora UFLA.

FARIA, T. C. 2017. Desempenho de bioestimulantes e sua viabilidade econômica na cultura da soja. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 62 p.

FOLONI, J. S. S., TIAGO, C. A., ALEXANDRIUS, M. B., JULIANO, C. C., e CARLOS, S. T. 2016. Acúmulo de nutrientes e relação C/N em diferentes estádios fenológicos do milheto submetido à adubação nitrogenada. Revista Agro@mbiente On-line, 10:1-9.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. Acessado 15 de julho de 2017. http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=rede_estacoes_auto_graf.

KUNZE, A., MURILO, D. C., JAILSO, C., JEAN, C. L. RAFAEL, S., e PAULO, E. L. 2011. Phosphatase activity in sandy soil influenced by mycorrhizal and non-mycorrhizal cover crops. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 35:705-711.

LAJTHA, K., e ANTHONY, H. F. 1995. Strategies of phosphorus acquisition and conservation by plant species and communities. In: Tiessen, H. (Ed.). Phosphorus in the global environmental: transfers, cycles and management. 1. ed. Chichester, UK: Wiley, 139–147.

LEITE, P. G. H., CARLOS, A. C. C., GIUSEPPINA, P. P. L., e MARCELO, A. S. 2009. Reguladores vegetais e atividade de invertases em cana-de-açúcar em meio de safra. Ciência Rural, 39:718-725.

LIMA, R. C. G. D., MOREL, P. C., LUIZ, M. M. M., e RONALDO, C. L. 2007. Correlação linear e espacial entre a produtividade de forragem, a porosidade total e a densidade do solo de Pereira Barreto (SP). Revista Brasileira de Ciência do Solo, 31:1233-1244.

MALAVOLTA, E. 1997. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2.ed.: Potafos, 319p.

MALAVOLTA, E. 1980. Elementos de nutrição mineral de plantas, Ceres, 251p.

MENDONÇA, V. Z., LUIZ, M. M. M., MARCELO, A., e HÉLCIO, H. Y. 2014. Teor e acúmulo de nutrientes no consórcio de milho com forrageiras no sistema plantio direto. Revista Brasileira de Ciências Agrárias, 9:330-337.

NAHAS, E. 2002. Microrganismos do solo produtores de fosfatases em diferentes sistemas agrícolas. *Bragantia*, 61:267–275.

NEVES, O. S. C., BENEDITO, D. D. S., MACHADO, R. V., e CARVALHO, J. G. D. 2004. Crescimento, produção de matéria seca e acúmulo de N, P, K, Ca, Mg e S na parte aérea de mudas de andiroba (*Carapa guianensis* Aubl.) cultivadas em solo de várzea, em função de diferentes doses de fósforo. *R. Árvore*, 28:343-349.

NOVAIS, R. F., NEVES, J. C. L., e BARROS, N. F. 1991. Ensaio em ambiente controlado. In: Oliveira, A. J., Garrido, W. E., Araujo, J. D., Lourenco, S. Métodos de pesquisa em fertilidade do solo. EMBRAPA-SAE, Brasília, 189-254.

OLIVEIRA, R. F., PACE, L., e ROSOLEM, C. A. 1998. Produção e estado nutricional do feijoeiro em função da aplicação de um promotor de crescimento. *Científica*, 26:203-212.

ORTEGA, A. E., e MALAVOLTA, E. 2012. Los más recientes micronutrientes vegetales. *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica, Georgia*. 7:16-25.

PRADO, R. D. M. 2008. Nutrição de plantas. Editora UNESP.

RAVEN, P. H., EVERT, R. F., e EICHHORN, S. E. 2007. *Biologia vegetal*. 7ª ed. Rio de Janeiro, Guanabara Koogan. 856p.

RODRIGUES, J. E. L. F., RAIMUNDO, N. B. A., OTÁVIO, M. N. L., RAIMUNDO, N. G. T., e ELIAS, S. R. 2004. A Importância do feijão de porco (*Canavalia ensiformis* DC.) como cultura intercalarem rotação com milho e feijão caupi em cultivo de coqueirais no Município de Ponta-de-Pedras/Marajó-PA. Comunicado Técnico- Embrapa. Belém - PA. n.96.

ROSOLEM, C. A., VICENTINI, J. P. T. M. M., e STEINER, F. 2012. Suprimento de potássio em função da adubação potássica residual em um Latossolo Vermelho do Cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 36:1507-1515.

SANTOS, J. P., TIAGO, S. B., NEANDER, T. S., ELIANA, A., RAMIRO, M. R., e AURIVAN, S. F. 2017. Efeito de bioestimulante no desenvolvimento do feijoeiro. *Revista da Universidade Vale do Rio Verde*, 15:815-824.

SILVA, R. A., JOSUÉ, J. N. L. F., EDUARDO, S. M., THIAGO, R. P., e RAMON, C. V. 2016. Morfologia e produção de feijão comum em função da aplicação de bioestimulante. *Scientia Plena*, 12:1-7.

SILVA, L. R., GUIMARÃES, M. G., DE FREITAS, R. J., PELÁ, A., e CARVALHO, D. D. C. 2016. Ácidos húmicos para obtenção de maior massa fresca inicial em plantas de feijão comum 'Pérola'. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, 11:06-10.

SCHAEFER, C. E. G. R.; SANTOS, E. E.; SOUZA, C. M.; NETO, J. D.; FILHO, E. I. F., e C. DELPUPO. 2015. Cenário histórico, quadro fisiográfico e estratégias para recuperação ambiental de Tecnosolos nas áreas afetadas pelo rompimento da barragem do Fundão, Mariana, MG. Arquivos do Museu de História Natural e Jardim Botânico (UFMG - Belo Horizonte). 24, 32 p.

SOUZA, V. D., MONICA, E. B., NATHIELLY, P. M., JAVAN, M. B., AMANDA, F. M., e ANNE, F. A. S. 2016. Concentração de nutrientes em eucalyptus urograndis (*eucalyptus grandis* w. hill ex maiden x *eucalyptus urophylla* s.t. blake) com sete anos de idade na borda sul da amazônia. Biodiversidade, 15:35-44.

TAIZ, L. e EDUARDO, Z. 2013. Fisiologia vegetal, 5ª ed, Trad, de E, R, Santarém, Porto Alegre: Artmed, 719 p.

TEIXEIRA, P. C., DE WENCESLAU, G. T., SHERON, T. M., e WANDERLEY, A. A. L. 2015. Resposta de vetiver à aplicação de calcário e fósforo em três classes de solo. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 19: 99-105.

TORRÃO, R. D. A., ADRIANA, M. A. MARCELO, S., RENATO, L. A. e ANDRE, H. 2011. Cultivo de vetiver para controle de erosão. Embrapa Agrobiologia-Circular Técnica (Infoteca-E), 6 p.

VIEIRA, M., MAURO, V. S., PETER, T. e 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, 1:1-13.

ZILLIANI, R. R. 2015. Influência de biorreguladores sobre a fisiologia e crescimento inicial de cana-de-açúcar submetida ao déficit hídrico. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) - Universidade do Oeste Paulista, Presidente Prudente. 59 f.

ZÖRB, C., MEHMET, S., e EDGAR, P. 2014. Potassium in agriculture—status and perspectives. Journal of plant physiology, 171:656-669.

CAPÍTULO II

RESPOSTA DE FEIJÃO-DE-PORCO E CROTALÁRIA EM REJEITO DE MINÉRIO DE FERRO À APLICAÇÃO DE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS E INOCULAÇÃO DE BACTÉRIAS DIAZOTRÓFICAS

RESUMO

Este trabalho teve o objetivo de avaliar a produção de matéria seca e acúmulo de nutrientes por plantas de feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*) e *Crotalaria juncea* cv. IAC-KR-1 cultivados sob rejeito de minério de ferro em função da aplicação de substâncias húmicas e bactérias diazotróficas. 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 4x3x2 com quatro repetições, sendo quatro doses de substâncias húmicas via pulverização foliar, aplicadas em 3 diferentes épocas, com ou sem inoculação de bactérias diazotróficas. Ao término do experimento, foram obtidos a matéria seca e os conteúdos de N, P, K, Ca, Mg, Fe e Mn na parte aérea e raiz das plantas, e com estas informações, obteve-se índices de absorção e mobilização de nutrientes. A inoculação ou fornecimento de substâncias húmicas em plantas de feijão-de-porco e crotalária aumentaram a produção de matéria seca (incremento médio feijão-de-porco inoculado: 70%; incremento médio feijão-de-porco com fornecimento de substâncias húmicas: 36%; incremento médio crotalária inoculada: 37%; incremento médio crotalária com fornecimento de substâncias húmicas: 0,27%). A inoculação em plantas de feijão-de-porco aumentou a absorção e fator de transferência de Fe e P, e reduziu o fator de transferência de K, Ca e Mg, e nas plantas de crotalária aumentou a absorção de Mg, P e Mn, e reduziu a absorção de Fe. O K, Ca, Mg e P de ambos os experimentos foram mobilizados majoritariamente na parte aérea, e o alto teor de Fe no rejeito de mineração culminou com grande absorção e mobilização deste elemento nas raízes das plantas como alternativa para minimizar efeitos tóxicos causados por seu excesso.

Palavras chave: Adubação verde, áreas mineradas, bioestimulantes, extração de nutrientes, revitalização ambiental.

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the biomass production and nutrient accumulation by jack bean (*Canavalia ensiformis*) and *Crotalaria juncea* cv. IAC-KR-1 plants cultivated under iron ore tailings and subjected to the application of humic substances and diazotrophic bacteria. The experiment was conducted in a greenhouse using the iron reject as substrate, in a randomized complete block design, in a 4x3x2 factorial scheme with four replications, with four doses of humic substances via foliar spraying applied at 3 different times, with or without inoculation of diazotrophic bacteria. At the end of the experiment, the dry mass and the contents of N, P, K, Ca, Mg, Fe and Mn were obtained in the shoot and root of the plants, and with this information, nutrient absorption indexes. The inoculation or supply of humic substances in jack bean and crotalaria plants increased the dry mass production (average increment jack bean inoculated: 70%; average increment jack bean with supply of humic substances: 36%; average increment crotalaria inoculated: 37%; average increment crotalaria with supply of humic substances: 0,27%). Inoculation in jack bean increased the absorption and transfer factor of Fe and P, and reduced the transfer factor of K, Ca and Mg, and in crotalaria plants increased the uptake of Mg, P and Mn, and reduced the absorption of Fe. The K, Ca, Mg and P of both experiments were mobilized mainly in the shoot, and the high Fe content in the mining tail culminated with great absorption and mobilization of this element in the roots of the plants as an alternative to minimize the toxic effects caused by its excess.

1. INTRODUÇÃO

A exploração de minérios pode provocar alterações negativas ao meio ambiente, sendo uma das fontes mais impactantes de degradação antrópica. O armazenamento de rejeitos em barragens são formas comum de destinação do produto final descartado na exploração. No ano de 2015, com o rompimento de duas barragens de rejeitos oriundos da extração de minério de ferro, foram despejados 50 milhões de metros cúbicos de sedimento na bacia do Rio Doce, com danos que se estenderam além da sua foz no estado do Espírito Santo (IBAMA, 2015). Nesse contexto, há a necessidade de minimizar os impactos ambientais nas áreas afetadas e diminuir o aporte de sedimentos ao rio, sendo a revegetação o caminho para se iniciar o processo de recuperação ambiental (OLIVEIRA, 2014).

Recomenda-se que o processo de revegetação seja iniciado com o cultivo de plantas

rusticas que tolerem as restrições químicas, físicas e biológicas dos rejeitos de minério, além de contribuírem com incrementos no acúmulo de matéria orgânica para a estruturação do substrato, ciclagem de nutrientes e preparo do meio para sustentar espécies mais exigentes (ARAÚJO et al., 2005).

Plantas da família Fabacea apresentam um grande potencial para recomposição vegetal de áreas degradadas, como o feijão-de-porco e a crotalária, plantas herbáceas de porte ereto que possuem elevada capacidade adaptativa e reprodutiva (Silva e Corrêa, 2008) além de se associarem com bactérias que fixam nitrogênio (N_2), nutriente diretamente ligado ao ganho de matéria seca vegetal (HUNGRIA e NOGUEIRA, 2013).

Para aumentar a eficiência da técnica de revegetação em áreas degradadas, biotecnologias podem ser incorporadas com o objetivo de ampliar a produção de matéria seca pelas plantas. Dentre estas técnicas, a integração de bioestimulantes a base de bactérias diazotróficas e de substâncias húmicas representam estratégias promissoras que ganham cada vez mais importância, pela capacidade de estimular o desenvolvimento vegetal, o que favorece a adaptação de plantas cultivadas sob rejeito de minério.

O N é o macronutriente em maior concentração nos tecidos vegetais e escasso em áreas degradadas pela mineração. Entretanto, o fornecimento de fertilizantes nitrogenados apresenta baixa eficiência por sofrerem perdas pelos processos de lixiviação, desnitrificação e/ou volatilização. Desta forma, a fixação biológica de N por rizóbios que interagem com as plantas ocupa lugar de destaque, por estimular melhor desenvolvimento radicular e maior interação com o solo, permitindo maior absorção de água, nitrogênio atmosférico (N_2) e nutrientes (HUNGRIA et al., 2013). Por sua vez, substâncias húmicas são polímeros de carbono com grupamentos funcionais similares aos auxínicos que podem influenciar positivamente o desenvolvimento vegetal por afetar seu metabolismo e promover maior crescimento das secções das plantas (VACCARO et al., 2015).

