

Efeito residual do pó de basalto e enxofre elementar e resposta a doses de nitrogênio em cobertura na cultura da canola

Residual effect of basalt powder and elementary sulfur and response to nitrogen doses in coverage in canola culture

DOI:10.34117/bjdv8n5-007

Recebimento dos originais: 21/03/2022

Aceitação para publicação: 29/04/2022

Natália Cardoso dos Santos

Mestre em Agronomia

Instituição: Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE

Endereço: R. Pernambuco, 1777 – Centro, Marechal Cândido Rondon – PR

CEP: 85960-000

E-mail: cardosonaatalia@gmail.com

Maria do Carmo Lana

Doutora em Fitotecnia

Instituição: Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE

Endereço: R. Pernambuco, 1777 – Centro, Marechal Cândido Rondon – PR

CEP: 85960-000

E-mail: maria.lana@unioeste.br

José Barbosa Duarte Junior

Doutor em Produção Vegetal

Instituição: Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE

Endereço: R. Pernambuco, 1777 – Centro, Marechal Cândido Rondon – PR

CEP: 85960-000

E-mail: bduarte@yahoo.com.br

Rafael Felipe Weizenmann

Engenheiro Agrônomo

Instituição: Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE

Endereço: R. Pernambuco, 1777 – Centro, Marechal Cândido Rondon – PR

CEP: 85960-000

E-mail: rafael.weizenmann@hotmail.com

Willian dos Reis

Mestre em Agronomia

Instituição: Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE

Endereço: R. Pernambuco, 1777 – Centro, Marechal Cândido Rondon – PR

CEP: 85960-000

E-mail: willian_haje@hotmail.com

RESUMO

Por ser uma espécie produtora de óleo e proteína, a canola é exigente em nutrientes como o nitrogênio e o enxofre. Assim, como o enfoque mais comum da fertilização do solo privilegia o uso de fertilizantes solúveis, faz-se necessária a busca por fontes alternativas

de fornecimento de nutrientes que possam complementar a adubação desta cultura. Neste sentido, a rochagem é uma das opções disponíveis. Diante disto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito residual do enxofre elementar e do pó de basalto, e definir a melhor dose da adubação nitrogenada em cobertura na cultura da canola. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados (DBC) com quatro repetições em esquema de parcelas subsubdivididas. As parcelas foram constituídas por três doses de N (80; 100 e 120 kg ha⁻¹); as subparcelas pela presença ou ausência do efeito residual do pó de basalto (12 t ha⁻¹) e as subsubparcelas pela presença ou ausência do efeito residual do S elementar (60 kg ha⁻¹). As variáveis analisadas foram os teores de Ca, Mg, K, N e S no tecido foliar; a caracterização química do solo e os componentes de produção da cultura: grãos por siliqua, síliquas por planta, massa de mil grãos e produtividade. A utilização do pó de basalto apresentou efeito residual logo após um ano de aplicação com melhoria das características químicas do solo por meio do aumento do pH do solo, dos teores de K e P, do V% e da redução da acidez potencial do solo. A dose de 100 kg ha⁻¹ de N proporcionou aumento do teor de N nas plantas de canola, enquanto as doses de 80 kg ha⁻¹ e de 100 kg ha⁻¹ proporcionaram aumento no número de grãos por siliqua das plantas de canola. A produtividade da cultura não foi afetada por nenhum dos fatores testados.

Palavras-chave: remineralização do solo, adubação nitrogenada, adubação sulfatada, *Brassica napus* L. var. *oleifera*.

ABSTRACT

As an oil and protein producing species, canola is demanding in nutrients such as nitrogen and sulfur. Thus, as the most common approach to soil fertilization favors the use of soluble fertilizers, it is necessary to search for alternative sources of nutrient supply that can complement the fertilization of this crop. In this sense, rock blasting is one of the available options. In view of this, the objective of this work was to evaluate the residual effect of elemental sulfur and basalt powder, and to define the best dose of nitrogen fertilization in cover in the canola crop. The experimental design used was in randomized blocks with four replications in a split-plot scheme. The plots consisted of three doses of N (80, 100 and 120 kg ha⁻¹); the subplots by the presence or absence of the residual effect of basalt dust (12 t ha⁻¹) and the subsubplots by the presence or absence of the residual effect of elemental S (60 kg ha⁻¹). The variables analyzed were the levels of Ca, Mg, K, N and S in the leaf tissue; the chemical characterization of the soil and the components of crop production: grains per silique, siliques per plant, thousand-grain mass and productivity. The use of basalt powder showed a residual effect after one year of application, with improvement of soil chemical characteristics by increasing soil pH, K and P contents, V% and reducing the potential acidity of the soil. The dose of 100 kg ha⁻¹ of N increased the N content in the canola plants, while the doses of 80 kg ha⁻¹ and 100 kg ha⁻¹ increased the number of grains per silique of the canola plants. Crop productivity was not affected by any of the factors tested.

Keywords: soil remineralization, nitrogen fertilization, sulfated fertilization, *Brassica napus* L. var. *oleifera*.

1 INTRODUÇÃO

A canola (*Brassica napus* L. var. *oleifera*) foi desenvolvida através do melhoramento genético da colza e é a terceira oleaginosa mais cultivada no mundo, atrás apenas do dendê e da soja. O termo canola, um acrônimo de CANadian Oil Low Acid, refere-se a cultivares com baixo teor de ácido erúico (menos de 2% do total de ácidos graxos) e glucosinolato (menos de 30 $\mu\text{mol g}^{-1}$ de farelo seco desengordurado) (ANGELOTTI-MENDONÇA et al., 2016).

