

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ  
CAMPUS DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**NATÁLIA CARDOSO DOS SANTOS**

**EFEITO RESIDUAL DO PÓ DE BASALTO E ENXOFRE ELEMENTAR E  
RESPOSTA DA CULTURA DA CANOLA A ADUBAÇÃO NITROGENADA EM  
COBERTURA**

**MARECHAL CÂNDIDO RONDON – PARANÁ**

**2022**

**NATÁLIA CARDOSO DOS SANTOS**

**EFEITO RESIDUAL DE PÓ DO BASALTO E ENXOFRE ELEMENTAR E  
RESPOSTA DA CULTURA DA CANOLA A ADUBAÇÃO NITROGENADA EM  
COBERTURA**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, para obtenção do título de Magister Scientiae.

Orientadora: Dra. Maria do Carmo Lana

**MARECHAL CÂNDIDO RONDON – PARANÁ**

**2022**

Ficha de identificação da obra elaborada através do Formulário de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da Unioeste.

dos Santos, Natália Cardoso  
EFEITO RESIDUAL DO PÓ DE BASALTO E ENXOFRE ELEMENTAR E  
RESPOSTA DA CULTURA DA CANOLA A ADUBAÇÃO NITROGENADA EM  
COBERTURA / Natália Cardoso dos Santos; orientadora Maria  
do Carmo Lana. -- Marechal Cândido Rondon, 2022.  
67 p.

Dissertação (Mestrado Acadêmico Campus de Marechal Cândido  
Rondon) -- Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Centro  
de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia,  
2022.

1. Cultura da canola. 2. Cultura do milho. 3. Pó de rocha  
como remineralizador do solo. 4. Adubação nitrogenada e  
sulfatada. I. Lana, Maria do Carmo, orient. II. Título.



Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Campus de Marechal Cândido Rondon - CNPJ 78680337/0003-46  
Rua Pernambuco, 1777 - Centro - Cx. P. 91 - <http://www.unioeste.br>  
Fone: (45) 3284-7878 - Fax: (45) 3284-7879 - CEP 85960-000  
Marechal Cândido Rondon - PR.



## NATÁLIA CARDOSO DOS SANTOS

Efeito residual do pó de basalto e enxofre elementar e resposta da cultura da canola a adubação nitrogenada em cobertura

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestra em Agronomia, área de concentração Produção Vegetal, linha de pesquisa Manejo de Culturas, APROVADO pela seguinte banca examinadora:

  
Orientadora - Maria do Carmo Lana

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Marechal Cândido Rondon (UNIOESTE)

  
Paulo Sérgio Rabello de Oliveira

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Marechal Cândido Rondon (UNIOESTE)

  
Alfredo José Alves Neto

Agro Schimi Consultoria Agronômica e Pesquisa

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente à Deus, por ter me guiado e me protegido durante todos os momentos desta jornada, dando-me força, sabedoria e perseverança para enfrentar todos os obstáculos que surgiram no caminho.

À minha família, em especial aos meus pais, Claudete e Jurandir, meus irmãos, Hugo, Rafael, Ana Paula e Lucian, e meus avós, Abgail e Gentil, que não mediram esforços para me auxiliar. Agradeço por todo apoio, paciência, compreensão e amor que me foi dado, por estarem ao meu lado em todas as circunstâncias.

A Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa e fomento da pesquisa.

A minha professora orientadora Dr<sup>a</sup>. Maria do Carmo Lana e ao professor Dr. José Barbosa Duarte Júnior, por todo conhecimento, auxílio, incentivo e confiança que me transmitiram. Deixo aqui o meu eterno agradecimento e profundo reconhecimento pelos grandes profissionais que são.

Ao Dr. Jucenei Fernando Frandoloso, agradeço a prestatividade, ensinamentos, colaboração e parceria durante toda a execução deste trabalho, principalmente nas avaliações laboratoriais. O meu muito obrigado e grande admiração.

Aos funcionários da Estação Experimental Prof. Dr. Antonio Carlos dos Santos Pessoa, em especial ao Dirceu Rauber, por todo auxílio durante a implantação e condução dos experimentos à campo.

Ao meu namorado, Marco Antônio, por todo amor, compreensão, apoio e cuidado que me ofereceu.

Aos meus amigos, especialmente a Amanda, minha amiga-irmã, com quem partilhei todas as angústias, alegrias e tarefas durante este período, agradeço a sincera e imensurável amizade; ao Rafael, pelo auxílio durante toda a condução dos experimentos; às minhas *housemates*, Jessyca e Laís, por todo companheirismo, amizade e suporte que me concederam; ao Michael pela amizade e por se aventurar me auxiliando durante os experimentos e Giordana por toda ajuda, conhecimento e cumplicidade.

E a todos aqueles que aqui não foram citados, mas que de forma direta ou indireta contribuíram para a concretização deste trabalho.

*O êxito da vida não se mede pelo caminho que você conquistou, mas sim pelas dificuldades que superou no caminho.*

Abraham Lincoln

## RESUMO

SANTOS, Natália Cardoso dos. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, maio de 2022. **Efeito residual do pó de basalto e enxofre elementar e resposta da cultura da canola a adubação nitrogenada em cobertura.** Orientadora: Dra. Maria do Carmo Lana.

A canola e o milho são culturas de grande interesse econômico e exigentes em fertilidade. Entretanto, como o enfoque mais comum da fertilização do solo preconiza o uso de fertilizantes químicos solúveis, faz-se necessária a busca por fontes alternativas de fornecimento de nutrientes que possam complementar a adubação destas culturas. Neste sentido, o uso do pó de rocha é uma das opções disponíveis. Diante disso, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito residual do pó de basalto e enxofre elementar nas culturas da canola e do milho, além de analisar a resposta destas culturas à adubação nitrogenada. Foram desenvolvidos dois experimentos na mesma área experimental, adotando o delineamento experimental em blocos casualizados (DBC) com quatro repetições, em esquema de parcelas subdivididas. No experimento 1, realizado com a cultura da canola, as parcelas foram constituídas por três doses de nitrogênio (80; 100 e 120 kg ha<sup>-1</sup>) utilizando ureia como fonte de N; as subparcelas pela presença ou ausência do efeito residual do pó de basalto (12 t ha<sup>-1</sup>) e as subsubparcelas pela presença ou ausência do efeito residual de enxofre elementar (60 kg ha<sup>-1</sup>). Tanto o pó de basalto quanto o enxofre elementar foram aplicados um ano antes da implantação da cultura. As variáveis analisadas foram os teores de Ca, Mg, K, N e S no tecido foliar; os componentes de produção da cultura: grãos por síliqua, síliquas por planta, massa de mil grãos e produtividade; e a caracterização química do solo. A utilização do pó de basalto apresentou efeito residual logo após um ano de aplicação com alteração nos atributos químicos do solo por meio do aumento do pH, dos teores de K e P, do V% e redução da acidez potencial. A dose de 100 kg ha<sup>-1</sup> de N proporcionou aumento do teor deste nutriente nas plantas de canola, enquanto as doses de 80 kg ha<sup>-1</sup> e de 100 kg ha<sup>-1</sup> 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. Já no experimento 2, realizado com a cultura do milho, as parcelas foram constituídas por três doses de composto orgânico (0; 3 e 6 t ha<sup>-1</sup>), as subparcelas pela presença ou ausência do efeito residual do pó de basalto (12 t ha<sup>-1</sup>) e as subsubparcelas pela presença ou ausência do efeito residual de enxofre elementar (60 kg ha<sup>-1</sup>). Tanto o pó de basalto quanto o enxofre elementar foram reaplicados na área posteriormente a colheita da cultura da canola. Foram determinados a altura e o diâmetro de plantas de milho, além do pH e teores de P, K, Ca, Mg, Cu, Zn, Mn e Fe do solo. A aplicação de 12 t ha<sup>-1</sup> de pó de basalto resultou no incremento de 78,65% no teor de P no solo. Entretanto, devido ao déficit hídrico prolongado que ocorreu durante o ciclo da cultura, não foi possível realizar a análise de tecido foliar e nem avaliar a produtividade da cultura do milho.

**Palavras-chave:** Rochagem. Adubação sulfatada. Remineralização do solo.

## ABSTRACT

SANTOS, Natália Cardoso dos. State University of Western Paraná, in May 2022. **Residual effect of rock dust and elemental sulfur and canola crop response to nitrogen fertilization in topdressing.** Advisor: PhD Maria do Carmo Lana.

Canola and corn are crops of great economic interest and demanding fertility. However, as the most common approach to soil fertilization indicates the use of soluble chemical fertilizers, it is necessary to search for alternative sources of nutrient supply that can complement the fertilization of these crops. In this sense, the use of rock dust is one of the available options. Therefore, the objective of this work was to evaluate the residual effect of basalt dust and elemental sulfur on canola and corn crops, in addition to analyzing the response of these crops to nitrogen fertilization. Two trials were carried out in the same experimental area, adopting the experimental design in randomized blocks with four replications, in a split-plot scheme. In experiment 1, carried out with rapeseed, the plots were constituted by three doses of nitrogen (80, 100 and 120 kg ha<sup>-1</sup>) using urea as a source of N; the subplots by the presence or absence of the residual effect of basalt dust (12 t ha<sup>-1</sup>) and the subsubplots by the presence or absence of the residual effect of elemental sulfur (60 kg ha<sup>-1</sup>). Both basalt powder and elemental sulfur were applied one year before planting the culture. The variables analyzed were the levels of Ca, Mg, K, N and S in the leaf tissue; the crop production components: grains per silique, siliques per plant, mass of one thousand grains and productivity; and soil chemical characterization. The use of basalt powder showed a residual effect after one year of application, with changes in the chemical attributes of the soil through an increase in pH, K and P contents, V% and reduction of potential acidity. The dose of 100 kg ha<sup>-1</sup> of N increased the content of this nutrient in the canola plants, while the doses of 80 kg ha<sup>-1</sup> and 100 kg ha<sup>-1</sup> increased the number of grains per silique of the canola plants. However, crop productivity was not influenced by any of the factors tested. In experiment 2, carried out with corn, the plots were constituted by three doses of organic compost (0; 3 and 6 t ha<sup>-1</sup>), the subplots by the presence or absence of the residual effect of basalt powder (12 t ha<sup>-1</sup>) and the subsubplots by the presence or absence of the residual effect of elemental sulfur (60 kg ha<sup>-1</sup>). Both basalt powder and elemental sulfur were reapplied to the area after the canola crop was harvested. The height and diameter of corn plants were determined, as well as the pH and P, K, Ca, Mg, Cu, Zn, Mn and Fe contents of the soil. The application of 12 t ha<sup>-1</sup> of basalt powder resulted in an increase of 78.65% in the P content in the soil. However, due to the prolonged water deficit that occurred during the crop cycle, it was not possible to perform the analysis of leaf tissue nor to determine the productivity of the corn crop.

**Keywords:** Rocking. Sulfated fertilization. Soil remineralization.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Inflorescência de canola ( <i>Brassica napus</i> L. var. <i>oleifera</i> ) .....	15
Figura 2. Siliquis de canola ( <i>Brassica napus</i> L. var. <i>oleifera</i> ) em diferentes pontos de maturação .....	16
Figura 3. Precipitação pluviométrica acumulada e temperaturas mínima e máxima a cada sete dias referentes ao período de desenvolvimento da cultura da canola safra 2020. Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia. ....	32
Figura 4. Croqui da área experimental do experimento 1 .....	34
Figura 5. Precipitação pluviométrica acumulada e temperaturas mínima e máxima a cada sete dias referentes ao período de desenvolvimento da cultura do milho na safra 2021/22. Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia/Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná.....	38
Figura 6. Croqui da área experimental do experimento 2 .....	39
Figura 7. a) e b) Plantas de milho severamente afetadas pelo déficit hídrico aos 78 dias após a semeadura; c) e d) Estande de plantas de milho seriamente comprometido pelo déficit hídrico aos 78 dias após a semeadura .....	50
Figura 8. a) e b) Espigas de milho afetadas pelo estresse hídrico aos 125 dias após a semeadura .....	51

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1. Estádios fenológicos da cultura da canola .....	17
Tabela 2. Estádios fenológicos da cultura do milho .....	27
Tabela 3. Nutrientes em milho: extração e exportação .....	30
Tabela 4. Caracterização química geral anteriormente à implantação do experimento com a cultura da canola, na profundidade de 0,00 - 0,20 m .....	33
Tabela 5. Composição química do pó de basalto.....	34
Tabela 6. Granulometria do pó de basalto .....	34
Tabela 7. Caracterização química geral após a colheita do experimento com a cultura da canola, na profundidade de 0,00 - 0,20 m .....	36
Tabela 8. Caracterização química geral anterior à implantação do experimento com a cultura do milho, na profundidade de 0,00 – 0,20 m .....	39
Tabela 9. Teores nutricionais das plantas de canola em função das doses de nitrogênio, aplicação de pó de basalto e de enxofre elementar .....	45
Tabela 10. Componentes de produção das plantas de canola e produtividade em função das doses de nitrogênio, aplicação de pó de basalto e de enxofre elementar .....	45
Tabela 11. Altura e diâmetro das plantas de milho em função das doses de composto orgânico, aplicação de pó de basalto e de enxofre elementar .....	48
Tabela 12. pH CaCl <sub>2</sub> e teores de nutrientes do solo submetido a aplicação de composto orgânico, pó de basalto e enxofre elementar .....	52

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL.....	13
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	14
	2.1 Morfologia e fenologia da cultura da canola.....	14
	2.2 Parâmetro geral da cultura da canola e suas aplicações.....	17
	2.3 Nitrogênio na cultura da canola.....	19
	2.4 Enxofre elementar na cultura da canola.....	21
	2.5 Pó de rocha como remineralizador do solo.....	24
	2.6 Morfologia e fenologia do milho.....	26
	2.7 Parâmetro geral da cultura do milho e suas aplicações.....	27
	2.8 Adubação na cultura do milho.....	28
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	31
	3.1 Experimento 1.....	31
	3.1.1 Caracterização da área.....	31
	3.1.2 Caracterização do material vegetal.....	32
	3.1.3 Delineamento experimental e condução do experimento.....	32
	3.1.4 Variáveis avaliadas.....	36
	3.2 Experimento 2.....	37
	3.2.1 Caracterização da área.....	37
	3.2.2 Caracterização do material vegetal.....	38
	3.2.3 Delineamento experimental e condução do experimento.....	38
	3.2.4 Variáveis avaliadas.....	40
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	41
	4.1 Experimento 1.....	41
	4.2 Experimento 2.....	48
5	CONCLUSÕES.....	54

5.1	Experimento 1 .....	54
5.2	Experimento 2 .....	54
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	55

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

A canola (*Brassica napus* L. var. *oleifera*) é uma das culturas mais cultivadas no mundo, é a terceira dentre as oleaginosas, atrás apenas do dendê e da soja, a qual foi desenvolvida através do melhoramento genético da colza. O termo canola, um acrônimo de CANadian Oil Low Acid, refere-se a cultivares com baixo teor de ácido erúcido (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). No ano de 2021, 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 a sensibilidade da canola à geada e ao déficit hídrico (CONAB, 2021).

Quanto a fertilização desta cultura, o nutriente mais exigido é o nitrogênio e sua aplicação promove o aumento do desenvolvimento da parte aérea (KAEFER, 2012) e é determinante para o maior rendimento de grãos da cultura (LUCAS et al., 2013; GOUVÊA et al., 2017). Além disso, a cultura da canola é sensível à deficiência de enxofre, o qual 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).

Por outro lado, a cultura do milho é amplamente cultivada no Brasil e no mundo, com elevada importância econômica e social. De acordo com Gasques et al. (2021), nos últimos 10 anos, a área total cultivada com este cereal no país cresceu 30,7%, devido, principalmente, a área de milho segunda safra, e pode alcançar um total de 27,7 milhões de hectares até a safra de 2030/31.

Kappes, Silva e Ferreira (2017) apontam que o nitrogênio, fósforo e potássio são os nutrientes mais requeridos pela planta de milho. O nitrogênio, por sua vez, é o nutriente absorvido em maiores quantidades e que apresenta os maiores efeitos no aumento de produtividade de grãos da cultura. Isso ocorre porque este elemento é constituinte da maioria dos compostos e reações bioquímicas na planta, e sua concentração nos tecidos vegetais é de grande importância para a produção por ser remobilizado na fase de enchimento de grãos (SOUZA; FERNANDES, 2018).

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. Todavia, o Brasil importa 94% do N, 72% do P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 96% do K<sub>2</sub>O (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, quando ocorrem aplicações de doses desequilibradas, causa impactos ambientais, como eutrofização de águas e liberação de gases poluentes na atmosfera (TILMAN et al., 2001; MARTINS et al., 2010).

Assim, é necessário buscar alternativas às fontes de nutrientes importadas 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.

Ainda são necessários estudos dessa prática, todavia, conforme Osterroht (2003), a dissolução dos pós de rocha é um processo muito lento e complexo, dependente de fatores como a composição química e mineralógica da rocha, da granulometria do material, do tempo de reação, e de fatores do solo como o pH e a atividade biológica.

Diante disto, 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. Presume-se que a fertilização com nitrogênio e enxofre proporcione o aumento do rendimento de grãos da canola e do milho. Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a resposta residual do pó de basalto e enxofre elementar e o efeito de doses de nitrogênio em cobertura nas culturas da canola e do milho.

## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 MORFOLOGIA E FENOLOGIA DA CULTURA DA CANOLA**

A origem da canola (*Brassica napus* L.) está ligada ao cultivo das sementes conhecidas como sementes de colza (*Brassica napus*) e os primeiros registros de cultivo da colza no Brasil são do ano de 1974 no Rio Grande do Sul (ANGELOTTI-

MENDONÇA et al., 2016). Assim, por acumular elevado teor de lipídeos em seus grãos, é considerada uma cultura oleaginosa (NOGUEIRA et al., 2017).

A canola é uma planta herbácea pertencente ao gênero *Brassica* e a sua espécie, *napus*, é dividida em duas subespécies, a spp. *rapifera*, que possui sistema radicular alongado e parte aérea usualmente utilizada para a produção de forragem, e a spp. *oleifera*, utilizada em práticas como a rotação de culturas, produção de ração animal e, principalmente, produção de óleo, seja na indústria alimentícia ou na produção de biodiesel (ANGELOTTI-MENDONÇA et al., 2016).

A planta apresenta raiz do tipo pivotante, com grande quantidade de raízes secundárias, o caule é ereto (ANGELOTTI-MENDONÇA et al., 2016) e pode alcançar até 1,80 m de altura, conforme as condições edafoclimáticas (GARCIA, 1999). Trata-se de uma cultura anual de clima frio que alcança o seu potencial máximo em locais com temperatura do ar amena, em torno de 20 °C durante todo o ciclo, mas que pode variar entre 13 e 22 °C no período vegetativo sem que haja prejuízos no rendimento final (TARTAGLIA, 2016).

Suas folhas apresentam cor verde-escuro e suas flores são amarelas, as quais apresentam quatro pétalas e quatro sépalas dispostas em forma de cruz e agrupadas em inflorescências terminais (Figura 1). A floração ocorre de baixo para cima na inflorescência e na planta desde a base até o ápice (WITTER; SILVA; BLOCHTEIN, 2014).



**Figura 1.** Inflorescência de canola (*Brassica napus* L. var. *oleifera*)

O fruto alongado é uma síliqua (Figura 2) com deiscência longitudinal, onde as sementes caem facilmente ao amadurecer, produzem cerca de 15 a 25 grãos por síliqua e estes grãos apresentam, geralmente, entre 24 e 27% de proteína e de 38 a 50% de óleo (WITTER; SILVA; BLOCHTEIN, 2014; ANGELOTTI-MENDONÇA et al., 2016). Os grãos, uma vez maduros, apresentam cor castanha, avermelhada ou preta (GARCIA, 1999).



**Figura 2.** Síliquis de canola (*Brassica napus* L. var. *oleifera*) em diferentes pontos de maturação

A canola tem o seu ciclo descrito por uma escala fenológica (Tabela 1), o qual é subdividido em seis períodos: germinação, plântula, roseta, alongamento, florescimento e maturação (IRIARTE; VALETTI, 2008). De acordo com os autores, estes períodos ainda são divididos em subperíodos, nos quais o dossel sofre uma série de mudanças físicas ocasionadas, basicamente, pela formação das estruturas reprodutivas.



**Tabela 1.** Estádios fenológicos da cultura da canola

<b>Estádio</b>	<b>Caracterização</b>	<b>Subperíodo</b>
S	Semeadura	Germinação
A	Cotilédones visíveis	Plântula
B <sub>1</sub>	Uma folha totalmente desenvolvida	
B <sub>2</sub>	Duas folhas totalmente desenvolvidas	
B <sub>3</sub> a B <sub>6</sub>	Três a seis folhas desenvolvidas	Roseta
C <sub>1</sub>	Aparecimento de folhas novas	
C <sub>2</sub>	Entrenós visíveis e início das ramificações principais	Alongamento
D <sub>1</sub>	Inflorescência visível	
D <sub>2</sub>	Botão coberto com inflorescências secundárias visíveis	
E	Botão separado	
F <sub>1</sub>	Primeiras flores abertas	Florescimento
F <sub>2</sub>	Alongamento do ramo floral com numerosas folhas abertas	
G <sub>1</sub>	Queda de pétalas com dez siliquis de 2 cm	
G <sub>3</sub>	Siliquis com mais de 4 cm	
FF	Final do florescimento	
G <sub>4</sub>	10% das siliquis com grão de coloração escura	Maturação
G <sub>5</sub>	90% das siliquis com grão de coloração escura	

Fonte: Iriarte e Valetti (2008).

## 2.2 PARÂMETRO GERAL DA CULTURA DA CANOLA E SUAS APLICAÇÕES

O cultivo no Brasil, bem como as pesquisas em relação a canola, iniciou no Paraná por volta dos anos 80. No país a produção é somente de cultivares de primavera (“spring canola”) pertencentes a subespécie *oleifera*, e os grãos produzidos possuem de 24 a 27% de proteína e, em média, 38% de óleo (TOMM et al., 2009).

Os maiores produtores e consumidores mundiais de canola encontram-se na União Europeia, e o Canadá se destaca como o segundo maior produtor de grãos, seguido da China e Índia (CONAB, 2017). Enquanto a produção brasileira de canola concentra o seu cultivo na região Sul, nos Estados do Paraná e Rio Grande do Sul. No Paraná, a produção da canola é bem concentrada, representada por poucas regiões ao longo do Estado (CONAB, 2019). Atualmente, a saca de 60 kg de grãos de canola é comercializada por R\$ 176,00 na região de Curitiba – PR (AGROLINK, 2022).

Segundo dados da CONAB (2022), na safra 2020 a produção de canola totalizou 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 passou de 912 para 1.399 kg ha<sup>-1</sup>, 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 tenham provocado prejuízos às lavouras que estavam em floração e frutificação, além dos baixos índices pluviométricos registrados em parte do ciclo que comprometeram o desenvolvimento do grão.

O óleo de canola é considerado saudável principalmente devido ao menor teor de ácidos graxos em sua composição ao ser comparado a outros óleos vegetais, como o óleo de girassol, por exemplo, que possui 12% de ácidos graxos, o óleo de canola apresenta 5% a menos do mesmo componente (ANGELOTTI-MENDONÇA et al., 2016; BARTHET, 2016). Além disso, apresenta alto teor de ácidos graxos monoinsaturados (61%), que confere ao óleo propriedade que induz à redução das partículas do LDL; e nível intermediário de ácidos graxos poli-insaturados com bom balanço entre os ácidos ômega-6 e ômega-3, elementos importantes em funções de desenvolvimento do sistema imunológico e ações protetoras a doenças coronarianas (McDONALD, 2000).

Além da produção de óleo comestível, a canola pode ser utilizada na produção de biodiesel e o seu subproduto, o farelo, utilizado para formulações de rações para alimentação animal (BARBOSA, 2011). Assim, esta cultura representa atrativo socioeconômico, rotaciona culturas na gleba em que é cultivada e equivale a mais uma opção de renda ao agricultor (MICUANSKI, 2014).

Ainda, como a canola é produzida no inverno, isso possibilita a produção de óleo vegetal em época do ano distinta a de cultivo de outra espécie oleaginosa de grande importância, que é a soja (TOMM et al., 2009), permite a rotação de cultura com o trigo, proporciona a utilização de herbicidas distintos, controla com mais eficiência as plantas daninhas e auxilia na quebra do ciclo de doenças que causam grandes prejuízos à produção tritícola (GULARTE; MACEDO; PANOZZO, 2020).

Outro benefício do cultivo desta oleaginosa é a produção de mel mediante a instalação de colmeias nas proximidades da lavoura. Isso é possível porque as abelhas se destacam como efetivos polinizadores da canola (WITTER; SILVA; BLOCHTEIN, 2014). Conforme os mesmos autores, estudos no Canadá constataram

aumento de 46% na produtividade da canola com a introdução de 3 colônias de abelhas (*Apis mellifera*) por hectare, enquanto no Rio Grande do Sul esse aumento chegou em até 70%.

Ademais, outras vantagens comprovadas pelo cultivo de canola são relacionados às leguminosas, como o feijão e a soja, e para gramíneas, como o milho, ao reduzir problemas causados por cercosporiose e mancha de diplodia (WITTER; SILVA; BLOCHTEIN, 2014). Entretanto, estudos como os realizados por Valentini et al. (2007) e Silva et al. (2011) estabelecem um intervalo mínimo de 20 dias na sucessão entre canola e soja, isso porque a canola produz compostos alelopáticos sobre a cultura da soja, principalmente em anos de reduzida precipitação, o que pode acarretar declínio de componentes produtivos da soja, como o número de vagens por planta.

### 2.3 NITROGÊNIO NA CULTURA DA CANOLA

Embora o nitrogênio atmosférico ( $N_2$ ) componha 78% dos gases da atmosfera terrestre, essa forma de N possui reatividade muito baixa (FERNANDES; SOUZA; SANTOS, 2018) em decorrência da tripla ligação entre átomos de N, o que torna a molécula quase inerte (VIEIRA, 2017).

Segundo Raij (2017), uma pequena parte do N total do solo encontra-se nas formas minerais de amônio ( $NH_4^+$ ), nitrato ( $NO_3^-$ ) e nitrito ( $NO_2^-$ ), as quais são aproveitáveis pelas plantas e, portanto, de maior interesse para a nutrição vegetal. Estas formas são oriundas, em condições aeróbicas, da matéria orgânica e de fertilizantes minerais e orgânicos adicionados ao solo.

A busca do fornecimento adequado de N em cada etapa de desenvolvimento da planta visando à máxima produtividade é necessário porque, conforme Fernandes, Souza e Santos (2018), a sua disponibilidade no solo é reduzida por ser facilmente sujeito a perdas, as quais ocorrem por causa de as principais formas de N disponíveis serem o  $NO_3^-$  e  $NH_4^+$ , com predominância do  $NO_3^-$  nos solos tropicais intemperizados, os quais podem ser perdidos no sistema solo-planta-atmosfera.

O manejo da adubação nitrogenada no cultivo de canola é um fator chave para alcançar altas produtividades e elevado teor de óleo, além de ser fundamental suprir a necessidade da cultura ainda no período vegetativo (SÜZER, 2015).

Contudo, a adubação com N pode ser dividida entre semeadura e cobertura, onde esta última é indispensável para rendimentos satisfatórios (TOMM et al., 2009; ANGELOTTI-MENDONÇA et al., 2016).

Com relação ao melhor momento de aplicação de N na canola, Tomm et al. (2009) apontam que a fertilidade do solo pode ser utilizada para a sua determinação. Os autores explicam que em condições de baixa fertilidade do solo, há uma resposta superior a aplicação de doses maiores na semeadura. Já em condições de alta fertilidade do solo, a aplicação da maior parte de N em cobertura se mostra mais satisfatória e deve ser realizada preferencialmente no estágio B<sub>4</sub>, onde a planta apresenta quatro folhas verdadeiras.

Para a organização Canola Council of Canada (2009), o maior efeito do N observado nas plantas é o incremento no crescimento, expresso especialmente na altura e no acúmulo de massa seca da planta. Ademais, ocorrem incrementos na área foliar, massa por planta, número de inflorescências, número e massa de siliquas por planta e produtividade.

Em relação aos sintomas de deficiência na planta ocasionados pelo N, estes ocorrem nas folhas mais velhas, onde pode ser observado clorose. Além disso, as plantas crescem mais lentamente, com caules mais curtos, folhas pequenas e pouca ramificação (TOMM et al., 2009). Sintomas esses que corroboram com os resultados obtidos por Lucas et al. (2013) ao avaliarem os efeitos da adubação nitrogenada e sulfatada na produtividade da cultura da canola.

Em contrapartida, o excesso da fertilização com N acarreta aumento dos custos de produção, induz ao acamamento da cultura da canola, reduz o rendimento e a qualidade das sementes e aumenta as perdas de N no sistema solo-planta-atmosfera (RATHKE; CHRISTEN; DIEPENBROCK, 2005; WU; MA, 2018). Logo, é primordial ter conhecimento das exigências nutricionais da cultura e atendê-las.

Puhl e Rasche-Alvarez (2015) ao testarem cinco doses de N em épocas distintas de aplicação na cultura da canola, observaram que a dose de 15 kg ha<sup>-1</sup> na semeadura, 23 kg ha<sup>-1</sup> em B<sub>4</sub> e 23 kg ha<sup>-1</sup> na floração resultaram em maior número de siliquas por planta e produtividade de grãos.

Assim como Ruwer et al. (2016), que ao testarem diferentes doses de N (0; 45; 90 e 135 kg ha<sup>-1</sup>) divididas entre semeadura e cobertura (estádio B<sub>4</sub>) na cultivar Hyola 61, concluíram que a dose de 90 kg ha<sup>-1</sup> resultou em maior produtividade e rendimento de óleo. Os autores ressaltaram que ocorre interação entre ambas as

variáveis, onde doses maiores de N podem resultar em maiores produtividades. Porém, com este aumento das doses de N, os teores de óleo sofrem reduções significativas. Por conseguinte, não é economicamente viável a aplicação destas, visto que uma das principais utilizações desta planta é justamente a extração de óleo.

Tipewa (2017) avaliou quatro formas de aplicação de N (semeadura + cobertura: 25 + 125 kg ha<sup>-1</sup> de N; 25 + 75 kg ha<sup>-1</sup> de N; 25 + 25 kg ha<sup>-1</sup> de N e testemunha) associado a datas de semeadura na cultura da colza. O autor notou que todos os tratamentos influenciaram positivamente e de forma linear a produção de biomassa e exportação de N para as folhas, raízes e plantas. Entretanto, observou-se produtividade máxima na dose de 100 kg ha<sup>-1</sup> de N e, por isto, Tipewa concluiu que, nas condições estudadas, a dose de 150 kg ha<sup>-1</sup> de N não foi vantajosa.

Em estudo associando doses de N (0 a 150 kg ha<sup>-1</sup>), S (0 e 20 kg ha<sup>-1</sup>) e B (0 e 2 kg ha<sup>-1</sup> + aplicação foliar) na cultura da canola, pesquisadores do Canadá (MA et al., 2019) encontraram produtividade de 3580 kg ha<sup>-1</sup> com absorção de 197 kg ha<sup>-1</sup> de N, 33 kg ha<sup>-1</sup> de S e 200 g ha<sup>-1</sup> 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.

#### 2.4 ENXOFRE ELEMENTAR NA CULTURA DA CANOLA

O enxofre (S) é um macronutriente que participa de reações fisiológicas e bioquímicas na planta (VANIN, 2021). A maior parte do S no vegetal está na forma orgânica, em proteínas e peptídeos, na forma de cisteína e metionina (DOMINGOS et al., 2015). Este nutriente participa da redução do NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, na síntese de proteínas nos tecidos vegetais e reprodutivos da planta (VANIN, 2021).

A canola é sensível à concentração de S no tecido vegetal porque o S é componente essencial dos aminoácidos cisteína e metionina, e as oleaginosas da família Brassicaceae requerem maiores quantidades deste nutriente (NUTTALL et al., 1987; GRANT; BAILEY, 1993) por causa do glucosinolato contendo S, os denominados metabólitos secundários (HANEKLAUS et al., 2007).

Por outro lado, o S elementar ( $S^0$ ), quando aplicado ao solo, precisa sofrer oxidação a sulfato por meio de reações catalisadas por microrganismos para, posteriormente, ser absorvido pelas plantas (HOROWITZ; MEURER, 2006). Fatores como a temperatura, pH do solo, umidade, aeração do solo, teores de nutrientes e de matéria orgânica influenciam na reação de oxidação (HOROWITZ, 2003), e por estes motivos, pode demorar para acontecer no solo.

Além disso, a área superficial específica do  $S^0$  afeta a oxidação, pois depende da forma, do tamanho, da composição, do grau de dispersão e da taxa de aplicação das partículas de  $S^0$  (VANIN, 2021). Assim, quanto maior a superfície específica associada à presença de microrganismos e condições favoráveis, maior é a oxidação de  $S^0$  em S-sulfato, então disponibilizado às plantas.

Horowitz e Meurer (2006) incubaram amostras de dois tipos de solo (ARGISSOLO e LATOSSOLO) com seis doses de  $S^0$  (0; 1,5; 3; 6; 9 e 12 g kg<sup>-1</sup> de solo) por períodos de 0, 6, 22, 36, 54 e 70 dias. As amostras foram mantidas em estufa com temperatura controlada e umedecidas até 80% da capacidade de retenção de água. A partir das avaliações, verificaram que ocorreu a oxidação do  $S^0$  para S-sulfato em ambos os tipos de solo, principalmente após o 22º dia de incubação. Embora, na última avaliação aos 70 dias, as quantidades de S-sulfato no ARGISSOLO foram acentuadamente superiores do que aquelas obtidas no LATOSSOLO, o que indica capacidade distinta entre ambos para oxidar este insumo.

A deficiência deste elemento ocorre principalmente nas folhas novas, por ser um elemento relativamente imóvel na planta, e apresenta clorose em toda a extensão do limbo (VITTI et al. 2015; SÜZER, 2015). Além de causar alta taxa de abortamento de flores, siliquis pequenas, mal-formadas ou que apresentam engrossamento (TOMM et al., 2009).

Em contrapartida, a exigência por S e o metabolismo deste nutriente em plantas estão relacionados a nutrição nitrogenada, pois o metabolismo do N é fortemente afetado pela concentração de S na planta (MALHI, 2005; MALHI; GILL, 2006). Isto porque o S participa da redução do  $NO_3^-$  e na fixação biológica do N, e, por estar relacionado com a atividade da enzima nitrato redutase, a deficiência do elemento inibe a redução de  $N-NO_3^-$ , e assim, contribui na queda de aproveitamento de N pela planta (HOROWITZ, 2003).

