

Remineralizador de Solo na Cultura da Soja em Diferentes Sistemas de Plantio e Modos de Aplicação

Soil Remineralizer In Soybean Crop in Different Planting Systems and Application Forms

Talles Edmundo de Assis^a; José Antônio Maior Bono^{*a}

^aUniversidade Anhanguera Uniderp, Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Produção e Gestão Agroindustrial. MS, Brasil.

*E-mail: bono@anhanguera.com

Resumo

A demanda de fertilizantes pela agricultura é crescente, bem como, novas fontes de menor poder impactante ao ambiente. Uma alternativa seria o uso dos remineralizadores de solo (RM), também conhecidos como rochagem. Este trabalho foi realizado com o objetivo de testar a viabilidade agrônômica do remineralizador do solo (RM) no sistema de plantio convencional (SPC) e direto (SPD). Os experimentos foram realizados em solo classificado como Latossolo Vermelho Distrófico, sem sistema fatorial com 5 doses (0, 800, 1600, 2400 e 3200 kg ha⁻¹) e duas formas de aplicação (lanço e sulco) e quatro repetições. Parcelas foram distribuídas a campo segundo delineamento de blocos casualizados. Não foram observadas diferenças estatísticas para as análises biométricas e para os atributos químicos do solo diante das aplicações do RM, entretanto, foram observadas diferenças entre as doses do RM para as análises foliares com resultados mais eficientes no SPC. Observou-se também interferência do RM para produtividade da soja no sistema de plantio convencional (SPC) e no sistema de plantio direto (SPD) com melhores resultados observados no SPC. Não houve diferença quanto as aplicações no sulco e à lanço. O RM, mesmo com sua solubilidade lenta, foi eficiente no aumento das concentrações de nutrientes na folha de soja, independente do sistema de cultivo adotado, convencional ou direto.

Palavras-chave: Adubação. Plantios Direto e Convencional. Sulco. Lanço. Produtividade

Abstract

The demand for fertilizers by agriculture is growing, as well as new sources of less impactful power to the environment. An alternative would be the use of soil remineralizers (MR), also known as rocking. This work was carried out with the objective of testing the agronomic viability of the soil remineralizer (MR) in the conventional (SPC) and no-tillage (SPD) system. The experiments were carried out in soil classified as Oxsoil, with ut factorial system with 5 doses (0, 800, 1600, 2400 and 3200 kg ha⁻¹) and two forms of application (lance and furrow) and four replications. Plots were distributed in the field according to a randomized block design. No statistical differences were observed for the biometric analyses and for the chemical attributes of the soil before the MR applications, however, differences were observed between the MR doses for the leaf analyses with more efficient results in the SPC. It was also observed interference of the MR for soybean yield in the conventional planting system (SPC) and in the no-tillage system (DPS) with better results observed in the SPC. There was no difference in the applications in the groove and the section. The RM, even with its slow solubility, was efficient in increasing the concentrations of nutrients in the soybean leaf, regardless of the cultivation system adopted, conventional or direct.

there were for leaf analysis and soybean yield in SPC and SPD. It is concluded, therefore, that the RM has characteristics that make it difficult to solubilize the soil in the short time, however, it changes the accumulation of nutrients by the plant, having faster responses when submitted to applications in areas of soil. conventional planting.

Keywords: Fertilization. Direct Seeding and Conventional Tillage. Furrow. Haul. Yield.

1 Introdução

O Brasil apresentou na safra dos anos de 2017/2018 a maior produtividade em grãos de soja entre os principais países produtores do mundo. De acordo com a Campanha Nacional de Abastecimento (CONAB, 2018), o Brasil é considerado o segundo maior produtor de soja, ficando atrás dos Estados Unidos.

Como base agricultável, as condições químicas e estruturais dos solos agrícolas surgem como aporte informacional na tomada de decisão para a instalação das culturas em geral, incluindo a soja. De acordo com a Embrapa (2018), 39% dos solos brasileiros são denominados latossolos, cujas características principais são a acidez elevada e os altos

índices de intemperização, fatores estes que diminuem a eficiência da fertilização química.

Entre as tecnologias aplicadas a agricultura, a que demanda maior atenção quanto a eficiência são os fertilizantes. O uso de fertilizantes químicos na cultura da soja é alto e impacta diretamente no custo de produção e no ambiente de forma negativa (CHRISTMANN, 2017; MARTINS *et al.*, 2010; SOUZA *et al.*, 2017). A opção para aumentar a eficiência da adubação são os remineralizadores de solo (RM), também conhecidos como rochagem.

Devido ao maior tempo necessário para solubilização dos minerais dos RMs, estudos têm sido realizados com o objetivo de analisar as aplicações em culturas de ciclo longo (GUELF-

SILVA *et al.*, 2012; SOUZA *et al.*, 2013). Entretanto, dispostos das necessidades de suprimir ou complementar a adubação convencional adotada em outras culturas, realizaram-se também estudos nas culturas de ciclo curto, atentando-se para o impacto econômico que a tecnologia da rochagem pode gerar (FERREIRA *et al.*, 2009; PRATES *et al.*, 2010).

Ademais, obtiveram notoriedade estudos acerca dos mecanismos que possam melhorar a solubilização do RM, como: ácidos químicos e orgânicos, métodos de aplicação e o uso do produto em diferentes sistemas de plantio (FERREIRA *et al.*, 2009; LOPES-ASSAD *et al.*, 2006; SOUZA *et al.*, 2013).

Diferentemente da abordagem de outros trabalhos onde tratam dos RMs como possíveis fornecedores de nutrientes para o solo (SOUZA *et al.*, 2013; THEODORO *et al.*, 2012), este pretende conhecer as melhores formas de aplicação dos remineralizadores para contribuir com a aplicabilidade da tecnologia elevando a produtividade e diminuindo custos.

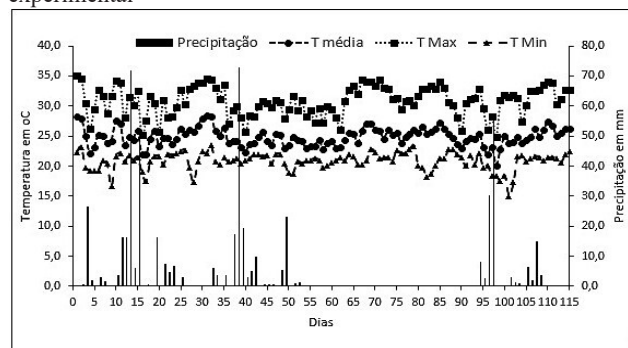
Diante do exposto, o artigo tem como objetivo difundir a técnica da rochagem na cultura da soja, abordando seus efeitos nos sistemas de plantio direto e convencional, com aplicações a lanço e no sulco, avaliando as mudanças causadas na fertilidade do solo, no acúmulo de nutrientes na soja, nas interferências do RM na biometria da planta e quanto a incrementos de produtividade.

