

Efeito Residual de Doses de Pó de Basalto no Milho Segunda Safra

Residual Effect of Basalt Powder Doses on Corn Second Crop

Jorge González Aguilera^{*a}; Zilnete Alves^a; Alan Mario Zuffo^a; Rafael Felipe Ratke^a; Luane Nathalyne da Silva^b; Carlos Eduardo Soares da Silva^a; Leandris Argente Martínez^b; Hebert Hernán Soto Gonzalez^c

^aUniversidade Federal de Mato Grosso do Sul, Departamento de Agronomia. MS, Brasil.

^bUniversidade Federal de Mato Grosso do Sul, Departamento de Engenharia Florestal. MS, Brasil.

^cTecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico del Valle del Yaqui, Departamento de Ingenierías. México.

^cUniversidad Nacional de Moquegua. Perú.

*E-mail: j51173@yahoo.com

Resumo

Pó de rochas tem sido descritos como remineralizadores e fontes de nutrientes empregados no Brasil nos últimos anos, entretanto, seu efeito residual ainda não é conhecido. O objetivo do trabalho foi avaliar o efeito residual de doses de pó de basalto nas características agrônomicas de cultivares de milho segunda safra. O delineamento experimental foi o de blocos casualizados, dispostos em esquema fatorial 2×4 , com três repetições. Os tratamentos foram constituídos por dois híbridos de milho (HB1: Defender VIP3 e HB2: Pioneer® 30F53VYHR), e quatro doses residuais de pó de basalto (0, 1, 3, e 5 t ha⁻¹) aplicados, superficialmente, na safra 2018/2019. No florescimento pleno foram avaliadas em cinco plantas por parcela: altura da inserção da espiga; altura das plantas; e a área folhar da planta. Na maturação fisiológica do milho foi avaliado o estande; comprimento da espiga; diâmetro da espiga; número de fileira por espiga; número de grãos por fileira em cada espiga; número de grãos por espiga; umidade de grãos; massa de mil grãos e produtividade dos grãos. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e variáveis canônicas. O híbrido HB2 teve comportamento superior para todas as variáveis mensuradas no experimento. Em solos de média a alta fertilidade, a adubação mineral juntamente com o efeito residual do pó de basalto na dose de 5 t ha⁻¹ culminou em melhorias nas características agrônomicas e na produtividade dos grãos da cultivar de milho Pioneer® 30F53VYHR.

Palavras-chave: Produtividade. Pó de Rocha. Remineralizador. Variáveis Canônicas. *Zea mays* L.

Abstract

Rock dust has been described as remineralizers and nutrient sources used in Brazil in recent years, however, its residual effect is not known yet. The objective of this work was to evaluate the residual effect of basalt powder doses on the agronomic characteristics of corn second crop cultivars. The experimental design was a randomized block, arranged in a 2×4 factorial scheme, with three replications. The treatments consisted of two corn hybrids (HB1: Defender VIP3 and HB2: Pioneer® 30F53VYHR), and four residual doses of basalt powder (0, 1, 3, and 5 t ha⁻¹) applied superficially in the 2018 crop/2019. At full flowering, five plants per plot were evaluated: height of ear insertion; plant height; and the plant's leaf area. In the corn's physiological maturation, the stand was evaluated; length of ear; ear diameter; number of rows per spike; number of grains per row in each ear; number of grains per ear; grain moisture; thousand grain mass and grain yield. The data obtained were subjected to analysis of variance and canonical variables. The HB2 hybrid had superior behavior for all the variables measured in the experiment. In medium to high fertility soils, mineral fertilization together with the residual effect of basalt powder at a dose of 5 t ha⁻¹ resulted in improvements in agronomic characteristics and grain yield of the corn cultivar Pioneer® 30F53VYHR.

Keywords: Productivity. Rock Dust. Remineralizer. Canonical variables. *Zea mays* L.

1 Introdução

O milho (*Zea mays* L.) é uma monocotiledônea da família Poacea considerado o cereal de maior produção mundial empregado na alimentação humana e animal. Segundo o 12º levantamento realizado pelo USDA (United States Department of Agriculture), o Brasil ocupou a terceira posição no ranking mundial com 101 milhões de t na safra 2019/2020 respectivamente (FIESP, 2020).

No Brasil, a principal região produtora de milho é o Centro-Oeste, sendo o maior Estado produtor o Mato Grosso seguido do Mato Grosso do Sul > Goiás > Distrito Federal que ao todo produziram na safra 2019/2020 de milho cerca de 53 milhões de t em uma área de 8 milhões de ha (CONAB, 2020). Em MS, a área semeada com a cultura é de 1.840 mil hectares,

que representa 13% da área brasileira cultivada (13.756 mil hectares) com milho segunda safra 2019/2020 na sucessão, principalmente, da cultura da soja (*Glycine max* L.). O milho segunda safra no Brasil se realiza a cada ano, aproveitando as condições climáticas, de solo e os pacotes tecnológicos adotados pelos produtores.

Em geral, a produtividade agrícola é dependente de fatores genéticos, nutricionais, ambientais e fitossanitários (FERNEDA *et al.*, 2019). A nutrição no milho tem um importante papel no desenvolvimento da cultura e o manejo determina a produtividade dos grãos. Os ganhos produtivos dependem do desenvolvimento de tecnologias e melhorias nos sistemas de produção que possibilitam uma maior eficiência na nutrição das plantas e que sejam mais econômicas e sustentáveis.

As fontes de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) como base da nutrição das plantas em pequenas e grandes culturas têm atingido altos preços no mercado internacional nos últimos anos (MANNING; THEODORO, 2018). Alternativas mais econômicas e sustentáveis, como o aproveitamento de remineralizadores de solo têm sido estudadas no emprego na agricultura. O uso de remineralizadores ricos em minerais e oligoelementos proporciona o ambiente perfeito para uma agricultura natural e para a redução dos custos de produção (RAMOS *et al.*, 2015; NUNES *et al.* 2014; AGUILERA *et al.*, 2020).

