

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ – CAMPUS CASCAVEL

CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

**SILICATO DE CÁLCIO E MAGNÉSIO E CALCÁRIO DOLOMÍTICO NA SANIDADE DE
GRANDES CULTURAS E INCREMENTO DO TEOR DE SILÍCIO E DISPONIBILIDADE DE
FÓSFORO EM LATOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRICO**

CINDIA SORDI

CASCAVEL – PARANÁ – BRASIL

AGOSTO – 2024

CINDIA SORDI

**SILICATO DE CÁLCIO E MAGNÉSIO E CALCÁRIO DOLOMÍTICO NA SANIDADE DE
GRANDES CULTURAS E INCREMENTO DO TEOR DE SILÍCIO E DISPONIBILIDADE DE
FÓSFORO EM LATOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRRICO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola em cumprimento aos requisitos para obtenção do título de Doutora em Engenharia Agrícola, área de concentração Engenharia de Sistemas Biológicos e Agroindustriais.
Orientador: Prof. Dr. Marcio Furlan Maggi

CASCADEL – PARANÁ – BRASIL

AGOSTO – 2024

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

Sordi, Cíndia

Silicato de cálcio e magnésio e calcário dolomítico na sanidade de grandes culturas e incremento do teor de silício e disponibilidade de Fósforo em Latossolo Vermelho Distroférico / Cíndia Sordi; orientador Marcio Furlan Maggi. -- Cascavel, 2024.

76 p.

Tese (Doutorado Campus de Cascavel) -- Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, 2024.

1. Soja. 2. Trigo. 3. Milho. 4. Calcário. I. Maggi, Marcio Furlan, orient. II. Título.



unioeste

Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Reitoria
CNPJ 78.680.337/0001-84
Rua Universitária, 1619, Jardim Universitário
Tel.: (45) 3220-3000 - www.unioeste.br
CEP: 85819-110 - Cx. P.: 701
Cascavel - PARANÁ



CINDIA SORDI

SILICATO DE CÁLCIO E MAGNÉSIO E CALCÁRIO DOLOMITICO NA SANIDADE DE GRANDES CULTURAS E INCREMENTO DO TEOR DE SILÍCIO E DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO EM LATOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRICO

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Doutora em Engenharia Agrícola, área de concentração Sistemas Biológicos e Agroindustriais, linha de pesquisa Geoprocessamento, Estatística Espacial e Agricultura de Precisão, APROVADO(A) pela seguinte banca examinadora:

Orientador(a) - Marcio Furlan Maggi

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)

Darlan Roque Dapieve

Instituto Federal do Paraná (IFPR)

Erivelto Mercante

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)

Tatiane Martins de Assis

CEEP AgroInovação

Maritane Prior

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)

Cascavel, 14 de agosto de 2024.

BIOGRAFIA

Cíndia Sordi, nascida aos cinco dias do mês de setembro do ano de mil novecentos e setenta e cinco, no município de Barão de Cotejipe, no Estado Rio Grande do Sul. Concluiu o ensino médio no município de São Valentim, Rio Grande do Sul. Em mil novecentos e noventa e seis iniciou o curso de Engenharia Agrícola, na Unioeste – Cascavel PR, concluindo-o no ano dois mil. Na sequência, ingressou no Mestrado na mesma instituição, com conclusão no ano de dois mil e três. Trabalhou na Coodetec como laboratorista de Análise de Solos. Trabalhou na Instituição de Ensino Fadec, como professora na disciplina Administração Rural. Trabalhou na Terrarada – New Holland Máquinas Agrícolas na cidade de Vilhena, Rondônia. Trabalhou no Centro Universitário FAG, como professora no curso de Agronomia, ministrando aulas de Solos, Geologia, Energia, Irrigação e Drenagem, assim como no curso da Engenharia Civil, com Topografia e Desenho Técnico, nos anos de 2009 a 2016. cursou Pós-Graduação em Fertilidade de Solo (2012-2014) e, na sequência, Engenharia Agrônoma (2014 a 2016) na instituição FAG. Trabalhou na Coopavel – Cascavel, Paraná – como Engenheira Agrônoma, responsável pela fabricação de fertilizantes nos anos de 2016 a 2018. Trabalhou na empresa Oeste Perícias como perita de lavoura, prestando serviços para seguradoras no período entre 2018 e 2021. Em 2024, concluiu o Doutorado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, na área de concentração de Sistemas Biológicos e Agroindústrias, campus Cascavel – PR.

DEDICATÓRIA

Dedico esta tese a Deus e a minha mãe Leda (*in memória*), ambos responsáveis por minha força interior.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me concedido força e persistência durante o curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola;

Ao meu orientador, Prof. Dr. Marcio Furlan Maggi, pelo empenho, a dedicação e os ensinamentos transmitidos, e pela paciência engrandecendo a pesquisa, com boas ideias;

À instituição de ensino, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, pela oportunidade de aprendizado gratuito e de qualidade;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudo;

Ao produtor e agrônomo Aldo Tasca, por ceder parte de sua propriedade a fim de que a pesquisa fosse posta em prática;

Ao meu filho Rafael, razão de minha força de viver, pela colaboração, compreensão e ajuda no trabalho de campo;

Ao meu esposo Luiz Carlos, sempre presente e ajudando no preparo de ferramentas para a coleta de dados;

Ao meu pai Walter, que; na sua simplicidade nem sempre sabe o porquê de tantos compromissos, mas está sempre ali para me fazer um super favor;

Gratidão à força de viver do Édipo, que continuou sua vida ao nosso lado, não me privando de sua companhia;

À minha sócia, colega e amiga Daiane, sempre presente nos momentos difíceis, ajudando na coleta de dados e trocando informações a qualquer hora do dia;

À Bruna de Villa, pela troca de experiência científica, toda a minha gratidão;

Às colegas de trabalho na escola agrícola Mayra da Costa Fernandes, Ana Paula Pauletto e Tatiane Assis, por me reerguerem com palavras de ânimo, por me mostrarem um caminho melhor a percorrer e por me ajudarem com conhecimento profissional, o meu agradecimento;

Às minhas tias Neiva e Leide, e à minha prima Janaine, sempre dando uma palavra de apoio para que este trabalho fosse concluído;

Por fim, a todos que, de alguma forma, contribuíram, direta ou indiretamente, para a conclusão deste trabalho.

RESUMO

Sordi, Cíndia. **Silicato de cálcio e magnésio e calcário dolomítico na sanidade de grandes culturas e incremento do teor de silício e disponibilidade de Fósforo em Latossolo Vermelho Distroférico**. Orientador: Marcio Furlan Maggi. 2024. 76p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel - Paraná, 2024.

As culturas da soja (*Glicine max*), milho (*Zea mays*) e trigo (*Triticum aestivum*) são a base das cadeias agropecuárias nacionais. Diante desta realidade, alternativas que proporcionam o aumento da produtividade destas culturas tornam-se relevantes. O silício é um elemento benéfico para a nutrição de plantas, podendo trazer sanidade e resistência para as culturas a estresses bióticos e abióticos. O objetivo deste trabalho foi avaliar a contribuição do silicato de cálcio e magnésio e calcário dolomítico para a produtividade destas culturas, bem como os efeitos nas propriedades químicas e físicas do solo. O experimento foi realizado em uma área agrícola comercial no município de Céu Azul-PR, nas safras 2020-2021, 2022-2023 e milho segunda safra 2023. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado com 3 tratamentos e 10 repetições, totalizando 30 unidades experimentais, dispostas em faixas, pois o experimento foi mecanizado e em área comercial. Definiram-se as doses de 0, 300 e 800 kg ha⁻¹ para os tratamentos, testemunha, silicato de cálcio e magnésio e calcário dolomítico, respectivamente. Foram coletadas, em cada ponto, amostras físicas de solo para determinação da densidade de partícula e aparente, macroporosidade, microporosidade e porosidade total, também amostras de solo, para determinação dos parâmetros químicos, matéria orgânica (MO), fósforo (P), pH em CaCl₂, SMP, H + Al, potássio (k), cálcio (Ca), magnésio (Mg), soma de bases (SB) e saturação de bases (V%). Avaliou-se resistência a penetração do solo com penetrômetro de impacto. Quantificaram-se os teores de clorofila e carotenóides para a cultivar de soja e híbrido de milho. Avaliaram-se macronutrientes primários foliares e produtividade das culturas trigo e milho. Os dados foram submetidos a ANOVA, e quando houve diferença a 5% de significância foi realizado teste de comparação de médias de Tukey a 5%. Concluiu-se que os tratamentos não proporcionaram melhorias na densidade aparente, macroporosidade, microporosidade e porosidade total. O grau de compactação foi maior no tratamento com silicato. As variáveis carotenóides, clorofila 'a', clorofila 'b' e clorofila total não apresentaram diferenças entre os tratamentos nos anos de 2020/2021 na cultura da soja e cultura de milho, safra 2023. Na cultura da soja, na safra 2022/2023, o tratamento calcário apresentou menor valor de clorofila 'b', enquanto carotenóides, clorofila 'a' e clorofila total apresentaram menor valor para o silicato. As propriedades químicas de solo fósforo (P), pH em CaCl₂ e SMP apresentaram maiores valores para o ano 2022. No entanto, avaliando propriedades químicas para os três tratamentos, SMP apresentou o maior valor para a testemunha. Para os macronutrientes foliares, o potássio no milho se apresentou com maior valor, no tratamento silicato. Os valores de produtividade nas culturas trigo e milho não mostraram resultado significativo, e não foi revelado incremento para os tratamentos silicato e calcário.

Palavras-chave: Soja, milho, trigo, calcário, correção do solo, silicato de cálcio e magnésio.

ABSTRACT

Sordi, Cindia. **Calcium and magnesium silicate and dolomitic limestone in the health of large crops and increase in silicon content and phosphorus availability in Dystroferic Red Latosol**. Advisor: Marcio Furlan Maggi. 2024. 76p. Thesis (Doctorate in Agricultural Engineering) - State University of Western Paraná, Cascavel - Paraná, 2024.

Soybean (*Glycine max*), corn (*Zea mays*), and wheat (*Triticum aestivum*) crops are the basis of national agricultural chains. Thus, alternatives that increase the productivity of these crops are relevant. Silicon is a beneficial element for plant nutrition, and can prompt health and resistance to crops against biotic and abiotic stresses. The objective of this work was to evaluate the contribution of calcium and magnesium silicate and dolomitic limestone to the productivity of these crops, as well as the effects on the chemical and physical properties of the soil. The experiment was carried out in a commercial agricultural area in the municipality of Céu Azul-PR, in the 2020-2021, 2022-2023 harvests and second harvest of corn in the year 2023. The experimental design used was completely randomized with 3 treatments and 10 replications, totaling 30 experimental units, arranged in strips, as the experiment was mechanized and in a commercial area. Doses of 0, 300, and 800 kg ha⁻¹ were defined for the treatments, control, calcium and magnesium silicate, and dolomitic limestone, respectively. At each point, physical soil samples were collected to determine particle and apparent density, macroporosity, microporosity, and total porosity, as well as soil samples to determine chemical parameters, organic matter (OM), phosphorus (P), pH in CaCl₂, SMP, H + Al, potassium (k), calcium (Ca), magnesium (Mg), base sum (SB) and base saturation (V%). Resistance to soil penetration was evaluated with an impact penetrometer. The chlorophyll and carotenoid contents were quantified for the soybean cultivar and the corn hybrid. Primary leaf macronutrients and productivity of wheat and corn crops were evaluated. The data were submitted to ANOVA, and when there was a difference at 5% significance, Tukey's mean comparison test was performed at 5%. It was concluded that the treatments did not provide improvements in apparent density, macroporosity, microporosity, and total porosity. The degree of compaction was greater in the silicate treatment. The variables carotenoids, chlorophyll 'a', chlorophyll 'b' and total chlorophyll showed no differences between treatments in the years 2020/2021 in the soybean crop and corn crop, harvest 2023. In the soybean crop, in the 2022/2023 harvest, the limestone treatment presented a lower value for chlorophyll 'b', while carotenoids, chlorophyll 'a' and total chlorophyll presented a lower value for silicate. The chemical properties of soil phosphorus (P), pH in CaCl₂ and SMP presented higher values for the year 2022. However, evaluating chemical properties for the three treatments, SMP presented the highest value for the control. For leaf macronutrients, potassium in corn presented the highest value in the silicate treatment. The productivity values for wheat and corn crops did not show a significant result, and no increase was revealed for the silicate and limestone treatments.

Keywords: Soybean, corn, wheat, limestone, soil correction, calcium and magnesium silicate.

SUMÁRIO

RESUMO	vii
ABSTRACT	viii
LISTA DE FIGURAS	xi
LISTA DE TABELAS	xiii
1 INTRODUÇÃO GERAL	1
2 OBJETIVOS	3
2.1 GERAL.....	3
2.2 ESPECÍFICOS	3
3 REVISÃO DE LITERATURA	4
3.1 Neutralização da acidez do solo.....	4
3.2 Importância do cálcio nas plantas.....	5
3.3 Corretivos a base de silicato.....	6
3.3 Clorofila e Carotenóides	10
4 REFERÊNCIAS	12
CAPÍTULO I	19
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE SOLO SUBMETIDO A SILICATO DE CÁLCIO E MAGNÉSIO E CALCÁRIO DOLOMÍTICO COM RESPOSTAS DE PRODUTIVIDADES NO MILHO E TRIGO EM LATOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRICO	19
1.1 Introdução	20
1.2 Material e métodos.....	20
1.2.1 Caracterização da área experimental.....	20
1.2.2 Características Físicas de Solo.....	22
1.2.3 Avaliação do grau de compactação do solo	24
1.2.4 Semeadura das culturas de inverno e verão	25
1.2.5 Concentração de clorofila e carotenoides	25
1.2.6 Produtividade de grãos	26
1.2.7 Análise estatística	27
1.3 Resultados e Discussão.....	27
1.3.1 Propriedades físicas de solo	27
1.3.2 Concentração de Clorofila.....	28
1.3.3 Produtividade Agrícola	32
1.4 CONCLUSÃO	36
1.5 REFERÊNCIAS	36
CAPÍTULO II	40

PARÂMETROS QUÍMICOS DO SOLO SUBMETIDOS A SILICATO DE CÁLCIO E MAGNÉSIO EM DIFERENTES CULTURAS ANUAIS EM LATOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRRICO	40
2.1	Introdução 41
2.2	Material e métodos 42
2.2.1	Caracterização da área experimental 42
2.2.2	Delineamento experimental e tratamentos utilizado 43
2.2.3	Coleta de solo 43
2.2.4	Semeadura na cultura da soja 2022/2023 44
2.2.5	Semeadura na cultura do milho segunda safra 2023 44
2.2.6	Diagnose foliar das culturas..... 44
2.2.7	Clorofila e Carotenóides 45
2.2.8	Produtividade de grãos..... 46
2.2.9	Análise estatística..... 47
2.3	Resultados e Discussão 47
2.4	Conclusão..... 69
2.5	Referências..... 69
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS..... 73
5.1	Perspectivas para Futuras Pesquisas..... 73

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Micrografias eletrônicas de varredura de milho (a); arroz (b); e superfícies da bainha do trigo (c) mostrando a forma e deposição das células de sílica 8

CAPÍTULO I: CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE SOLO SUBMETIDO A SILICATO DE CÁLCIO COM RESPOSTAS DE PRODUTIVIDADES NA SOJA, MILHO E TRIGO EM LATOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRICO

Figura 1 Área experimental agrícola comercial, localizada no município de Céu Azul, PR... 21

Figura 2 Coleta de solo para análise física utilizando anéis volumétricos. 23

Figura 3 a) – b) Coleta de dados com penetrômetro de impacto; c) simultânea retirada de solo para acompanhamento de umidade..... 25

Figura 4 Debulha das espigas de trigo: Colhedora motorizada de marca Wintersteiger..... 27

Figura 5 a) Debulhador manual; b) colheita manual do milho 27

Figura 6 Resultados de carotenoides, clorofila 'a', clorofila 'b' e clorofila total na cultura da soja, safra 2020-2021. 29

Figura 7 Resultados de carotenoides, clorofila 'a', clorofila 'b' e clorofila total na cultura da soja, safra 2022-2023. 30

Figura 8 Resultados de precipitação (mm), temperaturas máxima, média e mínima (°C); a) radiação solar ($W m^2$) e umidade relativa do ar (%); b) ao longo do ciclo do desenvolvimento da cultura da soja para a data 01/09/2022 até 30/03/2023. 31

Figura 9 Resultados de carotenoides, clorofila 'a', clorofila 'b' e clorofila total na cultura do milho segunda safra 2023..... 32

Figura 10 Resultados de precipitação (mm), temperaturas máxima, média e mínima (°C); a) radiação solar ($W m^2$) e umidade relativa do ar (%); b) ao longo do ciclo do desenvolvimento da cultura do trigo para a data 01/04/2022 até 01/09/2022. 34

Figura 11 Resultados de precipitação (mm), temperaturas máxima, média e mínima (°C); a) radiação solar ($W m^2$) e umidade relativa do ar (%); b) ao longo do ciclo do desenvolvimento da cultura do milho para a data 01/01/2023 até 01/06/2023..... 35

CAPÍTULO II: PARÂMETROS QUÍMICOS DO SOLO SUBMETIDOS A SILICATO DE CÁLCIO E MAGNÉSIO EM DIFERENTES CULTURAS ANUAIS EM LATOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRICO

Figura 1 Esquema experimental com as faixas de semeadura e aleatoriedade de pontos amostrais para cada tratamento..... 43

Figura 2 Coleta das amostras para análise foliar no estágio de pendoamento (VT): a) folha da base da espiga; b) terço central da folha. 45

Figura 3 Resultados de carotenóides, clorofila 'a', clorofila 'b' e clorofila total na cultura da soja, safra 2020-2021. 62

Figura 4 Resultados de carotenóides, clorofila 'a', clorofila 'b' e clorofila total na cultura da soja, safra 2022-2023. 63

Figura 5 Resultados de precipitação (mm), temperaturas máxima, média e mínima (°C); (a), radiação solar ($W m^2$) e umidade relativa do ar (%); b) ao longo do ciclo do desenvolvimento da cultura da soja para a data 01/09/2022 até 30/03/2023.	64
Figura 6 Resultados de carotenóides, clorofila 'a', clorofila 'b' e clorofila total na cultura do milho segunda safra 2023.....	65
Figura 7 Resultados de precipitação (mm), temperaturas máxima, média e mínima (°C); (a), radiação solar ($W m^2$) e umidade relativa do ar (%); b) ao longo do ciclo do desenvolvimento da cultura do trigo para a data 01/04/2022 até 30/09/2022.	66
Figura 8 Resultados de precipitação (mm), temperaturas máxima, média e mínima (°C); (a), radiação solar ($W m^2$) e umidade relativa do ar (%); b) ao longo do ciclo do desenvolvimento da cultura do milho para a data 01/01/2023 até 30/06/2023.....	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Granulometria do solo da área experimental realizada em três pontos na camada 0 – 0,20 m, em 04 de dezembro de 2020	22
Tabela 2 Resultados da análise física de solo extraídas na safra 2022/2023 na cultura da soja	28
Tabela 3 Resultados da produtividade na safra de trigo de 2022 e no milho segunda safra de 2023	33

CAPÍTULO I: CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE SOLO SUBMETIDO A SILICATO DE CÁLCIO COM RESPOSTAS DE PRODUTIVIDADES NA SOJA, MILHO E TRIGO EM LATOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRICO

Tabela 1 Granulometria do solo da área experimental realizada em três pontos na camada 0 – 0,20 m, em 04 de dezembro de 2020	22
Tabela 2 Resultados da análise física de solo extraídas na safra 2022/2023 na cultura da soja	28
Tabela 3 Resultados da produtividade na safra de trigo de 2022 e no milho segunda safra de 2023	33

CAPÍTULO II: PARÂMETROS QUÍMICOS DO SOLO SUBMETIDOS A SILICATO DE CÁLCIO E MAGNÉSIO EM DIFERENTES CULTURAS ANUAIS EM LATOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRICO

Tabela 1 Granulometria do solo da área experimental realizada em três pontos na camada 0 - 0,20 m	42
Tabela 2 Composição química dos corretivos utilizados	43
Tabela 3 Estádios vegetativos e reprodutivos do desenvolvimento da soja	45
Tabela 4 Estádios vegetativos e reprodutivos da planta de milho	45
Tabela 5 Resultados das propriedades químicas de solos ano 2020/2022	60
Tabela 6 Resultados das propriedades químicas de solos em diferentes tratamentos.....	60
Tabela 7 Resultados dos teores de macronutrientes foliares, nitrogênio, fósforo e potássio nas culturas de milho e soja.....	61
Tabela 8 Resultados da produtividade na safra de trigo de 2022 e no milho segunda safra de 2023	68

1 INTRODUÇÃO GERAL

A humanidade vive um momento de grande crescimento populacional. Segundo a ONU (2024), a população mundial chegou à ordem de 8,1 bilhões de pessoas em 2024, e a projeção para 2050 é ultrapassar 9,5 bilhões. Esta situação, associada à elevação do poder de compra das pessoas, proporcionado pelo aumento da renda per capita (Saath; Fachinello, 2018), levanta preocupações em relação à segurança alimentar mundial.

Neste cenário, o Brasil se insere como o país de maior potencial para a expansão sustentável da produção de grãos com possibilidade de gerar esta segurança. O Ministério da Agricultura e Pecuária aponta que o Brasil pode chegar a produção de 390 milhões de toneladas de grãos, principalmente soja e milho, nos próximos 10 anos (MAPA, 2023), havendo potencial de expansão da produção por meio da integração lavoura pecuária, onde as áreas de pastagens extensiva passam a ser rotacionadas com o cultivo de grãos como soja e milho, pela correção da fertilidade de áreas degradadas, como já afirmava Vilela et al. (2011).

O tipo de solo predominante nas áreas agricultáveis no Brasil são os latossolos. No caso da região Oeste do Paraná, Latossolos vermelhos distroférricos, sendo solos velhos, altamente intemperizados, pobres em bases e de baixa capacidade de troca catiônica (CTC), ricos em óxidos de ferro e alumínio (Zanão Junior et al., 2015)

Visando corrigir os níveis de fertilidade química deste tipo de solo e elevar os níveis de produtividade, uma técnica muito utilizada é a calagem, em que ao fornecer carbonato de cálcio no solo com a presença de água ele reage e libera íons OH^- , neutralizando o Al^{+3} fitotóxico, proporcionando melhor absorção de nutrientes. Dessa forma, reduzindo alumínio tóxico, proporciona-se maior disponibilidade de nutrientes essenciais, entre eles o fósforo.

Outra estratégia de aumento de fertilidade é a gessagem, que neutraliza o alumínio tóxico, isso quando o sulfato faz ligação com o alumínio e forma então o sulfato de alumínio, causando sua lixiviação, melhorando a fertilidade em subsuperfície, além do fornecimento de elementos como cálcio e enxofre (Dalacorte, 2015). Essa técnica proporciona melhores condições para o enraizamento das culturas e auxilia na resistência à condição de déficit hídrico (Montes et al., 2015). A gessagem é importante para elevar a fertilidade, mas deve ser utilizada com cautela em função do potencial de lixiviação de nutrientes (Caires; Guimarães, 2018).

Dentre outras técnicas utilizadas para aumentar a fertilidade de solos intemperizados está a utilização da rochagem com silicatos de cálcio e magnésio. Solos altamente intemperizados da região Oeste do Paraná apresentam altos teores de argila e predomínio de óxidos de ferro. Estes solos possuem a característica de ter maior sorção de fósforo; conseqüentemente, podem ocorrer baixos níveis de silício, ocasionados pelo alto nível de intemperismo atingido (Brito et al., 2019).

Como alternativa para corrigir as características de solo intemperizados, como os encontrados na região Oeste do Paraná, tem sido reintroduzida a rochagem de silicatos de cálcio e magnésio, na forma de pó. Ela é aplicada visando aumentar os teores de silício no solo, que foram lixiviados pelo intemperismo, além de melhorar a disponibilidade de fósforo no solo, apesar dos altos teores de óxidos de ferro (Pang et al., 2019).

O silicato de cálcio é capaz de reduzir a acidez dos solos tropicais, altamente intemperizados, com caráter ácido e fornecer elementos essenciais como cálcio e magnésio (Tantawy et al., 2015). O mecanismo de correção da acidez acontece da mesma forma que o carbonato de cálcio, que ao reagir com água libera íons OH⁻, que neutralizam o alumínio fitotóxico. Segundo Alcarde e Rodella (2003), o silicato de cálcio é 6,78 vezes mais solúvel que o carbonato de cálcio, apresentando maior potencial para correção da acidez do solo que o calcário em profundidades de até 0,25 m (Calonego et al., 2012; Meinhardt et al., 2020).

O silício presente nos silicatos não é um elemento essencial às plantas do ponto de vista fisiológico e metabólico para o crescimento e o desenvolvimento das plantas, porém apresenta características benéficas para as plantas (Lima Filho; Silva, 2017). Observa-se aumento geral da resistência das plantas cultivadas a estresses bióticos e abióticos (Arrieta et al., 2020).

Para o caso específico da região oeste do Paraná, devido ao clima apresentar oscilações de temperatura e pluviosidade ao longo dos cultivos, estas características podem produzir efeitos benéficos às culturas (Menegale et al., 2015). Dentro do contexto apresentado, objetivou-se com a elaboração deste trabalho verificar a capacidade do silicato de cálcio e magnésio em aumentar a fertilidade do solo argiloso vermelho, melhorando aspectos de sanidade das culturas de milho e soja em comparação ao calcário dolomítico e à testemunha.

2 OBJETIVOS

2.1 GERAL

O objetivo deste trabalho foi verificar a capacidade do silicato de cálcio e magnésio de aumentar a fertilidade de um solo argiloso vermelho e melhorar a sanidade das culturas de milho e soja em comparação ao calcário dolomítico.

2.2 ESPECÍFICOS

- Avaliar a evolução da composição química do solo nos tratamentos.
- Avaliar a melhoria nas características físicas do solo por meio do monitoramento da resistência a penetração (RP).
- Verificar o efeito dos tratamentos na diagnose foliar das culturas de soja e milho.
- Verificar os teores de clorofila e carotenóides para as culturas de soja e milho.
- Comparar os componentes de rendimento para as culturas de trigo e milho.
- Avaliar o efeito da aplicação do silicato sobre a sanidade das plantas de soja e milho.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Neutralização da acidez do solo

O crescimento e a produtividade das plantas estão ligados com a biodisponibilidade de nutrientes no solo, fator principalmente influenciado pelo seu pH (Goulding, 2016). Na produção agrícola, a presença de acidez do solo é um dos principais fatores que limitam os rendimentos na produção (Dai et al., 2017). A acidificação é causada por vários fatores, íons de H^+ são precipitados, bem como a deposição de partículas como dióxido de enxofre (SO_2), ácidos nítricos e clorídricos (HNO_3 ; HCL) e amônia (NH_3). Também são causadores da acidez do solo a mineralização de matéria orgânica, além da absorção de nutrientes em áreas agricultáveis e exsudatos radiculares e, por último, a aplicação de fertilizantes acidificantes, como é caso de íon amônio e sais de elementares de enxofre, através da aplicação de ureia e amônio (Goulding, 2016).