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a produção de matéria seca e índices de absorção e mobilização de N, P, K, Ca, Mg e Fe em plantas de feijão-de-porco e crotalária cultivadas em rejeito de minério de ferro em função da aplicação de substâncias húmicas e bactérias diazotróficas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Coleta e caracterização do rejeito

Foram conduzidos dois experimentos em casa de vegetação no Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, campus de Alegre, ES, no período de janeiro a março de 2018. O clima da região 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 (INMET, 2018). Nos meses de janeiro e fevereiro deste ano (2018), as temperaturas máximas diárias foram superiores a 35°C.

Fo 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	Ca²⁺	Mg²⁺	H+Al	Al³⁺	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
Teores totais (mg kg ⁻¹)											
72,7	5.283,3	140,5	245,5	25.338,3	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; foi determinado o

carbono orgânico (CO) 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.

2.2 Montagem e condução dos experimentos

Fo cultivado feijão-de-porco (*Canavalia ensiformes*) e *Crotalaria juncea* cv. IAC-KR-1 em dois experimentos instalados no delineamento de blocos ao acaso, em esquema fatorial 4x3x2 com quatro repetições, sendo quatro doses de substâncias húmicas (SH) via pulverização foliar [0; 30; 60 e 90 mg de C na forma de substâncias húmicas por litro de solução (mg L⁻¹ de C_{SH})], aplicadas em 3 diferentes épocas (15, 30 ou 45 dias após emergência das plântulas (DAE), com ou sem inoculação de bactérias diazotróficas, totalizando, para cada cultivo, 24 tratamentos e 96 unidades experimentais.

Antes da semeadura, as sementes foram desinfestadas com álcool etílico 95% e hipoclorito de sódio a 2%, posteriormente lavadas com água destilada. A adição de bactérias diazotróficas pelo recobrimento das sementes ocorreu no dia anterior à semeadura conforme metodologia preconizada pela EMBRAPA AGROBIOLOGIA (2009). As estirpes utilizadas (*Rhizobium* BR 2003) são da coleção de cultura da Embrapa Agrobiologia, em Seropédica, RJ. As sementes de feijão-de-porco e crotalária foram pré-germinadas em bandejas de isopor, com rejeito de minério de ferro como substrato. Após 5 dias de emergência das plântulas, ocorreu o transplântio em vasos plásticos de 4 dm³ com o fundo vedado. 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, 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 comercial, 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. Foi determinado o teor de carbono (C) da solução com SH, pois as concentrações utilizadas basearam-se no teor de C.

Após 66 dias do transplântio, as plântulas de feijão-de-porco e crotalária 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 e MATOS, 2005). Foram realizadas digestões em forno de micro-ondas utilizando HNO₃ concentrado (USEPA 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).

Com estas informações, obteve-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 feijão-de-porco e crotalária, 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”).

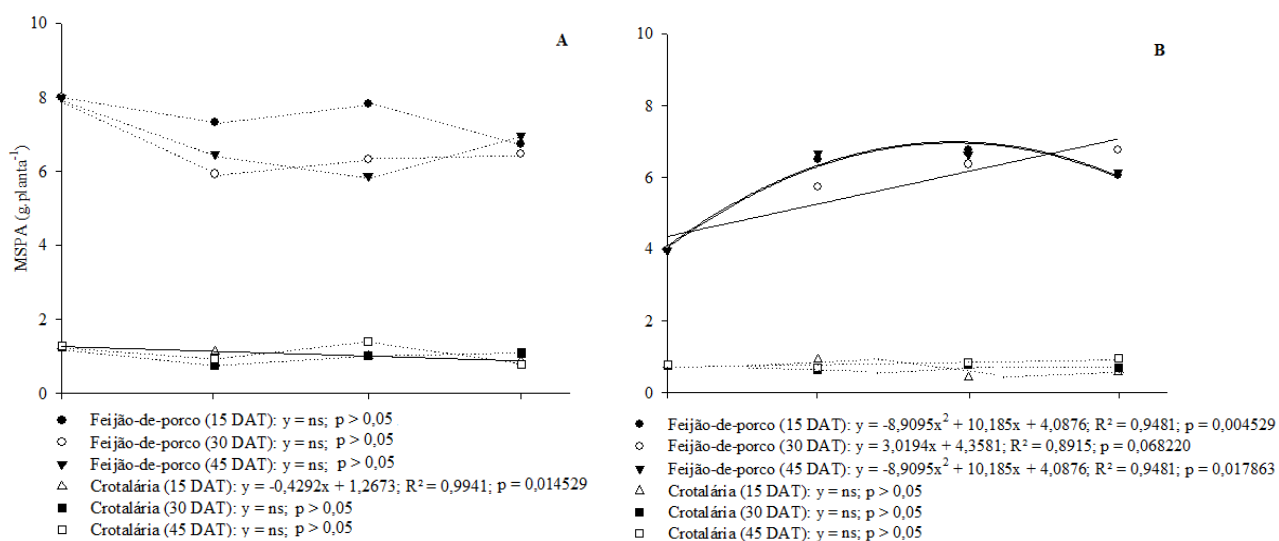
2.3 Análises estatísticas

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 e acúmulo de nutrientes em função das doses dos bioestimulantes) através do software Statistica 8.0, 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.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Produção de matéria seca

A produção de matéria seca da parte aérea por plantas de feijão-de-porco e crotalária cultivadas em rejeito de minério de ferro foi influenciada positivamente e significativamente ($p < 0,05$) pela inoculação de bactérias diazotróficas (BD), resultados semelhantes aos obtidos por Sala et al. (2007) e Rodrigues et al. (2014) (média feijão-de-porco = 6,99 g/planta – inoculadas; média feijão-de-porco = 5,88 g/planta – não-inoculadas; média crotalária = 1,06 g/planta – inoculadas; média crotalária = 0,76 g/planta – não-inoculadas). Houve interação entre inoculação e as doses de substâncias húmicas (SH). Já o período de aplicação (15, 30 ou 45 dias após transplante), não apresentou efeito na maioria dos tratamentos. Ademais, os diferentes tratamentos promoveram alterações no crescimento de parte aérea e raiz destas plantas (Figura 1).



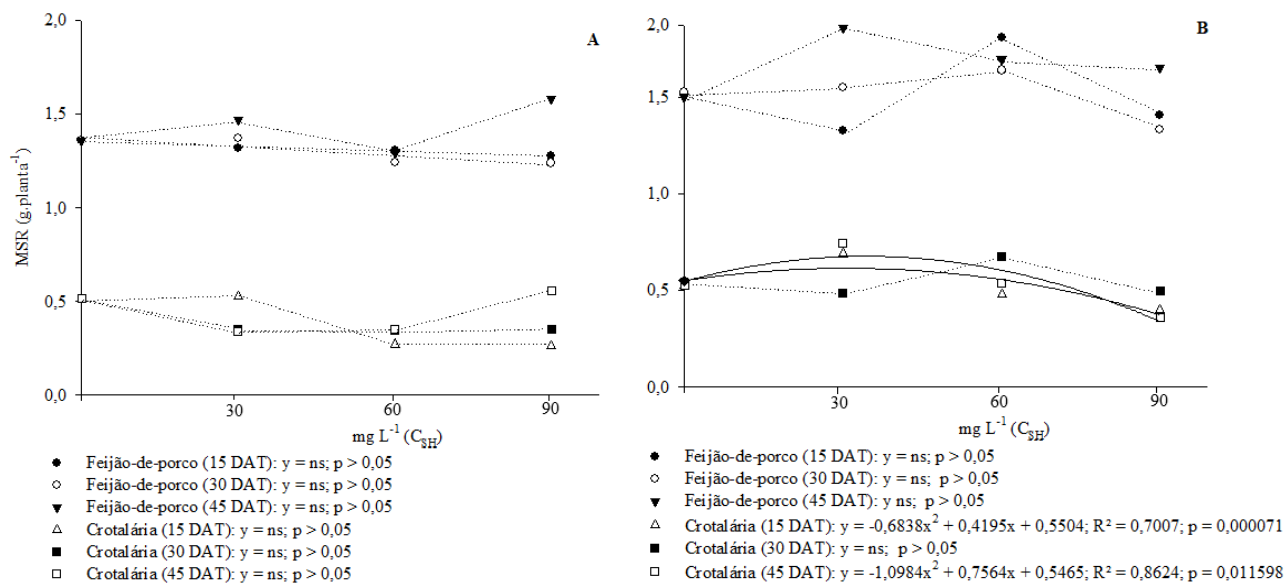


Figura 1. Dados médios ($n=4$) da matéria seca da parte aérea (MSPA) e de raízes (MSR) de plantas de feijão-de-porco e crotalária com (A) ou sem inoculação de bactérias diazotróficas (B) e cultivadas em rejeito de minério de ferro em função da aplicação de diferentes doses de substâncias húmicas fornecidas aos 15, 30 ou 45 dias após o transplante (DAT).

O fornecimento de SH em plantas inoculadas de ambos os tratamentos não promoveu aumento significativo no patamar de produção de matéria seca. Ademais, em plantas de crotalária inoculadas, as SH fornecidas aos 15 DAT reduziram linearmente a MSPA. Em relação às plantas de feijão-de-porco não inoculadas, a dose 60 fornecida aos 15 ou 45 DAT promoveram maior produção de MSPA (6,54 e 6,65 g/planta, respectivamente) e, quando as SH foram fornecidas aos 30 DAT, promoveram aumento linear da MSPA. Nesse contexto, fica claro que as pulverizações foliares de SH não causaram redução do crescimento vegetal por toxidez ou limitações à respiração celular das plantas (SILVA et al., 2016).

De acordo com Santos et al. (2013), o desenvolvimento radicular influencia características das plantas, tais como resistência ao déficit hídrico e ao ataque de pragas, e eficiência na absorção de nutrientes do solo, alterações positivas quando se pensa em revegetação de áreas ocupadas por rejeito de mineração, com escassez de nutrientes e baixo potencial de armazenar água. Para a MSR de plantas de crotalária não inoculadas, a dose 30 fornecida aos 15 ou 45 DAT promoveu maior produção de matéria seca (0,63 e 0,74 g/planta, respectivamente). Nos demais ajustes de regressão não foram verificados efeitos lineares ou quadráticos significativos da matéria seca em função das doses de SH

fornecidas em diferentes épocas.

O que ocorreu com os tratamentos em que houve inoculação de BD e aplicação de SH pode estar relacionado ao fato da produção máxima de matéria seca pelo feijão-de-porco e crotalária ser alcançada com o fornecimento de BD ou SH (independente da dose e época de aplicação).

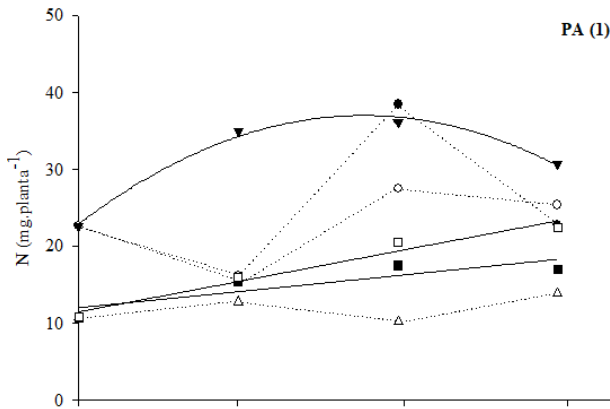
3.2 Acúmulo de nutrientes

Para os acúmulos de N, P, K, Ca, Mg, Fe e Mn na parte aérea e raízes de feijão-de-porco e crotalária ocorreram diferenças significativas ($P < 0,05$) com os diferentes tratamentos (Figura 2). A ordem decrescente de acumulação de nutrientes na parte aérea do feijão-de-porco e crotalária foi: $N > K > Ca > Mg > Fe > P > Mn$, resultados semelhantes ($N > K > Ca > Mg$) aos preconizados por Malavolta (1980), Neves et al. (2009) e Padovan et al. (2015) para plantas leguminosas. A alta disponibilidade de Fe no rejeito contribuiu para um maior acúmulo deste micronutriente em relação ao P, pouco disponível.

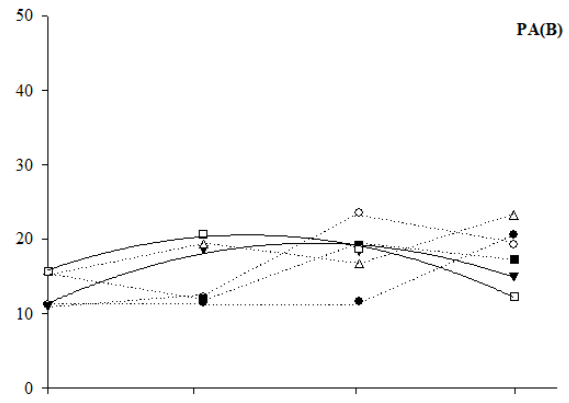
Na distribuição relativa da matéria seca entre os componentes de ambas as plantas em estudo, observou-se que a maior porção foi alocada na parte aérea, desta forma, este componente apresentou os maiores acúmulos de P, K, Ca e Mg devido a demanda nutricional foliar para ocorrência de processos metabólicos (VIEIRA et al. 2013).