Estudos recentes têm mostrado algumas divergências em relação aos resultados obtidos ao empregar remineralizadores em espécies de interesse agrícola. De Moraes *et al.* (2020), ao avaliar a soja, após aplicação de doses de pó-de-ametista, obtiveram aumento no número de legumes por plantas, entretanto, não se obteve alteração na produtividade de grãos, independentemente das doses aplicadas. Doses de pó de basalto (0, 1, 3 e 5 t ha⁻¹) não influenciaram o rendimento de três cultivares de soja, mas contribuíram para obter um melhor tamanho das sementes e, assim, melhorar a qualidade das sementes obtidas (AGUILERA *et al.*, 2020).

Por sua vez, Almeida Junior *et al.* (2020) ao empregarem doses de 0 até 24 t ha⁻¹ na cultura da soja obtiveram melhoras nos componentes produtivos para todas as características agrônômicas testadas e a produtividade, com acréscimo de 59% (doses 24 t ha⁻¹ com 5.338 kg ha⁻¹) valores acima da média nacional (3.337 kg ha⁻¹, CONAB) a favor do remineralizador. Na cultura do milho poucos trabalhos mostram pesquisas com remineralizadores do solo, sendo relatado por Alovise *et al.* (2020) que ao avaliarem pó de basalto e serpentinito, verificaram que as variáveis: tamanho de espiga, diâmetro de espiga e número de fileiras de grãos de milho não foram afetados.

Frente ao exposto se tem como hipóteses de que o efeito

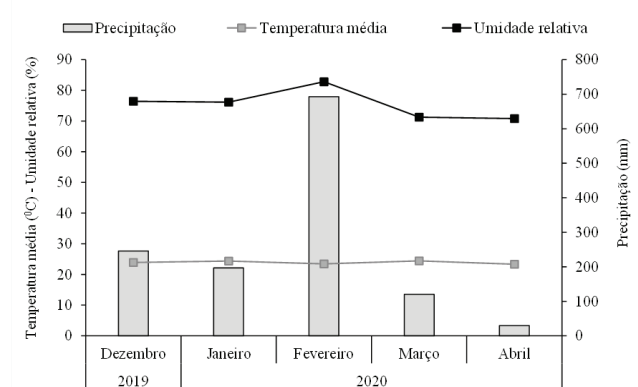
residual de doses de pó de basalto pode melhorar a produção do milho segunda safra, refletindo nas variáveis testadas e nos atributos do solo. Diante do exposto, objetivou-se avaliar o efeito residual de doses de pó de basalto nas características agrônômicas de cultivares de milho segunda safra e atributos do solo.

2 Material e Métodos

2.1 Caracterização da área experimental

O experimento foi realizado em área experimental da Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, em Chapadão do Sul, MS, Brasil (18°46'17,9 de latitude Sul; 52°37'25,0" de longitude Oeste e altitude média de 810 m), durante a segunda safra de 2019/2020 no período de 02/12/2019 até 24/04/2020. O clima da região, segundo classificação de Koppen, é do tipo tropical chuvoso (Aw), com verão chuvoso e inverno seco, com precipitação, temperatura média e umidade relativa anual de 1.261 mm, 23,97 °C, 64,23%, respectivamente. Dados de umidade relativa, temperatura do ar e o acúmulo de chuva foram monitoradas e mostrados na Figura 1.

Figura 1 - Variáveis climatológicas registradas durante a condução do experimento em Chapadão do Sul – MS



Fonte: dados da pesquisa.

Quadro 1 - Principais propriedades químicas do solo utilizado no experimento

pH	MO	P _{Mehlich} ⁻¹	H ⁺ Al	Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	CTC	V
CaCl ₂	g dm ⁻³	mg dm ⁻³	cmol _c dm ⁻³						%
4,3	22,8	12,8	5,7	0,37	2,20	0,40	0,27	8,6	33,5

MO: Matéria orgânica. CTC: Capacidade de troca de catiônica a um pH 7.0. V: Saturação de bases.

Fonte: dados da pesquisa.

O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho Distroférico típico – LVdf de textura argilosa (Quadro 1), segundo Santos *et al.* (2018). Anterior a instalação do experimento e, posteriormente, ao cultivo de milho safrinha nas parcelas foi realizada amostragem da camada de 0,00 a 0,20 m de profundidade do solo, retirando-se seis amostras simples com o auxílio de um trado tipo “holandês”, com a finalidade de caracterizar o solo da área. As amostras obtidas foram homogeneizadas e enviadas para análise físicoquímicas, sendo estas realizadas no Laboratório de Solos da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campus Chapadão do Sul, segundo metodologia de Teixeira *et al.* (2017).

2.2 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, disposto em esquema fatorial 2 × 4, com três repetições. Os tratamentos foram constituídos por dois híbridos de milho [HB1: Defender VIP3 da Syngenta (ciclo precoce, grão duro alaranjado, finalidade grão e silagem) e HB2: 30F53VYHR da Pioneer® (tecnologia Leptra® / Herculex®/ LibertyLink®/ Agrisure Viptera®, ciclo precoce, grão de cor amarelo, finalidade grão e silagem)], e quatro doses de pó de basalto (0, 1, 3, e 5 t ha⁻¹) aplicados superficialmente na safra 2018/2019 (Quadro 2).

Quadro 2 - Principais concentrações de elementos químicos presentes no pó de basalto empregado no experimento

Al ₂ O ₃	CaO	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	MnO	Na ₂ O	P ₂ O ₅	SiO ₂
----- % -----									
12,89	9,28	0,006	15,15	0,79	5,30	0,22	2,37	0,22	50,94
Ba	Ce	Co	Cs	Ga	Gd	Hf	Ho	La	Nb
----- PPM -----									
242	9,28	45,7	0,2	19,4	5,95	4,1	1,16	16,6	11,2
Be	Dy	Er	Eu	Lu	Nd	Ni	Pr	Rb	Sc
----- PPM -----									
< 1	5,89	3,53	1,60	0,47	11,2	35	4,75	18,2	41
Sm	Ta	Tb	Th	Tm	U	V	W	Y	Yb
----- PPM -----									
4,58	0,8	1,04	1,9	0,51	0,4	376	<0,5	33,4	3,28

Fonte: dados da pesquisa.

