

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

AILA RIOS DE SOUZA

Efeito do silicato de cálcio e magnésio em sistemas de sucessão de culturas

UBERLÂNDIA - MG
2025

AILA RIOS DE SOUZA

Efeito do silicato de cálcio e magnésio em sistemas de sucessão de culturas

Tese apresentada à Universidade Federal de Uberlândia, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia, para obtenção do título de “Doutor”.

Área de Concentração: Produção Vegetal

Orientador: Prof. Dr. Marcus Vinicius Sampaio

UBERLÂNDIA/MG

2025

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

S729 Souza, Áila Rios de, 1985-
2025 Efeito do silicato de cálcio e magnésio em sistemas de sucessão de culturas [recurso eletrônico] / Áila Rios de Souza. - 2025.

Orientador: Marcus Vinicius Sampaio.
Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Uberlândia, Pós-graduação em Agronomia.
Modo de acesso: Internet.
DOI <http://doi.org/10.14393/ufu.te.2025.610>
Inclui bibliografia.

1. Agronomia. I. Sampaio, Marcus Vinicius,1971-, (Orient.). II. Universidade Federal de Uberlândia. Pós-graduação em Agronomia. III. Título.

CDU: 631

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:

Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091

Nelson Marcos Ferreira - CRB6/3074

AILA RIOS DE SOUZA

Efeito do silicato de cálcio e magnésio em sistemas de sucessão de culturas

Tese apresentada à Universidade Federal de Uberlândia, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia, para obtenção do título de “Doutor”.

APROVADA em 29, de setembro de 2025.

Profa. Dra. Júnia Maria Clemente UFV

Prof. Dr. Hamilton Seron Pereira UFU

Profa. Dra. Vanessa Andaló Mendes de Carvalho UFU

Profa. Dra. Marise Conceição Marques UEMG

Prof. Dr. Marcus Vinicius Sampaio
UFU
(Orientador)

UBERLÂNDIA/MG

2025



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

Secretaria da Coordenação do Programa de Pós-Graduação em

Agronomia

Rodovia BR 050, Km 78, Bloco 1CCG, Sala 206 - Bairro Glória, Uberlândia-MG, CEP
38400-902

Telefone: (34) 2512-6715/6716 - www.ppgagro.iciag.ufu.br - posagro@ufu.br



ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Programa de Pós-Graduação em:	Agronomia				
Defesa de:	Tese, 007/2025, PPGAGRO				
Data:	Vinte e cinco de setembro de dois mil e vinte e cinco	Hora de início:	14:00	Hora de encerramento:	18:55
Matrícula do Discente:	12013AGR001				
Nome do Discente:	Aila Rios de Souza				
Título do Trabalho:	Efeito do silicato de cálcio e magnésio em sistemas de sucessão de culturas				
Área de concentração:	Produção Vegetal				
Linha de pesquisa:	Produção Vegetal em Áreas de Cerrado				

Reuniu-se por videoconferência, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Agronomia, assim composta: Professores Doutores: Hamilton Seron Pereira - UFU; Vanessa Andaló Mendes de Carvalho - UFU; Junia Maria Clemente - UFV, Marise Conceição Marques - UEMG; Marcus Vinicius Sampaio - orientador da candidata.

Iniciando os trabalhos o presidente da mesa, Dr. Marcus Vinicius Sampaio, apresentou a Comissão Examinadora e a candidata, agradeceu a presença do público, e concedeu à Discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação da Discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do Programa.

A seguir o senhor presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos examinadores, que passaram a arguir a candidata. Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando a candidata:

Aprovada.

Essa tese possui mérito para ser indicada como destaque do Programa? () SIM
NÃO (x)

Esta defesa faz parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação

interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Marcus Vinicius Sampaio, Professor(a) do Magistério Superior**, em 25/09/2025, às 19:05, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Hamilton Seron Pereira, Professor(a) do Magistério Superior**, em 25/09/2025, às 21:16, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Vanessa Andalo Mendes de Carvalho, Professor(a) do Magistério Superior**, em 26/09/2025, às 07:25, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Marise Conceicao Marques, Usuário Externo**, em 30/09/2025, às 15:33, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Junia Maria Clemente, Usuário Externo**, em 01/10/2025, às 08:33, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **6707804** e o código CRC **23D841C5**.

Referência: Processo nº 23117.066860/2025-61

SEI nº 6707804

Dedico este trabalho aos meus pais Valter e Vilma,
em especial à minha mãe, que foi a base da minha
trajetória e tornou possível que eu chegassem até aqui.
Seu exemplo de mulher, de força e de perseverança
permanece vivo em mim e seguirá me guiando em
todos os caminhos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida e pelas bênçãos colocadas em meu caminho, especialmente a minha família, alicerce fundamental em toda esta trajetória.

Aos meus pais, Valter e Vilma, que, com dedicação, apoio e amor incondicional, doaram suas vidas para que eu pudesse realizar os meus sonhos, e um deles se concretiza hoje, com a defesa da minha tese de Doutorado. Sem o exemplo, o incentivo e os valores que me transmitiram, eu jamais teria alcançado tanto.

Ao meu filho, Pedro Lucas, pelo amor, pela paciência e pela compreensão diante das minhas ausências durante os anos de dedicação ao doutorado.

Ao meu esposo, Wellington, pela ajuda, parceria, dedicação e incentivo em todos os momentos desta caminhada.

Aos meus irmãos, Ellen, Erika e Júnior, pelo apoio constante e pelo amor sempre presente, minha sincera gratidão.

Ao meu orientador, Marcus Vinicius, pela oportunidade, pela confiança depositada em meu potencial, pela paciência, pela orientação sempre atenciosa e por todo o aprendizado que foi essencial para a concretização deste trabalho.

À minha amiga Junia Maria, pela amizade verdadeira, pelo apoio, pela parceria em tantos momentos e, ainda, pela oportunidade de realizar o experimento na Fazenda Experimental da CEPET.

A toda a equipe da CEPET, pelo apoio e colaboração imprescindíveis durante a realização dos trabalhos de campo. Ao professor Hamilton e à equipe do LAFER, pela disponibilização do laboratório de solos e pela valiosa assistência técnica.

Aos membros da banca examinadora, pela disponibilidade, pela oportunidade de avaliação e pelas contribuições ao meu trabalho.

E, por fim, a todos que, de alguma forma, contribuíram para que eu chegassem até aqui, minha mais profunda gratidão.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da CEPET – UFV, Capinópolis, MG.....	31
Figura 2 – Dados de precipitação média na Estação INMET de Ituiutaba.....	32
Figura 3 – Dados de temperatura média mensal na Estação INMET de Ituiutaba.....	32
Figura 4 – Delineamento Experimental em blocos casualizados.....	33
Figura 5 – Esquema do delineamento experimental para o teor de Si no solo após os cultivos de milho, soja e trigo, após o primeiro cultivo de verão 2022/2023, segunda safra 2023, cultivo de inverno 2023 e segundo cultivo de verão 2023/2024.....	39
Figura 6 – Esquema do delineamento experimental para os teores de Si foliar nas culturas de milho, soja e trigo, durante o primeiro cultivo de verão 2022/2023, segunda safra 2023, cultivo de inverno 2023 e segundo cultivo de verão 2023/2024.....	40
Figura 7 – Esquema do delineamento experimental para os parâmetros de produtividade das culturas de milho, soja e trigo, durante o primeiro cultivo de verão 2022/2023, segunda safra 2023 e segundo cultivo de verão 2023/2024.....	40
Figura 8 – Esquema do delineamento experimental para o número de insetos por planta nas culturas de milho, soja e trigo, durante o primeiro cultivo de verão 2022/2023, segunda safra 2023 e segundo cultivo de verão 2023/2024.....	41
Figura 9 – C-CO ₂ (ug g-1) dos diferentes manejos dos sistemas de sucessão aos 3, 7, 14 e 21 dias após 541 dias da aplicação de Si e equilíbrio de Ca/Mg.....	81

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características químicas dos solos cultivados no início do experimento.....	33
Tabela 2 – Sucessões de culturas em dias após a aplicação (DAA) de silicato de cálcio e magnésio, e os controles calcário dolomítico e sem aplicação, a cada safra de cultivo.....	34
Tabela 3 – Interações avaliadas (Sistema de sucessão x Aplicação de silicato) para os teores de Si no solo e foliar durante a segunda safra de 2023, cultivo de inverno 2023 e segundo cultivo de verão 2023/2024.	42
Tabela 4 – Interações avaliadas (Sistema de sucessão x Aplicação de silicato) para os dados indicadores de produtividade obtidos nos cultivos de verão nas safras 2022/2023 e 2023/2024, para as culturas do milho e soja.....	43
Tabela 5 – Teores de Si (mg kg^{-1}) no solo durante o primeiro cultivo de verão 2022/2023 em resposta às correções de solo e culturas implantadas.	44
Tabela 6 – Teores de Si (mg kg^{-1}) no solo durante a 2 ^a safra de 2023, o cultivo de inverno 2023 e 2º cultivo de verão 2023/2024 em resposta a aplicação de silicato de cálcio e magnésio. ...	45
Tabela 7 – Teores de Si (mg kg^{-1}) no solo em função das épocas de coleta.	46
Tabela 8 – Teores de Si (mg kg^{-1}) no solo em função da época de coleta de solo após cada cultivo agrícola.	47
Tabela 9 – Teores de Si (%) em folhas de soja, em resposta ao manejo do sistema agrícola, aplicação de Si, equilíbrio Ca/Mg e controle, no primeiro cultivo de verão 2022/2023 e segundo cultivo de verão 2023/2024.	48
Tabela 10 – Teores de Si (%) em folhas de soja do segundo cultivo de verão 2023/2024 em resposta às culturas antecessoras na segunda safra de 2023 e cultivo de inverno 2023.....	49
Tabela 11 – Teores de Si (%) em folhas de milho em resposta ao manejo do sistema agrícola, aplicação de Si e equilíbrio Ca/Mg no primeiro cultivo de verão 2022/2023, segunda safra de 2023 e segundo cultivo de verão 2023/2024.	51
Tabela 12 – Teores de Si (%) em folhas de milho cultivado no segundo verão 2023/2024 em resposta às culturas antecessoras cultivadas no inverno 2023.....	51
Tabela 13 – Teores de Si (%) em folhas de trigo em resposta ao manejo do sistema agrícola, aplicação de Si e equilíbrio Ca/Mg na segunda safra de 2023.	52
Tabela 14 – Teores de Si (%) em folhas de trigo na segunda safra de 2023 em resposta à cultura antecessora cultivadas na safra de 2022/2023.	53
Tabela 15 – Altura de plantas de soja (ALT - cm), altura de inserção da primeira vagem (AIP), número de vagens por planta (NVP), produção por planta (Prod./planta – g planta $^{-1}$), massa de	

100 grãos (M100 - g) e produtividade (PROD – kg ha ⁻¹) nem reposta ao manejo do sistema agrícola, aplicação de Si e equilíbrio Ca/Mg nas safras 2022/2023 e 2023/2024.....	54
Tabela 16 – Altura de plantas de soja (ALT - cm) de soja do segundo cultivo de verão 2023/2024 (Semeadura 391 DAA) em reposta a cultura implantada no primeiro cultivo de verão 2022/2023 e cultivo de inverno 2023.....	55
Tabela 17 –Altura de inserção da primeira vagem (AIP) de soja do segundo cultivo de verão 2023/2024 (Semeadura 391 DAA) em reposta a cultura implantada no primeiro cultivo de verão 2022/2023 e cultivo de inverno 2023.....	55
Tabela 18 – Número de vagens por planta (NVP) de soja do primeiro cultivo de verão 2023/2024 (Semeadura 391 DAA) em reposta a cultura implantada na safra 2022/2023.....	56
Tabela 19 – Número de vagens por planta (NVP) de soja em reposta ao cultivo de inverno 2023, aplicação de Si e equilíbrio Ca/Mg que antecedeu a safra 2023/2024.....	56
Tabela 20 – Produção de grãos por planta (Prod./planta – g planta ⁻¹) em reposta ao cultivo de da safra de 2022/2023 e cultivo de inverno 2023.....	58
Tabela 21 – Massa de 100 grãos (M100 - g) em reposta ao cultivo da segunda safra de 2023 e cultivo de inverno 2023.....	58
Tabela 22 – Produtividade (PROD – kg ha ⁻¹) de soja em reposta ao primeiro cultivo de verão 2022/2023 e cultivo de inverno 2023.....	59
Tabela 23 – Altura de plantas (ALT - cm), altura de inserção da primeira espiga (AIP - cm), diâmetro da espiga (DE - cm), comprimento de espiga (CE - cm), número de fileiras por espiga (NFE), número de grãos por fileira (NGF), número de grãos por espiga (NGE), massa de grãos por espiga (MGE - g), massa de 100 grãos (M100 - g) e produtividade (PROD – kg ha ⁻¹) de grãos de milho em reposta à aplicação de Si e equilíbrio da relação Ca/Mg em diferentes sistemas de cultivo ao longo de 3 ciclos agrícolas.....	61
Tabela 24 – Altura de plantas de milho (ALT - cm), altura de inserção da primeira espiga (AIP - cm), diâmetro da espiga (DE - cm), comprimento de espiga (CE - cm), número de fileiras por espiga (NFE), número de grãos por fileira (NGF), número de grãos por espiga (NGE), massa de grãos por espiga (MGE - g), massa de 100 grãos (M100 - g) e produtividade (PROD – kg ha ⁻¹) de grãos de milho em reposta ao cultivo de inverno 2023 que antecedeu ao segundo cultivo de verão 2023/2024 (Semeadura 391 DAA). ..	62
Tabela 25 – Altura de plantas (ALT - cm), número de espiguetas por espiga (NEE), massa de 100 grãos (M100 - g) e produtividade (PROD – kg ha ⁻¹) do trigo durante a segunda safra de 2023 (Semeadura 184 DAA) em resposta à aplicação de Si e equilíbrio da relação Ca/Mg. ..	65

Tabela 26 – Altura de plantas (ALT - cm), número de espiguetas por espiga (NEE), massa de 100 grãos (M100 - g) e produtividade (PROD – kg ha ⁻¹) do trigo durante a segunda safra de 2023 (Semeadura 184 DAA) em resposta à cultura antecessora do primeiro cultivo de verão 2022/2023 (Semeadura 23 DAA).	65
Tabela 27 – Número de espiguetas por espiga (NEE), número de grãos por espigueta (NGE), número de grãos por espiga (NGRE), massa de 100 grãos (M100 - g), peso hectolitro (PH – kg hL ⁻¹) e produtividade (PROD – kg ha ⁻¹) do trigo, em resposta a sucessão as culturas de milho e soja implantadas no primeiro cultivo de verão 2022/2023.....	66
Tabela 28 – Número de insetos na soja durante o primeiro cultivo de verão 2022/2023, em resposta à aplicação de silicato.....	68
Tabela 29 – Número de insetos por plantas de soja por época de avaliação durante o primeiro cultivo de verão 2022/2023.	69
Tabela 30 – Médias para a intensidade de mosca-branca na cultura da soja por época durante o segundo cultivo de verão 2023/2024.	70
Tabela 31 –Número de insetos de mosca-branca por plantas de soja, submetidas à aplicação de silicato e culturas antecessoras durante o segundo cultivo de verão 2023/2024.	71
Tabela 32 – Intensidade de insetos por planta na cultura do milho por tratamento durante o primeiro cultivo de verão 2022/2023.	72
Tabela 33 – Médias de indivíduos por planta de vaquinha e cigarrinha-do-milho na cultura do milho por época de forma agrupada durante o primeiro cultivo de verão 2022/2023.	73
Tabela 34 – Número de indivíduos de cigarrinha-do-milho (<i>Dalbulus maidis</i>) por planta de milho em diferentes épocas de avaliação e submetido a diferentes correções de solo e durante a segunda safra de 2023.....	73
Tabela 35 – Número de cigarrinha do milho, lagarta do cartucho e joaninhas por plantas de milho, por época de avaliação durante o segundo cultivo de verão 2023/2024.	75
Tabela 36 – Número de cigarrinha do milho, lagarta do cartucho e joaninhas por plantas de milho submetidos a aplicação de silicato durante o segundo cultivo de verão de 2023/2024. 75	75
Tabela 37 – Número de cigarrinha do milho, lagarta do cartucho e joaninhas por plantas de milho em sucessão as culturas de inverno (nabo forrageiro e braquiária) durante o segundo cultivo de verão de 2023/2024.....	76
Tabela 38 - Concentração de C-CO ₂ (ug g ⁻¹) em solo com diferentes manejos do sistema agrícola após 541 dias da aplicação de Si e equilíbrio Ca/Mg.	80
Tabela 39 – Respiração – RES (C.CO ₂ . (ug g ⁻¹)), Carbono solúvel – CS (μg de C. g ⁻¹), Carbono Biomassa Microbiana – CBM (μg de C. g ⁻¹) e quociente metabólico – qCO ₂ (μg de C-CO ₂ . g ⁻¹)	

em solo com diferentes manejos do sistema agrícola, após 541 dias da aplicação de Si e equilíbrio Ca/Mg.	83
---	----

SUMÁRIO

RESUMO	16
1. INTRODUÇÃO	17
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
2.1 A sucessão de culturas no Cerrado.....	20
2.2 Silício no solo.....	23
2.3 Efeito do silício nas plantas.....	24
2.4 Uso do silício no manejo de pragas.....	27
2.5 Efeitos da adubação na atividade de microrganismos do solo.....	30
3. MATERIAL E MÉTODOS	31
3.1 Local de instalação e delineamento experimental.....	31
3.2 Manejo do solo e das culturas	35
3.3 Cultivares e densidade de semeadura.....	36
3.4 Parâmetros de produção avaliados	37
3.5 Avaliação dos teores de silício	37
3.6 Avaliação da população de insetos	38
3.7 Avaliação da atividade microbiana	38
3.8 Análise dos dados.....	39
3.8.1 Silício no solo e folhas	41
3.8.2 Dados de produtividade.....	42
3.8.3 População de insetos	43
3.8.4 Atividade microbiana	43
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
4.1 Teores de silício no solo.....	44
4.2 Teores de Silício Foliar	48
4.2.1 Teores foliares de Si na Soja.....	48
4.2.2 Teores foliares de Si no Milho	50
4.2.3 Teores foliares de Si no Trigo	52
4.3 Parâmetros de Produção	54
4.3.1 Cultura da Soja.....	54
4.3.2 Cultura do Milho	60
4.3.3 Cultura do Trigo.....	64
4.4 Avaliação da densidade populacional de insetos	67

4.4.1 Insetos na soja	67
4.4.2 Insetos no milho	71
4.4.3 Insetos no trigo.....	78
4.5 Atividade microbiana do solo	80
5. CONCLUSÕES	85
REFERÊNCIAS	86
APÊNDICE A – Quadro de análise de variância do primeiro cultivo de verão 2022/2023, da 2 ^a safra de 2023, do cultivo de inverno 2023 e segundo cultivo de verão 2023/2024, para os efeitos de aplicação de silicato e da cultura para os teores de Si no solo (mg kg^{-1}).....	101
APENDICE B – Quadro de análise de variância para os teores de Si no solo (mg kg^{-1}) em função da época de coleta de solo e o sistema de sucessão.....	101
APÊNDICE C – Quadro de Análise de variância para teores de Si foliar na cultura da soja durante o primeiro cultivo de verão de 2022/2023 e o segundo cultivo de verão 2023/2024.....	102
APÊNDICE D – Quadro de Análise de variância para teores de Si foliar na cultura do milho durante o primeiro cultivo de verão de 2022/2023, segunda safra de 2023 e segundo cultivo de verão 2023/2024	103
APÊNDICE E – Quadro de Análise de variância para teores de Si foliar na cultura do trigo durante a segunda safra de 2023.....	103
APÊNDICE F – Quadro de análise de variância para altura de plantas (cm) de soja durante o primeiro cultivo de verão 2022/2023 e segundo cultivo de verão 2023/2024, em função do aplicação de silicato e culturas antecessoras.	104
APÊNDICE G – Quadro de análise de variância para altura de inserção da primeira vagem (cm) de soja durante o primeiro cultivo de verão 2022/2023 e segundo cultivo de verão 2023/2024, em função da aplicação de silicato e culturas antecessoras.....	105
APÊNDICE H – Quadro de análise de variância para número de vagens por plantas de soja durante o primeiro cultivo de verão 2022/2023 e segundo cultivo de verão 2023/2024, em função da aplicação de silicato e culturas antecessoras.....	106
APÊNDICE I – Quadro de análise de variância para rendimento de grãos por plantas de soja durante o primeiro cultivo de verão 2022/2023 e segundo cultivo de verão 2023/2024, em função da aplicação de silicato e culturas antecessoras.....	107
APÊNDICE J – Quadro de análise de variância para massa de 100 grãos (M100 - g) de soja durante o primeiro cultivo de verão 2022/2023 e segundo cultivo de verão 2023/2024, em função da aplicação de silicato e culturas antecessoras.....	108

APÊNDICE K – Quadro de análise de variância para a produtividade de grãos (kg.ha^{-1}) de soja durante o primeiro cultivo de verão 2022/2023 e segundo cultivo de verão 2023/2024, em função da aplicação de silicato e culturas antecessoras.....	109
APÊNDICE L – Quadro de análise de variância para altura de plantas (cm) de milho durante o primeiro cultivo de verão 2022/2023, segunda safra de 2023 e segundo cultivo de verão 2023/2024, em função da aplicação de silicato e culturas antecessoras.....	110
APÊNDICE M – Quadro de análise de variância para diâmetro de espiga (DE - cm) de milho durante o primeiro cultivo de verão 2022/2023, segunda safra de 2023 e segundo cultivo de verão 2023/2024, em função da aplicação de silicato e culturas antecessoras.....	111
APÊNDICE N – Quadro de análise de variância para comprimento de espiga (CE - cm) de milho durante o primeiro cultivo de verão 2022/2023, segunda safra de 2023 e segundo cultivo de verão 2023/2024, em função da aplicação de silicato e culturas antecessoras.	112
APÊNDICE O – Quadro de análise de variância para número de fileiras por espiga (NFE) de milho, durante o primeiro cultivo de verão 2022/2023, segunda safra de 2023 e segundo cultivo de verão 2023/2024, em função da aplicação de silicato e culturas antecessoras.	113
APÊNDICE P – Quadro de análise de variância para número de grãos por fileira (NGF) em espigas de milho, durante o primeiro cultivo de verão 2022/2023, segunda safra de 2023 e segundo cultivo de verão 2023/2024, em função da aplicação de silicato e culturas antecessoras.	114
APÊNDICE Q – Quadro de análise de variância para número de grãos por espiga (NGE) de milho, durante o primeiro cultivo de verão 2022/2023, segunda safra de 2023 e segundo cultivo de verão 2023/2024, em função da aplicação de silicato e culturas antecessoras.	115
APÊNDICE R – Quadro de análise de variância para massa de grãos por espiga (MGE - g) de milho, durante o primeiro cultivo de verão 2022/2023, segunda safra de 2023 e segundo cultivo de verão 2023/2024, em função da aplicação de silicato e culturas antecessoras.	116
APÊNDICE S – Quadro de análise de variância para massa de 100 grãos (M100 - g) de milho, durante o primeiro cultivo de verão 2022/2023, segunda safra de 2023 e segundo cultivo de verão 2023/2024, em função da aplicação de silicato e culturas antecessoras....	117

APÊNDICE T – Quadro de análise de variância para produtividade (PROD – kg ha ⁻¹) de grãos de milho durante o primeiro cultivo de verão 2022/2023, segunda safra de 2023 e segundo cultivo de verão 2023/2024, em função da aplicação de silicato e culturas antecessoras.....	118
APÊNDICE U – Quadro de análise de variância para altura de inserção da primeira espiga (AIP - cm) de milho durante o primeiro cultivo de verão 2022/2023, segunda safra de 2023 e segundo cultivo de verão 2023/2024, em função da aplicação de silicato e culturas antecessoras.....	119
APÊNDICE W – Quadro de análise de variância para altura de plantas (ALT - cm), número de espiguetas por espiga (NEE), número de grãos por espigueta (NGE), número de grãos por espiga (NGRE), massa de 100 grãos (M100 - g), peso hectolitro (PH – kg hL ⁻¹) e produtividade (PROD – kg ha ⁻¹) do trigo durante a segunda safra de 2023 (Semeadura 184 DAA) em resposta à aplicação de Si e equilíbrio da relação Ca/Mg e ao cultivo anterior de verão 2022/2023 (Semeadura 23 DAA).	120
APÊNDICE X – Análise da Deviância (Testes Qui-quadrado de Wald do Tipo III) para intensidade de insetos no primeiro cultivo de verão 2022/2023 de soja.	121
APÊNDICE Y – Análise da Deviância (Testes Qui-quadrado de Wald do Tipo III) para intensidade de mosca branca (<i>Bemisia tabaci</i>) no segundo cultivo de verão 2023/2024.....	122
APÊNDICE Z. Análise da Deviância (Testes Qui-quadrado de Wald do Tipo III) para ocorrência de insetos na cultura do milho durante o primeiro cultivo de verão 2022/2023.....	122
APÊNDICE AA. Análise da Deviância (Testes Qui-quadrado de Wald do Tipo III) para intensidade de insetos de cigarrinha-do-milho (<i>Dalbulus maidis</i>) na cultura do milho durante a segunda safra 2023.	123
APÊNDICE AB – Análise da Deviância (Testes Qui-quadrado de Wald do Tipo III) para o número de indivíduos de cigarrinha do milho, vaquinha, lagarta do cartucho e joaninha na cultura do milho durante o segundo cultivo de verão 2023/2024.....	123
APÊNDICE AC – Concentração de C-CO ₂ (ug g ⁻¹) em solo aos 3, 7, 14 e 21 dias com diferentes manejos do sistema agrícola (MTBM Si+, MTBM Ca/Mg, MTBM Si-, STNS Si+, STNS Ca/Mg e STNS) Si-após 541 dias da aplicação de Si e equilíbrio Ca/Mg.	124
APÊNDICE AD – C-CO ₂ (ug g ⁻¹) dos diferentes manejos dos sistemas de sucessão (7 – MTBM Si+, 8 – MTBM Ca/Mg, 9 – MTBM Si-, 16 – STNS Si+, 17 – STNS Ca/Mg, 18 – STNS Si-) aos 3, 7, 14 e 21 dias após 541 dias da aplicação de Si (Si+) equilíbrio de Ca/Mg (Ca/Mg), ou sem aplicação (Si-).	125

APÊNDICE AE – Análise de variância para Respiração Respiração – RES (C.CO ₂ . (ug g ⁻¹)) em solo submetido a diferentes manejos do sistema agrícola, após 541 dias da aplicação de Si e equilíbrio Ca/Mg.....	126
APÊNDICE AF – Análise de variância para a Carbono solúvel – CS (mmol _c kg ⁻¹), em solo submetido a diferentes manejos do sistema agrícola, após 541 dias da aplicação de Si e equilíbrio Ca/Mg.	126
APÊNDICE AG – Análise de variância para carbono da biomassa microbiana (CBM) em solo com diferentes manejos do sistema agrícola, após 541 dias da aplicação de Si e equilíbrio Ca/Mg. ..	126
APÊNDICE AH – Análise de variância para quociente metabólico (qCO ₂) em solo com diferentes manejos do sistema agrícola, após 541 dias da aplicação de Si e equilíbrio Ca/Mg... ..	127

RESUMO

SOUZA, AILA RIOS DE. **Efeito do silicato de cálcio e magnésio em sistemas de sucessão de culturas.** 2025. 127 p. Tese (Doutorado em Agronomia/Fitotecnia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.¹

O silício (Si) pode contribuir para a resistência das plantas a pragas, doenças e estresses abióticos, embora sua resposta varie conforme a espécie cultivada e as condições edáficas. Este estudo teve como objetivo avaliar o efeito residual do silicato de cálcio e magnésio e da sucessão de culturas no Si no solo e na planta, no desenvolvimento e produtividade das culturas do milho, trigo e soja, na população de insetos associada a essas culturas e na atividade microbiana do solo. O experimento foi conduzido em área com solo argiloso (37% de argila) e elevado teor inicial de Si ($11,53 \text{ mg kg}^{-1}$). O delineamento experimental foi em blocos casualizados, em esquema fatorial (aplicação de silicato x safras agrícolas da sucessão de culturas). Os tratamentos incluíram quatro ciclos sucessivos de cultivo após aplicação prévia de silicato, além de dois controles: um com calcário dolomítico para equilibrar cálcio e magnésio fornecidos pela fonte silicatada, e outro sem aplicação. Foram aplicados $8,2 \text{ t ha}^{-1}$ de silicato de cálcio e magnésio, equivalente a $1,0 \text{ t ha}^{-1}$ de Si total, e $7,0 \text{ t ha}^{-1}$ de calcário dolomítico, ajustado para manter o equilíbrio entre cálcio e magnésio. A primeira semeadura ocorreu 23 dias após a aplicação (DAA), com soja e milho. A segunda safra, aos 184 DAA, foram implantadas as culturas de milho e trigo; a terceira, aos 321 DAA, incluiu braquiária e nabo forrageiro; e a quarta, aos 391 DAA, contou com soja e milho. Durante os ciclos, avaliaram-se a população de insetos, os teores de Si no solo e nas folhas e indicadores de produtividade. Ao final do experimento (541 DAA), foram avaliadas atividades microbianas do solo. As análises estatísticas foram realizadas por Anava e as médias comparadas pelos testes de Tukey e Scott-Knott, a 5% e 10% de probabilidade. A população de insetos foi analisada por modelo linear generalizado misto. A aplicação de silicato aumentou a disponibilidade de Si no solo, alcançando teores de até $15,18 \text{ mg kg}^{-1}$ no sistema MTB Si+ (milho-trigo-braquiária com aplicação de Si), com efeito mais pronunciado aos 321 dias após a aplicação. O teor de Si no solo tendeu a ser menor após o cultivo do nabo em comparação com a braquiária, porém, esse efeito não foi confirmado pelo teor de Si foliar nas culturas subsequentes na sucessão. A soja, como cultura antecessora e em comparação com o milho, favoreceu o crescimento vegetativo e a formação de estruturas reprodutivas do trigo, sem, contudo, gerar incremento expressivo de produtividade. A densidade populacional de insetos variou conforme a época de amostragem, sem efeito consistente dos tratamentos. Os atributos microbiológicos do solo, como respiração microbiana e carbono da biomassa, não apresentaram diferença aos 541 dias após a aplicação. Apesar do solo utilizado apresentar alto teor de Si, a aplicação de silicato de cálcio e magnésio foi capaz de aumentar os teores deste elemento no solo e nas plantas a longo prazo, com efeito expressivo durante aproximadamente um ano após sua aplicação. Contudo, não foram observados efeitos do Si e da sucessão de culturas na redução da população de insetos e na atividade microbiana do solo. Apesar de não ter havido efeito do Si na produtividade do milho, do trigo e da soja, alguns indicadores de produtividade foram afetados positivamente pelo Si em soja e trigo e pela sucessão de culturas em trigo.