2 Material e Métodos

2.1 Local e condução do experimento

O experimento foi conduzido na região de Sidrolândia (MS), em um solo classificado como Latossolo Vermelho Distroférico (EMBRAPA, 2018), com 58% de argila e topografia plana, localizado nas coordenadas de 21° 2' 17,65" Sul e 54° 55' 43,56" Oeste a 440 m de altitude. O clima está situado na faixa de transição entre o sub-tipo Cfa-mesotérmico úmido sem estiagem e o sub-tipo Aw - tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno pela classificação de Köppen (1928). A precipitação acumulada no período experimental foi de 545 mm com uma temperatura média de 24,83 e temperatura média das máximas de 30,83 °C e temperatura média das mínimas mínima de 20,86°C (Figura 1).

Figura 1 - Valores médios das temperaturas médias diária, máxima e mínima e precipitação diária acumulada no período experimental



Fonte: CEMTEC (2019).

As áreas experimentais tinham históricos de vários ciclos sucessivos de soja e milho 2ª safra (safrinha), tanto no sistema convencional como no plantio direto. A semeadura ocorreu em 16 de novembro de 2017, em linhas espaçadas de 0,50 m, distribuindo-se 16 sementes por metro linear da variedade de soja Monsoy6410. As sementes foram inoculadas e tratadas com fungicida e inseticida.

Os tratamentos constituíram-se de doses de um RM (0, 800, 1600, 2400 e 3200 kg ha⁻¹), distribuídos a lanço (área total) e no sulco, manualmente, nos sistemas de plantio direto e convencional. As parcelas experimentais foram de 10 m² (2 m x 5 m, com 4 linhas por parcela) e os tratamentos distribuídos nas mesmas conforme o delineamento de blocos casualizados, com 4 repetições. A parcela útil considerada nas avaliações foi de 3 m², ou seja, as duas linhas centrais e deixando de bordadura um metro de suas extremidades.

2.2 Origem e características do remineralizador

O remineralizador (RM) foi obtido através de uma pedra comercial, localizada no município de Dourados, no estado do Mato Grosso do Sul (MS), oriundo de uma rocha basáltica. Para qualificá-la como pó, a rocha foi fragmentada e passada em moinho de bolas, tamisadas em um separador vibratório de peneiras para a obtenção dos diâmetros de 0,10 e 0,05 mm. O material foi analisado e caracterizado para os teores de óxidos pelo método fusão com tetraborato de lítio e quantificado por espectrometria de fluorescência de raio X (XRF - XRF79C) que foram: SiO₂ (52,97%), Al₂O₃ (13,98%), Fe₂O₃ (13,12%), CaO (7,22%), MgO (2,99%), TiO₂ (2,2%), P₂O₅ (0,7%), Na₂O (3,09%) e K₂O (1,85%), caracterizando o material como possível fornecedor de Ca e Mg para o solo (HÖFIG *et al.*, 2022).

Para a caracterização mineralógica, usou-se a técnica de difração de raios-x (BRASIL, 2014). Os elementos principais contido no remineralizador encontram-se no Quadro 1.

Quadro 1 - Valores médios dos principais elementos minerais e menores do remineralizador utilizado, atingidos os níveis de detecção. Método: (BRASIL, 2014) Manual de Métodos Oficiais para Fertilizantes Minerais, Orgânicos e Corretivos (MAPA)

Minerais	(%)	Elementos Menores	(ppm)	Elementos Menores	(ppm)
Ortoclássio	13,1	Escândio	20	Estrôncio	485
Magnetita	1,68	Vanádio	165	Ítrio	43
Apatita	1,56	Cobalto	15	Zircônio	310
Quartzo	4,34	Níquel	14	Nióbio	24
Ilmenita	1,52	Cobre	251	Molibdênio	6
Hematita	1,18	Zinco	143	Césio	19
Plagioclássio	55,83	Gálio	27	Bário	600
Clinopiroxênio	19,94	Rubídio	39	Lantânio	34

Fonte: dados da pesquisa.

2.3 Características avaliadas

No início do florescimento da cultura (estádio R1/R2) foi realizada amostragem de folhas, coletando-se a terceira folha a partir do ápice das plantas, sem pecíolo, em número de dez por parcela. Essas amostras foram lavadas em água desionizada, colocadas para secar em estufa com circulação forçada de ar à temperatura de 60 ± 2 °C, até atingir massa constante, e moídas em moinho do tipo Wille. Foram determinadas as concentrações de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, cobre, boro, manganês e zinco, conforme os métodos descritos em EMBRAPA (2009).

Após as plantas atingirem o estado de maturação fisiológica (R8) realizou-se a colheita de forma manual colhendo toda a parcela útil, cortando a planta rente à superfície do solo. No material colhido avaliou-se a biometria da planta através da medição da inserção 1ª vagem, número de vagens por planta, número de grãos por vagem, altura de planta e massa de toda a planta. Após, procedeu-se a debulha dos grãos de forma manual e mediu-se a massa dos grãos e de 1000 grãos selecionados de forma aleatória. Ambas as massas avaliadas foram corrigidas a umidade de 13% e a massa dos grãos extrapolado para kg ha^{-1} para obter a produtividade.

Após a colheita coletou-se amostra de solo em cada parcela, na camada de 0 a 0,2 m, para análise de fertilidade do solo. Foram determinados: pH em água (H_2O) e em cloreto de cálcio (CaCl_2), fósforo disponível (P - Melich), potássio (K^+), cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}), hidrogênio e alumínio ($\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$) trocáveis e matéria orgânica (MO) conforme Embrapa (2011).

2.4 Análise estatística

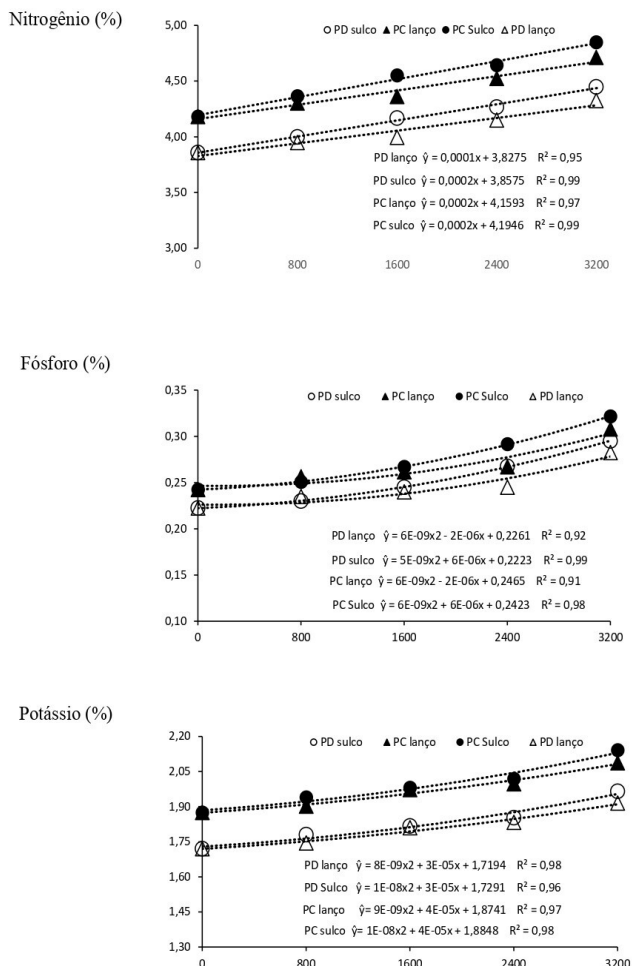
Os dados foram submetidos de homocedasticidade da variância e de normalidade. Verificada preceitos para análise de variância, procedeu-se a mesma a 5% de probabilidade e, quando significativo, efetuou-se análise de regressão linear aplicado para doses e as características avaliadas e análise multivariada pelos componentes principais (PCA).