A produção brasileira de canola concentra o seu cultivo na região sul, nos Estados do Rio Grande do Sul e Paraná (CONAB, 2019), sendo que, para este ano, a área destinada ao plantio da cultura no estado do Paraná foi de 800 ha, área de pequeno cultivo quando comparada as áreas de soja, milho, trigo e feijão, devido à falta de interesse do produtor pela cultura e à sensibilidade desta à geada e ao déficit hídrico (CONAB, 2021).

De acordo com dados da Conab (2022), na safra 2020 a produção de canola girou em torno de 32,2 mil t, ao passo que a produção da safra 2021 alcançou 54,7 mil t, o que representa um incremento de 69,8%. Assim como a produtividade, que passou de 912 para 1.399 kg ha^{-1} , com 53,4% de acréscimo em relação à safra anterior. Conforme a mesma fonte, estes incrementos foram proporcionados por áreas com maior potencial produtivo, embora, no Paraná, as geadas e os baixos índices pluviométricos tenham comprometido o desenvolvimento da cultura.

Quanto à fertilização desta oleaginosa, o nutriente mais exigido é o nitrogênio (N), o qual promove o aumento do desenvolvimento da parte aérea (KAEFER et al., 2014) e é determinante para o maior rendimento de grãos da cultura (LUCAS et al., 2013). Além disso, a canola é sensível à deficiência de enxofre (S), que é um elemento importante desde a participação na formação de aminoácidos e proteínas até o controle hormonal, fotossíntese e mecanismos de defesa da planta contra patógenos (VITTI et al., 2015).

Lucas et al. (2013) ao testarem cinco doses de N (0, 60, 100, 140 e 180 kg ha^{-1}) e quatro doses de S (0, 15, 30 e 60 kg ha^{-1}), constataram que a adição de N e S aumentou a produtividade de grãos na canola, as concentrações de N na folha e os teores S – SO_4^{2-} na camada de 15 – 30 cm, de modo que estes componentes se relacionaram positivamente com a produtividade da cultura.

Em estudo associando doses de N (0 a 150 kg ha^{-1}), S (0 e 20 kg ha^{-1}) e B (0 e 2 kg ha^{-1} + aplicação foliar) na cultura da canola, pesquisadores do Canadá (MA et al., 2019) encontraram produtividade de 3580 kg ha^{-1} com absorção de 197 kg ha^{-1} de N, 33 kg ha^{-1} de S e 200 g ha^{-1} de B pelas plantas de canola, o que sugere a importância da

adubação nitrogenada, seguida do aporte de S, para alcançar altas produtividades com esta cultura.

Em contrapartida, pode-se notar que o enfoque mais comum de fertilização do solo privilegia o uso de fertilizantes solúveis e de elevada concentração de nutrientes, o que limita o uso mais generalizado de fontes alternativas. Entretanto, o Brasil importa 94% do N, 72% do P_2O_5 e 96% do K_2O (AMA BRASIL, 2019) e, em função disso, os adubos e fertilizantes químicos foram os produtos mais importados pelo país em 2021 (ComexStat, 2022). Ademais, os fertilizantes solúveis por vezes estão associados a baixas eficiências na utilização de nutrientes e podem causar impactos ambientais, como eutrofização de águas e liberação de gases poluentes na atmosfera (TILMAN et al., 2001; MARTINS et al., 2010).

Assim, é imprescindível buscar alternativas às fontes de nutrientes importadas e que possam complementar a fertilização do solo. Uma das opções é o uso de pó de rochas, prática conhecida como rochagem, as quais são provenientes de rejeitos de pedreiras e mineradoras.

Dentre os pós de rocha, o pó de basalto é aquele que apresenta maior potencial de utilização na agricultura devido sua composição mineralógica diversa e sua ampla distribuição geográfica (WRITZL et al., 2019). Ele é capaz de melhorar as características químicas do solo, disponibilizando elementos como fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg), além da redução do alumínio (Al) trocável, correção da acidez e aumento da CTC do solo (NUNES; KAUTZMANN; OLIVEIRA, 2014).

Diante do exposto, pressupõe-se que o uso do pó de basalto, de médio a longo prazo, ao proporcionar remineralização do solo, disponibiliza nutrientes e corrige a acidez do solo. Além disso, espera-se que a fertilização com N e S proporcione o aumento do rendimento de grãos da canola. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a resposta residual do pó de basalto e S elementar e de doses de N em cobertura na cultura da canola.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido a campo no Complexo de Laboratórios do Centro de Ciências Agrárias (CPDETCA), pertencente a Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, *Campus* de Marechal Cândido Rondon, região oeste do estado do Paraná, sob as coordenadas geográficas 54° 22' W longitude, latitude 24° 46' S e altitude média de 420 m.

O clima da região é do tipo subtropical, enquadrando-se, de acordo com a classificação de Köppen, no tipo Cfa, com verões quentes e geadas pouco frequentes, com tendência à concentração das chuvas nos meses de verão e sem estação de seca definida. A temperatura média no mês mais frio é inferior a 18 °C e temperatura média no mês mais quente é superior a 22 °C (Nitsche et al., 2019). O solo da área experimental é classificado como LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico (LVef) de textura muito argilosa (SANTOS et al., 2018).

Foi realizada a caracterização química do solo anteriormente à instalação do ensaio (Tabela 1), conforme metodologia proposta por Lana et al. (2016).