Palavras-chave: pragas; milho; soja; trigo; produtividade; atividade microbiana.

¹Orientador: Prof. Dr. Marcus Vinicius Sampaio - UFU

1. INTRODUÇÃO

Avanços tecnológicos e boas práticas de manejo são imprescindíveis para reduzir a diferença entre a produtividade potencial e aquela efetivamente observada em algumas regiões. No caso brasileiro, um dos principais fatores que afetam a produtividade da cultura do milho é o estabelecimento da maior parte destas lavouras no final do verão, normalmente em sucessão à cultura da soja. Em geral, a soja ainda é a cultura de maior importância econômica no mercado agrícola brasileiro, com produção total estimada de 166,33 milhões toneladas na safra 2024/2025 (Companhia Nacional de Abastecimento, 2025).

O sistema de sucessão e a rotação de culturas exerce um papel essencial na preservação da saúde do solo e na promoção da sustentabilidade na agricultura. A sucessão de culturas refere-se à sequência de cultivos realizada no mesmo ano agrícola, como no caso da sucessão soja/milho. Já a rotação de culturas consiste na alternância planejada de diferentes espécies vegetais, em ciclos definidos, cultivadas na mesma área e na mesma estação do ano. A adoção desses sistemas tem como objetivo favorecer a ciclagem de nutrientes, melhorar a estrutura e qualidade do solo através do aumento dos teores de matéria orgânica no solo, e reduzir a incidência de pragas e doenças, proporcionando maior estabilidade na produtividade das culturas agrícolas (Barbieri *et al.*, 2019).

A nutrição das plantas faz parte do sistema produtivo, sendo considerada de extrema importância para o incremento da produção agrícola das culturas em sucessão e rotação. Um dos elementos benéficos que vem demonstrando bons resultados quanto à estrutura da planta e tolerância a estresses bióticos e abióticos é o silício (Si).

A Instrução Normativa nº 39, de 8 de agosto de 2018, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, estabelece no artigo 4º, que os nutrientes devem ser apresentados segundo sua categoria, abrangendo os macronutrientes primários (N, P₂O₅ e K₂O), os macronutrientes secundários (Ca, Mg e S) e os micronutrientes. Nesta última categoria, destaca-se a inclusão do silício (Si), que é oficialmente reconhecido pela legislação brasileira como um micronutriente, ao lado de elementos como B, Cl, Co, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Se e Zn, reforçando sua relevância para a composição e rotulagem dos fertilizantes minerais (Brasil, 2018).

O Si também pode aumentar a resistência das plantas a estresses abióticos, como seca, temperaturas extremas, salinidade, melhorar a produtividade e qualidade das safras. O aumento da resistência de plantas a patógenos e insetos é outro dos principais benefícios do Si. A presença de Si no solo pode interagir vantajosamente com a resistência constitutiva de plantas

em cultivares suscetíveis e resistentes (Liang *et al.*, 2015; Reynolds *et al.*, 2016; Boer *et al.*, 2019; Oliveira *et al.*, 2023).

O efeito benéfico do Si tem sido relatado, principalmente, para gramíneas (família Poaceae) devido ao seu papel na melhoria do crescimento das plantas, na integridade estrutural e na resistência a estresses bióticos e abióticos. Nessas plantas, o Si acumula-se em quantidades significativas, muitas vezes como sílica amorfa (SiO_2), nas paredes celulares epidérmicas, estômatos e tricomas ou pode ser polimerizada nos tecidos vegetais formando fitólitos (Epstein; Bloom, 2004; Ma; Yamaji, 2006; Hartley *et al.*, 2015). Ribeiro (2023) constatou que a aplicação de doses de pó de rocha silicática não alterou a espessura dos tecidos foliares de soja analisados (epiderme adaxial, parênquima paliçádico, parênquima lacunoso, epiderme abaxial e espessura foliar total). Todavia, elevou a densidade estomática na face adaxial das plantas de soja cultivadas no solo de textura média.

Deshmukh e Bélanger (2015) relatam que há evidências crescentes de que a capacidade de uma planta de acumular Si pode estar diretamente correlacionada com a presença de genes transportadores de Si (NIP2s). Embora igualmente importante, os Lsi2s parecem estar sistematicamente presentes em plantas com NIP2s funcionais. Em termos gerais, as plantas que abrigam NIP2s acumulam mais de 1% de peso seco de Si (e até 5% ou mais em certas espécies) quando são cultivadas na presença de Si. Agora está claro que as plantas até agora referidas como baixas ou não acumuladoras, carecem de NIP2s funcionais e acumularão cerca de 0,2% ou menos de Si.

A deposição de SiO_2 na parede celular vegetal fortalece a estrutura da planta, contribuindo para o aumento da resistência a estresses bióticos, como pragas e patógenos, e para a atenuação de estresses abióticos, como seca, salinidade e toxicidade por metais pesados. Além disso, essa deposição pode favorecer a eficiência fotossintética (Frew *et al.*, 2018). O acúmulo de Si nas plantas pode estar relacionado à via do ácido jasmônico (JA), uma vez que esta ativa proteínas envolvidas na absorção do nutriente, estimuladas pelas rotas do JA (Ye *et al.*, 2013).

Sabe-se que o estado nutricional da cultura influencia na produção e na qualidade em campo. Alguns estudos realizados com adubação silicatada demonstraram a capacidade que o Si tem de contribuir na melhoria das condições do desenvolvimento da planta, tais como os realizados por Oliveira *et al.* (2023), que constataram que a aplicação de Si no solo proporcionou um aumento linear na produtividade do trigo e diminuiu a quantidade de indivíduos do pulgão *Sitobium avenae* (Fabricius) (Hemiptera: Aphididae), em genótipos de

trigo resistentes e suscetíveis, indicando que o uso de Si é compatível com o uso de plantas resistentes e com potencial para uso no manejo integrado de *S. avenae* em trigo.

O papel benéfico do Si para cultivo de milho sob estresses térmico, hídrico e nutricional é particularmente relevante para o milho de segunda safra no Brasil. Atualmente, em torno de 70 % do milho produzido no Brasil é cultivado na segunda safra (Nóia Júnior; Sentelhas, 2019), tipicamente em sucessão à soja. Normalmente, o milho de segunda safra exibe maior variabilidade na produtividade em função de ser cultivado sob condições de maior risco de estresses, sobretudo térmico e hídrico (Andrea *et al.*, 2018). Portanto, investigar o papel do Si no desempenho agronômico do milho em Cerrado é essencial para orientar práticas de manejo para maximizar a produtividade.

Alguns estudos têm investigado o impacto do Si sobre processos bióticos no solo, tanto interações com insetos pragas (Rajput *et al.*, 2021), quanto microrganismos, a diversidade e riqueza microbiana no solo na cultura do milho foram beneficiadas pela aplicação de Si na forma de nanopartículas (Rangaraj *et al.*, 2014).

Entretanto, apesar de reconhecida a importância dos efeitos benéficos do Si para algumas culturas, ainda é necessário ampliar os conhecimentos a respeito deste elemento em efeito residual no sistema de sucessão de culturas, pois se determinando os possíveis efeitos benéficos em longo prazo, será possível propor novas técnicas de manejo da cultura. Dessa forma, a pesquisa sobre o Si nesse contexto permite identificar práticas que potencializem o aproveitamento desse elemento, contribuindo para a saúde do solo, a ciclagem de nutrientes e o aumento da produtividade de maneira sustentável.

O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito residual do silicato de cálcio e magnésio e da sucessão de culturas no Si no solo e na planta, no desenvolvimento e produtividade das culturas do milho, trigo e soja, na população de insetos associada a essas culturas e na atividade microbiana do solo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A sucessão de culturas no Cerrado

O Cerrado brasileiro é reconhecidamente uma região de alto potencial para produção de grãos, contudo, há grande quantidade de áreas manejadas incorretamente de maneira a favorecer a degradação física, química e biológica do solo. Ao longo das últimas décadas, técnicas de manejo inovadoras possibilitaram a execução de cultivos em sucessão à soja (verão-outono); a exemplo de milho, sorgo, milheto, feijão, girassol, forrageiras, dentre outras. Diversas espécies vegetais têm sido utilizadas como cobertura do solo, destacando-se as gramíneas pela elevada produtividade de biomassa, enquanto as leguminosas se sobressaem pela capacidade de fixação biológica do nitrogênio atmosférico (Oliveira *et al.*, 2021).

O cultivo de plantas de cobertura na entressafra proporciona ganhos comerciais e contribui para a manutenção e recuperação do ambiente. Assim, para alcançar a máxima eficiência da capacidade produtiva do solo, o planejamento da rotação de culturas deve considerar, além das espécies comerciais como soja, milho, arroz, feijão e sorgo, aquelas destinadas à cobertura do solo ou ao uso como adubos verdes, a exemplo da crotalária, do tremoço-branco, do nabo forrageiro e de gramíneas como o milheto e as braquiárias. Essas espécies se destacam pela elevada produção de biomassa e podem ser cultivadas tanto em sistema solteiro quanto em consórcio com culturas comerciais (Nascente *et al.*, 2014).

A rotação de culturas é definida como o cultivo alternado de diferentes espécies, de forma sucessiva, na mesma área (Oliveira *et al.*, 2010). Segundo os autores, essa prática é recomendada com o objetivo de evitar a sucessão da mesma cultura, a qual compromete a sustentabilidade do sistema produtivo em razão da exaustão do solo decorrente do uso repetitivo do mesmo modelo de exploração agrícola, além de favorecer o aumento da incidência de pragas, doenças e plantas daninhas. Nesse contexto, o uso da rotação de culturas com espécies capazes de produzir quantidades de biomassa superiores a 7 toneladas por hectare, contribui para a manutenção permanente mínima de resíduos vegetais na superfície do solo (Mateus; Santos, 2012).

O uso de forrageiras do gênero *Brachiaria spp.* tem ganhado destaque como cultura formadora de palhada no período do ano em que a disponibilidade de água no solo é baixa e as temperaturas são amenas. A braquiária é uma planta da família Poaceae (Gramineae), largamente utilizada em pastagens de países tropicais, em especial no Brasil. As braquiárias adaptam-se às mais variadas condições de solo e clima, ocupando espaço cada vez maior em

todo o território brasileiro, por proporcionar produções satisfatórias de forragem em solos com baixa e média fertilidade (Soares Filho, 1994).

O milho (*Zea mays* L.) é uma planta da família Poaceae e sua relevância econômica no Brasil têm aumentado de forma significativa nas últimas décadas, tendo como centro de origem o México, e o Teosinto, uma gramínea herbácea selvagem, considerada o ancestral do milho cultivado hoje (Magelsdorf, 1986).

O uso de plantas de cobertura apresenta importantes benefícios agronômicos, entre eles o incremento na disponibilidade de nutrientes, como o nitrogênio, para as culturas subsequentes, resultado da decomposição e mineralização promovidas pelos microrganismos do solo. A velocidade desse processo é influenciada por diversos fatores, incluindo acidez, umidade, temperatura do solo e, especialmente, a relação carbono/nitrogênio (C/N) dos resíduos vegetais. Em geral, materiais com baixa razão C/N (inferior a 20:1) tendem a apresentar decomposição e mineralização mais rápidas, enquanto resíduos com alta razão C/N (superior a 30:1) favorecem a imobilização de nitrogênio pelos microrganismos (Figueiredo, 2014).

No contexto dos agroecossistemas localizados no Cerrado, recomenda-se a utilização de espécies de plantas de cobertura que apresentem decomposição mais lenta, garantindo maior persistência da palhada e melhoria das condições edáficas. Assim, a razão C/N constitui um dos principais parâmetros utilizados para estimar o potencial de decomposição dos materiais vegetais aplicados ao solo (Carvalho, 2025).

Em regiões tropicais, a rápida decomposição da matéria orgânica no solo reduz os efeitos da adubação verde. A formação e estabilidade dos agregados do solo dependem do suprimento contínuo e da decomposição de resíduos orgânicos. A combinação de gramíneas e leguminosas fixadoras de nitrogênio favorece a estruturação do solo, sendo que as raízes das gramíneas, devido à alta relação C:N, decompõem-se lentamente e contribuem para a estabilização dos macroagregados (Lima Filho *et al.*, 2023).

Por isso, o consórcio entre o milho e plantas de cobertura representa uma alternativa promissora, pois possibilita maior produção de biomassa e pode favorecer a cultura principal, mantendo ou até aumentando sua produtividade (Mhlanga *et al.*, 2016). Esse efeito é ainda mais significativo quando se utilizam leguminosas no consórcio, devido à sua contribuição na fixação biológica de nitrogênio (Kermah *et al.*, 2017). Segundo Gazolla *et al.* (2015) a soja (*Glycine max* (L.) Merril), como toda leguminosa, apresenta altos teores de N em sua biomassa e uma relação C/N baixa, tendo assim uma rápida decomposição da palhada.

A soja é originária do leste da Ásia, mais especificamente do nordeste da China, conhecida também como região da Manchúria (Hymowitz, 1970). Em 1882, D'Ultra fez o primeiro relato de cultivo de soja no Brasil no estado da Bahia, no entanto as cultivares introduzidos, oriundos dos Estados Unidos, não tiveram boa adaptação em uma latitude em torno de 12° Sul (Sediyama *et al.*, 2009). Em 1908, imigrantes japoneses introduziram a soja em São Paulo, em latitude em torno de 22° Sul, cujas primeiras observações foram feitas no Instituto Agronômico de Campinas (Embrapa, 1974; Sediyama *et al.*, 1985). Nessa região, a soja apresentou melhor desenvolvimento que na Bahia (Sediyama *et al.*, 2009). Contudo, foi no estado do Rio Grande do Sul que a soja obteve bons rendimentos, dado que as condições edafoclimáticas eram semelhantes ao seu local de origem.

Entre as espécies de inverno, o nabo-forrageiro (*Raphanus sativus* var. *oleiferus* Metzg.) destaca-se pela boa tolerância à semeadura em condições de temperaturas mais altas, sendo considerada uma oleaginosa pertencente à família Brassicaceae. É cultivado nas regiões Sul e Central do Brasil como cultura de inverno, sucedendo principalmente cultivos como soja e milho (Oliveira *et al.*, 2015). Há algum tempo, *R. sativus* tem sido utilizado como adubo verde, cobertura do solo, reciclagem de nutrientes (Scavo, *et al.* 2022), descompactação e alívio do solo, além de compor esquemas de rotação de culturas (Forte *et al.* 2018). O nabo-forrageiro, em especial, tem sido amplamente adotado pelos agricultores devido ao seu potencial para promover o preparo biológico do solo e a reciclagem de nutrientes (Lima Filho *et al.*, 2023).

O trigo também é uma cultura que vem ganhando espaço na agricultura, e possui grande relevância para produção agrícola, pois é o segundo cereal mais produzido no mundo. Entretanto, no levantamento da safra 2024/25, a produção nacional de trigo apresenta a tendência de retração, com projeção para um volume de 7.536,7 mil toneladas, 3,07 t ha⁻¹ valor 4,5% inferior ao registrado na safra anterior. A redução da área destinada ao trigo, em comparação ao ciclo anterior, está associada ao elevado custo de produção, às perdas acumuladas nas últimas safras em decorrência do déficit hídrico e de geadas em algumas regiões, às dificuldades de comercialização, aos preços mais atrativos do milho e à opção de parte dos agricultores pelo cultivo do sorgo como alternativa (Companhia Nacional de Abastecimento, 2025).

O trigo é pertencente à família Poaceae, subfamília Pooideae, tribo Triticeae (Dumont), subtribo Triticinae, gênero *Triticum* (Lineu, 1753). O grão é do tipo cariopse, pequeno, seco, indeiscente e forma apenas um grão a partir de cada flor. A inflorescência do trigo é uma espiga composta, dística, formada por espiguetas alternadas e opostas no ráquis. Cada espigueta é constituída por flores dispostas alternadamente e presas à ráquila. Normalmente as flores

superiores são estéreis e imperfeitas. Na base da espigueta estão duas brácteas que recebem o nome de glumas e que têm a função de proteger as flores de cada espigueta (Scheeren *et al.*, 2015).

O trigo, no sistema de sequeiro, proporciona excelente cobertura de solo, que é de extrema relevância para o sistema de plantio direto no cerrado brasileiro, melhorando a capacidade de retenção de água no solo e da fertilidade, contribuindo para a sustentabilidade do sistema agrícola (Albrecht *et al.*, 2007).

2.2 Silício no solo

O Si é o segundo elemento mais abundante na crosta terrestre, contudo mesmo sabendo que a maioria dos solos contém consideráveis quantidades de Si, cultivos intensivos podem reduzir, de modo rápido, o teor desse elemento no solo. Os mecanismos de absorção de Si também já foram bem caracterizados para plantas de arroz, milho, cavaliinha e cevada, nas quais o Si é absorvido de forma ativa por meio de proteínas de membranas específicas para o ácido monossilícico (Korndörfer; Souza, 2018).

Os compostos de Si do solo geralmente estão presentes como SiO_2 e vários aluminossilicatos. O quartzo, juntamente com formas cristalinas de silicatos (plagioclásio, ortoclásio e feldspatos), minerais secundários ou ricos em argila e Si (caulim, vermiculita e esmectita) e sílica amorfa são os principais constituintes da maioria dos solos. Essas formas de Si são apenas moderadamente solúveis e geralmente biogeoquimicamente inertes. Os ácidos monossilícico e polissilícico são as principais formas solúveis de Si no solo que provavelmente foram observados em maior concentração na sucessão milho/ trigo/ nabo/ milho/ trigo sem a aplicação de Si via corretivo (Snyder *et al.*, 2015).

No solo o Si está presente nas formas de Si estrutural presente nos minerais silicatados, Si adsorvido ou precipitado aos coloides do solo e ácido monossilícico (H_4SiO_4), que é a forma preferencialmente absorvida, pois se apresenta prontamente disponível para as plantas (Korndörfer; Souza, 2018). Destaca-se o papel do Si na redução de estresse nutricional (Ali *et al.*, 2020), o qual tende a ser relevante para cultivos em solos com baixa fertilidade natural.

As formas de fornecimento de Si para as culturas são realizadas por meio da utilização de escórias de siderurgia, silicatos de cálcio, magnésio e potássio (Freitas *et al.*, 2011). Além de fornecer Si para as culturas essas fontes apresentam o potencial de serem empregadas na correção do solo, em decorrência da formação de ácido monossilícico (H_4SiO_4) resultando em uma elevação de pH (Nolla *et al.*, 2013).

Os solos tropicais são geralmente intemperizados, podendo apresentar valores de Si menores que 2 mg dm⁻³, sendo que os minerais primários contendo o Si na sua composição praticamente já não são mais encontrados. O Si pode ser fornecido através da adubação em forma de silicato de cálcio (CaSiO₃), o que irá contribuir para o aumento na capacidade de trocas de cátions e na correção de acidez, disponibilizando cátions e fornecendo cálcio para a cultura (Alleoni *et al.*, 2009; Ker *et al.*, 2012).

Estudos têm demonstrado melhorias nos atributos químicos do solo com o uso de silicato, destacando-se, além da elevação do pH, o aumento dos teores de Ca, Mg, P e Si, neutralização do alumínio e a elevação da saturação por bases (V%) (Korndorfer *et al.*, 2010; Sarto *et al.*, 2014).

De acordo com Prezotti e Martins (2012), a aplicação de escória siderúrgica promoveu aumento da (V%) aos três e seis meses após sua incorporação. Resultado semelhante foi relatado por Rodrigher *et al.* (2015), que observaram, após 12 meses da aplicação superficial de calcário, a redução da acidez na camada de 0–5 cm, em menor intensidade na de 5–10 cm, refletindo no consequente incremento do V%.

2.3 Efeito do silício nas plantas

A adubação com nutrientes, via solo ou foliar, além de favorecer o desenvolvimento e a produtividade, pode influenciar a resistência das plantas a pragas. Os efeitos benéficos deste elemento estão relacionados à deposição de Si nas folhas, através do xilema, o Si é alocado na parede celular, em maior concentração em tecidos de suporte como caule e folhas, na forma de sílica amorfa hidratada ou opala biogênica (SiO₂nH₂O), proporcionando uma maior dureza e rigidez dos tecidos (Moreira *et al.*, 2010). As folhas ficam mais eretas, favorecendo o recebimento de luz, maior captação de CO₂ e diminuição do excesso de transpiração (Ma; Yamaji, 2006), contribuindo para que as plantas possam apresentar melhor desenvolvimento sob estresses ambientais.

Segundo Bakhat *et al.* (2018), plantas que apresentam teores de Si nas folhas superiores a 1,5% da biomassa seca são classificadas como acumuladoras, enquanto aquelas com valores inferiores a 0,5% são consideradas não acumuladoras. A soja é enquadrada como intermediária, com concentrações médias de 1,19 mg 100 g⁻¹ de Si, ao passo que o trigo é classificado como acumuladora, apresentando teor médio de 10,98 mg 100 g⁻¹ de Si (Marafon; Endres, 2013). Já Haynes (2017) propõe que plantas com concentrações de Si superiores a 10 g kg⁻¹ sejam consideradas acumuladoras, as que apresentam valores abaixo de 0,5% como excludentes, e

aquelas com teores intermediários enquadrem-se como plantas intermediária. As quantidades de Si absorvidas por culturas como arroz e cana-de-açúcar estão na mesma ordem que as de macronutrientes como N e K.

Mais de 90% do Si encontrado nas plantas está concentrado na epiderme foliar, e as gramíneas, tais como arroz, cana-de-açúcar, milho e trigo, possuem grande capacidade de acúmulo desse elemento (Barbosa Filho *et al.*, 2000). As poáceas são plantas acumuladoras de Si e absorvem de forma passiva nas células das raízes via simplasto ou apoplasto, através do processo de difusão ativa, canais de água ou por meio de proteínas de membranas específicas para o ácido monossilícico, sendo potencializada pelo fluxo em massa da água (Korndörfer; Souza, 2018).

Os transportadores de Si em plantas pertencem à subfamília NIP (proteínas semelhantes à nodulina-26) das aquaporinas, canais de membrana que, além de água, também conduzem moléculas como amônia, boro, dióxido de carbono, peróxido de hidrogênio, silício e ureia (Gomes *et al.*, 2009; Hove; Bhave, 2011). Entre eles, os NIP2 se destacam por sua capacidade exclusiva de transportar Si, sendo considerados marcadores importantes da habilidade das espécies vegetais em absorver esse elemento. Genes NIP2 relacionados à absorção de Si foram克隆ados principalmente em monocotiledôneas e em plantas inferiores (Ma *et al.*, 2006; Gomes *et al.*, 2009; Montpetit *et al.*, 2012). Mais recentemente, também foram caracterizados em dicotiledôneas, como abóbora e soja (Deshmukh *et al.*, 2013).

Dois genes transportadores de Si da soja, GmNIP2-1 e GmNIP2-2, foram identificados e caracterizados, mostrando expressão em raízes e parte aérea e resposta ao aumento de Si. A funcionalidade de GmNIP2-2 no transporte de Si, confirmada em oócitos de *Xenopus*, evidencia a capacidade genética da soja em absorver o elemento. Esses achados destacam o potencial dos transportadores de Si para otimizar a absorção e os benefícios do Si em plantas (Deshmukh *et al.*, 2013).

Transportadores semelhantes a Lsi1 e Lsi2 também foram identificados em cevada e milho, com localização e padrões de expressão distintos dos observados no arroz. Nesses cereais, HvLsi1 na cevada e ZmLsi1 no milho, estão presentes em células epidérmicas, hipodérmicas e corticais, e seus níveis de expressão não sofrem influência da disponibilidade de Si. Em cevada e milho o Si é transportado via simplástico até as endoderme, até o xilema por meio de HvLsi2/ZmLsi2, enquanto no arroz a absorção ocorre pelas células da exoderme via OsLsi1, sendo posteriormente liberado no apoplasto e conduzido ao cilindro central através de OsLsi2 (Marschner, 2012).

Montpetit *et al.* (2012) clonaram e caracterizaram o gene TaLsi1, transportador de Si do trigo, mostrando que sua expressão em *Arabidopsis*, uma espécie de baixa capacidade de absorção de Si, aumenta significativamente o acúmulo de Si. A expressão em raízes e brotos elevou o Si acumulado quatro a cinco vezes, porém com efeitos deletérios, enquanto a expressão restrita às raízes, sob controle de um promotor específico, aumentou a absorção de Si sem prejudicar o crescimento.

O Si está associado a diversos efeitos benéficos, tais como: o baixo coeficiente de transpiração, melhorando a eficiência no uso da água; maiores teores de clorofila e dureza dos tecidos, proporcionando redução do acamamento com folhas mais eretas, diminuição do autossombreamento e maior área fotossintética, o que melhora a capacidade de fixação de CO₂. Somando-se a isto, o Si é capaz de proporcionar o aumento do número de folhas, da massa seca e do crescimento das plantas; redução dos efeitos tóxicos de metais pesados e do estresse salino; e aumento da resistência a pragas e doenças, o que consequentemente contribui para o aumento do rendimento das culturas (Korndörfer; Lepsch, 2001; Lima *et al.*, 2011; Marafon; ENDRES, 2011; Ahmed *et al.*, 2014; Manivannan; Ahn, 2017).

Comumente, os efeitos observados do Si adicionado à planta na presença de estresses diversos incluem estimulação e manutenção de um sistema ativo de defesa antioxidante, manutenção da integridade da membrana, manutenção do teor de clorofila e taxa fotossintética, e síntese de compostos orgânicos solúveis (por exemplo, ácidos orgânicos e polifenóis) (Haynes, 2017).

O Si solúvel no citosol desencadeia várias vias metabólicas que resultam na produção de ácido jasmônico e compostos orgânicos vegetais induzidos por herbívoros. Esses processos físicos e bioquímicos mediados pelo Si fortalecem as defesas das plantas contra estresses bióticos, como insetos, fungos e bactérias. Além disso, o Si solúvel atrai predadores naturais e parasitoides durante ataques de pragas, contribuindo para o aumento do controle biológico (Bakhat *et al.*, 2018).

O Si pode alterar as propriedades da parede celular, proporcionando o alongamento celular e, consequentemente, o crescimento da planta (Toledo *et al.*, 2012). Além disso, o Si está envolvido com os atributos da água nas plantas e sua presença ajuda a manter uma maior pressão de turgescência, contribuindo para suportar maiores taxas de expansão de folhas e raízes (Hajiboland *et al.*, 2018).

O efeito da proteção mecânica é atribuído, principalmente, ao depósito de Si, na forma de sílica amorfa (SiO₂.nH₂O), na parede celular. O acúmulo de Si na epiderme provoca a formação de uma dupla camada de sílica cuticular, a qual, pela redução da transpiração (Datnoff

et al., 2001), faz com que a exigência de água pelas plantas seja menor. Isso pode ser de extrema importância para as plantas que crescem em solos de clima tropical, onde estão sujeitas a veranicos. Os benefícios da aplicação de Si se tornam mais evidentes em condições de estresse hídrico (Amin *et al.*, 2016). Como discutido por Amin *et al.* (2016), plantas de milho cultivadas sob estresse hídrico apresentaram melhores taxas de crescimento e produtividade devido à aplicação de Si, o qual parece ter contribuído para o aumento da taxa fotossintética e a redução da transpiração.

A deficiência de Si reduz a fertilidade do pólen, o que resulta em uma redução drástica da produção de frutos. No entanto, o mecanismo responsável por esse tipo de efeitos ainda é desconhecido (Bakhat *et al.*, 2018).

2.4 Uso do silício no manejo de pragas

A adoção de estratégias que visam fortalecer as plantas vem ganhando espaço, métodos adicionais com inclusão do Si nos programas de adubação surgem como alternativas promissoras para manejo de pragas, garantir boas produtividades e manter a sustentabilidade do sistema ao longo dos anos.

Costa (2024) investigou a resistência constitutiva a insetos, a interação do Si com essa resistência e a produtividade, além de avaliar os metabólitos secundários de defesa em tomateiro anão da linhagem UFU MC TOM 1. Observou-se que a aplicação de Si no solo elevou o teor de acilaçúcares nas folhas do tomateiro LN4x2B1. Os tricomas glandulares do tomate cultivado (*Solanum lycopersicum* L.) e de muitas outras espécies da família Solanaceae produzem e secretam misturas de ésteres de açúcares (acilaçúcares) nas superfícies aéreas da planta (Schilmiller *et al.*, 2016). Embora não tenha alterado a produtividade, o Si aumentou a resistência a *Tuta absoluta* (Meyrick) nos genótipos suscetíveis e a *Neoleucinodes elegantalis* (Guenée) em todos os genótipos, independentemente do nível de resistência, demonstrando seu potencial como ferramenta no manejo integrado de pragas do tomateiro.