3 Resultados e Discussão

3.1 Análise foliar

Os macronutrientes (N, P e K) tiveram aumento no acúmulo no tecido foliar, com as doses de RM aplicados, para ambos sistemas estudados e não apresentaram diferença significativa, quanto a forma de aplicação. No entanto, os teores médios foram superiores no sistema de plantio convencional (Figura 2). Observou-se também valores médios superiores para as aplicações feitas no sulco de plantio quando comparadas às aplicações à lanço.

Figura 2 - Efeitos do remineralizador (RM) aplicados no sulco e à lanço para teores foliares de macronutrientes primários na cultura da soja sob sistemas de plantio convencional (SPC) e direto (SPD)



Fonte: os autores.

Para o teor de nitrogênio nas folhas, ambos os sistemas de plantio se mostraram com aporte nutricional suficiente para a soja. Entretanto, de acordo com a figura 2, a única diferença entre eles é que no SPC no sulco foi alcançado o teor ideal de N na folha (4,5%) quando se aplicou em torno de 1.600 kg ha^{-1} do remineralizador, e à lanço quando aplicou-se 3.200 kg ha^{-1} , feito não alcançado no SPD em ambos os modos de aplicação mesmo após a última dose do material (3.200 kg ha^{-1}).

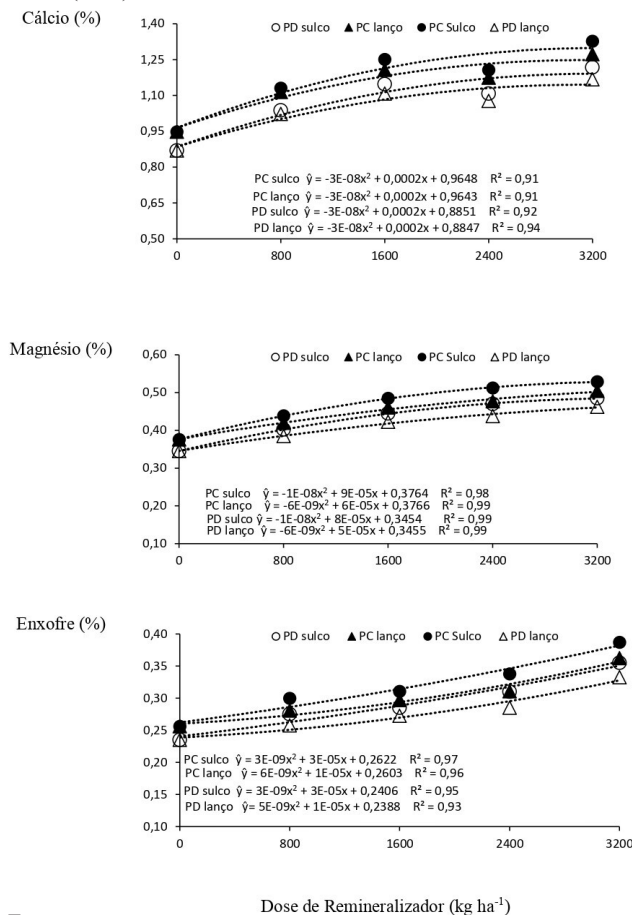
Para o teor de P encontrado na cultura, alerta-se que ela acumulou a quantidade mínima necessária (0,25%) quando se aplicou 800 kg ha^{-1} do remineralizador no SPC em ambos os modos de aplicação e 2.400 kg ha^{-1} no SPD no sulco e 3.000 kg ha^{-1} no SPD à lanço, na média das aplicações, mais uma vez demonstrando maior eficiência no sistema de plantio convencional.

Para o K, ambos os sistemas se mostraram favoráveis a acumulação pela planta, mesmo no tratamento onde não houve a aplicação do remineralizador, possuindo em suas folhas o teor mínimo necessário de 1,7%, de acordo com Martinez *et al.*, (1999).

Para o Ca, Mg e S também não houve diferença entre os

modos de aplicação (sulco e à lanço), mas houve diferença quanto as doses aplicadas e com maior eficiência no SPC (Figura 3). No sistema de plantio convencional, alcançou-se a quantidade mínima necessária de cálcio na folha (1,00%) quando se aplicou pouco mais 600 kg ha⁻¹ do remineralizador, feito esse alcançado no SPD quando disposto de quase 1200 kg ha⁻¹ do mesmo insumo.

Figura 3 - Efeitos do remineralizador (RM) aplicados no sulco e à lanço para teores foliares de macronutrientes secundários na cultura da soja sob sistemas de plantio convencional (SPC) e direto (SPD)



Fonte: os autores

Resultados semelhantes ao do Ca foram encontrados para o teor de Mg nas folhas da planta. De acordo com o observado, alcançou-se a quantidade mínima do nutriente na folha para SPC (0,40%) quando aplicado em torno de 800 kg ha⁻¹ e no SPD 1.600 kg ha⁻¹.