Solos que apresentam essas características geram deficiências nutricionais nas plantas, devido ao aumento da disponibilidade de metais tóxicos como Cádmio (Cd) (Rehman et al., 2017), proporcionando redução do potencial de rendimentos de produtividades agrícolas. Por este motivo, se faz necessário identificar corretivos de solo eficientes, proporcionando a diminuição da acidificação ou a correção da sua acidez (Dai et al., 2017). Para neutralização dessa acidez, normalmente recomenda-se aplicações de cálcio presente nos calcários (Silva et al., 2015).

De maneira geral, os produtores rurais buscam realizar investimentos que apresentem retornos em um curto espaço de tempo (Joris et al., 2016). Em virtude disto, para a correção da acidez do solo, geralmente optam por realizar a calagem com produtos como calcário peletizado e calcário finamente moído que facilitam a sua aplicação, possibilitando serem espalhados com precisão e uniformidade, mesmo utilizando equipamentos de distribuição a lanço, tornando-se assim mais estratégico aos produtores rurais (Pereira et al., 2020).

Como benefício da aplicação de corretivos, pode-se observar aumento da atividade fotossintética, grãos e matéria seca das plantas cultivadas (Rehman et al., 2017). A elevação da matéria seca presente sobre o solo, dentre outros benefícios, vem para melhorar a fertilidade dos solos, também do ponto de vista químico, devido ao controle da erosão, e ciclagem de nutrientes (Rosa; Caponi; Zanão, 2016), além do aumento da fertilidade física, ao proporcionar manutenção da umidade do solo, resultando em menor resistência a penetração (RP) e facilitando o enraizamento das culturas (Liu et al., 2014).

Outro benefício gerado pela aplicação de calcário está relacionado com o aumento do pH do solo até a profundidade de 0,6 m, proporcionando melhoria na fertilidade química em todo o perfil (Kunhikrishnan et al., 2016). Este aumento do pH acarreta também na redução do estresse da microbiota do solo, proporcionando aumento de sua atividade, seguido dos

seus benefícios (Bekele et al., 2018). Aplicações de calcário combinado com gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) auxiliam na neutralização da acidez dos solos, devido à redução de conteúdos de Alumínio (Al) e o aumento na concentração de cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K) e enxofre (S) ao longo do perfil do solo (Crusciol et al., 2017).

A capacidade efetiva de trocas catiônicas (CTC) também é fundamental para a produção e o desenvolvimento das culturas. No caso de aplicações de fosfogesso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) para o seu aumento, no sistema de plantio direto a determinação das dosagens é feita baseando-se na saturação de Ca^+ por meio CTC na camada de 0,20 – 0,40 m. Também proporciona a melhoria da fertilidade no perfil do solo, permitindo o crescimento do sistema radicular das plantas nestas camadas, possibilitando reduzir o estresse causado por estiagens (Caires; Guimarães, 2018).

3.2 Importância do cálcio nas plantas

O cálcio (Ca^{2+}) é considerado um nutriente essencial para o crescimento e desenvolvimento das plantas, fazendo parte de vários processos fisiológicos. Trata-se de um macronutriente com dupla função, pois faz parte como componente estrutural das paredes celulares e membranas celulares, além de ser um segundo mensageiro intracelular, responsáveis pela regulamentação das tarefas como captação de água, distribuição de água e armazenamento desta na planta (Thor, 2019). Edel et al. (2017) relatam que o íon de cálcio, elemento químico da pesquisa, é o segundo elemento intracelular mensageiro usado nos processos das plantas, animais e microrganismos, a fim de acoplar estímulos extracelulares a suas características em resposta intracelulares, além de coordenar uma gama de processos endógenos.

Nas plantas, o cálcio atua como segundo mensageiro e é responsável pelo desenvolvimento, adaptação ambiental, respostas a estresses, amadurecimento e senescência de frutos e vegetais. Os tratamentos com cálcio exógeno podem melhorar características como qualidade, além de retardar o amadurecimento e reduzir a deterioração pós-colheita de vários vegetais e frutos (Gao et al., 2019).

Os transientes Ca^{2+} podem ser considerados como um evento chave para a transdução de várias vias de sinalização, desencadeando uma resposta celular. Nas cultivares ocorre uma forte integração de organelas vegetais nas redes de sinalização de cálcio celular, ficando estabelecida pelas análises dinâmicas de cálcio, aumentando, assim, induções por estímulos em organelas, identificados como padrões temporais e espaciais específicos, sendo únicos para a maioria das organelas (Pirayesh et al., 2021).

Com relação ao papel do cálcio na estrutura das plantas, ele atua na manutenção de barreiras físicas contra patógenos (Lange et al., 2021). Sendo assim, as deficiências deste nutriente nas plantas apresentam maior suscetibilidade a insetos pragas e doenças (Thor,

2019). A degradação da parede celular é outra deficiência associada ao macronutriente, inibindo, assim, o crescimento do sistema radicular e a formação de ramos radiculares (Liu et al., 2019). Nas plantas, a deficiência de cálcio ocorre principalmente nas folhas mais jovens, ficando cloróticas (Khan et al., 2020). Conforme a deficiência vai avançando, estas ficam necrosadas, além de ocorrer a quebra dos pecíolos. Outro sintoma típico é o enfraquecimento do caule e o sistema radicular com coloração acastanhada, curta, ramificada e atrofiada (Mengel; Kirkby, 2006; Karthika et al., 2018).

3.3 Corretivos a base de silicato

Seguido do oxigênio, o elemento mais abundante na Crosta Terrestre é o silício (Si), normalmente encontrado nos silicatos insolúveis, como, por exemplo, o silicato de ferro, silicato de magnésio, silicato de cálcio, silicato de alumínio, silicato de sódio e silicato de potássio (Bist et al., 2020; Raturi et al., 2021). O silício, juntamente com oxigênio, forma uma reação transformando-se em silicatos, ou seja, feldspatos (silicatos) e quartzo (sílica). A formação dos solos é resultado do intemperismo das rochas, as quais são feitas de minerais aluminossilicatos e silicatos (Pang et al., 2019).

Aplicações de silicato, como os de cálcio e magnésio, possuem a capacidade de aumentar o pH dos solos, disponibilidade de nutrientes, como cálcio, magnésio e silício, além de melhorar a capacidade das trocas catiônicas e saturação de bases, devido à redução da acidez potencial ($H+Al^{+3}$) e Alumínio (Al^{+3}) fitotóxico (Sarto et al., 2015). A liberação do silicato para a solução do solo irá depender da fonte do mineral, pois alguns silicatos ligados a metais requerem a ação coordenada do pH e ataque do ligante, porém materiais como quartzo, sílica e fitólitos podem ser solubilizados apenas por prótons e troca catiônica ligada a minerais (Raturi et al., 2021).

Já as aplicações de silicato de potássio, além de melhorar a absorção de potássio, sob estresse de salinidade, podem vir a melhorar a qualidade e atributos dos frutos nas plantas, como, por exemplo, na cultura do morango (Yaghubi et al., 2019). Fontes de potássio mineral são necessárias principalmente em solos das regiões tropicais com solos profundamente intemperizados e também em solos temperados (Manning et al., 2017).

As fontes de Si têm a capacidade de melhorar e aumentar a tolerância das plantas a fatores externos, como estresse hídrico, devido à formação de barreiras mecânicas, reduzindo a transpiração regulada pelo ácido abscísico (ABA), melhorando ainda a retenção de água (Pereira et al., 2019). A ativação de sistemas de defesas antioxidantes e superprodução de osmorreguladores também são responsáveis pela tolerância das plantas ao estresse hídrico, isso porque ocorre a redução da peroxidase lipídica da membrana, melhorando assim a estabilidade e a integridade da membrana celular e do metabolismo celular (Khattab, 2016). A melhoria na germinação de sementes, o crescimento das plantas, a fotossíntese e o

aumento de biomassa são características observadas com a aplicação de silício em condições de estresse hídrico (Pang et al., 2019).

3.4 Importância do Silício nas plantas

O silício é um nutriente considerado não essencial para plantas, mas benéfico, produzindo melhorias no crescimento e na produtividade, principalmente em condições de estresse, pois ele promove aumento da atividade fotossintética e aumento da resistência a toxicidade de metais, salinidade, a patógenos e doenças, e estresse hídrico (Sahebi et al., 2015). O Silício é absorvido pelo sistema radicular das plantas, e forma uma barreira física nas raízes, reduzindo assim a translocação e a absorção de metais pesados (Emamverdian et al., 2018).

Nas plantas, o Silício pode ser classificado conforme sua quantidade: o arroz é considerado um acumulador de altos níveis Si, enquanto o pinheiro é identificado como baixo acumulador de Si (Ouzounidou et al., 2016). Portanto, as plantas que possuem capacidade de assimilar maior concentração de Si são responsáveis também por retornar e enriquecer mais o Silício biogênico (BSi) na superfície do solo, podendo reduzir até mesmo a taxa de dessilificação da superfície (Yang; Zhang, 2018). A sua absorção pelas plantas normalmente ocorre devido à formação de ácido monossilícico e em seguida é precipitado para paredes da planta (Emamverdian et al., 2018).

Na parede celular das plantas, o nutriente possui a capacidade de aumentar a força, bem como a resistência a salinidade, tolerância a seca e atividades fotossintéticas (Goussain et al., 2020). O resultado é o aumento do crescimento das raízes e folhas, auxiliando na prevenção do estresse oxidativo por enzimas antioxidantes (Guazina et al., 2019). No caso de aplicações exógenas de silício é possível regular a perda de água, melhorar a taxa fotossintética e aumentar a rigidez da estrutura dos tecidos, conforme relatado por Oliveira Júnior et al. (2018), trazendo, portanto, uma resposta eficaz de danos a estresse abióticos e bióticos (Bhatt; Sharma, 2018).

O Si aumenta as defesas diretas e indiretas das plantas contra insetos e pragas, devido a dois mecanismos à base do elemento (Figura 1) barreiras físicas ou mecânicas potencializadas e mecanismos bioquímicos, pois estas proporcionam as moléculas a induzirem as defesas das plantas (Alhousari; Greger, 2018).

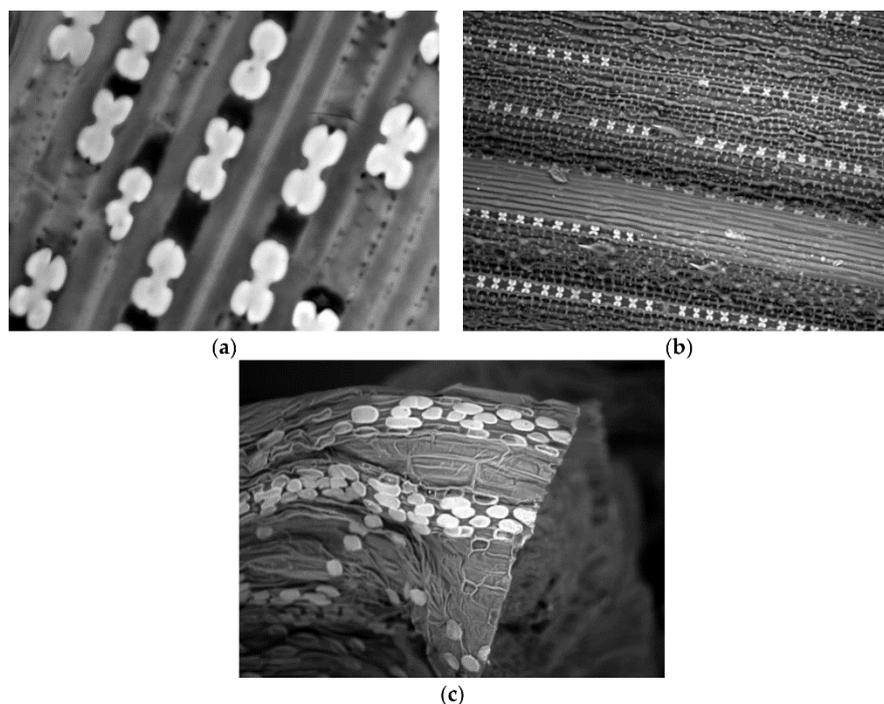


Figura 1 Micrografias eletrônicas de varredura de milho (a); arroz (b); e superfícies da bainha do trigo (c) mostrando a forma e deposição das células de sílica
 Fonte: Alhousari e Greger (2018).

Outro benefício fundamental do Silício, é em relação à germinação das sementes, desenvolvimento das plantas, regulação das atividades enzimáticas, expressão gênica e estímulo a outros processos fisiológicos, melhorando as condições das culturas em condições de estresse (Ranjan et al., 2021).

Em situações de déficit hídrico, o silício tem a capacidade de aliviar o estresse sofrido pelas plantas, aumentando assim o potencial de água do xilema (Marques et al., 2016). Esse fato eleva a condutância estomática das folhas, melhorando a capacidade de fixação de gás carbônico (CO_2) em condições de estresse, aumentando assim seu conteúdo e evitando a fotoinibição (Duart et al., 2015). Nas plantas, mesmo ocorrendo perda de água por meio da transpiração, estudos revelam que o tratamento com Silício garante aumento do conteúdo relativo de água, auxiliando em maior captação de água pelo sistema radicular (Maghsoudi et al., 2016).

Lima et al. (2010) testaram diferentes doses de silício em plantas de soja com a presença de ferrugem asiática, observando diferença significativa para a área abaixo da curva do número de lesões/ cm^2 de área foliar (AACNL) em relação às doses de silício, com ajuste quadrático da equação de regressão. Com o aumento do silício na solução nutritiva, observou-se redução na AACNL. As plantas supridas com 280 mg/L de silício tiveram 24,3% menos AACNL em relação às plantas cultivadas sem a adição de silício (Camargo, 2016).

O silicato além de corrigir o pH do solo nas camadas mais superficiais, tem grande potencial de percolamento no perfil do solo, diminuindo a acidez em profundidades maiores, sendo superior ao calcário (Meinhardt et al., 2020).

Diversos autores atestam que o silicato possui efeito corretivo no solo semelhante ao calcário (Fonseca et al., 2007; Alosivi et al., 2017). Fonseca et al. (2007) constaram incrementando em até oito vezes o silício disponível no solo e Alosivi et al. (2017) encontraram silicato de cálcio residual disponível para a cultura de cana de açúcar 24 meses após a aplicação inicial. O silício absorvido pelas plantas como ácido monossilícico pode ocasionar uma redução da transpiração cuticular, como confirmado por Mendes et al. (2015). Os autores observaram uma menor taxa de transpiração em plantas com solo fertilizado com silício.

No geral, os benefícios do Silício são melhores para plantas que o acumulam de modo ativo, as gramíneas, em especial cana-de-açúcar e arroz (Ponce et al., 2022). Em muitos casos, a aplicação de silício não apresenta benefícios em função de alguns tipos de solo já apresentarem níveis abundantes deste elemento, sendo solos em que as plantas cultivadas já apresentam maior tolerância a condições de estresses bióticos e abióticos.

No geral, muitas plantas apresentam toxidez ao excesso de Ferro na solução do solo, além de poder causar a deficiência de outros micro e macronutrientes (Schmidt et al., 2013). A presença de silício na planta tende a aumentar a tolerância do arroz à toxidez de magnésio e ferro, ocasionado pela oxidação destes elementos na rizosfera.

O silício tem se apresentado como estratégico para vários aspectos estruturais, fisiológicos e bioquímicos da planta, promovendo melhorias no metabolismo em situações de estresses bióticos, podendo ativar genes envolvidos na aplicação de fenóis e enzimas relacionadas com as defesas da planta (Ponce et al., 2022). Esta proteção pode ser feita através de barreira mecânica ou por meios indiretos, como a produção de fenóis (fitoalexinas), composto orgânico tóxico para vários tipos de fungos (Souza et al., 2019).

Historicamente, as adubações com silício vêm apresentando resultados satisfatórios no combate de doenças de algumas culturas (Datnoff et al., 1991; Prado; Fernandes, 2000; Faria, 2021; Pereira et al., 2022). Na cultura do trigo, em estudos realizados no sul da Flórida nos EUA, adubações com silício reduziram a presença de brusone de 17 a 31% e a mancha parda de 15 a 32% (Datnoff et al., 1991).

O uso de Si em milho, batata e tomate mostrou-se responsivo, reduzindo o ataque de *Spodoptera spp* (Silva et al., 2010). Silva et al. (2017), adubando milho doce com Si, obteve menor infestação de *Spodoptera frugiperda*, reduzindo danos à espiga.

Para a cultura da cana-de-açúcar, a aplicação de silicato de cálcio reduziu a senescência das suas folhas de 35,6 para 26,9%. Este prolongamento da vida útil das folhas pode aumentar a atividade fotossintética e, conseqüentemente, aumentar a produtividade (Prado; Fernandes, 2000).

Os dados do experimento realizado por Faria (2021) apontaram que, tanto de forma isolada, quanto de forma combinada, a adubação com silício na formulação ao ser aplicada na cultura do arroz promoveu aumento de até 58,6% da taxa de transpiração, 71,3% a condutância estomática, 56,3% a taxa de fotossíntese, 37,4% a concentração interna de

carbono, 17,6% a eficiência da carboxilação, 11,8% a eficiência do uso da água, além de reduzir em até 88% a severidade da brusone foliar.

Levantamento bibliográfico realizado por Pereira et al. (2022) indicou que a suplementação de silício em solos na cultura do arroz é capaz de promover a supressão da brusone ou a redução de sua severidade em até 67%, além de auxiliar a mitigar a problemática dos solos com alto déficit hídrico. Além disso, a presença do silício apontou melhoria da qualidade fisiológica das sementes de arroz irrigado.

Assim como existem diversos benefícios da aplicação dos silicatos em solos apontados por diversos autores, existe o cuidado com a sua dosagem de aplicação. Korndörfer (2002) apontou valor limitante como teor de 8,0 t.ha⁻¹, pois, por possuir cálcio em sua composição, pode causar a superdosagem deste elemento. Estudos mais atuais, como Lima Filho e Silva (2017), indicam que Silicatos de até 6,0 t.ha⁻¹ testados em solos médio-argilosos (ambiente B) apresentaram maior aumento na produtividade da cana-de-açúcar, já dosagens próximas a 1,2 t.ha⁻¹ ocasionaram a redução do número de colmos e de açucares.

Silva et al. (2024) adicionaram faixas percentuais de silicatos para corrigir o pH do solo em nível apropriado para a cultura do amendoim, o pH inicial foi de 4,04 e as doses de silicatos promoveram a saturação de bases em 0, 25, 50, 75 e 100%. A dose de 75% de silicatos foi a mais efetiva no quesito produtividade do amendoim, indicando que suplementar em 100% a demanda de correção do pH reduziu a produtividade das plantas.

Nascimento, Brasil e Silva (2019) corrigiram a acidez do solo com o silicato de cálcio e magnésio, por meio de três doses de escória (1,65, 3,81 e 5,98 t.ha⁻¹) necessárias para elevação das saturações por bases a 40, 70 e 100%, e mantiveram uma parcela do experimento com correção de acidez com calcário dolomítico para comparação com as demais parcelas. Como principal resultado, quando comparada ao calcário, a utilização de escoria de siderúrgica obteve resultados satisfatório na redução da acidez e na disponibilidade de nutrientes.

3.3 Clorofila e Carotenóides

A clorofila é um pigmento que está diretamente associado à taxa de radiação solar absorvida e à atividade fotossintética ativa interceptada pelo dossel da cultura. Seu monitoramento é importante, pois quanto maior a taxa de fotossíntese, maior tendem a ser os rendimentos das culturas (Soleymani, 2018).

Os carotenóides constituem um grupo de compostos lipossolúveis, amplamente distribuídos entre as plantas, em quantidade apreciável, responsável pelas gradações do amarelo ao vermelho, observadas nos produtos vegetais. A importância dos carotenóides vai além do seu papel pigmentante: enquanto alguns são precursores de vitamina A, outros exibem ação antioxidante, sendo considerados alimentos funcionais. Evidências

epidemiológicas demonstram que dietas ricas em carotenóides encontram-se associadas à redução do risco de incidência de câncer e doenças cardiovasculares (Carvalho et al., 2023).

Os carotenóides possuem duas principais funções na fotossíntese. Primeiramente, atuam absorvendo luz em regiões dos espectros visíveis onde a clorofila não absorve efetivamente, transferindo com eficiência a energia absorvida para outros pigmentos. Além disso, atuam como fotoprotetores (Viana et al., 2015).

Para José Junior (2014), a cultura do milho é uma das principais fontes de carotenóides na alimentação humana. A presença de vitaminas, compostos fenólicos e carotenóides em seus grãos pode explicar a importância do consumo diário deste, além do seu envolvimento na manutenção da saúde do homem. A função antioxidante dos carotenóides desempenha um papel importante na redução do risco de câncer, catarata, arteriosclerose e no processo de envelhecimento.

Rodrigues et al. (2017) explicam que a presença de pigmentos nos tecidos vegetais produz a sua cor, porém as quantidades são diferentes dependendo da variedade e da espécie. Pigmentos são substâncias com diferentes estruturas químicas. A clorofila 'a' é um dos pigmentos mais conhecidos, cuja função principal é absorver a energia luminosa para o processo da fotossíntese. As células também possuem outros "pigmentos fotocoletores", como as clorofilas b, c, e vários carotenoides, como peridina, fucoxantina, 19'hexanoiloxi-fucoxantina, 19'butanoiloxi-fucoxantina e prasinoxantina, que têm função de ampliar a faixa de absorção do espectro de luz, otimizando a aquisição da energia luminosa.

A clorofila 'a' é o pigmento utilizado para realizar a fotoquímica (a primeira etapa do processo fotossintético), enquanto os demais pigmentos auxiliam na absorção de luz e na transferência da energia radiante para os centros de reação, sendo assim chamados de pigmentos acessórios. Os principais pigmentos acessórios também incluem outros tipos de clorofilas, como clorofila 'b', presente em vegetais superiores, algas verdes e algumas bactérias (Taiz; Zieger, 2017).

A clorofila constitui um dos principais fatores relacionados à eficiência fotossintética das plantas e, conseqüentemente, ao crescimento e à adaptabilidade a diferentes ambientes e condições adversas ocasionadas pelos variados tipos de estresse (Rodrigues et al., 2017). As diferenças aparentes na cor do vegetal são devido à presença e à distribuição variável de outros pigmentos associados, como carotenoides, os quais sempre acompanham as clorofilas (Carvalho et al., 2023). Feba et al. (2017), ao estudar a cultura da alface, notou que plantas tratadas com silício aumentaram a atividade fotossintética e os teores de clorofila 'a', e carotenoides.

Moura et al. (2023) observaram que, com o aumento da concentração de silício em solução nutritiva aplicada no solo de plantas medicinais como *Digitalis Mariana Boiss* (nome popular Dedaleira), houve aumento expressivo na clorofila 'b' e na concentração de

carotenóides. Observou-se também que as diferentes fontes de silício, acrescidas à solução nutritiva, influenciaram significativamente o teor de lignina nas folhas.

Costa et al. (2019) investigaram a tolerância em variedades de milho crioulo ao ataque de larvas de *Diabrotica speciosa* e correlacionaram-na com o vigor da planta e compostos associados com a fisiologia da planta, quais sejam compostos fotossintéticos (clorofilas e carotenóides) e osmólitos compatíveis (glicina betaína e prolina). Seis genótipos de milho (cinco variedades crioulas e uma cultivar comercial) foram selecionados com base em seus níveis de antibiose à praga. A variedade Azteca foi classificada como tolerante à alimentação de larvas de *Diabrotica speciosa*, possuindo menores reduções em matéria seca da planta a despeito de seu baixo vigor. Nesta variedade, foram detectados os maiores teores de clorofilas e carotenóides, sugerindo uma correlação positiva entre tolerância a *Diabrotica speciosa* e maiores teores de pigmentos fotossintéticos.

4 REFERÊNCIAS

ALCARDE, J. A.; RODELLA, A. A. Qualidade e legislação de fertilizantes e corretivos. In: CURI, N.; MARQUES, J. J.; GUILHERME, L. R. G.; LIMA, J. M.; LOPES, A. S.; ALVARES, V. V. H. (Eds.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: SBCS, 2003. p. 200-220.

ALHOUSARI, F.; GREGER, M. Silicon and mechanisms of plant resistance to insect pests. **Plants**, v. 7, n. 2, p. 33, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants7020033>.

ALOVISI, A. M. T.; AGUIAR, G. C. R.; ALOVISI, A. A.; GOMES, C. F.; TOKURA, L. K.; LOURENTE, E. R. P.; MAUAD, M.; SILVA, R. S. da. Efeito residual da aplicação de silicato de cálcio nos atributos químicos do solo e na produtividade da cana-soca. **Agrarian**, v. 11, n. 40, p. 150-158, 2018. <https://doi.org/10.30612/agrarian.v11i40.6241>

BEKELE, A.; KIBRET, K.; BEDADI, B.; YLI-HALLA, M.; BALEMI, T. Effects of lime, vermicompost, and chemical P fertilizer on selected properties of acid soils of Ebantu District, Western Highlands of Ethiopia. **Applied and Environmental Soil Science**, v. 2018, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1155/2018/8178305>.

BHATT, D.; SHARMA, G. Role of silicon in counteracting abiotic and biotic plant stresses. **International Journal of Cardiovascular Sciences**, v. 6, n. 2, p. 1434-1442, 2018.

BIST, V.; NIRANJAN, A.; RANJAN, M.; LEHRI, A.; SEEM, K.; SRIVASTAVA, S. Silicon-solubilizing media and its implication for characterization of bacteria to mitigate biotic stress. **Frontiers in plant science**, v. 11, p. 28, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00028>.

BRITO, R. S. D.; BATISTA, J. F.; MOREIRA, J. G. do V.; MORAES, K. N. O.; SILVA, S. O. da. Rochagem na Agricultura: importância e vantagens para adubação suplementar. **South American Journal of Basic Education, Technical and Technological**, v. 6, n. 1, 2019. Disponível em: <https://teste-periodicos.ufac.br/index.php/SAJEBTT/article/view/2023>. Acesso em: 10 jan. 2022.

CAIRES, E. F.; GUIMARÃES, A. M. A novel phosphogypsum application recommendation method under continuous no-till management in Brazil. **Agronomy Journal**, v. 110, n. 5, p. 1987-1995, 2018. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj2017.11.0642>.

CALONEGO, J. C.; MORA, V. S.; SANTOS, C. H.; OLIVEIRA, L. Calagem e silicatagem em solo incubado com diferentes umidades. In: Colloquium Agrariae. ISSN: 1809-8215. 2012. p. 46-56.

CAMARGO, M. S. Efeito do silício na tolerância das plantas aos estresses bióticos e abióticos, **Jornal Informações Agrônomicas**, Piracicaba, p. 8, set. 2016.