Os nutrientes, quando fornecidos para as plantas via solo ou foliar, além de favorecerem o desenvolvimento e a produtividade, podem contribuir no aumento ou diminuição na resistência das plantas às pragas. Foi observado em vários estudos, que a adubação com Si é benéfica para as plantas, desempenhando importante papel no aumento da resistência de plantas a insetos. É conhecido que deposição de Si sob as cutículas das folhas aumenta a dureza e abrasividade dos tecidos da planta, comprometendo o aparelho bucal do inseto e diminuindo a palatabilidade e digestibilidade do tecido vegetal pelo herbívoro (Massey *et al.*, 2009).

As plantas ajustam suas respostas defensivas a diferentes herbívoros com base em elicitores associados a herbívoros e nos padrões de dano, como alimentação ou oviposição. Ainda, a teoria da ótima defesa, define que qualquer estratégia defensiva é adaptativa se aumentar a sobrevivência ou reprodução relativa; em certos casos, diferenças de aptidão são graduais, enquanto em outros são categóricas, como a resistência ou suscetibilidade de sementes a patógenos. Essa visão em camadas permite analisar separadamente os fatores que definem e moldam as respostas defensivas das plantas em ontogenéticos, mecanísticos, evolutivos e funcionais (Schuman; Baldwin, 2016).

No nível ontogenético, mudanças no desenvolvimento causam grandes variações na resposta hormonal e metabólica à herbivoria, tais como, o pico de etileno em plantas de *Nicotiana attenuata* Torr. ex S. Watson., alimentadas por *Manduca sexta* (Linnaeus) (Lepidoptera: Sphingidae), mas esse pico desaparece com a emissão da primeira flor, indicando uma transição de defesas induzíveis para constitutivas durante a fase reprodutiva. No nível mecanístico, o padrão de resposta a herbívoros pode ser modulado por mutações em elementos cis-regulatórios do DNA, ou por mutações no *splicing* alternativo de genes JAZ e outros reguladores. No nível evolutivo alguns genes mutados podem ser mantidos por seleção balanceada em populações herbívoras imprevisíveis ou cíclicas, enquanto em outros casos a seleção purificadora fixa um alelo específico na população. No nível funcional, o efeito de um traço defensivo sobre a aptidão do indivíduo depende de interações dinâmicas e aptidão darwiniana, sendo que plasticidade e percepção refinada são importantes, mas, como supõe a teoria da ótima defesa, qualquer estratégia é válida desde que seja adaptativa (Schuman; Baldwin, 2016).

A deposição de sílica nas folhas aumenta a rugosidade e o número de espinhos e tricomas nas partes aéreas das plantas, reduzindo os danos causados por pragas (Massey; Hartley, 2009). A sílica polimerizada se acumula na parede celular, no lúmen, nos espaços intercelulares e nos tricomas (Cooke; Leishman, 2011), reforçando a resistência dos tecidos. Esse fortalecimento da parede celular dificulta a penetração de insetos herbívoros (Reynolds *et al.*, 2009).

Jeer *et al.* (2017), avaliando o efeito do Si sobre a herbivoria de *Scirpophaga incertulas* (Walker) em plantas de arroz, constataram que a adição do Si contribuiu para o aumento da deposição de Si nas paredes celulares da planta, o que provocou uma ruptura da membrana peritrófica do intestino médio de lagartas que se alimentaram de plantas com Si, em comparação com lagartas que não se alimentaram de plantas com Si tiveram a membrana peritrófica intacta.

Segundo Kvedaras *et al.* (2007), a ação do Si pode ter efeitos que incluem a redução do crescimento e da reprodução da espécie-praga, diminuição ou atraso da penetração do inseto na planta. Além disso, o Si apresenta potencial em produzir aleloquímicos não constitutivos e aumentar a atração de inimigos naturais de inseto praga.

Oliveira *et al.* (2020) avaliando a capacidade atrativa do parasitoide *Lysiphlebus testaceipes* (Cresson) (Hymenoptera: Braconidae) para parasitismo do pulgão *Rhopalosiphum padi* (L.) (Hemiptera: Aphididae) no trigo, verificaram que o Si estimula a produção de compostos orgânicos voláteis, o que contribuiu para que, a emissão de voláteis de plantas adubadas com Si não infestadas com pulgão fosse tão atraente quanto plantas adubadas com Si infestada com pulgão ou planta infestada com pulgão sem a adubação com Si.

Sampaio *et al.* (2020) constataram que a aplicação de Si em plantas de sorgo, reduziu a fecundidade de pulgões da espécie *Schizaphis graminum* (Rondani) (Hemiptera: Aphididae), criados individualizados em plantas com padrão de suscetibilidade, moderada resistência e plantas resistentes. Já o parasitoide *L. testaceipes* obteve maior peso médio de múnia quando criado a partir de pulgões alimentados em plantas adubadas com Si.

Oliveira *et al.* (2023) observaram que a adição de silicato de potássio ao solo reduziu a população de pulgões *Sitobium avenae* (Fabricius), sendo que doses mais elevadas de Si proporcionaram maior redução, tanto em variedades suscetíveis quanto resistentes. Doses de 100–200 kg ha⁻¹ foram necessárias para reduzir significativamente os pulgões, enquanto 50 kg ha⁻¹ não diferiram do controle. A solubilidade da fonte de Si, como no caso do silicato de potássio, que é totalmente solúvel e prontamente disponível, também influenciou o efeito. Embora não tenha sido possível determinar se a resistência induzida foi devido à antibiose, antixenose ou ambas, os resultados indicam o potencial do Si no manejo integrado de *S. avenae* em trigo.

Perdomo *et al.* (2022) verificaram que adição de Si ao solo aumentou seu teor foliar no milho, o que parece ter induzido resistência e reduzido a desfolha por *Spodoptera frugiperda* (Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). Em infestações naturais, baixas doses de Si reduziram a desfolha apenas a cinco dias após a infestação, enquanto altas doses mostraram efeito 15 dias após a infestação, demonstrando efeito consistente na redução da desfolha por lagarta.

Boer *et al.* (2019) estudaram a resistência constitutiva de híbridos de milho a *Rhopalosiphum maidis* (Fitch) (Hemiptera: Aphididae) e a indução de resistência pelo Si em híbridos com diferentes níveis de resistência. Os ensaios experimentais de antibiose indicaram que AG7088PRO3 e DKB310PRO2 foram suscetíveis, enquanto P30F53YH se mostrou resistente. A aplicação de Si no solo aumentou a resistência a *R. maidis* tanto em híbridos

suscetíveis quanto em constitutivamente resistentes, demonstrando seu potencial no manejo de pulgões no milho.

2.5 Efeitos da adubação na atividade de microrganismos do solo

Em longo prazo a utilização excessiva de fertilizantes químicos, especialmente fertilizantes inorgânicos, pode ocasionar impactos negativos sobre qualidade do solo, levando a uma série de problemas ambientais, como a eutrofização da água, erosão do solo e perda de biodiversidade (Ji *et al.*, 2023).

Os microrganismos do solo são essenciais para o funcionamento e a sustentabilidade do sistema agrícola, não apenas na condução das interações solo e planta, mas também nas propriedades do solo e rendimento das culturas. Os microrganismos não são apenas um indicador importante da saúde do solo, mas as suas atividades regulam a acumulação de carbono orgânico no solo e os ciclos de nutrientes. A fertilização química a longo prazo é capaz de reduzir a diversidade da comunidade bacteriana do solo, mas o uso de um fertilizante orgânico fez com que ela aumentasse (Van Der Bom *et al.*, 2018).

A aplicação de fertilizantes químicos pode levar à acidificação do solo; no entanto, adicionar os compostos orgânicos pode não só reduzir a acidificação do solo, mas pode contribuir para o aumento do teor de matéria orgânica, o que é útil para promover a ciclagem dos nutrientes do solo (Liu *et al.*, 2020).

Ji *et al.* (2023) estudaram as mudanças nas bactérias e comunidades fúngicas em campos de milho sob diferentes fontes de fertilizantes após irrigação. Os resultados demonstraram que a diversidade bacteriana e fúngica em solo agrícola de milho foram significativamente reduzidas com diferentes tratamentos de fertilização.

Zhang e Guan (2022) avaliaram os níveis de Si reativo no solo em campos de cultivo de arroz, e constataram que grupos bacterianos relacionados aos ciclos de nitrogênio, carbono, enxofre e ferro sofreram alterações significativas nos solos com deficiência de Si. O Si reativo do solo apresentou fortes relações diretas e indiretas com a composição das comunidades bacterianas em áreas agrícolas. Os resultados deste estudo ampliam a compreensão sobre a importância de otimizar a fertilização com Si na agricultura, visando à saúde e à sustentabilidade dos agroecossistemas.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local de instalação e delineamento experimental

O experimento foi conduzido dentre os meses de setembro de 2022 a maio de 2024, no Campo Experimental – CEPET da Universidade Federal de Viçosa, localizado no município de Capinópolis (MG) (Figura 1). Os solos da região são classificados como Latossolo Vermelho-Amarelo de textura argilosa (37% de argila), com alto teor de Si ($11,53 \text{ mg de Si kg}^{-1}$) (Tabela 1).

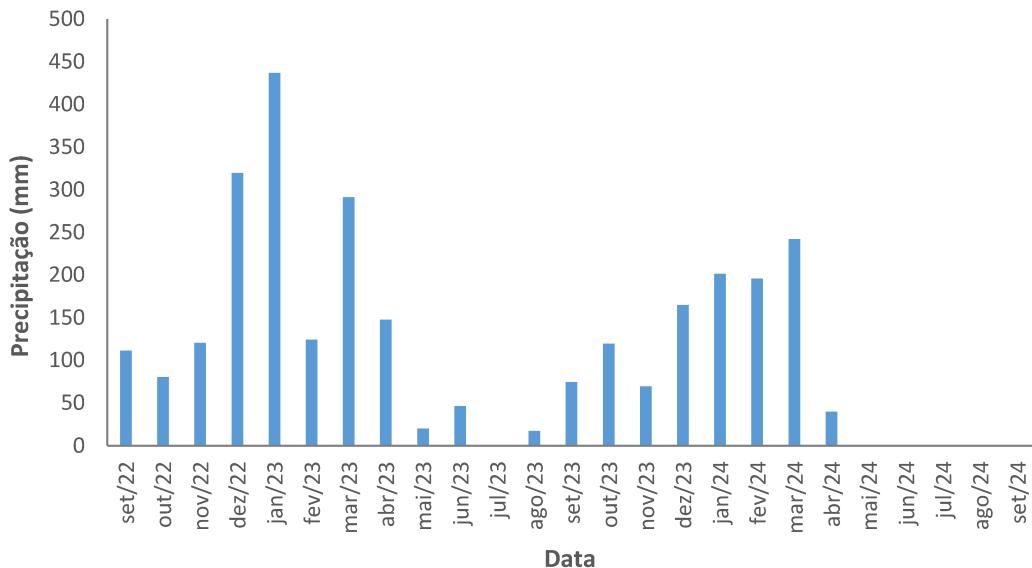
Figura 1 - Localização da CEPET – UFV, Capinópolis, MG.



Fonte: Google Earth, (2024).

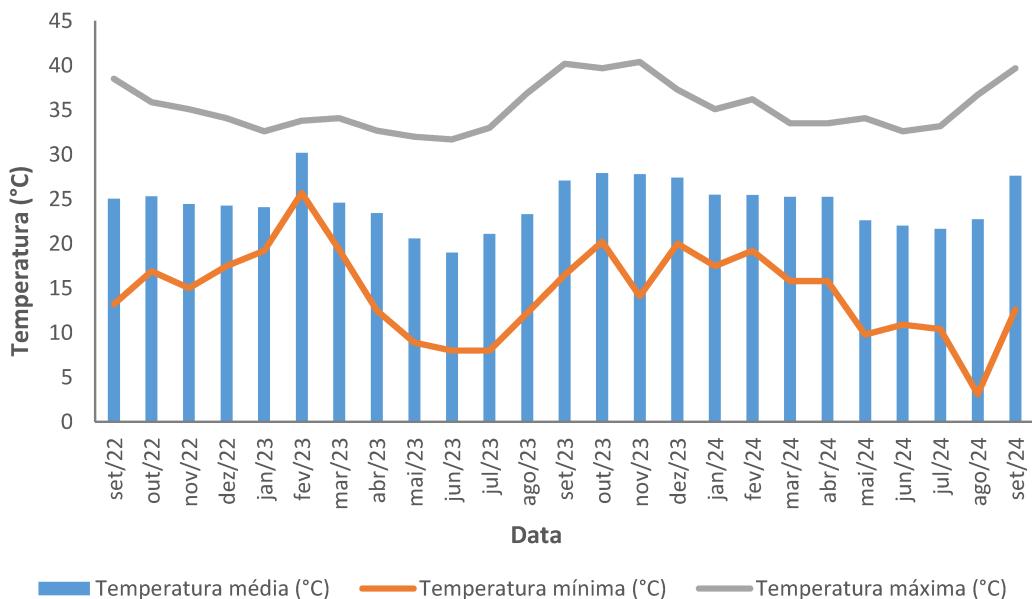
Segundo Camargo e Keeping (2021), o clima da região, conforme a classificação internacional de Köppen, é do tipo Aw, caracterizado por clima tropical com estação chuvosa no verão e seca no inverno. De acordo com os dados da estação meteorológica de Ituiutaba (INMET nº A512), considerada a mais próxima da área de estudo com séries completas entre 2022 e 2024, observam-se os seguintes registros: no período chuvoso de setembro de 2022 a março de 2023, a precipitação variou entre 80,4 mm (mínima) e 436,7 mm (máxima), enquanto as temperaturas oscilaram de 13,2 °C (mínima) a 38,5 °C (máxima). No intervalo subsequente, de setembro de 2023 a março de 2024, a precipitação variou de 69,6 mm a 242 mm, com temperaturas mínimas de 14,1 °C e máximas de 40,4 °C (Figuras 2 e 3).

Figura 2 – Dados de precipitação média na Estação INMET de Ituiutaba.



Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia, (2025).

Figura 3 – Dados de temperaturas médias mensais na Estação INMET de Ituiutaba.



Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia, (2025).

Previamente à instalação do experimento, em setembro de 2022, foi realizada amostragem de solos para caracterização física e química (Tabela 1). De acordo com a análise de solo os teores de P foram considerados bons e o de K considerados elevados (Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999).

Tabela 1 – Características químicas dos solos cultivados no início do experimento.

pH _{H2O}	P mg dm ⁻³	K	Ca	Mg	Al ³⁺	H+Al cmol _c dm ⁻³	SB	t	T
5,9	16,5	268	2,1	0,67	0	2,27	3,46	3,46	5,73
V %	m %	MO	CO	B	Cu	Fe mg dm ⁻³	Mn	Si mg kg ⁻¹	
60	0	1,5		0,9	0,16	7,04	15	22,02	11,53
Areia Total g kg ⁻¹	Silte	Argila							
520	110	370							

SB = Soma de Bases; t = CTC Efetiva; T = CTC pH 7,0; V = Sat. Base; m = Sat. Alumínio; P, K = HCl 0,05 mol L⁻¹ + H₂SO₄ 0,025 mol L⁻¹; S- Acetato de Amônio + Ácido Acético; Ca, Mg, Al = KCl 1 mol L⁻¹; M.O/CO = Método colorimétrico; H+Al = [Solução Tampão SMP a pH 7,5]; B = Extrator Mehlich I; Cu, Fe, Mn, Zn = DTPA em pH 7,3; cmol_c dm⁻³ x 10 = mmol_c dm⁻³; mg dm⁻³ = ppm; dag kg⁻¹ = %. Obs: Se P determinado em resina, Ca, Mg e K também determinado em resina.

Fonte: Safrar, adaptado pelo autor, (2022).

O experimento foi executado em esquema fatorial (aplicação de silicato x safras agrícolas) sob delineamento em blocos casualizados e em quatro safras (ver item 3.8 Análise dos dados) (Figura 4).

Figura 4 – Delineamento Experimental em blocos casualizados.

Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Bloco 4
Ca/Mg	Si ⁻	Ca/Mg	Si ⁺
Ca/Mg	Si ⁺	Si ⁺	Si ⁻
Si ⁺	Si ⁻	Ca/Mg	Si ⁺
Si ⁻	Si ⁺	Si ⁻	Ca/Mg
Ca/Mg	Ca/Mg	Si ⁺	Si ⁻
Si ⁺	Si ⁻	Si ⁻	Ca/Mg
Si ⁻	Ca/Mg	Si ⁺	Si ⁻
Ca/Mg	Si ⁻	Ca/Mg	Ca/Mg
Si ⁻	Si ⁺	Si ⁻	Si ⁻
Si ⁺	Ca/Mg	Si ⁺	Si ⁺
Si ⁻	Si ⁺	Ca/Mg	Si ⁺
Ca/Mg	Ca/Mg	Ca/Mg	Ca/Mg
Si ⁺	Si ⁻	Si ⁺	Ca/Mg
Si ⁺	Ca/Mg	Si ⁻	Si ⁺
Si ⁻	Si ⁺	Ca/Mg	Si ⁺
Si ⁺	Ca/Mg	Si ⁻	Si ⁻
Ca/Mg	Si ⁻	Si ⁺	Ca/Mg

Si⁺ - com aplicação de silicato de cálcio e magnésio na dose de 1.000 Kg de Si total ha⁻¹; Ca/Mg - controle com aplicação de calcário dolomítico para equilibrar as quantidades de Ca e Mg fornecidas pelo silicato; Si⁻ - controle sem aplicação de calcário, baseado na análise de solo e silicato.

Fonte: a própria autora.

As safras agrícolas foram conduzidas e denominadas: primeiro cultivo de verão 2022/2023 (Semeadura 23 DAA), segunda safra de 2023 (Semeadura 184 DAA), cultivo de

inverno 2023 (Semeadura 321 DAA) e segundo cultivo de verão 2023/2024 (Semeadura 391 DAA) (Tabela 2).

No sistema de sucessão de culturas, ao longo das quatro safras, foram utilizadas as combinações entre as culturas de milho, soja, trigo, braquiária e nabo forrageiro. A cultura do milho foi utilizada nas duas safras de verão (2022/2023 e 2023/2024) e na segunda safra de 2023. A cultura da soja foi utilizada nas duas safras de verão (2022/2023 e 2023/2024). A cultura do trigo foi utilizada somente na segunda safra de 2023. E no cultivo de inverno 2023 foram utilizadas as espécies de braquiária e nabo forrageiro (Tabela 2).

Tabela 2 – Sucessões de culturas em dias após a aplicação (DAA) de silicato de cálcio e magnésio, e os controles calcário dolomítico e sem aplicação, a cada safra de cultivo.

Aplicação de silicato	Primeiro cultivo de verão 2022/2023 (Semeadura 23 DAA)	2ª Safra 2023 (Semeadura 184 DAA)	Cultivo de inverno 2023 (Semeadura 321 DAA)	Segundo cultivo de verão 2023/2024 (Semeadura 391 DAA)
1 – SMBS Si+	Soja	Milho	Braquiária	Soja
2 – SMBS Ca/Mg	Soja	Milho	Braquiária	Soja
3 – SMBS Si ⁻	Soja	Milho	Braquiária	Soja
4 – SMNS Si+	Soja	Milho	Nabo	Soja
5 – SMNS Ca/Mg	Soja	Milho	Nabo	Soja
6 – SMNS Si ⁻	Soja	Milho	Nabo	Soja
7 – MTBM Si+	Milho	Trigo	Braquiária	Milho
8 – MTBM Ca/Mg	Milho	Trigo	Braquiária	Milho
9 – MTBM Si ⁻	Milho	Trigo	Braquiária	Milho
10 – MTNM Si+	Milho	Trigo	Nabo	Milho
11 – MTNM Ca/Mg	Milho	Trigo	Nabo	Milho
12 – MTNM Si ⁻	Milho	Trigo	Nabo	Milho
13 – STBS Si+	Soja	Trigo	Braquiária	Soja
14 – STBS Ca/Mg	Soja	Trigo	Braquiária	Soja
15 – STBS Si ⁻	Soja	Trigo	Braquiária	Soja
16 – STNS Si+	Soja	Trigo	Nabo	Soja
17 – STNS Ca/Mg	Soja	Trigo	Nabo	Soja
18 – STNS Si ⁻	Soja	Trigo	Nabo	Soja

B - braquiária, N - nabo forrageiro, M - milho, S - Soja, T- trigo. Si+ - com aplicação de silicato de cálcio e magnésio na dose de 1.000 Kg de Si total ha⁻¹; Ca/Mg - controle com aplicação de calcário dolomítico para equilibrar as quantidades de Ca e Mg fornecidas pelo silicato; Si⁻ - controle sem aplicação de calcário, baseado na análise de solo e silicato.

Fonte: a própria autora.

Cada sistema de sucessão de culturas foi submetido a três tratamentos: aplicação de silicato de cálcio e magnésio e dois controles, um com equilíbrio da quantidade de cálcio e magnésio pelo uso de calcário dolomítico e outro sem a aplicação de calcário e/ou Si (Tabela 3), seguindo a recomendação baseada na análise de solo.

A semeadura do primeiro cultivo de verão 2022/2023, com as culturas de soja e milho, foi realizada em 15 de dezembro de 2022, 23 dias após a aplicação (DAA) do silicato de cálcio

e magnésio. A segunda safra 2023, composta pela implantação das culturas de milho e trigo, foi semeada em 25 de maio de 2023 (184 DAA). O cultivo de inverno 2023 ocorreu em nove de outubro de 2023 (321 DAA), com a implantação de braquiária e nabo forrageiro. O segundo cultivo de verão 2023/2024, representada novamente pelas culturas de soja e milho, teve sua semeadura realizada em 18 de dezembro de 2023 (391 DAA) (Tabela 2).

Cada parcela consistiu em 15,0 m², totalizando 1.080,0 m² de área experimental. Para as culturas do milho e soja adotou-se o espaçamento de 0,5 m nas entrelinhas, totalizando 10 linhas de 3,0 metros de comprimento. Para o trigo adotou-se um espaçamento de 0,25 m entre linhas, totalizando 20 linhas com 3,0 metros de comprimento. A área útil consistiu em 1,0 metro das 4 fileiras centrais, com a eliminação das fileiras e margens das extremidades.

3.2 Manejo do solo e das culturas

Para que o calcário e o silicato de cálcio e magnésio tivessem tempo suficiente de reação no solo, a aplicação foi realizada em 22 de novembro de 2022 (23 dias antes da primeira semeadura).

O produto comercial AgroSilício Plus® foi utilizado como fonte de Si (37,82% de CaO e 9,30% de MgO e 12,26% de Si total), na dose de 1,0 t de Si total ha⁻¹. O calcário dolomítico Cazanga® (43,9% de Ca, 5,5% de MgO e PRNT 80%) foi utilizado para equilibrar a quantidade de Ca e Mg fornecidos pelo silicato, com a dose de 7,0 t ha⁻¹. O fornecimento de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) foi feito via solo, em função da análise de solos e produtividade esperada de acordo com o Manual de Recomendação Corretivos e Fertilizantes de Minas Gerais (CFSEMG, 1999), nas seguintes proporções para cada cultura: na soja foram aplicados 20 kg ha⁻¹ de N, 40 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 40 kg ha⁻¹ K₂O; para o milho foram aplicados 20 kg ha⁻¹ de N, 50 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 40 kg ha⁻¹ de K₂O; e para a cultura do trigo foram aplicados 20 kg ha⁻¹ de N, 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 30 kg ha⁻¹ de K₂O.

Para a adubação de plantio das culturas foi utilizado o formulado 4-14-8, e para adubação de cobertura foram utilizadas as fontes de ureia e cloreto de potássio nas proporções de 30 kg ha⁻¹ de N e 30 kg ha⁻¹ de K₂O para as culturas do trigo e milho, e para a soja apenas 30 kg ha⁻¹ de K₂O.

Durante as fases vegetativas e reprodutivas das culturas foi realizado o manejo de plantas infestantes com uso dos herbicidas atrazina (dose de 1,2 L p.c./ha), bentazona (dose de 3 L p.c./ha) e glifosato (dose de 3 L p.c./ha), e capina manual.

Não foi feita nenhuma aplicação de inseticida ou fungicida para controle de pragas e doenças para que fosse possível avaliar o efeito do Si na melhoria do desenvolvimento e produtividade das culturas. Durante a segunda safra (milho/trigo) foi feita irrigação através do sistema de aspersão com uma lâmina de 8,0 mm e ao longo dos ciclos de cultivo da primeira e o segundo cultivo de verão 2023/2024, a irrigação por aspersão foi utilizada somente como suplementar ao período chuvoso.

3.3 Cultivares e densidade de semeadura

A cultivar de soja utilizada foi a TMG 7067 IPRO que é do grupo de maturação 7.2, super precoce, recomendada para a região do Cerrado, apresenta crescimento semideterminado e ciclo médio de 112 a 125 dias. A densidade de semeadura adotada foi de 18 sementes/m, totalizando uma população de 50.000 plantas ha⁻¹.

Para cultura do milho foi utilizada a cultivar AG1051. A densidade de semeadura adotada foi de 3 sementes m⁻¹, totalizando uma população de 50.000 plantas ha⁻¹. Quanto ao trigo foi utilizada a cultivar BRS404 desenvolvida pela Embrapa, que é indicada para a região do Cerrado. O cultivo é recomendado em altitudes iguais ou superiores a 800 m, no sistema de sequeiro, sem irrigação, no período da segunda safra. A cultivar apresenta o ciclo precoce a médio, com variação de 57 a 77 dias da semeadura ao espigamento, e o ciclo total pode variar de 105 até 118 dias. A densidade de semeadura adotada foi de 240 sementes por m², totalizando uma população de 2,4 milhões de plantas ha⁻¹.

O cultivo de inverno 2023 com braquiária foi feito com *Urochloa ruziziensis* cv. *Brachiaria ruziziensis* que apresentam alta susceptibilidade às cigarrinha-das-pastagens (*Deois flavopicta* Stal e *Zulia entreriana* Berg), boa qualidade nutricional pois apresenta de 8 a 11% de proteína na matéria seca, proporciona excelente cobertura do solo e pode produzir de 12 a 15 t ha⁻¹ de matéria seca por ano. A semeadura da braquiária foi realizada em 09 de outubro de 2023 feita a lanço e com taxa de semeadura de 4 kg ha⁻¹.

Também no cultivo de inverno 2023 foi utilizado o nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.), que pode produzir de 2 a 3 t ha⁻¹ de massa seca, apresenta hábito de crescimento determinado, ciclo anual, muito vigorosa e cobre o solo rapidamente e controla ervas daninhas. A semeadura foi realizada a lanço com taxa de semeadura equivalente a 17 kg ha⁻¹.

3.4 Parâmetros de produção avaliados

Na cultura da soja, avaliaram-se a altura de plantas e altura de inserção da primeira vagem utilizando-se uma fita métrica, também foi avaliado a número médio de grãos por vagem por contagem direta e para a massa de 100 grãos utilizou-se uma balança de precisão. A produtividade foi extrapolada para 1,0 hectare de acordo com a população de plantas alcançada com o espaçamento entre plantas e entre linhas adotadas.

Para a cultura do milho, avaliou-se a altura de plantas, altura de inserção da primeira espiga e comprimento da espiga com auxílio de uma fita métrica. O diâmetro da espiga foi medido com um paquímetro digital. O número de fileiras por espiga, número de grãos por fileira, número de grãos por espiga foram avaliados por contagem direta. A massa de grãos por espiga e massa de 100 grãos foi pesada em balança de precisão e por fim, a produtividade foi estimada para 1,0 hectares de acordo com a população de plantas alcançada com o espaçamento entre plantas e entre linhas adotadas.

A avaliação do crescimento das plantas de trigo foi feita medindo-se a altura com fita métrica, o número de espiguetas por espiga, número de grãos por espigueta, número de grãos por espiga por contagem direta. A massa de 100 grãos foi determinada utilizando-se uma balança de precisão. O peso hectolitro foi determinado e a produtividade estimada para 1 hectare, de acordo com a população de plantas alcançada com o espaçamento entre plantas e entre linhas adotados.

Sessenta dias após a semeadura da braquiária e do nabo forrageiro, foi realizada a dessecação das culturas utilizando o glifosato (dose de 3 L p.c./ha), e posteriormente feita a incorporação ao solo através da grade de disco, visando o aproveitamento da matéria orgânica por meio da mineralização dos nutrientes constituintes no material vegetal.

3.5 Avaliação dos teores de silício

Para avaliação dos teores de Si no solo, ao final de cada safra, foram coletadas amostras de solo de cada parcela na profundidade de 0-20 cm, sendo duas amostras simples por parcela, em pontos representativos. As datas das coletas foram: após 1º cultivo de verão 2022/2023 – 22 de maio de 2023 (181 DAA); após 2ª safra 2023 – 09 de outubro de 2023 (321 DAA); após cultivo de inverno 2023 – 17 de dezembro de 2023 (390 DAA) e após 2º cultivo de verão 2023/2024 – 16 de maio de 2023 (541 DAA). As amostras coletadas foram armazenadas e avaliadas em conjunto ao final do experimento.

As amostras foram identificadas e encaminhadas para avaliação dos teores de Si no laboratório de Fertilidade do Solo da Universidade Federal de Uberlândia– LAFER. Os teores de Si no solo foram extraídos com as soluções de CaCl₂ a 0,01 mol L⁻¹ e de CH₃COOH a 0,5 mol L⁻¹ (Korndörfer *et al.*, 2004).