Desta maneira, há um consenso dos efeitos interativos entre o N e S na produção de canola, no sentido de que os fertilizantes nitrogenados estimulam a absorção de S pelas plantas e que as adições de N e S devem estar em equilíbrio para alcançar altas produtividades com a cultura (MALHI; GILL, 2007).

Lucas et al. (2013), ao testarem cinco doses de N (0, 60, 100, 140 e 180 kg ha<sup>-1</sup>) e quatro doses de S (0, 15, 30 e 60 kg ha<sup>-1</sup>), 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<sub>4</sub><sup>2-</sup> na camada de 15-30 cm de profundidade do solo.

Banza (2020) estudou o efeito da fertilização com S e B na produção de colza. Entretanto, o autor utilizou sulfato de amônio como fonte de S, o qual apresenta N em sua constituição (20 a 21% de N). Posto isto, sem considerar a aplicação de B, Banza verificou que a produtividade da cultura passou de 2909 para 3555 kg ha<sup>-1</sup> com as aplicações de 122 kg ha<sup>-1</sup> de S associada a 76 kg ha<sup>-1</sup> de N; e para 3886 kg ha<sup>-1</sup> com as aplicações de 212 kg ha<sup>-1</sup> de S associada a 107 kg ha<sup>-1</sup> de N, o que representou aumentos de 22,2 e 33,6%, respectivamente.

Do mesmo modo, em trabalhos realizados com a colza, Gambaudo, Fontanetto e Kuchen (2008) evidenciaram que esta cultura exige doses superiores a 100 kg ha<sup>-1</sup> de N para obter produtividades acima de 2000 kg ha<sup>-1</sup>. Ao passo que, ao testarem a aplicação de doses de S variando de 0 a 30 kg ha<sup>-1</sup>, concluíram que em todos os casos a adição deste nutriente aumentou os rendimentos da colza, embora em menor grau do que o N.

Zamora e Pugliese (2014) observaram interação positiva na aplicação de doses crescentes de N (40, 80, 120 e 160 kg ha<sup>-1</sup>) e S (20 kg ha<sup>-1</sup>) cultura da colza e obtiveram rendimentos superiores a 4300 kg ha<sup>-1</sup> com a dose máxima de N. Embora Ferraris, Couretot e Urrutia (2014), em ensaios de fertilização com N, S e B na mesma cultura, constataram efeitos significativos sobre a produtividade de grãos apenas para a adubação nitrogenada e para a associação dos nutrientes (60 kg ha<sup>-1</sup> de N + 30 kg ha<sup>-1</sup> de S e 0,125 kg ha<sup>-1</sup> de B).

## 2.5 PÓ DE ROCHA COMO REMINERALIZADOR DO SOLO

Apesar de ser uma técnica antiga, os pós de rochas silicatadas foram incluídos apenas há alguns anos na legislação brasileira dos fertilizantes pela Lei nº 12.890/2013, onde são reconhecidos como remineralizadores de solo.

A referida lei define como remineralizador “o material de origem mineral que tenha sofrido apenas redução e classificação de tamanho por processos mecânicos, que altere os índices de fertilidade por meio da adição de macro e micronutrientes para as plantas, bem como promova a melhoria das propriedades físicas ou físico-químicas ou da atividade biológica do solo” (BRASIL, 2013).

A rochagem, termo que se refere à utilização do pó de rocha moída, tem sido motivada no Brasil a partir de três pontos principais: dependência externa por fontes de fertilizantes solúveis, as quais são escassas no país e, portanto, dependentes da importação; demanda do seguimento da agricultura orgânica por fontes alternativas e a destinação dos rejeitos de atividades mineradoras (BORGES et al. 2017).

As rochas, ao sofrerem a ação do intemperismo, liberam de forma lenta e gradual os nutrientes que nelas estão contidos, proporciona aumento da CTC e enriquecimento do solo, principalmente dos solos tropicais, cujo a lixiviação constante reduz a fertilidade (MARTINS; THEODORO, 2010).

Dentre os pós de rocha, o pó de rocha 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). Este apresenta  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ , Fe, P, Si e, eventualmente, K, além de uma série de micronutrientes (THEODORO et al., 2021). Assim, o pó de basalto é capaz de melhorar as características químicas do solo, além de reduzir o Al trocável, corrigir a acidez e aumentar a CTC do solo (NUNES; KAUTZMANN; OLIVEIRA, 2014).

O basalto é uma rocha silicatada que apresenta uma ampla distribuição nas regiões Sul e Sudeste do Brasil (BORGES et al., 2017), e a trituração e moagem desta rocha constitui o pó de basalto. No entanto, o processo de fornecimento dos nutrientes presentes neste insumo é considerado um processo complexo, pois depende de inúmeros fatores, como granulometria, tempo de reação, pH e atividade biológica do solo (SANTOS et al., 2001).

Apesar destes fatores de reação, Theodoro et al. (2021) afirmam que o uso de basaltos moídos favorece o aumento da fertilidade dos solos, o que resultará em



produção mais segura do ponto de vista ambiental e nutricional, além de ser um mecanismo mais acessível para um maior número de produtores, que terão acesso a fontes de materiais nacionais e, possivelmente, com menor custo.

Por outro lado, a rochagem pode apresentar algumas desvantagens, como a presença de metais pesados em sua composição e, por consequência, causar contaminações ou desequilíbrios nutricionais no sistema solo-planta. Por isso, Martins et al. (2008) recomendam que as pesquisas com essas rochas analisem a dinâmica e biodisponibilidade de metais pesados e outros elementos críticos em relação ao potencial de contaminação dos produtos agrícolas e do ambiente, apesar de não haver registros, até o momento, de problemas relacionados a contaminação causados pela aplicação de pó de rocha.

Outro fator que deve ser considerado é o valor do frete para adquirir este insumo, com vistas a reduzir o seu custo. Souza et al. (2013) adverte que a utilização do pó de rocha deve ocorrer no sentido de priorizar aqueles materiais que são encontrados na região e sejam de fácil acesso pelos agricultores.

Toscani e Campos (2017) ao testarem três remineralizadores (fosforito, basalto e dolomito fosfatado) em comparação com fertilizantes solúveis (formulações de NPK) em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, constataram que os remineralizadores disponibilizam de forma rápida os macronutrientes para as plantas já no primeiro ano de plantio, visto que os valores de V% continuam significativos ao final deste período. Ainda verificaram que a rochagem apresentou efeito residual, aumentou o pH do solo e reduziu a saturação por Al.

Writzl et al. (2019) avaliaram a eficiência do pó de rocha de basalto puro ou associado com cama de frango no desenvolvimento de plantas e produtividade de milho pipoca em um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, onde constataram que ambos os tratamentos foram estatisticamente iguais a fertilização química com NPK nos parâmetros avaliados, o que mostra a viabilidade deste insumo.

Por duas safras consecutivas, Silva et al. (2020) avaliaram o efeito de doses de pó de basalto (5, 10, 20, 40, 60, 80, 120, 160 e 200 t ha<sup>-1</sup>) e fertilização química (NPK) sobre a cultura do feijão preto. Os autores verificaram uma tendência crescente entre as doses de pó de basalto e a produção de matéria seca de parte aérea (MSPA), onde as doses de 5 a 60 t ha<sup>-1</sup> apresentaram ação equivalente na produção de MSPA e produtividade em comparação com a fertilização química. Além de que, na primeira safra, a dose de 160 t ha<sup>-1</sup> resultou em 2045 kg ha<sup>-1</sup>, o que

representou um incremento de 52,6% em relação a adubação com NPK. Enquanto na segunda safra as maiores produtividades foram observadas nos tratamentos de 80 a 120 t ha<sup>-1</sup> de pó de basalto.

Apesar de Hanisch et al. (2013), ao testarem cinco doses de pó de basalto (0, 2, 4, 8 e 12 t ha<sup>-1</sup>), combinadas ou não com fertilização química, não encontraram efeitos significativos sobre a produtividade de soja e milho, tampouco nos atributos químicos do solo.

De modo geral, os resultados negativos associados a utilização da rochagem estão ligados ao ciclo curto da cultura utilizada como planta “piloto”, período curto de avaliação, condições climáticas desfavoráveis ao intemperismo e solos extremamente estéreis ou com baixa atividade microbiana (SILVA et al., 2008), fatores estes que estão diretamente relacionados a capacidade de remineralização decorrente do uso de pó de rocha.

## 2.6 MORFOLOGIA E FENOLOGIA DO MILHO

Pertencente à família Poaceae, o milho (*Zea mays* L.) é uma das mais eficientes plantas armazenadoras de energia existente na natureza. Trata-se de uma espécie anual, ereta, classificada no grupo das plantas C4, com ampla adaptação a diferentes condições ambientais (MAGALHÃES et al., 2002) e sistema radicular fasciculado com grande desenvolvimento (BARROS; CALADO, 2014).

As espiguetas masculinas são reunidas em espigas verticiladas terminais. O grão do milho é um fruto, denominado cariopse, em que o pericarpo está fundido com o tegumento da semente propriamente dito. As espiguetas femininas se soldam num eixo comum em que várias ráquis estão reunidas (sabugo) e protegidas por brácteas (espiga de milho). A flor feminina apresenta um único estigma (FORNASIERI, 1992).

A fenologia do milho está descrita na tabela 2, a qual evidencia as duas grandes fases da cultura: vegetativa (V) e reprodutiva (R). As subdivisões dos estádios vegetativos são designadas numericamente até Vn, onde n representa o último estádio vegetativo anterior ao pendoamento, definidos de acordo com a última folha completamente expandida ou fora do cartucho. A fase reprodutiva se inicia no pendoamento e vai até a maturação fisiológica.

**Tabela 2.** Estádios fenológicos da cultura do milho

Estádios vegetativos	Estádios reprodutivos
VE – Emergência	VT – Pendoamento
V1 – Primeira folha	R1 – Embonecamento e polinização
V2 – Segunda folha	R2 – Grão bolha d'água
V3 – Terceira folha	R3 – Grão leitoso
V4 – Quarta folha	R4 – Grão pastoso
V6 – Sexta folha	R5 – Formação de dente
Vn – Até o pendoamento	R6 – Maturação fisiológica

Fonte: Ciampitti, Elmore e Lauer (2016).

Barros Neto (2008) afirma que a formação de grãos da cultura do milho está estreitamente relacionada com a translocação de açúcares e de N de órgãos vegetativos, sobretudo das folhas, para os grãos. Logo, está diretamente relacionada com a área foliar fotossinteticamente ativa da planta e, desta forma, têm-se uma ligação positiva entre o acúmulo de massa seca e os ganhos em rendimento de grãos.

## 2.7 PARÂMETRO GERAL DA CULTURA DO MILHO E SUAS APLICAÇÕES

O milho é um cereal fundamental para a agricultura brasileira, cultivado em todas as regiões do país, em mais de dois milhões de estabelecimentos agropecuários (CONTINI et al., 2019). No momento atual, o Brasil é o terceiro maior produtor mundial deste grão, atrás apenas dos Estados Unidos e da China (FIESP, 2021), enquanto o Mato Grosso é o estado com maior área plantada no país, seguido pelo Paraná e Rio Grande do Sul (CONAB, 2021).

Conforme dados da CONAB (2022), a expectativa de produção total para a safra 2021/22 é de 112.91,9 milhões de toneladas, 29,7% de aumento em relação à safra anterior. Do mesmo modo, a produtividade média esperada é de 5.391 kg ha<sup>-1</sup>, o que representa acréscimo de 23,4% em relação à safra passada. Estes números são explicados, principalmente, pelos bons preços pagos no grão atualmente.

De acordo com a mesma fonte, de maneira geral, as condições climáticas são benéficas ao desenvolvimento da cultura, exceto na Região Sul do país, onde os registros revelam períodos prolongados de estiagem ou baixos níveis pluviométricos, o que impactou a evolução fenológica das plantas e comprometeu o potencial produtivo da cultura.

O sucesso da alta demanda pela cultura do milho está nas suas inúmeras aplicabilidades. Considerado um produto versátil, ele é base para a obtenção de insumos para o segmento produtivo, em especial para a suinocultura, avicultura e bovinocultura leiteira, tanto na forma de farelo, de rações ou de silagem (SILVA et al., 2019). Comumente é utilizado na alimentação humana, na forma in natura ou processada, como em pães, farinhas, bolos, massas, óleo (CANTARELLA, 1993), bebidas, polímeros e combustíveis (MIRANDA, 2018).

Nas últimas décadas, a cultura do milho passou por transformações profundas que alavancou a sua contribuição no agronegócio brasileiro. De acordo com Contini et al. (2019), a sua redução como cultura de subsistência de pequenos produtores e o aumento do seu papel em uma agricultura comercial eficiente, com deslocamento geográfico e temporal, foram as principais modificações que permitiram o seu êxito no âmbito econômico.

Neste sentido, o avanço das tecnologias, como sementes, fertilizantes, defensivos agrícolas, máquinas e implementos, foram fundamentais para o aumento da produtividade desta cultura (HERRENDORF; SCHOELLMAN, 2015). No entanto, houve um acréscimo nos custos de produção ao longo dos anos e a necessidade de uma gestão rural mais eficiente (ARTUZO et al., 2018). Diante disto, os mesmos autores recomendam a avaliação da relação entre os custos de produção e a renda por hectare, a fim de melhor predizer a necessidade e a viabilidade da adoção e da melhor forma de aquisição de insumos para o cultivo deste cereal.

## 2.8 ADUBAÇÃO NA CULTURA DO MILHO

Coelho, Cruz e Pereira Filho (2002) afirmam que vários fatores podem influenciar na produtividade milho, como as condições climáticas, a qualidade das sementes, a fertilidade do solo e a nutrição de plantas. Assim como Bastos et al. (2010) evidenciam que solos pouco férteis se tornam problemáticos para alcançar produtividades mais elevadas com a cultura do milho.

Deste modo, para que rendimentos satisfatórios sejam alcançados, é indispensável que as exigências nutricionais da cultura sejam supridas e que o correto manejo da fertilidade do solo seja realizado (PEREIRA; DINIZ; REZENDE, 2020).

O rendimento da produção é o resultado da capacidade de assimilação da planta, do período disponível a assimilação e das influências favoráveis e desfavoráveis dos fatores ambientais (MAGALHÃES; SOUZA, 2015). No caso do milho, o rendimento de grãos é determinado basicamente pelo número de grãos por unidade de área e, em menor escala, pela massa individual dos grãos (RICHARDS, 2000). Enquanto a massa de grãos é influenciada pela taxa de enchimento de grãos e pelo tempo de acúmulo de massa seca (WANG; KANG; MORENO, 1999), o número de grãos é associado à taxa de crescimento de planta no período de pendoamento (ANDRADE et al., 1999).

No milho, os nutrientes têm diferentes taxas de translocação entre os tecidos. No que se refere a exportação de nutrientes, o P é quase todo translocado para os grãos (77 a 86%), seguido pelo N (70 a 77%), S (60%), Mg (47 a 69%), K (26 a 43%) e Ca (3 a 7%) (COELHO, 2006).

De acordo com o mesmo autor, este cereal apresenta dois períodos distintos de intensa absorção, o primeiro, durante a fase de desenvolvimento vegetativo ( $V_{12}$  a  $V_{18}$ ), fase principal de definição do potencial de rendimento; e o segundo durante a fase reprodutiva ou formação da espiga, fase em que o potencial de rendimento é atingido.

Já em relação ao S, Oliveira (2018) afirma que o milho apresenta absorção radicular deste nutriente e retém grande parte em suas raízes, portanto é importante a manutenção dos níveis críticos de S no solo. Em geral, conforme Coelho et al. (2008), o S, juntamente com a maior parte do N e P, são absorvidos pela planta de milho e, posteriormente, exportado para os grãos, enquanto grande parte do K, Ca, Mg e micronutrientes ficam retidos na palhada e retornam ao solo com a decomposição dos restos culturais.

A extração e exportação dos nutrientes para o ciclo do milho safra estão descritas na tabela 3, conforme o Manual de Adubação e Calagem para o Estado do Paraná (SBCS/NEPAR, 2017). Nota-se que os micronutrientes são pouco exigidos e os valores se aproximam daqueles apontados por Coelho (2006), o qual indica que para atingir a produtividade de 9 t de grãos  $ha^{-1}$  são extraídos 2100 g de ferro (Fe), 340 g de manganês (Mn), 400 g de zinco (Zn), 170 g de boro (B), 110 g de cobre (Cu) e 9 g de molibdênio (Mo).

**Tabela 3.** Nutrientes em milho: extração e exportação

	Nutriente (kg t <sup>-1</sup> )					
	N	P	K	Ca	Mg	S
Extração <sup>1</sup>	21,5	3,9	17,1	2,4	2,8	2,6
Exportação <sup>2</sup>	14,4	3,4	5,4	0,3	1,1	1,1
	Nutriente (g t <sup>-1</sup> )					
	Fe	Cu	Zn	B	Mn	Mo
Extração <sup>1</sup>	161	6,8	37,5	19,3	37,4	1,0
Exportação <sup>2</sup>	21	1,1	24,8	3,3	7,4	0,6

<sup>1</sup>Quantidade do nutriente em toda a parte aérea da planta para cada tonelada de grãos produzida.

<sup>2</sup>Quantidade de nutriente nos grãos para cada tonelada produzida, com 13% de umidade.