A baixa disponibilidade de P ($8,72 \text{ mg dm}^{-3}$) e K (9 mg dm^{-3}) no rejeito de minério de ferro proporcionou baixo suprimento à parte aérea de ambas as plantas, inferior aos preconizados por Prezotti et al. (2007) como nível crítico para o desenvolvimento satisfatório das plantas. Os teores foliares médios (mg/kg) de nutrientes para o feijão de porco foram: $K = 484 \pm 154$; $Ca = 3077 \pm 530$; $Mg = 550 \pm 105$; $P = 209 \pm 51$; $Fe = 5.753 \pm 1.616$ e $Mn = 228 \pm 54$, e para a crotalária: $K = 6.139 \pm 1.658$; $Ca = 4.841 \pm 1.232$; $Mg = 1.795 \pm 493$; $P = 794 \pm 226$; $Fe = 23.562 \pm 9.238$ e $Mn = 223 \pm 99$.

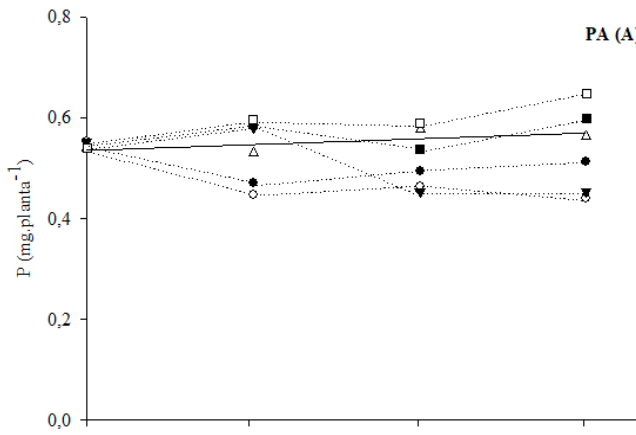
Em relação às plantas de ambos os experimentos que não receberam SH, a inoculação promoveu maior acúmulo na parte aérea ($p < 0,05$) de N, P, K e Fe em plantas de feijão-de-porco, e de P, Ca, Mg e Fe em plantas de crotalária. Os maiores acúmulos de nutrientes promovidos pela inoculação podem estar associados ao sinergismo dos nutrientes com o NH_4^+ que é mais disponibilizado após a inoculação de BD (ORTEGA e MALAVOLTA, 2012).



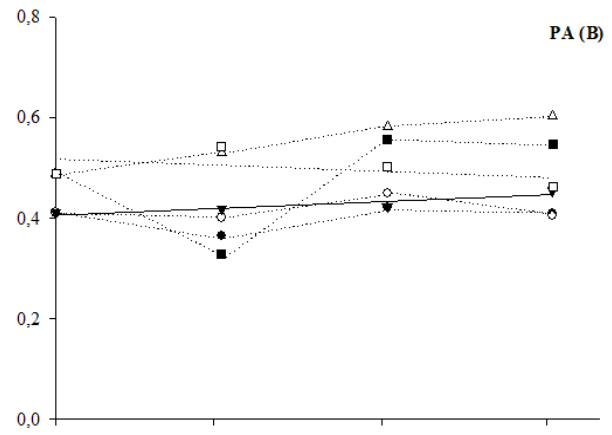
- Feijão-de-porco (15 DAT): $y = ns; p > 0,05$
- Feijão-de-porco (30 DAT): $y = ns; p > 0,05$
- ▼ Feijão-de-porco (45 DAT): $y = -0,0049x^2 + 0,5281x + 22,894; R^2 = 0,9919; p = 0,015198$
- △ Crotalaria (15 DAT): $y = ns; p > 0,05$
- Crotalaria (30 DAT): $y = 0,07x + 12,021; R^2 = 0,7728; p = 0,000081$
- Crotalaria (45 DAT): $y = 0,1317x + 11,487; R^2 = 0,9638; p = 0,019260$



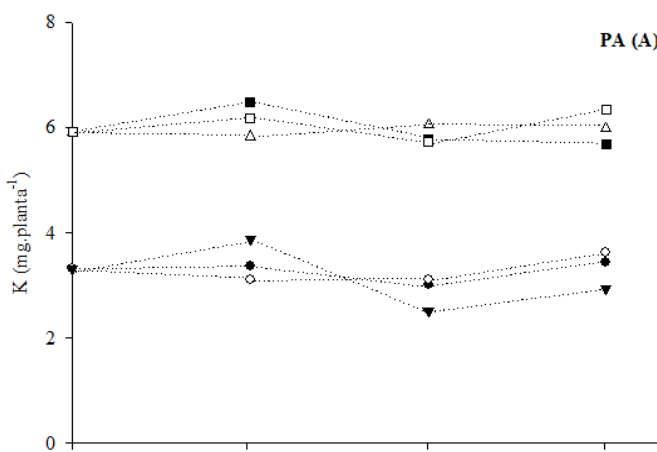
- Feijão-de-porco (15 DAT): $y = ns; p > 0,05$
- Feijão-de-porco (30 DAT): $y = ns; p > 0,05$
- ▼ Feijão-de-porco (45 DAT): $y = -0,0031x^2 + 0,3163x + 11,366; R^2 = 0,9737; p = 0,022427$
- △ Crotalaria (15 DAT): $y = ns; p > 0,05$
- Crotalaria (30 DAT): $y = ns; p > 0,05$
- Crotalaria (45 DAT): $y = -0,0032x^2 + 0,2456x + 15,842; R^2 = 0,9911; p = 0,018624$



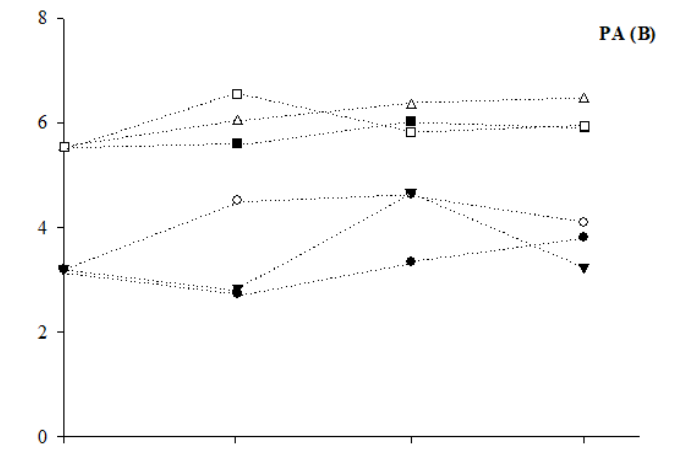
- Feijão-de-porco (15 DAT): $y = ns; p > 0,05$
- Feijão-de-porco (30 DAT): $y = ns; p > 0,05$
- ▼ Feijão-de-porco (45 DAT): $y = ns; p > 0,05$
- △ Crotalaria (15 DAT): $y = 0,0384x + 0,5358; R^2 = 0,4662; p = 0,034271$
- Crotalaria (30 DAT): $y = ns; p > 0,05$
- Crotalaria (45 DAT): $y = ns; p > 0,05$



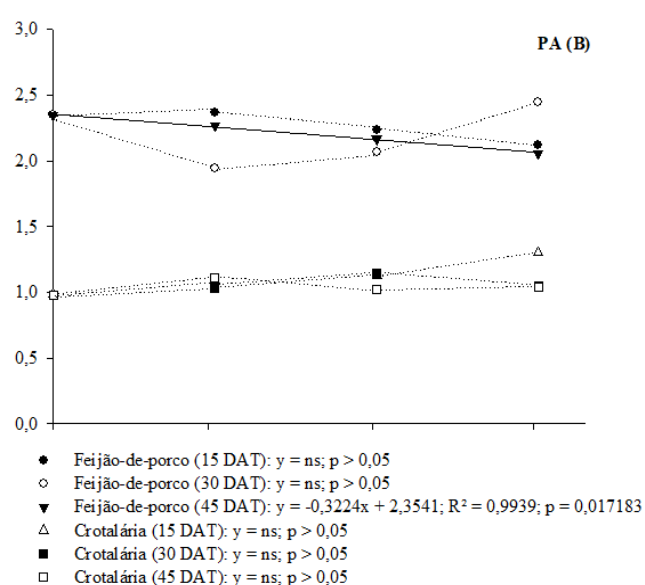
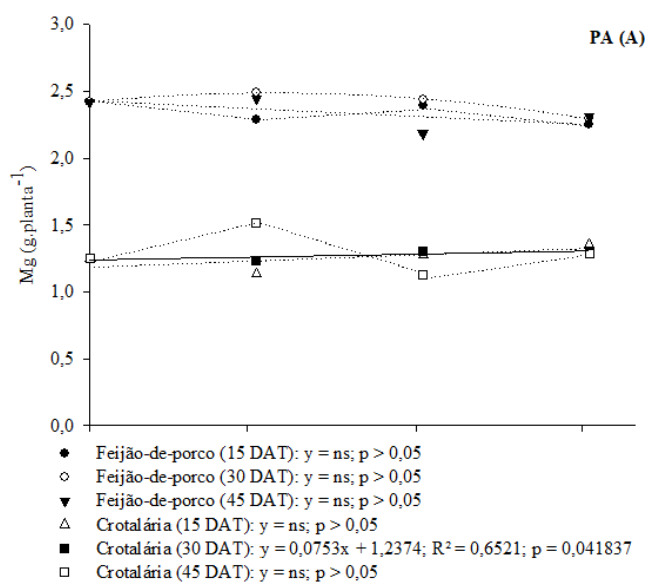
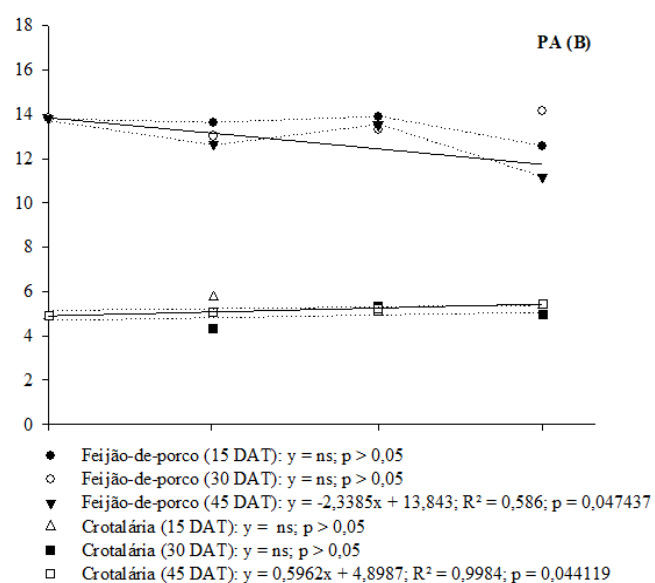
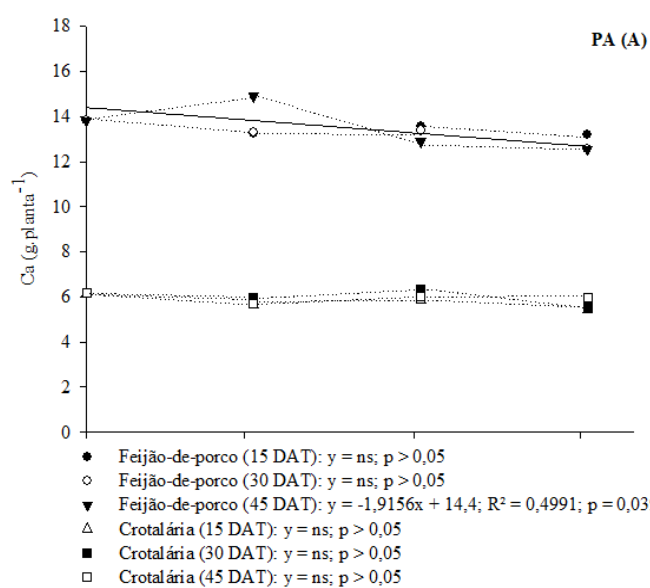
- Feijão-de-porco (15 DAT): $y = ns; p > 0,05$
- Feijão-de-porco (30 DAT): $y = ns; p > 0,05$
- ▼ Feijão-de-porco (45 DAT): $y = ns; p > 0,05$
- △ Crotalaria (15 DAT): $y = 0,1301x + 0,4925; R^2 = 0,977; p = 0,001204$
- Crotalaria (30 DAT): $y = ns; p > 0,05$
- Crotalaria (45 DAT): $y = ns; p > 0,05$



- Feijão-de-porco (15 DAT): $y = ns; P > 0,05$
- Feijão-de-porco (30 DAT): $y = ns; P > 0,05$
- ▼ Feijão-de-porco (45 DAT): $y = ns; P > 0,05$
- △ Crotalaria (15 DAT): $y = ns; P > 0,05$
- Crotalaria (30 DAT): $y = ns; P > 0,05$
- Crotalaria (45 DAT): $y = ns; P > 0,05$