CARVALHO, L. A.; LEAL, L. P.; ARAÚJO, P. M.; SILVA, G. M.; VANDERLEI, M. F. M.; MELO, L. R. A. de; OLIVEIRA, J. P. P. P.; CARVALHO, V. C.; SOUZA, B. V. C. de. Plantas alimentícias não convencionais e seus principais compostos bioativos. **Brazilian Journal of Development**, v. 9, n. 3, p. 11579-11591, 2023. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv9n3-174>

COSTA, E. N.; SOUZA, B. H. S. de S.; RIBEIRO, Z. A.; SANTOS, D. M. M. dos S.; JUNIOR, A. L. B. Tolerância em variedades de milho crioulo a *Diabrotica speciosa* e relação com componentes da planta. Congresso Brasileiro de Fitossanidade Desafios e Avanços da Fitossanidade. **Anais...** Curitiba, PR, 2019.

CRUSCIOL, C. A. C.; ROSSATO, O. B.; FOLTRAN, R.; MARTELLO, J. M.; NASCIMENTO, C. A. C. Soil fertility, sugarcane yield affected by limestone, silicate, and gypsum application. **Communications in soil science and plant analysis**, v. 48, n. 19, p. 2314-2323, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1080/00103624.2017.1411507>.

CUNHA, W. S.; LIMA, H. N.; BRITO, W. B. M.; SILVA, F. S. da; COSTA, M. R. da; SANTOS, E. E. R. dos; SILVA, H. S. da; SILVA, J. M. S. da. Adubação verde com *Crotalaria juncea* e *Mucuna nivea* na recuperação de solos arenosos degradados por mineração de areia. **Observatório de la Economía Latinoamericana**, v. 22, n. 4, p. e4408, 2024. <https://doi.org/10.55905/oelv22n4-218>

DAI, Z.; ZHANG, X.; TANG, C.; MUHAMMAD, N.; WU, J.; PHILIP, C. B.; XU, J. Potential role of biochars in decreasing soil acidification-a critical review. **Science of the Total Environment**, v. 581, p. 601-611, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.12.169>.

DALACORTE, L.; KORCHAGIN, J.; ABREU, C. T.; TONINI, V.; MULLER, R.; BORTOLUZZI, E. C. Componentes da acidez do solo e produção de pastagem em campo nativo submetido à aplicação de pó-de-basalto hidrotermalizado. In: XXXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. **Anais...** Natal, 2015.

DATNOFF, L. E.; DEREN, C. W.; SNYDER, G. H.; JONES, D. B. Effect of calcium silicate on blast and brown spot intensities and yield of rice. **Plant Disease**, Saint Paul, v. 74, p. 729-732, 1991.

DUART, V. M.; BAUER, T. S.; DUART, A. M.; GARBUIO, F.J.; TRAMONTIM, M.T. Silicato de cálcio e de magnésio em arroz irrigado em sistema de cultivo mínimo. In: IX Congresso Brasileiro de arroz irrigado. **Anais...** Pelotas, 2015.

EDEL, K.H.; MARCHADIER, E.; BROWNLEE, C.; KUDLA, J.; HETHERINGTON, A. The evolution of calcium-based signalling in plants. **Current Biology**, v. 27, n. 13, p. R667-R679, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cub.2017.05.020>.

EMAMVERDIAN, A.; DING, Y.; XIE, Y.; SANGARI, S. Silicon mechanisms to ameliorate heavy metal stress in plants. **BioMed Research International**, v. 2018, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1155/2018/8492898>.

FARIA, D. R. Rizobactérias e silício na intensificação da mitigação do arroz de terras altas ao déficit hídrico e à brusone. 2011. 117f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2011.

FEBA, L. T.; MAZZUCHELLI, E. H. L.; CARVALHO, P. R.; CACEFO, V. Silício promove melhor conservação pós-colheita da alface. **Colloquium Agrariae**, v. 13, n. esp., 2017, p. 189-195. ISSN: 1809-8215. DOI: <https://doi.org.br/10.5747/ca.2017.v13.nesp.000192>.

FONSECA, I. M.; PRADO, R. M.; VIDAL, A. A.; NOGUEIRA, T. A. R. Efeito da escória desiderurgia e do calcário na disponibilidade de silício no solo. In: Simpósio Brasileiro Sobre Silício na Agricultura. Botucatu. **Resumos Expandidos...** Botucatu: Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP, 2007. p.26-28.

GAO, Q.; XIONG, T.; LI, X.; CHEN, W.; ZHU, X. Calcium and calcium sensors in fruit development and ripening. **Scientia Horticulturae**, v. 253, p. 412-421, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.04.069>.

GOULDING, K. W. T. Soil acidification and the importance of liming agricultural soils with particular reference to the United Kingdom. **Soil use and management**, v. 32, n. 3, p. 390-399, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1111/sum.12270>.

GOUSSAIN, M. M.; MORAES, J. C.; CARVALHO, J. G.; NOGUEIRA, N. L.; ROSSI, M. L. Efeito da aplicação de silício em plantas de milho no desenvolvimento biológico da lagarta-do-cartucho *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). **Neotropical Entomology**, v. 31, n. 2, 2002.

GUAZINA, R. A.; THEODORO, G. F.; MUCHALAK, S. M.; PESSOA, L.G. A. Aplicação foliar de silício na produtividade e sanidade de cultivares de soja. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 18, n. 2, p. 187-193, 2019.

JORIS, H. A. W.; CAIRES, E. F.; SCHARR, D. A.; BINI, A. R.; HALISKI, A. Liming in the conversion from degraded pastureland to a no-till cropping system in Southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 162, p. 68-77, 2016.

JOSÉ JÚNIOR, G. **Caracterização agrônômica de plantas e teor de carotenoides totais de genótipos de milho em sistema agroecológico**. 2014. 85f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, Brasília, 2014.

KARTHIKA, K. S.; RASHMI, I.; PARVATHI, M. S. Biological functions, uptake and transport of essential nutrients in relation to plant growth. In: HASANUZZAMAN, M.; FUJITA, M.; OKU, H.; NAHAR, K.; HAWRYLAK-NOWAK, B. (Eds.). **Plant nutrients and abiotic stress tolerance**. Springer, Singapore, 2018. p. 1-49. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-10-9044-8_1.

KHAN, M. R.; SIDDIQUI, Z. A. Use of silicon dioxide nanoparticles for the management of Meloidogyne incognita, Pectobacterium betavasculorum and Rhizoctonia solani disease complex of beetroot (Beta vulgaris L.). **Scientia Horticulturae**, v. 265, 2020.

KHATTAB, H. Roles of silicon in improving drought tolerance in plants. In: TRIPATHI, D.K.; SINGH, V.P.; AHMAD, P.; CHAUHAN, D.K.; PRASAD, S.M. (Eds.) **Silicon in Plants**. Boca Raton: CRC Press, 2016. p.265-296.

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

KUNHIKRISHNAN, A.; THANGARAJAN, R.; BOLAN, N. S.; XU, Y.; MANDAL, S.; GLEESON, D. B.; SESHADRI, B.; ZAMAN, M.; BARTON, L.; TANG, C.; LUO, J.; DALAL, R.; DING, W.; KIRKHAM, M. B.; NAIDU, R. Functional relationships of soil acidification, liming, and greenhouse gas flux. In: **Advances in agronomy**. Academic Press, 2016. p. 1-71.

LANGE, A.; CAVALLI, E.; PEREIRA, C. S.; CHAPLA, M. V.; FREDDI, O. da S. Relações cálcio:magnésio e características químicas do solo sob cultivo de soja e milho. **Nativa**, v. 9, n. 3, p. 294-301, 2023. DOI: <https://doi.org/10.31413/nativa.v9i3.11526>.

LIMA FILHO, O. F. de; SILVA, C. J. da. **Avaliação agrônômica do silicato de cálcio e magnésio granulado na cultura da cana-de-açúcar**. Embrapa Agropecuária Oeste-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E), 2017.

LIMA, L.M.; POZZA, E.A.; POZZA, A. A. A.; FONSECA, T. A. P. S.; CARVALHO, J. G. Quantificação da ferrugem asiática e aspectos nutricionais de soja suprida com silício em solução nutritiva. **Summa Phytopathologica**, v. 36, n. 1, p. 51-56, 2010.

LIU, Y.; RIAZ, M.; YAN, L.; ZENG, Y.; CUNCANG, J. Boron and calcium deficiency disturbing the growth of trifoliolate rootstock seedlings (*Poncirus trifoliolate* L.) by changing root architecture and cell wall. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 144, p. 345-354, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2019.10.007>.

MAGHSOUDI, K.; EMAM, Y.; PESSARAKLI, M. Effect of silicon on photosynthetic gas exchange, photosynthetic pigments, cell membrane stability and relative water content of different wheat cultivars under drought stress conditions. **Journal of Plant Nutrition**, v. 39, n. 7, p. 1001-1015, 2016. DOI: 10.1080/01904167.2015.1109108.

MANNING, D. A. C.; BAPTISTA, J.; LIMON, M. S.; BRANDT, K. Testing the ability of plants to access potassium from framework silicate minerals. **Science of the total environment**, v. 574, p. 476-481, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.09.086>.

MAPA – MINISTÉRIO AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Produção de grãos brasileira deverá chegar a 390 milhões de toneladas nos próximos dez anos**, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/producao-de-graos-brasileira-devera-chegar-a-390-milhoes-de-toneladas-nos-proximos-dez-anos>. Acesso em: 23 jun. 2024.

MARQUES, D J.; FERREIRA, M. M.; LOBATO, A. K. S; FREITAS, W. A.; CARVALHO, J. A.; FERREIRA, E. D.; BROETTO, F. Potential of calcium silicate to mitigate water deficiency in maize. **Bragantia**, v. 75, p. 275-285, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/1678-4499.446.7>

MENEGALE, M.L.C.; CASTRO, C.S.A.; MANCUSO, M.A.C. Silício: interação com o sistema solo-planta. **Journal of Agronomic Sciences**, Umuarama, v. 4, n. esp., p.435-454, 2015.

MONTES, R. M.; MONTES, S.M.N.M.; RAGA, A. O uso do silício no manejo de pragas. Instituto Biológico — APTA. Documento Técnico 017, jan. 2015, p.1-13. Disponível em www.biologico.sp.gov.br. Acesso em: 10 jan. 2022.

MOURA, R. C.; ASSIS, R. M. A. de; ROCHA, J. P. M.; LEITE, J. J. F.; PEREIRA, F. D.; SANTOS, J. P. dos; BERTOLUCCI, S. K. V.; PINTO, J. E. B. P. Effectiveness of sources and doses of silicon for growth, photosynthetic pigments and cardenolide content in *Digitalis mariana* Boiss subsp. *Heywoodii* in vitro. **Research, Society and Development**, v. 12, n. 2, p. e5412239719, 2023. DOI: 10.33448/rsd-v12i2.39719.

NASCIMENTO, E. V. S.; BRASIL, E. C.; SILVA, G. R. da. Efeito da escória de siderurgia nos atributos químicos de um latossolo amarelo distrófico em Terra Alta – PA. **Revista Agroecossistemas**, v. 11, n. 1, p. 97-121, 2019. ISSN 2318-0188. DOI: <http://dx.doi.org/10.18542/ragros.v11i1.2163>.

OLIVEIRA JÚNIOR, S. G.; FERREIRA, E. A.; NERY, M. C.; SILVA, R. F. C.; MELO, S. G. F.; FIALHO, C. M. T. Aplicação foliar de silício em plantas de trigo associado a qualidade fisiológica de sementes. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 8, n. 1, 2018. DOI: <https://doi.org/10.21206/rbas.v8i1.455>.

ONU – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **População mundial chegará a 9,9 bilhões em 2054**, 2024. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2024/04/1830966>. Acesso em: 23 jun. 2024.

OUZOUNIDOU, G.; GIANNAKOULA, A.; ILIAS, I.; ZAMANIDIS, P. Alívio das tensões de seca e salinidade no crescimento, fisiologia, bioquímica e qualidade de duas cultivares *Cucumis sativus* L. por aplicação de Si. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 39, n. 2, p. 531-539, 2016.

PANG, Z.; TAYYAB, M.; ISLAM, W.; TARIN, M. W. K.; SARFARAZ, R.; NAVEED, H.; ZAMAN, S.; ZHANG, B.; YUAN, Z.; ZHANG, H. Silicon mediated improvement in tolerance of economically important crops under drought stress. **Applied Ecology and Environmental Research**, v. 17, n. 3, p. 6151-6170, 2019. DOI: http://dx.doi.org/10.15666/aeer/1703_61516170.

PEREIRA, A. I. A.; GUIMARÃES, J. J.; COSTA, J. V.; CANTUÁRIO, F. S.; SALOMÃO, L. C.; OLIVEIRA, R. C.; LUZ, J. M. Q. Growth of sweet pepper plants submitted to water tensions in soil and potassium silicate doses. **Horticultura Brasileira**, v. 37, n. 1, p. 82-88, 2019.

PEREIRA, D. D.; SILVA, I. M. da; MARTINS, W. S.; MURASHI, C. T.; SANTOS, G. R. dos; DOURADO, D. P.; OLIVEIRA, A. G. de; CARVALHO, L. C. de; MENDES, W. D.; SOBRINHO, C. A. M. Effect of silicon in reducing the severity of brusone in rice culture: a bibliographic review. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 16, p. e13111637730, 2022. DOI: [10.33448/rsd-v11i16.37730](https://doi.org/10.33448/rsd-v11i16.37730).

PEREIRA, M. G.; ARAÚJO, A. L. S.; DORTZBACH, D.; TAVARES, O. C. H.; SILVA NETO, E. C. Estimativa da acidez potencial através do método do pH SMP em solos de altitude de Santa Catarina. **Agropecuária Catarinense**, v. 33, n. 1, p. 50-55, 2020. DOI: <https://doi.org/10.52945/rac.v33i1.531>.

PIRAYESH, N.; GIRIDHAR, M.; KHEDHER, A. B.; VOTHKNECHT, U. C.; CHIGRI, F. Organellar calcium signaling in plants: An update. **Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Molecular Cell Research**, p. 118948, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bbamcr.2021.118948>.

PONCE, F. da S.; MACHADO, D. C. de L.; DIPPLE, F. L.; DALLACORT, R.; SEABRA JÚNIOR, S. Silicate fertilization on productivity and physiological responses of plants. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 16, p. e164111637926, 2022. DOI: [10.33448/rsd-v11i16.37926](https://doi.org/10.33448/rsd-v11i16.37926).

PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M. Escória de siderurgia e calcário na correção da acidez do solo cultivado com cana-de-açúcar em vasos. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 57, n. 4, p. 739-744, 2000.

RANJAN, A.; SINHA, R.; BALA, M.; PAREEK, A.; PAREEK, S. L. S.; SINGH, A. K. Silicon-mediated abiotic and biotic stress mitigation in plants: Underlying mechanisms and potential for stress resilient agriculture. **Plant Physiology and Biochemistry**, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.03.044>.

RATURI, G.; SHARMA, Y.; RANA, V.; THAKRAL, V.; MYAKA, B.; SALVI, P.; SINGH, M.; DHAR, H.; DESHMUKH, R. Exploration of silicate solubilizing bacteria for sustainable agriculture and silicon biogeochemical cycle. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 166, p. 827-838, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.06.039>.

REHMAN, M. Z. U. R.; KHALID, H.; AKMAL, F.; ALI, S.; RIZWAN, M.; QAYYUM, M. F.; IQBAL, M.; KHALID, M. U.; AZHAR, M. Effect of limestone, lignite and biochar applied alone and combined on cadmium uptake in wheat and rice under rotation in an effluent irrigated field. **Environmental Pollution**, v. 227, p. 560-568, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.05.003>.

RODRIGUES, S.V.; MARINHO, M.M.; JONCK, C.C.A.C.; CORREA, R.M.; OLIVEIRA, A.C.L.; GONÇALVES, E.S.; SANTOS, M.C.; BRANT, V.F.; BRANDÃO, F.P. Composição do fitoplâncton a partir da avaliação de pigmentos marcadores (carotenoides e clorofilas). Ambiente pelágico: caracterização ambiental regional da Bacia de Campos, Atlântico Sudoeste. **Habitats**, Rio de Janeiro, v. 5. p. 89-125, 2017.

ROSA, A.; CAPONI, L. H.; ZANÃO, L. A. J. Disponibilidade de fósforo em um Latossolo Vermelho em função do pH do solo. **Acta Iguazu**, v. 5, n. 5, p. 108-115, 2016.

SAATH, K. C. de O.; FACHINELLO, A. L. Crescimento da Demanda Mundial de Alimentos e Restrições do Fator Terra no Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Piracicaba-SP, v. 56, n. 2, p. 195-212, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1234-56781806-94790560201>

SAHEBI, M.; HANAFI, M. M.; AKMAR, A. S. N.; RAFII, M.; AZIZI, P.; TENGOUA, F. F.; AZWA, J. N. M.; SHABANIMOFRAD, M. Importance of silicon and mechanisms of biosilica formation in plants. **BioMed research international**, v. 2015, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1155/2015/396010>.

SARTO, M. V. M.; LANA, M. C.; RAMPIM, L.; ROSSET, J. S.; WOBETO, J. R. Effects of silicate application on soil fertility and wheat yield. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, n. 2, p. 4071-4082, 2015. DOI: 10.5433/1679-0359.2015v36n6Supl2p4071.

SCHMIDT, F.; FORTES, M.A.; WESZ, J.; BUSS, G.L.; SOUSA, R.A. (2013). Impacto do manejo da água na toxidez por ferro no arroz irrigado por alagamento. Processos e Propriedades do Solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 5, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832013000500012>.

SILVA, M. R.; PELISSARI, A.; MORAES, A.; SANDINI, I.E.; CASSOL, L. C.; ASSMANN, T. S.; OLIVEIRA, E. B. Acumulação de nutrientes e produção forrageira de aveia e azevém em função da aplicação de calcário e gesso em superfície. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 38, n. 3, p. 346-356, 2015.

SILVA, V. F. D.; MORAES, J. C.; MELO, B. A. Fontes de silício na indução de resistência a insetos praga e no desenvolvimento de plantas de batata inglesa. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 5, n. 2, p. 149-156, 2010.

SILVA, V. J.; SILVA WANDERLEY, L. R. da; SOUSA, A. F. de; de OLIVEIRA RODRIGUES, R.; de SOUZA, P. C.; FREITAS, L. M. de. Efeito da adubação com silício no controle de lagarta do cartucho (*Spodoptera frugiperda*) em Plantas de Milho Doce. In: Congresso Brasileiro de Fitossanidade. **Anais...** 2017.

SOLEYMANI, A. Corn (*Zea mays* L.) yield and yield components as affected by light properties in response to plant parameters and N fertilization. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 15, p. 173-180, 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/325865584_Corn_Zea_mays_L_yield_and_yield_components_as_affected_by_light_properties_in_response_to_plant_parameters_and_N_fertilization. Acesso em: 15 maio 2019.

SOUZA, M. R.; SANTOS, L. P.; BARROS, A. M.; SANTOS, G. R.; MORAES, G. K. A.; FERRAZ, L. F.; ARAÚJO, V. B.; FERREIRA, T. P. S. Indução de fitoalexinas por preparações de leveduras, *Trichoderma* e óleo essencial de *Cymbopogon citratus* Stapf. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v. 7, n. 3, p. 325-335, 2019. DOI: <https://doi.org/10.20873/jbb.uft.cemaf.v7n3.souza>

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I.; MURPHY, A. Fisiologia e desenvolvimento vegetal. 6.ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888p. Disponível em: <https://www.docsity.com/pt/livro-fisiologia-vegetal-taiz/4836176/>. Acesso em: 10 jun. 2023.

TANTAWY, A. S.; SALAMA, Y. A. M.; EL-NEMR, M. A.; ABDEL-MAWGOUD, A.M. R. Nano silicon application improves salinity tolerance of sweet pepper plants. **International Journal of ChemTech Research**, v. 8, n. 10, p. 11-17, 2015.

THOR, K. Calcium—Nutrient and messenger. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, p. 440, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00440>.

VIANA, M. M. S.; CARLOS, L. A.; SILVA, E. C.; PEREIRA, S. M. F.; OLIVEIRA, D. B.; ASSIS, M. L. V. Composição fitoquímica e potencial antioxidante de hortaliças não convencionais. Página do Horticultor. **Horticultura Brasileira**, v. 33, n. 4, 2015. <https://doi.org/10.1590/S0102-053620150000400016>.

VILELA, L. MARTHA JUNIOR, G. B.; MACEDO, M. C. M.; MARCHÃO, R. L.; GUIMARÃES JUNIOR, R.; PULROLNIK, K.; MACIEL, G. A. Sistemas de integração lavoura-pecuária na região do Cerrado. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1127-1138, 2011.

YAGHUBI, K.; VAFAEE, Y.; GHADERI, N.; JAVADI, T. Potassium silicate improves salinity resistant and affects fruit quality in two strawberry cultivars grown under salt stress. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 50, n. 12, p. 1439-1451, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1080/00103624.2019.1621333>.

YANG, J. L.; ZHANG, G. L. Silicon cycling by plant and its effects on soil Si translocation in a typical subtropical area. **Geoderma**, v. 310, p. 89-98, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.08.014>.

ZANÃO JUNIOR, L. A.; FARIA, R. T, de; CARAMORI, P. H. **Produtividade de soja no entorno do reservatório da Itaipu**. Londrina: IAPAR, 2015. 217p.

CAPÍTULO I

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE SOLO SUBMETIDO A SILICATO DE CÁLCIO E MAGNÉSIO E CALCÁRIO DOLOMÍTICO COM RESPOSTAS DE PRODUTIVIDADES NO MILHO E TRIGO EM LATOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRICO

Resumo: A qualidade física do solo está associada a infiltração, retenção e disponibilização de água e nutrientes às plantas, sendo que tais características estão entrelaçadas ao manejo de solo e condicionam a produtividade das culturas. O trabalho tem por objetivo avaliar se os tratamentos de silicato de cálcio e magnésio e calcário dolomítico proporcionaram melhorias nas propriedades físicas do solo, aumento nos índices de clorofila, carotenoides e produtividade agrícola. O trabalho foi conduzido em uma área experimental no município de Céu Azul, PR, com a cultivar de soja Brasmax Zeus IPRO, trigo ORS 1403 e híbrido de milho Ag 9000. O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado, com 3 tratamentos e 10 repetições, totalizando 30 unidades experimentais. Em seguida, foram definidas as dosagens de 0, 300 e 800 kg ha⁻¹ para os tratamentos testemunha, silicato de cálcio e magnésio e calcário, respectivamente. Foram coletadas, em cada ponto, amostras físicas de solo, para determinação de densidade de partícula e aparente, macroporosidade, microporosidade e porosidade total. Também avaliou-se a resistência à penetração do solos, com um penetrômetro de impacto. Realizou-se ainda a quantificação dos teores de clorofilas e carotenóides para a cultivar de soja e híbrido de milho, bem como a verificação dos índices de produtividade para as culturas de trigo e milho. As médias foram submetidas ao teste de Tukey com 5% de significância. Os tratamentos não proporcionaram melhorias na densidade aparente, macroporosidade, microporosidade e porosidade total. O grau de compactação foi maior no tratamento com silicato. As variáveis carotenóides, clorofila 'a', clorofila 'b' e clorofila total não apresentaram diferenças entre os tratamentos. A produtividade das culturas de trigo e milho não diferiram estatisticamente para cada tratamento.

Palavras-chave: Densidade e porosidade de solo, produtividade, remineralizador de solo, resistência à penetração.

1.1 Introdução

A proteção da estrutura do solo é um aspecto primordial para a funcionalidade de maneira sustentável (Sowińska et al., 2022), já que este é um fator chave para o desempenho do solo, em sua capacidade de sustentar vida animal e vegetal, bem como a qualidade ambiental, com ênfase no sequestro de carbono de solo e na qualidade de água (Bronick; Lal, 2005). Diante disso, se faz necessário o controle da acidificação do solo, já que este impede o acesso do sistema radicular aos nutrientes, influenciando nas culturas de todo o mundo. Por este motivo, a correção das deficiências de silício e cálcio são importantes para a agricultura, a segurança alimentar e a resiliência climática (Jing et al., 2024). Por sua vez, o cálcio, para as plantas, é um nutriente vital, pois está envolvido em várias atividades fisiológicas (El-Beltagi et al., 2022).

O elemento cálcio é imprescindível como molécula componente da parede celular e das moléculas sinalizadoras a nível celular, ou seja, está intimamente ligado a processos como respiração, senescência e teores de clorofila (Poovaiah, 1986; Lopez et al., 2021). Análises e pesquisas relatam que as mitocôndrias e os cloroplastos repassam sinais de cálcio contra fatores de estresse bióticos e abióticos, fazendo com que o nutriente manifeste seu papel na resposta ao estresse e à imunidade das plantas (Nomura; Shiinab, 2014; Shabbir et al., 2022).

Alguns estudos também demonstram a utilização do silício em cultivos, com a finalidade de aliviar estresses abióticos e bióticos enfrentados pelas plantas (Thakral et al., 2021), pois o nutriente aumenta a absorção de água pelo sistema radicular, já que garante a melhoria no crescimento das raízes, das forças motrizes osmóticas, da condutância hidráulica e da absorção de minerais (Wang et al., 2021). Assim, proporciona a melhoria da resistência das culturas, atuando na promoção do crescimento e no seu desenvolvimento (Li et al., 2022).

O elemento ainda poderá auxiliar a melhorar os teores de fósforo nos vegetais, aprimorando a atividade fotossintética, bem como o sistema de defesa antioxidante e a homeostase dos nutrientes (Zhang et al., 2019; Malik et al., 2021). Além disso, na fase vegetativa das plantas, o silício possui a capacidade de reduzir o estresse oxidativo, a degradação da clorofila, além de modificar mecanismo fisiológico para combater a salinidade (Nisar et al., 2022; Nazim et al., 2024). O trabalho tem por objetivo avaliar se os tratamentos de silicato de cálcio e magnésio e calcário dolomítico proporcionaram melhorias nas propriedades físicas do solo, aumento nos índices de clorofila, carotenoides e produtividade agrícola.

1.2 Material e métodos

1.2.1 Caracterização da área experimental

O experimento foi instalado em uma propriedade comercial, com área de 15 hectares (Figura 1), no município de Céu Azul – Paraná, região Oeste do Estado. Foi desenvolvido durante as safras agrícolas de inverno e verão no decorrer dos anos de 2020, 2021, 2022, 2023 e 2024, nas culturas de trigo, milho primeira e segunda safras e soja. A altitude local é de 663 metros e as coordenadas geográficas centrais são de 25°7'5.75" S 53°49'18.61" O. O clima da região classificado por Köppen é do tipo Cfa, subtropical úmido, com temperaturas médias anuais variando de 19,5 a 20,1 °C, com reduzida incidência de geadas e precipitação pluviométrica total anual variando de 1550 a 1650 mm ano⁻¹ (Köppen, 2019).