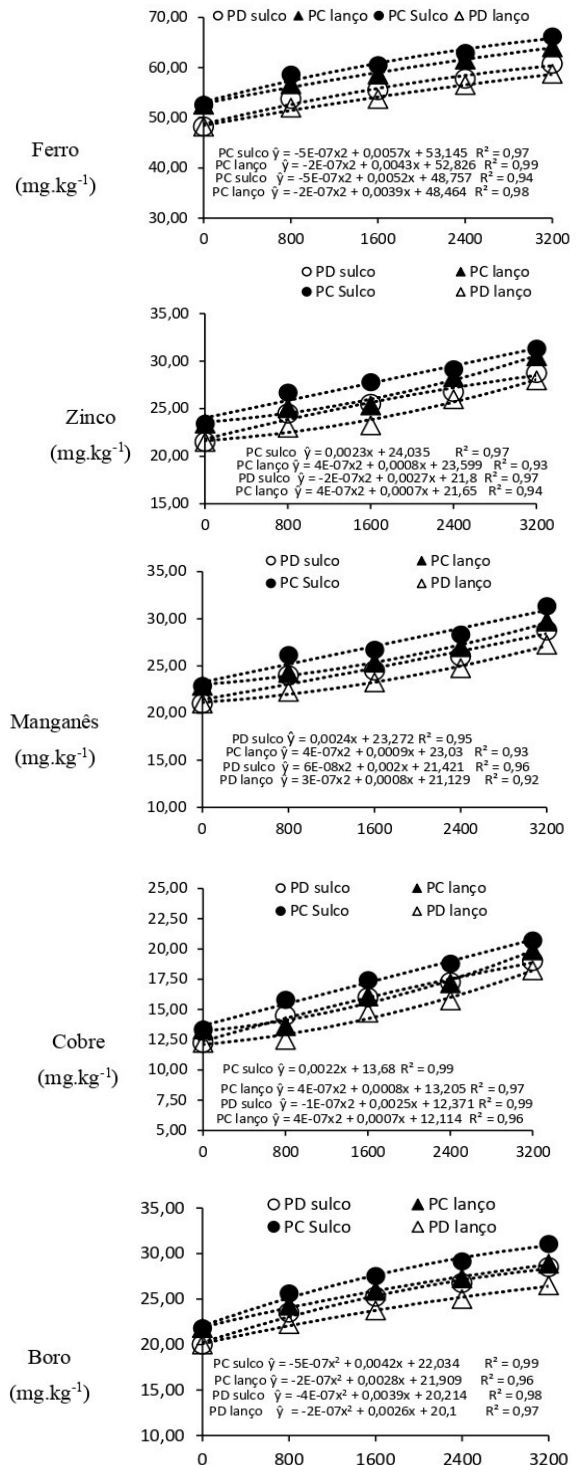
Para o enxofre, no plantio convencional, de acordo com a figura 3, não necessitou de aplicação do remineralizador para que se atingisse o teor mínimo exigido de 0,25% acumulado pela planta, entretanto, no plantio direto necessitou-se de 800 kg ha⁻¹ do remineralizador para que a planta acumulasse a quantidade mínima exigida.

Para os teores de micronutrientes nas folhas, estes também se mostraram diferentes estatisticamente para as doses e o sistema de plantio, mas não houve para o modo de aplicação e, de acordo com a análise de regressão, foi possível determinar

a crescente com relação ao acúmulo deles por parte da planta.

A soja acumulou a quantidade mínima de ferro (50 mg kg⁻¹), no SPC sem a aplicação do RM e no SPD quando se aplicou 800 kg ha⁻¹. Para o zinco, manganês, cobre e boro necessárias para a cultura (20, 20, 10 e 20 mg kg⁻¹, respectivamente) as necessidades foram supridas até mesmo quando não houve aplicação do RM (Figura 4).

Figura 4 - Efeitos do remineralizador (RM) aplicados no sulco e à lanço para teores foliares de micronutrientes na cultura da soja sob sistemas de plantio convencional (SPC) e direto (SPD)



Fonte: os autores.

O RM alterou o acúmulo de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) por parte da planta nos dois sistemas de plantio, entretanto, obteve melhores resultados nas aplicações em SPC e quando aplicado no sulco de plantio.

Os nutrientes N, P e K tiveram seus teores foliares alterados devido, provavelmente, à interação do solo com microrganismos solubilizadores que, quando na presença do remineralizador, aumenta a disponibilidade deles para as plantas e não para o solo. Ademais, de acordo com Höfig et al. (2022), sabe-se também que o insumo utilizado não possui características de fornecimento de N e P. Sandim et al. (2014), explica em seu trabalho que diante da concentração de óxidos de silício (SiO₂) no solo, este elemento concorre pelo mesmo sítio de adsorção do ânion fosfato, aumentando assim a disponibilidade de P já existente no solo para as plantas. Neste trabalho, o material utilizado possui a concentração de 52,97% de óxidos de silício (Quadro 1), explicando, portanto, como a planta teve seu acúmulo de P alterado indiretamente pela aplicação do RM.

Os resultados obtidos para o SPD, onde mostra o sistema com necessidades superiores de aplicação para atingir os níveis desejados dos nutrientes nas folhas eram esperados, tendo em vista a baixa solubilidade do material e o acúmulo de palhada neste solo, devido ao sistema de manejo. Soma-se a isto a possibilidade do maior tamponamento na área do SPD devido a matéria orgânica existente nela, o que dificulta o aumento da saturação por bases (EMBRAPA, 2010) e, ainda, sabe-se que a ação efetiva de um produto aplicado em

plantio direto ocorre nas camadas de 0 a 10 cm, fato este que pode ter dificultado o contato das raízes com o RM aplicado (AMARAL et al., 2004; COSTA et al., 2006).

Para os teores de micronutrientes (Fe, Zn, Mn, Cu e B) nas folhas, estes também se mostraram diferentes estatisticamente para as doses e o sistema de plantio, mas não houve para o modo de aplicação e, de acordo com a análise de regressão, foi possível determinar a crescente com relação ao acúmulo deles por parte da planta.

Por tratar-se de micronutrientes cuja absorção está diretamente relacionada ao pH do solo (MACHADO; PAVAN, 1987), pode-se dizer que a absorção destes elementos foi em detrimento da aplicação do RM, uma vez que o pH não se alterou nas doses aplicadas. Ferreira et al. (2009) encontraram resultados diferentes para o Zn, Cu e Mn, onde não houve efeito da aplicação do RM no fornecimento dos micronutrientes. Entretanto, em seu trabalho foi possível verificar a eficiência do pó-de-rocha no aumento do pH do solo que passou de 4,7 para 5,6, diminuindo, portanto, o acúmulo desses elementos.

3.2 Análise biométrica

O Quadro 2 mostra que o RM não apresentou potencial para alterar as características biométricas da soja. Contudo, é possível notar pelas médias do SPC que houve interferência do RM na altura de inserção da primeira vagem nos tratamentos à lanço e no sulco (5,24 e 5,56 cm, respectivamente) quando comparadas com o tratamento onde não houve a aplicação do RM (5,20 cm).

Quadro 2 - Valores médios para análise biométrica em função de doses de remineralizador na cultura da soja sob sistemas de plantio convencional (SPC) e direto (SPD) aplicados no sulco e à lanço. ns: sem diferença significativa

Doses (kg ha ⁻¹)	Altura de inserção 1ª vagem (cm)	Altura das plantas (cm)	Vagens por planta	Peso das vagens por planta (g)	Peso grãos por planta (g)	Peso de 1000 grãos (g)
Plantio convencional^{ns}						
0	5,20	112,10	85,35	48,07	38,67	150,97
lanço						
800	4,85	112,50	76,35	41,92	33,69	145,37
1600	5,10	110,20	89,60	47,83	37,92	142,29
2400	5,90	109,10	82,10	47,19	37,88	149,29
3200	5,10	111,10	82,70	46,64	37,29	149,67
Média	5,24	110,73	82,69	45,89	36,70	146,65
sulco						
800	5,60	108,75	75,65	42,17	33,85	143,98
1600	5,50	110,10	90,80	46,76	37,43	143,97
2400	5,40	116,20	84,30	44,67	35,86	146,10
3200	5,75	108,75	78,25	43,21	33,88	147,04
Média	5,56	110,95	82,25	44,20	35,26	145,27
Plantio Direto^{ns}						
0	8,70	90,25	53,70	30,10	23,96	146,69
lanço						
800	7,35	86,00	48,40	27,08	21,35	149,00
1600	7,45	88,10	56,15	30,37	24,30	143,09
2400	7,90	90,85	60,20	32,46	25,71	144,11
3200	6,95	92,15	58,75	31,56	25,12	155,53
Média	7,41	89,28	55,88	30,37	24,12	147,93
sulco						
800	7,15	82,60	59,95	32,32	25,51	137,75
1600	6,20	82,75	53,70	28,53	22,55	146,91
2400	8,70	82,80	54,25	31,48	24,93	139,74
3200	6,45	84,60	51,45	28,94	22,96	142,49
Média	7,13	83,19	54,84	30,32	23,99	141,72

Fonte: dados da pesquisa.