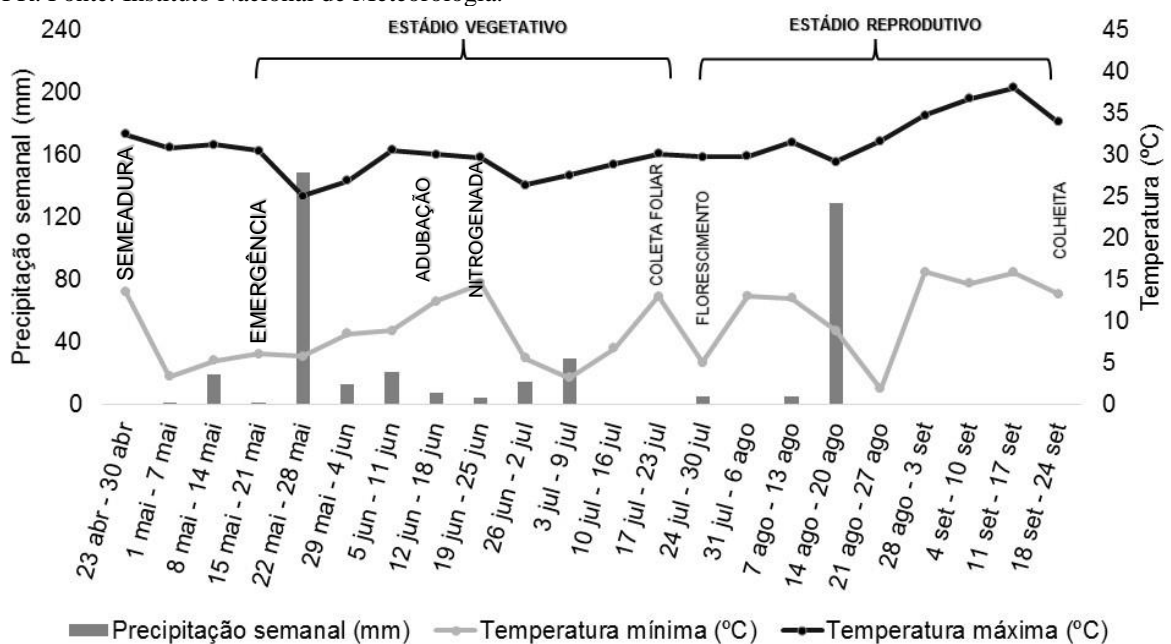
Tabela 1: Caracterização química da área experimental anteriormente à implantação do experimento, na profundidade de 0,00 - 0,20 m

pH CaCl ₂	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H+Al	S
	mg dm ⁻³	cmol _c dm ⁻³				g dm ⁻³
4,71	19,1	0,62	3,78	1,05	6,1	7,02
Cu	Zn	Fe	Mn	V	SB	CTC _{pH7}
	mg dm ⁻³			%	cmol _c dm ⁻³	
16	4,1	17	91	47,19	5,45	11,55

Fonte: elaborada pelos autores (2022).

Os dados meteorológicos do período em que foi conduzido o experimento estão descritos na Figura 1, obtidos na Estação Automática de Marechal Cândido Rondon.

Figura 1: Precipitação pluviométrica e temperaturas mínima e máxima mensais a cada sete dias referentes ao período de desenvolvimento da cultura da canola safra 2020, no município de Marechal Cândido Rondon – PR. Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia.



Fonte: elaborada pelos autores (2022).

Para conhecimento de um breve histórico da área experimental, inicialmente, nesta foram realizados testes com a utilização de gesso agrícola e integração de cultivos. Ao passo que as primeiras aplicações de pó de basalto e de enxofre elementar foram realizadas em maio de 2019 e, posteriormente, foram implantadas plantas de cobertura (aveia preta e nabo forrageiro) sob sistema plantio direto, as quais foram manejadas até setembro do mesmo ano. Logo após, em outubro de 2019, iniciou-se o cultivo de milho verão, conduzido até março de 2020.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados (DBC) em esquema de parcelas subdivididas com quatro repetições. As parcelas foram constituídas pelas doses de N; as subparcelas pela presença ou ausência do efeito residual de pó de basalto e as subsubparcelas compostas pela ausência ou presença do efeito residual de S elementar.

A área experimental foi constituída por doze parcelas com dimensões de 4,5 x 32 m, vinte e quatro subparcelas com dimensões de 4,5 x 16 m e quarenta e oito subsubparcelas com dimensões de 4,5 x 8 m, que resultaram em área total de 1728 m².

A caracterização química do pó de basalto utilizado está apresentada na Tabela 2, enquanto a granulometria está descrita na Tabela 3, a qual foi determinada por peneiramento, a partir da massa de grânulos obtida em cada peneira. Para tal, foi utilizado um conjunto de peneiras com abertura de 1,00; 0,5; 0,25; 0,106 e 0,053 mm de malha.

Tabela 2: Composição química do pó de basalto

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅	P.F	Soma
----- % -----											
51,06	12,95	15,34	8,99	5,11	1,13	2,44	2,29	0,21	0,25	0,35	100,12

P.F.: perda de fogo. Fonte: elaborada pelos autores (2022).

Tabela 3: Granulometria do pó de basalto

1,00 mm	0,5 mm	0,25 mm	0,106 mm	0,053 mm	< 0,053 mm
----- % -----					
13,82	27,01	20,79	22,40	8,20	7,28

Fonte: elaborada pelos autores (2022).

A dose de pó de basalto aplicada na área foi de 12 t ha⁻¹, total de 36 kg por subparcela, e a aplicação ocorreu nos dias 08 e 09 de maio de 2019; enquanto a dose de S elementar (98% S) correspondeu a 60 kg ha⁻¹, total de 0,216 kg por subsubparcela, com aplicação realizada no dia 22 de maio de 2019. Já as doses de N (80; 100 e 120 kg ha⁻¹ de N) foram parceladas em duas vezes, uma no momento da semeadura da canola (20 kg ha⁻¹

¹ de N para todos os tratamentos) e o restante em cobertura (60; 80 e 100 kg ha⁻¹ de N) no estádio B₄. Foi utilizado ureia como fonte de N.