Neste sentido, Silva et al. (2016) estudaram o acúmulo de nutrientes na parte aérea (folha + colmo) de plantas de diferentes genótipos de milho de alto potencial produtivo. Os autores realizaram coletas de parte aérea do milho em três estádios distintos (V<sub>4</sub>, V<sub>6</sub> e V<sub>8</sub>) e quantificaram os teores de nutrientes acumulados. Logo, constataram que até o estádio V<sub>8</sub> as plantas de milho acumulam nutrientes em sua parte aérea na seguinte ordem crescente: N>K>Ca>Mg>S>P>Fe>Mn>Zn>B>Cu.

Macedo et al. (2020) analisaram o crescimento inicial do milho submetidos a diferentes manejos de adubação (ausência de adubação; 80, 100 e 120% da dose de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> com organomineral e 100% da dose de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> com fertilizante mineral). Os autores constataram que o tratamento de 80% da dose de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> associada a organomineral se mostrou eficiente nas variáveis analisadas, bem como o uso de fertilizante mineral associado a 100% da dose de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, o que demonstra a alta responsividade do milho à adubação.

Assim como Pereira, Diniz e Rezende (2020), que avaliaram a adubação organomineral e mineral nos parâmetros morfológicos e produtivos na planta de milho. Eles constataram que o uso de organomineral influenciou positivamente o desenvolvimento morfológico da planta e resultou em maior comprimento de espiga, diâmetro de espiga, número de fileiras de grãos e grãos por fileira, comparado ao fertilizante mineral e a testemunha, nas condições estudadas.

Mortarte et al. (2018) conduziram um experimento com diferentes fontes de adubos nitrogenados (testemunha, sulfato de amônio, ureia e Fortune®), os quais foram aplicados em cobertura via solo e via foliar entre os estádios V<sub>6</sub> e V<sub>8</sub>. Eles concluíram que a demanda por N pela cultura do milho é bastante elevada, e mesmo que a planta tenha respondido bem a adubação de cobertura, o fertilizante foliar

Fortune® não foi capaz de suprir a demanda por N pela cultura. Desta forma, o tratamento com ureia obteve os melhores resultados nos parâmetros avaliados.

Oliveira (2018) avaliou fontes de fertilizantes (ureia, superfosfato triplo e fosfato mono-amônico (MAP)) revestidos com S elementar e S elementar em forma de pastilhas associados a diferentes doses de S no solo (0, 32, 64, 96 e 128 mg dm<sup>-3</sup>), a fim de analisar a eficiência na absorção deste nutriente pela cultura do milho. O autor incubou as amostras de solo por períodos de 0, 15, 30, 45 e 60 dias e constatou que logo após a adição de S elementar com as diferentes doses, a disponibilidade de S na forma de sulfato (S-SO<sub>4</sub><sup>-</sup>) no solo foi reduzida, enquanto aos 45 dias de incubação, a disponibilidade de S-SO<sub>4</sub><sup>-</sup> aumentou até a dose de 66,94 mg dm<sup>-3</sup> de S com ureia e 95,4 mg dm<sup>-3</sup> de S com MAP.

### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

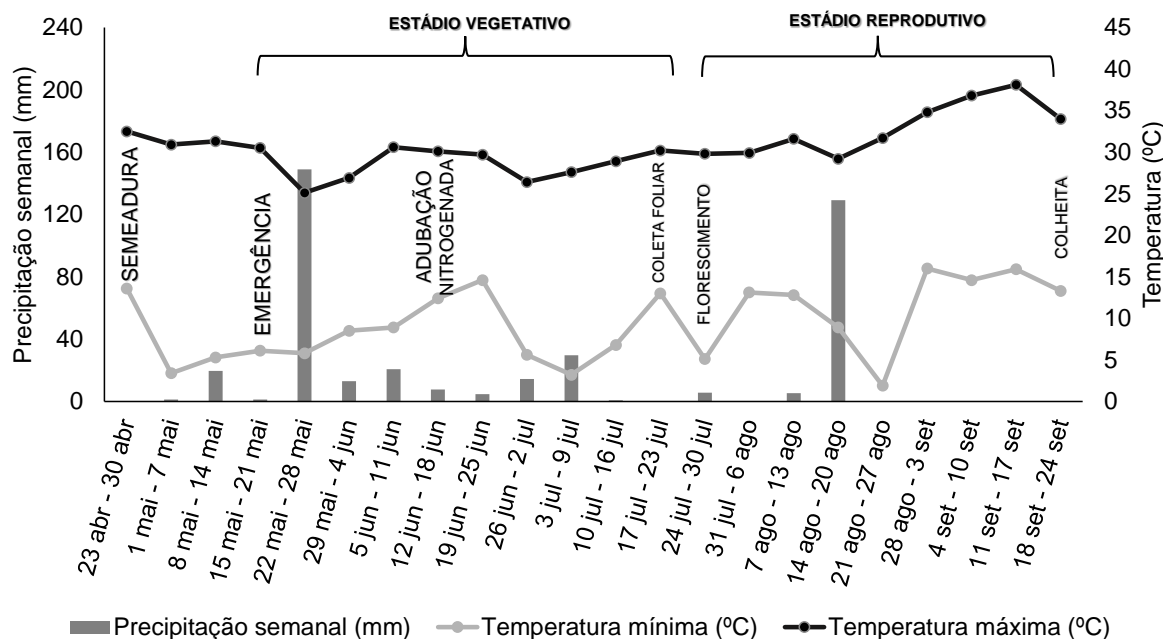
#### **3.1 EXPERIMENTO 1**

##### **3.1.1 Caracterização da área**

O experimento foi conduzido à campo no Complexo de Laboratórios do Centro de Ciências Agrárias (CPDETCA), pertencente a Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, no município 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 e se enquadra, de acordo com a classificação de Köppen, no tipo Cfa, com verões quentes e geadas pouco frequentes, tendências à concentração das chuvas nos meses de verão e sem estação de seca definida. A temperatura média no mês mais frio inferior a 18 °C e temperatura média no mês mais quente superior a 22 °C (NITSCHKE et al., 2019). O solo foi classificado como LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico (LVef) de textura muito argilosa (SANTOS et al., 2018).

Os dados meteorológicos do período em que foi conduzido o experimento estão descritos na figura 3, obtidos na Estação Automática de Marechal Cândido Rondon.



**Figura 3.** Precipitação pluviométrica acumulada e temperaturas mínima e máxima a cada sete dias referentes ao período de desenvolvimento da cultura da canola safra 2020. Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia.

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.

### 3.1.2 Caracterização do material vegetal

O híbrido de canola utilizado foi o Nuola 300. Suas principais características, conforme Nuseed (2019), são ciclo de 130 a 150 dias, altura de plantas de 1,40 a 1,65 m e resistência poligênica ao fungo causador da canela-preta (*Leptosphaeria maculans*, *Phoma lingam* – forma assexuada).

### 3.1.3 Delineamento experimental e condução do experimento

Foi realizada a caracterização química geral do solo anteriormente à instalação do experimento (Tabela 4), de acordo com metodologia proposta por



Lana et al. (2016). Realizou-se a amostragem simples de solo em um ponto de cada subsubparcela na profundidade de 0,00 – 0,20 m, a fim de compor uma amostra composta, a qual foi analisada. Esta caracterização foi utilizada como base para determinar a adubação de semeadura.

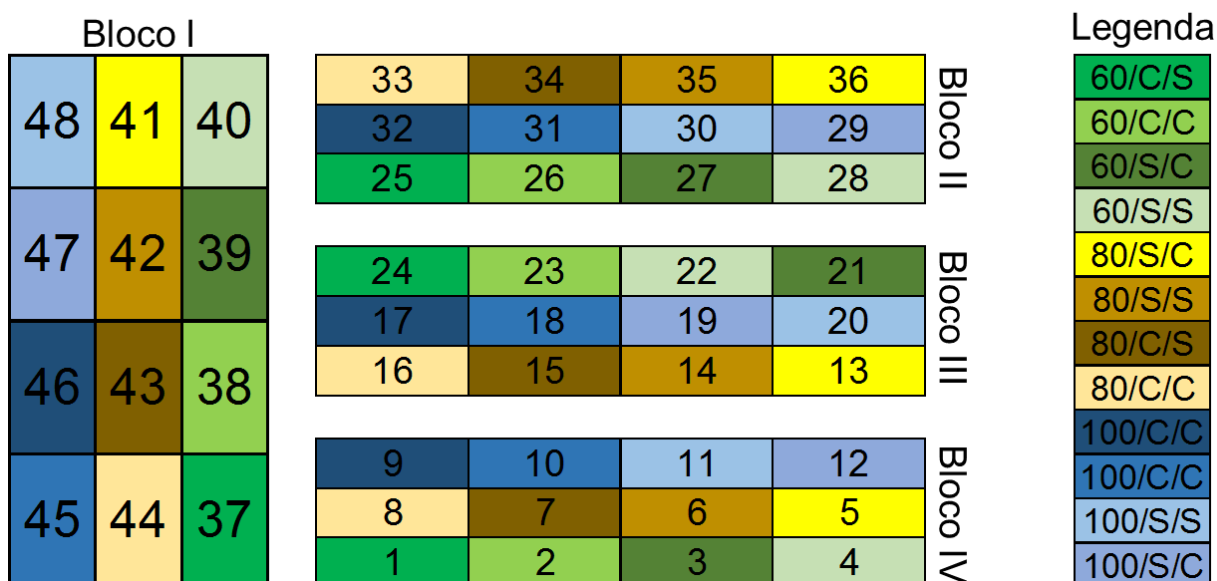
**Tabela 4.** Caracterização química geral anteriormente à implantação do experimento com a cultura da canola, na profundidade de 0,00 - 0,20 m

pH CaCl <sub>2</sub>	P	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	H+Al
	mg dm <sup>-3</sup>			cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	
4,71	19,1	0,62	3,78	1,05	6,1
Cu	Zn	Fe	V	SB	CTC <sub>pH7</sub>
	mg dm <sup>-3</sup>		%	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	
16	4,1	17	47,19	5,45	11,55

Análise realizada no Laboratório de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas da Unioeste, Campus Marechal Cândido Rondon, PR.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados (DBC) em esquema de parcelas subsubdivididas com quatro repetições. A semeadura de canola foi realizada em área total e as parcelas foram constituídas por três doses de nitrogênio; as subparcelas pela presença ou ausência do efeito residual de pó de basalto e as subsubparcelas constituídas pela ausência ou presença do efeito residual de enxofre elementar, totalizando doze tratamentos.

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 m<sup>2</sup>. O croqui da área experimental está apresentado na figura 4.



**Figura 4.** Croqui da área experimental do experimento 1. Instruções da legenda: 1º: Doses de nitrogênio em cobertura (60, 80 e 100 kg ha<sup>-1</sup>); 2º: C (Com uso de pó de basalto) e S (Sem uso de pó de basalto); 3º: C (Com uso de enxofre elementar) e S (Sem uso de enxofre elementar).

A caracterização química do pó de basalto utilizado está apresentada na tabela 5, enquanto a granulometria está descrita na tabela 6, 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 5.** Composição química do pó de basalto

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	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.

**Tabela 6.** 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

Análise realizada no Laboratório de Física do Solo da Unioeste, Campus Marechal Cândido Rondon, PR.

A dose de pó de basalto aplicada na área foi de 12 t ha<sup>-1</sup>, total de 36 kg por subparcela e a aplicação ocorreu nos dias 08 e 09 de maio de 2019; enquanto a dosagem de enxofre elementar (98% de S) correspondeu a 60 kg ha<sup>-1</sup>, total de 0,216 kg por subsubparcela, com aplicação realizada no dia 22 de maio de 2019. Já as

doses de nitrogênio (80; 100 e 120 kg ha<sup>-1</sup> de N) foram parceladas em duas vezes. A primeira aplicação ocorreu no momento da semeadura da canola (20 kg ha<sup>-1</sup> de N para todos os tratamentos) e o restante em cobertura (60; 80 e 100 kg ha<sup>-1</sup> de N), foi utilizado ureia (45% de N) como fonte de nitrogênio.

O local da implantação do experimento é uma área homogênea, apresenta relevo plano e sem a presença de terraços. Assim, o preparo do terreno foi realizado com roçadeira acoplada ao trator, a fim de não revolver o solo e interferir nos tratamentos.

A semeadura da canola ocorreu no dia 23 de abril de 2020, em semeadura direta sobre palhada de milho com 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<sup>-1</sup> de N, correspondendo 6,05 kg de ureia e 20 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, equivalente a 6,65 kg de fosfato mono-amônico (MAP) (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).

Para o controle de plantas daninhas foi aplicado ZAPP QI 620<sup>®</sup> (glifosato potássico) na dose de 5 L p.c. ha<sup>-1</sup> e 200 L ha<sup>-1</sup> de volume de calda. Para tal, foi utilizado pulverizador costal pressurizado a CO<sub>2</sub> da marca Herbicat. Na condução do experimento, para prosseguir com o controle das plantas daninhas, foram realizadas capinas e catações manuais.

Para o controle de formigas cortadeiras presentes na área foram utilizadas iscas Landrex Plus<sup>®</sup> (0,024% Indoxacarb + 0,002% Fipronil), as quais foram distribuídas próximas aos olheiros, ao lado dos carreiros e poucos grânulos sobre os carreiros, conforme especificação do produto.

Por fim, para o controle de pulgões, foi utilizado o inseticida Engeo Pleno<sup>™</sup> na dose de 100 ml ha<sup>-1</sup> nas condições exigidas e especificadas na bula do produto. Enquanto para o controle de tripses foi utilizado o inseticida PERITO 970 SG, na dose de 300 g ha<sup>-1</sup>, aplicado conforme a descrição da bula.

Em estádio B<sub>4</sub>, 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<sup>-1</sup> de N. Estas doses foram definidas com base na produtividade de grãos esperada para a Safra 2020 de canola (CONAB,

2020), onde a dose de 80 kg ha<sup>-1</sup> foi a referência e as doses de 60 e 100 kg ha<sup>-1</sup> representaram 75 e 125%, respectivamente, da recomendação para produtividade de até 1,5 t ha<sup>-1</sup> (SBCS/NEPAR, 2017).

Posteriormente à colheita do experimento, realizou-se nova caracterização química do solo (Tabela 7), por meio da mesma metodologia aplicada para a primeira coleta, a fim de constatar as alterações químicas ocorridas.

**Tabela 7.** Caracterização química geral após a colheita do experimento com a cultura da canola, na profundidade de 0,00 - 0,20 m

pH CaCl <sub>2</sub>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	P	S
	----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----			mg dm <sup>-3</sup>	g dm <sup>-3</sup>
5,24	2,98	0,45	1,22	42,13	6,14
Al <sup>3+</sup>	m	H+Al	SB	CTC <sub>pH7</sub>	V
cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	%	----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----			%
0,23	4,61	4,96	4,65	9,61	48,40

Análise realizada no Laboratório de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas da Unioeste, Campus Marechal Cândido Rondon, PR.

### 3.1.4 Variáveis avaliadas

#### 3.1.4.1 Análise de tecido foliar

Para 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 D<sub>1</sub> (pré-florescimento), quando as gemas estão unidas e escondidas pelas folhas terminais. Foram coletadas dez folhas de plantas distintas por parcela para determinação dos teores foliares de nutrientes.

As amostras foram lavadas, colocadas em saco de papel perfurados e postas para secar em estufa com circulação forçada de ar a 60°C até peso constante (cerca de 48 horas). Em seguida, as amostras das folhas secas foram moídas em moinho micro de facas MA048, composto por aço inoxidável, o qual evita a contaminação com Fe, Zn e Cu. Após a moagem, procedeu-se com a digestão sulfúrica para determinação de N, e digestão nítrico-perclórica para determinação de Ca, Mg, K e S, de acordo com metodologia proposta por Lana et al. (2016).

### 3.1.4.2 Produtividade de grãos

A colheita foi realizada quando mais que 75% das plantas caracterizaram o estágio fenológico G<sub>5</sub> (maturação fisiológica), em que os grãos apresentam aproximadamente 16% de umidade, os quais foram postos para secar, para posterior realização de trilha e limpeza. Após isso, prosseguiu-se a determinação do número de síliquas por planta, número de grãos por síliqua, produtividade e massa de mil grãos.

Foram coletadas todas as plantas de duas linhas de 2 m de comprimento, o que constituiu uma área útil de 2 m<sup>2</sup> em cada parcela. Os grãos foram pesados e o valor extrapolado para t ha<sup>-1</sup>, a fim de determinar a produtividade de grãos de canola. O teor de umidade foi ajustado para 9%.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e para comparação das doses de N foi utilizado o teste de Tukey a 5% através do programa estatístico SISVAR 5.6 (FERREIRA, 2011).