Cada unidade experimental foi constituída por sete fileiras espaçadas em 0,45 m entre si e com 3 m de comprimento. Como área útil, foram consideradas as três linhas centrais, tendo-se desprezado 0.5 m em cada extremidade, perfazendo uma área de 1,8 m².

2.3 Implantação e condução do experimento

Antes da implantação do experimento, foi cultivado na área experimental a cultura da soja durante duas safras (2018/2019 e 2019/2020).

O preparo da área foi realizado com uma dessecação usando os produtos glifosate (720 g ha⁻¹ i.a) + Haloxifope-P-metilico (63 g ha⁻¹ i.a). Após 10 dias foi realizada a instalação dos ensaios que seguiu o sistema de plantio direto (SPD) empregando uma semeadora no plantio com uma densidade de plantio de quatro plantas por metro lineal. A adubação de base foi constituída de 150 kg ha⁻¹ de MAP (11% de N-amoniaco e 52% de P₂O₅). Aos 30 DAE foi realizada a aplicação em cobertura de 120 kg ha⁻¹ de N, cuja fonte foi a ureia (45% de N). Aos 40 DAE foi realizada a aplicação de adubação foliar dos produtos Actilase ZM (Zn 50,22 g L⁻¹; S 41,65 g L⁻¹; Mn 30,01 g L⁻¹) na dose de 1 L ha⁻¹. Adubação de cobertura foi realizada com 120 kg ha⁻¹ de N empregando como fonte ureia.

As sementes de milho foram tratadas com 70 g de i.a. ha⁻¹ de ciantraniliprole + 70 g de i.a. ha⁻¹ + 0,6; 4,5 e 0,75 g de i.a. ha⁻¹ de metalaxil-M + tiabendazol + fludioxonil, respectivamente.

O controle de plantas daninhas em pós-emergência foi realizado com os herbicidas Atrazina e Tembotri-ona, nas doses de 2 L ha⁻¹ (1.500 g ha⁻¹ i.a) e 240 mL ha⁻¹ (101 g ha⁻¹ i.a), respectivamente. No período anterior ao florescimento, procedeu-se à aplicação do fungicida Epoxiconazole + Pyraclostrobin na dose de 99,7 + 87,5 g de i.a. ha⁻¹ associado aos inseticidas Metomil e Imi-dacloprido + Thiodicarb, na dose de 12,9 e 45 + 135 g de i.a. ha⁻¹.

2.4 Mensuração das avaliações

No florescimento pleno foram avaliadas em cinco plantas por parcela: altura da inserção da espiga (AIE, cm) - determinada da superfície do solo até à inserção da

primeira espiga com auxílio de uma régua milimetrada; altura das plantas (AP, cm) - determinada da superfície do solo até à inserção da última folha com auxílio de uma régua milimetrada; e a área folhar da planta (AFP, cm²) - foi obtida pelo método não destrutivo descrito por Francis *et al.* (1969).

Na fase de maturação fisiológica foi colhida, em cada parcela, um metro linear de plantas sendo coletadas as espigas dessas plantas e nessas avaliado o estande (estande de plantas, unidade); comprimento da espiga (CE, cm) com auxílio de uma régua milimetrada; diâmetro da espiga (DE, mm) com auxílio de um paquímetro digital; número de fileira por espiga (NFi, unidade); número de grãos por fileira em cada espiga (NGFi, unidade); número de grãos por espiga (NGE, unidade); umidade de grãos (UG, %); peso de 1000 grãos por amostra (P1000, g) com auxílio de uma balança analítica de 0.0001 g de precisão corrigido para umidade 13% e a produtividade de grãos (PG, t ha⁻¹) corrigido para umidade 13%.

Os solos das parcelas foram amostrados após a colheita do milho safrinha para análise química. As amostras foram realizadas com auxílio de um trado tipo “holandês”, coletando-se duas amostras na linha e quatro amostras na entrelinha, em diferentes locais da parcela útil, estratificando-se as camadas de 0,00 a 0,20 m de profundidade, formando uma amostra composta por parcela para cada camada do solo. O solo foi levado ao laboratório da UFMS, passada em peneira de 2,00 mm, e seco ao ar. Os solos amostrados foram analisados pH, Al, H+Al, Ca, Mg, P, K, Cu, Fe, Mn e Zn conforme metodologia de Teixeira *et al.* (2017). Os resultados das análises de solos foram utilizados para calcular a saturação por bases (V%) e a capacidade de troca de cátions a pH 7,0 (CTC) das amostras de solo do experimento.

2.5 Análises estatísticas

Os dados coletados das diferentes variáveis mesuradas foram empregados em análises de variância (ANOVA) (teste F). Quando significativo, as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de média. Posteriormente empregou-se o método das variáveis canônicas biplot para visualizar a variabilidade geral do experimento e as tendências multivariadas dos dados. Foi utilizado o software Rbio

(BHERING, 2017) e o SigmaPlot 10.0 ® (Systat Software Inc.) na confecção dos gráficos.

3 Resultados e Discussão

Com exceção do número de fileiras por espiga, as demais variáveis foram altamente significativas apenas para o fator híbrido ($P < 0.01$) (Quadro 3). A falta de efeito significativo para as doses de remineralizador também foi constatada por

Nalon e Oliveira (2009) e por Aguilera *et al.* (2020) em milho e soja, respectivamente. Os coeficientes de variação experimental foram adequados para experimentos de campo, com valores $< 20\%$ mostrando a elevada homogeneidade dos dados obtidos e a precisão experimental (GOMES, 2000). Os valores de médias geral, mínimo e máximo mostram a amplitude de variação dos dados obtidos nas condições experimentais testadas (Quadro 3).