A semeadura de canola ocorreu no dia 23 de abril de 2020 com o híbrido Nuola 300 em semeadura direta sobre palhada de milho, utilizando a semeadora Semeato SHM de 5 linhas, espaçamento entre linhas de 0,50 m e densidade de plantio de 26 sementes por metro linear. As adubações nitrogenadas e fosfatadas foram realizadas no sulco, sendo as doses utilizadas de 20 kg ha⁻¹ de N, correspondendo 6,05 kg de ureia e 20 kg ha⁻¹ de P₂O₅, equivalente a 6,65 kg de MAP (fosfato mono-amônico) (SBCS/NEPAR, 2017). Não foi necessária a realização de adubação potássica, visto que os teores no solo estavam muito altos, conforme classificação do Manual de Adubação e Calagem para o Estado do Paraná (SBCS/NEPAR, 2017).

Em estádio B₄, caracterizado por quatro folhas totalmente desenvolvidas (CORDEIRO et al., 1999), foram realizadas as adubações nitrogenadas em cobertura nas doses de 60, 80 e 100 kg ha⁻¹ de N, correspondendo a 480, 640 e 800 g de ureia por parcela, respectivamente. Estas doses foram definidas com base na produtividade de grãos esperada para a Safra 2020 de canola (CONAB, 2020), tendo como referência a dose de 80 kg ha⁻¹ e as doses de 60 e 100 kg ha⁻¹ representando 75 e 125% da recomendação para produtividade de até 1,5 t ha⁻¹ (SBCS/NEPAR, 2017).

Para a análise foliar da cultura da canola, foram seguidas as recomendações de Cordeiro et al. (1999), os quais apontam que esta deve ser realizada a partir da análise da primeira folha completamente desenvolvida no estágio D₁ (pré-florescimento), quando as gemas estão unidas e escondidas pelas folhas terminais, coletando-se dez folhas de plantas distintas por parcela para determinação dos teores foliares de nutrientes. Assim, foram determinados os teores de Ca, Mg, K, N e S no tecido foliar, conforme metodologia proposta por Lana et al. (2016), além da caracterização química do solo após a colheita.

A colheita foi realizada quando mais de 75% das plantas caracterizaram o estágio fenológico G₅ (maturação fisiológica), em que os grãos apresentam aproximadamente 16% de umidade, os quais foram postos para secar, para posterior realização de trilha e limpeza. Em seguida foi contabilizado o número de plantas por parcela e, em dez plantas de cada parcela, foram determinados o número de siliquis por planta e o número de grãos em dez siliquis. Por fim, prosseguiu-se a determinação da massa de mil grãos e produtividade.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e, quando significativos, ao teste de comparação de médias Tukey à 5% de significância através do programa estatístico SISVAR 5.6 (FERREIRA, 2011).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A caracterização química anterior à instalação do experimento (Tabela 1) e após a colheita da canola (Tabela 4) revela aumento no pH do solo, o qual passou de 4,71 para 5,24, provavelmente decorrente da ação do pó de basalto, uma vez que não foi realizada correção de acidez do solo; assim como dos teores de K (0,62 para 1,22 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$) e P (19,1 para 42,13 mg dm^{-3}) e V% (47,19 para 48,40).

Por outro lado, houve decréscimos nos teores de Ca (3,78 para 2,98 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$), Mg (1,05 para 0,45 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$), S (7,04 para 6,14 g dm^{-3}), H+Al (6,1 para 4,96 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$), SB (5,45 para 4,65 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$) e $\text{CTC}_{\text{pH}7}$ (11,55 para 9,61 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$).

Autores como Kruger et al. (2011) afirmam que o ambiente é um fator limitante de grande importância na expressão do potencial da canola. Tomm et al. (2009) indicam que temperaturas do ar amenas, em torno de 20°C durante o ciclo e entre 13 e 22°C no período vegetativo, são ideais, e temperaturas acima de 27°C durante a floração da canola podem causar abortamento de flores e siliques em início de formação. Em termos de disponibilidade hídrica, a canola necessita em torno de 455 mm (DOGAN et al., 2011) a 670 mm (BERRY; SPINK, 2006).

Com base na Figura 1 e que a germinação da canola ocorreu após a segunda quinzena de maio, pode-se constatar que a precipitação acumulada durante o ciclo da cultura não alcançou o mínimo exigido para o desenvolvimento adequado do seu ciclo, atingindo 385,2 mm, conforme os dados do INMET (2020). Além disso, a canola exige que as chuvas sejam regularmente distribuídas ao longo do seu período de crescimento, visto que o estresse hídrico pode reduzir a velocidade dos processos fisiológicos e bioquímicos e, com isso, as plântulas de canola, em condições de baixa umidade, tendem a apresentar menor desenvolvimento e, conseqüentemente, menor acúmulo de biomassa seca (COSTA et. al., 2020), o que afeta negativamente o florescimento e a formação de grãos (ANGELOTTI-MENDONÇA et al., 2016) e provoca perdas no rendimento de grãos (TOMM et al., 2009).

Em relação às temperaturas máximas atingidas durante o ciclo, observa-se na Figura 1 que em todos os meses o limite crítico de 27°C foi ultrapassado. Assim, como apontam Melgarejo et al. (2014), a redução do volume de precipitação associada ao

aumento da radiação solar e da temperatura reduzem a produtividade da cultura da canola. Logo, é possível afirmar que as condições edafoclimáticas enfrentadas durante o ciclo da cultura interferiram no desempenho das fontes testadas, comprometendo os resultados devido à redução no volume de precipitação associada as altas temperaturas.