### 3.1.4.3 Massa de mil grãos

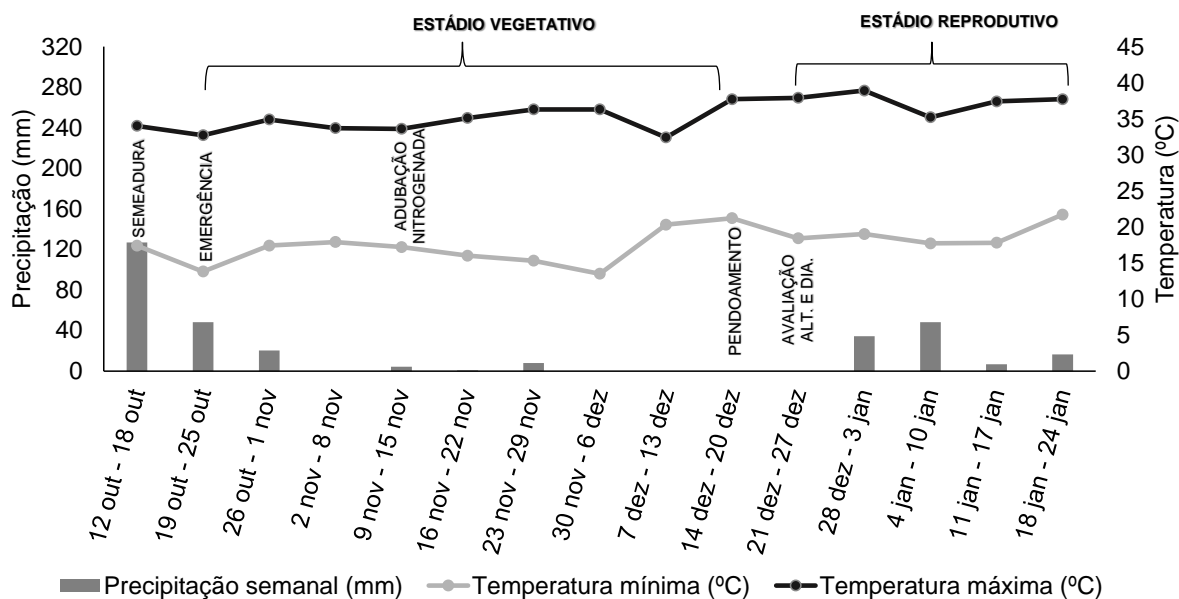
Determina a massa de mil grãos de uma amostra. Foram pesadas quatro repetições de cem sementes e anotados seus respectivos valores, para posterior utilização da fórmula (RIGON et al., 2017):

$$\text{Massa mil grãos (g)} = (\bar{x}_{\text{repetições}} * 1000) / 100$$

## 3.2 EXPERIMENTO 2

### 3.2.1 Caracterização da área

O presente experimento foi realizado na mesma área do experimento 1, portanto, apresentou as mesmas condições. Os dados meteorológicos do período em que foi conduzido estão descritos na figura 5, obtidos na Estação Automática de Marechal Cândido Rondon.



**Figura 5.** Precipitação pluviométrica acumulada e temperaturas mínima e máxima a cada sete dias referentes ao período de desenvolvimento da cultura do milho na safra 2021/22. Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia/Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná.

### 3.2.2 Caracterização do material vegetal

O híbrido de milho utilizado foi o 2B688PW, o qual apresenta ciclo precoce e é indicado para primeira e segunda safra nas regiões Sul e Centro. Além disso, possui tecnologia PowerCore, apresenta resistência aos herbicidas à base de glifosato e glufosinato de amônio, e aos insetos-pragas *Diatraea saccharalis* (broca do colmo), *Spodoptera frugiperda* (lagarta-do-cartucho), *Helicoverpa zea* (lagarta-da-espiga), *Elasmopalpus lignosellus* (lagarta elasma) e *Agrotis ipsilon* (lagarta rosca) (BREVANT, 2022).

### 3.2.3 Delineamento experimental e condução do experimento

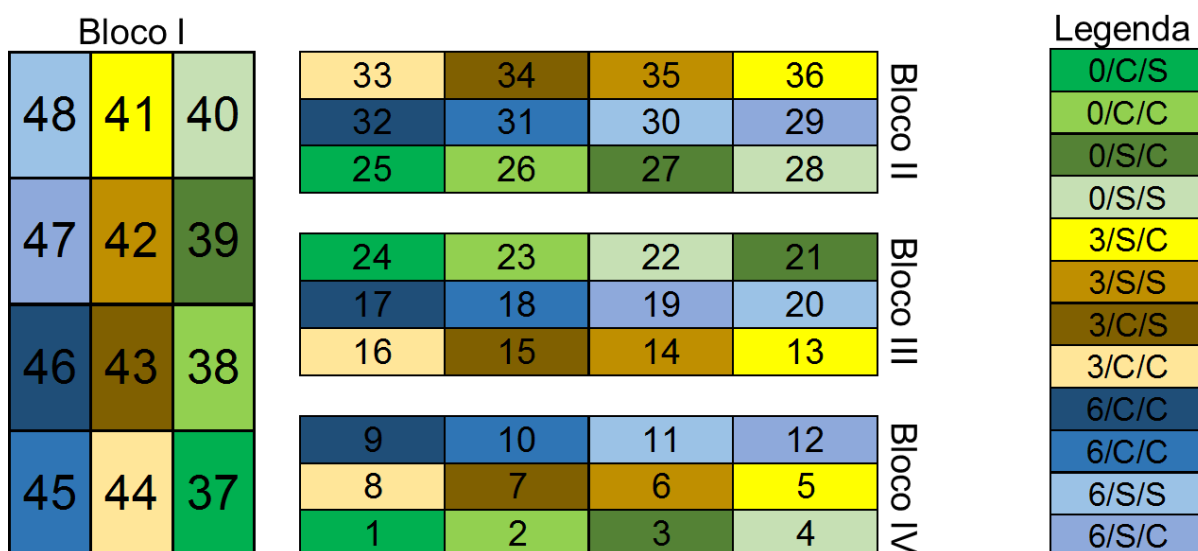
A caracterização química do solo anterior à realização do experimento foi realizada por meio da amostragem simples de um ponto de cada subsubparcela na profundidade de 0,00 – 0,20 m, a partir das quais foi realizada uma média para compor a caracterização química geral apresentada na tabela 8. Esta foi utilizada como base para realizar a adubação de sementeira para a cultura do milho.

**Tabela 8.** Caracterização química geral anterior à implantação do experimento com a cultura do milho, na profundidade de 0,00 – 0,20 m

pH CaCl <sub>2</sub>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	P
	----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----			mg dm <sup>-3</sup>
4,33	1,26	1,42	0,45	20,37

Análise realizada no Laboratório de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas da Unioeste, Campus Marechal Cândido Rondon, PR.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados (DBC) em esquema de parcelas subdivididas com quatro repetições. As parcelas foram constituídas por três doses de composto orgânico; as subparcelas pela presença ou ausência do efeito residual de pó de rocha e as subsubparcelas compostas pela ausência ou presença do efeito residual de enxofre elementar. O croqui da área experimental está apresentado na figura 6.



**Figura 6.** Croqui da área experimental do experimento 2. Instruções da legenda: 1º: Doses de composto orgânico (0, 3 e 6 t ha<sup>-1</sup>); 2º: C (Com uso de pó de basalto) e S (Sem uso de pó de basalto); 3º: C (Com uso de enxofre elementar) e S (Sem uso de enxofre elementar).

Foram realizadas novas aplicações de pó de basalto e enxofre elementar na área, nas mesmas doses e condições atendidas no experimento 1, e estas ocorreram no dia 08 de novembro de 2020, após a colheita da canola.

O composto orgânico utilizado continha esterco de gado, ovelhas, cavalos, aves e coelhos, além de restos de grama e feno de capim tifton. Este, conforme análise química realizada, apresentava 1,32 g kg<sup>-1</sup> de N, 6,66 g kg<sup>-1</sup> de P e 17,26 g kg<sup>-1</sup> de K. As doses utilizadas foram 0, 3 e 6 t ha<sup>-1</sup>, as quais corresponderam a 0;

10,8 e 21,6 kg por parcela, respectivamente, e foram aplicadas no dia 24 de março de 2021, com posterior incorporação do composto com o solo mediante o uso de grade leve.

A semeadura do milho ocorreu no dia 12 de outubro de 2021, realizado com a semeadora Planti Center Premier 7/4 de 7 linhas, espaçamento entre linhas de 0,50 m e densidade de plantio de 3,3 sementes por metro linear. A adubação de semeadura foi realizada com o formulado 10-15-15 na dose de 400 kg ha<sup>-1</sup>, o que correspondeu a 69 kg em 1728 m<sup>2</sup>, conforme recomendações do Manual de Adubação e Calagem para o Estado do Paraná (SBCS/NEPAR, 2017).

Entre os estádios V<sub>2</sub> e V<sub>6</sub>, caracterizados pela presença de 2 a 6 folhas totalmente expandidas (SBCS/NEPAR, 2017), foi realizada a adubação nitrogenada em área total. Para tal, foi considerado o que já havia sido fornecido pela adubação de semeadura (40 kg ha<sup>-1</sup> para todos os tratamentos) e pelo composto orgânico (0, 3 ou 6 t ha<sup>-1</sup>), de modo que todos os tratamentos recebessem 80 kg ha<sup>-1</sup> de N. Assim, utilizou-se como fonte de nitrogênio o sulfato de amônio (20% de N) na dose de 381 kg ha<sup>-1</sup>, o que correspondeu a 66 kg em 1728 m<sup>2</sup>.

#### 3.2.4 Variáveis avaliadas

Em estágio V<sub>T</sub>, caracterizado pela presença do ramo do pendão visível no topo da planta (CIAMPITTI; ELMORE; LAUER, 2016), foram determinados o diâmetro de colmo e altura de plantas do milho, estas foram selecionadas em linha, na parte central da parcela.

Para o diâmetro de colmo, utilizou-se um paquímetro digital. Foram mensuradas 5 plantas de cada parcela, a 10 cm do solo. Igualmente, a altura de plantas foi determinada com o auxílio de uma trena, nas mesmas 5 plantas de cada parcela.

Em função do déficit hídrico por período prolongado que acometeu o ciclo da cultura do milho (Figura 5), não foi possível realizar a análise de tecido foliar e nem coletar os dados de produtividade da cultura.

Foram coletadas amostras simples em três pontos de cada parcela, a fim de constituir uma amostra composta por parcela. Destas foram determinados o pH e os teores de Ca, Mg, P, K, Cu, Zn, Mn e Fe do solo.



Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e, quando significativos, ao teste de Tukey a 5% através do programa estatístico SISVAR 5.4 (FERREIRA, 2011).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 EXPERIMENTO 1

A caracterização química geral anterior à instalação do experimento (Tabela 4) e após a colheita da canola (Tabela 7) 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  $\text{mg dm}^{-3}$ ) 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  $\text{g dm}^{-3}$ ), 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 todo o ciclo e entre 13 e 22°C no período vegetativo, são ideais, e temperaturas acima de 27°C durante a floração podem causar abortamento de flores e síliquas 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 3 e que a germinação da canola ocorreu após a segunda quinzena de maio, podemos constatar que a precipitação acumulada durante o ciclo da cultura não alcançou o mínimo exigido para o desenvolvimento adequado do seu ciclo, pois atingiu apenas 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 3 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 e comprometeu os resultados devido à redução no volume de precipitação associada as altas temperaturas.

Raza (2021) relata que as mudanças climáticas impõem um cenário ameaçador e sinalizam a necessidade de desenvolver culturas comerciais que possam sobreviver em condições estressantes. Ademais, o autor afirma que a produtividade da canola tem estado sob o efeito de vários estresses abióticos e estes, quando diversos, reduzem criticamente a produção de biomassa e a produtividade da cultura. Neste sentido, dois dos principais estresses para a cultura da canola são a seca e as altas temperaturas (RAZA et al., 2019).

Por outro lado, assim como neste estudo, Oliveira (2018) em experimento à campo com a cultura do trigo, observou aumento do valor de pH com a adição de pó de basalto e constatou 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. Logo, a aplicação de um remineralizador, além de aumentar os índices de fertilidade ao longo do tempo, é capaz de reduzir a acidez do solo.

A ação dos silicatos na correção da acidez do solo é consolidada e explicada por diversos autores, como Marafon (2015), que indica que os silicatos promovem a reação do ânion  $\text{SiO}_3^{2-}$  com água, liberando hidroxilas ( $\text{OH}^-$ ), a qual é capaz de neutralizar o alumínio tóxico ( $\text{Al}^{3+}$ ) para as plantas, assim como aumentar o pH do solo. Dessa forma, como afirmam Korndörfer et al. (2002), os silicatos de Ca e Mg, por apresentarem composição semelhante à dos carbonatos, podem substituir a calagem. Ainda, o silicato de Ca se mostra mais vantajoso por ser 6,78 vezes mais solúvel que o carbonato de Ca, atuando até maiores profundidades (ALCARDE; RODELLA, 2003).

À vista disso, Silva et al. (2014) avaliaram o efeito do silicato de Ca como fonte para correção do solo e constataram aumento do pH em  $\text{CaCl}_2$  de 6,08 para 6,73, além de redução do teor de H+Al de 1,42 para 1,03, o que comprova o efeito corretivo desse insumo e corrobora os resultados obtidos neste estudo.

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, o que resultou 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  $\text{CTC}_{\text{pH}7}$  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.

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

Deus et al. (2007) encontraram aumento no teor de P com doses crescentes de pó de basalto em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico e verificaram que a maior dose utilizada (8 t  $\text{ha}^{-1}$ ) resultou em maior teor de P (7,50 mg  $\text{dm}^{-3}$ ), o que representou acréscimo de 96% em relação a testemunha (3,83 mg  $\text{dm}^{-3}$ ).

Da mesma forma, 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, 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. Desta forma, a aplicação de silicato previamente ao fosfato favorece a biodisponibilidade do P em solos altamente intemperizados (POZZA et al., 2007).

Neste 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 e age 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, este não foi considerado como um fator de menor ou maior disponibilidade para as plantas. Isto ainda demonstra que, certamente, as plantas de canola absorveram este elemento do solo.

Na tabela 9 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 em cobertura ( $100 \text{ kg ha}^{-1}$  de N) proporcionou os maiores incrementos desse nutriente no tecido foliar e refletiu no aumento de 13,80% em comparação com a menor dose testada ( $60 \text{ kg ha}^{-1}$  de N). Os demais nutrientes não apresentaram diferenças quanto a nenhum dos fatores testados.

**Tabela 9.** Teores nutricionais das plantas de canola em função das doses de nitrogênio, aplicação de pó de basalto e de enxofre elementar

Tratamento	N	S	K	Mg	Ca
	----- g kg <sup>-1</sup> -----				
60 kg ha <sup>-1</sup>	52,63 b	9,07 <sup>ns</sup>	21,84 <sup>ns</sup>	4,16 <sup>ns</sup>	19,31 <sup>ns</sup>
80 kg ha <sup>-1</sup>	54,70 b	9,19	21,84	4,09	18,30
100 kg ha <sup>-1</sup>	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 <sup>ns</sup>	9,08 <sup>ns</sup>	21,35 <sup>ns</sup>	4,17 <sup>ns</sup>	18,81 <sup>ns</sup>
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 <sup>ns</sup>	8,97 <sup>ns</sup>	21,29 <sup>ns</sup>	4,15 <sup>ns</sup>	18,89 <sup>ns</sup>
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; <sup>ns</sup> = não significativo pelo teste de Tukey.

A tabela 10 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 notar que as doses de 100 e 80 kg ha<sup>-1</sup> de N em cobertura obtiveram o maior número de grãos por siliqua, o que evidenciou acréscimos de 18,76% e 17,50%, respectivamente, em relação à dose de 60 kg ha<sup>-1</sup> de N. Enquanto os demais componentes não diferiram entre si para os fatores testados.

**Tabela 10.** Componentes de produção das plantas de canola e produtividade em função das doses de nitrogênio, aplicação de pó de basalto e de enxofre elementar

Tratamento	Grãos/siliqua	Síliquas/planta	Massa de mil grãos (g)	Produtividade (t ha <sup>-1</sup> )
60 kg ha <sup>-1</sup>	18,16 b	147,78 <sup>ns</sup>	2,81 <sup>ns</sup>	0,75 <sup>ns</sup>
80 kg ha <sup>-1</sup>	21,35 a	243,83	2,81	0,95
100 kg ha <sup>-1</sup>	21,58 a	258,70	2,81	0,90
C.V. (%)	12,82	59,61	10,56	60,08
Sem pó	19,77 <sup>ns</sup>	235,76 <sup>ns</sup>	2,81 <sup>ns</sup>	0,83 <sup>ns</sup>
Com pó	20,96	197,52	2,80	0,90
C.V. (%)	16,74	17,84	5,11	47,95
Sem S	20,62 <sup>ns</sup>	233,21 <sup>ns</sup>	2,83 <sup>ns</sup>	0,86 <sup>ns</sup>
Com S	20,10	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; <sup>ns</sup> = não significativo pelo teste de Tukey.

Embora não tenha acarretado respostas significativas, a aplicação da maior dose de N resultou em acréscimo de 75 síliquas por planta em relação a menor dose. Além disso, as doses de 100 e 80 kg ha<sup>-1</sup> de N proporcionaram o incremento de 20 e 26,6% em produtividade, respectivamente.

Avice e Etienne (2014) afirmam que, mesmo que apresente 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 síliquas, massa de mil grãos e produtividade da cultura.

Araujo (2018) reafirma este resultado, pois ao testar cinco doses de S elementar (0, 30, 60, 90 e 120 kg ha<sup>-1</sup>) e quatro doses de N (0, 60, 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup>) não encontrou incrementos significativos para número de síliquas, massa de mil grãos e produtividade de plantas de canola.

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

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 síliquas por planta e rendimento de grãos. Apesar de a maior média de síliquas por planta (252) obtida com a aplicação de 15 kg ha<sup>-1</sup> na semeadura, 23 kg ha<sup>-1</sup> de N em estágio B<sub>4</sub> e 23 kg ha<sup>-1</sup> de N na floração, foi menor que média alcançada com a dose de 100 kg ha<sup>-1</sup> de N em B<sub>4</sub> (258) obtida nesse experimento. Todavia, esse mesmo tratamento resultou em produtividade de 1,8 t ha<sup>-1</sup>, enquanto a maior dose de N deste experimento resultou em apenas 0,90 t ha<sup>-1</sup>, provavelmente decorrente das condições edafoclimáticas desfavoráveis que ocorreram durante o ciclo da cultura.