Para avaliação dos teores foliares de Si foram coletadas, da área útil de cada parcela, folhas das culturas da soja, milho e trigo, seguindo as recomendações de Malavolta (1997). Para a cultura da soja foram coletados 20 trifólios da terceira folha com pecíolo por parcela, na época de florescimento pleno. Para a cultura do milho foram amostradas 20 folhas por parcela na fase de pendoamento (50% das folhas pendoadas), retirando o terço central da folha da base da espiga. Para a cultura do trigo foram amostradas, por parcela, 30 folhas bandeira no início do florescimento.

O material vegetal de cada espécie foi Triturado em moinho tipo Willey e submetido às análises químicas de Si (Korndörfer *et al.*, 2004). Ressalta-se que à medida que foram realizadas as coletas das folhas, as mesmas foram secas, moídas e acondicionadas em local seco e arejado, para que fossem analisadas em conjunto ao final do experimento.

3.6 Avaliação da população de insetos

O levantamento da população de insetos em campo foi realizado semanalmente. Para o monitoramento foram avaliadas oito plantas por parcela, sendo contadas a quantidade de todos os insetos identificados na planta com o auxílio de lupa. O monitoramento no primeiro cultivo de verão 2022/2023 (soja/milho) iniciou no dia 05 de janeiro de 2023 e finalizou em 03 de março de 2023. O monitoramento da segunda safra 2023 (milho/trigo) aconteceu entre 22 de junho de 2023 e 25 de agosto de 2023. O monitoramento no segundo cultivo de verão 2023/2024 (soja/milho) ocorreu entre 08 de janeiro de 2024 e 03 de março de 2024.

Os pulgões, após serem identificados em campo, foram coletados e acondicionados em frascos de vidro e, posteriormente, encaminhados ao laboratório de entomologia para a correta identificação taxonômica.

3.7 Avaliação da atividade microbiana

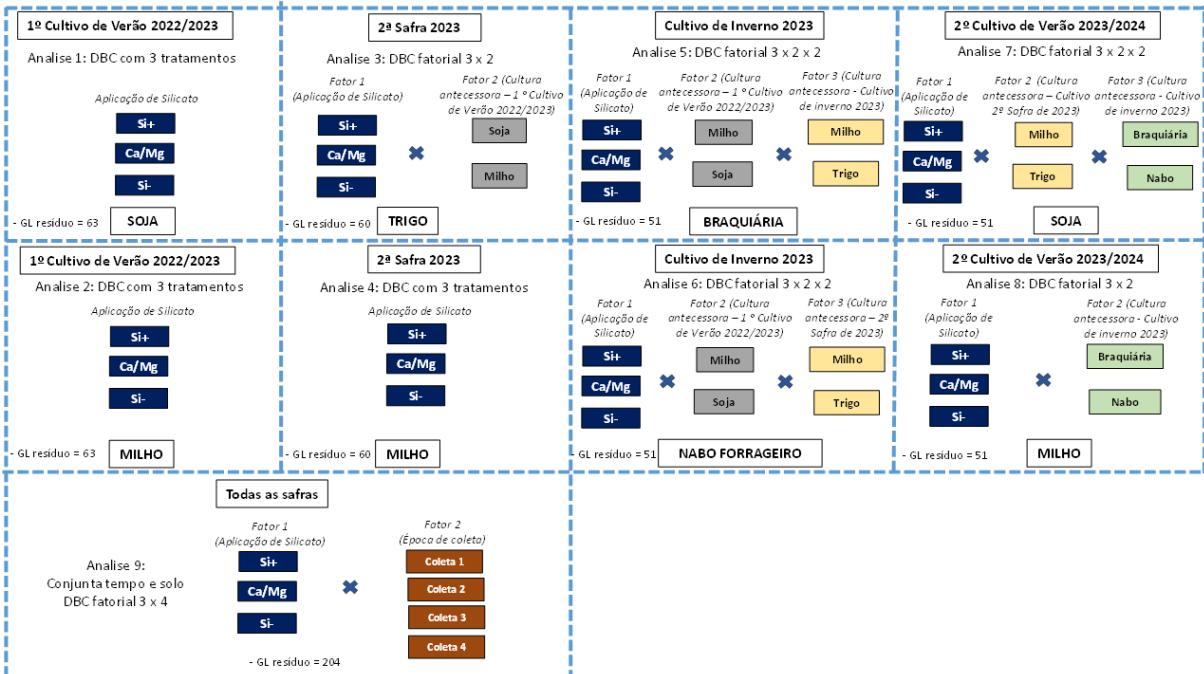
Para avaliação da atividade microbiana, ao final do segundo cultivo de verão 2023/2024 (milho e soja), em 16 de maio de 2024 (541 DAA), foram coletadas amostras de solo e encaminhadas ao Laboratório de Microbiologia Agrícola da Universidade Federal de

Uberlândia para determinação da respiração microbiana (RES), carbono solúvel (CS), carbono da biomassa microbiana (CBM) e o quociente metabólico (qCO_2).

3.8 Análise dos dados

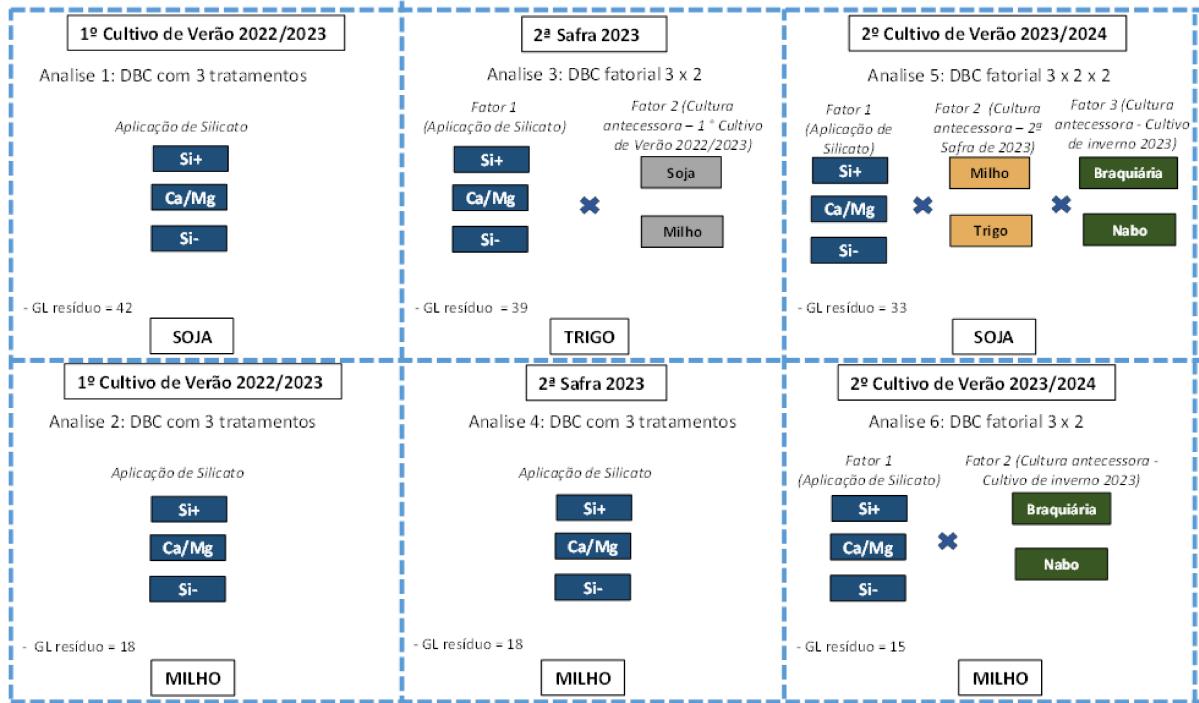
Os dados foram analisados individualmente para os teores de Si foliar e no solo, parâmetros de produtividade e ocorrência de insetos, considerando o efeito do sistema de sucessão de culturas, da aplicação de silicato no solo e suas interações (Figuras 5, 6, 7 e 8).

Figura 5 – Esquema do delineamento experimental para o teor de Si no solo após os cultivos de milho, soja e trigo, após o primeiro cultivo de verão 2022/2023, segunda safra 2023, cultivo de inverno 2023 e segundo cultivo de verão 2023/2024.



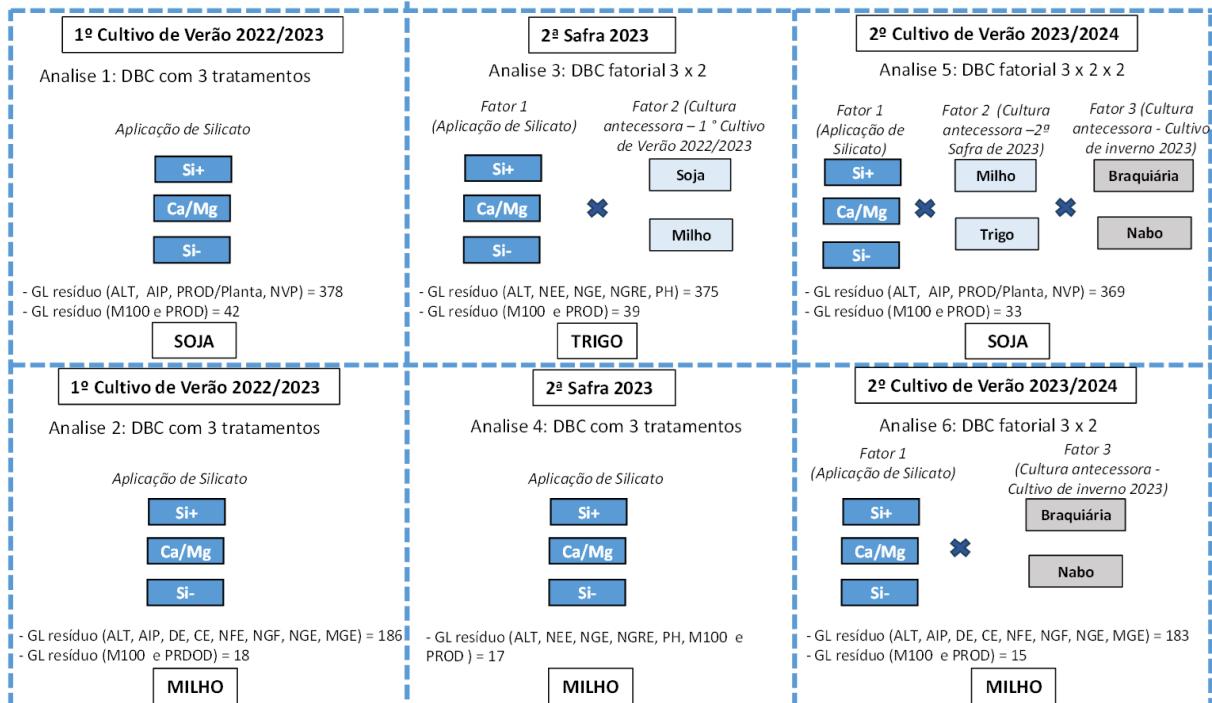
Fonte: a própria autora.

Figura 6 – Esquema do delineamento experimental para os teores de Si foliar nas culturas de milho, soja e trigo, durante o primeiro cultivo de verão 2022/2023, segunda safra 2023, cultivo de inverno 2023 e segundo cultivo de verão 2023/2024.



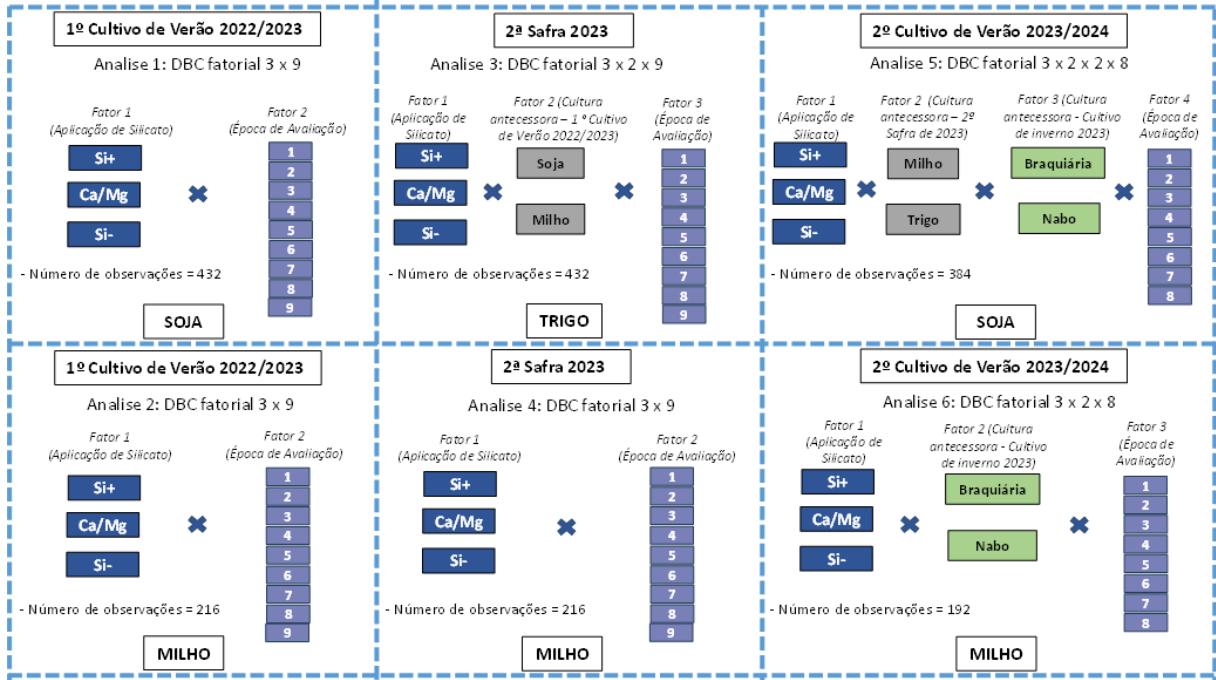
Fonte: a própria autora.

Figura 7 – Esquema do delineamento experimental para os parâmetros de produtividade das culturas de milho, soja e trigo, durante o primeiro cultivo de verão 2022/2023, segunda safra 2023 e segundo cultivo de verão 2023/2024.



Fonte: a própria autora.

Figura 8 – Esquema do delineamento experimental para o número de insetos por planta nas culturas de milho, soja e trigo, durante o primeiro cultivo de verão 2022/2023, segunda safra 2023 e segundo cultivo de verão 2023/2024.



Fonte: a própria autora.

A seguir estão detalhadas as metodologias para cada parâmetro analisado.

3.8.1 Silício no solo e folhas

Para os teores de Si no solo após o segundo cultivo de verão 2023/2024 foi realizada a análise conjunta do teor de Si no solo considerando os fatores interação de tratamento (aplicação de silicato e sistema de sucessão de culturas) e datas de coleta ao longo das diferentes safras, com repetições dentro de cada coleta. e as médias comparadas pelo teste de Tukey e Scott-Knott a 5% de probabilidade (Figura 5; Tabela 3).

Tabela 3 – Interações avaliadas (Sistema de sucessão x Aplicação de silicato) para os teores de Si no solo e foliar durante a segunda safra de 2023, cultivo de inverno 2023 e segundo cultivo de verão 2023/2024.

2ª Safra 2023 (Coleta de solo 321 DAA)	Cultivo de inverno 2023 (Coleta de solo 390 DAA)	2º Cultivo de verão 2023/2024 (Coleta de solo 541 DAA)
Tratamento	Tratamento	Tratamento
ST Si ⁺	STN Si ⁺	STNS Si ⁺
ST Si ⁻	STN Si ⁻	STNS Si
ST Ca/Mg	STN Ca/Mg	STNS Ca/Mg
SM Si ⁺	STB Si ⁺	STBS Si ⁺
SM Si ⁻	STB Si ⁻	STBS Si
SM Ca/Mg	STB Ca/Mg	STBS Ca/Mg
MT Si ⁺	SMN Si ⁺	SMNS Si ⁺
MT Si ⁻	SMN Si ⁻	SMNS Si
MT Ca/Mg	SMN Ca/Mg	SMNS Ca/Mg
	SMB Si ⁺	SMBS Si ⁺
	SMB Si ⁻	SMBS Si ⁻
	SMB Ca/Mg	SMBS Ca/Mg
	MTN Si ⁺	MTNM Si ⁺
	MTN Si ⁻	MTNM Si ⁻
	MTN Ca/Mg	MTNM Ca/Mg
	MTB Si ⁺	MTBM Si ⁺
	MTB Si ⁻	MTBM Si ⁻
	MTB Ca/Mg	MTBM Ca/Mg

B - braquiária, N - nabo forrageiro, M - milho, S - Soja, T- trigo. Si⁺ - com aplicação de silicato de cálcio e magnésio na dose de 1.000 Kg de Si total ha⁻¹; Ca/Mg - controle com aplicação de calcário dolomítico para equilibrar as quantidades de Ca e Mg fornecidas pelo silicato; Si⁻ - controle sem aplicação de calcário e silicato, baseado na análise de solo.

Fonte: a própria autora.

3.8.2 Dados de produtividade

Os dados dos indicadores de produtividade de cada cultura foram analisados de acordo com os tratamentos (Tabela 4) e esquemas fatoriais de cada safra (Figura 7). Os dados foram submetidos à análise de variância, e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Tabela 4 – Interações avaliadas (Sistema de sucessão x Aplicação de silicato) para os dados indicadores de produtividade obtidos nos cultivos de verão nas safras 2022/2023 e 2023/2024, para as culturas do milho e soja.

Milho	Soja
MTBM Si+	SMBS Si+
MTBM Ca/Mg	SMBS Ca/Mg
MTBM Si-	SMBS Si-
MTNM Si+	SMNS Si+
MTNM Ca/Mg	SMNS Ca/Mg
MTNM Si-	SMNS Si-
	STBS Si+
	STBS Ca/Mg
	STBS Si-
	STNS Si+
	STNS Ca/Mg

B - braquiária, N - nabo forrageiro, M - milho, S - Soja, T- trigo. Si+ - com aplicação de silicato de cálcio e magnésio na dose de 1.000 Kg de Si total ha^{-1} ; Ca/Mg - controle com aplicação de calcário dolomítico para equilibrar as quantidades de Ca e Mg fornecidas pelo silicato; Si- - controle sem aplicação de calcário e silicato, baseado na análise de solo.

Fonte: a própria autora.

3.8.3 População de insetos

Para avaliação da população de insetos, em cada cultura e ciclo de cultivo, foi ajustado um modelo linear generalizado misto, com distribuição binomial negativa e função de ligação log, sendo os tratamentos (aplicação de silicato, 1º e 2º cultivo de verão, segunda safra de 2023 e cultivo de inverno 2023) e as épocas de coleta (assim como a interação), considerados como fatores fixos, e a coleta das parcelas dentro de cada bloco ao longo do tempo como fator aleatório (Figura 8). As médias encontradas foram comparadas pelo teste de Tukey a 10% de probabilidade.

3.8.4 Atividade microbiana

Os dados de acúmulo de carbono no solo após o segundo cultivo de verão nas amostragens sequenciais ao longo do tempo para os tratamentos MTBM Si+, MTBM Ca/Mg, MTBM Si-, STNS Si+, STNS Ca/Mg e STNS Si- foram submetidos à análise de variância, regressão e teste de médias. Os modelos para regressão foram escolhidos de acordo com a significância dos betas, sentido biológico e coeficiente regressão. As médias foram comparadas Scott-Knott aos níveis de 5% e 10% de probabilidade.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Teores de silício no solo

O uso do silicato teve efeito sobre os teores de Si no solo para o primeiro cultivo de verão 2022/2023, segunda safra de 2023, cultivo de inverno 2023 e segundo cultivo de verão 2023/2024 (Apêndice A).

Os maiores teores de Si no solo foram observados nos tratamentos que receberam o silicato de cálcio e magnésio ($13,45 \text{ mg kg}^{-1}$), por outro lado, a cultura, milho ou soja, não afetou o teor de Si no solo após o final do primeiro cultivo de verão (Tabela 5). Embora o milho tenha maior capacidade de absorver Si do solo do que a soja (Haynes, 2017; Bakhat *et al.*, 2018; Korndörfer; Souza, 2018), não se observou maior redução deste elemento no solo após o cultivo do milho.

Tabela 5 – Teores de Si (mg kg^{-1}) no solo durante o primeiro cultivo de verão 2022/2023 em resposta às correções de solo e culturas implantadas.

1º Cultivo de verão 2022/2023 (Semeadura 23 DAA)	
Aplicação de silicato	Teor de Si no solo (mg kg^{-1})
Si+	13,45 a
Ca/Mg	8,59 b
Si ⁻	8,56 b
Cultura	Teor de Si no solo (mg kg^{-1})
Milho	9,96
Soja	10,32

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Médias com ausência de letras na coluna, de acordo com o teste F, são estatisticamente iguais. Si+ com aplicação de silicato de cálcio e magnésio na dose de 1.000 Kg de Si total ha^{-1} , Ca/Mg controle com aplicação de calcário dolomítico para equilibrar as quantidades de Ca e Mg fornecidas pelo silicato; Si⁻ - controle sem aplicação de calcário e silicato, baseado na análise de solo.

Fonte: a própria autora.

Comparando os teores de Si (mg kg^{-1}) no solo durante a 2^a safra de 2023, cultivo de inverno 2023 e 2º cultivo de verão 2023/2024, em resposta aos sistemas de sucessões e a aplicação de silicato, verificou-se que os tratamentos à base de Si+, independente do sistema de sucessão, apresentaram as maiores médias de Si no solo (Tabela 6). Entretanto, cabe mencionar que durante o 2º cultivo de verão 2023/2024, verificou-se que os grupos STBS Si+, SMNS Si+, SMBS Si⁻, STNS Ca/Mg, SMBS Si+, STNS Si+, SMNS Si⁻, MTBM Si+, SMBS Ca/Mg, apresentaram médias superiores nos teores de Si no solo, o que abrange quase todos os

tratamentos com Si+, com exceção do tratamento MTNM Si+, que apresentou médias inferiores que os demais sistemas com aplicação de silicato, correspondente a 9,33 mg de Si kg⁻¹.

Tabela 6 – Teores de Si (mg kg⁻¹) no solo durante a 2^a safra de 2023, o cultivo de inverno 2023 e 2º cultivo de verão 2023/2024 em resposta a aplicação de silicato de cálcio e magnésio.

2 ^a Safra de 2023 (Semeadura 184 DAA)		Cultivo de inverno 2023 (Semeadura 321 DAA)		2º Cultivo de Verão 2023/2024 (Semeadura 391 DAA)	
Tratamento	Si (mg kg ⁻¹)	Tratamento	Si (mg kg ⁻¹)	Tratamento	Si (mg kg ⁻¹)
ST Si+	13,24 a	STN Si+	12,48 b	STNS Si+	10,56 a
ST Si-	8,85 b	STN Si-	10,17 b	STNS Si-	9,05 b
ST Ca/Mg	9,54 b	STN Ca/Mg	11,07 b	STNS Ca/Mg	10,80 a
SM Si+	14,55 a	STB Si+	14,92 a	STBS Si+	11,79 a
SM Si-	10,41 b	STB Si-	10,20 b	STBS Si-	9,63 b
SM Ca/Mg	10,47 b	STB Ca/Mg	9,79 b	STBS Ca/Mg	9,07 b
MT Si+	14,39 a	SMN Si+	11,08 b	SMNS Si+	11,50 a
MT Si-	10,31 b	SMN Si-	9,85 b	SMNS Si-	10,34 a
MT Ca/Mg	9,16 b	SMN Ca/Mg	9,64 b	SMNS Ca/Mg	9,43 b
		SMB Si+	13,93 a	SMBS Si+	10,63 a
		SMB Si-	11,89 b	SMBS Si-	10,92 a
		SMB Ca/Mg	10,46 b	SMBS Ca/Mg	9,82 a
		MTN Si+	14,70 a	MTNM Si+	9,33 b
		MTN Si-	10,05 b	MTNM Si-	8,69 b
		MTN Ca/Mg	11,75 b	MTNM Ca/Mg	7,71 b
		MTB Si+	15,18 a	MTBM Si+	10,13 a
		MTB Si-	11,52 b	MTBM Si-	8,27 b
		MTB Ca/Mg	11,99 b	MTBM Ca/Mg	7,98 b

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade. B - Braquiária, N - nabo forrageiro, M - milho, S - Soja, T- trigo, Si+ - com aplicação de silicato de cálcio e magnésio na dose de 1.000 Kg de Si total ha⁻¹, Ca/Mg - controle com aplicação de calcário dolomítico para equilibrar as quantidades de Ca e Mg fornecidas pelo silicato; Si- - controle sem aplicação de calcário e silicato, baseado na análise de solo.

Fonte: a própria autora.

Não há uma determinação do nível de Si no solo que seja considerado ideal para o desenvolvimento das culturas. Porém, para cana-de-açúcar, teores menores do que 10 mg de Si kg⁻¹ são considerados passíveis de incremento dos teores de Si por meio da adubação (Camargo; Keeping, 2021). Com isso, percebe-se que os teores iniciais do solo no presente estudo são considerados altos e só mantiveram em níveis acima de 10 mg de Si kg⁻¹ após o segundo cultivo de verão 2023/2024, principalmente, com a aplicação de silicato de cálcio e magnésio.

Os resultados para os teores de Si no solo (mg kg⁻¹) em função da época de coleta de solo e o sistema de sucessão não apresentaram interação, porém, a época de coleta influenciou o teor de Si no solo (Apêndice B). Observou-se que os valores médios registrados de Si no solo aos 181 DAA (10,20 mg kg⁻¹) e 541 DAA (9,76 mg kg⁻¹) não diferiram entre si, compondo o

grupo de menor teor de Si no solo. Em contraste, as coletas realizadas aos 321 DAA (11,21 mg kg⁻¹) e 390 DAA (11,70 mg kg⁻¹) apresentaram médias superiores deste elemento no solo (Tabela 7).

Tabela 7 –Teores de Si (mg kg⁻¹) no solo em função das épocas de coleta.

Época de coleta	Si (mg kg ⁻¹)
Mai/2023 (181 DAA)	10,20 b
Out/2023 (321 DAA)	11,21 a
Dez/2023 (390 DAA)	11,70 a
Mai/2024 (541 DAA)	9,76 b

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: a própria autora.

Esses resultados indicam que o Si foi disponibilizado em maiores teores no solo ao longo do tempo, com a solubilização do Si presente no silicato de cálcio e magnésio. Porém, com a utilização deste elemento pelas plantas nos cultivos sucessivos, houve redução dos teores de Si no solo.

Castro (2012) demonstrando o efeito residual do silicato no solo, verificou que as determinações das frações não-trocáveis de Ca e Mg aliada às características químicas apresentadas na análise de fertilidade do solo na amostragem realizada 18 meses após a aplicação do silicato, evidenciaram que ainda havia calcário e silicato por reagir na área.

As reações de dissociação, polimerização e precipitação do Si no solo estão diretamente associadas à sua concentração na solução, à presença de óxidos de Fe e Al e ao pH do solo (Korndörfer; Souza, 2018). A elevação do pH, por sua vez, pode favorecer a maior disponibilidade de Si, nesse sentido, quanto mais elevado o pH, maior tende a ser a disponibilidade de Si no solo e sua absorção pelas plantas (Castro, 2009). Considerando esses aspectos, os baixos teores de óxidos de Fe e Al, e pH de 5,9 (Tabela 1), observados antes da aplicação do silicato contribuíram para a maior disponibilização de Si em até 12 meses após o início dos tratamentos.

Observa-se que os teores de Si no solo variaram de acordo com a época de coleta de solo (Tabela 8). De modo geral, a aplicação de Si⁺ proporcionou maiores teores de Si em comparação aos Ca/Mg e ao Si⁻, confirmando o efeito positivo do silicato de cálcio na disponibilização do nutriente.

Nota-se que, aos 181 e 321 DAA, os valores de Si foram superiores no tratamento Si⁺, com destaque para sucessões envolvendo milho e soja, que apresentaram teores de Si acima de 14 mg kg⁻¹. Aos 390 DAA, os teores ainda se mantiveram elevados em todos os sistemas com

aplicação de silicato, enquanto nos tratamentos Ca/Mg e Si⁻ os valores permaneceram em patamares intermediários, próximos a 10–12 mg kg⁻¹. Entretanto, aos 541 DAA houve redução dos teores de Si em todos os tratamentos, indicando possível absorção pelas culturas sucessoras e redistribuição no perfil do solo, embora os sistemas com Si⁺ ainda tenham apresentado valores superiores em relação aos demais tratamentos (Tabela 8).

Tabela 8 – Teores de Si (mg kg⁻¹) no solo em função da época de coleta de solo após cada cultivo agrícola.