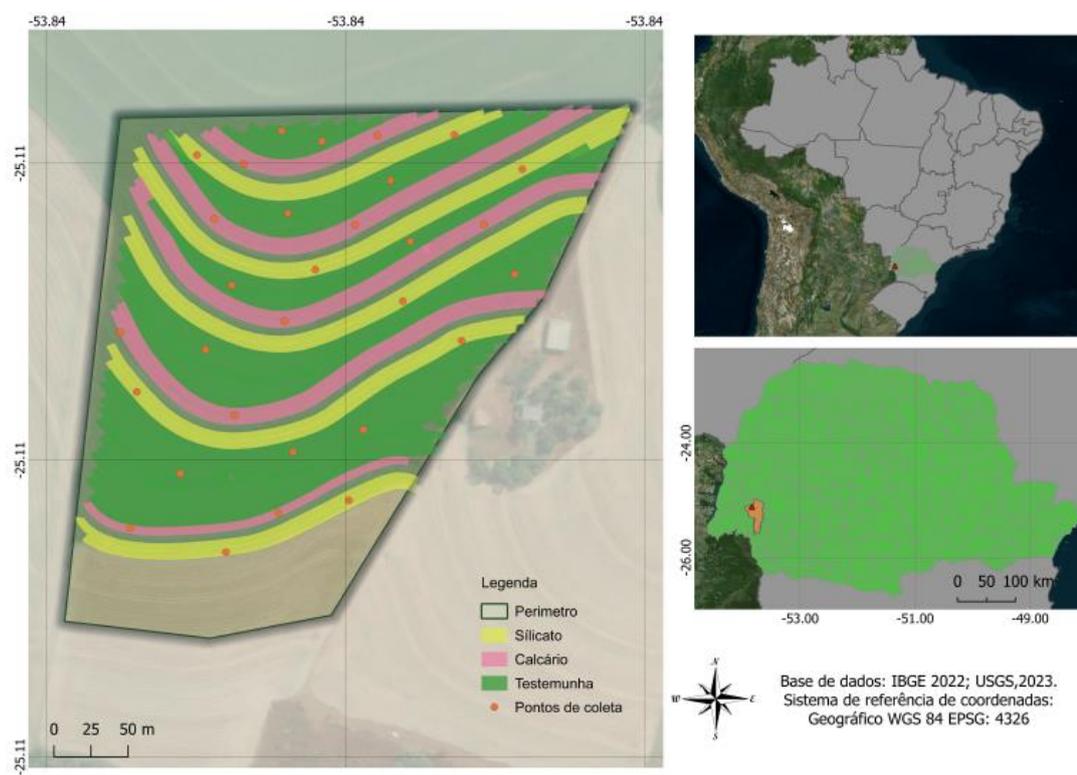


Figura 1 Área experimental agrícola comercial, localizada no município de Céu Azul, PR.

De maneira aleatória foram demarcados 30 pontos amostrais, com distribuição uniforme e repetições por meio do programa Qgis 3.4. Em seguida, realizou-se a coleta de amostras físicas de solo, para verificação da granulometria, na camada de 0 – 0,20 metros (Tabela 1). Estas foram conduzidas até o campus da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) de Pato Branco, Paraná. Após este processo foi possível classificar o solo, como Latossolo Vermelho Distroférico típico (LVdf), de textura argilosa (EMBRAPA, 2018).

Tabela 1 Granulometria do solo da área experimental realizada em três pontos na camada 0 – 0,20 m, em 04 de dezembro de 2020

Pontos	Granulometria		
	areia -----	argila g kg ⁻¹	silte -----
Testemunha	52,0	780,0	168
Silicato	42,0	800,0	157
Calcário	63,0	800,0	137
Média	52,3	793,3	154

Após os resultados da granulometria do solo e observando-se os valores das análises químicas de solo, foram instalados três tratamentos na área experimental: testemunha, silicato de cálcio e magnésio e calcário dolomítico. Em seguida, foram estabelecidas as dosagens de 0, 300 e 800 kg ha⁻¹ para cada um, respectivamente. Estes foram conduzidos em um delineamento inteiramente casualizado, com 3 tratamentos e 10 repetições, totalizando 30 unidades experimentais.

A composição química do corretivo Calcário dolomítico é de 25% de cálcio e 17% de magnésio, enquanto o silicato apresenta 9% de óxido de silício (SiO₂), 9% de cálcio (Ca) e 2% de magnésio (Mg). Ambos os tratamentos foram aplicados na superfície das faixas a lanço, com auxílio de um distribuidor Hércules 7000 Stara.

1.2.2 Características Físicas de Solo

Nos 30 pontos de coletas da área foram retiradas amostras não deformadas de solo, a fim de determinar a densidade de partícula, porosidade total, macroporosidade e microporosidade. No ponto da coleta, retirou-se a camada superficial orgânica, na sequência o cilindro de aço inoxidável enumerado foi acondicionado com a parte chanfrada ao solo. Na base superior do cilindro foi encaixado o castelo para então crava-lo no solo e preservar as propriedades físicas.

Ao final, utilizou-se martelo pedológico, para a retirada do cilindro junto ao perfil do solo, conforme observado na Figura 2. Posteriormente, as amostras foram encaminhadas ao laboratório de Física do solo, na Universidade Estadual do Oeste do Paraná, para realização das análises.



Figura 2 Coleta de solo para análise física utilizando anéis volumétricos.

No laboratório, os cilindros foram limpos e colocados em bandeja de água com $\frac{3}{4}$ da sua altura, para saturação por 24 horas. Após esse período, as amostras foram pesadas e colocadas a 60 cm de água na coluna de areia, onde permaneceram por 48 horas, para que a água presente nos poros maiores fosse retirada, por meio da pressão negativa/sucção, do contido estabelecido entre os poros capilares da amostra e da areia. Por fim, as amostras foram pesadas em balança de precisão e, assim, foram realizados os cálculos para a obtenção da macroporosidade (Equação 1).

$$\text{Macroporosidade} = \text{Porosidade total} - \text{microporosidade} \quad \text{Eq.(1)}$$

Posteriormente ao processo descrito acima, as amostras foram acondicionadas em estufa, a uma temperatura de 105 °C, persistindo no local por um período de 48 horas. Em seguida, foram pesadas, a fim de determinar a quantidade de poros menores (Equação 2), pois a concentração de microporosidade também é definida pelos poros capilares, onde fica armazenada a água do solo.

$$\text{Microporosidade} = ((\text{MSU} - \text{MSS}) / \text{MSS}) * 100 \quad \text{Eq.(2)}$$

Em que:

MSU - Massa de Solo úmido;

MSS - Massa de Solo seco.

Também foi determinada a densidade de partículas (D_p) (Equação 3), utilizando o método de Teixeira et al. (2017), com o auxílio de balão volumétrico de 50 ml de água deionizada e desaerada, foi quantificada a massa de 20 g de solo em um recipiente no qual ocorreu a secagem em estufa em temperatura de 105 °C, até que sua massa ficasse constante. Em seguida, a amostra foi transferida para um balão de 50 ml, sendo adicionado

álcool etílico até cobri-la. Posteriormente, ocorreu o agitação do balão para evitar a formação de bolhas de ar. Por fim, anotou-se a quantidade de álcool gasto.

$$Dp = \frac{ma}{(Vt - Vu)} \quad \text{Eq.(3)}$$

Logo,

Dp - Densidade de partículas, medidas em kg dm^{-3} ;

ma - massa da amostra seca, a uma temperatura de $105\text{ }^{\circ}\text{C}$, em g;

Vt - volume total aferido do balão, em ml;

Vu - volume utilizado para completar o balão com a amostra, em ml.

Por último, realizou-se o cálculo da porosidade total (Pt), pois esta é a relação entre a densidade do solo e a densidade de partículas (Equação 4), segundo a metodologia de Teixeira et al. (2017).

$$Pt = \left(1 - \frac{Ds}{Dp}\right) \times 100 \quad \text{Eq.(4)}$$

Em que,

Pt - Porosidade Total, em %;

Dp - Densidade de partículas, medidas em kg dm^{-3} ;

Ds - Densidade do solo, em kg dm^{-3} .

1.2.3 Avaliação do grau de compactação do solo

O grau de compactação do solo foi avaliado utilizando-se um penetrômetro de impacto, com medição da resistência do solo à penetração em uma profundidade de 60 cm. Para isso, recorreu-se à metodologia de Seixas e Souza (2007), que definem que o número de impactos do penetrômetro será transformado em kPa (Equação 5). Na sequência, na Figura 3, observa-se como foi realizada a coleta de dados com o penetrômetro de impacto.

$$R = 560 + 689N \quad \text{Eq.(5)}$$

Em que,

R - Resistência do solo a utilização do penetrômetro com penetração em kPa;

N - Número de impactos por decímetro.

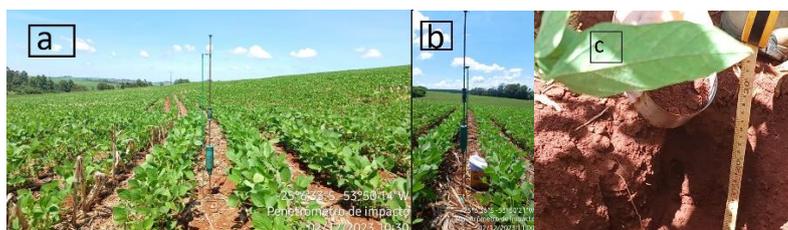


Figura 3 a) – b) Coleta de dados com penetrômetro de impacto; c) simultânea retirada de solo para acompanhamento de umidade.

1.2.4 Semeadura das culturas de inverno e verão

Na safra de inverno do ano de 2022 foi semeada a cultivar de trigo ORS 1403, com adubação de 390 kg ha⁻¹ do insumo formulado NPK 10 - 15 -15, em um espaçamento entre linha de 0,17 m e profundidade de 0,04 m. O manejo da cultura seguiu recomendação comercial, ou seja, três aplicações de fungicida e duas de inseticida. Quanto ao intervalo entre aplicações, este é variável em função de clima e incidência de pragas e doenças, não existindo um intervalo fixo entre aplicações, pois depende do clima e do nível de infestação de pragas e doenças.

Para a safra de verão 2022/2023, utilizou-se a cultivar Brasmax Zeus IPRO, com adubação de 124 kg ha⁻¹ de MAP (10 52 00) e 103,3 kg ha⁻¹ de KCl, com espaçamento entre linha de 0,7 m e profundidade de semeadura de 0,04 m. Foram distribuídas 18 sementes por metro linear. Os tratos culturais empregados seguiram recomendação comercial com três aplicações de fungicida e três aplicações de inseticida para a cultura de soja.

Já a semeadura do milho primeira e segunda safras dos anos de 2022 e 2023 foram conduzidos com o híbrido Ag 9000 e adubação de 413 kg ha⁻¹ do formulado NPK 10-15-15 e 165 kg ha⁻¹ de ureia. O espaçamento utilizado na entrelinha foi de 0,7 m, com profundidade de 0,04 m, sendo distribuídas 4,8 sementes por metro linear. O manejo cultural seguiu recomendação comercial de acordo com a necessidade da cultura, com três aplicações de inseticida e três aplicações de fungicida, sendo que o intervalo entre aplicações é variável pois depende de clima e quantidade do inseto praga.

1.2.5 Concentração de clorofila e carotenoides

As coletas de folhas para verificação das concentrações de clorofila e carotenoides ocorreram durante a fase de florescimento das culturas, sendo que para as variedades de soja, foram realizadas nos meses de dezembro de 2020 e 2022, respectivamente. Porém, na cultura do milho segunda safra, a coleta aconteceu no mês de junho do ano de 2023. As amostras foram colhidas nos 30 pontos amostrais, sendo 10 repetições para o silicato de cálcio, 10 repetições para o calcário e 10 repetições para a testemunha. Os dados climatológicos foram obtidos do Simepar, mais precisamente da Estação meteorológica do

município de Cascavel, no Paraná, base mais próxima do município de Céu Azul, ambos os municípios com clima subtropical úmido (Cfa).

Para a determinação dos teores de clorofila e carotenoides, recorreu-se à metodologia de Arnon (1949), adaptada por Viecelli et al. (2010), na qual utilizou-se 0,1 g de tecido vegetal pesado em balança de precisão (1 mg). Logo em seguida, ocorreu a quantificação dos teores de clorofila a, b, totais e de carotenoides (mg g^{-1}) das folhas das plantas. As amostras de tecido vegetal foram acondicionadas em frasco de vidro de 10 mL de acetona 80%, por um período de sete dias. Ao final do processo foi realizada a leitura em um espectrofotômetro a 663, 645 e 450 nm para clorofila a, b (Equação 6) e carotenoides (Equação 7), respectivamente, sendo que para o último foi utilizada a lei de Lambert (1870) e Beer (1852), metodologia descrita por Xavier et al. (2012):

$$\begin{aligned}Ca &= (0,0127 * A_{663}) - (0,00269 * A_{645}) \\Cb &= (0,0229 * A_{645}) - (0,00468 * A_{663}) \\CT &= Ca + Cb\end{aligned}\tag{Eq.(6)}$$

Em que:

Ca - concentração de clorofila a (mg g^{-1});

Cb - concentração de Clorofila b (mg g^{-1});

A663 - Absorbância da amostra no comprimento de onda 663 nm;

A645 - Absorbância da amostra no comprimento de onda 645 nm;

CT - Concentração de clorofila total (mg g^{-1}).

$$C = \frac{A \times 10^4}{E_{1\text{cm}}^{1\%}}\tag{Eq.(7)}$$

Logo,

C (mg g^{-1}) - Concentração de carotenoides totais (expressa como caroteno);

A - Absorbância do extrato a uma onda de 450 nm;

$E_{1\text{cm}}^{1\%}$ - Coeficiente de absorvidade do caroteno, que corresponde a 2592.

1.2.6 Produtividade de grãos

Na avaliação da produtividade de trigo, utilizou-se a metodologia de Teixeira et al. (2010), tendo sido coletados manualmente três linhas de cinco metros em cada ponto, na fase de maturidade fisiológica da cultivar ORS 1403 (Figura 4). Em seguida, as plantas foram acondicionadas em sacos de papel e transportadas até o Instituto de Desenvolvimento Rural do Estado do Paraná (IDR), onde ocorreu a debulha dos grãos, com o auxílio de uma colhedora motorizada de marca Wintersteiger (Figura 4). Ao final, foi realizada a verificação

do teor de massa dos grãos, por meio de balança digital e a umidade dos grãos foi corrigida para 13%.



Figura 4 Debulha das espigas de trigo: Colhedora motorizada de marca Wintersteiger.

Para a produtividade do milho também recorreu-se ao método de colheita manual, descrito por Teixeira et al. (2010). Todavia, a trilhagem ocorreu em um debulhador manual de marca Botini – Figura 5.



Figura 5 a) Debulhador manual; b) colheita manual do milho

1.2.7 Análise estatística

Os dados coletados foram submetidos a análise de variância (ANOVA), aplicando-se o teste de Tukey para identificar as diferenças entre médias de tratamentos ao nível de 5% de significância ($p < 0,05$), por meio do SISVAR (Ferreira, 2010), em delineamento inteiramente casualizado (DIC).

1.3 Resultados e Discussão

1.3.1 Propriedades físicas de solo

Na Tabela 2 são apresentados os valores médios dos resultados das propriedades físicas de solos para o ano 2022/2023. Avaliou-se as propriedades físicas do solo para os tratamentos testemunha, calcário e silicato, no qual observou-se que os parâmetros densidade do solo, macroporosidade, microporosidade e porosidade total do solo não sofreram efeito significativo, conforme teste de Tukey aplicado com 5% de probabilidade estatística. As propriedades físicas de solo citadas anteriormente vão ao encontro do citado por Kiehl (1979),

que relata que as condições ideais para solo muito argiloso são de: densidade aparente de 0,9 a 1,25 g cm⁻³, macroporosidade acima de 10% e porosidade total de 50 a 55%. Em contrapartida, aos resultados obtidos no experimento de Castro et al. (2017) relatam que a macroporosidade foi de pelo menos 1% maior em latossolos corrigidos com silicato e cal. Todavia, os valores também não diferiram significativamente quando comparados com o tratamento controle.

Tabela 2 Resultados da análise física de solo extraídas na safra 2022/2023 na cultura da soja

Tratamento	DS g cm ⁻³	MACRO %	MICRO %	PT %	RP (0-20) MPa	RP (20-40) MPa
Testemunha	1,22a	14,22a	37,30a	51,52a	1,91a	1,64a
Silicato	1,22a	14,83a	36,59a	51,42a	2,07a	1,71a
Calcário	1,25a	12,20a	38,10a	50,30a	1,77a	1,56a
MÉDIA	1,23	13,75	37,33	51,08	1,92	1,64
DMS	0,125	4,09	6,27	4,95	0,57	0,54
CV (%)	8,03	23,61	13,32	7,69	56,32	61,61
PR>FC	0,78	0,26	0,83	0,79	0,46	0,80

DS - Densidade aparente de solo; MACRO - Macroporosidade de solo; MICRO - Microporosidade de solo; PT - Porosidade total de solo.

Médias de tratamentos seguidas pelas mesmas letras na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância; DMS - diferença mínima significativa; CV - coeficiente de variação; RP - Resistência a penetração. PR>FC - Probabilidade de diferença perante o teste F

Pode-se verificar, na Tabela 2, que a resistência a penetração (RP) do solo para as duas profundidades não diferiu estatisticamente, porém apresenta-se com maior valor para o silicato em ambas as situações.

Castro et al. (2017) constataram que não houve influência à resistência a penetração ou umidade do solo em qualquer profundidade superior a 0,4 metros nas aplicações de cal e silicato.

Costa et al. (2021) verificaram que os tratamentos somente com calcário ou em combinação com fosfogesso apresentaram impacto positivo na agregação e na estabilidade de solos intemperizados, bem como a porosidade, principalmente na microporosidade, sendo esta influenciada em camadas mais profundas.

Já os experimentos desenvolvidos por Emami, Neyshabouri e Shorafa (2012) observaram que os tratamentos com aplicações silicatadas apresentaram variação de 0,05 a 0,34 MPa quanto à resistência a penetração em solo, indicativo positivo na descompactação.

1.3.2 Concentração de Clorofila

Na Figura 6 são apresentados valores de carotenóides, clorofila 'a', clorofila 'b' e clorofila total na cultura da soja, safra 2020-2021.

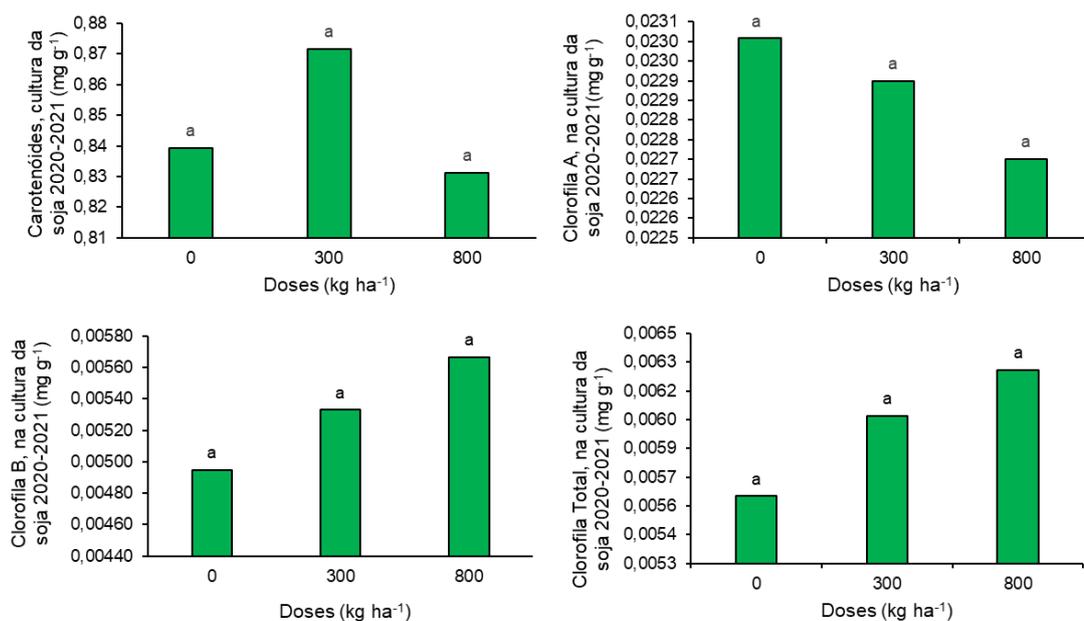


Figura 6 Resultados de carotenoides, clorofila 'a', clorofila 'b' e clorofila total na cultura da soja, safra 2020-2021.

* As médias seguidas de mesma letra, conforme o teste aplicado, não diferem entre si

Observa-se, na Figura 6, que as concentrações de clorofila a, b, totais e carotenoides não diferiram estatisticamente entre os tratamentos de calcário, silicato e testemunha apresentados no experimento. Os resultados foram contrários aos estudos de Bossolani et al. (2021), que verificaram aumento expressivo nas concentrações dos pigmentos conforme o acréscimo da aplicação de cal, pois houve melhor desenvolvimento e distribuição do sistema radicular das plantas, permitindo acesso aos nutrientes e a água, nas camadas mais profundas do solo, principalmente de Ca e Mg.

Hussain et al. (2021) também constataram aumento nos teores de clorofila em cultivares de soja quando realizada aplicação de silício via foliar em condições normais de luz e sombra, tanto em monocultura quanto em consórcio. Todavia, os autores observaram que os níveis de carotenoides não foram significativos nos tratamentos com silício em monocultura, situação diferente quando os fatores foram avaliados em consórcio, nos quais verificaram aumento nos teores do pigmento.

Considerando que os resultados da Figura 6 foram coletados no ano safra 2020-2021, a ausência da diferença significativa fica compreensível, pois ao observar a precipitação para o mesmo ano safra, as chuvas foram acima da média esperada para a região, excluindo-se a hipótese de estiagem, unificando o citado com a precocidade do experimento e, em função disso, o silicato de cálcio e magnésio e calcário não tiveram tempo hábil para reagir no solo; portanto, o apresentado na Figura 6 torna-se aceitável.

Na Figura 7 são apresentados valores de carotenóides, clorofila 'a', clorofila 'b' e clorofila total na cultura da soja, safra 2022-2023.

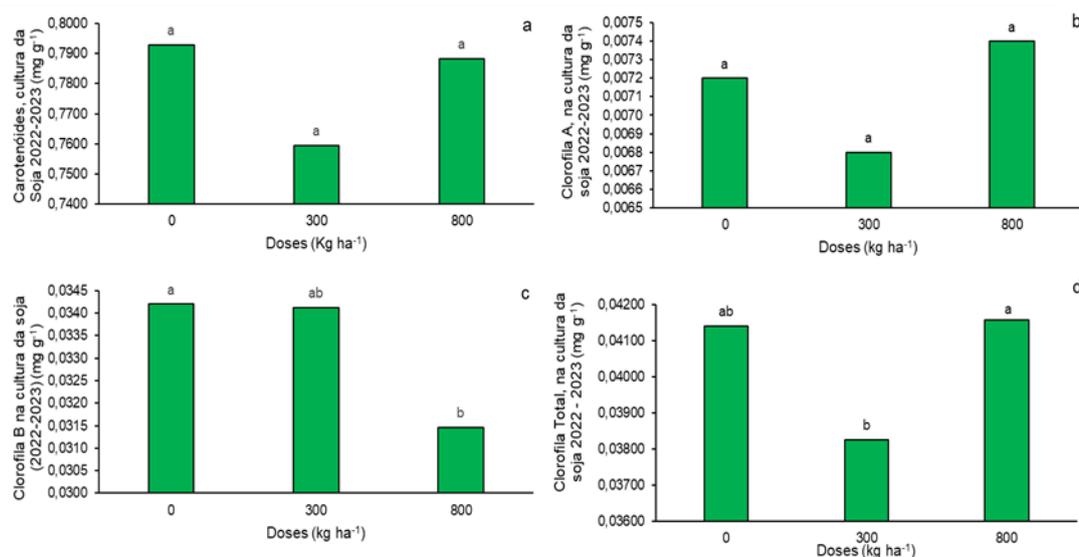


Figura 7 Resultados de carotenoides, clorofila 'a', clorofila 'b' e clorofila total na cultura da soja, safra 2022-2023.

* Médias seguidas de mesma letra, conforme o teste aplicado, não diferem entre si.

Porém, quando avaliadas as concentrações de clorofila 'b' da cultura da soja, Figura 7, na safra 2022-2023, observou-se que o teor do pigmento foi maior na testemunha do que no tratamento com calcário. Todavia, o tratamento com silicato não apresentou diferença significativa com relação à testemunha e o calcário. Singh et al. (2022) verificaram que os índices de clorofila 'b' aumentaram nas plantas sob estresse de salinidade, quando aplicado silício em plantas de trigo. Islam et al. (2023) também constaram acréscimo nos teores de clorofila em cultivares de tomate sob estresse de salinidade do solo, logo após aplicações de cálcio.

Situação semelhante ocorre com as clorofilas totais, em que a testemunha não diferiu estatisticamente do silicato e do calcário, mas quando comparados os dois últimos tratamentos, pode-se constatar que houve relativo aumento nos níveis de clorofila total com aplicação via solo de cálcio do que nas aplicações de silício. Estudos desenvolvidos por Wadas e Dębski (2022) verificaram que quando utilizado bioestimulante à base de silício, as plantas de batata sob estresse hídrico desempenharam aumento dos pigmentos fotossintéticos.

No entanto, Rachid, Bader e Al-Alawy (2020) observaram que os experimentos realizados com nanocálcio a 4 ml L⁻¹ na cultura da couve-flor obtiveram uma seletividade em sua ação afetando apenas os níveis de carotenoides, proporcionando incremento de 20% com relação ao tratamento controle. Contudo, a investigação dos autores não apresentou nível de significância quando pulverizado 2 ml L⁻¹ de nanocálcio para clorofila 'a', 'b', totais e carotenoides.

Por fim, concentrações de carotenoides e clorofila 'a' não apresentaram diferença significativa entre os tratamentos neste ano safra.

Na Figura 8 são apresentados os dados climáticos de precipitação (mm), temperaturas máxima, média e mínima ($^{\circ}\text{C}$), radiação solar (W m^2) e umidade relativa do ar (%), da estação meteorológica do Simepar, localizada em Cascavel, PR, distante do local do experimento em 46,8 km.