No SPD as alterações ocorreram nas características vagens por planta, com médias de 55,88 à lanço e 54,84 no sulco, contra 53,70 onde não houve a aplicação do RM; peso de vagens por planta, com médias 30,37 à lanço e 30,32 no sulco contra 30,10 onde não houve a aplicação do produto e peso de grãos por planta, com médias à lanço e no sulco de 24,12 e 23,99 gramas respectivamente contra 23,96 onde não ocorreu a aplicação do remineralizador. A característica peso de 1000 grãos teve todas suas médias abaixo das médias onde não ocorreu a aplicação do RM.

Os valores de altura de planta, ficaram com média de 110 cm no convencional e 86 cm no direto, dentro do esperado pela variedade utilizada. Mesmo com período de poucas chuvas como ocorreu entre 55 a 90 dias após a germinação (Figura 1).

As variáveis biométricas não foram alteradas pela aplicação do RM em nenhum dos tratamentos. Entretanto, as médias do SPC mostram uma interferência do RM na altura de inserção da primeira vagem quando comparadas ao tratamento onde não houve a aplicação do insumo. Maiores alturas de inserção da primeira vagem são benéficas a colheita da cultura, diminuindo perdas consideráveis quando esta é feita de forma mecanizada (SCHANOSKI *et al.*, 2011). Os valores médios de altura de planta ficaram dentro do esperado pela variedade utilizada, mesmo com período de poucas chuvas como ocorreu entre 55 a 90 dias após a germinação (Figura 1). Passos *et al.* (2015) também verificaram maior altura de planta para o sistema convencional comparado ao direto. Neste sentido o período de déficit hídrico verificou influenciou mais o plantio direto, do que o convencional.

As alterações ocorridas no SPD para as características número de vagens por planta, peso de vagens por planta e peso de grãos por planta pode ter ocorrido devido ao plantio sobre a palhada, o que aumenta o teor de nitrogênio no solo e, por consequência, melhora a eficiência da fotossíntese e o enchimento dos grãos (SOUZA *et al.*, 2017).

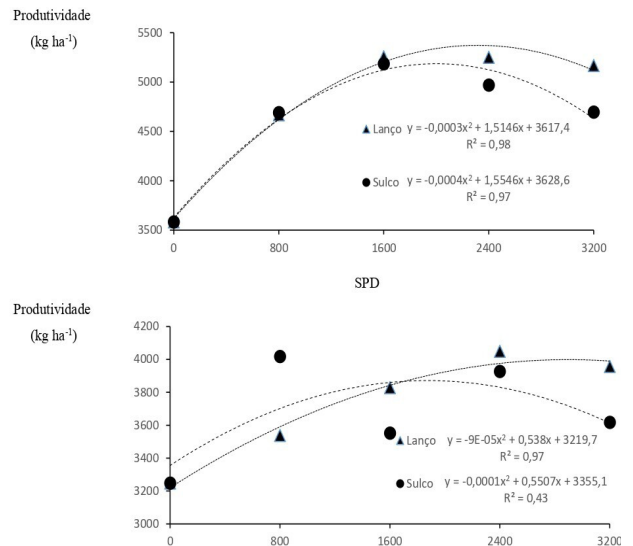
O fato de o RM não ter alterado a altura da inserção de primeira vagem e a altura da planta no SPD tem relação com a disponibilidade deste insumo no solo, o que é menor quando comparado ao SPC, devido a palhada existente. A ausência desta mesma palhada no SPC pode ser a explicação para este sistema não ter alterado as características relacionadas às vagens e aos grãos.

A única variável a apresentar médias menores do que a testemunha foi o peso de 1000 grãos, concluindo, portanto, que independentemente do sistema de plantio e da forma de aplicação, o remineralizador acarreta grãos menos pesados.

3.3 Análise de produtividade

De acordo com a Figura 5, não houve diferença estatística entre os modos de aplicação, mas houve de acordo com o sistema de plantio e as doses do RM, com melhores resultados no sistema de plantio convencional.

Figura 5 - Efeitos da aplicação do remineralizador na produtividade da cultura da soja sob sistemas de plantio convencional (SPC) e direto (SPD), aplicados no sulco e à lanço



Fonte: os autores.

O ponto de máxima resposta (PM) para o SPC em aplicações a lanço foi de 5.530 kg ha⁻¹ de soja para quantidades de 2.524 kg ha⁻¹ do remineralizador. Nas aplicações no sulco, o PM foi de 5.139 kg ha⁻¹ de soja para aplicações de 1.943 kg ha⁻¹ do RM. No sistema de plantio direto, de acordo com a análise, as aplicações a lanço tiveram um PM de 4.020 kg ha⁻¹ para quantidades de RM em torno de 3.000 kg ha⁻¹. Já para as aplicações no sulco, o PM foi de 4.113 kg ha⁻¹ com quantidades de 2.753 kg ha⁻¹ do RM.

A produtividade foi alterada com a aplicação do RM, mesmo não tendo sido alterada as características químicas do solo (Tabela 3). De acordo com Almeida Junior *et al.* (2020), em condições de pH 5,5 a 6,0, ocorre a liberação mais lenta dos elementos do remineralizador e, em contrapartida, é justamente nesta faixa de pH que ocorre a maior disponibilização dos minerais do solo para a planta, o que explica, portanto, o fato do solo não ter sofrido alterações químicas, mas a planta ter teores foliares alterados pela aplicação do RM (Figuras 2, 3 e 4) e também a produtividade da cultura ter sido alterada pelo remineralizador (Figura 5).

O aumento da produtividade da soja, poderia estar associado a redução da transpiração pela planta com o Si, em sua forma de sílica amorfa (Si₂.nH₂O) na parede celular e maior tolerância ao estresse por temperaturas altas e veranicos (ABDALLA, 2011; PRABAGAR *et al.*, 2011, MA; YAMAJI, 2006, BARBOSA FILHO *et al.*, 2001). Esta barreira na parede celular também seria eficiente para invasão de fungos e bactérias, aumentando sua resistência conforme relatos nos trabalhos de Berni e Prabhu (2003) e Melo *et al.* (2003).