Tabela 4: Caracterização química da área experimental após a colheita do experimento, na profundidade de 0,00 - 0,20 m

pH CaCl ₂	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	P	S
	cmol _c dm ⁻³			mg dm ⁻³	g dm ⁻³
5,24	2,98	0,45	1,22	42,13	6,14
Al ³⁺	m	H+Al	SB	CTC _{pH7}	V
cmol _c dm ⁻³	%	cmol _c dm ⁻³			%
0,23	4,61	4,96	4,65	9,61	48,40

Fonte: elaborada pelos autores (2022).

Assim como neste estudo, Korchagin et al. (2016) em experimento realizado à campo utilizando doses de 0 a 8 t ha⁻¹ de pó de basalto, observaram aumento do valor de pH em 0,3 pontos na maior dose testada após quatro meses de aplicação, demonstrando o seu efeito corretivo. Bem como Lopes, Costa e Lopes-Assad (2013), que observaram liberação de cátions alcalinizantes ao realizar incubação de solo com pó de basalto. Portanto, a aplicação de um remineralizador, além de aumentar os índices de fertilidade ao longo do tempo, é capaz de reduzir a acidez do solo.

Mesmo com a extração pela cultura, houve aumento dos teores de P e K, provavelmente decorrentes da adição direta de ambos na adubação de semeadura; do aporte via pó de basalto, que possuía esses nutrientes em sua constituição; e da dinâmica entre o silicato e o P. Isto não ocorreu com os teores de Ca e Mg, que foram ofertados somente pelo pó de basalto. Entretanto, pode não ter ocorrido liberação suficiente desses nutrientes e não ter suprido as exigências da cultura, que extraiu esses elementos do solo, resultando em menores teores posteriormente a colheita. Com a redução dos teores de Ca e Mg, conseqüentemente houve redução da soma de bases que, aliada a diminuição do H+Al, resultou em decréscimo da CTC_{pH7} do solo.

De acordo com Kämpf, Curi e Marques (2009), o basalto é uma rocha rica em silicatos que são alterados predominantemente por reações de dissolução incongruente, ou seja, os elementos não são liberados na mesma proporção estequiométrica da sua composição inicial. Ademais, pode haver formação de novas formas minerais (MARTINS; MARTINS; REATTO, 2004), as quais podem aumentar as cargas permanentes do solo.

Corroborando estes resultados, Melo et al. (2012) testaram oito doses de pó de basalto (0, 2, 4, 8, 12, 24, 48 e 96 t ha⁻¹) por um período de 180 dias de incubação. Posteriormente, constataram que a dose de 48 t ha⁻¹ proporcionou a máxima redução da acidez ativa, onde o pH passou de 4,8 para 5,5. Ademais, encontraram acréscimos nos teores de Ca, Mg, Zn, Fe e Cu com o aumento das doses utilizadas.

Korchagin et al. (2016) encontraram aumento nos teores de P proporcionalmente ao aumento de doses de pó de basalto em lavoura cultivada com trigo. Resultado este que pode ser explicado por dois fatores, seja pela dissolução dos minerais ricos em P contidos no pó de basalto e/ou, conforme Valle et al. (2016), devido à competição pelos mesmos sítios de adsorção entre o P e o silício (Si), onde o silicato pode deslocar o fosfato previamente adsorvido para a solução do solo, disponibilizando-o às plantas. Dessa forma, a aplicação de silicato previamente ao fosfato favorece a biodisponibilidade do P em solos altamente intemperizados (POZZA et al., 2007).

Nesse sentido, Almeida et al. (2017), ao avaliarem a influência da aplicação de Si sobre a disponibilidade de P no crescimento e desenvolvimento de mudas de café, constataram que a adubação fosfatada posteriormente a adubação com Si proporcionou aumento na quantidade de P disponível no solo e no tecido foliar das mudas do cafeeiro, em comparação a aplicação isolada de P.

Souza, Fontanetti e Lopes-Assad (2017) verificaram aumento nos valores de pH e redução dos valores de H+Al com a aplicação de pó de basalto e de vinhaça, associadas a milho e crotalária. Isso ocorre, conforme Theodoro et al. (2021), devido à presença dos minerais ricos em Ca e Mg, os quais proporcionam de forma eficiente auxílio na neutralização do pH, agindo de forma semelhante ao processo de calagem.

Quanto ao teor de S do solo, embora tenha ocorrido um decréscimo no teor deste nutriente após a colheita da canola, conforme a interpretação apresentada no Manual de Adubação e Calagem para o estado do Paraná (SBCS/NEPAR, 2017), ambos os teores são classificados como muito altos na camada de 0-20 cm e, portanto, não foi considerado como um fator de menor ou maior disponibilidade para as plantas. Ainda, demonstram que, certamente, as plantas de canola absorveram este elemento do solo.

Na Tabela 5 estão descritas as médias dos teores foliares das plantas de canola em função das doses de N em cobertura, aplicação de pó de basalto e de S elementar. Pode-se observar que houve resposta significativa apenas para o teor de N, onde a maior dose (100 kg ha⁻¹ de N) proporcionou os maiores incrementos desse nutriente no tecido foliar, representando um aumento de 13,80% em comparação com a menor dose testada (60 kg

ha⁻¹ de N). Os demais nutrientes não apresentaram diferenças quanto a nenhum dos fatores testados.