Época de Coleta	Sistema de Sucessão de Culturas					
	MTBM Ca/Mg	MTNM Ca/Mg	SMBS Ca/Mg	SMNS Ca/Mg	STBS Ca/Mg	STNS Ca/Mg
Mai/2023 (181 DAA)	9,02 ab	8,05 ab	8,92 a	8,42 a	7,02 a	10,12 a
Out/2023 (321 DAA)	8,74 ab	9,57 ab	9,99 a	10,94 a	9,48 a	9,59 a
Dez/2023 (390 DAA)	11,99 a	11,75 a	10,46 a	9,64 a	9,79 a	11,07 a
Mai/2024 (541 DAA)	7,98 b	7,71 b	9,82 a	9,43 a	9,07 a	10,80 a

Época de Coleta	MTBM Si ⁻	MTNM Si ⁻	SMBS Si ⁻	SMNS Si ⁻	STBS Si ⁻	STNS Si ⁻
Mai/2023 (181 DAA)	8,68 a	8,67 a	8,56 a	8,33 a	9,17 a	7,98 a
Out/2023 (321 DAA)	10,08 a	10,54 a	10,22 a	10,61 a	9,31 a	8,39 a
Dez/2023 (390 DAA)	11,52 a	10,05 a	11,89 a	9,85 a	10,20 a	10,17 a
Mai/2024 (541 DAA)	8,27 a	8,69 a	10,92 a	10,34 a	9,63 a	9,05 a

Época de Coleta	MTBM Si ⁺	MTNM Si ⁺	SMBS Si ⁺	SMNS Si ⁺	STBS Si ⁺	STNS Si ⁺
Mai/2023 (181 DAA)	12,09 ab	13,25 a	12,48 ab	14,58 a	15,48 a	12,82 a
Out/2023 (321 DAA)	13,44 ab	15,35 a	14,51 a	14,59 a	14,49 a	11,98 a
Dez/2023 (390 DAA)	15,18 a	14,70 a	13,93 ab	11,08 a	14,92 a	12,48 a
Mai/2024 (541 DAA)	10,13 b	9,33 b	10,63 b	11,50 a	11,79 a	10,56 a

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. B - Braquiária, N - nabo forrageiro, M - milho, S - Soja, T- trigo, Si⁺ - com aplicação de silicato de cálcio e magnésio na dose de 1.000 Kg de Si total ha⁻¹, Ca/Mg - controle com aplicação de calcário dolomítico para equilibrar as quantidades de Ca e Mg fornecidas pelo silicato; Si⁻ - controle sem aplicação de calcário e silicato, baseado na análise de solo.

Fonte: a própria autora.

Esses resultados evidenciam que o efeito da aplicação de silicato é mais pronunciado até aproximadamente um ano após a aplicação, não sendo influenciado pelas espécies utilizadas nos sistemas de sucessão. Com isso, observa-se que as sucessões com maior número de gramíneas, maiores acumuladoras de Si, não reduziram mais os teores de Si do solo, e indicando que as sucessões com a utilização do nabo como cultivo de inverno 2023 foram as que apresentaram as menores taxas de Si no solo com o passar do tempo.

4.2 Teores de Silício Foliar

4.2.1 Teores foliares de Si na Soja

No primeiro cultivo da soja de verão 2022/2023, não foram observados efeitos significativos da aplicação de silicato sobre os teores foliares de Si, indicando que, em curto prazo, os tratamentos não alteraram a absorção do nutriente pela cultura (Apêndice C). No segundo cultivo de verão 2023/2024, não foi observada interação dos fatores aplicação de silicato, cultivos anteriores (segunda safra 2023 e cultivo de inverno 2023). Porém, verificou-se o efeito da aplicação de silicato e da cultura utilizada na segunda safra 2023 no teor foliar de Si (Apêndice C), sendo menor nas plantas que receberam Ca/Mg (Tabela 9).

Tabela 9 – Teores de Si (%) em folhas de soja, em resposta ao manejo do sistema agrícola, aplicação de Si, equilíbrio Ca/Mg e controle, no primeiro cultivo de verão 2022/2023 e segundo cultivo de verão 2023/2024.

Aplicação de silicato	SOJA	
	1º Cultivo de Verão 2022/2023 (Semeadura 23 DAA)	2º Cultivo de Verão 2023/2024 (Semeadura 391 DAA)
	Si (%)	Si (%)
Ca/Mg	0,402	1,179 b
Si ⁻	0,398	1,262 a
Si ⁺	0,423	1,236 ab

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Médias com ausência de letras na coluna, de acordo com o teste F, são estatisticamente iguais. Si⁺ com aplicação de silicato de cálcio e magnésio na dose de 1.000 Kg de Si total ha⁻¹, Ca/Mg controle com aplicação de calcário dolomítico para equilibrar as quantidades de Ca e Mg fornecidas pelo silicato; Si⁻ controle sem aplicação de calcário e silicato, baseado na análise de solo.

Fonte: a própria autora.

É importante observar que a interação aplicação de silicato e a espécie utilizada no cultivo de inverno 2023 (braquiária e nabo) tem indicação de significância, ou seja, ficou muito próxima de 0,05 ($p = 0,0534$) (Apêndice C), com isso, é provável que a interação com o cultivo de inverno 2023 possa explicar esses dados conflitantes de Si foliar em soja, sendo recomendado repetir esse estudo. Outro ponto que é importante salientar é que o teor foliar de Si no segundo cultivo de verão foi maior que 1% para a soja (Tabela 10), nível normalmente encontrado em plantas com alto potencial de absorção de Si, como as gramíneas (Deshmukh; Bélanger, 2015; Haynes, 2017).

Avaliando os efeitos da cultura antecessora na segunda safra de 2023 os teores de Si na cultura da soja, foi possível observar que as parcelas de soja cultivadas em sucessão ao trigo apresentaram média superior (1,276 %) de Si foliar em comparação às áreas conduzidas após

milho (1,176 %), evidenciando que a escolha da cultura antecessora pode influenciar na resposta de absorção de Si pela soja (Tabela 10). Por outro lado, em relação ao cultivo de inverno 2023, não foram observadas diferenças entre braquiária (1,219 %) e nabo forrageiro (1,233 %) (Tabela 10).

Tabela 10 – Teores de Si (%) em folhas de soja do segundo cultivo de verão 2023/2024 em resposta às culturas antecessoras na segunda safra de 2023 e cultivo de inverno 2023.

SOJA	
2ª Safra de 2023	Si (%)
Trigo	1,276 a
Milho	1,176 b
Cultivo de inverno 2023	
Si (%)	
Braquiária	1,219
Nabo forrageiro	1,233

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Médias com ausência de letras na coluna, de acordo com o teste F, são estatisticamente iguais.

Fonte: a própria autora.

De acordo com Deshmukh *et al.* (2013), a proteína codificada pelo gene GmNIP2-2 apresenta funcionalidade no transporte de Si em soja. Já Deshmukh e Bélanger (2015) destacam que a diferenciação quantitativa entre plantas competentes em Si, utilizada para classificá-las como acumuladoras intermediárias ou altas, ainda permanece ambígua e, em certa medida, arbitrária. As variações observadas na absorção de Si em condições de campo podem estar relacionadas a fatores agrícolas, como condições de crescimento, pH do solo e disponibilidade do elemento. Corroborando os resultados encontrados neste trabalho, observa-se que aspectos associados ao manejo agrícola, ao tempo de aplicação dos silicatos e à disponibilidade de Si no solo também influenciam significativamente o processo de absorção pelas plantas.

Coelho *et al.* (2019) avaliaram duas cultivares de soja submetidas à aplicação de diferentes doses de silício (0, 125, 250, 500, 625 e 750 kg ha⁻¹ de Si) incorporadas no sulco de plantio, utilizando como fonte um silicato de cálcio e magnésio em pó. Os autores verificaram que o teor de Si nas folhas não apresentou interação significativa entre as cultivares e as doses aplicadas. Observou-se menor teor foliar na dose de 625 kg ha⁻¹, com 10,31 g kg⁻¹, enquanto o maior teor foliar foi registrado na dose de 750 kg ha⁻¹, atingindo 12,37 g kg⁻¹.

Já Souza Júnio *et al.* (2022) utilizando fontes foliares de Si, os em plantas cultivadas de soja com diferentes fontes em diferentes concentrações, verificaram que o aumento das doses aplicadas de Si promoveu um comportamento quadrático na resposta das plantas, elevando

progressivamente o teor foliar de Si até atingir valores máximos de 2,00; 1,72; 1,71 e 1,57 g kg⁻¹ para as fontes silicato de sódio e potássio estabilizados por sorbitol (SiAl), ácido monossilícico estabilizado com PEG400 (SiAc), nanosílica Bindzil® (Nano) e silicato de potássio sem estabilizador (SiK), respectivamente. Da mesma forma, o acúmulo foliar de Si atingiu seus pontos máximos com concentrações de 0,77; 0,58; 0,69 e 0,96 g L⁻¹ para SiAl, SiAc, Nano e SiK, evidenciando diferenças na eficiência de absorção conforme a fonte utilizada.

Portanto, ajustes na metodologia de fornecimento de silício às plantas, especialmente por meio da aplicação foliar, podem representar uma alternativa viável para suplementação desse elemento, com potencial para produzir resultados agronômicos significativos.

4.2.2 Teores foliares de Si no Milho

Os teores foliares de Si na cultura do milho revelaram que, no primeiro cultivo de verão de 2022/2023, não houve efeito da aplicação de silicato, indicando que a aplicação de silicato de cálcio e magnésio, controle com aplicação de calcário dolomítico e controle sem aplicação de calcário e Si, não promoveram alterações expressivas na absorção de Si nesse período inicial. No entanto, na segunda safra de 2023, observou-se efeito da aplicação de silicato, evidenciando que a aplicação de silicato ou calcário influenciou diretamente a disponibilidade e a absorção de Si pelas plantas de milho (Apêndice D). Já no segundo cultivo de verão de 2023/2024, nem a aplicação de silicato, nem a cultura de inverno ou a interação entre esses fatores apresentaram efeitos, sugerindo que, nesse estágio, a dinâmica do Si no solo e sua absorção pela planta foram menos dependentes da aplicação de silicato ou do sistema de sucessão (Apêndice D).

A avaliação dos teores foliares de Si no milho demonstrou que, no primeiro cultivo de verão 2022/2023, não houve diferenças entre os tratamentos Ca/Mg, Si⁻ e Si⁺ (Tabela 11). Na segunda safra de 2023, entretanto, observou-se diferença entre os tratamentos, com maior teor de Si nas plantas que receberam silicato (0,838 %), em comparação ao Ca/Mg (0,692 %) e Si⁺ (0,678 %), evidenciando o efeito positivo da fonte silicatada sobre a absorção do elemento. Já no segundo cultivo de verão 2023/2024, não houve diferença entre as médias dos tratamentos (Tabela 11). Esses resultados sugerem que, ao longo dos cultivos, a disponibilidade natural de Si do solo e o acúmulo progressivo do elemento podem ter reduzido as diferenças entre os manejos.

Os valores ligeiramente menores dos teores de Si nas folhas de milho no primeiro cultivo de verão 2022/2023, quando comparada ao segundo cultivo de verão 2023/2024, pode estar

relacionada ao pouco tempo entre a aplicação do elemento no solo, sua solubilização e capacidade limitada de absorção pela cultivar utilizada no primeiro cultivo de verão (Tabela 11). Também, é notória a melhor capacidade de absorver Si por plantas de milho cultivadas nas duas safras de verão em relação ao milho cultivado na segunda safra 2023 (Tabela 11), sugerindo-se que possa ser em função das melhores condições ambientais para mineralização e absorção dos nutrientes, tais como teor de água no solo e maiores temperaturas.

Tabela 11 – Teores de Si (%) em folhas de milho em resposta ao manejo do sistema agrícola, aplicação de Si e equilíbrio Ca/Mg no primeiro cultivo de verão 2022/2023, segunda safra de 2023 e segundo cultivo de verão 2023/2024.

Aplicação de silicato	MILHO		
	1º Cultivo de Verão 2022/2023 (Semeadura 23 DAA)		2º Cultivo de Verão 2023/2024 (Semeadura 391 DAA)
	Si (%)	Si (%)	Si (%)
Ca/Mg	1,338	0,692 b	1,703
Si ⁻	1,592	0,678 b	1,895
Si ⁺	1,571	0,838 a	1,824

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Médias com ausência de letras na coluna, de acordo com o teste F, são estatisticamente iguais. Si⁺ com aplicação de silicato de cálcio e magnésio na dose de 1.000 Kg de Si total ha⁻¹, Ca/Mg controle com aplicação de calcário dolomítico para equilibrar as quantidades de Ca e Mg fornecidas pelo silicato; Si⁻ controle sem aplicação de calcário e silicato, baseado na análise de solo.

Fonte: a própria autora.

No segundo cultivo de milho de verão 2023/2024, os teores foliares de Si não apresentaram diferenças em função das culturas antecessoras de inverno, com valores médios de 1,830 % na sucessão com braquiária e 1,785 % no cultivo com nabo forrageiro (Tabela 12). Esses resultados indicam que o aporte de resíduos vegetais provenientes das culturas de inverno não influenciou de maneira expressiva a disponibilidade de Si no solo nem a sua absorção pelas plantas de milho.

Tabela 12 – Teores de Si (%) em folhas de milho cultivado no segundo verão 2023/2024 em resposta às culturas antecessoras cultivadas no inverno 2023.

MILHO	
Cultivo de inverno 2023	Si (%)
Braquiária	1,830
Nabo	1,785

De acordo com o teste F, as medias são estatisticamente iguais.

Fonte: a própria autora.

Freitas *et al.* (2011) avaliaram os efeitos de diferentes doses e épocas de aplicação foliar de silício na cultura do milho, utilizando doses de 130, 260, 390 e 520 g ha⁻¹ de Si, aplicadas

em três estádios fenológicos (2, 5 e 8 folhas expandidas), além de uma testemunha sem aplicação. Os autores observaram que o teor foliar máximo de silício, estimado em 7,70 g kg⁻¹, foi alcançado com a aplicação de 217,9 g ha⁻¹ de Si via foliar.

Assim como observado para a cultura da soja, a mudança na forma de fornecimento de silício, especialmente por meio da aplicação foliar, pode representar uma estratégia promissora para a cultura do milho, com potencial para gerar resultados na absorção de silício de forma significativa.

4.2.3 Teores foliares de Si no Trigo

Na segunda safra de 2023, os teores de Si foliar no trigo evidenciaram diferenças entre as aplicações de Si, Ca/Mg e controle sem aplicação. Por outro lado, o efeito do primeiro cultivo de verão 2022/2023 não interferiu nos teores de Si foliar no trigo, assim como a interação aplicação de silicato e primeiro cultivo, sugerindo que a cultura antecessora não alterou a resposta do trigo à aplicação do silicato (Apêndice E).

Observa-se que a aplicação de Si⁺ resultou nos maiores teores de Si nas folhas (3,169 %), diferindo dos tratamentos Si⁻ (2,631 %) e Ca/Mg (2,413 %), que apresentaram valores inferiores e semelhantes entre si (Tabela 13). Esses resultados evidenciam que a adição de silicato foi mais eficiente em elevar a disponibilidade e a absorção de Si pelo trigo em comparação ao Ca/Mg e Si⁻, confirmando o potencial dos silicatos como fonte suplementar de Si em sistemas agrícolas.

Tabela 13 – Teores de Si (%) em folhas de trigo em resposta ao manejo do sistema agrícola, aplicação de Si e equilíbrio Ca/Mg na segunda safra de 2023.

TRIGO	
2ª Safra 2023 (Semeadura 184 DAA)	
Aplicação de silicato	Si (%)
Si ⁺	3,169 a
Si ⁻	2,631 b
Ca/Mg	2,413 b

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Si⁺ com aplicação de silicato de cálcio e magnésio na dose de 1.000 Kg de Si total ha⁻¹, Ca/Mg controle com aplicação de calcário dolomítico para equilibrar as quantidades de Ca e Mg fornecidas pelo silicato; Si⁻ controle sem aplicação de calcário e silicato, baseado na análise de solo. Fonte: a própria autora.

Os teores foliares de Si no trigo não apresentaram diferença em função da cultura antecessora, seja milho (2,63 %) ou soja (2,85 %) (Tabela 14), indicando que a sucessão, nesse caso, não exerceu efeito sobre a disponibilidade de Si no solo nem sobre a absorção pelo trigo.

Tabela 14 – Teores de Si (%) em folhas de trigo na segunda safra de 2023 em resposta à cultura antecessora cultivadas na safra de 2022/2023.

TRIGO	
1º Cultivo de verão 2022/2023	Si (%)
Milho	2,63
Soja	2,85

De acordo com o teste F, as medias desse fator são estatisticamente iguais.

A absorção de Si em arroz, trigo, milho, cevada e abóbora têm sido demonstradas como sendo mediada por transportadores de proteínas de influxo (Lsi1) e efluxo (Lsi2) (Haynes, 2017). Geralmente, as plantas podem ser classificadas como acumuladoras de Si, não acumuladoras de Si ou excludentes de Si (Ma; Yamaji, 2006). As plantas que requerem grande quantidade de Si (concentrações maiores que 1% do peso seco) são consideradas acumuladoras (Epstein; Bloom, 2004). Nesta categoria pertencem as plantas da família Poaceae, como milho, aveia, centeio, trigo e arroz, que acumulam Si em taxas de até 10% de massa seca (Takahashi *et al.*, 1990).

Epstein e Bloom, (2004) relataram que a absorção de Si do solo pelas plantas em diferentes taxas depende do genótipo, sua concentração no solo e condições ambientais. Em tecidos vegetais, o teor de Si varia consideravelmente com a espécie, variando de 0,1 a 10% de Si.

Andrade *et al.* (2012) ao comparar o acúmulo de Si nas folhas bandeira de diferentes genótipos de trigo, cultivado no sistema de plantio direto em sucessão a cultura da soja, identificou que as folhas do trigo acumularam corpos silicosos, mesmo sem terem recebido tratamento prévio com Si. Isto pode ser devido aos solos serem compostos por minerais de alumínio e sílica e pelo fato de serem as gramíneas boas acumuladoras deste elemento.

De acordo com Malik (2025) o genótipo WW-101 de trigo tem a maior eficiência de acúmulo de Si (média de Si 3,03 % de matéria seca) e, portanto, é um alto acumulador de Si, enquanto o genótipo SW-2 tem o baixo potencial de acúmulo de Si (média de Si 1,87% de matéria seca). No presente estudo, mesmo aquelas plantas de trigo que não receberam Si via silicato de Ca acumularam Si dentro do que é esperado na literatura, no entanto, com médias superiores àquelas observadas por Malik (2025) para uma cultivar não acumuladora de Si.

Os resultados indicam que o trigo apresenta maior capacidade de absorção de Si em comparação ao milho durante a segunda safra de 2023 (semeadura aos 184 DAA), o que pode ser explicado pelo maior porte das plantas de milho, gerando um efeito de diluição do Si. Conforme Jarvis (1987), citado por Korndörfer (2006), mais de 94% do Si absorvido pelo trigo

é rapidamente translocado para a parte aérea, concentrando-se principalmente nas folhas mais velhas.

4.3 Parâmetros de Produção

4.3.1 Cultura da Soja

No primeiro cultivo de verão 2022/2023, a aplicação de silicato não influenciou significativamente a altura das plantas (ALT) de soja. Já no segundo cultivo de verão 2023/2024, observa-se comportamento distinto entre os tratamentos Si⁺, Ca/Mg e Si⁻, apresentando efeito significativo sobre a altura das plantas de soja. Em contrapartida, os fatores cultivo da segunda safra de 2023 e cultivo de inverno 2023, bem como suas interações com a aplicação de silicato, não apresentaram efeitos sobre a altura de plantas (Apêndice F).

Observa-se que, na safra 2023/2024, a ALT foi superior no tratamento Si⁺, atingindo 90,64 cm, em comparação ao tratamento Ca/Mg e Si⁻, evidenciando o efeito positivo do Si no crescimento da soja (Tabela 15).

Tabela 15 – Altura de plantas de soja (ALT - cm), altura de inserção da primeira vagem (AIP), número de vagens por planta (NVP), produção por planta (Prod./planta – g planta⁻¹), massa de 100 grãos (M100 - g) e produtividade (PROD – kg ha⁻¹) nem reposta ao manejo do sistema agrícola, aplicação de Si e equilíbrio Ca/Mg nas safras 2022/2023 e 2023/2024.

Aplicação de silicato	ALT		AIP		Prod./planta		M100		PROD		NVP
	Safra 22/23	Safra 23/24	Safra 22/23								
	Ca/Mg	64,25	87,37 b	8,92 a	11,55	17,93	29,19	13,15	11,92	1424,37	2318,12
Si ⁻	65,95	85,27 b	8,11 b	9,72	19,08	26,69	13,16	11,59	1499,37	2030,62	71,88
Si ⁺	65,57	90,64 a	8,87 a	10,93	19,33	29,09	13,32	12,20	1509,37	2278,12	72,33

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Médias com ausência de letras na coluna, de acordo com o teste F, são estatisticamente iguais. Si⁺ com aplicação de silicato de cálcio e magnésio na dose de 1.000 Kg de Si total ha⁻¹, Ca/Mg controle com aplicação de calcário dolomítico para equilibrar as quantidades de Ca e Mg fornecidas pelo silicato; Si⁻ controle sem aplicação de calcário e silício, baseado na análise de solo.

Fonte: a própria autora.

Apesar de não ser possível comparar a produtividade da soja entre as duas safras em função do ciclo de sucessão de culturas não ter sido o mesmo, é aparente que a produtividade da soja foi maior no segundo cultivo de verão 2023/2024 do que no primeiro cultivo de verão 2022/2023 (Tabela 15).

As plantas da safra 2023/2024, apresentaram altura média de 87,99 cm quando precedidas por milho e 87,53 cm quando sucederam à soja. Já no cultivo de inverno 2023, as

alturas médias da soja foram de 87,24 cm para o cultivo anterior de braquiária e 88,28 cm para o cultivo anterior de nabo (Tabela 16).

Tabela 16 – Altura de plantas de soja (ALT - cm) de soja do segundo cultivo de verão 2023/2024 (Semeadura 391 DAA) em reposta a cultura implantada no primeiro cultivo de verão 2022/2023 e cultivo de inverno 2023.

Cultura antecessora (1º Cultivo de verão 2022/2023)	ALT de plantas de soja (cm) (2º cultivo de verão 2023/2024)
Milho	87,99
Soja	87,53
Cultura antecessora (Cultivo de Inverno 2023)	ALT de plantas de soja (cm) (2º cultivo de verão 2023/2024)
Braquiária	87,24
Nabo	88,28

Médias com ausência de letras na coluna, de acordo com o teste F, são estatisticamente iguais.

Fonte: a propria autora.

Para a altura de inserção da primeira vagem de soja (AIP), no primeiro cultivo de verão 2022/2023 houve efeito para aplicação de silicato, já no segundo cultivo de verão 2023/2024, nenhum dos fatores avaliados, aplicação de silicato, cultivo da segunda safra de 2023, cultura de inverno e suas interações, apresentou efeito significativo (Apêndice G). Verifica-se a AIP foi de 10,45 cm quando a soja sucedeu o milho e de 11,01 cm quando sucedeu a soja. No cultivo de inverno 2023, observaram-se valores médios de 10,34 cm para o cultivo anterior de braquiária e 11,12 cm para o cultivo de nabo, sendo que as médias não apresentaram diferenças (Tabela 17).

Tabela 17 –Altura de inserção da primeira vagem (AIP) de soja do segundo cultivo de verão 2023/2024 (Semeadura 391 DAA) em reposta a cultura implantada no primeiro cultivo de verão 2022/2023 e cultivo de inverno 2023.

Cultura antecessora (1º Cultivo de verão 2022/2023)	AIP de soja (cm) (2º cultivo de verão 2023/2024)
Milho	10,45
Soja	11,01
Cultura antecessora (Cultivo de Inverno 2023)	AIP de soja(cm) (2º cultivo de verão 2023/2024)
Braquiária	10,34
Nabo	11,12

Médias com ausência de letras na coluna, de acordo com o teste F, são estatisticamente iguais.

Fonte: a propria autora.

Na avaliação do número de vagens por planta (NVP) durante a segunda safra 2023/2024 de soja a aplicação de silicato não interferiu nos resultados. Quando considerada a cultura antecessora implantada na safra 2022/2023, observou-se que o cultivo do milho proporcionou

maior NVP (112,11) em relação à soja (107,91), embora estatisticamente ambos tenham se mostrado equivalentes (Tabela Apêndice H e Tabela 18).

Tabela 18 – Número de vagens por planta (NVP) de soja do primeiro cultivo de verão 2023/2024 (Semeadura 391 DAA) em reposta a cultura implantada na safra 2022/2023.

Cultura antecessora (1º Cultivo de verão 2022/2023)	NVP de soja (2º cultivo de verão 2023/2024)
Milho	112,11
Soja	107,91

Médias com ausência de letras na coluna, de acordo com o teste F, são estatisticamente iguais.

Fonte: a propria autora.

Já no segundo cultivo de soja 2023/2024 em relação ao efeito do cultivo de inverno 2023 e da aplicação de silicato, constatou-se que houve interação entre os fatores (Apêndice H e Tabela 19) para NVP. Dentro do cultivo de braquiária, não foram observadas diferenças entre os tratamentos com Ca/Mg (106,61), Si⁻ (112,09) e Si+ (110,77), enquanto no cultivo de nabo, o tratamento Si⁻ apresentou menor NVP (95,27), diferindo dos tratamentos Ca/Mg (119,64) e Si+ (115,69), os quais foram superiores e estatisticamente iguais entre si.

Tabela 19 – Número de vagens por planta (NVP) de soja em reposta ao cultivo de inverno 2023, aplicação de Si e equilíbrio Ca/Mg que antecedeu a safra 2023/2024.

Aplicação de silicato	Cultura antecessora (Cultivo de Inverno 2023)	
	NVP de soja (2º cultivo de verão 2023/2024)	Nabo
Ca/Mg	106,61	119,64 a
Si ⁻	112,09 A	95,27 bB
Si+	110,77	115,69 a

Médias seguidas de mesma letra minúscula, na coluna, dentro de cada cultivo de inverno 2023, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Médias seguidas na linha de mesma letra maiúscula, para aplicação de silicato, não diferem entre si nos dois cultivos inverno pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Médias com ausência de letras na coluna, de acordo com o teste F, são estatisticamente iguais. Si+ com aplicação de silicato de cálcio e magnésio na dose de 1.000 Kg de Si total ha⁻¹, Ca/Mg controle com aplicação de calcário dolomítico para equilibrar as quantidades de Ca e Mg fornecidas pelo silicato; Si- controle sem aplicação de calcário e silicato, baseado na análise de solo.

Fonte: a própria autora.

Esses resultados indicam que, embora o manejo com Si+ e Ca/Mg não tenha influenciado o NVP em condições gerais, a resposta foi dependente do cultivo de inverno 2023, com destaque para o nabo, onde Si⁻ limitou o desempenho produtivo da soja (Tabela 19).

Ma *et al.* (2001) avaliaram os teores dos minerais em aproximadamente 500 espécies que variam de Briófitas a Angiospermas cultivadas sob condições de solo semelhantes, e identificaram que as espécies variam de acordo com as concentrações de Si presentes no tecido vegetal, podendo ser classificadas em função da relação molar Si:Ca. Em plantas que

apresentam concentrações superiores a 1% de Si e relação molar Si/Ca acima de um, as plantas são consideradas acumuladoras; quando apresentam concentrações entre 0,5–1% de Si, ou mais de 1% de Si, mas com razão molar Si/Ca menor que 1, são consideradas intermediárias; e plantas que contêm menos de 0,5% de Si, são consideradas não acumuladoras.

Korndörfer *et al.* (2010) define que braquiária é considerada uma espécie acumuladora, o que significa que todos os benefícios associados ao Si podem ser observados nesta cultura. Os mesmos autores avaliando o efeito da aplicação superficial de doses de silicato de cálcio sobre a produção de matéria seca e as concentrações de Si na parte aérea de gramíneas *Brachiaria brizantha* e *Panicum maximum*, verificaram que as concentrações máximas de Si na parte aérea nos primeiro e segundo cortes, das plantas submetidas à maior dose de silicato de cálcio (2.000 kg ha^{-1}), foram de $1,0 \text{ g kg}^{-1}$ e $2,2 \text{ g kg}^{-1}$, respectivamente, e para massa seca nas forrageiras, as doses de silicato de cálcio não interferiram na produção.

A Embrapa (2025) relata que plantas utilizadas como cobertura vegetal do solo pertencem a diferentes famílias, dentre algumas utilizadas estão as gramíneas e brássicas. As gramíneas apresentam crescimento mais vigoroso, elevada relação C/N e, consequentemente, maior tempo de decomposição, o que favorece a manutenção da proteção do solo. Atualmente, a mais difundida das braquiárias, *Brachiaria ruziziensis*, produz em média cerca de 20 t ha^{-1} por ano de matéria seca. As brássicas, em especial o nabo forrageiro (*Raphanus sativus L.*), apresentam baixa relação C/N, é amplamente utilizado na adubação verde devido à sua capacidade de descompactar o solo por meio das raízes. A espécie apresenta elevada eficiência na reciclagem de nutrientes, o que a torna relevante na rotação de culturas. Sua produtividade varia entre $3,5$ a 8 t ha^{-1} de massa seca.

A braquiária cultivada antes da soja foi utilizada exclusivamente como cobertura do solo, mantendo-se os resíduos vegetais sobre a superfície e incorporando-os apenas antes da semeadura. Por ser capaz de produzir maior quantidade de biomassa, tanto aérea quanto radicular, essa forrageira possivelmente promoveu uma maior extratificação de nutrientes no solo, no tratamento Si-, quando comparado ao nabo forrageiro, os quais foram posteriormente mineralizados para a cultura da soja, resultando em maior número de vagens por planta (NVP) no segundo cultivo de verão 2023/2024.

Sobre a produção de grãos por planta de soja, não houve significância para aplicação de silicato durante o primeiro cultivo de verão 2022/2023 (Tabela 20). De maneira análoga, no segundo cultivo de verão 2023/2024, a aplicação de silicato e suas interações com as culturas antecessoras não influenciaram no rendimento (Apêndice I).

Tabela 20 – Produção de grãos por planta (Prod./planta – g planta⁻¹) em resposta ao cultivo da safra de 2022/2023 e cultivo de inverno 2023.

Cultura antecessora (1º Cultivo de verão 2022/2023)	Prod./planta de soja (g planta ⁻¹) (2º cultivo de verão 2023/2024)
Milho	30,04
Soja	26,61
Cultura antecessora (Cultivo de inverno 2023)	Prod./planta de soja (g planta ⁻¹) (2º cultivo de verão 2023/2024)
Braquiária	28,47
Nabo	28,17

Médias com ausência de letras na coluna, de acordo com o teste F, são estatisticamente iguais.

Fonte: a propria autora.