A não alteração química do solo, contrapondo com o aumento na produtividade e os teores foliares na cultura da soja, poderia ser atribuído a ativação dos microrganismos no solo que são capazes de auxiliar a planta na absorção,

assimilação, solubilização e acúmulo de nutrientes de fontes inorgânicas (ROTHEN *et al.*, 2017; USUKI; NARISAWA, 2007; VERGARA *et al.*, 2019). Também podemos destacar o efeito interativo com os fosfatos no solo, como o trabalho de Pozza *et al* (2007) que verificaram que o Si reduziu a fixação de fosfatos em solos altamente intemperizados.

3.4 Análise de solo

As quantidades de remineralizador aplicada ao solo não proporcionaram alterações significativas na fertilidade, independentemente do sistema de manejo do solo e forma de aplicação (Quadro 3). Também não ocorreu efeito interativo entre sistema de manejo e forma de aplicação do remineralizador.

Quadro 3 - Valores médios para atributos químicos do solo em função de doses de remineralizador na cultura da soja sob sistemas de plantio convencional (SPC) e direto (SPD) aplicados no sulco e à lanço. ns: sem diferença significativa

Doses RM (kg ha ⁻¹)	pH		P	K+	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H+Al	MO
	H ₂ O	CaCl ₂	---- mg dm ⁻³ ----		----- cmol _c dm ⁻³ -----			g dm ⁻³
Plantio Convencional								
0	6,5	5,6	19,9	197,8	5	1	1,8	27,2
Sulco ^{ns}								
800	6,6	5,9	19,7	170,3	4,7	1,6	1,5	23,4
1600	6,6	5,9	21,5	160,0	4,3	1,2	1,3	24,7
2400	6,7	6,0	22,7	154,3	4,8	1,1	1,2	24,9
3200	6,5	5,8	23,6	164,8	4,7	0,9	1,6	27,0
Média	6,6	5,9	21,9	162,3	4,6	1,2	1,4	25,0
Lanço ^{ns}								
800	6,0	5,1	13,7	228,5	5,5	2,0	3,0	24,6
1600	6,1	5,2	11,0	230,3	5,5	1,3	3,0	24,7
2400	5,9	5,0	14,2	273,8	5,8	1,2	2,7	23,3
3200	6,0	5,1	10,0	242,8	5,4	2,3	2,6	24,5
Média	6,0	5,1	12,2	243,9	5,6	1,7	2,8	24,3
Plantio Direto								
0	6,1	5,2	13,9	253,8	5,7	2,1	2,7	25,6
Sulco ^{ns}								
800	6,6	5,9	22,4	150,8	5,1	1,4	1,4	24,9
1600	6,6	5,9	19,2	168,8	4,3	0,9	1,3	24,8
2400	6,6	5,8	30,5	151,3	4	1,3	1,4	22,2
3200	6,5	5,8	20,4	164,8	4,7	1,3	1,6	25,8
Média	6,6	5,9	23,1	158,9	4,5	1,2	1,4	24,4
Lanço ^{ns}								
800	6,1	5,2	13,4	191,5	4,9	4,0	2,5	23,4
1600	6,1	5,2	12,9	266,3	5,7	1,7	3,0	26,5
2400	6,1	5,2	13,9	191,8	5,8	1,4	2,6	24,9
3200	5,9	5,0	17,0	193,3	4,8	1,7	2,8	21,7
Média	6,1	5,2	14,3	210,7	5,3	2,2	2,7	24,1

Fonte: os autores.

No SPC, considerando os valores médios das doses de RM, ocorreu alterações dos valores de pH no sulco aumentando de 6,5 para 6,6 e à lanço indo para 6,0. Para o P, as aplicações no sulco subiram de 19,9 para 21,9 mg dm⁻³ e à lanço caíram para 12,2 mg dm⁻³. O K diminuiu no sulco de 197,8 mg dm⁻³ para 162,3 e à lanço subiu para 243,9 mg dm⁻³. O Ca saiu de 5,0 cmol_c dm⁻³ no sulco para 4,6 cmol_c dm⁻³ e à lanço subiu para 5,6 cmol_c dm⁻³. O Mg foi de 1 para 1,2 cmol_c dm⁻³ no sulco e 1,7 cmol_c dm⁻³ à lanço, sendo o único que subiu nos dois sentidos. O teor de H e Al troáveis foram de 1,8 cmol_c dm⁻³ para 1,4 cmol_c dm⁻³ no sulco e 2,8 cmol_c dm⁻³ à lanço. Para a matéria orgânica, ambos valores caíram, saindo de 27,2 g dm⁻³ para 25 no sulco e 24,3 à lanço.

Para o SPD, o pH no sulco subiu de 6,1 para 6,6 enquanto à lanço o valor se manteve na média das aplicações. O P subiu

nos dois modos de aplicação, saindo de 13,9 mg dm⁻³ para 23,1 no sulco e 14,3 mg dm⁻³ à lanço. O K teve seus dois resultados reduzidos em 38% no sulco e 17% à lanço. O Ca no sulco foi de 5,7 cmol_c dm⁻³ para 4,5 cmol_c dm⁻³ e à lanço para 5,3 cmol_c dm⁻³. O Mg foi de 2,1 cmol_c dm⁻³ para 1,2 cmol_c dm⁻³ no sulco e 2,2 cmol_c dm⁻³ à lanço. Para os elementos H+Al, tiveram seus teores variando de 2,7 cmol_c dm⁻³ para 1,4 cmol_c dm⁻³ no sulco e mantendo igual à lanço. Para a matéria orgânica no sistema plantio direto redução de 25,6 para 24,4 sulco e 24,1 a lanço.

Considerando os valores médios da composição do material utilizado (Quadro 1), verifica-se quantidades suficientes de Cálcio e Magnésio (CaO 7,22% e MgO 2,99%) com potencial para corrigir o pH do solo. No entanto dentro do período estudado (115 dias de cultivo) não ocorreu

alterações dos valores de pH, Ca e Mg trocáveis. Segundo Melo *et al.* (2012), o RM também libera Al^{3+} no solo por conta dos silicatos, ocorrendo, em um primeiro momento, a neutralização nos teores de óxidos de Ca e Mg, seus efeitos sobre o pH e consequentemente não alteração dele. Este efeito não foi observado neste estudo, talvez devido ao pH do solo estar na faixa 6,0, onde o Al^{3+} é pouco solúvel e os teores de Ca e Mg acima do nível crítico, 2,4 e 0,90 $cmol_c dm^{-3}$, respectivamente (ALVAREZ *et al.*, 1999). De acordo com Ribeiro *et al.* (2013), a oxidação da matéria orgânica do solo também é um fator de acidificação, fato este que ocorreu, ainda que não significativamente, na média dos tratamentos quando comparados à testemunha.

No que diz respeito a diminuição dos índices da matéria orgânica do solo, pode ser atribuído ao preparo do solo que no seu revolvimento aumenta a macroporosidade e densidade do solo na camada superficial e consequentemente a oxigenação do ambiente, favorecendo a maior atividade microbiana. As mudanças no carbono (C) orgânico do solo está associado ao manejo (LOSS *et al.*, 2010). Souza *et al.*, (2008) e Xavier *et al.* (2006), avaliando o C orgânico em manejo do solo envolvendo integração lavoura-pecuária a diferentes intensidades de pastejo em plantio direto verificaram que o atributo mais sensível foi o C orgânico para diferenciar sistema de manejo.