Tabela 5: Teores foliares das plantas de canola em função das doses de nitrogênio em cobertura, aplicação de pó de basalto e de enxofre elementar

Tratamento	N	S	K	Mg	Ca
	g kg ⁻¹				
60	52,63 b	9,07 ^{ns}	21,84 ^{ns}	4,16 ^{ns}	19,31 ^{ns}
80	54,70 b	9,19	21,84	4,09	18,30
100	59,89 a	8,93	20,81	4,22	18,45
C.V. (%)	7,93	5,72	12,99	11,30	21,48
Sem pó	55,18 ^{ns}	9,08 ^{ns}	21,35 ^{ns}	4,17 ^{ns}	18,81 ^{ns}
Com pó	56,30	9,05	21,15	4,14	18,57
C.V. (%)	7,15	3,05	10,83	7,28	10,38
Sem S	56,12 ^{ns}	8,97 ^{ns}	21,29 ^{ns}	4,15 ^{ns}	18,89 ^{ns}
Com S	55,36	9,16	21,21	4,16	18,48
C.V. (%)	10,07	6,66	11,94	8,59	12,03

Médias seguidas por letras minúsculas diferentes na coluna, dentro de cada nível de tratamento, diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de significância; ^{ns} = não significativo pelo teste de Tukey. Fonte: elaborada pelos autores (2022).

A Tabela 6 apresenta os componentes de produção das plantas de canola em função das doses de N em cobertura, aplicação do pó de basalto e S elementar. Pode-se observar que as doses de 100 e 80 kg ha⁻¹ de N obtiveram o maior número de grãos por síliqua, representando acréscimo de 18,76% e 17,50%, respectivamente, em relação à dose de 60 kg ha⁻¹ de N. Enquanto os demais componentes não diferiram entre si para os fatores testados.

Tabela 6: Componentes de produção das plantas de canola em função das doses de nitrogênio em cobertura, aplicação de pó de basalto e de enxofre elementar

Tratamento	Grãos por síliqua	Síliquis planta	por	Massa de grãos (g)	mil	Produtividade (t ha ⁻¹)
60	18,16 b	147,78 ^{ns}		2,81 ^{ns}		0,75 ^{ns}
80	21,35 a	243,83		2,81		0,95
100	21,58 a	258,70		2,81		0,90
C.V. (%)	12,82	59,61		10,56		60,08
Sem pó	197,67 ^{ns}	235,76 ^{ns}		2,81 ^{ns}		0,83 ^{ns}
Com pó	209,59	197,52		2,80		0,90
C.V. (%)	16,74	17,84		5,11		47,95
Sem S	206,22 ^{ns}	233,21 ^{ns}		2,83 ^{ns}		0,86 ^{ns}
Com S	201,04	200,07		2,79		0,87
C.V. (%)	8,85	33,80		10,27		36,74

Médias seguidas por letras minúsculas diferentes na coluna, dentro de cada nível de tratamento, diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de significância; ^{ns} = não significativo pelo teste de Tukey. Fonte: elaborada pelos autores (2022).

Embora não tenha acarretado respostas significativas, a aplicação da maior dose de N resultou em acréscimo de 75 síliquis por planta em relação a menor dose. Além

disso, as doses de 100 e 80 kg ha⁻¹ proporcionaram o incremento de 20 e 26,6% em produtividade, respectivamente.

Avice e Etienne (2014) afirmam que, mesmo apresentando alta capacidade de absorção de N mineral, a canola é caracterizada por apresentar baixa eficiência no uso desse nutriente, pois apenas 50% do N absorvido está presente nas sementes após a colheita, o que pode justificar os resultados obtidos nesse trabalho, onde não houve incrementos para número de siliquis, massa de mil grãos e produtividade da cultura.

Entretanto, Puhl e Rasche-Alvarez (2015) avaliaram diferentes doses e épocas de aplicação de N na cultura da canola e encontraram respostas significativas para número de siliquis por planta e rendimento de grãos. Apesar de que a maior média de siliquis por planta (252) obtida com a aplicação de 15 kg ha⁻¹ na semeadura, 23 kg ha⁻¹ de N em estágio B₄ e 23 kg ha⁻¹ de N na floração, foi menor que a média alcançada com a dose de 100 kg ha⁻¹ de N (258) obtida nesse experimento. Todavia, esse mesmo tratamento resultou em produtividade de 1,8 t ha⁻¹, enquanto a maior dose de N deste experimento resultou em apenas 0,90 t ha⁻¹, provavelmente decorrente das condições edafoclimáticas desfavoráveis que ocorreram durante o ciclo da cultura.

Em estudo realizado por Andrade et al. (2019) testando diferentes fontes de S (gesso agrícola, S elementar e S via foliar) na cultura do milho, os autores não encontraram respostas benéficas para o uso de S elementar, visto que a maior concentração desse nutriente e os melhores resultados das variáveis analisadas foram proporcionados pelo tratamento com gesso agrícola associado à aplicação foliar de S.

Acerca do uso do pó de basalto, ainda que não tenha acarretado respostas significativas, a utilização desse insumo propiciou o aumento de 6% no número de grãos por siliqua e 8,4% em produtividade da cultura da canola.

Duarte et al. (2021) avaliaram a influência de um fertilizante mineral, de um biofertilizante e do pó de rocha na cultura do feijão, bem como a interação entre essas fontes de fertilizantes. Os autores não obtiveram respostas significativas para os componentes de rendimento e produtividade da cultura com nenhuma das fontes nas condições estudadas, mesmo que o tratamento com pó de rocha tenha apresentado numericamente as melhores médias.