- Feijão-de-porco (15 DAT): $y = ns; p > 0,05$
- Feijão-de-porco (30 DAT): $y = ns; p > 0,05$
- ▼ Feijão-de-porco (45 DAT): $y = ns; p > 0,05$
- △ Crotalaria (15 DAT): $y = ns; p > 0,05$
- Crotalaria (30 DAT): $y = ns; p > 0,05$
- Crotalaria (45 DAT): $y = ns; p > 0,05$



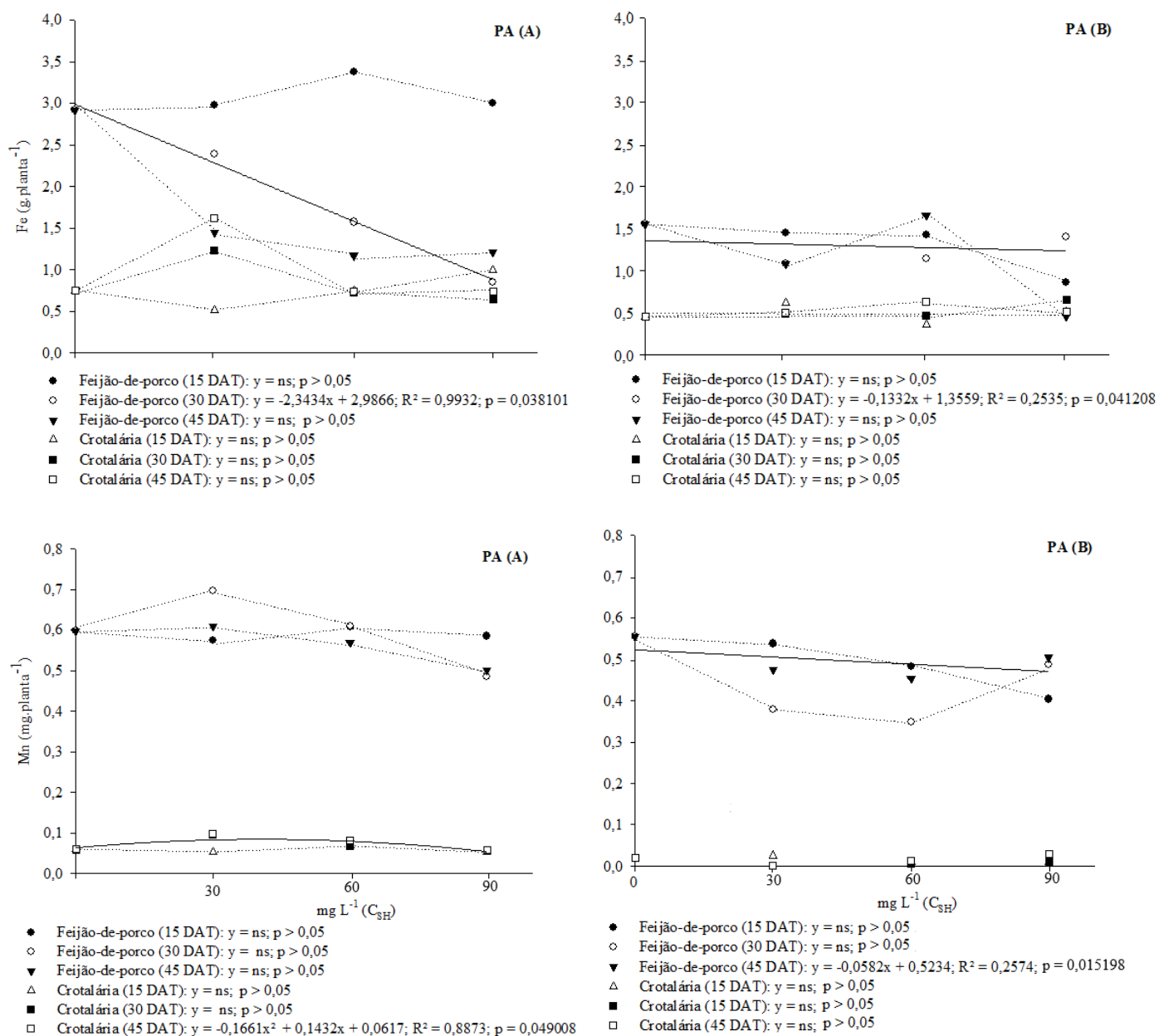


Figura 2. Dados médios ($n=4$) do acúmulo de N, P, K, Ca, Mg, Fe e Mn na parte aérea (PA) de plantas de feijão-de-porco e crotalária com (A) ou sem inoculação de bactérias diazotróficas (B) e cultivadas em rejeito de minério de ferro em função da aplicação de diferentes doses de substâncias húmicas fornecidas aos 15, 30 ou 45 dias após o transplante (DAT).

A aplicação de SH nas plantas de feijão-de-porco inoculadas apresentou resposta quadrática para o acúmulo de N, em que a dose 60 promoveu maior acumulação. Já nas plantas não-inoculadas de feijão-de-porco e crotalária, os maiores acúmulos de N foram obtidos com a dose 30 de SH fornecida aos 45 DAT. As plantas de crotalária inoculadas

apresentaram resposta crescente positiva para o acúmulo de N com o fornecimento de SH aos 30 ou 45 DAT.

O acúmulo de P nas plantas de crotalária inoculadas e não-inoculadas apresentou resposta linear crescente com o fornecimento de SH aos 15 DAT. Para o acúmulo de Ca, o feijão-de-porco não inoculado apresentou resposta linear decrescente com o fornecimento de SH aos 45 DAT, e as plantas de crotalária inoculadas apresentaram resposta linear crescente com o fornecimento de SH aos 45 DAT.

Segundo Freitas et al. (2018), as SH atuam como estimuladores da absorção de nutrientes por alterarem o metabolismo vegetal, com efeitos semelhantes aos fitohormônios (FAÇANHA et al., 2002). As diferentes doses de SH em união com a temperatura e disponibilidade hídrica podem promover estresses fisiológicos nas plantas, além de aumentar ou reduzir o acúmulo de nutrientes nos estágios fenológicos que ocorrem em diferentes épocas estimulados pelas SH.

A aplicação de substâncias húmicas em plantas é estudada e com uso recomendado para incremento no acúmulo de nutrientes em diversas culturas, tais como: guanandi, planta típica do cerrado (Busato et al., 2016), abacaxi (Santos et al., 2014), batata (Martins, 2017 e Azam Shah, et al., 2016), batata-doce (El-Sayed et al., 2011) e tomate (Şahin, Karaman e Gebologlu, 2014), dentre outros.

O acúmulo de Mg apresentou resposta linear crescente em plantas de crotalária nos tratamentos em que as SH foram fornecidas aos 30 DAT, e resposta linear decrescente em plantas de feijão-de-porco não-inoculadas com fornecimento de SH aos 45 DAT. Em relação ao acúmulo de Fe, plantas de feijão-de-porco inoculadas e não-inoculadas apresentaram resposta linear decrescente com o fornecimento de SH aos 30 DAT. Ademais, o fornecimento de SH aos 45 DAT promoveu resposta linear decrescente para o acúmulo de Mn por plantas de feijão-de-porco não-inoculadas e, nesta mesma época, promoveu o maior acúmulo de Mn por plantas de crotalária inoculadas com a dose 30 mg L⁻¹ (C_{SH}).

Os resultados aqui descritos evidenciam a importância da inoculação de bactérias diazotróficas e aplicação de SH na nutrição vegetal, pois além de N, as plantas podem aumentar a extração de outros nutrientes, e o manejo adequado para certa finalidade se destaca quando o objetivo visa o acúmulo e ciclagem de um nutriente em específico.

A maior absorção e mobilização de nutrientes na parte aérea das plantas é desejável, por potencializar a ciclagem de nutrientes no meio e, desta forma, a alta capacidade de

extração e eficiência no uso de K, Ca, Mg, P, Fe e Mn proporcionado pelos diferentes tratamentos interferem no balanço, fator de transferência e índice de translocação de nutrientes do rejeito.

3.3 Índices de extração de nutrientes

O balanço, fator de transferência e índice de translocação de nutrientes do feijão-deporco e crotalária comprovou os efeitos distintos entre as espécies vegetais cultivadas quanto à extração de nutrientes do rejeito, devido a maior exigência por cada planta e diferentes processos que ocorrem na rizosfera para maior aproveitamento dos nutrientes (CASALI et al., 2016). Ademais, ressalta-se que na maioria dos casos as diferentes épocas de aplicação das SH não promoveram alterações ($p > 0,05$) nos índices de absorção de nutrientes e, por esta razão, os dados médios apresentados são dos tratamentos em que as SH foram fornecidas aos 30 DAT.

Em relação ao balanço de nutrientes (Tabela 1), nos tratamentos que não receberam SH, a inoculação aumentou a absorção de Fe e P por plantas de feijão-deporco, e nas plantas de crotalária aumentou a absorção de Mg, P e Mn e reduziu a absorção de Fe.

A alta porcentagem de extração de K se deve a baixa disponibilidade deste nutriente, mesmo com seu alto conteúdo no rejeito de minério de ferro utilizado nesta pesquisa. O K é encontrado na rede cristalina de minerais como feldspatos, micas e hematitas. Contudo, cabe destacar que a crotalária apresentou maior extração de K, o que evidencia a capacidade de formas não trocáveis de K participarem do suprimento desta planta (ROSOLEM; VICENTINI; STEINER, 2012). Em análise geral e independente dos experimentos, a crotalária apresentou, de forma destacada, maior capacidade de extração do K estrutural do rejeito, e o feijoeiro apresentou maior capacidade de extração de Ca e Mg.

Tabela 2. Balanço de K, Ca, Mg, P, Fe e Mn após cultivo de Feijão-de-porco e Crotalária com ou sem inoculação de bactérias diazotróficas e cultivadas em rejeito de minério de ferro em função da aplicação de diferentes doses de substâncias húmicas fornecidas aos 30 dias após o transplantio.

Tratamento		K	Ca	Mg	P	Fe	Mn
		Balanço de nutrientes %					
Inoculação	C _{SH} (mgL ⁻¹)	Feijão-de-porco					
Com	0,0	10,05±1,72	3,38±0,29	1,41±0,13	3,42±0,56	6,79±0,43	0,92±0,08
	30,0	9,65±2,17	3,60±0,26	1,52±0,05	2,75±0,28	5,91±0,93	0,97±0,11
	60,0	10,15±1,66	3,51±0,25	1,56±0,09	2,70±0,27	5,13±0,58	1,09±0,10
	90,0	11,11±1,93	3,32±0,22	1,41±0,25	2,68±0,15	4,68±0,59	0,86±0,06
Sem	0,0	11,26±1,61	3,53±0,27	1,53±0,07	2,46±0,19	4,53±0,72	0,81±0,08
	30,0	10,37±2,66	3,66±0,49	1,58±0,10	2,58±0,24	4,42±0,79	0,77±0,05
	60,0	14,00±2,85	3,42±0,43	1,39±0,02	2,10±0,12	3,72±0,80	0,58±0,03
	90,0	14,63±1,20	3,62±0,29	1,48±0,11	2,35±0,22	4,39±0,75	0,76±0,09
Inoculação	C _{SH} (mgL ⁻¹)	Crotalária					
Com	0,0	22,78±1,34	1,31±0,15	1,01±0,12	2,71±0,07	4,74±0,74	0,16±0,02
	30,0	22,85±1,35	1,43±0,05	1,09±0,04	3,39±0,32	6,96±1,31	0,25±0,03
	60,0	21,05±1,85	1,44±0,09	0,92±0,10	2,81±0,22	5,70±0,70	0,23±0,02
	90,0	21,53±1,75	1,30±0,17	0,96±0,13	2,87±0,26	4,86±0,57	0,15±0,03
Sem	0,0	20,86±1,52	1,08±0,21	0,79±0,11	2,40±0,14	6,15±0,05	0,13±0,02
	30,0	23,27±2,94	1,09±0,23	0,83±0,09	2,64±0,18	5,75±0,61	0,11±0,02
	60,0	22,03±1,29	1,31±0,21	0,89±0,12	2,66±0,17	6,37±0,52	0,10±0,01
	90,0	22,92±2,21	1,22±0,08	0,94±0,05	2,78±0,14	5,58±0,21	0,15±0,03

C_{SH} (mg L⁻¹): mg de C na forma de substâncias húmicas por litro de solução. BN = acúmulo total de nutriente na planta do tratamento “n”/teor de nutriente no rejeito.

A inoculação em plantas de feijão-de-porco aumenta o fator de transferência de P e Fe, e reduz o fator de transferência de K, Ca e Mg (Tabela 2). Neste contexto, a inoculação permite a maior aquisição de N pelas leguminosas, mas de certa forma reduz o poder de extração de outros nutrientes, mesmo os que são de grande exigência vegetal.

Destaca-se ainda que as plantas de crotalária apresentaram elevado fator de transferência de K, P e Fe, devido aos altos teores de nutrientes na parte aérea desta planta. Segundo Silva et al. (2017), a crotalária é eficiente na absorção de nutrientes, mesmo em solos pobres, superando teores de nutrientes em outras leguminosas e suprimindo exigências nutricionais de plantas que serão cultivadas posteriormente e/ou em consórcio.