Também não ocorreu aumento dos valores de P e K, o que

leva a concluir que este material apresenta baixa solubilidade (FERREIRA *et al.*, 2009), aliado ao fato do remineralizador não possuir características de fornecimento destes nutrientes (HÖFIG *et al.*, 2018).

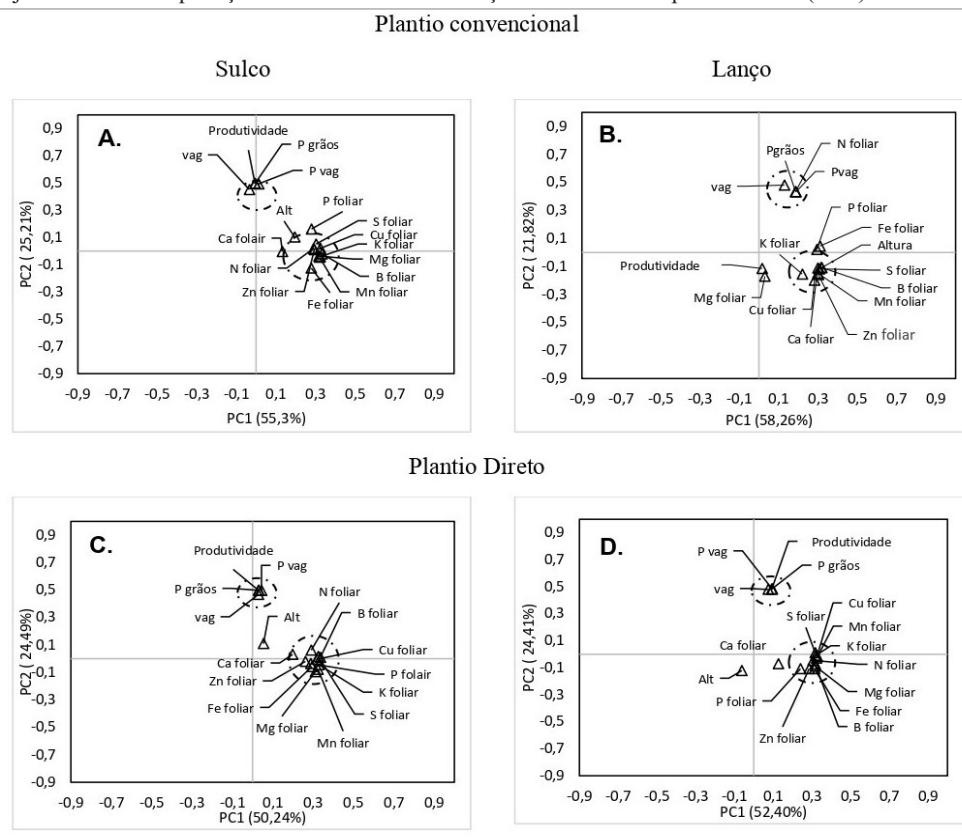
A lenta resposta do RM em liberar elementos como Ca, Mg e K para o solo pode também ser justificada pela possibilidade de eles estarem presentes em minerais de baixa solubilidade e lenta alteração (ALMEIDA JÚNIOR, 2020; SILVA *et al.* 2013; LIMA *et al.* 2009; THEODORO *et al.* 2012), o que enfatiza sua importância perante a utilização em culturas de ciclos longo, bem como em áreas previamente preparadas com o insumo (VON WILBERT; LUKES, 2003).

3.5 Análise dos componentes principais

Os quadrantes A, C e D da figura 6 apresentaram comportamentos similares no que diz respeito a característica “produtividade”, tendo relação com as variáveis biométricas número de vagens, peso de grãos e peso de vagens. Os resultados da análise dos componentes principais no quadrante B apresentou a característica produtividade correlacionada ao magnésio foliar. Enquanto correlacionado às variáveis biométricas encontra-se o nitrogênio foliar.

A similaridade entre os quadrantes está nos nutrientes foliares, estando eles agrupados como um único comportamento, o que corrobora as análises de regressão apresentadas nas Figuras 2, 3 e 4.

Figura 6 - Análise de Componentes Principais (PCA) para as características biométricas e análise foliar de plantas de soja submetidas a aplicação do RM no sulco e à lanço nos sistemas de plantio direto (SPD) e convencional (SPC)



Fonte: os autores.

A característica biométrica da planta, altura, foi a que apresentou melhor correlação com os teores foliares, o que pode ter influenciado a produtividade da cultura.

O resultado entre a variável produtividade e número de vagens, peso de grãos e peso de vagens por planta apresentada pelos quadrantes A, C e D da figura 6 tem correlação devido às variáveis biométricas influenciarem diretamente na produtividade da cultura, demonstrando que se a produtividade cai, provavelmente os outros indicativos cairão simultaneamente.

Para o quadrante B, onde mostra a produtividade com maior correlação com o Mg foliar pode ser explicado pelo nutriente ser fundamental nos processos de fotossíntese da planta, atuando nos processos metabólitos como a formação de ATP (EMBRAPA, 2010). Diante de um plantio convencional com o RM aplicado à lanço, o acúmulo de magnésio foliar teve mais peso na produtividade da cultura do que as outras variáveis, resultado diferente ao encontrado por Caires e Fonseca (2000) onde no trabalho deles o maior acúmulo de Mg foliar não proporcionou alteração significativa na produção de soja, talvez devido a fonte do material deles ser mais solúvel (calcário dolomítico) do que o remineralizador utilizado neste experimento, tendo em vista que, ainda conforme os autores em seu trabalho, houve “absorção de luxo” do nutriente pela planta.

Ainda no quadrante B, houve relação do N foliar com as variáveis biométricas outrora correlacionadas com a produtividade nos quadrantes A, C e D. Todavia, é relevante ressaltar a importância do N na fotossíntese, sendo fator essencial para a produção de fotoassimilados e a consequente formação de vagens e enchimento de grãos (SOUZA *et al.*, 2017).

A característica biométrica da planta, altura, foi a que apresentou melhor correlação com os teores foliares, o que pode ter influenciado a produtividade da cultura. Partindo deste princípio, pode-se dizer que quanto melhor a absorção e o acúmulo de nutrientes pela planta, maior esta pode ficar quando corretamente nutrida (CAIRES; FONSECA, 2000).

4 Conclusão

O uso do remineralizador não alterou a biometria da soja e as características químicas do solo em sistemas de plantio convencional (SPC) e direto (SPD);

O Remineralizador do solo proporcionou aumento nos teores de macro e micronutrientes no tecido foliar da cultura da soja;

O remineralizador aumentou a produtividade da cultura da soja, independentemente do modo de aplicação (sulco e à lanço).

Referências

ALVAREZ, V.H. et al. Interpretação dos Resultados das Análises de Solos. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ, V.V.H. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em

Minas Gerais, 5ª Aproximação. Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais. Viçosa. 1999. p. 25 - 32.