Quadro 3 - Resultados da significância obtida ao realizar a análise de variância de experimento conduzido em campo que avaliou os efeitos de doses de pó de basalto (PR) em duas cultivares de milho (H) conduzidas no município de Chapadão do Sul, MS durante a segunda safra 2019/2020

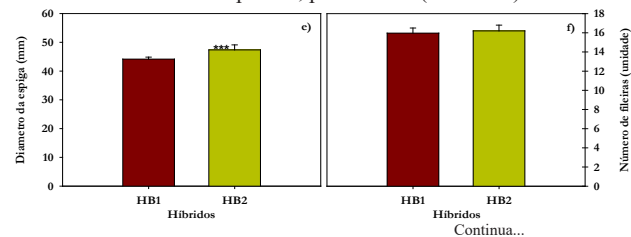
FV	GL	AIE ¹ (cm)	AP (cm)	AFP (cm ²)	CE (cm)	DE (mm)	NFi	NGFi	NGE	P1000 (g)	Prod. (t ha ⁻¹)
H	1	***	***	***	***	***	NS	***	***	*	***
PR	3	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
H x PR	3	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
CV (%)		5,13	4,00	5,59	5,42	3,19	3,15	8,78	9,67	11,46	16,68
MG		100,68	190,99	6031,70	15,53	45,75	16,08	29,43	472,9	129,4	5,20
Mínimo		87,6	173,8	4660,39	13,5	43,51	14,8	25,0	399,6	103,6	3,7
Máximo		113,6	213,4	7107,78	18,3	50,73	16,8	36,8	617,6	160,7	7,83

¹AIE: altura da inserção da espiga; AP: altura da planta; AFP: área foliar da planta; CE: comprimento da espiga; DE: diâmetro da espiga; NFi: número de fileira por espiga; NGFi: número de grãos por fileira em cada espiga; NGE: número de grãos por espiga; P1000: peso de 1000 grãos por amostra; Prod.: produção de grãos por parcela corrigido para umidade 13%. FV: fonte de variação. CV: Coeficiente de variação. MG: média geral. NS, não significativo; * e ***, significativo ao 5, e 0.1 % de probabilidade pelo teste F do Anova, respectivamente.

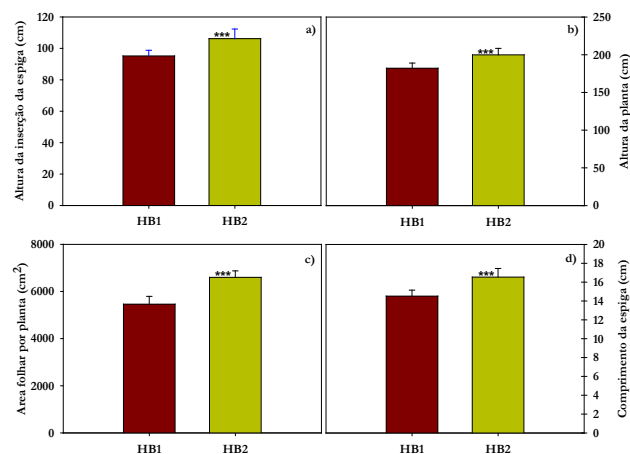
Fonte: dados da pesquisa.

Na ausência de interação entre os fatores avaliados, a comparação do fator híbrido é mostrada nas Figura 2 e 3, observando-se superioridade do HB2 em relação ao HB1 para todas as características avaliadas, Mostrando diferenças altamente significativas, com a exceção das variáveis número de fileira por espiga (Figura 2F). Pocas informações se descrevem na literatura sob o HB1 (Defender VIP3 ou SYN 7G 17 TL). Piletti *et al.* (2014) caracterizou o Defender VIP3 quanto à severidade da mancha de macrospora (*Stenocarpella macrospora*) através de isolados coletados no sul do Brasil em diversas regiões manifestando resposta diferencial. Já do ponto de vista agrônomo se conhece o relato da Syngenta que o caracteriza como milho de ciclo precoce, grão duro alaranjado, finalidade grão e silagem.

Figura 2 - Características agrônômicas de dois híbridos de milho (HB1: Defender VIP3 e HB2: Pioneer® 30F53VYHR) ao serem avaliadas as variáveis altura da inserção da espiga (a), altura da planta (b), área foliar da planta (c), comprimento da espiga (d), diâmetro da espiga (e) e número de fileira por espiga (f) em experimento de campo conduzido no município de Chapadão do Sul, MS durante a safra 2019/2020. *** representa diferenças altamente significativas 0.1% entre as médias \pm desvio padrão, pelo teste F ($P < 0.001$)

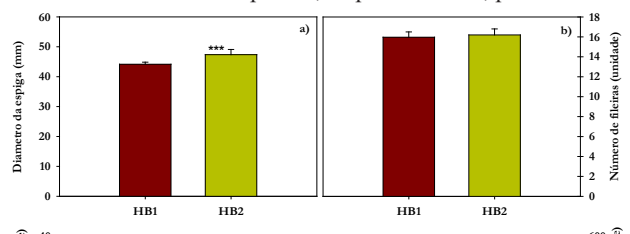


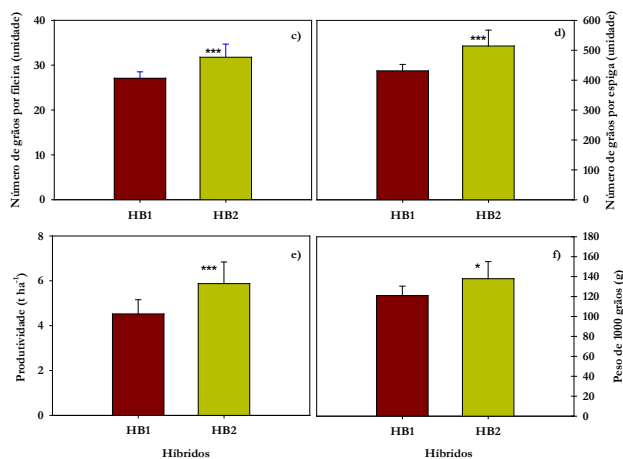
...continuação.