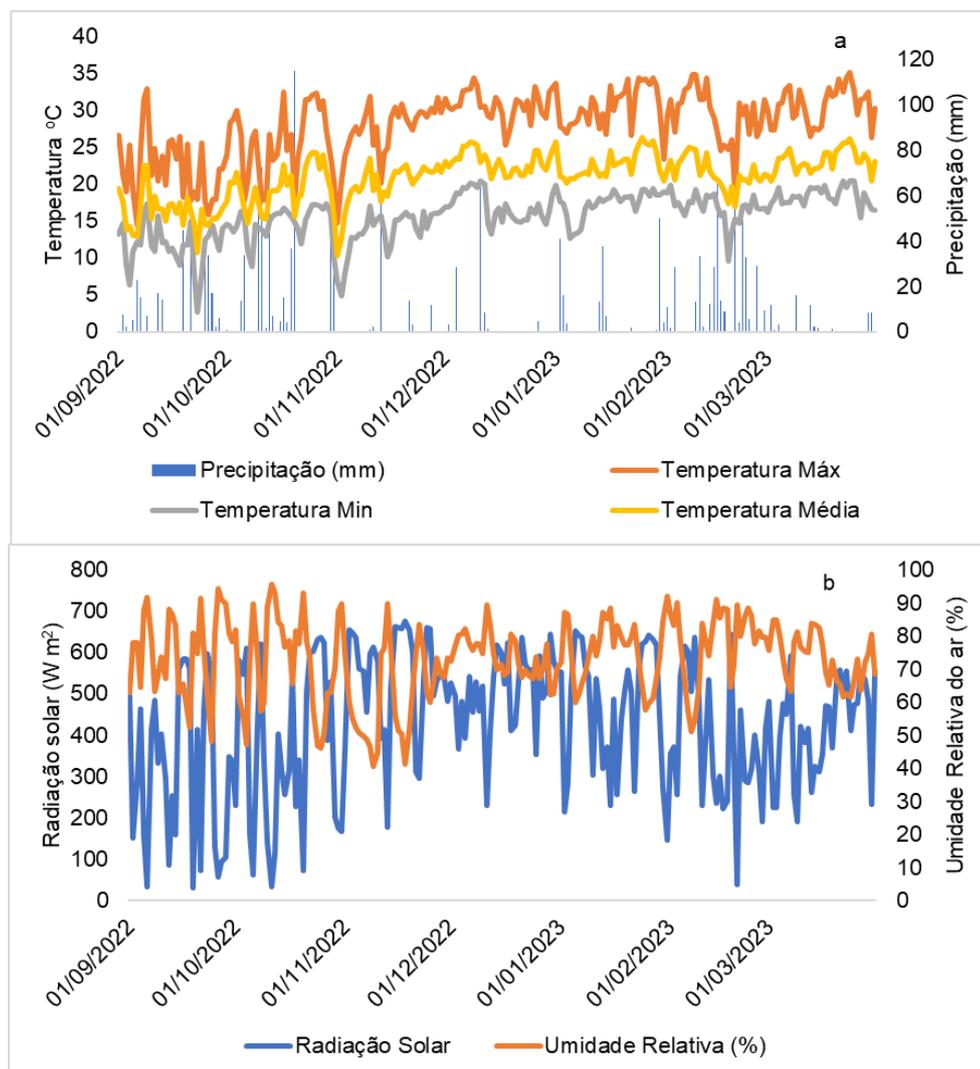


Figura 8 Resultados de precipitação (mm), temperaturas máxima, média e mínima ($^{\circ}\text{C}$); a) radiação solar (W m^2) e umidade relativa do ar (%); b) ao longo do ciclo do desenvolvimento da cultura da soja para a data 01/09/2022 até 30/03/2023.

Observa-se pela Figura 8 que a radiação solar entre novembro de 2022 e fevereiro de 2023 apresentou-se de forma não regular, mostrando-se com elevações no período.

Na Figura 9 são apresentados valores de clorofila 'a', clorofila 'b', clorofila total e carotenoides, na cultura do milho segunda safra 2023.

Pode-se constatar que os resultados não apresentaram diferença significativa, quando analisados por meio do teste de Tukey com 5 % de probabilidade. Todavia, os pesquisadores Kaleem et al. (2022) verificaram que plantas de milho sob estresse de cádmio, quando fornecido cálcio, foi percebido aumento significativo das concentrações dos pigmentos fotossintéticos. Isso ocorreu principalmente em mudas da cultura imersas em concentração de cádmio com $150 \mu\text{M}$, com aplicação de 10 mM de cálcio, refletindo em um aumento

percentual de 286,2; 266,0; 215,4 e 140,8% para clorofila 'a', clorofila 'b', carotenoides e clorofila total, respectivamente.

Saleem et al. (2022) também observaram que aplicações de silício (3 mM) via foliar aumentaram o conteúdo dos pigmentos fotossintéticos em 0,026, 0,034, 0,31 e 0,06% na cultivar de milho Sadaf e 0,03, 0,046, 0,42 e 0,08% na cultivar EV-20 para clorofila a, b, totais e carotenoides, respectivamente, nas plantas cultivadas em areia com teor tóxico de cádmio, quando comparadas às plantas cultivadas sem aplicação de silício.

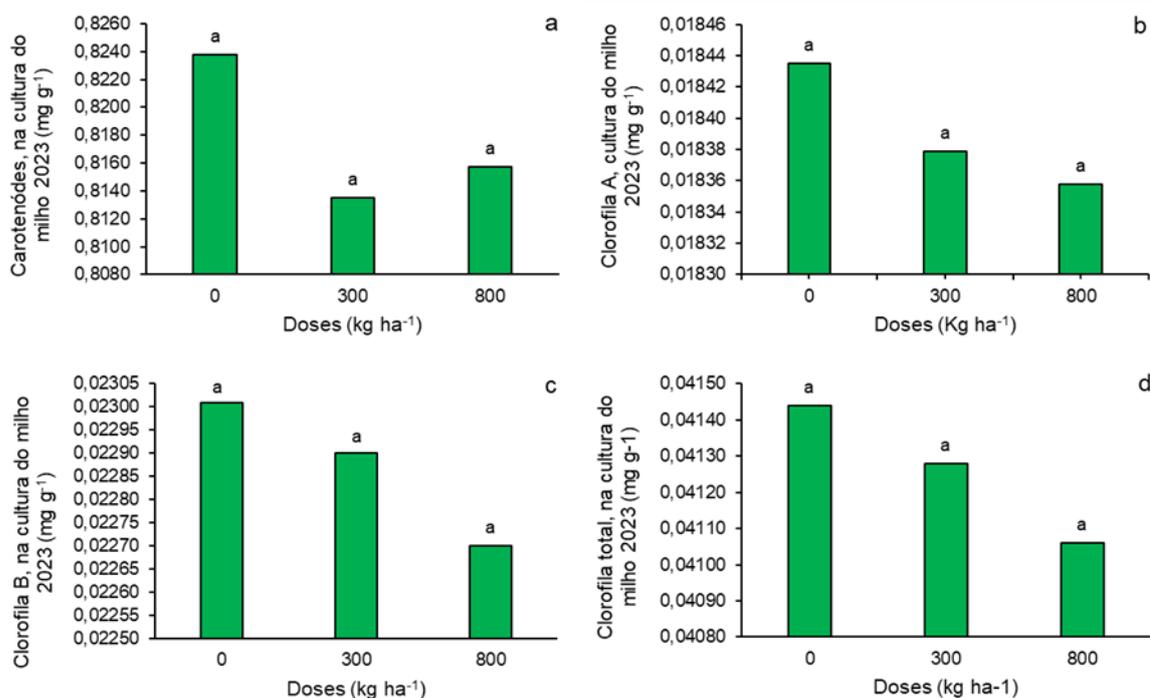


Figura 9 Resultados de carotenoides, clorofila 'a', clorofila 'b' e clorofila total na cultura do milho segunda safra 2023.

* As médias seguidas de mesma letra, conforme o teste aplicado, não diferem entre si.

1.3.3 Produtividade Agrícola

Na Tabela 3 são apresentados os valores médios dos resultados de produtividade na safra de trigo 2022 e no milho segunda safra 2023.

Os resultados de trigo demonstram que não houve diferença significativa entre os tratamentos. Contudo, representam bons rendimentos para o ano safra, embora ligeiramente abaixo da média nacional para o mesmo ano agrícola, que foi de 3135 kg ha⁻¹ (CONAB, 2023). Emran et al. (2024) observaram que os tratamentos na cultura do trigo foram satisfatórios: quando houve quatro aplicações de irrigação com 400 mg L⁻¹ de silicato (maior taxa de aplicação) ocorreram os valores mais altos tanto para o rendimento de grãos quanto para o índice de colheita.

Por sua vez, Ejigu et al. (2023) verificaram que aplicações de doses crescentes de calcário aumentaram significativamente o crescimento e o rendimento das plantas de trigo em

comparação com a testemunha. No entanto, os autores ainda constataram que as doses de calcário incorporadas ao longo da linha de semeadura garantiram maiores rendimentos da cultura em comparação às aplicações a lanço.

Tabela 3 Resultados da produtividade na safra de trigo de 2022 e no milho segunda safra de 2023

Tratamento	Trigo	Milho
	-----Kg ha ⁻¹ -----	
testemunha	2435,28a	9173,28a
silicato	2760,62a	8677,86a
calcário	2738,99a	8030,92a
MÉDIA	2644,96	8627,35
DMS	749,72	1258,38
CV (%)	24,07	12,39
PR>FC	0,49	0,10

Médias de tratamentos seguidas pelas mesmas letras na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância; DMS: diferença mínima significativa; CV: coeficiente de variação.

Os rendimentos de milho também não indicaram diferenças significativas entre os tratamentos estudados. Contudo, os resultados obtidos estão bem acima da média nacional, que para o mesmo ano foi de 5.947 kg ha⁻¹ (CONAB, 2023). Wakwoya, Woldeyohannis e Yimamu (2022) observaram que taxas diversas de aplicação de carbonato apresentaram diferença significativa com relação ao comprimento da espiga de milho, grão por espiga e peso de mil grãos. Resultados positivos foram encontrados por Alayafi et al. (2022) quando avaliaram os parâmetros da cultura do milho sob efeitos da salinidade. Com aplicação de 2 kg de silício encontraram valores com aumento significativo no rendimento de grãos de até 36,19 e 36,01%, bem como peso seco da espiga de até 27,12 e 27,05% na primeira e segunda safras da cultura, respectivamente.

As reais condições físicas de solo podem ter sido fator decisivo para que o silicato de cálcio não tenha revelado seu potencial de contribuição para melhorar a produtividade das culturas. Os resultados das propriedades físicas de solo comprovam o excelente manejo.

Na Figura 10 são apresentados os dados climáticos de precipitação (mm), temperaturas máxima, média e mínima (°C), radiação solar (W m²) e umidade relativa do ar (%), da estação meteorológica do Simepar, localizada em Cascavel, PR, distante do local do experimento em 46,8 km, na cultura do trigo, no período de 01 de abril de 2022 até 30 de setembro de 2022.

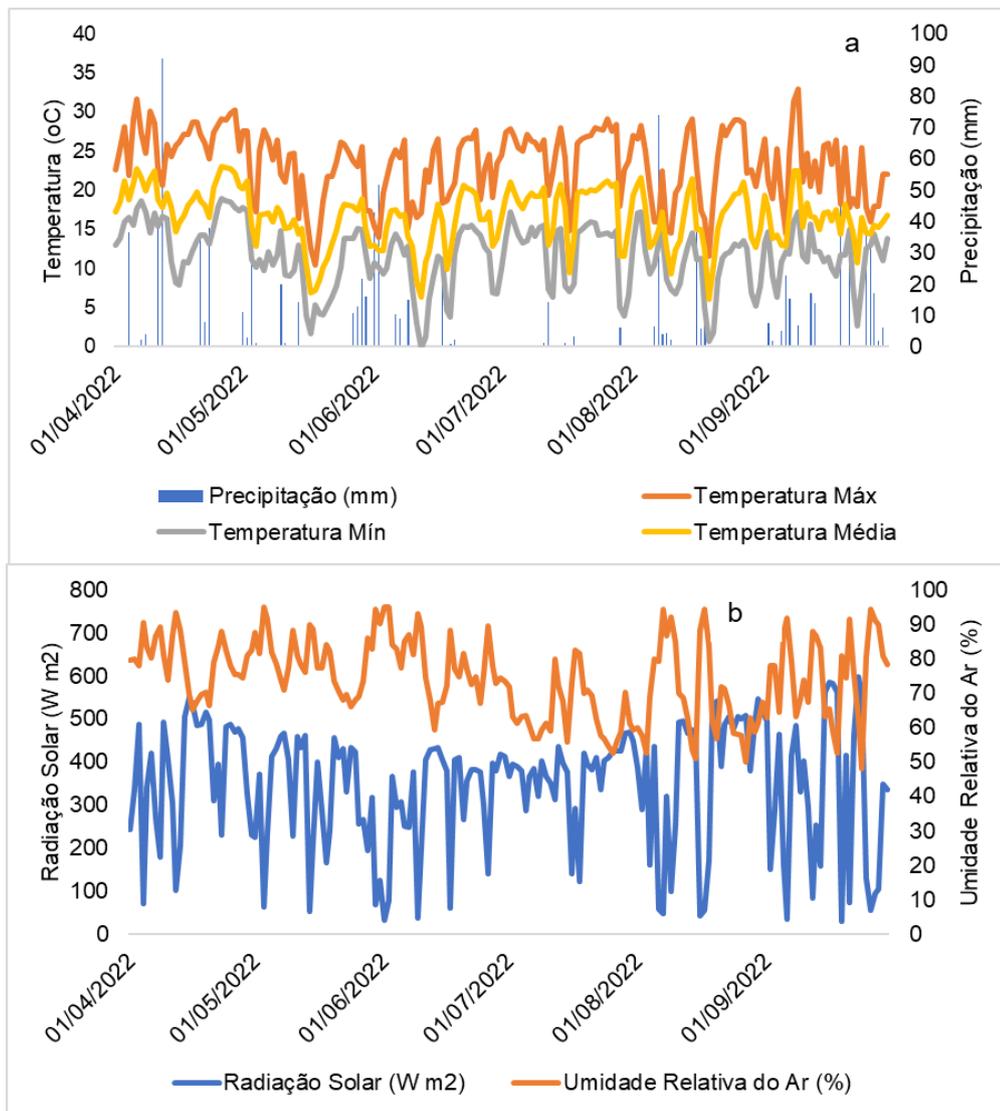


Figura 10 Resultados de precipitação (mm), temperaturas máxima, média e mínima (°C); a) radiação solar ($W m^2$) e umidade relativa do ar (%); b) ao longo do ciclo do desenvolvimento da cultura do trigo para a data 01/04/2022 até 01/09/2022.

Observa-se na Figura 10 que, quanto a precipitação, obteve-se ao longo do ciclo da cultura 1022 mm. Isso representa uma média mensal de chuvas maior do citado por Köppen (2019) para a região. Dessa forma, a condição de umidade de solo vai ao encontro com a produtividade apresentada na Tabela 3.

Avaliando-se temperatura, em especial a mínima, tem-se um maior período com temperaturas mais amenas para o mês de maio, período inicial da cultura, fato que vem a contribuir de forma benéfica para melhorar o perfilhamento da cultura, concordando também com a resposta de uniformidade na produtividade.

Na Figura 11 são apresentados os dados climáticos de precipitação (mm), temperaturas máxima, média e mínima (°C), radiação solar ($W m^2$) e umidade relativa do ar (%), da estação meteorológica do Simepar, localizada em Cascavel, PR, distante do local do experimento em 46,8 km, para a cultura do milho na segunda safra de 2023.

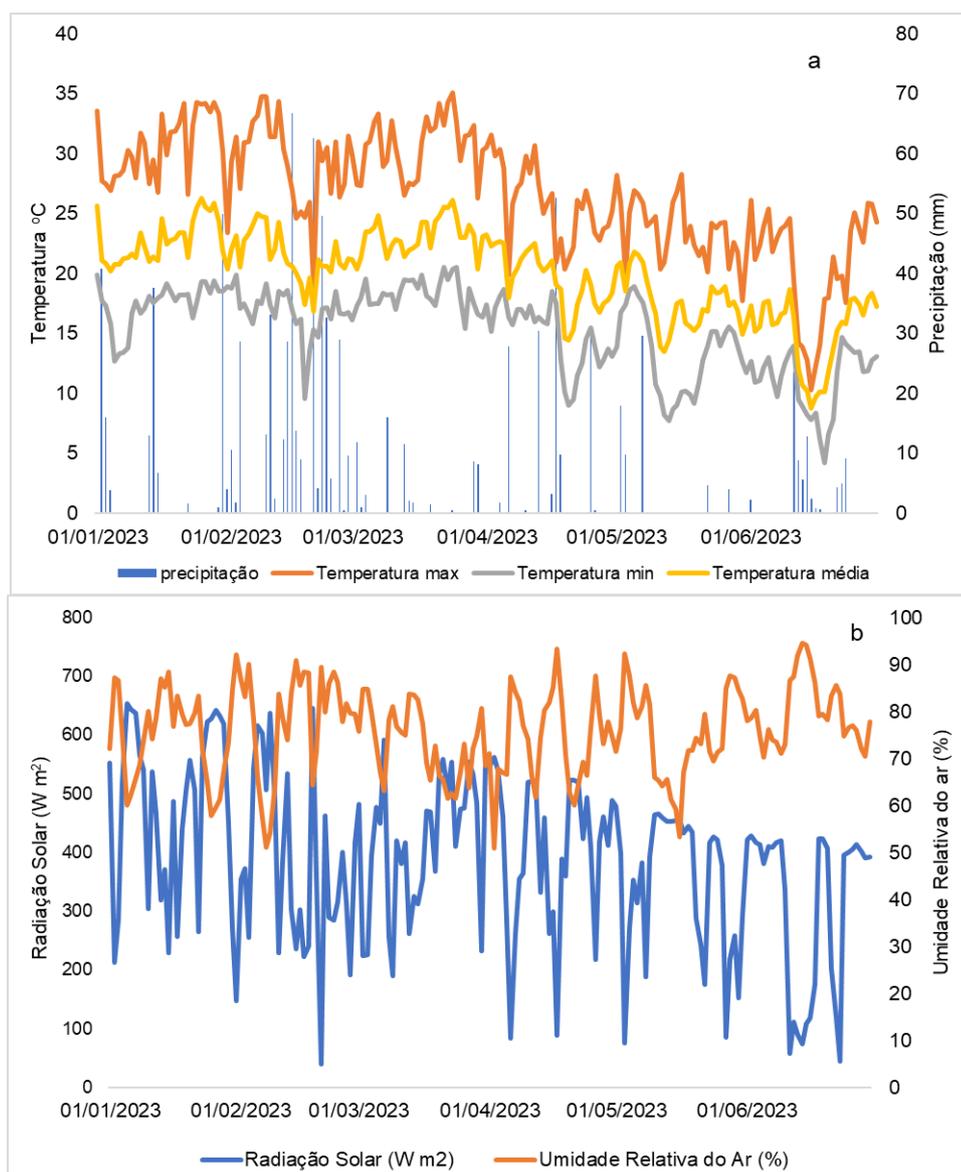


Figura 11 Resultados de precipitação (mm), temperaturas máxima, média e mínima (°C); a) radiação solar ($W m^2$) e umidade relativa do ar (%); b) ao longo do ciclo do desenvolvimento da cultura do milho para a data 01/01/2023 até 01/06/2023.

Avaliando-se a Figura 11, em especial precipitação, ao longo do ciclo houve um total de 954 mm, o que transformando para dados mensais obtém-se aproximadamente 159 mm mensais. Da mesma forma que para a cultura do trigo, esta média de precipitação está acima da média citada para a região.

As respostas das produtividades de trigo e milho tornam-se compreensíveis ao reunirem-se as informações do experimento: dados climatológicos mostrando ausência de veranicos, propriedades físicas de solo normais e concordando para condições ideais de solo muito argiloso, tratos culturais, híbrido de milho e cultivar de trigo, adaptadas para o local em estudo.

1.4 CONCLUSÃO

A pesquisa indica que a produtividade das culturas de trigo e milho não diferiram significativamente entre os tratamentos, não proporcionaram melhorias na densidade aparente, macroporosidade, microporosidade e porosidade total e que variáveis carotenóides, clorofila 'a', clorofila 'b' e clorofila total não apresentaram diferenças entre os tratamentos. Convém ressaltar que as propriedades físicas citadas, mesmo antecedendo o início do experimento, já se encontravam em condições ideais.

1.5 REFERÊNCIAS

ALAYAFI, A. H.; AL-SOLAIMANI, S. G. M.; EL-WAHED, M. H. A.; ALGHABARI, F. M.; SABAGH, A. E. Silicon supplementation enhances productivity, water use efficiency and salinity tolerance in maize. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, p. 953451, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.953451>.

BOSSOLANI, J. W.; CRUSCIOL, C. A. C.; PORTUGAL, J. R.; MORETTI, L. G.; GARCIA, A.; RODRIGUES, V. A.; FONSECA, M. C.; BERNART, L.; VILELA, R. G.; MENDONÇA, L. P.; REIS, A. R. Long-term liming improves soil fertility and soybean root growth, reflecting improvements in leaf gas nutrient and grain yield. **European Journal of Agronomy**, v. 128, p. 126308, 2021. DOI: [https://doi-org.ez89.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.eja.2021.126308](https://doi.org.ez89.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.eja.2021.126308).

BRONICK, C. J.; LAL, R. Soil structure and management: a review. **Geoderma**, v. 124, n. 1-2, p. 3-22, 2005. DOI: <https://doi-org.ez89.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.geoderma.2004.03.005>.

CASTRO, G. S. A.; CRUSCIOL, C. A. C.; ROSOLEM, C. A.; CALONEGO, J. C.; BRYE, K. R. Surface lime and silicate application and crop production system effects on physical characteristics of a Brazilian Oxisol. **Soil research**, v. 55, n. 8, p. 778-787, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1071/SR16247>.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. V.10 Safra 2022/2023, Setembro. Décimo segundo levantamento. Brasília, DF: Conab, 2023.

COSTA, C. H. M.; WANDER, M. M.; CRUSCIOL, A. C.; UGARTE, C.; RIGON, J. P. G.; SORATTO, R. P.; CALONEGO, J. C. Long-term effects of lime and phosphogypsum on soil carbon and nitrogen and physical nutrient under tropical no-till. **Soil Science Society of America Journal**, v. 85, n. 2, p. 328-339, 2021. DOI: [10.1002/saj2.20182](https://doi.org/10.1002/saj2.20182).

EJIGU, W.; SELASSIE, Y. G.; ELIAS, E.; MOLLA, E. Effect of lime rates and method of application on soil nutrient of acidic Luvisols and wheat (*Triticum aestivum*, L.) yields in nutrient Ethiopia. **Heliyon**, v. 9, n. 3, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13988>.

EL-BELTAGI, H. S.; ALI, M. R.; RAMADAN, K. M. A.; ANWAR, R.; SHALABY, T. A.; REZK, A. A.; EL-GANAINY, S. M.; MAHMOUD, S. F.; ALKAFIFY, M.; EL-MOGY, M. M. Exogenous postharvest application of calcium chloride and salicylic acid to maintain the quality of broccoli florets. **Plants**, v. 11, n. 11, p. 1513, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants11111513>.

EMAMI, H.; NEYSHABOURI, M. R.; SHORAF, M. Relationships between some soil quality indicators in nutrient agricultural soils from Varamin, Iran. **Journal of Agricultural Science and Technology**, v. 14, n. 4, p. 951-959, 2012. DOI: 20.1001.1.16807073.2012.14.4.16.2.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5 ed. rev. ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 355p.

EMRAN, M.; IBRAHIM, O. M.; WALI, A. M.; DARWISH, K. M.; ELDIN, R. M. B.; ALOMRAN, M. M.; EL-TAHAN, A. M. Assessing Soil Quality, Wheat Crop Yield, and Water Productivity under Condition of Deficit Irrigation. **Plants**, v. 13, n. 11, p. 1462, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants13111462>.

FERREIRA, D. F. **SISVAR – Sistema de análise de variância**. Versão 5.3 Lavras – MG: UFLA, 2010.

HUSSAIN, S.; MUMTAZ, M.; MANZOOR, S.; SHUXIAN, L.; AHMED, I.; SKALICKY, M.; BRESTIC, M.; RASTOGI, A.; ULHASSAN, Z.; SHAFIQ, I.; ALLAKHVERDIEV, S. I.; KHURSHID, H.; YANG, W.; LIU, W. Foliar application of silicon improves growth of soybean by enhancing carbon metabolism under shading conditions. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 159, p. 43-52, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.11.053>.

ISLAM, M. M.; JAHAN, K.; SEM, A.; URMI, T. A.; HAQUE, M. M.; ALI, H. M.; SIDDIQUI, M. H.; MURATA, Y. Exogenous application of calcium ameliorates salinity stress tolerance of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) and enhances fruit quality. **Antioxidants**, v. 12, n. 3, p. 558, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/antiox12030558>.

JING, T.; LI, J.; HE, Y.; SHANKAR, A.; SAXENA, A.; TIWARI, A.; MATURI, K. M.; SOLANKI, M. K.; SINGH, V.; EISSA, M. A.; DING, Z.; XIE, J.; AWASTHI, M. K. Role of calcium nutrition in plant Physiology: Advances in research and insights into acidic soil conditions – A comprehensive review. **Plant Physiology and Biochemistry**, p. 108602, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2024.108602>.

KALEEM, M.; SHABIR, F.; HUSSAIN, I.; HAMEED, M.; AHMAD, M. S. A.; MEHMOOD, A.; ASHFAQ, W.; RIAZ, S.; AFZAAL, Z.; MAQSOOD, M. F.; IQBAL, U.; SHAH, S. M. R.; IRSHAD, M. Alleviation of nutrient toxicity in *Zea mays* L. through up-regulation of growth, antioxidant defense system and organic osmolytes under calcium supplementation. **Plos one**, v. 17, n. 6, p. e0269162, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0269162>.

KIEHL, E. J. **Manual de Edafologia**: relações solo-planta. São Paulo: Ceres, 1979. 262p.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Mapa Mundial da Classificação Climática de Köppen-Geiger**. Disponível em: <http://koeppen-geiger.vu-wien.ac.at/present.htm>. Acesso em: 19 out. 2024.

LASKARI, M.; MENEXES, G.; KALFAS, I.; GATZOLIS, I.; DORDAS, C. Water stress effects on the morphological, physiological characteristics of maize (*Zea mays* L.), and on environmental cost. **Agronomy**, v. 12, n. 10, p. 2386, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy12102386>.

LI, R.; SUN, Y.; WANG, H.; WANG, H. Advances in understanding silicon transporter and the benefits to silicon-associated disease resistance in plants. **Applied Sciences**, v. 12, n. 7, p. 3282, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/app12073282>.

LÓPEZ, M. L. C.; MELGAR, L. A. A. S.; GONZÁLEZ, A. G.; MAZATÁN, G. C.; MENDOZA, E. M.; CABRERA, F. R.; RODRÍGUEZ, R. D. P. The benefits of adding calcium oxide nanoparticles to biocompatible polymeric coatings during cucumber fruits postharvest storage. **Scientia Horticulturae**, v. 287, p. 110285, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110285>.