Tal como Aguilera et al. (2020) que não encontraram influência na produtividade de três cultivares de soja com a adição de doses de pó de basalto (0, 1, 3 e 5 t ha⁻¹), entretanto a aplicação desse insumo contribuiu para maior qualidade das sementes obtidas.

Quanto à disponibilização de nutrientes do pó de basalto que interfiram nos componentes de produção, ocorre que a dissolução destes depende de inúmeros fatores, como a granulometria, tempo de reação do solo, pH e atividade biológica do solo. Tratando desse último, Lopes, Costa e Lopes-Assad (2013) afirmam que os processos de liberação dos nutrientes para solução do solo são lentos e necessita de tecnologia que possibilite o emprego de microrganismos em conjunto com o pó de rocha, a fim de proporcionar melhorias na fertilidade do solo em menor tempo.

Assim, neste estudo, principalmente os fatores tempo de reação e a não associação com microrganismos, certamente prejudicaram a disponibilização de nutrientes na solução do solo e, conseqüentemente, à planta. Além das condições edafoclimáticas desfavoráveis que ocorreram durante o ciclo da cultura e a boa fertilidade da área experimental. Resultado este que pode ser corroborado em trabalhos como o de Cunha, Almeida e Coelho (2020).

4 CONCLUSÕES

A utilização do pó de basalto apresentou efeito residual logo após um ano de aplicação ao melhorar as características químicas do solo com aumento de pH do solo, dos teores de K e P, do V% e redução da acidez potencial do solo. A dose de 100 kg ha⁻¹ de N proporcionou aumento do teor de N nas plantas de canola, enquanto as doses de 80 e 100 kg ha⁻¹ de N proporcionaram aumento no número de grãos por síliqua das plantas de canola.

Contudo, a produtividade da cultura não foi influenciada por nenhum dos fatores testados, provavelmente devido às condições climáticas desfavoráveis que ocorreram durante o ciclo da cultura, dado que esta oleaginosa é sensível ao déficit hídrico e a altas temperaturas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa e fomento da pesquisa.

REFERÊNCIAS

AGUILERA, J. G. et al. Influencia de dosis de polvo de basalto sobre cultivares de soya. **Research Society and Development**, v. 9, n. 7, 2020.

ALMEIDA, L. H. C. et al. Silício e disponibilidade e de fósforo no crescimento e desenvolvimento de mudas de café. **Cultura Agrônômica**, v. 26, n. 2, p. 123-131, 2017.

ANDRADE, R. P. et al. Fontes, modo de aplicação e translocação de enxofre no desenvolvimento inicial do milho. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 12, p. 32019-32032, 2019.

ANGELOTTI-MENDONÇA, J. et al. **Canola (*Brassica napus* L.)**. Piracicaba, São Paulo, Brasil: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Divisão de Biblioteca, 2016. 35p.

AVICE, J. C.; ETIENNE, P. Leaf senescence and nitrogen remobilization efficiency in oilseed rape (*Brassica napus* L.). **Journal of Experimental Botany**, v. 65, n. 14, p. 3813-3824, 2014.

ASSOCIAÇÃO DOS MISTURADORES DE ADUBOS DO BRASIL (AMA BRASIL). **Produção e Importação de Fertilizantes**. 2019. Disponível em: <<https://amabrasil.agr.br/web/portfolio-item/producao-e-importacao-de-fertilizantes/>>. Acesso em: 30 jun. 2020.

BERRY, P. M.; SPINK, J. H. A physiological analysis of oilseed rape yields: Past and future. **Journal of Agricultural Science**, v. 144, n. 5, p. 381-392, 2006.

ComexStat. **Adubos ou fertilizantes químicos (exceto fertilizantes brutos)**. 2022. Disponível em: <<http://comexstat.mdic.gov.br/pt/comex-vis>>. Acesso em: 26 jan. 2022.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira – grãos (Quarto levantamento – Safra 2018/19)**. n. 4, v. 6, 2019. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>>. Acesso em: 21 mai. 2020.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira – grãos (Oitavo levantamento – Safra 2019/20)**. n. 8, v. 7, 2020. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>>. Acesso em: 21 jun. 2020.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira – grãos (Décimo segundo levantamento – Safra 2020/21)**. v. 8, n. 12, 2021. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>>. Acesso em: 26 ago. 2021.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira – grãos (Quarto levantamento – Safra 2021/22)**. v. 9, n. 4, 2022. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>>. Acesso em: 14 jan. 2022.

CORDEIRO, L. A.; REIS, M. S.; ALVARENGA, E. M. **A cultura da canola**. Viçosa, Minas Gerais, Brasil: Universidade Federal de Viçosa, 1999. 50p.

COSTA, A. C. T. et al. Comportamento de dois híbridos de canola cultivados em diferentes épocas na região oeste do Paraná. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 9, p. 72498-72510, 2020.

CUNHA, G. O. M.; ALMEIDA, J. A.; COELHO, C. M. M. Chemical composition of soybean seeds subjected to fertilization with rock dusts. **Acta Scientiarum**, v. 44, p. 1-17, 2020.

DOGAN, E. et al. Supplemental irrigation effect on canola yield components under semiarid climatic conditions. **Agricultural Water Management**, v. 98, n. 9, p. 1403-1408, 2011.

DUARTE, J. R. M. et al. Produtividade e qualidade de sementes de feijão em resposta a fertilizante mineral, biofertilizantes e pó de rocha. **Revista Cultura Agronômica**, v. 30, n. 1, p. 73-92, 2021.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

HOROWITZ, N.; MEURER, E. J. Oxidação do enxofre elementar em solos tropicais. **Ciência Rural**, v. 36, p. 822-828, 2006.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Dados históricos anuais**. 2020. Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/dadoshistoricos>>. Acesso em: 20 dez. 2021.