Observou-se que a soja cultivada no segundo verão 2023/2024, quando rotacionada com a cultura do milho no primeiro verão 2022/2023, proporcionou produção média de 30,04 g planta⁻¹, enquanto cultivada soja na safra 2022/2023 e soja na safra de 2023/2024, sem a rotação de culturas nas safras subsequentes, resultou em um valor de 26,61 g planta⁻¹. Já considerando as culturas antecessoras no cultivo de inverno 2023, braquiária e nabo forrageiro, para o segundo cultivo de verão 2023/2024, os valores foram 28,47 g planta⁻¹ e 28,17 g planta⁻¹, respectivamente (Tabela 20).

Para a massa de 100 grãos, tanto para o primeiro cultivo de verão 2022/2023 quanto para o segundo cultivo de verão 2023/2024 os fatores avaliados e suas interações não foram significativas (Apêndice J). A M100 apresentou valores próximos entre os diferentes cultivos avaliados, sendo os valores de 11,95 g para soja cultivada em sucessão ao milho de segunda safra e 11,85 g em sucessão ao trigo. Considerando a sucessão do cultivo de inverno 2023, a soja em sucessão braquiária apresentou 12,03 g, enquanto a soja em sucessão ao nabo forrageiro registrou 11,77 g (Tabela 21).

Tabela 21 – Massa de 100 grãos (M100 - g) em resposta ao cultivo da segunda safra de 2023 e cultivo de inverno 2023.

Cultura antecessora (2ª Safra de 2023)	M100 - g de soja (2º cultivo de verão 2023/2024)
Milho	11,95
Trigo	11,85
Cultura antecessora (Cultivo de Inverno 2023)	M100 - g de soja (2º cultivo de verão 2023/2024)
Braquiária	12,03
Nabo	11,77

Médias com ausência de letras na coluna, de acordo com o teste F, são estatisticamente iguais.

Fonte: a propria autora.

Para a produtividade de grãos de soja (kg ha^{-1}), tanto no primeiro cultivo de verão 2022/2023, quanto o segundo cultivo de verão 2023/2024, nenhum dos fatores avaliados e suas interações apresentaram efeito significativo (Apêndice K).

A produtividade das culturas avaliadas apresentou variações discretas entre os diferentes cultivos antecessores. Considerando o milho como cultura antecessora na segunda safra de 2023, a produtividade de grãos de soja em 2023/2024 alcançou $2.298,33 \text{ kg ha}^{-1}$, enquanto o trigo cultura antecessora na segunda safra de 2023, a produtividade de grãos de soja foi de $2.119,58 \text{ kg ha}^{-1}$. Os resultados de produtividade de grãos da soja, considerando a braquiária e o nabo forrageiro como culturas antecessoras no cultivo de inverno 2023, apresentou resultados de $2.235,42 \text{ kg ha}^{-1}$ e $2.182,50 \text{ kg ha}^{-1}$, respectivamente (Tabela 22). Esses valores estão significativamente abaixo da média nacional na safra de 2024/2025 que corresponde a $4,2 \text{ t ha}^{-1}$. Essa diferença pode ser atribuída, em grande parte, à ausência de controle de pragas e doenças na cultura, o que comprometeu o potencial produtivo.

Tabela 22 – Produtividade (PROD – kg ha^{-1}) de soja em resposta ao primeiro cultivo de verão 2022/2023 e cultivo de inverno 2023.

Cultura antecessora (2ª Safra de 2023)	PROD – kg ha^{-1} de soja (2º cultivo de verão 2023/2024)
Milho	2298,33
Trigo	2119,58
Cultura antecessora (Cultivo de Inverno 2023)	PROD – kg ha^{-1} de soja (2º cultivo de verão 2023/2024)
Braquiária	2235,42
Nabo	2182,50

Médias com ausência de letras na coluna, de acordo com o teste F, são estatisticamente iguais.

Fonte: a propria autora.

A soja contém entre $5,0 - 10,0 \text{ g de Si kg}^{-1}$ no caule é classificada como uma espécie de acumulação intermediária de Si (Deshmukh *et al.*, 2013). Em condições de estresse hídrico, o efeito benéfico do Si foi atribuído ao aumento da capacidade de defesas antioxidantes (Gong *et al.*, 2005; Gunes *et al.*, 2008) e à manutenção da taxa fotossintética, conteúdo relativo de água nas folhas, condutância estomática da planta, mesmo em solo seco (Hattori *et al.*, 2005; Ferraz *et al.*, 2014) devido à redução da taxa de transpiração (Ma e Yamaji, 2006) e do vazamento de eletrólitos das células (Agarie *et al.*, 1998).

Teodoro *et al.* (2015) avaliaram a aplicação de Si foliar em condições de deficiência hídrica e verificaram que o Si proporcionou maior acúmulo de massa seca durante toda a fase reprodutiva da soja. Segundo Deren (2001), o acúmulo de sílica nas folhas reduz a transpiração das plantas, diminuindo sua exigência hídrica. Isso ocorre devido à formação de uma dupla

camada de sílica, que limita a abertura dos estômatos, reduzindo a perda de água, especialmente em condições de déficit hídrico.

Miao *et al.* (2010) mostraram que o Si aumenta a tolerância das plantas de soja à toxicidade de nutrientes, bem como melhora sintomas associados à deficiência de nutrientes essenciais nas plantas. No entanto, não há informações na literatura que indiquem se as aplicações de Si têm efeitos benéficos na soja sob estresse hídrico.

Contudo, Ruppenthal *et al.*, (2016) avaliaram dois regimes hídricos (sem ou com estresse hídrico) e quatro doses de Si (0, 50, 100 e 200 mg kg⁻¹) na tolerância da soja ao estresse hídrico e observaram que o Si realmente estimulou os mecanismos de defesa das plantas de soja, que não foram suficientes para minimizar os efeitos negativos no conteúdo relativo de água e para aumentar a produção de matéria seca das plantas em condições de déficit hídrico.

4.3.2 Cultura do Milho

Para altura de plantas (ALT), diâmetro de espiga (DE), comprimento de espiga (CE), número de fileiras por espiga (NFE), número de grãos por fileira (NGF), número de grãos por espiga (NGE), massa de grãos por espiga (MGE), massa de 100 grãos (M100) e produtividade de grãos (PROD) de milho nas três safras avaliadas, não revelou diferenças quanto a aplicação de silicato e sucessão de culturas e suas interações (Apêndices L, M, N, O, P, Q, R, S, T). Para altura de inserção da primeira espiga do milho no primeiro cultivo de verão 2022/2023, não houve efeito dos tratamentos, na segunda safra 2023, os tratamentos também não diferiram significativamente, e no segundo cultivo de verão 2023/2024, observou-se efeito apenas para os tratamentos (Ca/Mg, Si⁺ e Si⁻), enquanto as interações entre aplicação de silicato e primeiro cultivo de verão 2022/2023 não foram significativas (Apêndice U).

Observa-se que a ALT, AIP DE e CE não apresentaram diferenças entre os tratamentos, não indicando efeito dos manejos aplicados. Embora as plantas de milho sejam capazes de absorver Si, sua aplicação não promoveu efeitos significativos sobre os indicadores de produtividade (Tabela 23).

O NFE, NGF e NGE apresentaram maior variabilidade, especialmente na segunda safra de 2023, mas sem diferenças entre os tratamentos (Tabela 23). De maneira análoga a soja, não foi possível realizar análise estatística para comparar a produtividade do milho entre as safras em virtude de as safras não apresentarem o mesmo ciclo de sucessão de culturas, porém, a produtividade demonstrou ser diferente entre as épocas (Tabela 23). O milho cultivado em segunda safra 2023 apresentou médias de produtividade numericamente inferiores em

comparação ao milho do primeiro cultivo 2022/2023 e segundo cultivo 2023/2024. A MGE e M100 também não foram influenciadas pelos tratamentos. Por fim, a PROD seguiu a mesma tendência, apresentando valores semelhantes entre as safras de verão. A média de produtividade na safra 2022/2023 e 2023/2024 foi de 4016,87 e 4290,62 kg ha⁻¹ (Tabela 23), respectivamente, as quais foram próximas da média brasileira (Companhia Nacional de Abastecimento, 2025).

Tabela 23 – Altura de plantas (ALT - cm), altura de inserção da primeira espiga (AIP - cm), diâmetro da espiga (DE - cm), comprimento de espiga (CE - cm), número de fileiras por espiga (NFE), número de grãos por fileira (NGF), número de grãos por espiga (NGE), massa de grãos por espiga (MGE - g), massa de 100 grãos (M100 - g) e produtividade (PROD – kg ha⁻¹) de grãos de milho em resposta à aplicação de Si e equilíbrio da relação Ca/Mg em diferentes sistemas de cultivo ao longo de 3 ciclos agrícolas.

Aplicação de silicato	ALT			AIP		
	Safra 22/23	2ª Safra 2023	Safra 23/24	Safra 22/23	2ª Safra 2023	Safra 23/24
Ca/Mg	228,80	100,58	276,09	112,22	58,09	142,95
Si ⁻	225,72	109,73	236,26	113,50	63,09	137,30
Si ⁺	230,83	103,17	249,12	114,08	61,20	145,66
Aplicação de silicato	DE			CE		
	Safra 22/23	2ª Safra 2023	Safra 23/24	Safra 22/23	2ª Safra 2023	Safra 23/24
Ca/Mg	4,37	1,12	4,75	14,17	5,39	17,20
Si ⁻	4,37	0,96	4,78	14,74	4,55	17,53
Si ⁺	4,20	1,17	4,80	14,62	5,60	17,09
Aplicação de silicato	NFE			NGF		
	Safra 22/23	2ª Safra 2023	Safra 23/24	Safra 22/23	2ª Safra 2023	Safra 23/24
Ca/Mg	15,22	5,70	15,28	29,48	7,98	32,73
Si ⁻	15,31	5,23	15,37	31,09	7,34	32,89
Si ⁺	15,56	5,51	19,70	31,33	7,95	33,76
Aplicação de silicato	NGE			MGE		
	Safra 22/23	2ª Safra 2023	Safra 23/24	Safra 22/23	2ª Safra 2023	Safra 23/24
Ca/Mg	451,09	85,31	450,45	106,73	6,39	109,03
Si ⁻	469,05	77,70	430,66	107,86	5,70	109,95
Si ⁺	489,75	82,84	461,39	100,00	6,92	109,28
Aplicação de silicato	M100			PROD		
	Safra 22/23	2ª Safra 2023	Safra 23/24	Safra 22/23	2ª Safra 2023	Safra 23/24
Ca/Mg	23,78	9,47	23,42	4308,75	245,62	4350,62
Si ⁻	23,06	10,10	25,26	4331,87	190,00	4402,50
Si ⁺	20,49	8,58	23,27	4016,87	269,37	4290,62

Médias com ausência de letras na coluna, de acordo com o teste F, são estatisticamente iguais. Si⁺ com aplicação de silicato de cálcio e magnésio na dose de 1.000 Kg de Si total ha⁻¹, Ca/Mg controle com aplicação de calcário dolomítico para equilibrar as quantidades de Ca e Mg fornecidas pelo silicato; Si⁻ controle sem aplicação de calcário e silicato, baseado na análise de solo.

Fonte: a própria autora.

Os dados disponíveis sobre produtividade de milho no Brasil indicam que, para o ano de 2024, a produtividade do milho variou entre safras. A primeira safra apresentou um rendimento médio de 4.889 kg ha⁻¹ (4,89 toneladas por hectare), enquanto a segunda safra, ou

safrinha, alcançou 5.535 kg ha⁻¹ (5,54 toneladas por hectare), conforme reportado pelo IBGE em novembro de 2024 (Companhia Nacional de Abastecimento, 2025). O híbrido AG1051 pode produzir grãos secos com rendimento de 6 a 8 t ha⁻¹ na safra principal e 4 a 6 t ha⁻¹ na safrinha, em sequeiro. Com irrigação e adubação adequada, pode ultrapassar 9 t ha⁻¹.

Observou-se comportamento semelhante em relação à aplicação de Si nos diferentes sistemas de sucessão para o milho safrinha. No entanto, a produtividade média foi bastante reduzida, alcançando apenas 269,37 kg ha⁻¹, valor significativamente inferior à média nacional (Companhia Nacional de Abastecimento, 2025). Esse baixo rendimento pode ser atribuído à ausência de controle da *Spodoptera frugiperda* (lagarta-do-cartucho), *Dalbulus maidis* (DeLong e Wolcott) (Hemiptera: Cicadellidae) (cigarrinha), pragas que comprometeram o desenvolvimento das plantas, também pelo cultivo ser em período com temperaturas mais amenas e menor índice pluviométrico (Figuras 2 e 3).

Observa-se que ALT, AIP, DE, CE, NFE e M100 do milho apresentaram resultados muito semelhantes entre os cultivos precedidos pela braquiária em comparação ao nabo (Tabela 24). Em relação à produção de grãos, o NGF, NGE, MGE e a PROD também não foram afetados no milho produzido após braquiária ou nabo (Tabela 24).

Tabela 24 – Altura de plantas de milho (ALT - cm), altura de inserção da primeira espiga (AIP - cm), diâmetro da espiga (DE - cm), comprimento de espiga (CE - cm), número de fileiras por espiga (NFE), número de grãos por fileira (NGF), número de grãos por espiga (NGE), massa de grãos por espiga (MGE - g), massa de 100 grãos (M100 - g) e produtividade (PROD – kg ha⁻¹) de grãos de milho em reposta ao cultivo de inverno 2023 que antecedeu ao segundo cultivo de verão 2023/2024 (Semeadura 391 DAA).

Cultivo de Inverno 2023	ALT	AIP	DE	CE	NFE
Braquiária	262,44	140,56	4,80	17,35	17,08
Nabo	245,39	143,35	4,76	17,21	16,49
CV (%)	56,60	8,73	11,22	11,83	87,14
Cultivo de Inverno 2023	NGF	NGE	MGE	M100	PROD
Braquiária	33,56	453,78	110,14	23,39	4447,92
Nabo	32,71	441,35	108,72	24,58	4247,92
CV (%)	24,39	30,97	35,55	13,83	14,71

Médias com ausência de letras na coluna, de acordo com o teste F, são estatisticamente iguais.

Fonte: a própria autora.

Sávio *et al.* (2010) avaliaram o efeito de diferentes fontes de Si sobre as características agronômicas e os teores foliares de Si em *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk e *Panicum maximum* cv. Mombaça. Os autores observaram que as aplicações foliares de Si resultaram em aumento da produção de matéria seca de *P. maximum* e proporcionaram maior absorção de Si em ambas as espécies, especialmente no segundo e terceiro cortes. Os resultados de Sávio *et al.*

(2010) podem ser correlacionados com os possíveis efeitos benéficos que as braquiárias deixam no solo, uma vez que o maior crescimento e acúmulo de biomassa, favorecido pela aplicação de Si, tende a contribuir para a incorporação de nutrientes e matéria orgânica no solo.

O Si ao ser absorvido por plantas de milho via xilema se movimenta facilmente para regiões de alta transpiração das plantas. Uma vez depositado, o Si torna-se imóvel e não mais se redistribui na planta. Segundo Ma *et al.*, (2001), 99% do Si total absorvido se deposita em formas amorfas e menos de 1% permanece na forma coloidal ou iônica. Esses depósitos de sílica ocorrem de modo frequente, na epiderme foliar com a sílica combinada com as frações de polissacarídeos (celulose e hemicelulose) da parede celular, do lúmen e dos espaços intercelulares (Epstein; Bloom, 2004).

Dessa forma, em plantas de milho, os efeitos do Si sobre o crescimento podem ser promissores, destacando-se a redução da perda de água por transpiração e a manutenção de uma arquitetura foliar mais favorável à captação da luz solar, fator determinante da capacidade fotossintética. Portanto, seria esperado um maior enchimento de grãos com a aplicação de silicato de cálcio, resultado que, no entanto, não foi observado.

Fernandes *et al.* (2022) avaliaram lâminas de irrigação (50, 75, 100, 125 e 150% da ETc) e as doses de 0 (controle), 0,75, 1,5 e 3 g L⁻¹ de Si via folha no híbrido AG 1051. Nesse trabalho, a aplicação de Si não influenciou no crescimento e produtividade do milho mesmo sob condições de déficit hídrico. A produtividade máxima relatada pelos autores foi superior a 10 t ha⁻¹ com aplicação de 600 mm de água, que está consideravelmente acima das médias observadas no presente experimento.

Já Rodrigues *et al.* (2018) avaliou doses de filossilicato (0; 5; 10; 15 e 20 g kg⁻¹ de sementes) no recobrimento de sementes, e a aplicação foliar de silicato de potássio (1,0 L ha⁻¹ em pré-pendão e 15 dias após) do milho híbrido simples de milho transgênico AG 8544 PRO2. Os resultados indicaram que também não houve efeito da aplicação foliar de silicato de potássio na produtividade e componentes de produção do milho safrinha. Por outro lado, o uso de filossilicato via recobrimento de sementes incrementou os componentes de produção e a produtividade do milho safrinha.

Alguns trabalhos relatam a falta de eficiência de utilização do Si aplicado via foliar por plantas de milho, provavelmente devido à baixa solubilidade dos fertilizantes silicatados encontrados no mercado. De acordo com Freitas *et al.* (2011) a aplicação foliar de Si não influenciou o crescimento e a produção de plantas de milho.

Por outro lado, alguns estudos já verificaram os efeitos positivos do Si sobre alguns componentes da produção e produtividade do milho, como Teodoro *et al.* (2014), que

observaram aumento no comprimento da espiga por meio da aplicação foliar de Si em diferentes híbridos. Sousa *et al.* (2010) também atribuíram ao Si aumentos na massa de mil grãos e na produtividade do milho.

Durante a condução dos experimentos, não foi imposto às plantas nenhum tipo de estresse hídrico ou térmico. Grande parte dos efeitos positivos do Si está relacionada à sua atuação no crescimento vegetal e na tolerância ao estresse por seca em culturas como milho, arroz, soja e trigo. Sob condições de seca e estresse salino, tanto a biomassa do milho quanto a do trigo no estágio vegetativo aumentaram em 18% e 17%, respectivamente, devido à fertilização com Si. O Si também melhorou a eficiência do uso de água do milho em até 36% (Tubana *et al.*, 2016).

Em plantas de cana-de-açúcar a aplicação de silicatos trouxe incrementos significativos à produção em comparação com o calcário (Silva *et al.*, 2003). Tais efeitos positivos foram atribuídos à maior tolerância da cultura ao estresse hídrico e à melhoria na arquitetura das folhas, permitindo maior eficiência fotossintética. Em plantas de arroz, também a aplicação de Si foi capaz de aumentar a produção em 47% por melhorar a tolerância ao ataque de brusone (Santo *et al.*, 2003).

4.3.3 Cultura do Trigo

Na cultura do trigo, para a altura de plantas (ALT) e número de espiguetas por espigas (NEE), houve efeito para a cultura antecessora (primeiro cultivo de verão 2022/2023), enquanto o fator aplicação de silicato e a interação entre aplicação de silicato e cultura antecessora não foram significativos (Apêndice W). Para a massa de 100 grãos (M100) e produtividade de grãos (PROD), nenhum dos fatores analisados, isoladamente ou em interação, apresentou efeito (Apêndice W).

Em relação aos parâmetros de produtividade do trigo durante a segunda safra de 2023 (Tabela 25), a ALT variou entre 86,76 e 88,69 cm, valores considerados uniformes. O NEE apresentou pequena variação entre 15,98 e 16,34, também sem efeito do manejo. A M100 oscilou entre 2,49 e 2,56 g, indicando estabilidade na formação dos grãos. Já a PROD variou entre 787,62 e 790,25 kg ha⁻¹, reforçando a ausência de resposta significativa ao uso do Si, ao ajuste da relação Ca/Mg ou sem aplicação de calcário e Si. Este valor de produtividade é menor do que a média brasileira prevista para a safra 2023/2024 (2,93 t ha⁻¹) e que a média da safra 2022/2023 (2,3 t ha⁻¹) (Companhia Nacional de Abastecimento, 2025).

Tabela 25 – Altura de plantas (ALT - cm), número de espiguetas por espiga (NEE), massa de 100 grãos (M100 - g) e produtividade (PROD – kg ha⁻¹) do trigo durante a segunda safra de 2023 (Semeadura 184 DAA) em resposta à aplicação de Si e equilíbrio da relação Ca/Mg.

Aplicação de silicato	ALT	NEE	M100	PROD
Ca/Mg	87,12	16,34	2,50	790,25
Si ⁻	86,76	16,23	2,49	787,62
Si ⁺	88,69	15,98	2,56	788,93

Médias com ausência de letras na coluna, de acordo com o teste F, são estatisticamente iguais.

Si⁺ com aplicação de silicato de cálcio e magnésio na dose de 1.000 Kg de Si total ha⁻¹, Ca/Mg controle com aplicação de calcário dolomítico para equilibrar as quantidades de Ca e Mg fornecidas pelo silicato; Si⁻ controle sem aplicação de calcário e silicato, baseado na análise de solo.

Fonte: a propria autora.

A cultura antecessora apresentou influência sobre a ALT e o NEE do trigo na segunda safra de 2023 (Tabela 26). O cultivo de trigo em sucessão à soja proporcionou maior ALT (89,98 cm) e maior NEE (16,36), superando significativamente os valores obtidos no cultivo de trigo em sucessão ao milho (85,07 cm e 16,00 espiguetas, respectivamente). Para M100 e PROD, não foram observadas diferenças entre os tratamentos, com valores médios variando de 2,49 g a 2,54 g e de 781,83 kg ha⁻¹ a 796,04 kg ha⁻¹, respectivamente (Tabela 26).

Tabela 26 – Altura de plantas (ALT - cm), número de espiguetas por espiga (NEE), massa de 100 grãos (M100 - g) e produtividade (PROD – kg ha⁻¹) do trigo durante a segunda safra de 2023 (Semeadura 184 DAA) em resposta à cultura antecessora do primeiro cultivo de verão 2022/2023 (Semeadura 23 DAA).

1º Cultivo de verão 2022/2023	ALT	NEE	M100	PROD
Soja	89,98 a	16,36 a	2,49	796,04
Milho	85,07 b	16,00 b	2,54	781,83

Médias seguidas de mesma letra minúscula, na coluna, dentro de cada cultivo de verão na safra 2022/2023, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Médias com ausência de letras na coluna, de acordo com o teste F, são estatisticamente iguais.

Fonte: a propria autora.

Esses resultados indicam que a soja, como cultura antecessora, favoreceu aspectos morfológicos da planta e da espiga, refletindo em melhor crescimento vegetativo e formação de estruturas reprodutivas, embora não tenha se traduzido em aumento significativo da produtividade final do trigo.

Um dos principais fatores que contribuem para que os produtores alcancem elevados níveis de produtividade e um retorno econômico expressivo na cultura da soja é o uso de bactérias fixadoras de nitrogênio, que estabelecem uma relação simbiótica com a planta. A soja é capaz de suprir grande parte de sua necessidade de nitrogênio por meio da fixação biológica simbiótica de nitrogênio (BNF) com *Bradyrhizobium* spp. (Helios *et al.*, 2025), e ainda proporcionar um efeito residual para a cultura sucessora. Considerando o exposto, acredita-se que o nitrogênio residual deixado no solo pela cultura da soja no cultivo de verão 2022/2023, pode

ter contribuído para o melhor desempenho observado na altura das plantas de trigo cultivadas em sucessão.

Para o número de grãos por espigueta (NGE), o número de grãos por espiga (NGRE) e o peso hectolítico (PH) houve interação entre aplicação de silicato e cultura antecessora (Apêndice W). Tanto o NGE como o NGRE do trigo foram menores com a aplicação de calcário (Ca/Mg) na sucessão milho-trigo do que sem aplicação ou com a aplicação de silicato, enquanto no sistema soja-trigo não houve diferença nem para o NGE e nem para o NGRE. Avaliando entre as culturas antecessoras (milho e soja), verifica-se que no trigo sem a aplicação de silicato (Si⁻) o NGE e o NGRE foram maiores na sucessão com milho, já o NGRE foi maior na sucessão com a soja quando adicionado calcário (Ca/Mg) (Tabela 28). Já a aplicação de Si+ promoveu incremento no peso hectolítico (PH) na sucessão milho-trigo e, quando aplicado silicato, o PH foi maior na sucessão com milho do que com soja (Tabela 27).

Tabela 27 – Número de espiguetas por espiga (NEE), número de grãos por espigueta (NGE), número de grãos por espiga (NGRE), massa de 100 grãos (M100 - g), peso hectolitro (PH – kg hL⁻¹) e produtividade (PROD – kg ha⁻¹) do trigo, em resposta a sucessão as culturas de milho e soja implantadas no primeiro cultivo de verão 2022/2023.

Aplicação de silicato	NGE		NGRE		PH	
	Milho	Soja	Milho	Soja	Milho	Soja
Ca/Mg	2,34 b	2,44	37,36 bB	40,61 A	0,00052 b	0,00053
Si ⁻	2,52 aA	2,34B	40,91 aA	38,14 B	0,00055 b	0,00052
Si+	2,45 ab	2,36	38,98 ab	38,01	0,00077 aA	0,00055 B

Médias seguidas de letras minúsculas diferentes na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Médias seguidas de letras maiúsculas diferentes na linha diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Médias com ausência de letras na coluna e linha, de acordo com o teste F, são estatisticamente iguais. Si+ com aplicação de silicato de cálcio e magnésio na dose de 1.000 Kg de Si total ha⁻¹, Ca/Mg controle com aplicação de calcário dolomítico para equilibrar as quantidades de Ca e Mg fornecidas pelo silicato; Si- controle sem aplicação de calcário e silicato, baseado na análise de solo. Fonte: a própria autora.

Diversos experimentos de campo, conduzidos em diferentes condições de solo, clima e com distintas espécies vegetais, evidenciaram os benefícios da aplicação de fertilizantes à base de Si na produtividade e na qualidade das culturas. De acordo com Oliveira *et al.* (2023) as cultivares BRS TIMBAÚVA, BRS 254 e BRS 264 responderam positivamente à aplicação de Si, apresentando maior massa de grãos, mais grãos por espiga e maior teores de Si nas partes aéreas da planta. A aplicação de Si ao solo demonstrou ser uma ferramenta eficaz para aumentar a produtividade e a resistência em cultivares de trigo com níveis variados de resistência a pragas.

Tavares *et al.* (2014) avaliaram os efeitos da adubação silicatada na cultura do trigo, e verificou-se que quando aplicada via solo em condições adequadas de cultivo, não houve

interferência negativa na qualidade fisiológica das sementes, entretanto houve um incremento no número de sementes, peso hectolítico e rendimento de sementes de trigo.

A cultivar BRS 404 foi estudada por Chagas *et al.* (2022) quanto a densidade de semeadura (150, 250, 350 e 450 sementes m⁻²) e dose de N (0, 30, 60, 90 e 120 kg ha⁻¹) aplicadas em cobertura durante a fase do perfilhamento. Nesse estudo, observou-se média de produtividade bastante superior às obtidas no presente estudo, sendo obtidos 2878 kg ha⁻¹ na densidade de 196 sementes m⁻² e com aplicação de 37 kg ha⁻¹ de N.

A BRS 404 é uma alternativa para o cultivo de trigo de terras altas no Cerrado. A cultivar apresenta ciclo precoce e apresenta maior tolerância à ferrugem do trigo. Está adaptada à região IV de ensaios de cultivo, que abrange os estados brasileiros DF, GO e MG. A BRS 404 tem potencial produtivo de 2400 kg ha⁻¹ e foi desenvolvida para cultivo em áreas secas, com altitudes iguais ou superiores a 800 m, portanto a baixa produtividade média obtida nos experimentos com a aplicação de Si em diferentes sistemas de sucessão pode ter ocorrido devido a possíveis fatores climáticos adversos. É importante destacar que por ocasião do plantio os teores de Al, Ca + Mg e K não eram limitantes à produção do trigo (Tabela 1), e foi feita aplicação de macro e micronutrientes de acordo com a análise de solos e produtividade esperada da cultura.

4.4 Avaliação da densidade populacional de insetos

As pragas identificadas na cultura da soja incluíram *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Hemiptera: Aleyrodidae) (mosca-branca) e *Maecolaspis calcarisera* (Bechyné) (Coleoptera: Chrysomelidae) (besouro metálico). No milho, foram observadas as pragas *Spodoptera frugiperda* (lagarta-do-cartucho), *Dalbulus maidis* (cigarrinha), *Diabrotica speciosa* (vaquinha). No trigo, foram registradas as pragas *Rhopalosiphum padi* (pulgão-da-aveia), *Sitobion avenae* (pulgão-da-espiga), além dos insetos benéficos *Cycloneura sanguinea* (Linnaeus) (Coleoptera: Coccinellidae) e *Hippodamia convergens* (Guérin-Méneville) (Coleoptera: Coccinellidae) (joaninhas).

4.4.1 Insetos na soja

Avaliando os efeitos de Ca/Mg, Si⁺ e Si⁻, época de avaliação de insetos e suas interações, sobre a intensidade de três pragas em soja no primeiro cultivo de verão (2022/2023): mosca-branca, vaquinha e besouro metálico, verificou-se que o fator aplicação de silicato e sua

interação com o fator época de avaliação, não apresentaram significância estatística (Apêndice X). Já o fator época, período de avaliação das pragas, foi o único determinante significativo para a variação da intensidade dos insetos (Apêndice X). O comportamento das pragas foi explicado principalmente pela sua flutuação populacional natural ao longo das semanas de avaliação.

Durante o período de avaliação, as médias de intensidade de insetos variaram de 0,00017 a 0,0011 para mosca-branca, de 0,0228 a 0,128 para vaquinha e de 0,492 a 0,534 para besouro-metálico, mantendo-se estatisticamente semelhantes (Tabela 28). Verifica-se que o Si não exerceu efeito sobre a ocorrência das pragas no período de avaliação.