MALIK, M. A.; WANI, A. H.; MIR, S. H.; REHMAN, I. U.I.; TAHIR, I.; AHMAD, P.; RASHID, I. Elucidating the role of silicon in drought stress tolerance in plants. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 165, p. 187-195, 2021. DOI: <https://doi-org.ez89.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.plaphy.2021.04.021>.

NAZIM, M.; LI, X.; ANJUM, S.; AHMAD, F.; ALI, M.; MUHAMMAD, M.; SHAHZAD, K.; LIN, L.; ZULFIQAR, U. Silicon Nanoparticles: A Novel Approach in Plant Physiology to Combat Drought Stress in Arid Environments. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, p. 103190, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2024.103190>.

NISAR, S.; IQBAL, M.; ASHRAF, J.; NAEEM, M.; AHMAD, Z.; AFZAL, M.; RAZA, A. Enhancing Salt Tolerance in Cotton by Improving its Morpho-physiological and Antioxidant Potential Through Foliar Applied Silicon. **Silicon**, v. 14, n. 17, p. 11243-11252, 2022.

NOMURA, H.; SHIINA, T. Calcium signaling in plant endosymbiotic organelles: mechanism and role in physiology. **Molecular plant**, v. 7, n. 7, p. 1094-1104, 2014. DOI: [10.1093/mp/ssu020](https://doi.org/10.1093/mp/ssu020).

POOVAIAH, B. W. Role of calcium in prolonging storage life of fruits and vegetables. **Journal of Food Technology**, v. 40, n. 5, 1986.

RACHID, A. F.; BADER, B. R.; AL-ALAWY, H. H. Effect of foliar application of humic acid and nanocalcium on some growth, production, and photosynthetic pigments of cauliflower (*Brassica oleracea* var. *Botrytis*) planted in calcareous soil. **Plant Archives**, v. 20, n. 1, p. 32-37, 2020.

SALEEM, M. H.; PARVEEN, A.; KHAN, S. U.; HUSSAIN, I.; WANG, X.; ALSHAYA, H.; EL-SHEIKH, M. A. ALI, S. Silicon Fertigation Regimes Attenuates Cadmium Toxicity and Phytoremediation Potential in Two Maize (*Zea mays* L.) Cultivars by Minimizing Its Uptake and Oxidative Stress. **Sustainability**, v. 14, n. 3, p. 1462, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/su14031462>.

SEIXAS, F.; SOUZA, C. R. Avaliação e efeito da compactação do solo, devido à frequência de tráfego, na produção de madeira de eucalipto. **Revista Árvore**, v. 31, p. 1047-1052, 2007.

SHABBIR, R.; JAVED, T.; HUSSAIN, S.; AHMAR, E.; NAZ, M.; ZAFAR, H.; PANDEY, S.; CHAUHAN, J.; SIDDIQUI, M. H.; PINGHUA, C. Calcium homeostasis and potential roles in combatting environmental stresses in plants. **South African Journal of Botany**, v. 148, p. 683-693, 2022. DOI: <https://doi-org.ez89.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.sajb.2022.05.038>.

SINGH, P.; KUMAR, V.; SHARMA, J.; SAINI, S.; SHARMA, P.; KUMAR, S.; SINHMAR, Y.; KUMAR, D.; SHARMA, A. Silicon Supplementation Alleviates the Salinity Stress in Wheat Plants by Enhancing the Plant Water Status, Photosynthetic Pigments, Proline Content and Antioxidant Enzyme Activities. **Plants**, v. 11, n. 19, p. 2525, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants11192525>.

SOWIŃSKA, K. A.; WOJCIECHOWSKI, W.; KRYGIER, M.; SOWIŃSKI, J. Effect of soil regenerative practice on selected soil physical properties and eggplant (*Solanum melongena* L.) yield. **Agronomy**, v. 12, n. 7, p. 1686, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy12071686>.

SU, Y.; YANG, H.; WU, Y.; GONG, W.; GUL, H.; YAN, Y.; YANG, W. Photosynthetic acclimation of shade-grown soybean seedlings to a high-light environment. **Plants**, v. 12, n. 12, p. 2324, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants12122324>.

TEIXEIRA, M. C. M. F.; BUZETTI, S.; ANDREOTTI, M.; ARF, O.; BENETT, C. G. S. Doses, fontes e épocas de aplicação de nitrogênio em trigo irrigado em plantio direto. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 45, p. 797-804, 2010.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solo**. Embrapa Solos-Livro técnico (INFOTECA-E), 2017.

THAKRAL, V.; BHAT, J. A.; KUMAR, N.; MYAKA, B.; SUDHAKARAN, S.; PATIL, G.; SONÁ, H.; SHIVARAJ, S. M.; DESHMUKH, R. Role of silicon under contrasting biotic and abiotic stress conditions provides benefits for climate smart cropping. **Environmental and Experimental Botany**, v. 189, p. 104545, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2021.104545>.

VIECELLI, C.A., STANGARLIN, J.R., KUHN, O.J., SCHWAN-ESTRADA, K.R.F. Indução de resistência em feijoeiro a mancha angular por extratos de micélio de *Pycnopus sanguineus*. **Summa Phytopathologica**, v. 36, n. 1, p. 73-80, 2010.

WADAS, W.; DEBSKI, H. Effect of silicon foliar application on the assimilation area and photosynthetic pigment contents of potato (*Solanum tuberosum* L.). **Applied Ecology & Environmental Research**, v. 20, n. 2, 2022. DOI: http://dx.doi.org/10.15666/aeer/2002_13691384.

WAKWOYA, M. B.; WOLDEYOHANNIS, W. H.; YIMAMU, F. K. Effects of minimum tillage and liming on maize (*Zea mays* L.) yield components and selected properties of acid soils in Assosa Zone, West Ethiopia. **Journal of Agriculture and Food Research**, v. 8, p. 100301, 2022. DOI: <https://doi-org.ez89.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.jafr.2022.100301>.

WANG, M.; WANG, R.; MUR, L. A. J.; RUAN, J.; SHEN, Q.; GUO, S. Functions of silicon in plant drought stress responses. **Horticulture Research**, v. 8, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41438-021-00681-1>.

XAVIER, A. A. O.; MERCADANTE, A. Z.; DOMINGOS, L. D.; VIOTTO, W. H. Desenvolvimento e validação de método espectrofotométrico para determinação de corante à base de luteína adicionado em iogurte desnatado. **Química Nova**, v. 35, n. 10, p. 2057-2062, 2012. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422012001000028>.

ZHANG, Y.; LIANG, Y.; ZHAO, X.; JIN, X.; HOU, L.; SHI, Y.; AHMED, G. J. Silicon Compensates Phosphorus Deficit-Induced Growth Inhibition by Improving Photosynthetic Capacity, Antioxidant Potential, and Nutrient Homeostasis in Tomato. **Agronomy**, v. 9, n. 11, p. 733, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy9110733>.

CAPÍTULO II

PARÂMETROS QUÍMICOS DO SOLO SUBMETIDOS A SILICATO DE CÁLCIO E MAGNÉSIO EM DIFERENTES CULTURAS ANUAIS EM LATOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRICO

Resumo: O silicato de cálcio e magnésio pode trazer melhorias no aumento do fósforo, elevação do pH e aumento da disponibilidade de cálcio. O trabalho tem por objetivo avaliar se a aplicação de silicato de cálcio e magnésio e calcário dolomítico proporcionaram melhorias nas propriedades químicas do solo, aumento nos índices de clorofila, carotenoides, teores de macronutrientes foliares e produtividade agrícola. O trabalho foi conduzido em uma área experimental no município de Céu Azul, PR, com as culturas de soja, trigo e híbrido de milho. O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado, com 3 tratamentos e 10 repetições, totalizando 30 unidades experimentais. Foram definidas as dosagens de 0, 300 e 800 kg ha⁻¹ para os tratamentos testemunha, silicato e calcário, respectivamente. Foram coletados em cada ponto, amostras de solo, para determinação de matéria orgânica (MO), fósforo (P), pH em CaCl₂, SMP, H + Al, potássio (k), cálcio (Ca), magnésio (Mg), soma de bases (SB) e Saturação de bases (V%). Avaliou-se o teor de macronutriente nas folhas, nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (k), nas culturas de milho e soja. Realizou-se a quantificação dos teores de clorofilas e carotenoides das variedades de soja safra 2020/2021 e 2022/2023 e no híbrido de milho segunda safra 2023, bem como a verificação dos índices de produtividade. As médias foram submetidas ao teste de Tukey com 5% de significância. As propriedades químicas de solo fósforo (P), pH em CaCl₂ e SMP apresentaram maiores valores para o ano 2022. No entanto, avaliando propriedades químicas para os três tratamentos, SMP apresentou o maior valor para a testemunha. As variáveis carotenóides, clorofila 'a', clorofila 'b' e clorofila total não apresentaram diferenças entre os tratamentos nos anos de 2020/2021 na cultura da soja e cultura de milho, safra 2023. Na cultura da soja, na safra 2022/2023, o tratamento calcário apresentou menor valor de clorofila 'b', enquanto carotenoides, clorofila 'a' e clorofila total apresentaram menor valor para o silicato. Para os macronutrientes foliares, o potássio no milho se apresentou com maior valor, no tratamento silicato. Para os valores de produtividade nas culturas trigo e milho, não mostrou resultado significativo e não revelou incremento para os tratamentos silicato e calcário.

Palavras-chave: Fertilidade de solo, produtividade agrícola, remineralizador de solo.

2.1 Introdução

O Brasil é um dos principais produtores e exportadores de produtos agrícolas a nível mundial, principalmente com relação à produção de soja (*Glycine max*), milho (*Zea mays L.*) e trigo (*Triticum aestivum*) (Garbelini et al., 2022). Na busca por resultados econômicos, o País apresenta grande relevância na pesquisa por sistemas de produção de grãos, os quais auxiliem e facilitem a tomada de decisão dos agricultores (Volsi et al., 2022). De acordo com CONAB (2023), as médias nacionais de produtividade foram de 3229, 5414 e 2942 kg ha⁻¹ para as culturas de soja, milho e trigo, respectivamente. Todas as culturas apresentaram reduções de médias nas produtividades quando comparadas ao ano safra anterior.

Para a cultura de soja, o encurtamento de ciclo devido às altas temperaturas foi o principal motivo. Na cultura do milho, ocorreram temperaturas elevadas associadas ao déficit hídrico e também excesso de chuva durante as fases iniciais da cultura, dificultando as aplicações de inseticidas contra o ataque da cigarrinha *Dalbulus maidis*, que provocou complexos de enfezamento. Para o trigo, ocorreu redução de área plantada, devido a frustração de safra anterior.

Todavia, os recursos do solo são limitados, e para isso torna-se necessário verificar a correção da acidez do solo e o aumento do rendimento das culturas (Ghisman et al., 2022). O esgotamento e a baixa eficiência na utilização dos nutrientes são desafios para melhorar a produtividade agrícola (Agegnehu et al., 2023). Diante disso, o desenvolvimento de práticas de gestão alternativas para aliviar a acidificação do solo e manter a produtividade das culturas a longo prazo faz-se importante para alcançar uma agricultura mais sustentável (Li et al., 2019).

Aplicações à base de calcário são uma das alternativas eficiente para promover a redução da acidificação dos solos, bem como a neutralização do alumínio trocável (Nolla et al., 2020), pois este promove a correção gradual do perfil do solo e, quando associado com gesso agrícola ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), proporciona melhoria das propriedades químicas do solo (Minato et al., 2023). Já nas plantas, o cálcio liberado pela aplicação de calcário está envolvido em quase todos os aspectos de desenvolvimento, participando de muitos processos regulatórios, formando facilmente complexos com membranas, ácidos orgânicos e proteínas (Kudla; Batistic; Hashimoto, 2010).

No entanto, doses excessivas de calcário aumentam significativamente a saturação de bases para 70 e 80%, reduzindo, então, os teores de fósforo e potássio (Nolla et al., 2020). Por este motivo, aplicações silicatadas surgem como opção para a manutenção dos solos, pois melhoram as funções do ecossistema deste, além de liberar silício, elemento benéfico para o cultivo das plantas (Amoakwah et al., 2023).

Assim, observa-se a importância do cálcio e silicato na melhoria das propriedades químicas, físicas e biológicas do solo para o desenvolvimento das culturas. Deste modo, este

estudo teve como objetivo verificar a capacidade do silicato de cálcio e magnésio em aumentar a fertilidade de um solo argiloso vermelho e melhorar a sanidade das culturas de milho, soja e trigo em comparação ao calcário dolomítico.

2.2 Material e métodos

2.2.1 Caracterização da área experimental

O trabalho foi conduzido em uma propriedade agrícola comercial com 15 hectares, no município de Céu Azul, Paraná, localizado na região Oeste do Estado, sob as coordenadas geográficas centrais de 25°7'5.75" S 53°49'18.61" O, com altitude de 663 metros. O clima da região, de acordo com a classificação de Köppen, é do tipo Cfa, clima subtropical úmido, com temperaturas médias anuais variando de 19,5 a 20,1 °C, sendo pouco frequente a incidência de geadas. A precipitação pluviométrica total anual varia de 1550 a 1650 mm ano⁻¹ (Köppen, 2019).

O solo da área de estudo foi classificado como Latossolo Vermelho Distroférico típico (LVdf) de textura argilosa (EMBRAPA, 2018). Esta área tem um histórico de cultivo para fins comerciais com plantio direto há aproximadamente 15 anos, com as culturas soja, milho, trigo e aveia. As amostras de solo foram conduzidas até o campus da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) de Pato Branco, PR, com o objetivo de obter resultados granulométricos apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 Granulometria do solo da área experimental realizada em três pontos na camada 0 - 0,20 m

Pontos	Granulometria		
	areia -----	Argila g kg ⁻¹	silte -----
Testemunha	52,0	780,0	168
Silicato	42,0	800,0	157
Calcário	63,0	800,0	137
Média	52,3	793,3	154

Com o auxílio do programa Qgis 3.4 foram delimitadas as faixas de semeadura para cada tratamento: testemunha, silicato de cálcio e calcário. Logo em seguida, foi realizado o sorteio aleatoriamente de 30 pontos amostrais, conforme esquema experimental da Figura 1.

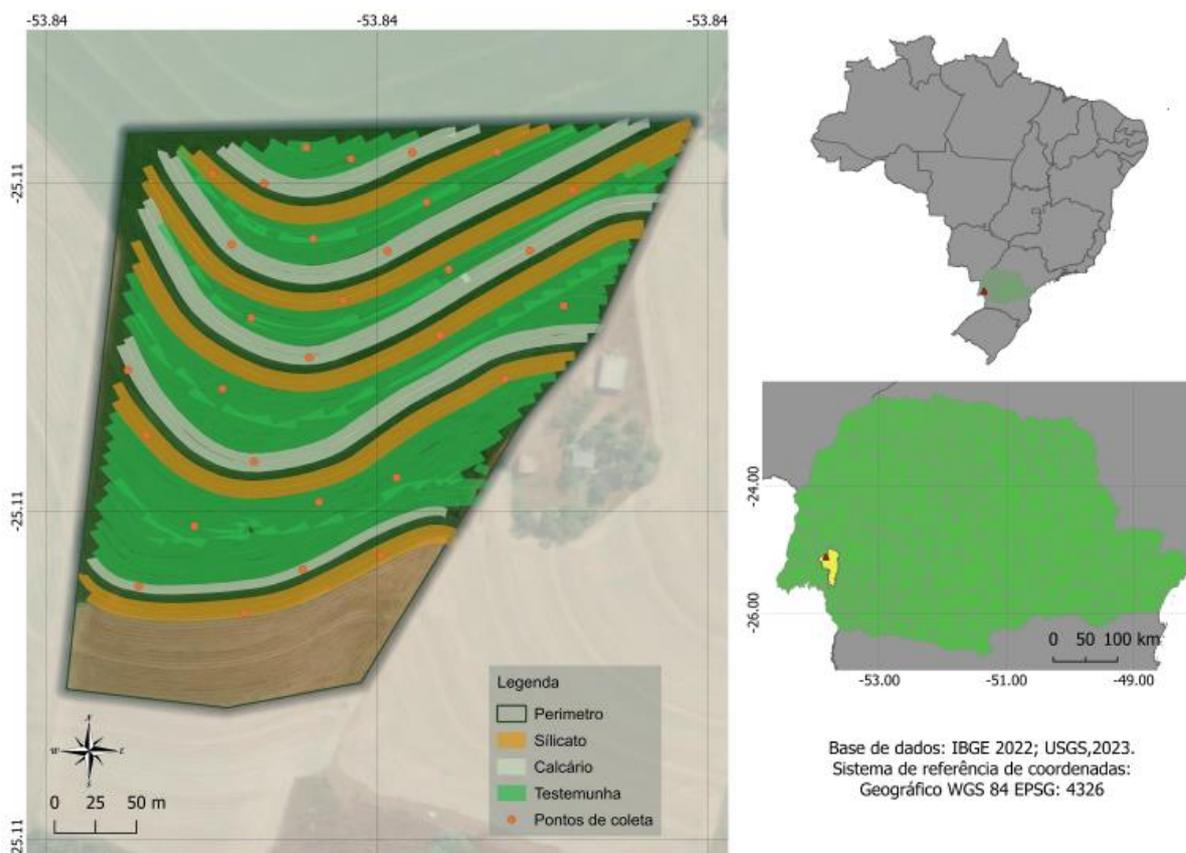


Figura 1 Esquema experimental com as faixas de semeadura e aleatoriedade de pontos amostrais para cada tratamento.

2.2.2 Delineamento experimental e tratamentos utilizado

No delineamento experimental foram aplicados três tratamentos: o tratamento 1 é a testemunha sem a aplicação de Calcário ou Silicato, o tratamento 2 é a aplicação de Silicato de cálcio e magnésio a uma dosagem de 300 kg ha^{-1} , e o tratamento 3 é o Calcário Dolomítico na dose de 800 kg ha^{-1} . Para cada tratamento existiam 10 repetições, totalizando 30 pontos coletados. A composição química dos corretivos utilizados segue na Tabela 2. O Calcário e o Silicato foram aplicados na superfície das faixas a lanço, por intermédio de um distribuidor Hércules 7000 Stara.

Tabela 2 Composição química dos corretivos utilizados

	SiO ₂	Ca	Mg
Calcário dolomítico	-	25%	17%
Silicato	9%	9%	2%

Fonte: Silifértil Ambiental LTDA.

2.2.3 Coleta de solo

Para quantificar os nutrientes presentes no solo, as amostras foram coletadas de forma manual com trado holandês, em dois momentos: no ano de 2020 e no ano 2022, ambas as

coletas antecedendo o plantio da cultura de verão. Realizou-se coleta de solo em triplicatas na camada 0 - 0,20 m, nos 30 pontos, distribuídos aleatoriamente. As amostras de solo foram conduzidas até o campus da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) de Pato Branco, PR. Foram determinados: matéria orgânica, fósforo (P), potássio (K), pH, SMP, hidrogênio mais alumínio, cálcio (Ca), magnésio (Mg), soma de bases (SB) e saturação de bases (V%) (Tedesco et al., 1995).

2.2.4 Semeadura na cultura da soja 2022/2023

Para a safra 2022/2023, o plantio de soja ocorreu em 10 de outubro de 2022 com a cultivar Brasmax Zeus IPRO e adubação de 124 kg ha⁻¹ de MAP (10 52 00) e 103,3 kg ha⁻¹ de KCl. O espaçamento entrelinhas utilizado foi de 0,7 m e profundidade de plantio de 0,04 m. Distribuíram-se 18 sementes por metro linear na linha de plantio.

Os tratos culturais utilizados seguiram recomendação comercial, com 3 aplicações de fungicida e 3 aplicações de inseticida para as culturas de milho e soja.

2.2.5 Semeadura na cultura do milho segunda safra 2023

A semeadura do milho na segunda safra 2023 foi nos dias 27 e 28 de fevereiro de 2023, com a cultivar Ag 9000, com e adubação de 413 kg ha⁻¹ do formulado 10-15-15 e 165 kg ha⁻¹ de ureia. O espaçamento utilizado na entrelinha foi de 0,7 m e profundidade de plantio 0,04 m. A população de plantas distribuídas foi de 4,8 sementes por metro linear.

Os tratos culturais seguiram recomendação comercial de acordo com a necessidade da cultura, três aplicações de inseticida e três aplicações de fungicida.

2.2.6 Diagnose foliar das culturas

Para quantificar os nutrientes presentes nas folhas também foram coletadas amostras em dois momentos: na cultura da soja ano 2022/2023 e na cultura do milho 2023. Nas fases de florescimento das culturas, para o caso da soja, foi coletado o terceiro trifólio e seu pecíolo do ápice para base das plantas, por concentrar um maior teor de clorofila e carotenoides, em um total de 30 trifólios no estágio fenológico R1 (Tabela 3), em cada um dos pontos. Nas plantas de milho (Tabela 4) foi coletado o terço central de 30 folhas na base da espiga, no estágio fenológico de pendoamento (VT), em cada ponto amostral.

Tabela 3 Estádios vegetativos e reprodutivos do desenvolvimento da soja

Estádios vegetativos	Estádios reprodutivos
VE - Emergência	R ₁ - Início do florescimento
VC - Cotilédone	R ₂ - Pleno florescimento
V ₁ - Primeiro nó	R ₃ - Início da formação de vagem
V ₂ - Segundo nó	R ₄ - Plena formação de vagem
V ₃ - Terceiro nó	R ₅ - Início de enchimento das sementes
*	R ₆ - Pleno enchimento da vagem
*	R ₇ - Início da maturação
V (n) - enésimo nó	R ₈ - Maturação plena

Fonte: Adaptado de Fehr e Caviness (1977).



Figura 2 Coleta das amostras para análise foliar no estágio de pendoamento (VT): a) folha da base da espiga; b) terço central da folha.

Tabela 4 Estádios vegetativos e reprodutivos da planta de milho

Vegetativos	Reprodutivos
VE, emergência	R1, Embonecamento
V1, 1ª folha desenvolvida	R2, Bolha d'água
V2, 2ª folha desenvolvida	R3, Leitoso
V3, 3ª folha desenvolvida	R4, Pastoso
V4, 4ª folha desenvolvida	R5, Formação do dente
V(n), nª folha desenvolvida	R6, Maturidade Fisiológica
VT, pendoamento	

Fonte: Embrapa (2006).

As folhas de milho e soja foram secadas à sombra e conduzidas ao Laboratório de Química Agrícola, da UNIOESTE, campus de Marechal Cândido Rondon, PR. Estas amostras foram acondicionadas em embalagens de papel e levadas para estufa a 60 °C. Após isso, realizou-se a moagem destas, a fim de se determinar a quantidade dos nutrientes: nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K), por meio do método de digestão nítrico-perclórica, conforme a metodologia de Malavolta et al. (1997).

2.2.7 Clorofila e Carotenóides

Arnon (1949), adaptada por Viecelli et al. (2010), sugere metodologia para quantificar os teores de clorofila e carotenóides. Utiliza-se 0,1 g de tecido vegetal pesado em balança de precisão (1 mg). Para extrair os teores de clorofila 'a', 'b', totais e carotenóides (mg g⁻¹) da parte foliar das culturas, o tecido vegetal foi acondicionado em recipiente de vidro com 10 mL de acetona a 80%, por sete dias. Cumprido esse período, foi realizada a leitura em um

espectrofotômetro a 663, 645 e 450 nm para clorofila 'a' e 'b' (Equação 1) e carotenóides (Equação 2), respectivamente, sendo que para o último foi utilizada a lei de Lambert (1870) e Beer (1852), metodologia descrita por Xavier et al. (2012):

$$\begin{aligned} C_a &= (0,0127 * A_{663}) - (0,00269 * A_{645}) \\ C_b &= (0,0229 * A_{645}) - (0,00468 * A_{663}) \\ CT &= C_a + C_b \end{aligned} \quad \text{Eq.(1)}$$

Em que:

Ca - concentração de clorofila a (mg g^{-1});

Cb - concentração de Clorofila b (mg g^{-1});

A663 - Absorbância da amostra no comprimento de onda 663 nm;

A645 - Absorbância da amostra no comprimento de onda 645 nm;

CT - Concentração de clorofila total (mg g^{-1}).

$$C = \frac{A \times 10^4}{E_{1\text{cm}}^{1\%}} \quad \text{Eq.(2)}$$

Logo,

C (mg g^{-1}) - Concentração de carotenóides totais (expressa como caroteno);

A - Absorbância do extrato a uma onda de 450 nm;

$E_{1\text{cm}}^{1\%}$ - Coeficiente de absorvidade do caroteno, que corresponde a 2592.

O número de amostra coletadas foram de 30 pontos, dez repetições para cada tratamento, testemunha, silicato e calcário.

2.2.8 Produtividade de grãos

Para a coleta de dados da produtividade final na cultura do trigo, foram colhidas de forma manual em cada ponto amostral e, na maturidade fisiológica, 3 linhas, espaçadas de 17 cm, com comprimento de 5 m (totalizando 2,55 m^2). A cultura foi armazenada em sacos de papel identificados, conduzidas até o IDR (Instituto de Desenvolvimento Rural do Estado do Paraná), onde foram trilhadas.

Para a produtividade de milho e trigo também recorreu-se ao método de colheita manual descrito por Teixeira et al. (2010); todavia, a trilhagem do milho ocorreu em um debulhador manual de marca Botini – Figura 5. A cultura do trigo foi conduzida até o Instituto de Desenvolvimento Rural do Estado do Paraná (IDR) e debulhada com o auxílio de uma colhedora motorizada de marca Wintersteiger. Ao final de cada debulha, nas diferentes safras anuais foi verificada a massa dos grãos, por meio de balança digital. A umidade dos grãos foi corrigida para 13% para as duas culturas, trigo e milho.

2.2.9 Análise estatística

Os dados coletados foram submetidos a análise de variância (ANOVA), aplicando-se o teste de Tukey para identificar as diferenças entre médias de tratamentos ao nível de 5% de significância ($p < 0,05$), por meio do SISVAR (Ferreira, 2010), em delineamento inteiramente casualizado (DIC).

2.3 Resultados e Discussão

Na Tabela 5 são apresentados os valores médios dos resultados das propriedades químicas de solos ano 2020/2022.

A matéria orgânica, hidrogênio + alumínio (H+ Al), potássio (K), Cálcio (Ca), magnésio (Mg), soma de bases (SB) e saturação de bases (V%) não apresentaram diferença significativa a 5% de probabilidade por meio de teste de Tukey.

Para o nutriente fósforo (P) observa-se se que este diferiu significativamente, apresentando maior valor para o ano de 2022 (40,94 mg dm⁻³). Toledo et al. (2023), em seu experimento realizado em Palmeira de Góias, GO, concluíram que a aplicação de silicato de cálcio e magnésio (CaSiO₃ e MgSiO₃) proporcionou incremento nas características agronômicas na cultura do milho, principalmente pelo aumento significativo do teor de fósforo.