Tabela 3. Fator de transferência de K, Ca, Mg, P, Fe e Mn após cultivo de Feijão-de-porco e Crotalária com ou sem inoculação de bactérias diazotróficas e cultivadas em rejeito de minério de ferro em função da aplicação de diferentes doses de substâncias húmicas fornecidas aos 30 dias após o transplântio.

Tratamento		K	Ca	Mg	P	Fe	Mn
Inoculação C _{SH} (mgL ⁻¹)		Fator de transferência					
		Feijão-de-porco					
Com	0,0	35,39±5,64	18,79±1,92	7,47±0,45	31,07±6,08	90,51±16,36	7,65±0,66
	30,0	41,23±5,02	23,85±4,06	9,65±0,97	24,21±2,17	79,81±20,08	8,57±0,94
	60,0	52,96±13,06	25,09±3,20	11,02±1,36	26,70±5,76	77,64±9,38	11,16±0,94
	90,0	45,28±7,57	22,95±2,84	9,97±1,15	25,68±2,89	68,27±8,78	7,75±0,81
Sem	0,0	77,78±3,64	26,43±3,10	11,77±1,20	23,14±3,07	57,26±13,96	7,11±0,51
	30,0	39,46±8,24	20,06±3,40	9,43±1,90	18,77±1,95	45,63±8,19	5,35±0,78
	60,0	55,94±16,96	20,30±5,24	8,89±2,34	14,20±2,28	42,87±7,80	4,70±1,02
	90,0	58,30±5,12	21,15±3,62	9,02±1,31	17,17±1,91	48,39±12,08	5,79±0,58
Inoculação C _{SH} (mgL ⁻¹)		Crotalária					
Com	0,0	515,57±83,59	25,49±6,40	27,65±8,20	71,74±15,61	185,35±51,85	5,23±1,54
	30,0	780,32±77,66	47,56±5,71	50,35±9,19	162,15±23,92	520,72±182,61	15,48±3,30
	60,0	619,54±46,19	39,42±4,44	31,73±5,43	105,98±19,54	329,50±60,21	11,76±2,42
	90,0	548,20±67,86	27,61±5,22	32,99±6,76	92,08±13,94	271,01±51,29	5,79±1,68
Sem	0,0	625,68±123,50	30,60±4,54	25,10±2,71	76,15±10,91	240,37±54,68	7,11±3,31
	30,0	1096,23±341,81	49,79±8,05	37,31±4,40	123,53±28,85	246,72±52,26	6,89±1,92
	60,0	621,56±126,22	36,87±10,58	25,20±1,99	76,84±3,96	195,61±39,06	4,45±2,37
	90,0	651,81±124,38	33,13±3,81	29,45±2,92	86,29±7,57	209,41±35,03	6,84±2,55

C_{SH} (mg L⁻¹): mg de C na forma de substâncias húmicas por litro de solução. FT = teor de nutriente na parte aérea do tratamento “n”/teor disponível de nutriente no rejeito.

O índice de translocação de nutrientes é uma medida que representa em qual componente os nutrientes estão mais mobilizados nas plantas, uma vez que o excesso ou escassez afeta sua absorção e acumulação. A partir dos valores desta variável, constatou-se que K, Ca, Mg e P de ambos os experimentos foram mobilizados majoritariamente na parte aérea (Tabela 3), visto que grande parte dos processos metabólicos ocorrerem nas folhas demandando maior concentração nutricional (VIEIRA et al. 2013). O micronutriente Fe, em grande disponibilidade no rejeito, foi mais acumulado nas raízes, mobilizados neste componente como estratégia para minimizar estresses provocados por seu excesso (EPSTEIN; BLOOM, 2006).

Nas plantas de feijão-de-porco, a inoculação aumenta o acúmulo de K na raiz, e o fornecimento de SH (independente da dose) reduz o acúmulo de K neste componente. Destaca-se ainda que as doses 30 ou 60 mg L⁻¹ de C_{SH} nas plantas de feijão não-inoculadas elevam o acúmulo de K nas raízes.

Tabela 4. Índice de translocação de K, Ca, Mg, P, Fe e Mn após cultivo de Feijão-de-porco e Crotalária com ou sem inoculação de bactérias diazotróficas e cultivadas em rejeito de

minério de ferro em função da aplicação de diferentes doses de substâncias húmicas fornecidas aos 30 dias após o transplântio.

Tratamento		K	Ca	Mg	P	Fe	Mn
Inoculação		Índice de translocação					
C _{SH} (mgL ⁻¹)		Feijão-de-porco					
Com	0,0	11,27±2,10	3,11±0,81	3,40±0,40	0,89±0,22	0,15±0,15	1,15±0,37
	30,0	4,00±1,41	2,35±0,40	2,18±0,47	0,79±0,09	0,15±0,04	1,57±0,26
	60,0	5,81±1,28	2,35±0,55	2,40±0,39	1,00±0,26	0,09±0,02	0,85±0,26
	90,0	5,87±1,81	2,29±0,25	2,23±0,21	0,86±0,06	0,06±0,01	0,95±0,25
Sem	0,0	3,88±0,95	2,53±0,33	2,24±0,37	0,93±0,11	0,11±0,02	1,29±0,46
	30,0	20,11±11,20	2,51±0,89	2,02±0,42	0,98±0,17	0,08±0,01	0,80±0,10
	60,0	14,44±8,52	2,48±0,39	2,06±0,45	1,67±0,52	0,10±0,03	0,95±0,10
	90,0	3,64±0,90	2,27±0,41	1,81±0,38	1,01±0,30	0,11±0,02	0,83±0,17
Inoculação		Crotalária					
C _{SH} (mgL ⁻¹)							
Com	0,0	2,63±0,29	6,71±1,62	1,24±0,06	1,39±0,45	0,05±0,01	0,45±0,09
	30,0	3,10±0,05	3,87±1,32	1,31±0,42	2,14±0,79	0,06±0,02	0,55±0,30
	60,0	3,25±0,42	4,55±1,49	1,83±0,37	1,25±0,31	0,04±0,01	0,31±0,06
	90,0	3,14±0,44	7,96±2,53	1,72±0,35	1,83±0,45	0,04±0,01	0,62±0,10
Sem	0,0	2,82±0,19	4,88±0,64	1,29±0,20	1,45±0,31	0,02±0,01	0,07±0,09
	30,0	2,43±0,12	3,08±0,32	1,08±0,27	0,91±0,11	0,02±0,01	0,03±0,01
	60,0	3,24±0,36	2,97±0,64	1,38±0,09	1,52±0,24	0,02±0,01	0,03±0,01
	90,0	2,69±0,40	2,43±0,43	1,13±0,22	1,32±0,12	0,03±0,01	0,03±0,01

C_{SH}(mg L⁻¹): mg de C na forma de substâncias húmicas por litro de solução. IT = acúmulo de nutriente na parte aérea do tratamento “n”/acúmulo de nutriente na raiz do tratamento “n”.

4. CONCLUSÕES

O fornecimento de substâncias húmicas ou bactérias diazotróficas elevam o patamar de produção de matéria seca de feijão-de-porco e crotalária (incremento médio feijão-de-porco inoculado: 70%; incremento médio feijão-de-porco com fornecimento de substâncias húmicas: 36%; incremento médio crotalária inoculada: 37%; incremento médio crotalária com fornecimento de substâncias húmicas: 0,27%), entretanto, o uso associado de ambos os bioestimulantes não apresenta efeito acumulado no incremento desta variável.

De modo geral, a acumulação de nutrientes na parte aérea de plantas de feijão-de-porco e crotalária é influenciada por certas combinações com inoculação, dose e época de fornecimento das substâncias húmicas, o que reflete a importância do manejo mais adequado para se obter a maior extração de um nutriente em específico.

A inoculação em plantas de feijão-de-porco aumentou a absorção e fator de transferência de Fe e P, e reduziu o fator de transferência de K, Ca e Mg, e nas plantas de crotalária aumentou a absorção de Mg, P e Mn e reduziu a absorção de Fe.

K, Ca, Mg e P de ambos os experimentos foram mobilizados majoritariamente na parte aérea, e o alto teor de Fe no rejeito de mineração culminou com grande absorção e mobilização deste elemento nas raízes das plantas como alternativa para minimizar efeitos tóxicos causados por seu excesso.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, F. S.; MARTINS, S. V.; NETO, J. A. M.; LANI, J. L., e PIRES, I. E. 2005. Florística da vegetação arbustivo - arbórea colonizadora de uma área degradada por mineração de caulim, em Brás Pires, MG. *Revista Árvore*. 29:983-992.

AZAM SHAH, S., MOHAMMAD, W., S SHAHZADI, S., ELAHI, R., ALI, A., e A BASIR, A. 2016. The effect of foliar application of urea, humic acid and micronutrients on potato crop. *Iran Agricultural Research*. 35:89-94.

BUSATO, J. G., ZANDONADI, D. B., DE SOUSA, I. M., MARINHO, E. B., DOBBSS, L. B., e MÓL, A. R. 2016. Efeito do extrato húmico solúvel em água e biofertilizante sobre o desenvolvimento de mudas de *Calophyllum brasiliense*. *Pesquisa Florestal Brasileira*, 36:161-168.

CASALI, C. A., TALES, T., JOÃO, K., DANILO, R. S., ADEMIR, C., e ROGÉRIO, P. 2016. Benefícios do uso de plantas de cobertura de solo na ciclagem de fósforo. Manejo e conservação do solo e da água em pequenas propriedades rurais no sul do Brasil: práticas alternativas de manejo visando a conservação do solo e da água [recurso eletrônico]. Cap. 2:23-33.

EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. 2017. Edição revisada e ampliada – Brasília, DF. 573 p.

EMBRAPA AGROBIOLOGIA. Base de dados de leguminosas. 2009. Disponível em: < <http://www.cnpab.embrapa.br/leguminosas> >. Acesso em: 10 de janeiro de 2018.

FAÇANHA, A. R.; FAÇANHA, A. L. O.; OLIVARES, F. L.; GURIDI, F.; SANTOS, G. A.; VELLOSO, A. C. X.; RUMJANEK, V. M.; BRASIL, F.; SCHRIPEMA, J.; BRAZ-FILHO, R.; OLIVEIRA, M.A.; CANELLAS, L. P. 2002. Bioatividade de ácidos húmicos: Efeito sobre o desenvolvimento radicular e sobre a bomba de prótons da membrana plasmática. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 37:1301-1310.

FREITAS, G. A., WEBER, F., DOS SANTOS, A. C. M., DA SILVA CARNEIRO, J. S., E DA SILVA, R. R. 2018. Fertiactyl® pós na redução da fitotoxidez do herbicida roundup ready® na cultura da soja. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*. 11:99-116.

HUNGRIA, M., e NOGUEIRA, M. A. 2013. Efeitos da coinoculação. *Cultivar Grandes Culturas*, 170:40-41.

HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M.A., e ARAUJO, R.S. 2013. Co-inoculation of soybeans and common beans with rhizobia and azospirilla: strategies to improve sustainability. *Biology and Fertility of Soils*. 49:791–801.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. Acessado 15 de julho de 2017. http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=rede_estacoes_auto_graf.

Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis – IBAMA. Laudo Técnico Preliminar – Impactos ambientais decorrentes do desastre envolvendo o rompimento da barragem de Fundão, em Mariana, Minas Gerais. Diretoria de Proteção Ambiental - DIPRO e Coordenação Geral de Emergências Ambientais – CGEMA. 38 pg. Brasília, Novembro de 2015.

MALAVOLTA, E. 1980. Elementos de nutrição mineral de plantas. São Paulo, Ceres, 251p.

MARTINS, J. D. L. 2017. Nutrição mineral e produtividade da cultura da batata em função da aplicação de substância húmica e adubação fosfatada. Tese de doutorado apresentada à Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP - Campus de Botucatu, 124 p.

MENDONÇA, E. S., e MATOS, E. D. S. 2005. *Matéria Orgânica do Solo: Métodos de Análises*. Viçosa: [s.n.], 77 p.

NEVES, A. L. R., DE LACERDA, C. F., GUIMARÃES, F. V. A., HERNANDEZ, F. F. F., DA SILVA, F. B., PRISCO, J. T., e RAJGHEYI, H. 2009. Acumulação de biomassa e extração de nutrientes por plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento. *Cienc. Rural*, 39:8p.

OLIVEIRA, P. A. D. 2014. Adubação orgânica e emissões de gases de efeito estufa na recuperação de barragem de rejeito de beneficiamento de minério de ferro. Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, 97 p.

ORTEGA, A. E. e MALAVOLTA, E. 2012. Los más recientes micronutrientes vegetales. *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica*, Georgia. 7:16-25.

PADOVAN, M. P., CARNEIRO, L. F., MOITINHO, M. R., FELISBERTO, G., CARNEIRO, D. N. M., e de Sá MOTTA, I. 2015. Acúmulo de Fitomassa e Nutrientes e Estádio mais Adequado de Manejo do Feijão-Guandu para fins de Adubação Verde. *Cadernos de Agroecologia*. 9:1-11.