AMARAL, A.S.; ANGHINONI, I.; DESCHAMPS, F.C. Resíduos de plantas de cobertura e mobilidade dos produtos da dissolução do calcário aplicado na superfície do solo. Rev. Bras. Ciênc. Solo, v.28, p.115-123, 2004.

BRASIL. Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes minerais, orgânicos, organominerais e corretivos. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Coordenação-Geral de Apoio Laboratorial. Brasília, DF, 2014. p. 220.

CAIRES, E.F.; FONSECA, A.F. Absorção de nutrientes pela soja cultivada no sistema de plantio direto em função da calagem na superfície. Bragantia, v.59, n.2, p.213-220, 2000. doi: <https://doi.org/10.1590/S0006-8705200000200013>.

CHRISTMANN, P. Para uma utilização mais equitativa dos recursos minerais. Nat. Res. Res., v.27, p.1-19, 2017.

Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB). Acompanhamento da safra brasileira de grãos. Observatório Agríc., v.5, n.7, 2018.

COSTA, E.A.; GOEDERT, W.J.; SOUSA, D.M.G. Qualidade de solo submetido a sistemas de cultivo com preparo convencional e plantio direto. Pesq. Agropec. Bras., v.41, n.7, p.1185-1191, 2006.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais. Embrapa Monitoramento por satélite. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 2010.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Embrapa solos. Brasília: Embrapa, 2011.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília: EMBRAPA. 2018.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Soja em números: safra 18/19. Londrina: Embrapa Soja, 2019.

FERREIRA, E.R.N.C. ALMEIDA, J.A. MAFRA, A.L. Pó de basalto, desenvolvimento e nutrição do feijão comum (*Phaseolus vulgaris*) e propriedades químicas de um Cambissolo Húmico. Rev. Ciênc. Agrov., v.8, n.2, p.111-121, 2009.

GUELFY-SILVA, D.R. Characterization and nutrient release from silicate rocks and influence on chemical changes in soil. Rev. Bras. Ciênc. Solo, v.36, n.3, 2012

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. Climate der Erde. Gotha: Verlag Justus Perthes. 1928.

LIMA, C.C. et al. Caracterização química de resíduos da produção de biodiesel compostados com adição mineral. Rev Bras. Eng. Agríc. Amb., v.13, n.3, p.334-340, 2009.

LOPES-ASSAD, M.L. et al. Solubilização de pó-de-rocha por *aspergillus niger*. Espaço Geografia, v. 9, n.1, p.1-17, 2006.

LOSS, A. et al. Carbono, matéria orgânica leve e frações oxidáveis do carbono orgânico sob diferentes sistemas de produção orgânica. Com. Scie., v.1, p.57-64, 2010.

MACHADO, P.L.O.A.; PADOVAN, M.A. Adsorção de zinco por alguns solos do Paraná. Rev. Bras. Ciênc. Solo, v.11, p.253-256, 1987.

MARTINEZ, H.E.P. CARVALHO, J.G. SOUZA, R.B. Diagnose Foliar. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ, V.V.H. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais, 5ª Aproximação. Viçosa: Comissão de Fertilidade

do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p.143-167.

MARTINS, E.S. et al. Materiais silicáticos como fontes regionais de nutrientes e condicionadores de solos. In: FERNANDES, F.R.C.; ADÃO B.L.; ZULEICA C.C. Agrominerais para o Brasil. Rio der Janeiro: CETEM/MCT, 2010. p.89-99

MELO, V.F. et al. Doses de basalto moído nas propriedades químicas de um Latossolo Amarelo distrófico da savana de Roraima. *Acta Am.*, v.42, n.4, p.471-476, 2012

PASSOS, A.M.A. et al. Cultivares de soja em sucessão ao trigo nos sistemas convencional e plantio direto. *Rev Agrar.*, v. 8, n.27, p.30-38, 2015.

PRATES, F.B.S. et al. Crescimento de mudas de maracujazeiro-amarelo em resposta à adubação com superfosfato simples e pó de rocha. *Rev. Ceres*, v.57, n.2, p. 239-246, 2010.

RIBEIRO, D.L. et al. Determinação de Ph, acidez e alcalinidade em amostras de águas do Rio Uruguai há Município de Itaquiris. *Anais do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão*, 2013.

HÖFIG, P. et al. Avaliação da qualidade de um fertilizante produzido por compostagem conjunta de materiais orgânicos e rochas moídas, *Rev. Agro Amb.*, v.15, n.3, e9820, 2022.

ROTHEN, C.P. et al. Characterization of dark septate endophyte fungi associated with cultivated soybean at two growth stages. *Appl. Soil Ecol.*, n.120, p.62-69, 2017.

SANDIM, A.S. et al. Phosphorus availability in oxidic soils treated with lime and silicate applications. *Rev Bras. Ciênc. Solo*, v.38, n.4, p.1215-1222, 2014.

SCHANOSKI, R.; RIGHI, E.Z.; WERNER, V. Perdas na colheita mecanizada de soja (*Glycine max*) no município de Maripá - PR. *Rev. Bras. Eng. Amb.*, v.15, n.11, p.1206-1211, 2011

SILVA, J.C.; SILVA, A.A.S.; ASSIS, R.T. Sustentabilidade e

inovações no campo. Uberlândia: Composer, 2013.

ALMEIDA JUNIOR, 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.

SOUZA, E.D. et al. Carbono orgânico e fósforo microbiano em sistema de integração agricultura-pecuária submetido a diferentes intensidades de pastejo em plantio direto. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, v.32, p.1273-1282, 2008.

SOUZA, F.N.S. et al. Efeitos condicionador e nutricional de um remineralizador de solos obtido de resíduos de mineração. *Rev. Agri-Environ. Scie.*, v.3, n.1, 2017.

SOUZA, M.E.P. et al. Vermicomposting with rock powder increases plant growth. *Appl. Soil Ecol.*, v.69, p.56-60, 2013.

THEODORO, S.H. et al. A importância de uma Rede Tecnológica de Rochagem para a sustentabilidade em países tropicais. *Rev Bras. Geog. Fís.*, v.6, p.1390-1407, 2012

USUKI, F.; NARISAWA, K. A mutualistic symbiosis between a dark septate endophytic fungus, *Heteroconium chaetospira*, and a nonmycorrhizal plant, Chinese cabbage. *Mycologia*, v.99, p.175-184, 2007.

VERGARA, C. et al. Plant-mycorrhizal fungi interaction and response to inoculation with different growth-promoting fungi. *Pesq. Agropec. Bras.*, v.54, 2019.

VON WILBERT, K; LUKES, M. Ecochemical effects of phonolite rock powder, dolomite and potassium sulphate in a spruce stand on an acidified glacial loam. *Nutr. Cycling Agro.*, v.65, n.2, p.115-127, 2003.

XAVIER, F.A.S. et al. Biomassa microbiana e matéria orgânica leve em solos sob sistemas agrícolas orgânico e convencional na Chapada da Ibiapaba CE. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, v.30, p.247-258, 2006.