KAEFER, J. E. et al. Produtividade de grãos e componentes de produção da canola de acordo com fontes e doses de nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, n. 4, p. 273-280, 2014.

KÄMPF, N.; CURTI, N.; MARQUES, J. J. V – **Intemperismo e ocorrência de minerais no ambiente do solo**. In: MELHOR, V. F.; ALLEONI, L. R. F. **Química e mineralogia do solo**. Minas Gerais, Brasil: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 336-379, 2009.

KORCHAGIN, J. et al. **Atributos químicos de solos agrícolas submetidos à aplicação de pó de basalto hidrotermalizado e efeitos na produção vegetal**. In: DONATO, M.; DUARTE, L. C. **Gemas, joias e mineração: pesquisas aplicadas no Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: IGEO/UFRGS, p. 98-107, 2016.

KRUGER, C. A. M. B. et al. Arranjo de plantas na expressão dos componentes da produtividade de grãos de canola. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 11, p. 1448-1453, 2011.

LANA, M. C. et al. **Análise química de solo e tecido vegetal: metodologias analíticas**. 2ed. Cascavel, Paraná, Brasil: Edunioeste, 2016. 153p.

LOPES, O. M. M.; COSTA, L. G.; LOPES-ASSAD, M. L. Solubilização de pó de basalto por meio de vinhaça: variação de pH e nutrientes disponíveis. **Engenharia Ambiental**, v. 10, n. 2, p. 175-188, 2013.

LUCAS, F.T. et al. Produtividade e qualidade de grãos de canola em função da adubação nitrogenada e sulfatada. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 6, p. 3205-3218, 2013.

MA, B. L. et al. Uptake and nutrient balance of nitrogen, sulfur, and boron for optimal canola production in eastern Canada. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 182, p. 252-264, 2019.

MARTINS, E. S. et al. **Materiais silicáticos como fontes regionais de nutrientes e condicionadores de solos**. In: FERNANDES, F. R.; LUZ, A. B.; CASTILHOS, Z. C. **Agrominerais para o Brasil**. Rio de Janeiro, Brasil: CETEM/MCT, p. 89-104, 2010.

MARTINS, J. C.; MARTINS, E. S.; REATTO, A. **Revisão de intemperismo de micas**. Planaltina, Distrito Federal, Brasil: Embrapa Cerrados, 2004. 48p.

MELGAREJO, M. A. et al. Características agronômicas e teor de canola em função da época de semeadura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, v. 18, n. 9, p. 934-938, 2014.

MELO, V. F. et al. Doses de basalto moído nas propriedades químicas de um Latossolo Amarelo distrófico da savana de Roraima. **Acta Amazônica**, v. 42, n. 2, p. 471-476, 2012.

NITSCHKE, P. R. et al. **Atlas Climático do Estado do Paraná**. Londrina, Paraná, Brasil: IAPAR, 2019. 216p.

NUNES, J. M. G.; KAUTZMANN, R. M.; OLIVEIRA, C. Evaluation of the natural fertilizing potential of basalt dust wastes from the mining district of Nova Prata (Brazil). **Journal of Cleaner Production**, v. 84, n. 1, p. 649-656, 2014.

OLIVEIRA, R. J. et al. Oxidação de enxofre elementar e diferentes fontes e doses de fertilizantes. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 5, p. 27735-27745, 2020.

POZZA, A. A. A. et al. Competitive retention and desorption of inorganic anions on natural soil gibbsite. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, p. 1627-1633, 2007.

PUHL, R. W.; RASCHE-ALVAREZ, J. W. Manejo da adubação nitrogenada na cultura da canola. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 2, n. 1, p. 41-52, 2015.

SANTOS, H. G. et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5ed. Brasília, Distrito Federal, Brasil: Embrapa, 2018. 376p.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. NÚCLEO ESTADUAL DO PARANÁ. **Manual de Adubação e Calagem para o estado do Paraná**. Curitiba, Paraná, Brasil: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – Núcleo Estadual Paraná, 2017. 482p.

SOUZA, M. D. B.; FONTANETTI, A.; LOPES-ASSAD, M. L. R. C. Efeito de remineralizador, vinhaça e plantas de cobertura nos atributos químicos do solo. **Revista Ciência, Tecnologia e Ambiente**, v. 5, n. 1, p. 1-7, 2017.

THEODORO, S. H. et al. Rochas basálticas para rejuvenescer solos intemperizados. **Revista Liberato**, v. 22, n. 37, p. 1-120, 2021.

TILMAN, D. et al. Forecasting agriculturally driven global environmental change. **Science**, v. 292, p. 281-284, 2001.

TOMM, G. O., et al. **Tecnologia para produção de canola no Rio Grande do Sul**. 2009. Embrapa Trigo: Documentos online 113. Disponível em: <http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p_do113.htm>. Acesso em: 15 dez. 2021.

VALLE, L. A. R. et al. Beneficial use of a by-product from the phosphate fertilizer industry in tropical soils: effects on soil properties and maize and soybean growth. **Journal of Cleaner Production**, v. 112, n. 1, p. 113-120, 2016.

VITTI, G. C.; OTTO, R.; SAVIETTO, J. Manejo do enxofre na agricultura. **Informações Agronômicas**. Piracicaba, São Paulo, Brasil: International Plant Nutrition Institute, 2015. 28p.

WRITZL, T. C. et al. Produção de milho pipoca com uso de pó de rocha de basalto associado à cama de frango em Latossolo. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 9, n. 2, p. 101-109, 2019.