Fonte: dados da pesquisa.

Figura 3 - Características agrônômicas de dois híbridos de milho (HB1: Defender VIP3 e HB2: Pioneer® 30F53VYHR) ao serem avaliadas as variáveis diâmetro da espiga (a), número de fileiras (b), número de grãos por fileira (c), número de grãos por espiga (d), produtividade de grãos (e) e peso de 1000 grãos (f) em experimento de campo conduzido no município de Chapadão do Sul, MS durante a safra 2019/2020. * e *** representam diferenças significativas ao 5% e altamente significativas 0.1% entre as médias \pm desvio padrão, respectivamente, pelo teste F





Fonte: dados da pesquisa.

O HB2 (Pioneer® 30F53VYHR) é um híbrido marca Pioneer® com a tecnologia Leptra® / Herculex®/ LibertyLink®/ Agrisure Viptera® do grupo de maturação precoce, desenvolvido para produção de Grão/Silagem. Este híbrido é recomendado para o Estado de MS na safra e na safrinha (coincidindo com o período avaliado em nosso experimento), e nessa última época, os obtentores destacam seu elevado potencial produtivo, ampla adaptação com estabilidade produtiva e qualidade de grãos, elevada resposta ao manejo e precocidade (PIONEER, 2020), atributos que confirmam a superioridade desse em relação ao HB1 para as características avaliadas (Figuras 2 e 3) e as condições ambientais (Figura 1) de Chapadão do Sul na segunda safra de 2019/2020.

Quadro 4 - Comportamento de milho em diferentes doses residuais de pó de basalto em experimento de campo conduzido no município de Chapadão do Sul, MS durante a segunda safra 2019/2020

Doses (t ha ⁻¹)	AIE ¹ (cm)	AP (cm)	CE (cm)	DE (mm)	NFi
0	98,37±7,63	185,93±14,64	14,10±0,79	44,14±0,66	15,60±0,40
1	99,13±6,92	189,37±8,47	14,87±0,42	44,24±0,79	15,93±0,50
3	101,80±8,01	194,97±13,39	14,67±0,81	44,69±0,79	16,27±0,46
5	103,40±8,09	193,70±10,69	14,43±0,55	43,53±0,22	16,07±0,76
Doses (t ha ⁻¹)	NGFi	NGE	P1000 (g)	Prod (t ha ⁻¹)	
0	27,27±1,86	425,33±19,84	123,2±4,5	4,87±1,06	
1	26,47±1,33	420,93±25,52	124,6±9,8	4,34±0,46	
3	27,80±2,03	449,20±22,62	117,4±15,4	4,40±0,51	
5	26,80±0,40	430,27±14,91	118,3±9,3	4,49±0,59	

¹AIE: altura da inserção da espiga; AP: altura da planta; AFP: área folhar da planta; CE: comprimento da espiga; DE: diâmetro da espiga; NFi: número de fileira por espiga; NGFi: número de grãos por fileira em cada espiga; NGE: número de grãos por espiga; P1000: peso de 1000 grãos por amostra; Prod: produtividade de grãos por parcela corrigido para umidade 13% e ± desvio padrão das médias.

Fonte: dados da pesquisa.

As doses de pó de basalto previamente aplicadas por Aguilera *et al.* (2020), em áreas de plantio direto em que se aferiram duas safras de soja 2018/2019 (AGUILERA *et al.*, 2020) e 2019/2020 (dados não publicados) serviram de base para avaliar o efeito residual a longo prazo e o efeito sob a cultura do milho solteiro. No resultado da ANOVA se observou ausência de efeito para este fator para todas as características avaliadas, mostrando-se que as doses de pó de basalto empregadas tiveram um efeito coincidente não superando estatisticamente ao controle (ausência de pó de basalto) empregado no experimento, verificado pelo teste F de Fisher-Snedecor (Quadros 3 e 4).

Aguilera *et al.* (2020) relataram ausência de efeitos sob o rendimento de três cultivares de soja na safra 2018/2019, porém observaram que as doses de pó de basalto testadas contribuíram para obter um melhor tamanho das sementes ao considerar o tamanho de peneira, assim, melhorar a qualidade das sementes obtidas. De Moraes *et al.* (2020) relatam que a aplicação de pó-de-ametista resultou em aumento no número de legumes por plantas, todavia, não alterou a produtividade de grãos de soja, independentemente das doses aplicadas do remineralizador. Straaten (2006) relata que a transformação dos minerais, que compõem as rochas moídas, depende

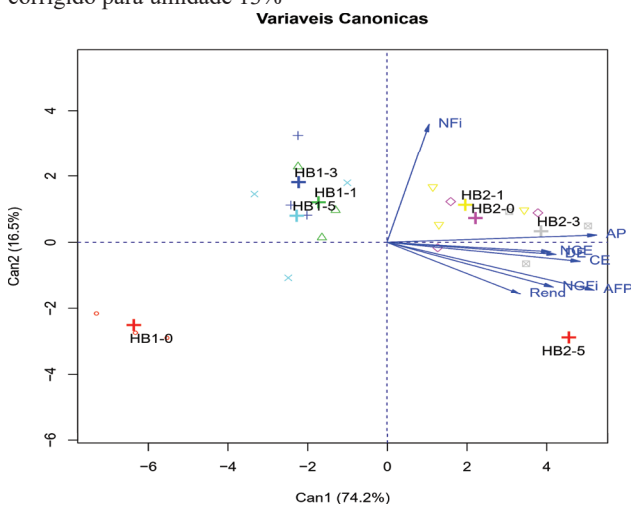
da atividade biológica presente no solo e, aparentemente, pode ser muito pequena (de longo prazo) ou nula, levando a conclusões precipitadas de que as rochas não podem trazer benefícios para solos agrícolas e plantas cultivadas. No caso de SPD, estas atividades se beneficiam pelo constante aporte de matéria orgânica neste sistema e o estímulo a aumento da vida microbiana, e assim a possibilidade de estimular o desenvolvimento de organismos que disponibilizaram os nutrientes que os pós de rochas aportam.