PREZOTTI, L. C., GOMES, J. A., DADALTO, G. G., e OLIVEIRA, J. D. 2007. Manual de recomendação de calagem e adubação para o Estado do Espírito Santo: 5ª aproximação. Vitória: SEEA/Incaper/Cedagro, 305p.

RODRIGUES, L. F., GUIMARÃES, V. F., SILVA, M. B. D., PINTO JUNIOR, A. S., KLEIN, J., e DA COSTA, A. C. 2014. Características agrônômicas do trigo em função de

Azospirillum brasilense, ácidos húmicos e nitrogênio em casa de vegetação. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. 18:31-37.

ROSOLEM, C. A., VICENTINI, P. T. M. M. J., e STEINER, F. 2012. Suprimento de potássio em função da adubação potássica residual em um Latossolo Vermelho do Cerrado. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 36:1507-1515.

SALA, V. M. R.; FREITAS, S. DOS S.; SILVEIRA, A. P. D. da. 2007. Interação entre fungos micorrízicos arbusculares e bactérias diazotróficas em trigo. Pesquisa Agropecuária Brasileira. 42:1593-1600.

SILVA, L. R., GUIMARÃES, M. G., DE FREITAS, R. J., PELÁ, A., e CARVALHO, D. D. C. 2016. Ácidos húmicos para obtenção de maior massa fresca inicial em plantas de feijão comum 'Pérola'. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, 11:06-10.

SILVA, M. S., OLIVEIRA, G. R. F., MERLOTI, L. F., e SÁ, M. E. 2017. Acúmulo de nutrientes e massa seca produzida por *Crotalaria juncea* cultivada no cerrado. Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas, 11:26-36.

SANTOS, P. C., DA SILVA, M. P., FREITAS, S. D. J., BERILLI, S. D. S., ALTOÉ, J. A., SILVA, A. D. A., e de CARVALHO, A. J. 2014. Ácidos húmicos e brassinosteróide no crescimento e estado nutricional de rebentos de coroas de abacaxi. Revista Brasileira de Ciências Agrárias, 9:532-537.

SCHAEFER, C. E. G. R.; SANTOS, E. E.; SOUZA, C. M.; NETO, J. D.; FILHO, E. I. F., e C. DELPUPO. 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 - Belo Horizonte). 24, 32 p.

SAHIN, S.; KARAMAN, M. R., e GEBOLOGLU, N. 2014. The effects of humic acid application upon the phosphorus uptake of the tomato plant (*Lycopersicon esculentum* L.). Scientific Research and Essays. 9:586-590.

SILVA, L. C. R., e CORRÊA R. S. 2008. Sobrevivência e crescimento de seis espécies arbóreas submetidas a quatro tratamentos em área minerada no Cerrado. Rev. Árvore, 32:731-740.

SILVA, V. N., SILVA, L. E. D. S. F., e FIGUEIREDO, M. D. V. B. 2006. Co-inoculação de sementes de caupi com *Bradyrhizobium* e *Paenibacillus* e sua eficiência na absorção de cálcio, ferro e fósforo pela planta. Pesquisa Agropecuária Tropical, 36:95-99.

VACCARO, S., ERTANI, A., NEBBIOSO, A., MUSCOLO, A., QUAGGIOTTI, S., PICCOLO, A., e NARDI, S. 2015. Humic substances stimulate maize nitrogen assimilation and amino acid metabolism at physiological and molecular level. Chemical Biological Technologies in Agriculture. 2, 5 p.

VIEIRA, M., MAURO, V. S., PETER, T. e 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*, 1:1-13.

CAPÍTULO III

RESPOSTA DE CAPIM-MARANDU E MILHETO EM REJEITO DE MINERAÇÃO A APLICAÇÃO DE BIOESTIMULANTES VEGETAIS

RESUMO

Este trabalho teve o objetivo de avaliar a produção de matéria seca, teor de clorofilas e acúmulo de N, P, K, Ca, Mg, Fe e Mn por plantas de capim marandu (*Brachiaria brizantha* cv. Marandu) e milheto (*Pennisetum glaucum* cv. BRS 1501) cultivados sob rejeito de mineração em função da aplicação de substâncias húmicas ou fito-hormônios. O experimento 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 e tratamento controle (dose 0). Ao término do experimento foram obtidos o teor de clorofilas, a matéria seca e os conteúdos de N, P, K, Ca, Mg, Fe e Mn na parte aérea e raiz das plantas, e com estas informações, obteve-se índices de absorção e mobilização de nutrientes. Todas as doses fornecidas de SH e Stimulate® aumentaram a absorção de Ca pelo milheto, 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 milheto, e ambas as plantas mobilizaram este elemento nas raízes como estratégia para reduzir efeitos de sua toxidez.

Palavras chave: Matéria seca, acúmulo de nutrientes, estresse térmico, substâncias húmicas, hormônios vegetais, estresse fisiológico.

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the biomass production, chlorophyll content and accumulation of N, P, K, Ca, Mg, Fe, and Mn by marandu grass (*Brachiaria brizantha* cv. Marandu) and millet plants (*Pennisetum glaucum* cv. BRS 1501) grown under mining tailings and submitted to treatments with the application of humic substances or phytohormones. The experiment was conducted in a greenhouse using iron ore tailings as substrate, in a randomized block experimental design, in a 2x4 factorial scheme with four replications, two of which were

biostimulants via foliar spraying (Humic substances and Stimulate[®]), in three doses and control treatment (dose 0). At the end of the experiment, the content of chlorophylls, dry mass and N, P, K, Ca, Mg, Fe and Mn contents were obtained in the shoot and root of the plants, and with this information, it was obtained the absorption indices of nutrients. All doses of SH and Stimulate increased Ca uptake by millet, and the 0.75 L ha⁻¹ dose of Stimulate increased Mn uptake by Marandu grass plants. The transfer factor of K by both plants evidenced the ability of non-exchangeable forms of K to participate in the supply of these plants. The high availability of Fe in the mining tailings reflected high absorption by the marandu grass and millet, and both plants mobilized this element in the roots as a strategy to reduce effects of its toxicity.

Key words: Biomass, accumulation of nutrients, thermal stress, humic substances, plant hormones, physiological stress.

1. INTRODUÇÃO

A extração de minério de ferro, principal produto mineral exportado pelo Brasil, provoca diversos danos à fauna e flora nas zonas minerárias, e 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, como o que ocorreu no município de Mariana (MG) no ano de 2015.

Os solos artificiais compostos por rejeito de mineração apresentam características químicas, físicas e biológicas que restringem o crescimento das plantas (Bezerra et al., 2006; Silva et al., 2006; Rodrigues et al., 2007), devido à baixa capacidade de armazenamento de água e de troca catiônica, e ausência de matéria orgânica e nitrogênio (SCHAEFER et al. (2015). Ademais, outro agravante gerado pelos rejeitos que afeta o desenvolvimento de espécies vegetais é o seu baixo volume de macroporos, sítio de crescimento das raízes. Esta característica pode restringir o desenvolvimento radicular e, conseqüentemente, afetar de forma negativa a produção de fitomassa.

Nas áreas ocupadas por este solo artificial, a técnica da revegetação é a estratégia mais simples e 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).

As Poaceas podem recobrir o solo rapidamente mesmo em condições edafoclimáticas adversas, e por esta razão são utilizadas nos processos de revegetação. Dentre as espécies pertencentes a esta família, pode-se destacar o capim-marandu e o milheto, por possuírem alta capacidade de acumular nutrientes e com rápida reciclagem no meio. O capim *Brachiaria brizantha* cv. Marandu é uma forrageira perene, com hábito de crescimento cespitoso e de ampla adaptação edafoclimática, além de ser grande produtora de matéria seca. O milheto (*Pennisetum glaucum*) possui ciclo vegetativo de aproximadamente 150 dias, crescimento cespitoso e ereto, com grande acúmulo de nutrientes no limbo foliar em curto tempo (BRAZ et al., 2004).

Para aliar produção de matéria seca com sustentabilidade ambiental, biotecnologias podem ser empregadas, como a utilização de bioestimulantes a base de substâncias húmicas e de fito-hormônios, estratégias agrônômicas que visam promover rápido e vigoroso desenvolvimento das plantas.

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; RAVEN et al., 2007).

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 e milheto (*Pennisetum glaucum* cv. BRS 1501) cultivados sob rejeito de minério de ferro em função da aplicação de substâncias húmicas ou fito-hormônios.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Coleta e caracterização do rejeito

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 (INMET, 2018). Nos meses de janeiro e fevereiro deste ano (2018), as temperaturas máximas diárias foram superiores a 35°C.

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 (H ₂ O)	Ca²⁺	Mg²⁺	H+Al	Al³⁺	Na⁺	P_{disp}	K⁺	Fe_{disp.}	Mn_{disp.}	SB	t
	-----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; foi determinado o carbono orgânico (CO) 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.

2.2 Coleta e caracterização do rejeito

Foi cultivado milho (*Pennisetum glaucum* cv. BRS 1501) e *Braquiária briazantha* cv. Marandu em experimento instalado no delineamento de blocos ao acaso, em esquema fatorial 2x4 com quatro repetições, sendo dois bioestimulantes vegetais em quatro doses: Substâncias húmicas [0; 30; 60 e 90 mg de C na forma de substâncias húmicas por litro de solução (mg L⁻¹ de C_{SH})] e Stimulate® (0; 0,25; 0,5; 0,75 L ha⁻¹), totalizando, para cada cultivo, 8 tratamentos e 32 unidades experimentais.

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 produzido pela Stoller e 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) (STOLLER DO BRASIL LTDA, 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 clorofíLOG 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 e MATOS, 2005). Foram realizadas digestões em forno de micro-ondas utilizando HNO₃ concentrado (USEPA 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).

Com estas informações, obteve-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 feijão-de-porco e crotalária, 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”).

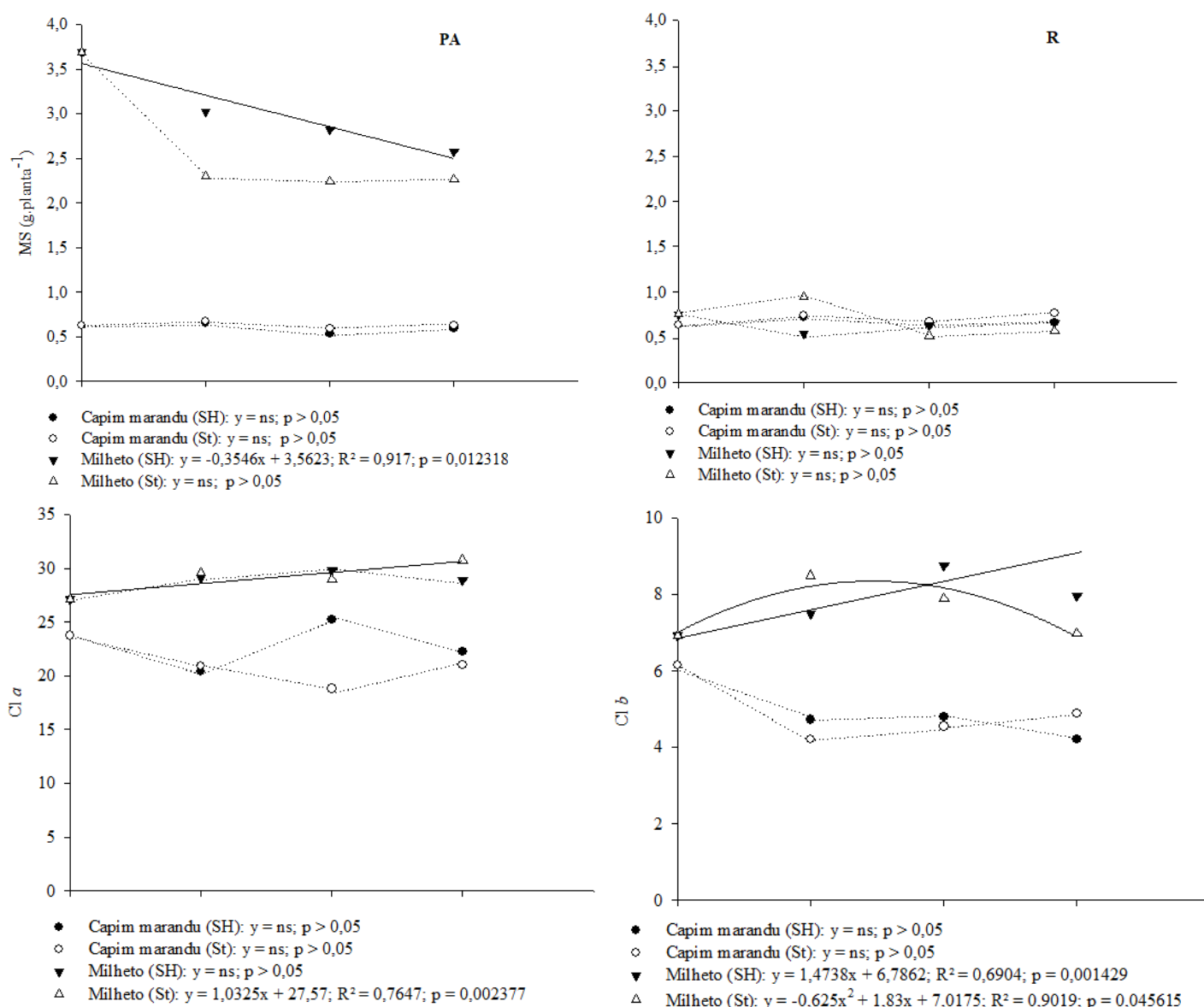
2.3 Análises estatísticas

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, 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.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Atributos fitotécnicos

Após 111 dias de cultivo sob rejeito de minério de ferro, o capim marandu apresentou 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 2).