Segundo Klotzbücher et al. (2020), Alam et al. (2022), El Leboudi et al. (2022) e Ghosh et al. (2023), é possível compreender o porquê que os compostos silicatados contribuem para a liberação de fósforo no solo: o que ocorre é que ânions de fósforo (PO₄⁻³) e silicato (SiO₄⁻³) competem pelos mesmos sítios de adsorção. Lima Filho (2009) concluiu que o aumento da disponibilidade de fósforo (P) no solo acontece devido ao deslocamento de P adsorvido na superfície dos sesquióxidos.

Ainda na Tabela 5, torna-se relevante correlacionar três componentes dos resultados químicos para o ano 2022, pH 6,32, saturação de bases (V%) 71,83 e fósforo (P) 40,94. Observa-se que a correção de solo com calcário e/ou silicato de cálcio e magnésio elevou o valor de pH, inclusive revelando resposta significativa ao nível de 5% de significância do ano 2020 para 2022, que elevou o valor de saturação por bases, proporcionando um solo ainda mais eutrófico e aumento expressivo no valor de fósforo, que também diferiu estatisticamente do ano 2020 para 2022. O descrito acima corrobora com resultados encontrados por Rosa, Caponi e Zanão (2016), que em seu experimento conduzido em vasos para a mesma condição de solo, Latossolo Vermelho Distroférico, solos com baixa fertilidade e alto teor de argila, comprovaram que a elevação do pH aumenta a disponibilidade fósforo, proporcionando maior disponibilidade deste macronutriente para a solução do solo, melhorando a absorção pelas

plantas e relatando que a faixa ideal de pH CaCl_2 para a maior disponibilidade do P é de 6,0 a 6,5.

A adição de CaSiO_3 e MgSiO_3 também traz benefícios indiretos, melhorando as características produtivas das plantas. Entre os benefícios indiretos, ressalta-se a redução de elementos como Na, Fe, Mn e Al, reduzindo a toxicidade na solução do solo, a correção da acidez do solo, elevação do pH, que está visível na Tabela 5 para os valores de pH e SMP, onde além dos benefícios químicos, também somam-se outros que oferecem resistência às plantas contra estresses bióticos (pragas e doenças) e abióticos (estresse hídrico) (Freitas et al., 2015; Almeida et al., 2017).

Moraes et al. (2018) em condição de solo diferente da observada no Oeste do Paraná, em experimento com Latossolo Vermelho Amarelo distrófico, estado de Goiás, com altitude aproximada de 850 m, verificaram que o silicato de cálcio e magnésio reduziram a acidez do solo e aumentaram a disponibilidade de cálcio (Ca), magnésio (Mg) e silício (Si) no solo, concordando com o relatado na Tabela 5, onde pH e SMP revelaram acréscimo em seus valores.

Na Tabela 6 são apresentados os valores médios dos resultados das propriedades químicas de solos para os tratamentos testemunha, silicato e calcário.

Observa-se que matéria orgânica (MO), fósforo (P), potássio (k), pH em CaCl_2 , hidrogênio mais alumínio (H+Al), cálcio (Ca), magnésio (Mg), soma de bases (SB) e saturação de bases (V) não diferiram significativamente ao teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Para o valor de SMP, observa-se diferença significativa ao nível de 5% entre os três tratamentos. Porém, o valor de SMP foi de 6,62 para o tratamento testemunha e 6,43 para o tratamento calcário, não diferindo entre si estatisticamente. Para o silicato e calcário os resultados também foram iguais estatisticamente, 6,38 e 6,43, respectivamente. Para avaliar SMP, tomou-se com referência o valor de pH, e observa-se 6,01; 5,8 e 5,81 para os tratamentos testemunha, silicato e calcário, não diferindo estatisticamente. Para as culturas anuais, o pH ideal situa-se entre 5,5 e 6,5 (CQFS-RS/SC 2016), ou seja, para os 3 tratamentos o pH está no nível ideal.

Tabela 5 Resultados das propriedades químicas de solos ano 2020/2022

ANO	MO g dm ⁻³	P mg dm ⁻³	pH CaCl ₂	SMP	H +Al	----- cmolc dm ⁻³ -----				V %
						K	Ca	Mg	SB	
2020	35,10a	24,78b	5,42b	6,39b	3,37a	0,74a	5,76a	2,19a	8,76a	70,20a
2022	37,18a	40,94a	6,32a	6,57a	3,76a	0,82a	5,86a	2,31a	9,01a	71,83a
CV(%)	19,12	37,42	7,75	4,46	21,07	54,46	18,85	28,11	18,0	9,44
MÉDIA	36,14	32,86	5,87	6,48	3,57	0,78	5,81	2,25	8,89	71,06
DMS	3,78	6,73	0,25	0,158	0,41	0,23	0,60	0,35	0,88	3,67
PR>FC (ANO)	0,27	0,00	0,00	0,035	0,066	0,51	0,73	0,48	0,56	0,40
PR>FC(ano*prod)	0,67	0,62	0,31	0,72	0,82	0,78	0,35	0,48	0,42	0,60

MO - Matéria orgânica; P - fósforo; K - potássio; pH - potencial hidrogeniônico; pH - pH em SMP; H + Al - hidrogênio + alumínio; Ca - cálcio; Mg - magnésio; SB - somas das bases; V - saturação de bases. Médias de tratamentos seguidas pelas mesmas letras na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância; DMS - diferença mínima significativa; CV - coeficiente de variação.

Tabela 6 Resultados das propriedades químicas de solos em diferentes tratamentos

PRODUTO	MO g dm ⁻³	P mg dm ⁻³	K	pH CaCl ₂	SMP	----- cmolc dm ⁻³ -----				V %
						H+Al	Ca	Mg	SB	
Testemunha	37,08a	34,04a	0,82a	6,01a	6,62a	3,23a	6,32a	2,24a	9,38a	73,96a
Silicato	36,19a	29,13a	0,77a	5,80a	6,38b	3,65a	5,49a	2,24a	8,50a	68,80a
Calcário	35,14a	35,42a	0,74a	5,81a	6,43ab	3,82a	5,61a	2,27a	8,78a	70,42a
DMS	5,57	9,92	0,34	0,37	0,24	0,61	0,88	0,51	1,3	5,41
PR>FC (ANO)	0,70	0,28	0,85	0,29	0,047	0,064	0,061	0,99	0,26	0,07

MO - Matéria orgânica; P - fósforo; K - potássio; pH - potencial hidrogeniônico; pH - pH em SMP; H + Al - hidrogênio + alumínio; Ca - cálcio; Mg - magnésio; SB - somas das bases; V - saturação de bases. Médias de tratamentos seguidas pelas mesmas letras na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância; DMS - diferença mínima significativa; CV - coeficiente de variação.

Pelo resultado da Tabela 6, visualiza-se que as demais propriedades químicas avaliadas, com exceção do SMP, não revelam diferença significativa. Diante do resultado, pode-se afirmar que a produtividade das culturas não vai mostrar diferença significativa, pois além do pH de solo estar na faixa ideal, os três tratamentos se apresentam altamente eutróficos, com valores de 73,96; 68,80 e 70,42%, para testemunha, silicato e calcário, respectivamente. A real condição de fertilidade de solo difere dos valores médios para o estado do Paraná pois, segundo EMBRAPA (2018), são, em geral, solos fortemente ácidos, com baixa saturação por bases, distróficos ou alumínicos.

Na Tabela 7 são apresentados os teores médios dos resultados dos macronutrientes foliares, nas culturas de milho e soja.

Tabela 7 Resultados dos teores de macronutrientes foliares, nitrogênio, fósforo e potássio nas culturas de milho e soja

Tratamento	N mi	P mi	K mi	N so	P so	K so
	g kg ⁻¹					
Testemunha	28,93a	2,76a	28,83b	50,77a	3,12a	24,06a
Silicato	29,51a	2,93a	31,32a	48,41a	3,55a	25,31a
Calcário	29,67a	2,85a	9,82ab	47,23a	2,94a	24,58a
MÉDIA	29,37	2,85	29,99	48,80	3,20	24,65
DMS	2,07	0,18	2,15	4,10	1,12	2,33
CV (%)	5,99	5,40	6,08	7,13	29,67	8,02
PR>FC	0,65	0,07	0,03	0,11	0,40	0,41

N mi - nitrogênio no milho; P mi - fósforo no milho; K mi - potássio no milho; N so - nitrogênio na soja; P so - fósforo na soja; K so - potássio na soja. Médias de tratamentos seguidas pelas mesmas letras na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância; DMS - diferença mínima significativa; CV - coeficiente de variação.

Observa-se que nitrogênio (N) e fósforo (P) na cultura do milho e nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) na cultura da soja não diferiram de forma significativa ao nível de 5% de significância.

Para o nutriente potássio na cultura do milho, este diferiu de forma significativa ao nível de 0,05 de significância, apresentando 31,32 g kg⁻¹, sendo maior no tratamento com silicato. Miranda et al. (2018), em experimento instalado na Bahia, campus de Vitória da Conquista, em Latossolo Amarelo Distrófico típico textura argilosa, altitude de 923 m, utilizando Agrosilício via solo de forma parcelada, este revelou-se favorável para algumas características agrônômicas, entre elas comprimento e diâmetro de espiga, contudo não influenciou significativamente a produtividade. Observaram-se variações nas características agrônômicas da cultura do milho, consequência do uso do silício, mas não o suficiente para alterar de forma significativa a produtividade. Com isso, os pesquisadores concluem que são necessários estudos mais aprofundados sobre o efeito desse elemento na cultura do milho. O resultado encontrado por Miranda et al. (2018) é bastante similar ao resultado mostrado na Tabela 7, pois o teor de potássio na folha de milho supera os demais nutrientes, mas não interferiu na produtividade da cultura – Tabela 8.

Mesmo que o incremento de potássio na folha não tenha resultado em produtividade, convém ressaltar que o elemento químico tem função primordial na fotossíntese, ativando a rubisco e na abertura dos estômatos (Sousa et al., 2010), o que possivelmente garante à cultura maior resistência em uma condição de estresse hídrico, que não foi a condição do experimento.

Na Figura 3 são apresentados carotenóides, clorofila 'a', clorofila 'b' e clorofila total na cultura da soja, safra 2020-2021.

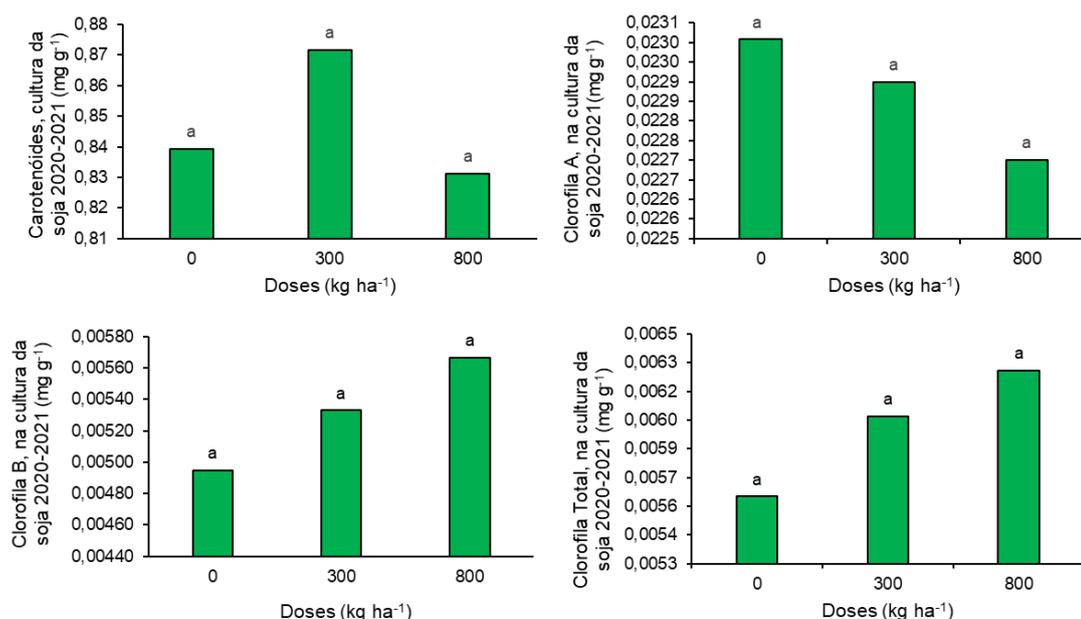


Figura 3 Resultados de carotenóides, clorofila 'a', clorofila 'b' e clorofila total na cultura da soja, safra 2020-2021.

Observa-se que carotenóides, clorofila 'a', clorofila 'b' e clorofilas totais não diferiram estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 0,05 de significância. Bossolani et al. (2021) encontraram resultados que foram de encontro ao experimento, pois os autores relatam aumento nas concentrações dos pigmentos conforme se aumentou aplicação de calcário, isso porque as raízes das plantas se desenvolveram e se distribuíram melhor no perfil de solo, aumentando a extração de água e nutrientes, em especial cálcio e magnésio.

Similar à pesquisa de Bossolani et al. (2021), Hussain et al. (2021) também observaram acréscimo nos valores de clorofila para cultivares de soja, quando aplicado silício via foliar em condições normais de luz e sombra, constatado em monocultura e em consórcio. No entanto, quanto aos níveis de carotenóides não apresentaram diferença significativa com silício em monocultura, mas em cultivo consorciado os pigmentos de carotenóides apresentaram aumento nos seus teores.

Considerando que os resultados da Figura 3 foram coletados no ano safra 2020-2021, a similaridade estatística fica compreensível, pois ao observar a precipitação para o mesmo ano safra, as chuvas foram acima da média esperada para a região, excluindo-se a hipótese

de estiagem. Somando-se o citado e observando-se a Tabela 5 para o ano 2020, que caracteriza as propriedades químicas de solo antes da implantação do experimento, fica claro o bom manejo químico de solo praticado pelo proprietário da área em estudo. O fósforo do solo com valor de $24,78 \text{ mg dm}^{-3}$, acima do valor médio CQFS-RS/SC (2016), pH em CaCl_2 5,42, muito próximo da faixa ideal, pois segundo a mesma Comissão supracitada, para as culturas anuais, o pH ideal situa-se entre 5,5 e 6,5, em especial para a cultura da soja o pH é de 6,0. A saturação de bases 70,20%, indicando solo eutrófico, sendo que SBCS/NEPAR (2019) recomenda que a saturação de bases para a cultura da soja deve ser de no mínimo 60%. Agregando todas essas informações com a precocidade do experimento, devido a isso o silicato de cálcio e magnésio e calcário não tiveram tempo hábil para reagir no solo, o apresentado na Figura 3 torna-se aceitável.

Na Figura 4 são apresentados carotenóides, clorofila 'a', clorofila 'b' e clorofila total na cultura da soja, safra 2022-2023.

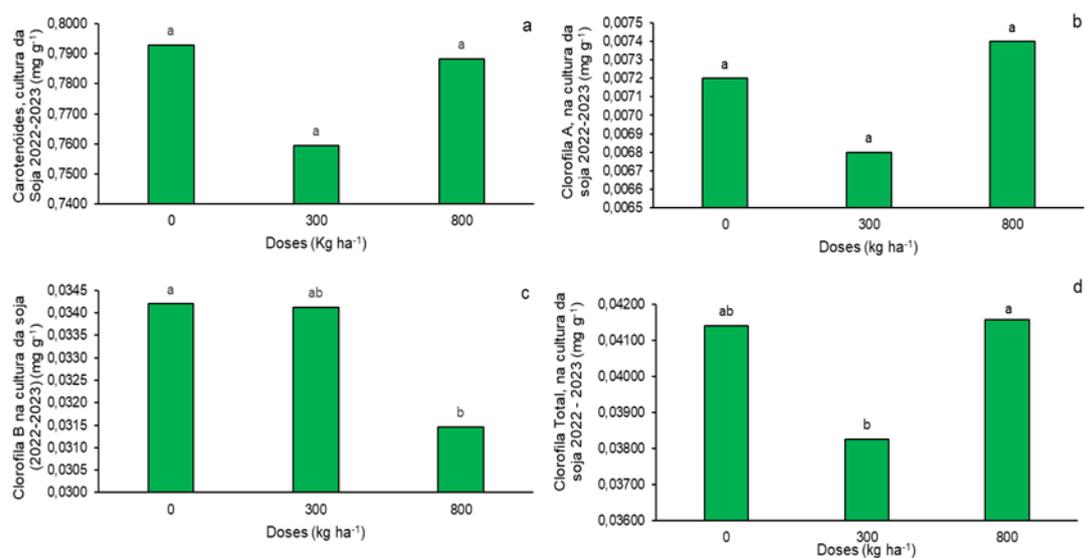


Figura 4 Resultados de carotenóides, clorofila 'a', clorofila 'b' e clorofila total na cultura da soja, safra 2022-2023.

Observa-se que carotenóides e clorofila 'a' não apresentaram diferença significativa entre os tratamentos. Porém, ao observar as concentrações de clorofila 'b' na cultura da soja, safra 2022-2023, visualiza-se que o teor do pigmento foi maior na testemunha do que no tratamento com calcário. O tratamento com silicato não apresentou diferença significativa com relação à testemunha e ao calcário. Singh et al. (2022) verificaram que os índices de clorofila b aumentaram nas plantas sob estresse de salinidade, quando aplicado silício em plantas de trigo. Islam et al. (2023) também constaram um acréscimo nos teores de clorofila em cultivares de tomate sob estresse de salinidade de solo, logo após aplicações de cálcio.

Situação semelhante ocorre com as clorofilas totais, em que a testemunha não diferiu estatisticamente do silicato e do calcário, mas quando comparados os dois últimos tratamentos, pode-se constatar que houve relativo aumento nos níveis de clorofila total com

aplicação via solo de cálcio do que nas aplicações de silício. Estudos desenvolvidos por Wadas e Dębski (2022) verificaram que quando utilizado bioestimulante à base de silício, as plantas de batata sob estresse hídrico desempenharam aumento dos pigmentos fotossintéticos.

No entanto, Rachid, Bader e Al-Alawy (2020) observaram que os experimentos realizados com nanocálcio a 4 ml L^{-1} na cultura da couve-flor obtiveram uma seletividade em sua ação, afetando apenas os níveis de carotenoides, proporcionando incremento de 20% com relação ao tratamento controle. Contudo, a investigação dos autores não apresentou nível de significância quando pulverizado 2 ml L^{-1} de nanocálcio para clorofila 'a', 'b', totais e carotenoides.

Na Figura 5 são apresentados os dados climáticos de precipitação (mm), temperaturas máxima, média e mínima ($^{\circ}\text{C}$), radiação solar (W m^2) e umidade relativa do ar (%), da estação meteorológica do Simepar, localizada em Cascavel, PR, distante do local do experimento em 46,8 km, durante o ciclo da cultura da soja ano safra 2022-2023.

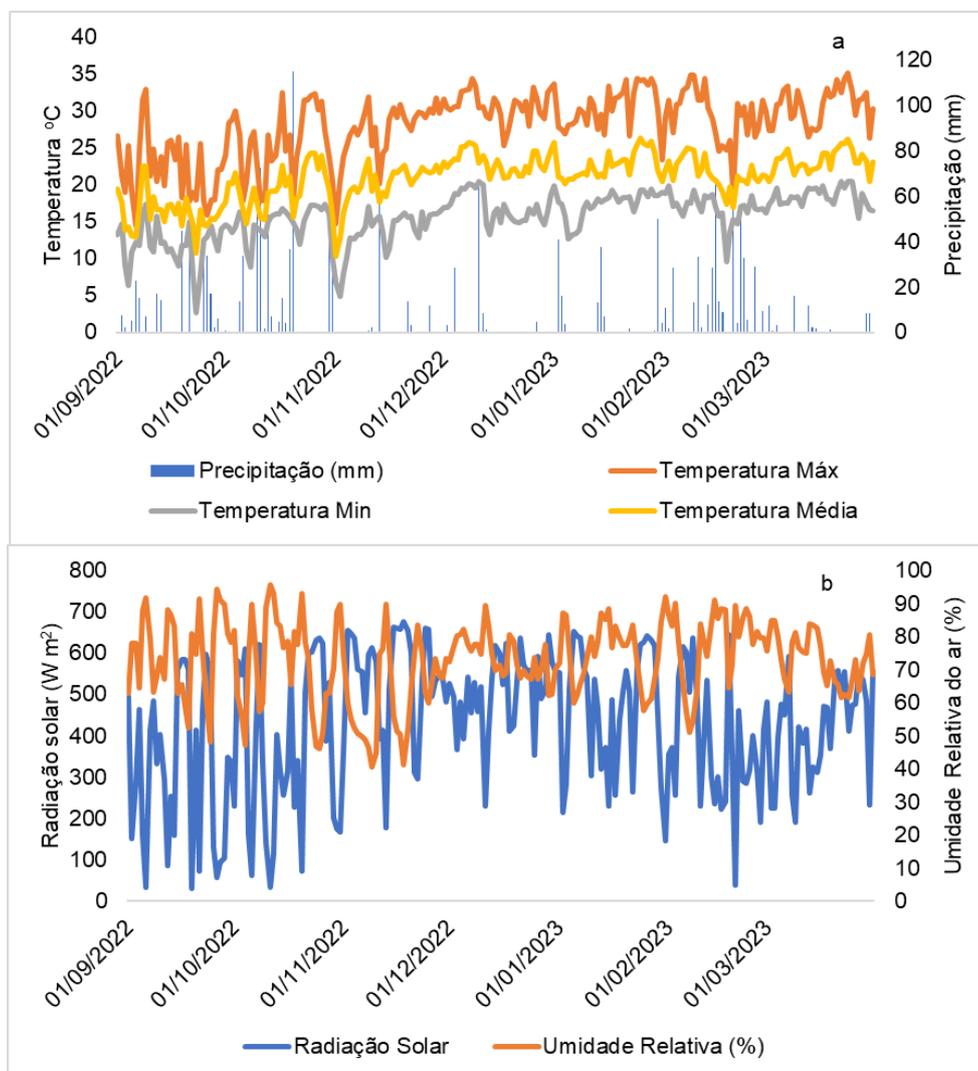


Figura 5 Resultados de precipitação (mm), temperaturas máxima, média e mínima ($^{\circ}\text{C}$); (a), radiação solar (W m^2) e umidade relativa do ar (%); b) ao longo do ciclo do desenvolvimento da cultura da soja para a data 01/09/2022 até 30/03/2023.

Observa-se que para o ciclo da cultura da soja, a precipitação foi bem acima do mínimo exigido para a leguminosa. Esta necessita valores pluviométricos entre 550 e 700 mm/ciclo, sendo que a precipitação foi de 1623 mm. A temperatura média foi de aproximadamente 21 °C.

Na Figura 6 são apresentados carotenóides, clorofila 'a', clorofila 'b' e clorofila total na cultura do milho segunda safra 2023.

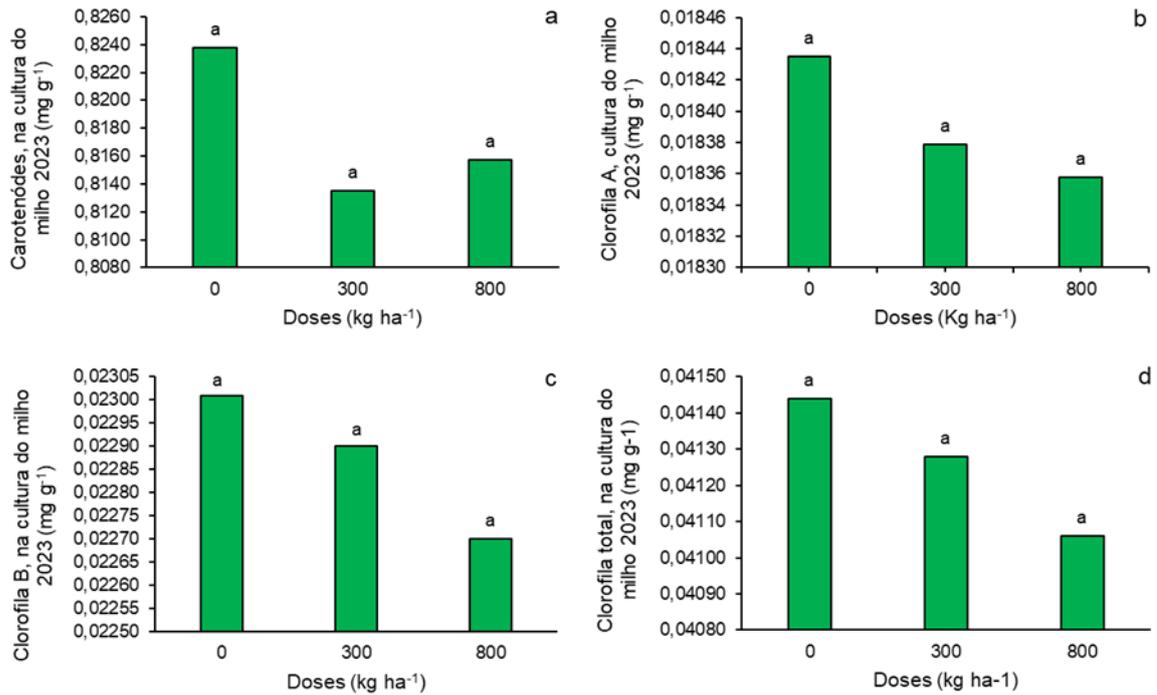


Figura 6 Resultados de carotenóides, clorofila 'a', clorofila 'b' e clorofila total na cultura do milho segunda safra 2023.

Observa-se pela Figura 6 que os resultados de carotenóides, Clorofila 'a', Clorofila 'b' e clorofila total não diferiram entre si, estatisticamente pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de significância. No entanto Tessmann et al. (2015), em seu experimento com pimentão em casa de vegetação na Universidade Federal de Pelotas, no município de Capão do Leão, RS, testou cinco doses de silício via foliar na fase de floração e constatou aumento linear na quantidade de clorofila à medida que se aumentou a dosagem de silício nas folhas. As folhas de pimentão sem aplicação de silício apresentaram índice de clorofila de 26,45, porém as plantas em cujas folhas foi aplicado silício nas doses 3, 4, 5 e 6 mL L⁻¹ alcançaram índices de 27,26; 35,91; 41,59 e 42,39, respectivamente. Além disso, foi observado acréscimo linear das variáveis massa seca de folhas (MSF), massa seca de caule (MSC) e massa seca total (MST).

A Figura 6, já no ano 2023, é reflexo de todo o histórico de manejo de solo, físico e químico e ainda condições de precipitações com ausência de estiagem. Solo bem manejado fisicamente conforme comprovado na Tabela 2 do Capítulo I, densidade aparente, porosidade total, macro e micro poros de solos, concordando com valores ideais para solo muito argiloso.

Propriedades químicas de solo revelando correção e adubação de solo de forma gradual, resultando em equilíbrio entre componentes químicos de solo. Diante do exposto, mesmo para o ano 2023, três anos após início do experimento, os carotenóides, clorofila 'a', 'b' e clorofila total não apresentaram diferenças estatísticas.