É conhecido e descrito por Anda *et al.* (2009) que os efeitos dos pós de rochas no geral dependem em parte do tamanho da partícula aplicado entre menor tamanho melhor disponibilidade de nutrientes, das propriedades químicas (MANNING; THEODORO, 2018), das condições dos solos e sua atividade microbiana (RAMOS *et al.*, 2015), entre outros fatores. Da somatória desses é que se consegue ter uma resposta a curto, médio e longo prazo, e daí, a necessidade de se avaliar em um período maior para mensurar e quantificar esses efeitos em mais de uma cultura como feito no presente trabalho se considera que na mesma área ao longo do tempo foi avaliada a soja (AGUILERA *et al.*, 2020) e o milho.

Análises multivariadas são empregadas para melhor interpretar dados como uma ferramenta que por meio de um

gráfico biplot melhor distribui os tratamentos e promove uma melhor interpretação dos resultados obtidos. As duas primeiras variáveis canônicas explicam 90,7% (74,2% relativa à primeira Can1, e 16,5% relativa à segunda Can2, Figura 4) ao considerar a combinação dos dois fatores avaliados (híbrido de milho x doses de pós de basalto).

Figura 4 - Representação das duas primeiras variáveis canônicas, estabelecidas pela combinação linear de sete características associadas a experimento de campo conduzido no município de Chapadão do Sul, MS durante a safreinha 2019/2020. Híbridos de milho (HB1: Defender VIP3 e HB2: Pioneer® 30F53VYHR). Doses de pós de basalto (0, 1, 3, 5 t ha⁻¹). AP: altura da planta; AFP: área folhar da planta; CE: comprimento da espiga; DE: diâmetro da espiga; NFi: número de fileira por espiga; NGFi: número de grãos por fileira em cada espiga; NGE: número de grãos por espiga; Produtividade dos grãos: PG, por parcela corrigido para umidade 13%



Fonte: dados da pesquisa.

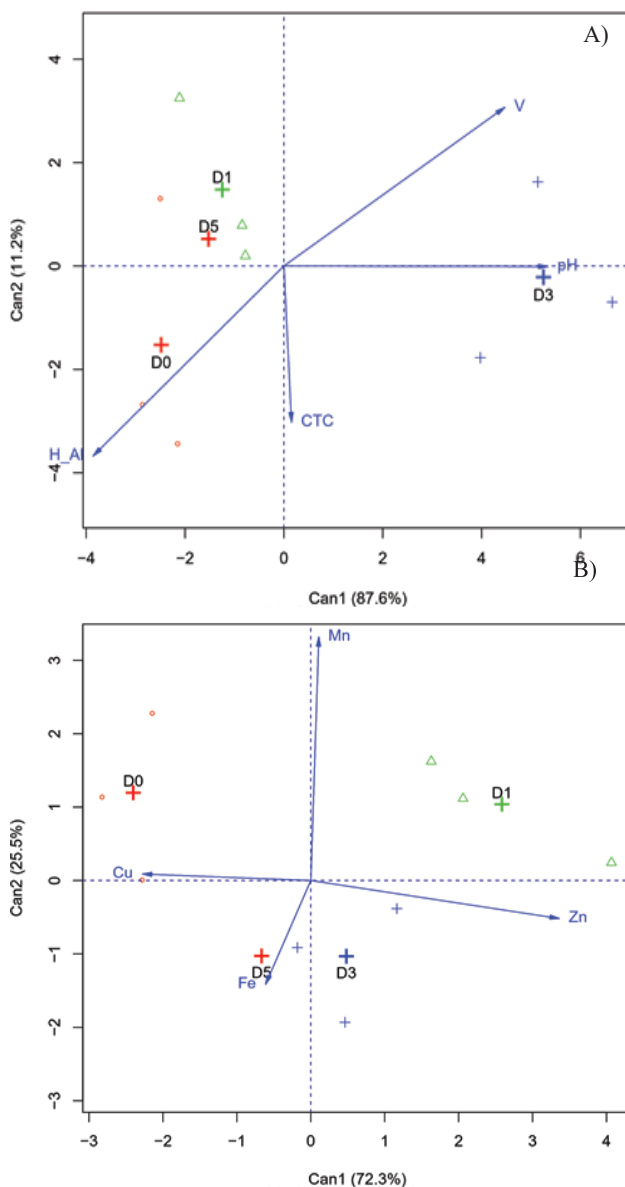
A distribuição dos tratamentos no gráfico da Figura 4 mostra que o HB1 independente das doses de pó de basalto não manifestou nenhuma associação com as características avaliadas, entretanto, o HB2 manifesta um comportamento totalmente diferente associado com todas as características avaliadas. A combinação do híbrido HB2 Pioneer® 30F53VYHR com a dose de 3 e 5 t ha⁻¹ de pó de basalto (HB2-3 e HB2-5) foram os tratamentos que mais influenciaram a maioria dos componentes de rendimento e o próprio rendimento, com a exceção do número de fileiras (NFi).