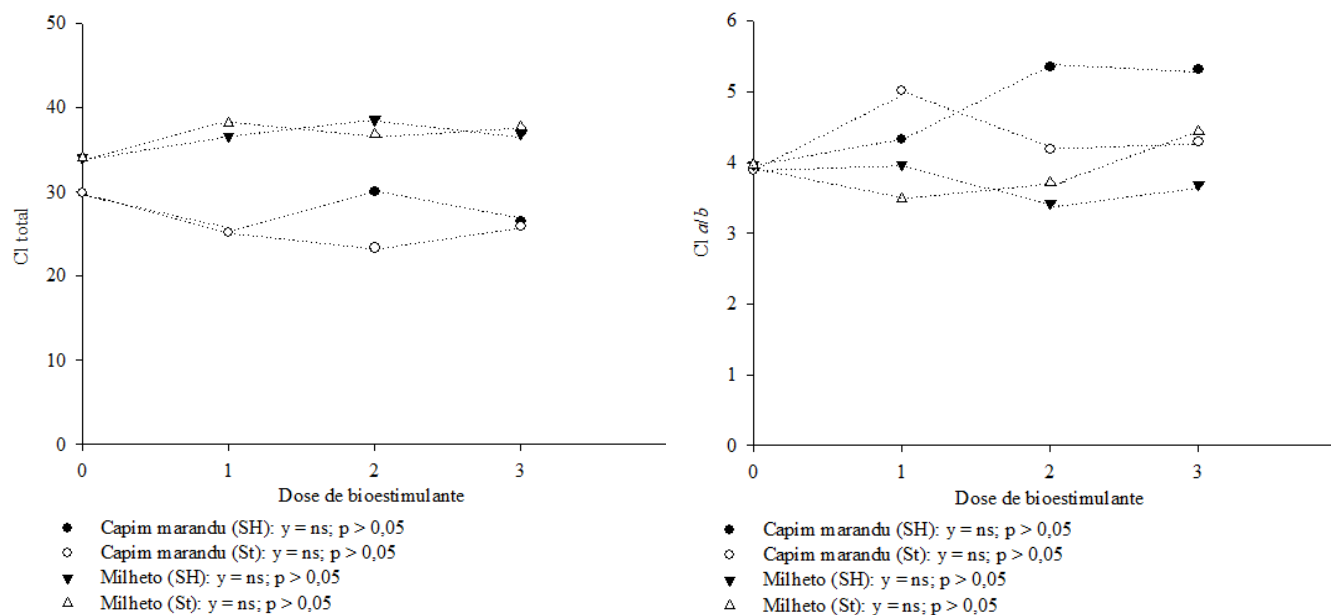


Figura 1. Dados médios (n=4) da matéria seca da parte aérea (MSPA) e da raiz (MSR), do teor de clorofila *a* (Cl *a*), *b* (Cl *b*), total (Cl total) e relação clorofila *a*/clorofila *b* (Cl *a/b*) de plantas de capim-marandu e milho em função da aplicação de Substâncias Húmicas (C_{SH}) ou Stimulate[®]. 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, a produção de matéria seca da parte aérea apresentou resposta linear decrescente 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} .

As clorofilas têm a função de captar energia luminosa de diferentes comprimentos de onda para as reações fotoquímicas dos complexos coletores de luz, desta forma, é esperado que plantas com maiores teores desses pigmentos apresentem maior resistência às condições de estresse hídrico e nutricional de rejeitos de mineração (O'NEILL et al., 2006).

Nenhum tratamento com o capim marandu, aumentou ($p < 0,05$) o teor de clorofila *a* em relação ao controle, e o patamar do teor de clorofila *b* foi reduzido ($p < 0,05$) após o fornecimento dos bioestimulantes, por esta razão, o teor de clorofila total das plantas controle não foi superado pelos diferentes tratamentos. Segundo Coelho et al. (2018), a redução dos teores de clorofila ocorre em plantas sob estresse, o que é corroborado por diversas pesquisas

na literatura.

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).

3.2 Acúmulo de nutrientes

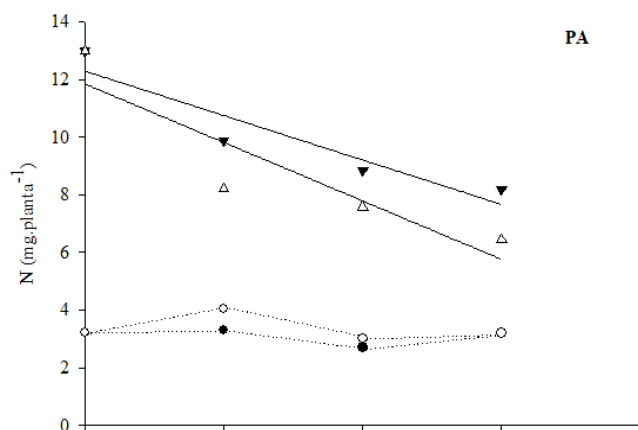
Para os acúmulos de N, P, K, Ca, Mg, Fe e Mn no capim marandu e milho ocorreram interações significativas ($P < 0,05$) com os diferentes tratamentos (Figura 2). Nos casos em que houve ajuste de regressão, a maioria das equações que melhor se ajustaram para explicar o acúmulo de nutrientes na parte aérea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

Em múltiplas pesquisas com gramíneas (Bianco et al., 2015; Foloni et al., 2016; Mendonça et al., 2014) a ordem decrescente de acumulação de nutrientes na parte aérea foi: $K > N > Ca > Mg > P$. No presente trabalho, a 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: $N > K > Ca > Mg > P > Fe > Mn$. Nesse contexto, em análise independente dos experimentos, fica claro a maior eficiência do milho em absorver N e P em relação ao capim marandu.

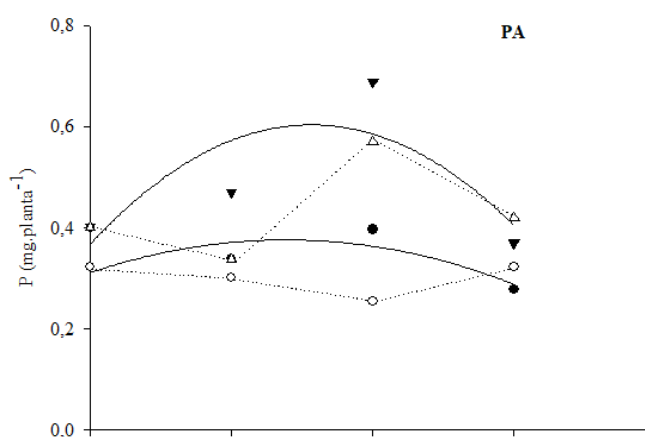
O N é escasso no rejeito de mineração desta pesquisa, entretanto é o nutriente mais exigido e mais limitante para desenvolvimento do milho, sendo que seu acúmulo ocorre linearmente até a maturação, compondo compostos orgânicos essenciais (LIMA et al., 2013). Provavelmente este nutriente foi incorporado pelo milho e capim marandu, por meio da associação com bactérias diazotróficas endofíticas ou epifíticas que disponibilizam N atmosférico (FERREIRA NETO et al., 2017; MORAIS et al., 2012). Micro-organismos diazotróficos associados à gramíneas são alvo 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).

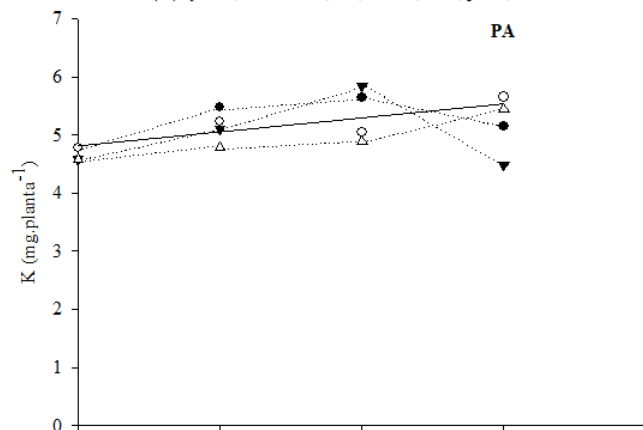
Quanto a maior absorção de P pelo milho, relaciona-se os mecanismos desta planta em acessar formas menos lábeis de P no meio, combinação com microrganismos capazes de favorecer a clivagem de compostos orgânicos e liberação do ânion fosfato (Lajtha e Harrison, 1995) e/ou exsudação radicular de fosfatases (KUNZE et al., 2011).



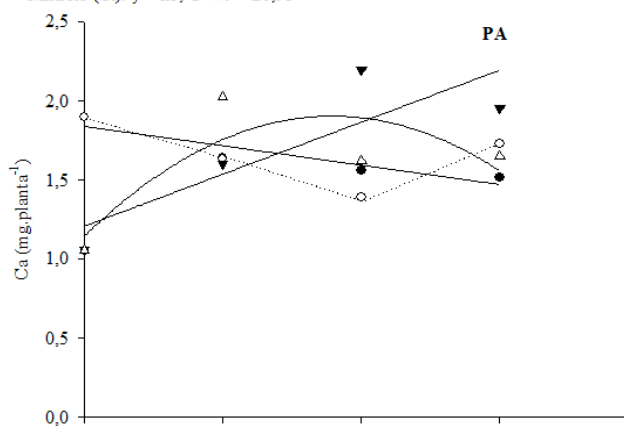
- Capim marandu (SH): $y = ns$; $p > 0,05$
- Capim marandu (St): $y = ns$; $p > 0,05$
- ▼ Milheto (SH): $y = -1,5406x + 12,289$; $R^2 = 0,8766$; $p = 0,045194$
- △ Milheto (St): $y = -2,0285x + 11,843$; $R^2 = 0,8224$; $p = 0,018265$



- Capim marandu (SH): $y = -0,034x^2 + 0,0941x + 0,3115$; $R^2 = 0,669$; $p = 0,113910$
- Capim marandu (St): $y = ns$; $p > 0,05$
- ▼ Milheto (SH): $y = -0,0967x^2 + 0,3022x + 0,3682$; $R^2 = 0,6203$; $p = 0,030739$
- △ Milheto (St): $y = ns$; $CV\% = 20,93$



- Capim marandu (SH): $y = ns$; $p > 0,05$
- Capim marandu (St): $y = 0,0025x + 0,1485$; $R^2 = 0,1689$; $p = 0,009598$
- ▼ Milheto (SH): $y = ns$; $0,6203$; $p > 0,05$
- △ Milheto (St): $y = ns$; $p > 0,05$



- Capim marandu (SH): $y = -0,1225x + 1,8397$; $R^2 = 0,8566$; $p = 0,002654$
- Capim marandu (St): $y = ns$; $p > 0,05$
- ▼ Milheto (SH): $y = 0,329x + 1,2092$; $R^2 = 0,7353$; $p = 0,041097$
- △ Milheto (St): $y = -0,2368x^2 + 0,8476x + 1,1465$; $R^2 = 0,6623$; $p = 0,007316$