Na Figura 7 são apresentados os dados climáticos de precipitação (mm), temperaturas máxima, média e mínima ($^{\circ}\text{C}$), radiação solar (W m^2) e umidade relativa do ar (%), da estação meteorológica do Simepar, localizada em Cascavel, PR, distante do local do experimento em 46,8 km, durante o ciclo da cultura do trigo na data de 01/04 a 30/09/2022.

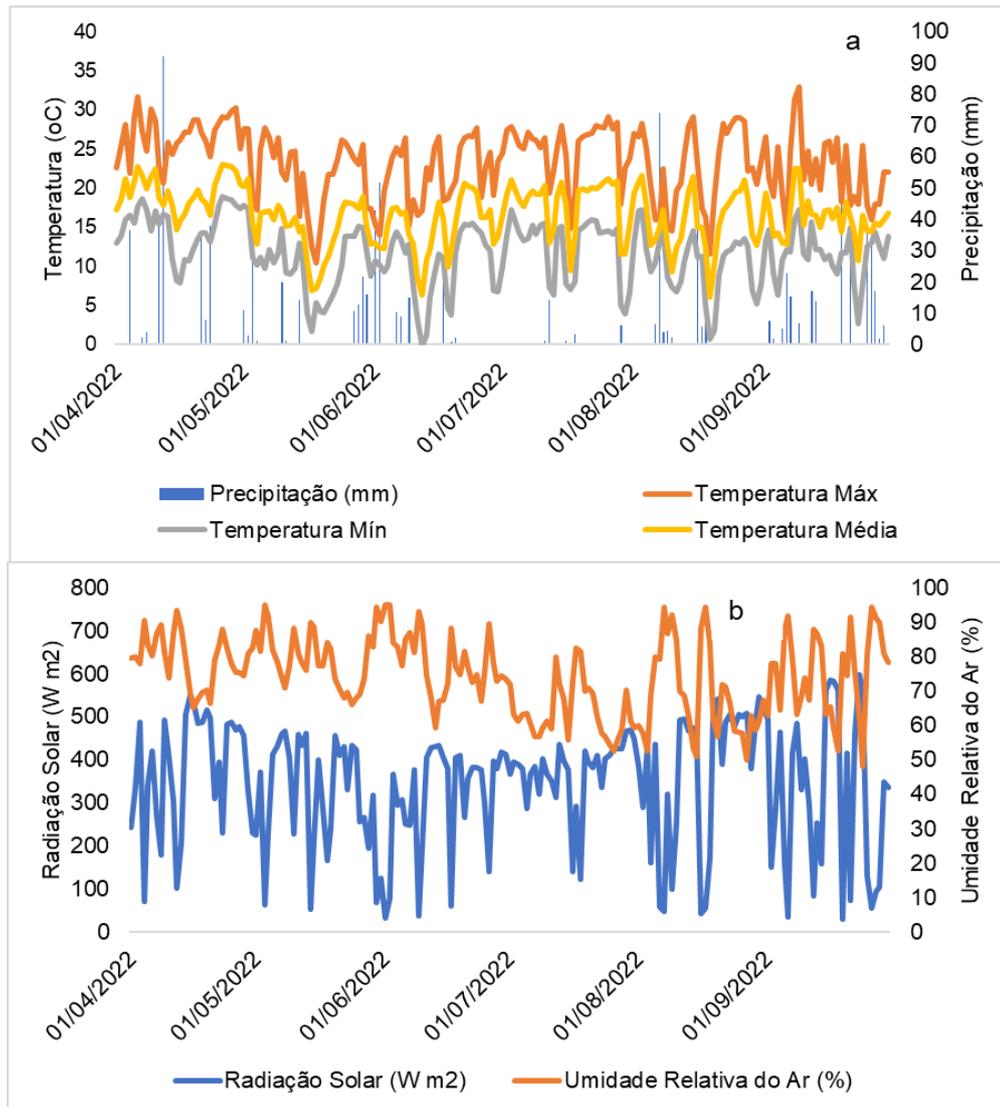


Figura 7 Resultados de precipitação (mm), temperaturas máxima, média e mínima ($^{\circ}\text{C}$); (a), radiação solar (W m^2) e umidade relativa do ar (%); (b) ao longo do ciclo do desenvolvimento da cultura do trigo para a data 01/04/2022 até 30/09/2022.

Observa-se na Figura 7a que os índices pluviométricos ficaram acima da média do município. Durante o ciclo da cultura os valores foram de 1022 mm, o equivalente a 170 mm a cada mês. Para o mês de maio, os dados indicam menores temperaturas por vários dias consecutivos, favorecendo o perfilhamento da cultura, também contribuindo

significativamente para a produtividade. As temperaturas máxima, média e mínima não permitiram incidência de geadas na fase reprodutiva da cultura. Na Figura 7b observa-se uniformidade na radiação solar e umidade relativa do ar.

Na Figura 8 são apresentados os dados climáticos de precipitação (mm), temperaturas máxima, média e mínima ($^{\circ}\text{C}$), radiação solar (W m^2) e umidade relativa do ar (%), da estação meteorológica do Simepar, localizada em Cascavel, PR, distante do local do experimento em 46,8 km, durante o ciclo da cultura do milho na data de 01/01 a 30/06/2023.

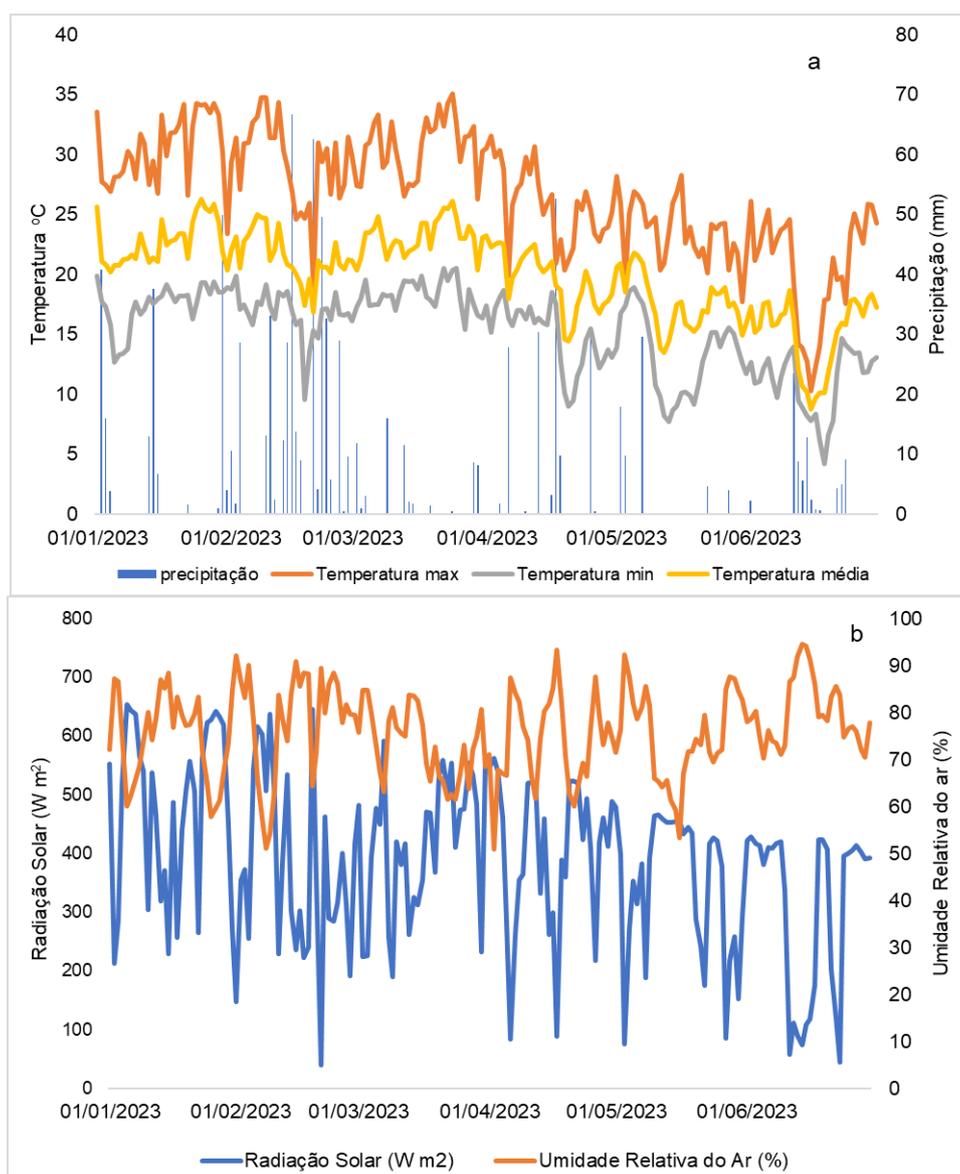


Figura 8 Resultados de precipitação (mm), temperaturas máxima, média e mínima ($^{\circ}\text{C}$); (a), radiação solar (W m^2) e umidade relativa do ar (%); b) ao longo do ciclo do desenvolvimento da cultura do milho para a data 01/01/2023 até 30/06/2023.

Observa-se, na Figura 8a, que a precipitação durante o período que a cultura do milho esteve instalada apresentou condição similar à cultura do trigo, onde a média mensal foi de 159 mm, acima da média do município, permitindo quantidade suficiente de água no solo para diluir nutrientes minerais e, a partir disso, ser adsorvido pelas raízes de plantas. A temperatura

média foi de 19 °C, e temperaturas mínima, média e máxima não permitiram a ocorrência de geadas, contribuindo para a produtividade e a qualidade dos grãos. A radiação solar e a umidade relativa do ar apresentaram oscilações; ainda assim, mantiveram-se bons índices de produtividade.

Na Tabela 8 são apresentados os teores médios dos resultados de produtividade na safra de trigo 2022 e milho segunda safra 2023.

Tabela 8 Resultados da produtividade na safra de trigo de 2022 e no milho segunda safra de 2023

Tratamento	Trigo		Milho	
	-----Kg ha ⁻¹ -----			
Testemunha	2435,28a		9173,28a	
Silicato	2760,62a		8677,86a	
calcário	2738,99a		8030,92a	
MÉDIA	2644,96		8627,35	
DMS	749,72		1258,38	
CV (%)	24,07		12,39	
PR>FC	0,49		0,10	

Médias de tratamentos seguidas pelas mesmas letras na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância; DMS - diferença mínima significativa; CV - coeficiente de variação.

Os resultados de produtividade de grãos de trigo e milho indicaram que não houve diferença significativa entre os tratamentos utilizados em relação à testemunha; sendo assim, não houve resposta em produtividade das culturas estudadas.

As respostas das produtividades de trigo e milho tornam-se compreensíveis ao reunirem-se todas as informações do experimento: dados climatológicos mostrando ausência de veranicos, propriedades físicas de solo normais e concordando para condições ideais de solo muito argiloso, propriedades químicas de solo revelando equilíbrio entre si. Unificando-se o citado, tornam-se compreensíveis as respostas de produtividade.

O estudo da eficiência agrônômica quanto à utilização de silicatos de cálcio e magnésio ainda é jovem. Torna-se necessário um estudo continuado, com o objetivo de analisar o efeito do silicato nas diferentes culturas. Cabe ressaltar que o experimento foi instalado em condições de solo de alta fertilidade, com saturação de bases elevada, de 68,8% para o tratamento de silicato e acima de 70% nos tratamentos de testemunha e calcário, ou seja, solos eutróficos.

As reais condições de fertilidade de solo podem ter sido fator decisivo para que o silicato de cálcio não tenha revelado seu potencial de contribuição para melhorar a produtividade das culturas. O experimento foi instalado em condições contrárias da realidade dos solos Paranaenses, os quais, de acordo com SBCS/NEPAR (2019), apresentam em sua maioria acidez elevada e saturação por bases no horizonte B, em média de 27% caracterizando os solos como distróficos ou álicos.

Faz-se necessário retornar à Tabela 5 e observar o valor do fósforo no solo para o ano de 2020, antes da implantação do experimento, que se apresenta com valor de 24,78 mg dm³. É de conhecimento comum entre pesquisadores da fertilidade de solo que valores de fósforo devem estar no nível de 9 mg dm³, tal como comprovado pelo Manual de Adubação e Calagem para o Estado do Paraná (SBCS/NEPAR, 2019), que acima de 12 mg dm⁻³ de fósforo os valores são classificados como muito altos.

O resultado revelado pela análise de solo 2020 mostra a boa conduta que vem sendo praticada neste solo em termos de manejo, no quesito fertilidade. Convém citar que mesmo na região Oeste do Paraná, referência em produtividade, acompanhando históricos de análises de solo com frequência visualizam-se valores de fósforo bem abaixo de 9 mg dm³. Este fato vem a comprovar a dedicação e o cuidado no que se refere às propriedades químicas de solo, e isto vai ao encontro com a falta de diferença significativa no resultado produtividade, como visto na Tabela 8.

Nesse contexto, Sandim et al. (2010) relatam a importância de se aprofundar a pesquisa no que se refere à utilização de silicato de cálcio e magnésio. Considerando que o silício é um elemento quase que desconhecido no meio agrícola, em especial quando se trata de produtividade de grãos, faz-se necessário um estudo continuado de sua contribuição na parte nutricional de culturas comerciais, principalmente milho, que é uma poaceae, também se enquadrando aqui arroz e cana de açúcar.

2.4 Conclusão

As propriedades químicas de solo fósforo (P), pH em CaCl₂ e SMP apresentaram maiores valores para o ano 2022. No entanto, avaliando propriedades químicas para os três tratamentos, SMP apresentou o maior valor para a testemunha.

As variáveis carotenóides, clorofila 'a', clorofila 'b' e clorofila total não apresentaram diferenças entre os tratamentos nos anos de 2020/2021 na cultura da soja e cultura de milho, safra 2023. Na cultura da soja, na safra 2022/2023, o tratamento calcário apresentou menor valor de clorofila 'b', enquanto carotenóides, clorofila 'a' e clorofila total apresentaram menor valor para o silicato.

Para os macronutrientes foliares, o potássio no milho se apresentou com maior valor, no tratamento silicato.

Para os valores de produtividade nas culturas trigo e milho, não houve resultado significativo e não foi revelado incremento para os tratamentos silicato e calcário.

2.5 Referências

AGEGNEHU, G.; AMEDE, T.; DESTA, G.; ERKOSSA, T.; LEGESSE, G.; GASHAW, T.; ROOYEN, A. V.; HARAWA, R.; DEGEFU, T.; MEKONNEN, K.; SCHULZ, S. Improving fertilizer

response of crop yield through liming and targeting to landscape positions in tropical agricultural soils. **Heliyon**, v. 9, n. 6, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e17421>.

ALAM, K.; BISWAS, D. R.; BHATTACHARYYA, R.; DAS, D.; SUMAN, A.; DAS, T. K.; PAUL, R. K.; GHOSH, A.; SARKAR, A.; KUMAR, R. Recycling of silicon rich agro-wastes by their combined application with phosphate solubilizing microbe to solubilize the native soil phosphorus in a sub-tropical Al fisol. **Journal Environmental Management**, v. 318, p. 1-12, 2022.

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 Agronômica: Revista de Ciências Agronômicas*, v. 26, n. 2, p. 123-131, 2017.

AMOAKWAH, E.; SHIM, J.; KIM, S.; LEE, Y.; KWON, S.; SANGHO, J.; PARK, S. Impact of silicate and lime application on soil fertility and temporal changes in soil properties and carbon stocks in a temperate ecosystem. **Geoderma**, v. 433, p. 116431, 2023. DOI: [https://doi-org.ez89.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.geoderma.2023.116431](https://doi.org.ez89.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.geoderma.2023.116431).

BOSSOLANI, J. W.; CRUSCIOL, C. A. C.; PORTUGAL, J. R.; MORETTI, L. G.; GARCIA, A.; RODRIGUES, V. A.; FONSECA, M. C.; BERNART, L.; VILELA, R. G.; MENDONÇA, L. P.; REIS, A. R. Long-term liming improves soil fertility and soybean root growth, reflecting improvements in leaf gas nutrient and grain yield. **European Journal of Agronomy**, v. 128, p. 126308, 2021. DOI: <https://doi-org.ez89.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.eja.2021.126308>.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – CQFS-RS/SC, 2016. **Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Núcleo Regional Sul da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2016. 376p.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de grãos. Brasília – DF. V.10 Safra 2022/2023. Décimo segundo levantamento. Setembro 2023.

EL LBOUDI, A. E.; EL SEBAAY, S.A.; EL ETR WAFAA, M. T.; ABD ELRAHMAN SHIMAA, H.; MORSY HEBA, Y. A. Silicon Adsorption on Clay Soils Affect by Silicon and Phosphorus Addition Using Freundlich Adsorption Model. **Journal of Soil and Water Science**, v. 6, p. 262-271, 2022.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Circular técnica 76**. Sete Lagoas, MG: Embrapa, 2006.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5 ed. rev. ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 355p.

FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. Stages of soybean development. Ames: Iowa State University, 1977. 12p.

FERREIRA, D. F. **SISVAR – Sistema de análise de variância**. Versão 5.3 Lavras, MG: UFLA, 2010.

FREITAS, L. B.; FERNANDES, D. M.; MAIA, S. C. M. Silicon on the mineral nutrition and aluminum accumulation in upland rice plants. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 45, n. 4, p. 440-448, 2015.

GARBELINI, L. G.; DEBIASI, H.; BALBINOT, A. A. J.; FRANCHINI, J. C.; COELHO, A. E.; TELLES, T. S. Diversified crop rotations increase the yield and economic efficiency of grain production systems. **European Journal of Agronomy**, v. 137, p. 126528, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2022.126528>.

GHISMAN, V.; MURESAN, A. C.; BURUIANA, D. L.; AXENTE, E. R. Waste slag benefits for correction of soil acidity. **Scientific Reports**, v. 12, n. 1, p. 16042, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-022-20528-6>.

GHOSH, A.; BISWAS, D. R.; DAS, S.; DAS, T. K.; BHATTACHARYYA, R.; ALAM, K.; RAHMAN, M. M. Rice straw incorporation mobilizes inorganic soil phosphorus by reorienting hysteresis effect under varying hydrothermal regimes in a humid tropical Inceptisol. **Soil & Tillage Research**, v. 225, p. 1-11, 2023.

HUSSAIN, S.; MUMTAZ, M.; MANZOOR, S.; SHUXIAN, L.; AHMED, I.; SKALICKY, M.; BRESTIC, M.; RASTOGI, A.; ULHASSAN, Z.; SHAFIQ, I.; ALLAKHVERDIEV, S. I.; KHURSHID, H.; YANG, W.; LIU, W. Foliar application of silicon improves growth of soybean by enhancing carbon metabolism under shading conditions. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 159, p. 43-52, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.11.053>.

ISLAM, M. M.; JAHAN, K.; SEM, A.; URMI, T. A.; HAQUE, M. M.; ALI, H. M.; SIDDIQUI, M. H.; MURATA, Y. Exogenous application of calcium ameliorates salinity stress tolerance of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) and enhances fruit quality. **Antioxidants**, v. 12, n. 3, p. 558, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/antiox12030558>.

KLOTZBÜCHER, T.; TREPTOW, C.; KAISER, K.; KLOTZBÜCHER, A.; MIKUTTA, R. Sorption competition with natural organic matter as mechanism controlling silicon mobility in soil. **Scientific Reports**, v. 10, p. 1-11, 2020.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Mapa Mundial da Classificação Climática de Köppen-Geiger**. Disponível em: <http://koeppen-geiger.vu-wien.ac.at/present.htm>. Acesso em: 19 out. 2024.

KUDLA, J.; BATISTIČ, O.; HASHIMOTO, K. Calcium signals: the lead currency of plant information processing. **The Plant Cell**, v. 22, n. 3, p. 541-563, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1105/tpc.109.072686>.

LI, R.; SUN, Y.; WANG, H.; WANG, H. Advances in understanding silicon transporters and the benefits to silicon-associated disease resistance in plants. **Applied Sciences**, v. 12, n. 7, p. 3282, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/app12073282>.

LIMA FILHO, O. F. **História e uso do silicato de sódio na agricultura**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2009. 112p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, A. S. **Avaliação do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações**. 2a.ed. Piracicaba: Potafos-IPNI, 1997. 319p.

MINATO, E. A.; BRIGNOLI, F. M.; ESPER, M. N.; BESEN, M. R.; CASSIM, B. M. A. R.; LIMA, R. S.; TORMENA, C. A.; INOUE, T. T.; BATISTA, M. A. Lime and gypsum application to low-acidity soils: changes in soil chemical properties, residual lime content and crop agronomic performance. **Soil and Tillage Research**, v. 234, p. 105860, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2023.105860>.

MIRANDA, P.S.; MORAES, T.M.; SANTOS, J.R.E.; CARVALHO, F.D.; VIANA, J.P.; PÉREZ-MALUF, R. Aplicação de silício na cultura do milho. **Revista de Ciências Agro-Ambientais**, v. 16, n. 1, 2018. DOI: 10.5327/Z1677-606220181853

MORAES, E. R.; REIS, A. C.; SILVA, N. E. P.; FERREIRA, M.; MENEZES, F. G. Nutrientes no solo e produção de quiabo conforme doses de silicato de cálcio e magnésio. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia-MS, v. 5, n. 1, p. 60-65. 2018.

NOLLA, A. Correção da acidez e disponibilização de fósforo e potássio em latossolo vermelho distrófico típico submetido à calagem incorporada e superficial. **Brazilian Journal Environ Research**, Curitiba, v. 3, n. 3, p. 2478-2487, 2020.

PAULETTI, V.; MOTTA V. C. A. **Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná**. 2a.ed. Curitiba: Núcleo Estadual Paraná da Sociedade Brasileira de Ciência do solo – NEPAR – SBCS, 2019. 289p.

RACHID, A. F.; BADER, B. R.; AL-ALAWY, H. H. Effect of foliar application of humic acid and nanocalcium on some growth, production, and photosynthetic pigments of cauliflower (*Brassica oleracea* var. *Botrytis*) planted in calcareous soil. **Plant Archives**, v. 20, n. 1, p. 32-37, 2020.

ROSA, A.; CAPONI, L. H.; ZANÃO, L. A. J. Disponibilidade de fósforo em um Latossolo Vermelho em função do pH do solo. **Acta Iguazu**, v. 5, n. 5, p. 108-115, 2016.

SANDIM, A. S.; RIBON, A. A.; DIOGO, L. O.; SAVI, M. A. Doses de silício na produtividade do milho (*Zea mays* L.) híbrido simples na região de Campo Grande (MS). **Cultivando o saber**, Cascavel, v. 3, n.1, p. 171-178, 2010.

SINGH, P.; KUMAR, V.; SHARMA, J.; SAINI, S.; SHARMA, P.; KUMAR, S.; SINHMAR, Y.; KUMAR, D.; SHARMA, A. Silicon Supplementation Alleviates the Salinity Stress in Wheat Plants by Enhancing the Plant Water Status, Photosynthetic Pigments, Proline Content and Antioxidant Enzyme Activities. **Plants**, v. 11, n. 19, p. 2525, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants11192525>.

SOUSA, J. V. de; RODRIGUES, C. R.; LUZ, J. M. Q.; CARVALHO, P. C de; RODRIGUES, T. M.; BRITO, C. H. de. Silicato de potássio via foliar no milho: fotossíntese, crescimento e produtividade. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 26, n. 4, p. 502-513, 2010.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análise de solo, planta e outros materiais**. 2a. ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995.

TEIXEIRA, M. C. M. F.; BUZETTI, S.; ANDREOTTI, M.; ARF, O.; BENETT, C. G. S. Doses, fontes e épocas de aplicação de nitrogênio em trigo irrigado em plantio direto. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 45, p. 797-804, 2010.

TESSMANN, M.; BORTOLOTTI, M.B.; RODRIGUES, R.R.; REIS, B.B.; SUÑÉ, A.S.; BARROS, A.C.S.A. Efeitos de aplicação foliar de silício sobre massa seca e índices de clorofila de plantas de pimentão. **Semana Integrada de Ensino Pesquisa e Extensão da Universidade Federal de Pelotas**, 2015. Disponível em: https://cti.ufpel.edu.br/siepe/arquivos/2015/CA_04029.pdf. Acesso em: 30 jun. 2023.

TOLEDO, E.C.; FERNANDES, L.A.; NOGUEIRA, J.C.M.; MEDRANO, M.F. Elevação do fósforo do solo pela aplicação de silicato de cálcio e magnésio, tendo como indicador a cultura do milho. **Revista AgroTecnologia**, Anápolis, v.14, n.1, p. 8-15, 2023

VIECELLI, C.A.; STANGARLIN, J.R.; KUHN, O.J.; SCHWAN-ESTRADA, K.R.F. Indução de resistência em feijoeiro a mancha angular por extratos de micélio de *Pycnoporus sanguineus*. **Summa Phytopathologica**, v. 36, n. 1, p. 73-80, 2010.

VOLSI, B.; HIGASHI, G. E.; BORDIN, I.; TELLES, T. S. The diversification of species in crop rotation increases the profitability of grain production systems. **Scientific Reports**, v. 12, n. 1, p. 19849, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-022-23718-4>.

WADAS, W.; DEBSKI, H. Effect of silicon foliar application on the assimilation area and photosynthetic pigment contents of potato (*Solanum tuberosum* L.). **Applied Ecology & Environmental Research**, v. 20, n. 2, 2022. DOI: http://dx.doi.org/10.15666/aeer/2002_13691384.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo geral de verificar a capacidade do silicato de cálcio e magnésio em aumentar a fertilidade de um latossolo vermelho distroférico foi alcançado. O silicato aumentou os teores de fósforo e pH. Quanto à sanidade das culturas de milho e soja, não ocorreram diferenças significativas em comparação ao calcário dolomítico, até porque durante o experimento as condições climáticas foram ideais.

Desta forma, atendeu-se também o objetivo específico em que houve evolução na composição química do solo. Quanto à resistência a penetração cabe estudo mais aprofundado, para então obter-se real compreensão deste parâmetro físico quando submetido à utilização de silicato.

No que se refere à diagnose foliar, clorofila e carotenóides, devido à excelente condição climática e de fertilidade de solo, assim como propriedades físicas de solo, os resultados não expressaram diferença significativa.

De igual modo justifica-se para o rendimento e sanidade das culturas trigo e milho.

5.1 Perspectivas para Futuras Pesquisas

Ficam questionamentos para futuras investigações, a saber:

- ➔ Estudar o comportamento no solo de silicato de cálcio e magnésio em textura de solo diferente do muito argiloso;
- ➔ Estudar a reação do silicato de cálcio e magnésio com doses diferentes das que foram aplicadas no experimento;
- ➔ Avaliar produtividade de culturas anuais em condições de estresses climáticos (veranicos) submetidas a aplicação de silicato de cálcio e magnésio;
- ➔ Aprofundar o comportamento do solo quanto à resistência a penetração, quando submetido à aplicação de silicato de cálcio e magnésio.