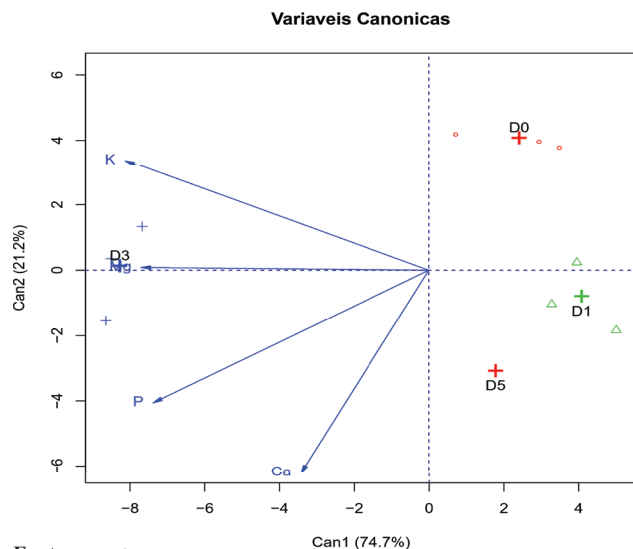
A ausência do remineralizador (dose zero) quando distribuídas no gráfico das variáveis canônicas (Figura 4) manifestam respostas contrastantes associadas com as respostas dos híbridos empregados com falta de associação do HB1-0 e associação para o HB2-0. De modo geral, o HB1 não manifestou associação com as variáveis medidas (Figura 4), localizando-se todas as combinações possíveis (HB1-doses) em quadrante oposto as variáveis. Quando considerado o HB2 a resposta é diferente, localizando-se todas as combinações (HB2-doses) associadas com as variáveis medidas, com associação da variável NFi com as combinações HB2-1 e HB2-0, e o restante das variáveis mais

associadas com as combinações que incluem as doses mais altas de remineralizador (HB2-3 e HB2-5).

Após a coleta das plantas no campo foi realizada uma análise de solo e realizada uma análise multivariada pelo método de variáveis canônicas e melhor caracterizar a resposta que se observou no milho em relação a fertilidade do solo (Figura 5). O solo inicialmente (Quadro 1) tinha uma fertilidade de média a alta e as doses de pó de basalto viriam a complementar ainda mais essa fertilidade que tinha um histórico de plantio de soja e milho em sistema de plantio direto.

Figura 5 - Representação das duas primeiras variáveis canônicas, estabelecidas pela combinação linear de atributos do solo associadas a experimento de campo conduzido no município de Chapadão do Sul, MS durante a safreinha 2019/2020. Doses de pós de basalto 0, 1, 3, 5 t ha⁻¹ relacionadas com D0, D1, D3 e D5 respectivamente. Em A) a acidez do solo (pH + H-Al) + CTC + V + MO; em B) microelementos [Cu, Mn, Zn, Fe] do solo e em C) macro elementos [Ca, P, Mg, K] do solo





Fonte: os autores.

Ao observar a resposta no gráfico biplot da Figura 5A para a acidez do solo (pH + H-Al) + CTC + V + MO, observa-se que apenas a D3 (3 t ha⁻¹) teve um efeito sob o pH do solo, entretanto, a D0 (0 t ha⁻¹) esteve associada com a acidez com alumínio. Ao observar a associação dos microelementos [Cu, Mn, Zn, Fe] do solo com as doses (Figura 5B) observa-se associação das doses D3 e D5 (3 e 5 t ha⁻¹ respectivamente) com o elemento Fe. Quando avaliado os macros elementos [Ca, P, Mg, K] do solo observa-se clara associação das doses D3 e D5 com todos esses elementos (Figura 5C). Esses resultados mostram que as doses de pó de basalto, além de influenciar as características agrônômicas (Figura 4) exercem uma importante ação sobre a disponibilidade de micro (Figura 5B) e macro (Figura 5C) nutrientes no solo.

Respostas semelhantes no solo ao trabalhar com soja e milho por um período de quatro anos foram obtidas por Hanisch *et al.* (2013). Os autores encontraram influência de doses crescentes de pó de basalto, no aumento na disponibilidade de Zn, Cu, Fe, Mg e P no solo, resultado obtido ao longo do tempo, e isso confirma que a liberação de nutrientes do pó de basalto é de liberação lenta. Esse resultado associado com a liberação lenta de nutrientes do pó de basalto pode explicar a resposta obtida por Aguilera *et al.* (2020) na cultura da soja e os resultados do presente trabalho em milho.

Várias pesquisas desenvolvidas no Brasil têm mostrado o emprego de resíduos de rochas moídas e seu efeito no desenvolvimento de *Theobroma cacao* L. (ANDA *et al.*, 2009); *Myrciaria dubia* (WELTER *et al.*, 2011); *Fragaria ananassa* Duch (CAMARGO *et al.*, 2012); *Triticum aestivum* L. (RAMEZANIAN *et al.*, 2013); *Solanum tuberosum* (SANTOS *et al.*, 2014) e *Phaseolus vulgaris* L. (BERTOLDO *et al.*, 2015).

Estas respostas, muitas vezes de longo prazo, permitem afirmar que dois anos após aplicação do pó de basalto nas condições de solo e clima de Chapadão de Sul, manifestam um efeito positivo sob componentes de produtividade e fisiologia da planta de milho avaliadas melhorando também a

disponibilidade de macros e micronutrientes associados com as maiores doses de pó de basalto. Ao trabalhar com solos de fertilidade média a alta, em que se fornece adubação química (de plantio e cobertura) as demandas de nutrientes necessária para a cultura do milho e soja (experimentos anteriores de AGUILERA *et al.*, 2020) podem ser supridas na dose zero (controle) e, com isso, a dificuldade de obter resultados mais diretos ao empregar testes uni-variados, o que se confirma ao analisar, de modo multivariado, os dados e obter associação das variáveis com as doses empregadas de pó de basalto. Avaliações de longo prazo continuam a ser uma premissa dos estudos com aplicação de remineralizadores de solo no geral e continua a ser uma recomendação deste estudo para estudos futuros.

4 Conclusão

O efeito residual do remineralizador a base de pó de basalto não melhorou o desempenho do milho em solo de média a alta fertilidade, entretanto, melhorou os atributos do solo.

O híbrido de milho Pioneer® 30F53VYHR culminou em um desempenho superior nas condições do Chapadão do Sul, sendo possível a recomendação de plantio nestas condições testadas.

O emprego das análises multivariadas de variáveis canônicas permite afirmar que a combinação do híbrido de milho Pioneer® 30F53VYHR e as doses superiores do remineralizador (3 e 5 t ha⁻¹) culminaram em melhorias nas características agrônômicas.