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 síliqua 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 estas 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 verificaram influência na produtividade de três cultivares de soja com a adição de doses de pó de basalto (0, 1, 3 e 5 t ha<sup>-1</sup>), entretanto a aplicação deste insumo contribuiu para maior qualidade das sementes obtidas.

Quanto a disponibilização de nutrientes do pó de basalto que interfiram nos componentes de produção, ocorre que a dissolução deste depende de inúmeros fatores, como a granulometria, tempo de reação do solo, pH do solo e atividade biológica. Em relação ao último fator, Lopes, Costa e Lopes-Assad (2013) afirma 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 experimento, 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.

Da mesma forma, Reis (2021) ao utilizar a dose de 12 t ha<sup>-1</sup> de pó de basalto e 60 kg ha<sup>-1</sup> de S elementar associados a plantas de cobertura (aveia preta e nabo forrageiro) e posteriormente implantar a cultura do milho na mesma área de estudo que a utilizada para este experimento, não encontrou incrementos na produtividade da cultura. Todavia, a aplicação de pó de basalto associada a aplicação de S elementar proporcionou maior acúmulo de Fe e menor acúmulo de Mg no tecido foliar do milho.

Tal como Alovisi et al. (2015) que não observaram incrementos no rendimento de grãos e nos componentes de produção de plantas de milho com a utilização com pó de basalto em uma única safra.

Estes trabalhos comprovam que, além das condições edafoclimáticas desfavoráveis que acometeram o ciclo da cultura, a boa fertilidade da área experimental influencia diretamente nos resultados. Bem como resultados obtidos por Cunha, Almeida e Coelho (2020) e Reis (2021).

## 4.2 EXPERIMENTO 2

A tabela 11 apresenta as médias referentes a altura e diâmetro de plantas de milho submetidas as doses de composto orgânico, aplicação de pó de basalto e de S elementar. Nesta, pode-se constatar que nenhum dos parâmetros testados foram influenciados significativamente pelos tratamentos. Embora o efeito residual do pó de basalto tenha proporcionado o incremento de 5,81% na altura e 2,86% no diâmetro de plantas de milho.

**Tabela 11.** Altura e diâmetro das plantas de milho em função das doses de composto orgânico, aplicação de pó de basalto e de enxofre elementar

Tratamento	Altura (m)	Diâmetro (mm)
0 t ha <sup>-1</sup>	1,74 <sup>ns</sup>	16,91 <sup>ns</sup>
3 t ha <sup>-1</sup>	1,79	16,68
6 t ha <sup>-1</sup>	1,78	16,38
C.V. (%)	19,97	15,65
Sem pó	1,72 <sup>ns</sup>	16,42 <sup>ns</sup>
Com pó	1,82	16,89
C.V. (%)	27,04	31,3
Sem S	1,78 <sup>ns</sup>	16,80 <sup>ns</sup>
Com S	1,76	16,52
C.V. (%)	10,15	12,25

Médias seguidas por letras minúsculas diferentes na coluna, dentro de cada nível de tratamento, diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de significância; <sup>ns</sup> = não significativo pelo teste de Tukey.

Conforme afirmam Henrique et al. (2021), o estresse hídrico é uma restrição ambiental severa à produtividade agrícola e atua como fator determinante no cultivo das mais variadas espécies de interesse econômico. Na cultura do milho, a deficiência hídrica é um dos fatores que mais limita a produção, especialmente nas áreas onde ocorre um período prolongado de seca (SILVA, 2009), o que resulta em perdas de até 50% em regiões tropicais (EDMEADES, 2010), podendo atingir até 80% quando o estresse hídrico ocorre nas fases de florescimento e enchimento de grãos (ADEBAYO et al., 2014), considerado o período crítico da cultura (HERNÁNDEZ et al., 2015).

Desta forma, como pode-se observar na figura 4, a ocorrência de chuvas durante o ciclo da cultura não foi bem distribuída, mas proporcionou condições adequadas para a germinação de sementes e estabelecimento inicial da cultura. Entretanto, após isto, o milho enfrentou condições de déficit hídrico em período

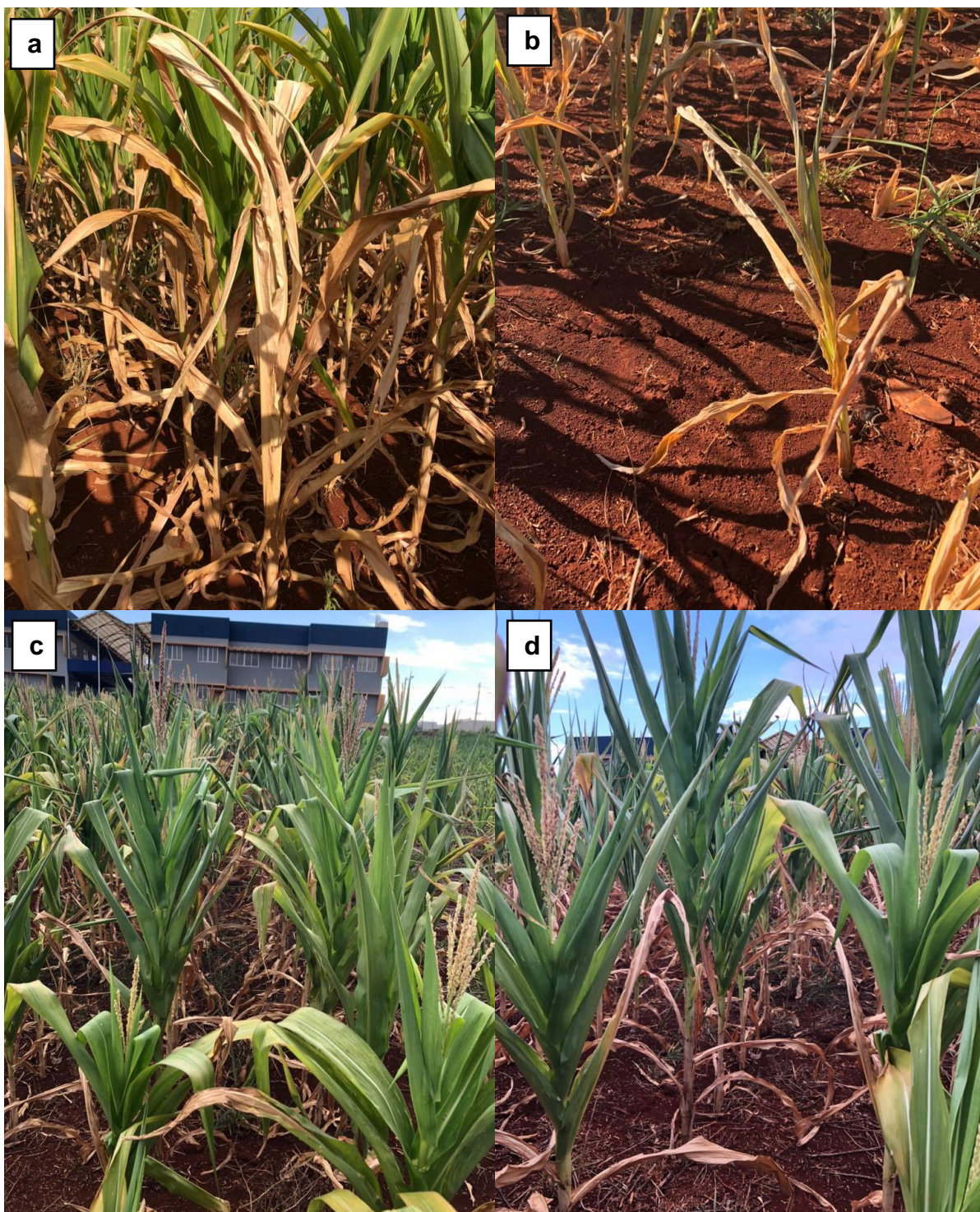


prolongado, o que afetou, particularmente, a fase crítica da cultura. Período o qual foi marcado por altas temperaturas, intensificando os danos à cultura, uma vez que quando o milho é exposto em um ambiente com menor precipitação e altas temperaturas, a sua produtividade é reduzida (WILHELM; WORTMANN, 2004).

Em consequência destes fatores, a uniformidade do estande de plantas foi severamente afetada, da mesma forma que os componentes de produção da cultura, evidenciado pela redução e discrepância da altura e diâmetro de plantas. Este cenário pode ser mais bem visualizado nas figuras 7a, 7b, 7c e 7d das plantas de milho e figuras 8a e 8b das espigas de milho apresentadas a seguir, as quais foram fotografadas durante o desenvolvimento da cultura.

Assim como neste estudo, Yan et al. (2015) ao avaliarem as respostas fisiológicas do milho sob estresse hídrico, constataram perdas na produção de massa fresca e seca das plantas, redução na altura, diâmetro de colmo, na atividade fotossintética da planta, na absorção de nutrientes e, conseqüentemente, na produtividade da cultura.

De Melo et al. (2018) contrastaram dois ambientes, um sob estresse hídrico e outro atendendo a demanda hídrica da cultura do milho, com o objetivo de avaliar a performance da cultura com diferentes híbridos. Os autores observaram redução no crescimento das plantas de milho em condições de estresse e diminuição da produtividade de grãos, posto que a maior média neste ambiente resultou em produtividade de 7317,6 kg ha<sup>-1</sup>, enquanto no ambiente sem estresse atingiu 11551,3 kg ha<sup>-1</sup>, o que representa um decréscimo de 57,85%.



**Figura 7.** a) e b) Plantas de milho severamente afetadas pelo déficit hídrico aos 78 dias após a semeadura; c) e d) Estande de plantas de milho seriamente comprometido pelo déficit hídrico aos 78 dias após a semeadura



**Figura 8.** a) e b) Espigas de milho afetadas pelo estresse hídrico aos 125 dias após a semeadura

A tabela 12 apresenta o pH e os teores de nutrientes do solo da área experimental. Nesta, pode-se verificar que a aplicação de pó de basalto resultou em maior teor de P no solo e acarretou aumento de 78,65% em relação ao tratamento sem pó de basalto.

Conforme evidenciado na tabela 5, o dióxido de silício ( $\text{SiO}_2$ ) constitui mais de 50% do pó de basalto utilizado, o que pode explicar a maior disponibilidade de P no solo após a sua aplicação. De acordo com Sandim et al. (2014), o ânion silicato compete com o ânion fosfato pelo mesmo sítio de adsorção, saturando assim os sítios onde o P pode ser adsorvido e, conseqüentemente, promove a sua disponibilização para a solução do solo. A liberação de Si na forma de silicato vai atuar nos sítios de carga positiva no solo que adsorvem P, liberando o nutriente.

Avila et al. (2020) avaliaram o efeito do silicato de Ca e Mg (0, 50, 100, 150 e 200  $\text{kg ha}^{-1}$ ) na disponibilidade de P em um LATOSSOLO de textura argilosa, onde observaram o aumento deste nutriente no solo até a dose de 100  $\text{kg ha}^{-1}$  de silicato de Ca e Mg, e justificaram que isto ocorreu devido à saturação dos sítios de adsorção de P pelo ânion silicato, que o deslocou para a solução do solo.

Da mesma forma, Erhart (2009) testou quatro doses de pó de basalto (0, 10, 20 e 50  $\text{t ha}^{-1}$ ) associado ou não a aplicação de esterco bovino, em comparação com o uso de formulados NPK. O autor verificou que houve incremento no teor de P no solo conforme o aumento das doses de pó de basalto e que este resultado sofreu

interferência da profundidade do solo, onde os maiores teores de P foram constatados em menores profundidades, o que evidencia a baixa mobilidade deste nutriente no solo.

Sustakowski (2021) encontrou aumento de 46% no teor de P no solo cultivado com plantas de cobertura após 6 meses da aplicação de 12 t ha<sup>-1</sup> de pó de rocha basáltica, associando este aumento ao intemperismo da rocha de basalto; a relação existente entre o silicato e o P; e liberação de compostos e ácidos orgânicos promotores de intemperismo do pó de rocha, os quais foram provenientes da decomposição dos resíduos vegetais das plantas de cobertura.

Tal como Borges et al. (2017) que encontraram aumento proporcional do teor de P no solo às doses de pó de rocha (3,2 a 6,4 t ha<sup>-1</sup>) após 3 meses de aplicação.

Vale ressaltar que, no presente trabalho, além da dinâmica entre o silicato e o fosfato, o P foi aplicado no solo via composto orgânico, na adubação de semeadura e, certamente, disponibilizado pela dissolução dos minerais ricos em P contidos no pó de basalto. Logo, o aumento do teor deste elemento no solo ocorreu devido a associação destes fatores.

**Tabela 12.** pH CaCl<sub>2</sub> e teores de nutrientes do solo submetido a aplicação de composto orgânico, pó de basalto e enxofre elementar

Tratamento	pH	----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----			----- mg dm <sup>-3</sup> -----				
		K	Ca	Mg	P	Cu	Zn	Mn	Fe
0 t ha <sup>-1</sup>	4,26 <sup>ns</sup>	0,41 <sup>ns</sup>	5,64 <sup>ns</sup>	1,47 <sup>ns</sup>	22,61 <sup>ns</sup>	11,49 <sup>ns</sup>	2,54 <sup>ns</sup>	180,05 <sup>ns</sup>	22,4 <sup>ns</sup>
3 t ha <sup>-1</sup>	4,41	0,46	5,24	1,51	19,52	11,16	2,48	182,43	21,11
6 t ha <sup>-1</sup>	4,32	0,47	5,17	1,28	18,99	11,51	2,35	181,02	21,98
C.V. (%)	5,85	31,92	54,80	48,10	41,65	10,49	42,35	3,70	22,04
Sem pó	4,34 <sup>ns</sup>	0,40 <sup>ns</sup>	5,40 <sup>ns</sup>	1,47 <sup>ns</sup>	14,62 b	11,48 <sup>ns</sup>	2,43 <sup>ns</sup>	180,15 <sup>ns</sup>	21,88 <sup>ns</sup>
Com pó	4,32	0,49	5,30	1,39	26,12 a	11,29	2,48	182,19	21,78
C.V. (%)	6,49	40,5	28,76	37,73	67,72	19,09	26,77	6,38	3,73
Sem S	4,26 <sup>ns</sup>	0,43 <sup>ns</sup>	5,65 <sup>ns</sup>	1,54 <sup>ns</sup>	21,33 <sup>ns</sup>	11,61 <sup>ns</sup>	2,49 <sup>ns</sup>	179,61 <sup>ns</sup>	22,09 <sup>ns</sup>
Com S	4,40	0,46	5,06	1,31	19,42	11,16	2,42	182,72	21,57
C.V. (%)	6,24	44,38	19,39	24,51	59,64	9,66	24,84	3,40	14,38

Médias seguidas por letras minúsculas diferentes na coluna, dentro de cada nível de tratamento, diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de significância; <sup>ns</sup> = não significativo pelo teste de Tukey.

Apesar dos demais nutrientes não terem apresentado respostas significativas para nenhum dos parâmetros testados, de acordo com o Manual de Adubação e Calagem para o Estado do Paraná (SBCS/NEPAR, 2017), todos estão dentro da classe de interpretação alta ou muito alta, evidenciando a alta fertilidade da área.

Diante disso, conforme afirmam Borges et al. (2017), a disponibilidade de nutrientes no solo influencia na dinâmica e liberação dos elementos a partir de fontes minerais, e a tendência é haver maior disponibilidade do nutriente quanto menor for a sua concentração no solo, ao passo que em um solo com teores elevados de determinado nutriente em solução, a velocidade de solubilização deste será reduzida. Logo, como o solo do experimento já apresentava altas concentrações dos nutrientes, a solubilização destes pelo remineralizador pode ter sido restringida.

A Instrução Normativa nº 5, de 10 de março de 2016 (BRASIL, 2016) determina que para ser classificado como remineralizador de solo, pelo menos 50% do material do pó de rocha deve apresentar granulometria menor do que 0,3 mm. Assim, como o pó de basalto utilizado neste experimento possui 58,67% do material com granulometria abaixo de 0,3 mm, pode ser considerado um remineralizador de solo. Entretanto, 41,33% dispõem de granulometria maior e, portanto, necessitará de maior período para liberar os nutrientes de sua estrutura.

Por outro lado, o pH do solo, segundo o Manual de Adubação e Calagem para o Estado do Paraná (SBCS/NEPAR, 2017), encontra-se na classe de interpretação baixa, posto que não foi realizada a correção de acidez do solo na área. O pó de rocha, por possuir teores consideráveis de CaO e MgO (8,99 e 5,11), esperava-se que pudesse alterar o pH do solo, mas não foram constatadas diferenças significativas. Um dos fatores que pode ter influenciado tal resposta é o teor de argila do solo, uma vez que o poder tampão do solo em alterar o pH está diretamente ligado ao teor de matéria orgânica e de argila (RAIJ, 2017). Assim, como o solo em questão é classificado como muito argiloso, isto lhe confere alto poder tampão.

Ademais, foram realizadas aplicações de adubos solúveis no solo, as quais podem ter contribuído para reduzir o seu pH. Posto que a ureia, por exemplo, possui poder acidificante de 1 H<sup>+</sup> por unidade de N, enquanto as fontes oriundas de sal de amônia possuem o dobro deste potencial (SUMNER, 2009). Por consequência, estudos indicam que o sulfato de amônio é a fonte nitrogenada com maior capacidade de acidificação do solo (ROSADO et al., 2014), sem mencionar a acidificação decorrente da dissolução dos fertilizantes fosfatados, como o fosfato mono-amônico (ERNANI et al., 2001), que foi utilizado no experimento.