Tabela 28 – Número de insetos na soja durante o primeiro cultivo de verão 2022/2023, em resposta à aplicação de silicato.

1º Cultivo de Verão 2022/2023 (Semeadura 23 DAA)			
Número de insetos por planta			
Aplicação de silicato	Mosca branca (<i>Bemisia tabaci</i>)	Vaqueirinha (<i>Diabrotica speciosa</i>)	Besouro-metálico (<i>Maecolaspis calcarisera</i>)
Si+	0,00017 a	0,128 a	0,511 a
Si-	0,00020 a	0,117 a	0,534 a
Ca/Mg	0,00110 a	0,0228 a	0,492 a

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Si+ com aplicação de silicato de cálcio e magnésio na dose de 1.000 Kg de Si total ha⁻¹, Ca/Mg controle com aplicação de calcário dolomítico para equilibrar as quantidades de Ca e Mg fornecidas pelo silicato; Si- controle sem aplicação de calcário e silicato, baseado na análise de solo.

Fonte: a própria autora.

No primeiro cultivo de verão 2022/2023, a ocorrência das pragas apresentou variação ao longo das semanas de avaliação. Para mosca-branca, os níveis permaneceram próximos de zero até a 5^a semana (98 DAA) de avaliação, mas aumentaram significativamente a partir da 6^a semana (105 DAA), atingindo os maiores valores com 16,2 insetos por planta e na 7^a semana (114 DAA) com média de 15,4 insetos por planta (Tabela 29).

Para a vaquinha houve baixa infestação na maioria das semanas de avaliação, exceto na 6^a semana (105 DAA), em que houve uma maior intensidade com média equivalente a 3,82 insetos por planta (Tabela 29). Para o besouro-metálico, verificou-se um aumento progressivo ao longo das semanas, com baixa intensidade até a 3^a semana (59 DAA), e posteriormente uma elevação a partir da 5^a semana (98 DAA) com valor médio de 1,58 insetos por planta e valores máximos na 9^a semana (126 DAA) equivalente a 5,27 insetos por planta, não diferindo estatisticamente da 7^a semana (114 DAA) (Tabela 29).

Tabela 29 – Número de insetos por plantas de soja por época de avaliação durante o primeiro cultivo de verão 2022/2023.

1º Cultivo de Verão 2022/2023 (Semeadura 23 DAA)			
Época	Número de insetos por planta		
	Mosca-branca (<i>Bemisia tabaci</i>)	Vaqueira (<i>Diabrotica speciosa</i>)	Besouro-metálico (<i>Maeclaspis calcarisera</i>)
E1 - 45 DAA	0,06 a	0,0001 ab	0,032 a
E2 - 53 DAA	0,00 a	0,025 a	0,062 ab
E3 - 59 DAA	0,00 a	0,059 ab	0,074 ab
E4 - 67 DAA	0,00 a	0,21 ab	0,401 bc
E5 - 98 DAA	0,00001 a	0,12 ab	1,58 d
E6 - 105 DAA	16,2 c	3,82 c	0,48 c
E7 - 114 DAA	15,4 c	0,16 ab	3,76 ef
E8 - 119 DAA	5,91 b	0,35 b	2,70 de
E9 - 126 DAA	0,00005 a	0,049 ab	5,27 f

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: a própria autora.

Os resultados indicam diferenças marcantes entre as épocas iniciais (até a 3^a semana) e as finais (a partir da 6^a), mostrando que a praga se estabelece mais intensamente nos estádios reprodutivos da cultura. De forma geral, a análise evidencia que a mosca-branca, vaquinha e besouro-metálico apresentaram padrão temporal distinto, mas com pontos de pico bem definidos, o que reforça a importância do monitoramento semanal para orientar estratégias de manejo integrado.

Guazina *et al.* (2019) avaliaram o impacto da aplicação de Si em cultivares de soja sobre a severidade da ferrugem asiática, a população de lagartas desfolhadoras e a produtividade. Os resultados indicaram que a aplicação de silicato de alumínio reduziu a severidade da ferrugem asiática e promoveu um aumento na produtividade, embora não tenha ocorrido redução na população de lagartas desfolhadoras.

A soja é uma planta acumuladora intermediária de Si, absorvendo-o via raízes e transportando-o para as partes aéreas. As populações de *Helicoverpa punctigera* e de *Spodoptera littoralis* teve seu crescimento e consumo foliar diminuídos em plantas de soja tratadas com Si, além da redução da população de pulgões, como *Aphis craccivora*. Por fim, o Si também foi associado a menor dano em soja pelos percevejos, como *Euschistus heros*, possivelmente por afetar sua alimentação nos grãos (Song *et al.*, 2021; Haynes, 2017; Rasoolizadeh *et al.*, 2018).

Durante o segundo cultivo da safra 2023/2024, a intensidade da mosca-branca foi significativa apenas para época de avaliação, sem efeito significativo da aplicação de silicato, da cultura antecessora (segunda safra de 2023) ou da cultura de inverno (Apêndice Y). Já para

os insetos vaquinha, besouro-metálico, percevejo e joaninha, a análise estatística não pôde ser realizada, uma vez que tanto os modelos de contagem quanto os binomiais apresentaram falha na convergência. Esse resultado indica que a ocorrência desses insetos foi baixa, equivalente a zero em muitas avaliações, impossibilitando o ajuste estatístico dos modelos testados. Isso representa que as espécies apresentaram baixa infestação e pouca relevância no período avaliado, não permitindo identificar diferenças em função dos fatores experimentais.

Tais resultados podem ser explicados pelo fato de o plantio ter sido realizado tarde (dezembro), fora do período recomendado para a região, que normalmente concentra a semeadura no mês de novembro. Esse desvio do calendário agrícola pode ter influenciado diretamente a dinâmica populacional dos insetos praga. Além disso, as áreas de cultivo agrícola vizinhas à área do experimento eram predominantemente ocupadas por cultivos de cana-de-açúcar, o que pode ter contribuído para uma menor pressão de insetos, devido às características próprias da cultura e ao seu manejo, que tendem a reduzir a presença e a migração dessas espécies para a lavoura avaliada.

Até a 3^a semana de avaliação (429 DAA) a infestação de mosca-branca foi relativamente baixa, com médias variando entre 5,81 e 15,82 indivíduos por planta. A partir da 4^a semana de avaliação (436 DAA), observou-se elevação populacional, e apresentou pico de densidade populacional aos 459 DAA, com média de 112,65 indivíduos por planta, significativamente superior às demais épocas. Após esse período, houve uma redução na densidade populacional, embora ainda em níveis superiores às primeiras avaliações (Tabela 30). O comportamento crescente até o pico, seguido de redução sugere a presença de flutuações sazonais típicas da praga, possivelmente relacionadas às condições climáticas e ao ciclo da cultura da soja.

Tabela 30 – Médias para a intensidade de mosca-branca na cultura da soja por época durante o segundo cultivo de verão 2023/2024.

2^a Cultivo de Verão 2023/2024 (Semeadura 391 DAA)

Número de insetos por planta	
Época	Mosca-branca (<i>Bemisia tabaci</i>)
E1 - 412 DAA	5,81 a
E2 - 421 DAA	10,04 b
E3 - 429 DAA	15,82 c
E4 - 436 DAA	52,68 e
E5 - 443 DAA	34,49 d
E6 - 452 DAA	73,22 f
E7 - 459 DAA	112,65 g
E8 - 467 DAA	53,12 e

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: a própria autora.

Os tratamentos (Si+, Si⁻ e Ca/Mg) não apresentaram efeito, indicando que, sob as condições experimentais, a aplicação desses manejos não alterou a intensidade de infestação da praga. Da mesma forma, os fatores relacionados as culturas antecessoras no cultivo de inverno 2023 e na segunda safra de 2023 não influenciaram os resultados (Tabela 31).

Tabela 31 –Número de insetos de mosca-branca por plantas de soja, submetidas à aplicação de silicato e culturas antecessoras durante o segundo cultivo de verão 2023/2024.

2º cultivo de Verão 2023/2024 (Semeadura 391 DAA)	
Tratamento	Número de moscas-brancas (<i>Bemisia tabaci</i>) por planta de soja (Safra 2023/2024)
Aplicação de Silicato	
Si+	29,50 a
Si ⁻	30,20 a
Ca/Mg	31,70 a
Cultura antecessora (Segunda safra 2023)	Número de moscas-brancas (<i>Bemisia tabaci</i>) por planta de soja (Safra 2023/2024)
Trigo	30,20 a
Milho	30,60 a
Cultura antecessora (Cultivo de Inverno 2023)	Número de moscas-brancas (<i>Bemisia tabaci</i>) por planta de soja (Safra 2023/2024)
Nabo	29,90 a
Braquiária	31,00 a

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Si+ com aplicação de silicato de cálcio e magnésio na dose de 1.000 Kg de Si total ha⁻¹, Ca/Mg controle com aplicação de calcário dolomítico para equilibrar as quantidades de Ca e Mg fornecidas pelo silicato; Si⁻ - controle sem aplicação de calcário e silicato, baseado na análise de solo.

Fonte: a própria autora.

4.4.2 Insetos no milho

Na cultura do milho, no primeiro cultivo de verão 2022/2023, a análise para a ocorrência da *D. speciosa* indicou ausência de efeitos significativos para os fatores aplicação de silicato (Si+, Si⁻ e Ca/Mg) e época de avaliação, bem como para a interação entre eles (Apêndice Z). Para a *D. maidis*, observou-se efeito significativo para época de avaliação, evidenciando oscilações populacionais ao longo do ciclo da cultura (Apêndice Z).

Na análise da ocorrência de *D. speciosa* e *D. maidis* foi evidenciado que não houve diferença entre os tratamentos Si+, Ca/Mg e Si⁻. Para a vaquinha, o número de insetos por planta variou de 0,54 (Si+) a 1,00 (Si⁻). De forma semelhante, para *D. maidis*, o número de insetos por planta oscilou entre 0,72 (Ca/Mg e Si+) e 0,81 (Si⁻) indivíduos por planta (Tabela 32).

Esses resultados sugerem que, no primeiro cultivo de verão 2022/2023, a aplicação de diferentes fontes (Si+ e Ca) ou a ausência de suplementação (Si⁻) não exerceu efeito sobre a intensidade de infestação dessas pragas na cultura do milho. A homogeneidade dos resultados indica que a dinâmica populacional de *D. speciosa* e *D. maidis* foi predominantemente

influenciada por outros fatores, possivelmente ambientais e fenológicos, em vez das estratégias de manejo avaliadas.

Tabela 32 – Intensidade de insetos por planta na cultura do milho por tratamento durante o primeiro cultivo de verão 2022/2023.

1º Cultivo de Verão 2022/2023 (Semeadura 23 DAA)		
Aplicação de silicato	Vaqueira (<i>Diabrotica speciosa</i>)	Cigarrinha do milho (<i>Dalbus maidis</i>)
	Nº de insetos/ planta	Nº de insetos/ planta
Si+	0,54 a	0,72 a
Ca/Mg	0,82 a	0,72 a
Si-	1,00 a	0,81 a

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Si+ com aplicação de silicato de cálcio e magnésio na dose de 1.000 Kg de Si total ha⁻¹, Ca/Mg controle com aplicação de calcário dolomítico para equilibrar as quantidades de Ca e Mg fornecidas pelo silicato; Si- controle sem aplicação de calcário e silicato, baseado na análise de solo.

Fonte: a própria autora.

Ao longo do primeiro cultivo de verão 2022/2023, a ocorrência de *D. speciosa* apresentou baixa variabilidade, uma vez que as médias agrupadas por época (E1–E3; E4–E8; E9) não diferiram entre si. Isso sugere que a população da praga se manteve relativamente estável e em níveis baixos durante todo o ciclo da cultura do milho (Tabela 33). Além disso, não houve efeito dos tratamentos sobre sua ocorrência. Em contraste, *D. maidis* demonstrou forte influência da época de avaliação. Observou-se um aumento na população de indivíduos, com pico de densidade aos 67 DAA, com média de 5,26 indivíduos, não diferindo estatisticamente da contagem de indivíduos aos 45 e 67 DAA (Tabela 33).

Durante a segunda safra de 2023 foi avaliada a densidade populacional dos insetos identificados na lavoura, tais como a vaquinha, cigarrinha-do-milho e lagarta do cartucho. Para a *D. speciosa* e *S. frugiperda* os modelos estatísticos utilizados não convergiram, apresentando falha tanto no modelo de contagem quanto no binomial, devido a infestação ter sido muito baixa, ou ausente, impossibilitando análises estatísticas, demonstrando que durante a segunda safra de 2023, não tiveram importância econômica. Já para a *D. maidis* não houve interação significativa entre aplicação de silicato, cultura antecessora (1º Cultivo de verão 2022/2023) e na infestação da praga. Entretanto, houve efeitos significativos da época de avaliação na densidade populacional da praga (Apêndice AA).

Tabela 33 – Médias de indivíduos por planta de vaquinha e cigarrinha-do-milho na cultura do milho por época de forma agrupada durante o primeiro cultivo de verão 2022/2023.

1º Cultivo de Verão 2022/2023 (Semeadura 23 DAA)	
Vauquinha (<i>Diabrotica speciosa</i>)	
Época	Nº de insetos/ planta
E1–E3 (45 DAA à 59 DAA)	0,092 a
E4–E8 (67 DAA à 119 DAA)	1,000 a
E9 (126 DAA)	0,0007 a
Cigarrinha-do-milho (<i>Dalbulus maidis</i>)	
Época	Nº de insetos/ planta
E1 - 45 DAA	4,05 de
E2 - 53 DAA	2,83 cd
E3 - 59 DAA	4,40 de
E4 - 67 DAA	5,26 e
E5 - 98 DAA	1,49 bc
E6 - 105 DAA	1,26 b
E7 - 114 DAA	0,02 a
E8 - 119 DAA	0,04 a
E9 - 126 DAA	0,13 a

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: a própria autora.

Avaliando o número de indivíduos de *D. maidis* por planta de milho, verificou-se que não houve diferenças entre os diferentes tipos de correção de solo, independente a cultura antecessora, com valores médios variando de 0,23 a 2,92 indivíduos por planta (Tabela 34). Portanto, considerando apenas a época de avaliação, foi possível identificar que na primeira semana de avaliação (E1 – 212 DAA) houve a maior densidade, com média equivalente a 14,69 indivíduos por planta, não diferindo estatisticamente da E4 (232 DAA). A partir da quinta semana de avaliação (E5-239 DAA) houve redução progressiva das populações, até se tornar praticamente nula (E9 – 276 DAA) (Tabela 34).

Esse comportamento demonstra uma tendência de infestação da praga em fase inicial de desenvolvimento da cultura de milho, o que reforça a importância do monitoramento precoce e das estratégias de manejo nos estádios iniciais da cultura, período em que o inseto exerce maior impacto na transmissão de patógenos. Ainda, foi possível identificar a presença de plantas com enfezamento, o que comprometeu o desenvolvimento das plantas durante a segunda safra de 2023.

No segundo cultivo de verão 2023/2024 (Semeadura 391 DAA), o número de indivíduos de cigarrinha-do-milho por planta de milho não apresentou significância para aplicação de silicato, cultivo de inverno e suas interações. Observou-se ainda uma tendência de efeito de época de avaliação, apenas ao nível de 10% de significância. Para a lagarta-do-cartucho e

joaninhas, nenhum dos fatores avaliados e ou suas interações, apresentou efeito significativo sobre a ocorrência dos insetos (Apêndice AB).

Tabela 34 – Número de indivíduos de cigarrinha-do-milho (*Dalbulus maidis*) por planta de milho em diferentes épocas de avaliação e submetido a diferentes correções de solo e durante a segunda safra de 2023.

2ª Safra de 2023 (Semeadura 184 DAA)	
Cigarrinha do milho (<i>Dalbulus maidis</i>)	
Aplicação de silicato	Nº de insetos/ planta
Si ⁻	0,23 a
Ca/ Mg	0,49 a
Si ⁺	2,92 a
Época	Nº de insetos/ planta
E1 – 212 DAA	14,69 e
E2 – 219 DAA	10,17 cd
E3 – 227 DAA	8,89 cd
E4 – 232 DAA	11,63 de
E5 – 239 DAA	7,49 c
E6 – 254 DAA	3,63 b
E7 – 261 DAA	4,88 b
E8 – 269 DAA	0,08 a
E9 – 276 DAA	0,00 a

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: a própria autora.

Observou-se que a população de cigarrinha-do-milho apresentou flutuações significativas entre as épocas avaliadas, com maiores valores médios registrados entre E3 (429 DAA) e E4 (436 DAA), 3,10 e 3,22 indivíduos por planta, respectivamente, não diferindo estatisticamente das épocas de avaliação E1 (412 DAA) e E5 (443 DAA). Já a lagarta-do-cartucho apresentou valores médios baixos em todas as épocas, sem diferenças. De forma semelhante, a ocorrência de joaninhas, predadores naturais associados ao controle biológico, também foi reduzida e uniforme entre as épocas, com valores próximos de zero (Tabela 35).

Esses resultados indicam que, no segundo cultivo de verão, a cigarrinha do milho foi a espécie mais predominante, embora com redução populacional nas últimas semanas de avaliações, enquanto lagarta-do-cartucho e joaninhas mantiveram-se em baixas densidades durante todo o ciclo.

Não houve diferenças entre os tratamentos com Si⁺, Si⁻ e Ca/Mg para as médias do número de cigarrinha-do-milho, lagarta-do-cartucho e joaninhas na cultura do milho, durante o segundo cultivo de verão de 2023/2024 (Tabela 36). De modo geral, as médias de ocorrência foram extremamente baixas, para todos os insetos, demonstrando que aplicação de silicato não influenciou na dinâmica populacional das pragas e nem de inimigos naturais. Tais resultados

também podem ser atribuídos ao fato de o plantio ter sido realizado de forma tardia, em dezembro, fora do período recomendado para a região, cuja semeadura geralmente ocorre em novembro, o que impacta diretamente na migração e dinâmica populacional dos insetos.

Tabela 35 – Número de cigarrinha do milho, lagarta do cartucho e joaninhas por plantas de milho, por época de avaliação durante o segundo cultivo de verão 2023/2024.

ÉPOCA	Segundo Cultivo de Verão 2023/2024 (Semeadura 391 DAA)		
	Cigarrinha do milho (<i>Dalbulus maidis</i>)	Lagarta do cartucho (<i>Spodoptera frugiperda</i>)	Joaninha (<i>Cycloneda sanguínea</i> e <i>Hippodamia convergens</i>)
	Nº de insetos/ planta	Nº de insetos/ planta	Nº de insetos/ planta
E1 – 412 DAA	2,99 d	0,07 a	0,09 a
E2 – 421 DAA	1,32 bc	0,007 a	0,21 a
E3 – 429 DAA	3,10 d	0,34 a	0,28 a
E4 – 436 DAA	3,22 d	0,38 a	0,17 a
E5 – 443 DAA	1,68 cd	0,26 a	0,007 a
E6 – 452 DAA	0,42 ab	0,15 a	0,20 a
E7 – 459 DAA	0,00 a	0,00 a	0,00 a
E8 – 467 DAA	0,00 a	0,00 a	0,00 a

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: a própria autora.

Tabela 36 – Número de cigarrinha do milho, lagarta do cartucho e joaninhas por plantas de milho submetidos a aplicação de silicato durante o segundo cultivo de verão de 2023/2024.

Aplicação de silicato	Segundo Cultivo de Verão 2023/2024 (Semeadura 391 DAA)		
	Cigarrinha do milho (<i>Dalbulus maidis</i>)	Lagarta do cartucho (<i>Spodoptera frugiperda</i>)	Joaninha (<i>Cycloneda sanguínea</i> e <i>Hippodamia convergens</i>)
	Nº de insetos/ planta	Nº de insetos/ planta	Nº de insetos/ planta
Si+	0,099 a	0,001 a	0,0007 a
Si-	0,012 a	0,0005 a	0,002 a
Ca/Mg	0,021 a	0,002 a	0,003 a

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Si+ com aplicação de silicato de cálcio e magnésio na dose de 1.000 Kg de Si total ha⁻¹, Ca/Mg controle com aplicação de calcário dolomítico para equilibrar as quantidades de Ca e Mg fornecidas pelo silicato; Si- controle sem aplicação de calcário e silicato, baseado na análise de solo.

Fonte: a própria autora.

Observa-se também que não houve diferenças com aplicação do silicato para o número de insetos de cigarrinha-do-milho, lagarta-do-cartucho e joaninhas no segundo cultivo de milho de verão 2023/2024, em sucessão as culturas de inverno, nabo forrageiro e braquiária (Tabela 37). Os valores médios encontrados de insetos por planta foram considerados baixos em todos os casos, com valores inferiores a 0,02 insetos por planta em todos os tratamentos,

demonstrando que a escolha entre nabo forrageiro ou braquiária como cultura antecessora ao milho não influenciou de forma expressiva a abundância das pragas e nem de joaninhas.

Tabela 37 – Número de cigarrinha do milho, lagarta do cartucho e joaninhas por plantas de milho em sucessão as culturas de inverno (nabo forrageiro e braquiária) durante o segundo cultivo de verão de 2023/2024.

Cultivo de inverno 2023	Segundo Cultivo de Verão 2023/2024 (Semeadura 391 DAA)		
	Cigarrinha do milho (<i>Dalbulus maidis</i>)	Lagarta do cartucho (<i>Spodoptera frugiperda</i>)	Joaninha (<i>Cycloneda sanguínea</i> e <i>Hippodamia convergens</i>)
	Nº de insetos/ planta	Nº de insetos/ planta	Nº de insetos/ planta
Nabo forrageiro	0,0097 a	0,000963 a	0,00139 a
Braquiária	0,0189 a	0,001183 a	0,00164 a

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: a própria autora.

Nas três safras avaliadas, a aplicação de silicato, independentemente do sistema de sucessão de culturas adotado, não promoveu médias inferiores de intensidade de ataque por vaquinha, cigarrinha e lagarta-do-cartucho em milho. Entretanto, considerando a época de avaliação, verifica-se que na fase inicial de desenvolvimento vegetativo da cultura, houve maior intensidade de cigarrinha-do-milho, que é considerada a época de maior infestação e preferência da praga.

Ressalta-se que o teor inicial de Si no solo era de 11,53 mg kg⁻¹ (Tabela 1). O efeito da aplicação de Si na população de pragas do milho foi observado em solos com níveis menores que 8 mg Si kg⁻¹ (Boer *et al.*, 2019; Perdomo *et al.*, 2022), indicando que no solo do presente estudo não se obteve resposta a aplicação de silicato pelo alto teor de Si presente no solo.

Alguns estudos relatam aumento do desgaste mandibular para vários lepidópteros alimentando-se de plantas tratadas com Si (Massey e Hartley, 2006 e 2007; Ramachandran e Khan, 1991), embora em outros casos pouco efeito tenha sido observado (Kvedaras *et al.*, 2009).

Massey e Hartley (2009) observaram que a exposição de *Spodoptera exempta* a seivas ricas em Si resultou em redução da digestibilidade foliar e desgaste mandibular, observadas ainda dentro de um único instar larval. Esses efeitos foram irreversíveis, mesmo após a substituição da dieta por material vegetal isento de sílica, destacando o seu potencial duradouro como mecanismo de defesa vegetal contra insetos herbívoros. Além disso, elevadas concentrações de Si no material vegetal diminuiu a eficiência na conversão do alimento ingerido em biomassa e reduziu a absorção de nitrogênio, culminando em menores taxas de crescimento larval.

Zellner *et al.* (2021) destacam o potencial do Si como um bioestimulante em cultivos agrícolas. Em culturas como arroz, trigo e cana-de-açúcar, a suplementação de Si tem mostrado ser um método simples e barato para ajudar a manter ou melhorar a saúde das plantas, aumento de produtividade e resistência a condições adversas, reduzindo a necessidade de pesticidas.

Segundo Perdomo *et al.* (2022), a fertilização do solo com Si elevou o teor foliar de Si no milho, promovendo maior resistência ao ataque da lagarta-do-cartucho (*Spodoptera frugiperda*). A aplicação de doses entre 600 e 1.200 kg ha⁻¹ de Si resultou na redução da desfolha, embora não tenha influenciado o rendimento de grãos. A dose de 600 kg ha⁻¹, que elevou o teor de Si para 1,52%, marcou o início da redução significativa da desfolha, em comparação ao teor mínimo de 0,53% observado no tratamento controle.

Rodrigues *et al.* (2018) reportam o efeito de 0, 50, 100 e 200 kg/ha de silicato de potássio aplicado ao solo com a adubação de plantio do feijoeiro na resistência à *S. frugiperda*, apesar de não ser uma praga chave na cultura do feijão. Os autores observaram que a sobrevivência larval de *S. frugiperda* não foi afetada pela adubação de plantas de feijoeiro com Si, contudo o período de desenvolvimento larval aumentou à medida que houve o aumento das doses de Si. A adubação com silicato de potássio obteve sucesso no controle de *S. frugiperda* nas dosagens de 100 e 200 kg/ha, pois mesmo não sendo uma cultura acumuladora de Si obteve uma resposta satisfatória à adubação, diminuindo a preferência alimentar das lagartas e aumentando seu período de desenvolvimento larval.

Além de atenuar impactos decorrentes de estresses abióticos, o Si também parece contribuir para mitigar impactos de estresse biótico. Nesse sentido, a fertilização com Si parece melhorar o crescimento do milho por aumentar a resistência ao ataque da lagarta-do-cartucho, uma das principais pragas da cultura do cereal (Sousa *et al.*, 2022). Esses autores observaram também maiores concentrações de H₂O₂ e atividades de enzimas antioxidantes, principalmente em resposta à herbivoria, mas não houve indução a resistência de forma independente, sem a interação com insetos. Logo, a fertilização com Si pode induzir resistência sistêmica em plantas de milho, as quais se tornariam menos suscetíveis à infestação pela lagarta-do-cartucho. Essa resistência induzida está frequentemente associada à ativação de enzimas antioxidantes e ao acúmulo de espécies reativas de oxigênio, que contribuem para a defesa das plantas contra herbívoros. No entanto, não foi possível identificar os mesmos resultados no presente estudo.

Camargo *et al.* (2014) avaliaram a aplicação de doses de 0, 55, 110 e 165 kg ha⁻¹ de Si no sulco de plantio, utilizando duas cultivares de cana-de-açúcar em dois tipos de solo com baixo teor de Si. Os resultados mostraram que o aumento dos teores de Si no solo foi proporcional às doses aplicadas, tanto na cana-planta quanto na primeira soqueira, com efeito

residual em ambos os tipos de solo. Além disso, observou-se uma redução nos danos causados pela broca-da-cana-de-açúcar (*Diatraea saccharalis*), refletindo de forma positiva na produtividade da cultura.

Além disso, as plantas tratadas com Si tendem a apresentar maior tolerância aos danos causados por pragas, de forma a manter o crescimento e a produção mesmo sob infestação (Rajput *et al.*, 2021; Verma *et al.*, 2024). A fertilização com Si aumenta a resistência das plantas através de mecanismos físicos e bioquímicos. Fisicamente, os depósitos de Si nas paredes celulares das plantas criam uma barreira mecânica que impede a alimentação dos insetos. Bioquimicamente, o Si influencia a via de sinalização do ácido jasmônico, que modula as defesas das plantas induzidas por herbívoros. Esta via é conhecida por desempenhar um papel crítico nas respostas das plantas aos ataques de insetos (Frew *et al.*, 2018).

4.4.3 Insetos no trigo

Para a cultura do trigo foram avaliadas as ocorrências das pragas pulgão-da-aveia (*R. padi*), pulgão-da-espiga (*S. avenae*), além dos insetos benéficos *C. sanguinea* e *H. convergens* (joaninhas). Observou-se que tanto os modelos de regressão na contagem quanto os modelos binomiais apresentaram falha na convergência. Esse resultado indica que os dados não se ajustaram adequadamente às distribuições estatísticas utilizadas, o que pode estar associado a fatores como baixa frequência de ocorrência dos insetos e elevada ausência de registros em muitas unidades amostrais. Portanto, não se observa nenhum efeito característico dos sistemas de sucessão das culturas com a aplicação ou não do Si na intensidade de ataque de pragas na cultura do trigo.

A espécie *R. padi* afeta o trigo da emergência ao afilhamento das plantas (Salvadori; Tonet, 2001), e pode se hospedar em diversas plantas, incluindo aveia, cevada, triticale, centeio e outras gramíneas, favorecendo uma maior dispersão (Gassen, 1984; Rebonatto, 2015; Salvadori; Tonet, 2001). A espécie *S. avenae* tem preferência pela fase reprodutiva do trigo, é monoica e holocíclica, e pode envolver o uso de várias gramíneas como plantas hospedeiras durante diferentes fases de seu desenvolvimento. No entanto, em regiões com climas mais amenos, como ocorre em algumas regiões do Brasil, a espécie tende a se desenvolver de forma anholocíclica, ou seja, não passa por todas as fases do ciclo biológico tradicional, adaptando-se ao ambiente local de maneira mais simplificada (Blackman *et al.*, 2000).

Apesar do presente estudo não apresentar efeito benéfico na redução das pragas no trigo, outros autores verificaram resposta do Si na redução de pragas em trigo, como os resultados

encontrados por Oliveira (2016), que avaliou o impacto da aplicação de Si na abundância de coccinélidos predadores em plantas de trigo. Não foi observado efeito significativo, exceto para a espécie *C. sanguinea*, cuja densidade populacional foi superior aos 104 dias após semeadura (DAS), independentemente das variedades de trigo ou da aplicação de adubação silicatada.