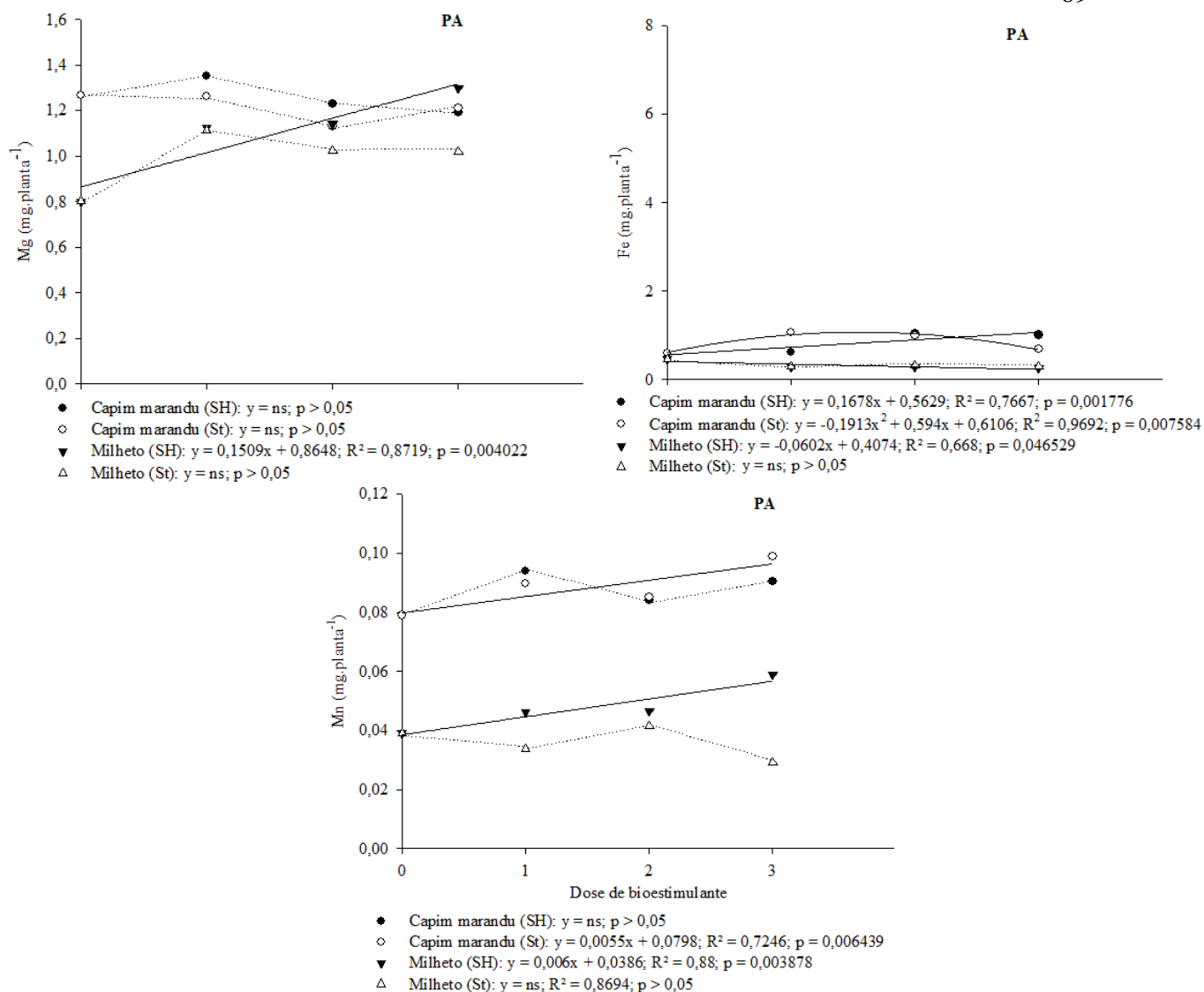


Figura 2. Dados médios ($n=4$) do acúmulo de N, P, K, Ca, Mg, Fe e Mn na parte aérea (PA) de plantas de capim marandu e milho cultivadas em rejeito de minério de ferro em função da aplicação de diferentes doses de substâncias húmicas (SH) ou Stimulate[®] (St). Substâncias húmicas: Dose 0 = 0; Dose 1 = 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} .

O milho apresentou resposta linear decrescente para o acúmulo de N com o fornecimento de ambos bioestimulantes, e em relação ao acúmulo de P, milho e capim marandu apresentaram 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}).

O acúmulo de K na parte aérea de capim marandu apresentou resposta linear crescente com o fornecimento de Stimulate[®]. Já o milho apresentou 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 milho, resposta linear crescente. Após a aplicação de Stimulate[®], o milho apresentou resposta quadrática para o acúmulo de Ca, em que o maior acúmulo foi obtido com a dose 0,25 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 milho, 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 milho 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. (2010) em café. Em contrapartida, diversos trabalhos na literatura não apresentaram respostas positivas com a aplicação de bioestimulantes vegetais.

3.3 Índices de extração de nutrientes

O balanço, fator de transferência e índice de translocação de nutrientes de milho e capim marandu cultivados sob rejeito de minério de ferro apresentaram efeitos distintos entre as espécies e diferentes tratamentos ($P < 0,05$).

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 milho, todas as doses fornecidas de SH e Stimulate[®] aumentaram a absorção de Ca, e a dose 0,50 e 0,75 L ha⁻¹ de Stimulate[®] reduziram a absorção de Mn. Ademais, a dose 0,75 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	Milho					
	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
Substâncias húmicas	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					
	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
Substâncias húmicas	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; VICENTINI; STEINER, 2012).

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		Milho					
Dose							
	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
Substâncias húmicas	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		Capim marandu					
Dose							
	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
Substâncias húmicas	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 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 o índice de translocação de nutrientes, 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, 2007).

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	Milho					
	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
Substâncias húmicas	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					
	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
Substâncias húmicas	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.

4. CONCLUSÕES

O milho apresentou 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 BIBLIOGRÁFICAS

ALBRECHT, L. P.; BRACCINI, A. L.; ÁVILA, M. R.; BARBOSA, M. C.; RICCI, T. T., e ALBRECHT, A. J. P. 2009. Aplicação de biorregulador na produtividade do algodoeiro e qualidade de fibra. *Scientia Agraria, Curitiba*. 10:191-198.

ALBRECHT, L. P.; BRACCINI, A. L.; SCAPIM, C. A.; ÁVILA, M. R.; ALBRECHT, A. J. P., e RICCI, T. T. 2011. Manejo de biorregulador nos componentes de produção e desempenho das plantas de soja. *Bioscience Journal, Uberlândia*. 27:865- 876.

ALBRECHT, L. P.; BRACCINI, A. L.; SCAPIM, C. A.; ÁVILA, M. R., e ALBRECHT, A. J. P. 2012. Biorregulador na composição química e na produtividade de grãos de soja. *Revista Ciência Agronômica, Fortaleza*. 43:774-782.

ALLEONI, B.; BOSQUEIRO, M., e ROSSI, M. 2000. Efeito dos reguladores vegetais de Stimulate® no desenvolvimento e produtividade do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) *Ciências Exatas e da Terra, Ciências Agrárias e Engenharias, Ponta Grossa*. 6:23-35.

ALMEIDA, B.; DONAGEMMA, G. K., e RUIZ, H. A., et al.; comunicado técnico da embrapa. 11p. 2012.

ALMEIDA, R. O. P. O., e SANCHEZ, L. E. 2005. Revegetação de áreas de mineração: critérios de monitoramento e avaliação do desempenho. *Revista Árvore*. 29:47-54.

ALVES, G. C.; VIDEIRA, S.S.; URQUIAGA, S., e REIS, V. M. 2013. Differential plant growth promotion and nitrogen fixation in two genotypes of maize by several *Herbaspirillum* inoculants. *Plant and Soil, Dordrecht*. 387:307-321.

BENEDUZI, A.; MOREIRA, F.; COSTA, P. B.; VARGAS, L. K.; LISBOA, B. B.; BEZERRA, F. B.; OLIVEIRA, M. A. C. L.; PEREZ, D. V.; ANDRADE, A. G., e MENEGUELLI, N. A. 2006. Lodo de esgoto em revegetação de área degradada. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 41:469-476.

BERTOLIN, D. C.; SÁ, M. E.; ARF, O.; FURLANI JUNIOR, E.; COLOMBO, A. S., e CARVALHO, F. L. B. M. 2010. Aumento da produtividade de soja com a aplicação de bioestimulantes. *Bragantia, Campinas*. 69:339-347.

BIANCO, S., BIANCO, C. L., MATHEUS, S. Y., e ALFREDO, K. F. 2015. Crescimento e nutrição mineral de *Urochloa arrecta*. *Planta Daninha*. 33:33-40.

BRAZ, B. P. A. J., SILVEIRA, M. P., KLIEMANN, H. J., e PFEILSTICKER ZIMMERMANN, F. J. 2004. Acumulação de nutrientes em folhas de milheto e dos capins braquiária e mombaça. *Pesquisa Agropecuária Tropical*. 34:83-87.

CARVALHO, R. P., PINHO, R. G. V., e 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: 2125-2136.

COELHO, A. P., DE FARIA, R. T., DALRI, A. B., PALARETTI, L. F., e ZANINI, J. R. 2018. Clorofilômetro portátil como forma de manejo da irrigação e adubação nitrogenada em aveia-branca. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*. 12:2542-2553.

COSTA, N. R.; DOMINGUES, M. C. S., e RODRIGUES, J. D. 2010. Desempenho do cafeeiro Icatu vermelho sob ação de biorregulador aplicado em fases reprodutivas da cultura. *Agrarian, Dourados*. 2:113-130.

EMBRAPA. 2017. Manual de métodos de análise de solo. Centro Nacional de Pesquisa de Solos.

EPSTEIN, E., e BLOOM, A. J. 2006. Nutrição e crescimento. Nutrição mineral de plantas. Londrina: Planta. p. 251-286.

FERREIRA NETO, R. A.; FREITAS, A. D. S. de F.; GIONGO, V.; CAMARGO, P. B.; MENEZES, R. S. C., e SAMPAIO, E. V. de S. B. 2017. Nitrogen fixation of Poaceae and Leguminosae in a green manure experiment in the Brazilian semiarid region. *Australian Journal of Crop Science, Oxford*. 11:1474-1480.

FOLONI, J. S. S., TIAGO, C. A., ALEXANDRIUS, M. B., JULIANO, C. C., e CARLOS, S. T. 2016. Acúmulo de nutrientes e relação C/N em diferentes estádios fenológicos do milho submetido à adubação nitrogenada. *Revista Agro@mbiente On-line*, 10:1-9.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. Acessado 15 de julho de 2018. http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=rede_estacoes_auto_graf.

KUNZE, A., MURILO, D. C., JAILSO, C., JEAN, C. L. RAFAEL, S., e PAULO, E. L. 2011. Phosphatase activity in sandy soil influenced by mycorrhizal and non-mycorrhizal cover crops. *Revista Brasileira de Ciência do solo*. 35:705-711.

LAJTHA, K., e ANTHONY, H. F. 1995. Strategies of phosphorus acquisition and conservation by plant species and communities. In: Tiessen, H. (Ed.). *Phosphorus in the global environmental: transfers, cycles and management*. 1. ed. Chichester, UK: Wiley, 139-147.

LIMA, C. B.; SILVA, P. C.; COSTA, R. A.; MARTINS, Y. A. M.; LANA, R. M. Q., e MALAVOLTA, E. 1997. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2.ed. Piracicaba: POTAFOS, 319p.

LIMA, L. C. Bioestimulante e fertilizantes foliares no cultivo de *Brachiaria* híbrida, 2016, 54f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Solos) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, Minas Gerais, Brasil.

MENDONÇA, E. S., e MATOS, E. D. S. 2005. *Matéria Orgânica do Solo: Métodos de Análises*. Viçosa: [s.n.], p. 77.

MENDONÇA, V. Z., LUIZ, M. M. M., MARCELO, A., e HÉLCIO, H. Y. 2014. Teor e acúmulo de nutrientes no consórcio de milho com forrageiras no sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 9:330-337.

MORAIS, R. F.; QUESADA, D. M.; REIS, V. M.; URQUIAGA, S.; ALVES, B. J. R., e BODDEY, R. M. 2012. Contribution of biological nitrogen fixation to Elephant grass (*Pennisetum purpureum* Schum.). *Plant and Soil*, Dordrecht. 349:1-12,

O'NEILL, P.M.; SHANAHAN, J. F., e SCHEPERS, J.S. 2006. Use of chlorophyll fluorescence assessments to differentiate corn hybrid response to variable water conditions. *Crop Science*, Madison. 46:681-687.

PIRES, C. R. F., LIMA, L. C. D. O., BOAS, V., DE BARROS, E. V., e ALVES, R. R. 2009. Textural quality of tomatoes grown in organic substrates subjected to application of humic substances. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 44:1467-1472.

RAVEN, P.H., EVERT, R.F., e EICHHORN, S.E. 2007. *Biologia vegetal*. 7ª ed. Rio de Janeiro, Guanabara Koogan. 856p.

RODRIGUES, G. B.; MALTONI, K. L., e CASSIOLATO, A. M. R. 2007. Dinâmica da regeneração do subsolo de áreas degradadas dentro do bioma cerrado. *Rev. Bras. Eng. Agrícola e Ambiental*. 11:73-80.

ROSOLEM, C. A., VICENTINI, J. P. T. M. M., e STEINER, F. 2012. Suprimento de potássio em função da adubação potássica residual em um Latossolo Vermelho do Cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 36:1507-1515.

SALA, V.M.R.; NOGUEIRA, E.J.B.; FREITAS, J.G., e SILVEIRA; A.P.D. 2008. Novas bactérias diazotróficas endofíticas na cultura do trigo em interação com a adubação nitrogenada, no campo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa. 32:1099-1106.

SCHAEFER, C. E. G. R.; SANTOS, E. E.; SOUZA, C. M.; NETO, J. D.; FILHO, E. I. F., e C. DELPUPO. 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 - Belo Horizonte), v. 24.

SILVA, G. P.; FONTES, M. P. F.; COSTA, L. M., e BARROS, N. F. 2006. Caracterização química, física e mineralógica de estéreis e rejeito da mineração de ferro da Mina de Alegria, Mariana-MG. *Pesqui. Agropecu.* 36:45-52.

STOLLER DO BRASIL LTDA. (Cosmópolis – SP). Stimulate. Disponível em: <http://www.adapar.pr.gov.br/arquivos/File/defis/DFI/Bulas/Outros/STIMULATE.pdf>
Acesso em: 21 jan. 2018.

VIDEIRA, S. S.; OLIVEIRA, D. M. de; MORAIS, R. F. de; BORGES, W. F.; BALDANI, V. L. D., e BALDANI, J. I. 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., e 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*, 1:1-13.