No experimento 1 foi constatado aumento do pH do solo com a adição do pó de basalto, o que não ocorreu neste segundo experimento. Esta conjuntura revela

que alterações no pH com o uso de pó de rocha são contraditórias, onde alguns trabalhos corroboram este resultado, como o de Rocha Neto (2020) que não verificou alterações no pH do solo após 70 dias da aplicação de 0, 2, 4, 6 e 8 t ha<sup>-1</sup> de pó de rocha de fonolito, enquanto outros verificam mudanças, como o de Martins et al. (2015) que observaram aumento de pH de 4,6 para 6,1 após 45 dias de incubação do solo com 8,2 t ha<sup>-1</sup> de pó de rocha de fonolito.

## 5 CONCLUSÕES

### 5.1 EXPERIMENTO 1

A utilização do pó de basalto apresentou efeito residual logo após um ano de aplicação ao melhorar as características químicas do solo por meio do aumento de pH do solo, dos teores de K e P, do V% e redução da acidez potencial do solo.

A canola se mostrou responsiva a adubação nitrogenada, posto que a maior dose de N utilizada resultou em aumento do teor deste nutriente nas plantas de canola e no número grãos por síliqua. Assim como a dose de 80 kg ha<sup>-1</sup> de N propiciou incremento no número de grãos por síliqua das plantas de canola.

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.

### 5.2 EXPERIMENTO 2

A aplicação de 12 t ha<sup>-1</sup> de pó de basalto resultou no incremento de 78,65% no teor de P no solo.

A ocorrência de déficit hídrico prolongado que acometeu o ciclo da cultura, impossibilitou a realização das avaliações de análise foliar e produtividade da cultura do milho.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADEBAYO, M. A.; MENKIR, A.; BLAY, E.; GRACEN, V.; DANQUAH, E.; HEARNE, S. Genetic analysis of drought tolerance in adapted x exotic crosses of maize inbred lines under managed stress conditions. **Euphytica**, v. 196, 2014. 261 p.

AGUILERA, J. G.; ZUFFO, A. M.; RATKE, R. F.; TRENTO, A. C. S.; LIMA, R. E.; GRIS, G. A.; MORAIS, K. A. D.; SILVA, J. X.; MARTINS, W. C. Influencia de dosis de polvo de basalto sobre cultivares de soya. **Research Society and Development**, v. 9, n. 7, 2020.

AGROLINK. **Cotações.** 2022. Disponível em: <https://www.agrolink.com.br/cotacoes/graos/canola/canola-comum-sc-60sc>. Acesso em: 15 fev. 2022.

ALCARDE, J. A.; RODELLA, A. A. **Qualidade e legislação de fertilizantes e corretivos.** In: CURI, N. et al. (ed.) **Tópicos em Ciência do Solo.** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. p. 291-334.

ALMEIDA, L. H. C.; KLEIN, P. H.; OLIVEIRA, E. C.; MIGLIORANZA, E. Silício e disponibilidade de fósforo no crescimento e desenvolvimento de mudas de café. **Cultura Agrônômica**, v. 26, n. 2, p. 123-131, 2017.

ALOVISI A. M. T.; ARAUJO L. R. C.; TAQUES M. M.; TERUEL H. H. Produtividade do milho em resposta a utilização de pós de rochas. In: Encontro de Ensino, Pesquisa e Extensão, 5, 2015, Dourados. **Anais.** 2015.

ALVAREZ V. V. H.; DIAS, L. E.; RIBEIRO JR. E. S.; FONSECA, C. A. **Métodos de análises de enxofre em solos e plantas.** Viçosa: Editora UFV, 2001.

ANDRADE, F. H.; VEJA, C.; UHART, S.; CIRILO, A.; CANTARERO, M.; VALENRINUZ, O. Kernel number determination in maize. **Crop Science**, v. 39, p. 453-459, 1999.

ANDRADE, R. P.; PILON, G. A. L.; REIS, W.; FERREIRA NETO, E. D. M.; JANEGITZ, M. C. 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.; RIBOLDI, L. B.; SOARES, C. D. F.; CASTRO, P. R. C.; KLUGE, R. A. **Canola (*Brassica napus* L.).** Piracicaba: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Divisão de Biblioteca, 2016.

ARAUJO, O. B. **Doses de enxofre e de nitrogênio em cobertura nos componentes e produção da canola.** 2018. 25 p. Monografia (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2018.

ARTUZO, F. D.; FOGUESATTO, C. R.; SOUZA, A. R. L.; SILVA, L. X. Gestão de custos na produção de milho e soja. **Revista Brasileira de Gestão de Negócios**, v. 20, n. 2, p. 273-294, 2018.

ASSOCIAÇÃO DOS MISTURADORES DE ADUBOS DO 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.

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.

AVILA, F. M.; FRANÇA, J. M. M.; CRUZ, M. V. S.; JARDINI, D. C. **Efeito de silicato de cálcio e magnésio na disponibilidade de fósforo e características agrônômicas da soja**. 2020. 11 p. Monografia (Graduação em Agronomia) – Universidade de Várzea Grande, Várzea Grande, 2020.

BANZA, F. **Avaliação do efeito da fertilização com enxofre e boro na cultura da colza**. 2020. 61 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Instituto Politécnico de Beja, Escola Superior Agrária, Beja, 2020.

BARBOSA, M. Z. Óleos vegetais para alimentos ou para biodiesel? **Análises e Indicadores do Agronegócio**, v. 6, n. 6, p. 16, 2011.

BARROS, J. F. C.; CALADO, F. G. **A cultura do milho**. Universidade de Évora. 2014. Disponível em: <https://dspace.uevora.pt/rdpc/bitstream/10174/10804/1/Sebenta-milho.pdf>. Acesso em: 30 set. 2021.

BARROS NETO, C. R. **Efeito do nitrogênio e da inoculação de sementes com *Azospirillum brasilense* no rendimento de grãos de milho**. 2008. 29 p. Monografia (Graduação em Agronomia) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2008.

BARTHET, V. J. **Canola: Overview**. Winnipeg: Elsevier, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780081005965000299?via%3Dihub>. Acesso em: 25 jun. 2020.

BASTOS, A. L.; COSTA, J. P. V.; SILVA, I. F.; RAPOSO, R. W. C.; OLIVEIRA, F. A.; ALBUQUERQUE, A. W. Resposta do milho a doses de fósforo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 5, p. 485-491, 2010.

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.



BORGES, P. H. C.; SILVA, F. J. P.; CARVALHO, A. M. X. Avaliação da disponibilização de elementos nutrientes do pó de basalto via adubação verde de inverno e de feijão como cultura verão. In: Congresso Brasileiro de Rochagem, 3., 2017, Pelotas. **Anais**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado; Brasília: Embrapa Cerrados, 2017, p. 269-274.

BRASIL. **Lei nº 12.890, de 10 de dezembro de 2013**. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/ato2011-2014/2013/lei/l12890.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2011-2014/2013/lei/l12890.htm). Acesso em: 17 ago. 2021.

BRASIL. Instrução Normativa nº 5, de 10 de março de 2016. **Estabelece as regras sobre definições, classificação, especificações e garantias, tolerâncias, registro, embalagem, rotulagem e propaganda dos remineralizadores e substratos para plantas, destinados à agricultura**. Diário Oficial da União, Brasília, 2016.

BREVANT. **Híbridos de milho: 2B688PW**. 2022. Disponível em: <https://www.brevant.com.br/produtos/milho/2b688pw.html>. Acesso em: 20 jan. 2022.

CANOLA COUNCIL OF CANADA. **Crop Nutrition**. Winnipeg, 2009. Disponível em: <https://www.canolacouncil.org/canola-encyclopedia/crop-nutrition/crop-nutrition/>. Acesso em 26 jun. 2020.

CANTARELLA, H. Calagem e adubação do milho. In: BULL, L. T.; CANTARELLA, H. **Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Potafós, 1993.

CIAMPITTI, I. A.; ELMORE, R. W.; LAUER, J. **Fases de desenvolvimento da cultura do milho**. 2016. Disponível em: [https://www.npct.com.br/npctweb/npct.nsf/article/BRS-3137/\\$File/MF3305BP-CornGrowth-portuguese\\_FINAL.pdf](https://www.npct.com.br/npctweb/npct.nsf/article/BRS-3137/$File/MF3305BP-CornGrowth-portuguese_FINAL.pdf). Acesso em: 18 jan. 2022.

COELHO, A. M. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento: **Nutrição e adubação do milho**. 2006. 10 p. (Circular Técnica 78).

COELHO, A. M.; CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A. **Rendimento do milho no Brasil: chegamos ao máximo?** 2002. Disponível em: [https://www.ipni.com.br/npctweb/npct.nsf/e0f085ed5f091b1b852579000057902e/54f495ffab600eaa83257b0900456a4a/\\$FILE/Palestra%20do%20Antonio.pdf](https://www.ipni.com.br/npctweb/npct.nsf/e0f085ed5f091b1b852579000057902e/54f495ffab600eaa83257b0900456a4a/$FILE/Palestra%20do%20Antonio.pdf). Acesso em: 30 set. 2021.

COELHO, A.M.; RESENDE A.V. de R. **Exigências nutricionais e adubação do milho safrinha**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2008. 10 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 111).

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. **Conjuntura mensal: Canola**. 2017. Disponível em: <https://www.conab.gov.br>. Acesso em: 4 mar. 2019.

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 (Décimo primeiro levantamento – Safra 2020/21)**. v. 11, n. 11, 2021. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>. Acesso em: 16 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.

CONTINI, E.; MOTA, M. M.; MARRA, R.; BORGHI, E. MIRANDA, R. A.; SILVA, A. F.; SILVA, A. F.; SILVA, D. D.; MACHADO, J. R. A.; COTA, L. V.; COSTA, R. V.; MENDES, S. M. Milho – caracterização e desafios tecnológicos. 2019. **Embrapa: Série Desafios do Agronegócio Brasileiro**. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/195075/1/Milho-caracterizacao.pdf>. Acesso em: 29 set. 2021.

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

COSTA, A. C. T.; ROSSOL, C. D.; DUARTE JUNIOR, J. B.; TOMM, G. O. 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.

DE MELO, A. V.; SANTOS, V. M.; VARANDA, M. A. F.; CARDOSO, D. P.; DIAS, M. A. R. Desempenho agronômico de genótipos de milho submetidos ao estresse hídrico no Sul do Estado do Tocantins. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 17, n. 2, p. 177-189, 2018.

DEUS, A. C. F.; CASSIOLATO, A. M. R.; SILVA, E. A.; FERNANDES, F. M.; SANTOS, T. E. B.; MALTONI, K. L. Influência da rochagem nos atributos químicos e atividade microbiana de um Latossolo. In: I ENCIVI, 2007, Ilha Solteira. 2007, 1-4.

DOGAN, E.; COPUR, O.; KAHRAMAN, A.; KIRNAK, H. GULGUR, M. E. Supplemental irrigation effect on canola yield components under semiarid climatic conditions. **Agricultural Water Management**, v. 98, n. 9, p. 1403-1408, 2011.

DOMINGOS, C. S.; LIMA, L. H. S.; BRACCINI, A. L. Nutrição mineral e ferramentas para o manejo da adubação na cultura da soja. **Scientia Agraria Paranaensis**, Maringá, v.14, n.3, p.132-140, 2015.

DUARTE, J. R. M.; BASÍLIO, S. A.; SILVA, M. B.; VAZ, V.; PIRES, J. P. D.; BERTI, M. P. 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.

EDMEADES, G. Drought tolerance in maize: na emerging reality. **Indian Seed and Planting Material**, v. 3, p. 26-33, 2010.

EMBRAPA TRIGO. **Canola**. Passo Fundo, 2014. Disponível em: <http://www.cnpt.embrapa.br/culturas/canola>. Acesso em: 15 mai. 2020.

ERHART, J. **Efeito do pó de basalto nas propriedades químicas do solo e nutrição da videira (Cabernet saubignon)**. 2009. 72 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2009.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO – FIESP. **Safra Mundial de Milho 2021/22**. 2021. Disponível em: <https://www.fiesp.com.br/indices-pesquisas-e-publicacoes/safra-mundial-de-milho-2/>. Acesso em: 29 set. 2021.

FERNANDES, M. S.; SOUZA, S. R.; SANTOS, L. A. **Nutrição Mineral de Plantas**. Viçosa: SBCS – Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2018. 670 p.

FERRARIS, G.; COURETOT, L.; URRUTIA, J. Respuesta del cultivo de colza a nitrógeno azufre y boro. **Desarrollo Rural – Unidad Territorial Agrícola INTA EEA Pergamino**, p. 1-6, 2014.

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

FORNASIERI, D. F. **A cultura do milho**. Jaboticabal: FUNEP, 1992. 574 p.

GAMBAUDO, S.; FONTANETTO, H.; KUCHEN, M. G. Fertilizacion del cultivo de colza em el centro de Santa Fé. **Informacion técnica de trigo y otros cultivos de invierno**, n. 109, p. 1-8, 2008.

GARCIA, A. G. **Cultivos herbáceos extensivos**. 6ª ed. Barcelona: Mundi-Prensa, 1999. 779 p.

GASQUES, J. G.; BASTOS, E. T.; TUBINO, M. A. A.; ARAUJO, W. V. **Brasil: Projeções do Agronegócio 2020/2021 a 2030/2031**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2021. 102 p.

GOUVÊA, J. A.; CUNHA, G. R.; DALMAGO, A. S. Resposta de canola à adubação nitrogenada e efeitos sobre métodos de colheita mecanizada. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CANOLA, 1., 2017, Passo Fundo. **Anais...** Brasília, DF: Embrapa, 2017. p. 262-267.

GRANT, C. A.; BAILEY, L. D. Fertility management in canola production. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 83, p. 451-463, 1993.

GULARTE, J. A.; MACEDO, V. G. K.; PANOZZO, L. E. Produção e mercado de sementes de canola no Brasil. **Applied Research & Agrotechnology**, v. 13, e5834, 2020.

HANISCH, A. L.; FONSECA, J. A.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; SPAGNOLLO, E. Efeito de pó de basalto no solo e em culturas anuais durante quatro safras, em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 3, n. 2, p. 100-107, 2013.

HERNÁNDEZ, M.; ECHARTE, L.; DELLA MAGGIORA, A.; CAMBARERI, M.; BARBIERI, P.; CERRUDO, D. Maize water use efficiency and evapotranspiration response to N supply under contrasting soil water availability. **Field Crops Research**, v. 178, n. 1, p. 8-15, 2015.

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

IRIARTE, L. B.; VALETTI, O. E. **Cultivo de colza**. Buenos Aires: Instituto Nacional de Tecnologia Agropecuária (INTA). 2008. 156 p.

HANEKLAUS, S.; BLEOM, E.; SCHNUG, E.; DE KOK, L. J.; STULEN, I. **Sulphur**. In: BARKER, A. V.; PILBEAM, D. J. **Handbook of Plant Nutrition**. Boca Raton: CRC Press. 2007. p. 183-238.

HENRIQUE, I. G.; BOSQUEIRO, R. O.; KOTSUBO, R. M.; BOTELHO, S. C. C. Déficit hídrico e a germinação de sementes de híbridos de milho. **Nativa**, v. 9, n. 3, p. 240-246, 2021.

HERRENDORF, B.; SCHOELLMAN, T. Why is measured productivity so low in agriculture? **Review of Economic Dynamics**, v. 18, n. 4, p. 1003-1022, 2015.

HOROWITZ, N. **Oxidação e eficiência agronômica do enxofre elementar em solos do Brasil**. 2003. 122 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

HOROWITZ, N.; MEURER, E. J. Oxidação do enxofre elementar em solos tropicais. **Ciência Rural**, v. 36, n. 3, p. 822-828, 2006.

KAEFER, J. E. **Resposta da canola a fontes, doses e parcelamento de Nitrogênio em Toledo – PR**. 2012. 110 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, 2012.

KÄMPF, N.; CURI, N.; MARQUES, J. J. **Intemperismo e ocorrência de minerais no ambiente do solo**. In: MELHO, V. F.; ALLEONI, L. R. F. **Química e mineralogia do solo. Parte 1: conceitos básicos**. Minas Gerais: SBCS, 2009.

KAPPES, C.; SILVA, R. G.; FERREIRA, V. E. N. Aplicação foliar de *Azospirillum brasilense* e doses de nitrogênio em cobertura no milho safrinha. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 16, n. 3, p.366-373, 2017.

KORCHAGIN, J.; ABREU, C.; DALACORTE, L.; TONINI, V.; MULLER, R.; CANER, L.; BORTOLUZZI, E. **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.

KORNDÖFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; CAMARGO, M. S. **Silicato de cálcio e magnésio na agricultura**. Universidade Federal de Uberlândia – Instituto de Ciências Agrárias, 2002. 15 p. (Boletim Técnico, 1).

KRUGER, C. A. M. B.; SILVA, J. A. G.; MEDEIROS, S. L. P.; DALMAGO, G. A.; SARTORI, C. O.; SCHIAVO, J. 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.; FRANDOLOSO, J. F.; FEY, R.; RICHART, A.; FONTANIVA, S. **Análise química de solo e tecido vegetal: metodologias analíticas**. 2. ed. Revisada. Cascavel, PR: Edunioeste, 2016.

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.; COUTINHO, E.L.M. PAES, J.M.V.; BARBOSA, J. C. Produtividade e qualidade de grãos de canola em função da adubação nitrogenada e sulfatada. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 6, p. 3205-3218, 2013.