Agradecimentos

Agradecemos à Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS – CPCS). Ao produtor Evandro Loeff e sua equipe, por aportarem o pó de basalto usado no experimento. Agradecemos o apoio financeiro da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 em nome dos Professores Visitantes JGA e AMZ. À Fundação Chapadão por apoiar com as máquinas e sementes para a implementação do experimento em campo.

Referências

- AGUILERA, J.G. *et al.* Influencia de dosis de polvo de basalto sobre cultivares de soya. *Res. Soc. Develop.*, v.9, n.7, p.e51973974, 2020. doi: 10.33448/rsd-v9i7.3974
- ALMEIDA JÚNIOR, J.J. *et al.* Análise das variáveis tecnológicas do milho em função das doses crescentes de condicionador pó de rocha. *Braz. J. Develop.*, v.6, n.11, p.88440-88446, 2020.
- ALOVISI, A.A. *et al.* Silicatagem no solo e na produtividade da cultura do milho. *Rev. Gestão Sustentab. Amb.*, v.9, n.esp., p.933-950, 2020. doi: 10.19177/rgsa.v9e012020933-950
- ANDA, M. *et al.* Dissolution of ground basalt and its effect on oxisol chemical properties and cocoa growth. *Soil Scie.*, v.174, p.264-71, 2009. doi: 10.1097/SS.0b013e3181a56928
- BERTOLDO, J. *et al.* Alternativas na fertilização de feijão visando a reduzir a aplicação de N-ureia. *Pesq. Agropec. Trop.*, v.45, n.3, p.348-355, 2020. doi:10.1590/1983-40632015v4534885

- BHERING, L.L. Rbio: a tool for biometric and statistical analysis using the R Platform. *Crop Breeding Appl. Biotechnol.*, v.17, p.187-90, 2017. doi:10.1590/1984-70332017v17n2s29
- CAMARGO, C.K. *et al.* Produtividade do morangueiro em função da adubação orgânica e com pó de basalto no plantio. *Semina Ciênc. Agr.* v.33, p.2985-2994, 2012. doi:10.5433/1679-0359.2012v33Supl1p2985
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Observatório agrícola, acompanhamento da safra brasileira grãos. 2020. <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>.
- DE MORAIS, K.A.D. *et al.* Desempenho agrônômico de cultivares de soja precoce em função de doses de pó-de-ametista. *Ensaaios Ciênc.*, v.24, p.343-347, 2020. doi:10.17921/1415-6938.2020v24n4p343-347
- FERNEDA B.G. *et al.* Produtividade real e potencial da sucessão soja/milho em região de transição Cerrado-Amazônia. *Agrometeoros*, v.27, n.1, p.9-18, 2019. doi:10.31062/agrom.v27i1.26588
- FIESP - Federação das Indústrias do Estado de São Paulo. Safra Mundial de Milho. São Paulo: Fiesp. 2019. Disponível em: Federação das Indústrias do Estado de São Paulo – Fiesp <https://www.fiesp.com.br/indices-pesquisas-e-publicacoes/safra-mundial-de-milho-2/attachment/file-20200413143957-boletim milho abril 2020/>. Acesso em: 11 maio 2021.
- FRANCIS, C.A. *et al.* A rapid method for plant leaf area estimation in maize (*Zea mays* L.). *Crop Science*, v.9, p.537-539, 1969. doi:10.2135/cropsci1969.0011183X000900050005x
- GOMES, F.P. Curso de estatística experimental. Piracicaba: Degaspari, 2000.
- HANISCH, A.L. *et al.* Efeito de pó de basalto no solo e em culturas anuais durante quatro safras, em sistema de plantio direto. *RBAS*, v.3, n.2, p.100-107, 2013.
- MANNING, D.A.C.; THEODORO, S.H. Enabling food security through use of local rocks and minerals. *Extractive Ind. Soc.*, p.1-8, 2018. doi: 10.1016/j.exis.2018.11.002
- NALON, J.M; OLIVEIRA, J.R.F. Avaliação do uso de pó de basalto e hiperfosfato de gafsa na cultura de milho em sucessão a coquetel de adubos verdes no Município de Bituruna-PR. *Rev. Bras. Agroecol.*, v.4, n.2, p.2282-2285, 2009.
- NUNES, J.M.G. *et al.* Evaluation of the natural fertilizing potential of basalt dust wastes from the mining district of Nova Prata (Brazil). *J. Cleaner Prod.*, v.84, p.649-656, 2014. doi: 10.1016/j.jclepro.2014.04.032
- PILETTI, G.J. *et al.* Resistência de genótipos de milho à mancha de macrospora. *Summa Phytopathol.*, v.40, n.1, p.24-28, 2014. doi:10.1590/S0100-54052014000100003
- PIONEER. Híbridos de Milho 30F53VYHR. 2020. Disponível em: <http://www.pioneersementes.com.br/milho/central-de-produtos/produtos/30f53vyhr>. Acesso em: 14 out. 2021.
- RAMEZANIAN, A. (2013). Addition of a volcanic rockdust to soils has no observable effects on plant yield and nutrient status or on soil microbial activity. *Plant Soil*, v.367, p.419-436, 2013. doi:10.1007/s11104-012-1474-2
- RAMOS, C.G. *et al.* A preliminary evaluation of volcanic rock powder for application in agriculture as soil a remineralizer. *Scie.Total Environ.*, v.513, p.371-380, 2015. doi: 10.1016/j.scitotenv.2014.12.070
- SANTOS, H.G. *et al.* Embrapa. Sistema brasileiro de classificação de solos. Embrapa, 2018.
- SANTOS, J. *et al.* Produção agroecológica de batata em relação à doses de pó de rocha. *Rev. Tecnol. Ciênc. Agropec.*, v.8, n.1, p.29-35, 2014.
- STRAATEN, P.V. Farming with rocks and minerals: challenges and opportunities. *An. Acad. Bras. Ciênc.*, v.78, n.4, p.731-747, 2006.
- TEIXEIRA, P.C. *et al.* Embrapa. Manual de métodos de análises de solos. Embrapa, 2017.