MA, B. L.; ZHENG, Z.; WHALEN, J. K.; CALDWELL, C.; VANASSE, A.; PAGEAU, D.; SCOTT, P.; EARL, H.; SMITH, D. L. 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.

MACEDO, L. A.; FERNANDES, A. C.; SARDINHA, L. T.; FRANÇA, A. C.; MACHADO, C. M. M.; FERREIRA, B. O.; ARAÚJO, F. H. V.; CRUZ, R. S. Crescimento inicial de milho submetido a diferentes manejos de adubação. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 2, p. 5880-5893, 2020.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M.; CARNEIRO, N. P.; PAIVA, E. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento: **Fisiologia do milho**. 2002. 27 p. (Circular Técnica, 134).

MAGALHÃES, P. C.; SOUZA, T. C. **Cultivo do milho**. Embrapa Milho e Sorgo. 2015. Disponível em: [https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p\\_p\\_id=conteudoportlet\\_WAR\\_sistema\\_sdeproducaolf6\\_1ga1ceportlet&p\\_p\\_lifecycle=0&p\\_p\\_state=normal&p\\_p\\_mode=view&p\\_p\\_col\\_id=column-1&p\\_p\\_col\\_count=1&p\\_r\\_p\\_-76293187\\_sistemaProducaold=7905&p\\_r\\_p\\_-996514994\\_topicold=8662](https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p_p_id=conteudoportlet_WAR_sistema_sdeproducaolf6_1ga1ceportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_count=1&p_r_p_-76293187_sistemaProducaold=7905&p_r_p_-996514994_topicold=8662). Acesso em: 16 out. 2021.

MALHI, S. S. Influence of four successive annual applications of Elemental S and sulphate – S fertilizers on yield, S uptake and seed quality of canola. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 85, n. 4, p. 777-792, 2005.

MALHI, S. S.; GILL, K. S. Cultivar and fertilizer S rate interaction effects on canola yield, seed quality and S uptake. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 86, n. 1, p. 91-98, 2006.

MALHI, S. S.; GILL, K. S. Interactive effects of N and S fertilizers on canola yield and seed quality on S-deficient Gray Luvisol soils in northeastern Saskatchewan. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 85, p. 211-222, 2007.

MARAFON, A. C. Silicato – Alternativa para correção do solo. 2015. **Revista Campo & Negócios**. Disponível em: <https://revistacampoenegocios.com.br/silicato-alternativa-para-a-correcao-do-solo/#:~:text=Os%20silicatos%20promovem%20a%20rea%C3%A7%C3%A3o,acidez%20do%20solo%20em%20profundidade>. Acesso em: 22 mar. 2022.

MARTINS, E. S.; OLIVEIRA, C. G.; RESENDE, A. V.; MATOS, M. S. F. **Agrominerais** – Rochas silicáticas como fontes minerais alternativas de potássio para a agricultura. In: LUIZ, A. N.; LINS, F. F. (ed.). **Rochas e minerais industriais: usos e especificações**. 2ª ed. Rio de Janeiro: CETEM-MCTI, 2008. p. 205-221.

MARTINS, E. S.; RESENDE, A. V.; OLIVEIRA, C. G.; FURTINI NETO, A. E. **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: CETEM/MCT, 2010.

MARTINS, E. S.; THEODORO, S. H. Congresso Brasileiro de Rochagem. In: Congresso Brasileiro de Rochagem, 2010, Brasília. **Anais do I Congresso Brasileiro de Rochagem**. Planaltina: Embrapa Cerrados. p. 322, 2010.

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

MARTINS, V.; SILVA, D. R. G.; MARCHI, G.; LEITE, M. C. A.; MARTINS, E. S.; GONÇALVES, A. S. F.; GUILHERME, L. R. G. Effect of alternative multinutrient sources on soil chemical properties. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 1, p. 194-204, 2015.

McDONALD, B. E. **Canola oil: nutritional properties**. Manitoba: Canola Council of Canada, 2000. 6. Disponível em: [https://www.canolacouncil.org/media/515159/canola\\_oil\\_nutritional\\_properties.pdf](https://www.canolacouncil.org/media/515159/canola_oil_nutritional_properties.pdf). Acesso em: 25 mai. 2020.

MELGAREJO, M. A.; DUARTE JÚNIOR, J. B.; COSTA, A. C. T.; MEZZALIRA, E. J.; PIVA, A. L.; SANTIN, A. 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.

MICUANSKI, V. C. A cultura energética: Canola (*Brassica napus* L.). **Acta Iguazu**, Cascavel, v. 3, p.141-149, 2014.

MELO, V. F.; UCHÔA, S. C. P.; DIAS, F. O.; BARBOSA, G. F. 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.

MIRANDA, R. A. Uma história de sucesso da civilização. **A Granja**, v. 74, n. 829, p. 24-27, 2018.

MORTATE, R. K.; NASCIMENTO, E. F.; GONÇALVES, E. G. S.; LIMA, M. W. P. Resposta do milho (*Zea mays* L.) à adubação foliar e via solo de nitrogênio. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 5, n.1, p. 1-6, 2018.

NITSCHKE, P. R.; CARAMORI, P. H.; RICCE, W. S.; PINTO, L. F. D. **Atlas Climático do Estado do Paraná**. Londrina, PR: IAPAR, 2019.

NOGUEIRA, M. V. C.; AMORIM, A. M.; MAIA, R. M.; PAULILLO, L. C. M. S. Estudos de espécies oleaginosas com potencial para a produção de biocombustíveis, da região do Riacho das Vacas - Bahia, Brasil. **Revista Diálogos e Ciências**, v. 17, n. 39, p. 42-56, 2017.

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, p. 649-656, 2014.

NUSEED. **Nuola 300**. 2019. Disponível em: <https://nuseed.com/br/product/canola-nuola-300/>. Acesso em: 30 mai. 2020.

NUTTALL, W. F.; UKRAINETZ, H.; STEWART, J. W. B.; SPURR, D. T. The effect of nitrogen, sulphur and boro non yield and quality of rapeseed (*Brassica napus* L. and *B. campestris* L.). **Canadian Journal of Soil Science**, v. 67, n. 3, p. 545-559, 1987.

OLIVEIRA, G. B. **Atributos químicos do solo e produtividade de trigo sob pós de rocha**. 2018. 32 p. Monografia (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2018.

OLIVEIRA, R. J. **Oxidação de enxofre elementar e absorção pelo milho em função de diferentes fertilizantes e doses**. 2018. 52 p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual de Goiás, Ipameri, 2018.

OSTERROHT, M. V. Rochagem para quê? **Revista Agroecologia Hoje**. Botucatu, nº 20, p. 12-15, 2003.

PEREIRA, B. O. H.; DINIZ, D. A.; REZENDE, C. F. A. Adubação organomineral e mineral no desempenho agrônômico do milho e alterações químicas do solo. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 8, p. 58694-58706, 2020.

POZZA, A. A. A.; CURI, N.; COSTA, E. T. S.; GULHERME, L. R. G.; MARQUES, J. J. G. S. M.; MOTTA, P. E. F. Competitive retention and desorption of inorganic anions on natural soil gibbsite. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 11, 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.

RAIJ, B. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2017. 420 p.

RATHKE, G. E.; CHRISTEN, O.; DIEPENBROCK, W. Effects of nitrogen source and rate on productivity and quality of winter oilseed rape grown in different crop rotations. **Field Crops Research**, v. 94, p. 103-133, 2005.

RAZA, A. Eco-physiological and biochemical responses of rapeseed (*Brassica napus* L.) to abiotic stresses: consequences and mitigation strategies. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 40, p. 1368-1388, 2021.

RAZA, A.; RAZZAQ, A.; MEHMOOD, S. S.; ZOU, X.; ZHANG, Z.; NV, Y.; XU, J. Impact of climate change on crops adaptation and strategies to tackle its outcome: a review. **Plants**, v. 8, n. 2, p. 34, 2019.

REIS, W. **Aplicação de pó de rocha e enxofre elementar associado a plantas de cobertura do solo na disponibilidade de nutrientes para a cultura do milho**. 2021. 64 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, 2021.

RICHARDS, R. A. Selectable traits to increase crop photosynthesis and yield of grain crops. **Journal of Experimental Botany**, v. 51, p. 447-458, 2000.

RIGON, C. A. G.; GOREGEN, A. B.; SILVESTRE, L. O.; SOUZA, F. M.; ZANATTA, T. P.; SILVA, V. R.; TOMM, G. O. Características fenométricas e rendimento de grãos em canola em funções de épocas de semeadura. In: Simpósio Brasileiro de Canola, 2017, Passo Fundo. **Anais**. Brasília: Embrapa, 2017. p. 305-312.

ROCHA NETO, A. R. **Solubilização de pó de fonolito em Latossolo Vermelho distroférico por ação de poáceas cultivadas como plantas de cobertura**. 2020. 45 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Jaboticabal, 2020.

ROSADO, T. L.; GONTIJO, I.; ALMEIDA, M. S.; ANDRADE, F. V. Fontes e doses de nitrogênio e alterações nos atributos químicos de um Latossolo cultivado com campim-mombaça. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 3, 2014.

RUWER, P. H.; CARVALHO, I. R.; NARDINO, M.; FOLLMANN, D. N.; SZAREDKI, V. J.; FERRARI, M. PELEGRIN, A. J.; SOUZA, V. Q.; CARON, B. O. Produtividade e teor de óleo em canola submetida a diferentes doses de nitrogênio. **Revista Sodebras**, v. 11, n. 122, p. 93-98, 2016.



SANDIM, A. S.; BÜLL, L. T.; FURIM, A. R.; LIMA, G. S.; GARCIA, J. L. N. Phosphorus availability in oxidic soils treated with lime and silicate applications. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 4, p.1215-1222, 2014.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAUJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5.ed. Brasília: Embrapa, 2018.

SANTOS, R. H. S.; SILVA, F.; CASALI, V. W. D.; CONDE, A. R. Efeito residual da adubação com composto orgânico sobre o crescimento e produção de alface. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 11, p. 1395-1398, 2001.

SILVA, A. P. F.; COSTA, D. F.; VICENTE, D. L. C.; SILVA, A. A.; PEREIRA, C. S. Produção de milho em diferentes profundidades de plantio. **Brazilian Journal of Byosystems Engineering**, v. 13, n. 4, p. 330-338, 2019.

SILVA, D. W.; CANEPELLE, E.; LANZANOVA, M. E.; GUERRA, D.; REDIN, M. Pó de basalto como fertilizante alternativo na cultura do feijão preto em Latossolo Vermelho. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 15, n. 4, p. 373-378, 2020.

SILVA, E. A.; CASSIOLATO, A. M. R.; MALTONI, K. L.; SCABORA, M. H. Efeitos da rochagem e de resíduos orgânicos sobre aspectos químicos e microbiológicos de um subsolo exposto e sobre o crescimento de *Astronium fraxinifolium* Schott. **Revista Árvore**, v. 32, n. 2, p. 323-333, 2008.

SILVA, J. A. G.; MOTTA, M. B.; BIANCHI, C. A. M.; CRESTANI, M.; GAVIRAGHI, J.; FONTANIVA, C.; GEWBER, E. Alelopatia da canola sobre o desenvolvimento e produtividade da soja. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 17, n. 4, p. 428-437, 2011.

SILVA, L. Safrinha: o solo, lucro à vista na mão. **A Granja**, n. 723, p. 16-19, 2009.

SILVA, R. L. L.; SILVA, C. G. M.; MOREIRA, S. G.; GUTIÉRREZ, A. M. Marcha de absorção de nutrientes em cultivares de milho. In: XXXI Congresso Nacional de Milho e Sorgo, 2016, Bento Gonçalves. **Anais**. Bento Gonçalves: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2016. p. 210-213.

SILVA, W. B.; BARCELOS, F. P.; SICHOCKI, D.; SILVA, G. M. C. Uso do silicato de cálcio na correção da acidez do solo e no desenvolvimento da *Brachiaria ruziziensis* L. **Perspectivas online: Ciências Exatas e Engenharia**, v. 10, n. 4, p. 1-11, 2014.

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

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.

SOUZA, M. E. P.; CARVALHO, A. M. X.; DELIBERALI, D. C.; JUCKSCH, I.; BROWN, G. G.; MENDONÇA, E. S.; CARDOSO, I. M. Vermicomposting with rock powder increases plant growth. **Applied Soil Ecology**, v. 69, p. 56-60, 2013.

SOUZA, S. R.; FERNANDES, M. S. Nitrogênio. In: FERNANDES, M. S; SOUZA, S. R.; SANTOS, L. A. **Nutrição Mineral de Plantas**. 2 Ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2018. cap, 9, p. 215-252.

SUMNER, M. E. **Soil adicification**. In: VERHEYE, W. H. **Land use, land cover and soil sciences**. Brisbane: EOLSS, 235 p. 2009.

SUSTAKOWSKI, M. C. **Teor de nutrientes, propriedades físicas do solo e produtividade de soja após a aplicação de pó de rocha associado a plantas de cobertura**. 2021. 71 p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, 2021.

SÜZER, S. Effects of plant nutrition on canola (*Brassica napus* L.) growth. **Trakya University Journal of Natural Sciences**, v. 16, n. 2, p. 87-90, 2015.

TARTAGLIA, F. L. **Respostas agronômicas e ecofisiológicas da cultura da canola ao excesso hídrico**. 2016. 97 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade de Santa Maria, Santa Maria, 2016.

THEODORO, S. H.; SANDER, A.; BURBANO, D. F. M.; ALMEIDA, G. R. Rochas basálticas para rejuvenescer solos intemperizados. **Revista Liberato**, v. 22, n. 37, p. 45-58, 2021.

TILMAN, D.; FARGIONE, J.; WOLFF, B.; D'ANTONIO, C.; DOBSON, A.; HOWARTH, R.; SCHINDLER, D.; SCHLESINGER, W. H.; SIMBERLOFF, D.; SWACKHAMER, D. Forecasting Agriculturally Driven Global Environmental Change. **Science**, v. 292, p. 281-284, 2001.

TIPEWA, N. C. **Produtividade de colza, girassol e soja em situações culturais diversas: variedades, datas de sementeira e adubação azotada**. 2017. 97 p. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical) – Escola Superior Agrária de Bragança, Bragança, 2017.

TOSCANI, R. G. S.; CAMPOS, J. E. G. Uso de pó de basalto e rocha fosfatada como remineralizadores em solos intensamente intemperizados. **Geociências**, v. 36, n. 2, p. 259-274, 2017.

TOMM, G. O.; WIETHÖLTER, S.; DALMAGO, G. A.; SANTOS, H. P. **Tecnologia para produção de canola no Rio Grande do Sul**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2009. (Embrapa Trigo. Documentos Online, 113). Disponível em: <http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/pdo113.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2020.

VALENTINI, A. P. F.; PARAGINSKI, A.; ZAMBONATO, F.; GAVIRAGHI, F.; WÜNSCH, J. A.; MARTINS, J. A. K.; SILVA, J. A. G.; WAGNER, J. F.; MOTTA, M.; CIOTTI, R. Alelopatia da canola sobre a cultura da soja: reflexos no rendimento e seus componentes. In: XV Seminário de Iniciação Científica, XII Jornada de Pesquisa e VIII Jornada de Extensão da UNIJUÍ, 2007. **Anais**. Ijuí: Editora Unijuí, 2007. p. 15-18.

VALLE, L. A. R.; RODRIGUES, S. L.; RAMOS, S. J.; PEREIRA, H. S.; AMARAL, D. C.; SIQUEIRA, J. O.; GUILHERME, L. R. G. 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.

VANIN, L. G. S. **Determinação e dinâmica de oxidação do enxofre elementar em formulações organominerais**. 2021. 62 p. Dissertação (Mestrado em Agroquímica) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Rio Verde, 2021.

VIEIRA, R. F. **Ciclo do nitrogênio em sistemas agrícolas**. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 163 p.

VITTI, G. C.; OTTO, R.; SAVIETTO, J. Manejo do enxofre na agricultura. **Informações Agronômicas**. Piracicaba, n. 152, 28 p., 2015.

WANG, G.; KANG, M.; MORENO, O. Genetic analyses of grain-filling rate and duration in maize. **Field Crops Research**, v. 61, p. 211-222, 1999.

WILHELM, W. W.; WORTMANN, C. S. Tillage and rotation interactions for corn and soybean grain yield as affected by precipitation and air temperature. **Agronomy Journal**, v. 96, n. 2, p. 425-432, 2004.

WITTER, S.; SILVA, P. N.; BLOCHTEIN. **Abelhas na polinização da canola: benefícios ambientais e econômicos**. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2014. 71 p.

WRITZL, T. C.; CANEPELLE, E.; STEIN, J. E. S.; KERKHOFF, J. T.; STEFFLER, A. D.; SILVA, D. W.; REDIN, M. 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.

WU, W.; MA, B. L. Assessment of canola crop lodging under elevated temperatures for adaptation to climate change. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 248, p. 329-338, 2018.

YAN, W.; ZHONG, W.; SHANGGUAN, Z. Evaluation of physiological traits of summer maize under drought stress. **Soil & Plant Science**, v. 66, n. 2, p. 133-140, 2015.

ZAMORA, M.; PUGLIESE, G. **Fertilización con N, S y boro en colza**. 2014. Disponível em: <https://www.bungeargentina.com/expedientes/fertilizacion-con-n-s-y-boro-en-colza>. Acesso em: 11 abr. 2022.