De acordo com Cardoso e Lazzari (2003), as espécies *C. sanguinea* e *H. convergens* têm a capacidade de consumir até 325 e 513 ninfas de pulgões, respectivamente, ao longo de todo o seu período de desenvolvimento. Além disso, as fêmeas adultas de *H. convergens* podem ingerir aproximadamente 2.760 pulgões (adultos e ninfas) durante todo o ciclo de vida (Lohar *et al.*, 2012).

Contrariamente aos resultados obtidos no presente estudo, Oliveira *et al.* (2023) observaram que altos teores de Si no solo resultaram em aumento da produtividade e apresentou relação quadrática com a redução do número de pulgões, tanto na variedade de trigo resistente (BRS TIMBAÚVA) quanto na variedade suscetível (BRS 254) ao pulgão *S. avenae*. A aplicação de Si ao solo demonstrou ser uma ferramenta eficaz para aumentar a produtividade e a resistência em cultivares de trigo com níveis variados de resistência a pragas.

Goussain *et al.* (2002) avaliaram a aplicação de 2,5 g de silicato de cálcio kg⁻¹ de solo, 2,5 g kg⁻¹ de solo mais aplicação foliar de silicato de sódio a 0,5%, 15 dias após a emergência das plantas de trigo sobre o pulgão-verde (*Schizaphis graminum*). Os resultados sugeriram que o Si pode diminuir a qualidade da seiva do floema e afetar o desenvolvimento dos pulgões.

Gomes *et al.* (2005) observaram que a aplicação de Si ao trigo reduziu a infestação por pulgão-verde (*S. graminum*) e aumentou a atividade das enzimas de defesa induzíveis da planta, peroxidase e polifenol oxidase (envolvidas na produção de fenólicos solúveis). Os autores sugeriram que o Si adicionado causou uma resposta induzida no trigo.

De acordo com Ye *et al.* (2013) o Si aumenta as defesas das plantas de arroz contra insetos herbívoros, especificamente o dobrador de folhas de arroz (*Cnaphalocrocis medinalis*), por meio de sua interação com a via de sinalização do jasmonato (JA). Plantas de arroz pré-tratadas com Si e então expostas à infestação de dobradores de folhas. Os resultados indicam que o pré-tratamento com Si aumentou significativamente a resistência das plantas, reduzindo o ganho de peso larval em comparação com controles não tratados. Essa resistência foi ligada a respostas aumentadas mediadas por JA: plantas selvagens tratadas com Si exibiram maior acúmulo de JA, maior expressão de genes relacionados à defesa (como OsBBPI) e atividades elevadas de enzimas defensivas como peroxidase (POD), polifenol oxidase (PPO) e inibidor de protease de tripsina (TrypPI) após ataque de herbívoros.

Estudos recentes também demonstraram o potencial do Si de agir aumentando a capacidade da planta de atrair inimigos naturais de um inseto herbívoro por meio da liberação induzida de atrativos voláteis (Kvedaras *et al.*, 2010). Os autores avaliaram como o Si pode ir além de fortalecer defesas diretas (como barreiras físicas ou compostos químicos tóxicos) e atuar em defesas indiretas, atraindo predadores que atacam os herbívoros.

4.5 Atividade microbiana do solo

A concentração de C-CO₂ no solo, que representa a quantidade de carbono liberado na forma de CO₂ pela atividade microbiana, foi monitorada aos 3, 7, 14 e 21 dias de incubação, não sendo observado efeito significativo do sistema de sucessão nem da aplicação de silicato em nenhum dos períodos avaliados (Apêndice AC e Tabela 38). Entretanto, verifica-se que concentração de CO₂ acumulado aumentou ao longo dos 541 dias da aplicação de Si+, Si- e Ca/Mg, contudo sem a influência dos diferentes tratamentos (Figura 9).

Tabela 38 - Concentração de C-CO₂ (ug g⁻¹) em solo com diferentes manejos do sistema agrícola após 541 dias da aplicação de Si e equilíbrio Ca/Mg.

Tratamentos	Dias			
	3	7	14	21
	C-CO ₂ (ug g ⁻¹)			
MTBM Si+	139,75 a	230,50 a	297,00 a	342,25 a
MTBM Ca/Mg	173,75 a	249,50 a	335,25 a	392,25 a
MTBM Si-	137,75 a	176,25 a	233,25 a	288,00 a
STNS Si+	159,00 a	210,00 a	278,00 a	377,25 a
STNS Ca/Mg	167,00 a	261,75 a	349,25 a	462,75 a
STNS Si-	174,25 a	220,00 a	270,75 a	357,00 a
Média	158,58	224,67	293,92	369,92

ns – não significativo. Médias seguidas de mesma letra na coluna pertencem ao mesmo grupo de acordo com o teste Scott Knott ao nível de 10% de probabilidade. CV (%): Coeficiente de Variação.

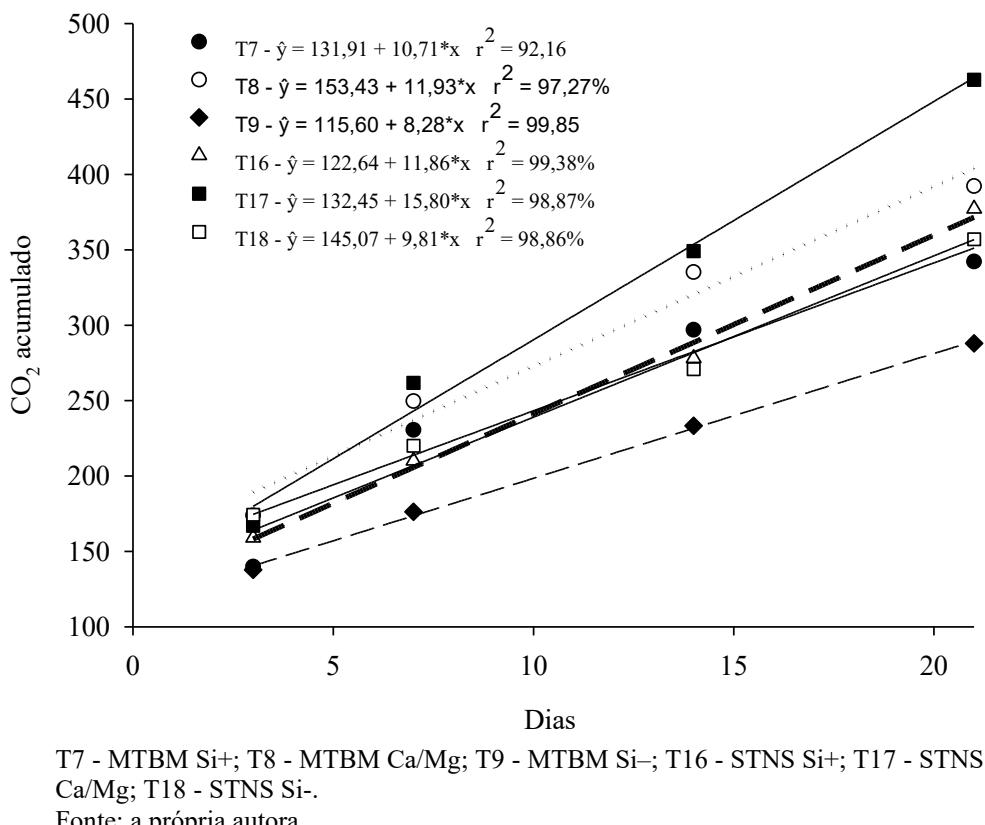
B - braquiária, N - nabo forrageiro, M - milho, S - Soja, T- trigo,. Si+ - com aplicação de silicato de cálcio e magnésio na dose de 1.000 Kg de Si total ha⁻¹; Ca/Mg - controle com aplicação de calcário dolomítico para equilibrar as quantidades de Ca e Mg fornecidas pelo silicato; Si- - controle sem aplicação de calcário e silício, baseado na análise de solo.

Fonte: a própria autora.

A análise da regressão do C-CO₂ (ug g⁻¹) nos diferentes manejos dos sistemas de sucessão de culturas (MTBM Si+, MTBM Ca/Mg, MTBM Si-, STNS Si+, STNS Ca/Mg e STNS Si-), evidencia que o tempo exerce efeito predominante sobre os teores de CO₂ acumulado. Os modelos quadráticos e cúbico não se mostraram significativos, indicando que modelos lineares simples foram suficientes para explicar a maior parte da variabilidade

observada. Os valores de R^2 elevados, variando de 98,9% a 99,4%, confirmam a boa qualidade de ajuste dos modelos lineares (Figura 9 e Apêndice AD).

Figura 9 – C-CO₂ (ug g⁻¹) dos diferentes manejos dos sistemas de sucessão aos 3, 7, 14 e 21 dias após 541 dias da aplicação de Si e equilíbrio de Ca/Mg.



Ferreira *et al.* (2022), estudando a atividade microbiana do solo, estimada pela liberação de dióxido de carbono (CO₂) para a atmosfera, observou que esta foi influenciada pelos fatores local, sítio e temperatura. Em relação ao local, os solos de várzea apresentaram diferenças significativas em comparação ao solo de Cerrado, independentemente da temperatura avaliada. Essas diferenças estão associadas principalmente à saturação hídrica, uma vez que, em condições de alagamento, o consumo de oxigênio por microrganismos aeróbios favorece um ambiente redutor, resultando no acúmulo de carbono ligado à matéria orgânica. Além disso, verificou-se que o aumento da taxa de respiração, decorrente do incremento da temperatura do solo, evidenciou maior sensibilidade da atividade microbiana, promovendo aumento no efluxo de C-CO₂ para a atmosfera.

O desmatamento e a substituição da vegetação natural por sistemas agrícolas promovem desequilíbrios no ecossistema, alterando de forma significativa os processos físico-químicos e

biológicos do solo. Em especial, a fração de C orgânico, incluindo o C lável e as substâncias húmicas, sofre modificações que geralmente resultam em perdas quantitativas e qualitativas desses componentes. Tais alterações repercutem também na estrutura física do solo, afetando parâmetros como densidade, porosidade e formação de agregados, o que compromete seu funcionamento e sustentabilidade (Miralles *et al.*, 2012).

O Si atua como uma ferramenta eficiente e sustentável para a mitigação do aquecimento global, promovendo o sequestro de carbono ao aumentar a produtividade vegetal, melhorar a saúde e a estrutura do solo e favorecer a agregação de partículas, o que eleva a porosidade, reduz a compactação e facilita a infiltração de água, aspectos essenciais para o crescimento das plantas e o armazenamento de carbono. Além disso, o Si contribui para a formação de um sumidouro de carbono aumentando a capacidade do solo de reter carbono e prevenir a erosão, e ao melhorar a estrutura do solo e a disponibilidade de nutrientes, o Si pode sustentar uma população microbiana ativa, promovendo a reciclagem eficiente do carbono (Nath; Selvi, 2025).

Segundo Jalali *et al.* (2024), fertilizantes à base de Si, como silicato de potássio, silicato de cálcio, silicato de sódio e silicato de magnésio, fornecem o Si essencial para o desenvolvimento das plantas, sendo particularmente importantes em solos deficientes nesse elemento. Ao reforçar o sistema radicular, aumentar a resistência das plantas a estresses e aprimorar a estrutura do solo, esses fertilizantes podem, de forma indireta, favorecer o armazenamento de carbono no solo, promovendo tanto a saúde do solo quanto o crescimento vegetal.

Os atributos microbiológicos do solo indicaram que não houve efeito significativo após 541 dias da aplicação dos tratamentos de aplicação de silicato (Ca/Mg, Si⁺ e Si⁻) e efeito dos sistemas de sucessão de culturas adotado (MTBM Si⁺, MTBM Ca/Mg, MTBM Si⁻, STNS Si⁺, STNS Ca/Mg e STNS Si⁻), sobre a respiração microbiana (RES), carbono solúvel (CS), carbono da biomassa microbiana (CBM) e o quociente metabólico (qCO₂) (Apêndices AE, AF, AG, AH e Tabela 39).

Os atributos do carbono da biomassa microbiana e nitrogênio microbiano servem como indicadores da qualidade do solo (Ferreira *et al.*, 2011); contudo, o uso desses parâmetros isoladamente não é o mais apropriado para determinar o estado metabólico das comunidades microbianas do solo (Bowles *et al.*, 2014), necessitando levar em consideração outros atributos microbiológicos da qualidade do solo. Nesse sentido, a quantificação da respiração basal do solo e do quociente metabólico fornecem informações importantes sobre a atividade da microbiota do solo (Anderson; Domsch, 1990).

Tabela 39 – Respiração – RES (C.CO₂. (ug g⁻¹)), Carbono solúvel – CS (μg de C. g⁻¹), Carbono Biomassa Microbiana – CBM (μg de C. g⁻¹) e quociente metabólico – qCO₂ (μg de C-CO₂. g⁻¹) em solo com diferentes manejos do sistema agrícola, após 541 dias da aplicação de Si e equilíbrio Ca/Mg.

Tratamentos	Res	CS	CBM	QM
MTBM Si+	16,30 a	46,30 a	147,50 a	0,108 a
MTBM Ca/Mg	18,70 a	47,72 a	166,20 a	0,107 a
MTBM Si-	13,72 a	58,52 a	159,75 a	0,088 a
STNS Si+	18,00 a	49,60 a	186,25 a	0,100 a
STNS Ca/Mg	22,02 a	50,95 a	187,25 a	0,123 a
STNS Si-	17,02 a	55,25 a	145,50 a	0,115 a
Média	17,63	51,39	165,42	0,107

ns – não significativo. Médias seguidas de mesma letra na coluna pertencem ao mesmo grupo de acordo com o teste Scott Knott ao nível de 10% de probabilidade.

B - braquiária, N - nabo forrageiro, M - milho, S - Soja, T- trigo,. Si+ - com aplicação de silicato de cálcio e magnésio na dose de 1.000 Kg de Si total ha⁻¹; Ca/Mg - controle com aplicação de calcário dolomítico para equilibrar as quantidades de Ca e Mg fornecidas pelo silicato; C - controle sem aplicação de calcário, baseado na análise de solo.

Fonte: a própria autora.

A aplicação de fertilizantes em longo prazo reduz o tamanho da biomassa microbiana (Ramirez *et al.*, 2012) e a diversidade fúngica e bacteriana (Kamaa *et al.*, 2011) e, consequentemente, o crescimento e a atividade de gêneros de fungos patogênicos podem ser aumentados (Paungfoolhienne *et al.*, 2015).

O carbono orgânico do solo (COS) constitui um atributo fundamental para os processos físicos, químicos e biológicos dos ecossistemas tropicais. Entretanto, em sistemas agrícolas, as interações entre esses processos são significativamente alteradas em comparação aos ambientes naturais. Entre os fatores que contribuem para a perda de COS e sua consequente emissão, destaca-se a intensidade da fertilização dos solos (Galford *et al.*, 2011).

O quociente metabólico (qCO₂) refere-se ao teor de C-CO₂ evoluído por unidade de C microbiano (Anderson; Domsch, 1993), e Vinhal-Freitas (2013) observou que as maiores médias de quociente metabólico (qCO₂) foram nos sistemas de cultivo com cana-de-açúcar, seguidas pelas áreas de pastagem, enquanto o Cerrado, em ambas as classes texturais, apresentou os menores valores. Os ambientes mais impactados em função da textura do solo foram os Latossolos de textura média, que exibiram os maiores valores de qCO₂, indicando maior estresse microbiológico, especialmente sob cultivo com cana-de-açúcar. O menor qCO₂ registrado em solos não perturbados, como no Cerrado, revela menor atividade respiratória por unidade de biomassa em comparação aos sistemas manejados (cana e pastagem). Isso sugere que solos degradados respiram mais do que incorporam carbono à biomassa microbiana, estando sujeitos a fatores abióticos que limitam o crescimento microbiano e resultam em maior estresse ambiental.

Espera-se uma tendência de maior atividade respiratória da biomassa microbiana nos sistemas com menor intensidade de manejo do solo. Lourette *et al.* (2011) encontraram valores em solo manejado com sistema de semeadura direta corresponde a 6,2 e 14,9 C.CO₂. ug g⁻¹. Valores elevados de qCO₂ são encontrados em condições ambientais estressantes, nas quais a biomassa microbiana consome mais carbono para sua manutenção (Souza *et al.*, 2006). Cardoso *et al.* (2009) encontraram valores de qCO₂ em áreas de cerradão equivalente à de 0,06 µg de C-CO₂. g⁻¹, e para pastagem cultivada por 26 anos de 0,18 µg de C-CO₂. g⁻¹. Os valores de CBM na camada de 0,00-0,10 cm em solos sob Cerrado são maiores que 405 mg kg⁻¹ (Lopes, *et al.*, 2013).

É fundamental considerar que o uso em longo prazo e contínuo de corretivos do solo é capaz de impactar a estrutura microbiana do solo. Além disso, o mesmo aditivo pode exercer efeitos distintos sobre a microbiota, dependendo das características do tipo de solo (Lazcano *et al.*, 2013; Azim, 2019).

A eficácia da fertilização com rochas vulcânicas depende da taxa de dissolução dos compostos inorgânicos nelas contidos. Segundo Ramos *et al.* (2017), ambientes ácidos facilitam a liberação dos minerais das rochas vulcânicas, sendo, portanto, recomendada sua aplicação juntamente com fertilizantes orgânicos, como o composto.

Os resultados obtidos neste estudo podem estar relacionados ao período de duração do experimento, o qual pode não ter sido suficiente para promover interferências na população microbiana do solo. Para a detecção de alterações significativas nessas populações, são necessários estudos conduzidos por períodos mais longos, bem como a avaliação de outros parâmetros relacionados às condições do solo.

5. CONCLUSÕES

A aplicação de silicato de cálcio e magnésio aumenta a disponibilidade de Si no solo, sendo esse efeito mais pronunciado até aproximadamente um ano após a aplicação.

Os resultados confirmam o potencial agronômico do silicato de cálcio como fonte suplementar de Si, com efeito residual relevante no solo. Tais evidências reforçam a importância da adoção de estratégias de manejo que considerem a interação entre aplicação de silicato e sistemas de sucessão, visando otimizar a disponibilidade de Si e maximizar os benefícios desse elemento em sistemas produtivos sustentáveis.

REFERÊNCIAS

- AGARIE, S.; HANAOKA, N.; UENO, O.; MIYAZAKI, A.; KUBOTA, F.; AGTA, W.; KAUFMAN, P. B. Effects of silicon on tolerance to water deficit and heat stress in rice plants (*Oryza sativa L.*), monitored by electrolyte leakage. **Plant Production Science**, Tóquio, v. 1, n. 2, p. 96-103, 1998. <https://doi.org/10.1626/pps.1.96>
- AHMED, M.; ASIF, M.; HASSAN, F. U. Augmenting drought tolerance in sorghum by silicon nutrition. Heidelberg: **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 36, n. 2, p. 473-483, 2014. <https://doi.org/10.1007/s11738-013-1427-2>
- ALBRECHT, J. C.; RIBEIRO JUNIOR, W. Q.; SILVA, M. S. Cultivares de trigo para o Cerrado. In: FALEIRO, F. G.; SOUSA, E. S. In: FALEIRO, F. G.; SOUSA, E. S. **Pesquisa, desenvolvimento e inovação para o Cerrado**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2007. p. 61 68.
- ALI, N.; RÉTHORÉ, E.; YVIN, J.-C.; HOSSEINI, S. A. The regulatory role of silicon in mitigating plant nutritional stresses. **Plants**, v. 9, p. 1779, 2020. <https://doi.org/10.3390/plants9121779>
- ALLEONI, L. R. F., MELLO, J. W., V.; ROCHA, W. S. D. Eletroquímica, adsorção e troca iônica no solo. In: MELO, V. F. ALLEONI, L. R. F. (ed.). **Química e mineralogia do solo**. Viçosa: SBCS, p.69-129, 2009.
- ALOVISI, A. A.; LUZ, R. A.; ALOVISI, A. M. T.; TOKURA, L. K.; GOMES, C. F.; CASSOL, C. J. Silicatagem no solo e na produtividade da cultura do milho. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, Florianópolis, v. 9, p. 933-950, 2020. <https://doi.org/10.19177/rgsa.v9e02020933-950>
- AMIN, M.; AHMAD, R.; ALI, A.; HUSSAIN, I.; MAHMOOD, R.; ASLAM, M.; LEE, D. J. Influence of silicon fertilization on maize performance under limited water supply. **Silicon**, v. 10, p. 177–183, 2016. <https://doi.org/10.1007/s12633-015-9372-x>
- ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. Application of eco-physiological quotients ($q\text{CO}_2$ and qD) on microbial biomasses from soils of different cropping histories. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 22, n. 2, p. 251-255, 1990. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(90\)90094-G](https://doi.org/10.1016/0038-0717(90)90094-G)
- ANDERSON, T.H.; DOMSCH, K. H. The metabolic quotient for CO_2 (q) as a specific activity parameter to asses the efects of environmental conditions, such pH, on the microbial biomass of forest soil. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 25, n.3, p. 393-395, 1993. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(93\)90140-7](https://doi.org/10.1016/0038-0717(93)90140-7)
- ANDRADE, F. A.; ANDRADE, C. G.; MIGLIORANZA, E. Detecção de sílica em folha bandeira de trigo. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, n. 6, p. 2555-2562, 2012. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2012v33Supl1p2555>
- ANDREA, M. C. S.; BOOTE, K. J.; SENTELHAS, P. C.; ROMANELLI, T. L. Variability and limitations of maize production in Brazil: Potential yield, water-limited yield and yield gaps. **Agricultural Systems**, v. 165, 2018, p 264–273. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2018.07.004>

AZIM, K. Organic amendments to alleviate plant biotic stress. In: ANSARI, R.A., MAHMOOD, I. (ed.), **Plant Health Under Biotic Stress**. Volume 1: Organic Strategies. Springer Nature, Singapore, 2019, p. 59–72. https://doi.org/10.1007/978-981-13-6043-5_8

BAKHAT, H. F.; BIBI N.; ZIA Z.; ABBAS S.; HAMMAD H. M, FAHAD S.; ASHRAF M. R.; SHAH G. M.; RABBANI F.; SAEED S. Silicon mitigates biotic stresses in crop plants: A review. **Crop Protection**, v. 104, p. 21–34, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2017.10.008>

BARBIERI, M.; DOSSIN, M. F.; NORA, D. D.; SANTOS, W. B.; BEVILACQUA, C. B.; ANDRADE de N.; BOENI, M.; DEUSCHLE, D.; JACQUES, R. J. S.; ANTONIOLLI, Z.I. Ensaio sobre a bioatividade do solo sob plantio direto em sucessão e rotação de culturas de inverno e verão. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 42, n.1, p. 122-134, 2019.

BARBOSA FILHO, M. P.; SNYDER, G. H.; PRABHU, A. S.; DATNOFF, L. E.; KORNDÖFER, G. H. **Importância do silício para a cultura do arroz**. Piracicaba: Potafós. Informações agronômicas n. 89, 2000, 8p.

BLACKMAN, R.L.; EASTOP, V.P. **Aphids on the world's crops**: an identification and information guide. 2. ed. Chichester: J. Wiley & Sons, 2000. 466p.

BOER, C. A.; SAMPAIO, M. V.; PEREIRA, H. S. Silicon-mediated and constitutive resistance to *Rhopalosiphum maidis* (Hemiptera: Aphididae) in corn hybrids. **Bulletin of Entomological Research**, v. 109, n. 3, p. 356-364, 2019. <https://doi.org/10.1017/S0007485318000585>

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 39, de 8 de agosto de 2018**. Estabelece regras sobre definições, exigências, especificações, garantias, registro de produto, autorizações, embalagem, rotulagem, documentos fiscais, propaganda e tolerâncias dos fertilizantes minerais destinados à agricultura. Brasília, DF: Ministério das Cidades, 2018. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/in-39-2018-fertilizantes-minerais-versao-publicada-dou-10-8-18.pdf>. Acesso em: 20 dez. 2025.

BOWLES, T. M., ACOSTA-MARTÍNEZB V., CALDERÓN, F., JACKSON, L. E. Soil enzyme activities, microbial communities, and carbon and nitrogen availability in organic agroecosystems across an intensively-managed agricultural landscape. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 68, p. 252-262, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2013.10.004>

CAMARGO, M. S. de; KORNDÖFER, G. H.; WYLER, P. Silicate fertilization of sugarcane cultivated in tropical soils. **Field Crop Research**. v. 167, 2014; p. 64–75. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2014.07.009>

CAMARGO, M. S.; KEEPING, M. G. Silicon in sugarcane: availability in soil, fertilization, and uptake. **Silicon**, v. 13, p. 3691-3701, 2021. <https://doi.org/10.1007/s12633-020-00935-y>

CARDOSO, E. L.; SILVA, M. L. N.; MOREIRA, F. M. S.; CURI, N. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em pastagem cultivada e nativa no Pantanal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 6, p. 745–752, jun. 2009. <https://doi.org/10.1590/S0100-20842009000600001>

204X2009000600012

CARDOSO, J. T.; LAZZARI, S. M. Biologia de *Cycloneida sanguinea* (Linnaeus, 1763) e *Hippodamia convergens* (Guérin-Méneville, 1842) (Coleoptera: Coccinellidae) alimentadas com ninhas de *Cinara spp.* nas temperaturas de 20°C e 25°C. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 47, n. 4, p. 563–570, 2003. <https://doi.org/10.1590/S0085-56262003000400004>

CARVALHO, A. M. **Composição química de plantas de cobertura e sua relação com a dinâmica de decomposição**. [S. l.], 2009. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-projetos/-/projeto/7514/composicao-quimica-de-plantas-de-cobertura-e-sua-relacao-com-a-dinamica-de-decomposicao>. Acesso em: 22 nov. 2025. Projeto (Ecossistema: Região dos Cerrados). Embrapa Cerrados, 2007–2009.

CASTRO, G. S. A. **Alterações físicas e químicas do solo em função do sistema de produção e da aplicação superficial de silicato e calcário**. 2009. 135 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agricultura) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu, 2009.

CASTRO, G. S. A. **Atributos do solo decorrentes dos sistemas de produção e da aplicação superficial de corretivos**. 2012. 155 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Agricultura) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2012.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª Aproximação. Viçosa, MG: CFSEMG, 1999. 359 p.

CHAGAS, V. B. P.; CHAFFE, P. L. B.; BLÖSCHL, G. Climate and land management accelerate the Brazilian water cycle. **Nature Communications**. v. 13, 5136, 2022. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-32580-x>

COELHO, P. H. M.; BENETT, K. S. S.; ARRUDA, N.; BENETT, C. G. S.; NASCIMENTO, M. V. Crescimento e produtividade de dois cultivares de soja em função de doses de silício. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia-MS, v. 6, n. 3, p. 60-65, jul./set. 2019. <https://doi.org/10.32404/rean.v6i3.2602>

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (Brasil). Boletim da safra de grãos. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em 06 abr. 2025.

COOKE, J.; LEISHMAN, M. R. Silicon concentration and leaf longevity: is silicon a player in the leaf dry mass spectrum? **Functional Ecology**, v. 25, n. 6, p. 1181-1188, 2011. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2011.01880.x>

COSTA, D. C. S. **Resistência constitutiva a insetos causada por acilcúcares e efeito do silício no aumento da resistência e desempenho agronômico em tomateiro**. 2024. Tese (Doutorado em Agronomia/Fitotecnia) — Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG.

CUI, J.; ZHU, R.; WANG, X.; XU, X.; AI, C.; HE, P.; LIANG, G.; ZHOU, W.; ZHU, P. Effect of high soil C/N ratio and nitrogen limitation caused by the long-term combined organic-inorganic fertilization on the soil microbial community structure and its dominated SOC decomposition. **Journal Environment Managment**, v. 303, 114155, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.114155>

DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDÖRFER, G. H. **Silicon on Agriculture**. Amsterdam, Elsevier Science. 2001, 424p.

DEREN, C. Plant genotypes, silicon concentration and silicon related responses. In: DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDÖRFER, G.H. **Silicon in Agriculture**. Netherlands: Elsevier Science, cap. 8, p. 149-158, 2001. [https://doi.org/10.1016/S0928-3420\(01\)80012-4](https://doi.org/10.1016/S0928-3420(01)80012-4)

DESHMUKH, R.K., VIVANCOS, J., GUERIN, V., SONAH, H., LABBE, C., BELZILE, F. Identification and functional characterization of silicon transporters in soybean using comparative genomics of major intrinsic proteins in *Arabidopsis* and rice. **Plant Molecular Biology**, v. 83, p. 303–315, 2013. <https://doi.org/10.1007/s11103-013-0087-3>

EMBRAPA. Anteprojeto de implantação do Centro Nacional de Pesquisa de Soja. Brasília, DF, 1974. 113 p.

EMBRAPA. Nabo forrageiro. Agência de Informação Embrapa. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/agroenergia/biodiesel/materias-primas/nabo-forrageiro>. Acesso em: 10 set. 2025.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Mineral nutrition of plants: principles and perspectives**. Sunderland: Sinauer Associates, 2004, 418p.

FERNANDES, C. C. D.; VIANA, T. V. DE A.; FERNANDES, C. N. V.; SILVA, A. R. A. dA; AZEVEDO, B. M. DE; MARINHO, A. B. Irrigation depth and silicate fertilisation in green maize. **Revista Ciência Agronômica**. v.53, 2022. <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20220043>

FERRAZ, R. L. S.; BELTRÃO, N. E. M.; MELO, A. S.; MAGALHÃES, I. D.; FERNANDES, P. D.; ROCHA, M. S. Trocas gasosas e eficiência fotoquímica de cultivares de algodoeiro herbáceo sob aplicação de silício foliar. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 35, n. 2, p. 735 - 748, 2014. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2014v35n2p735>

FERREIRA, E. P. B.; WENDLAND, A.; DIDONET, A. D. Microbial biomass and enzyme activity of a Cerrado Oxisol under agroecological production system. **Bragantia**, v. 70, n. 4, 2011, p. 1-9. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052011000400024>

FERREIRA, F. C.; DINIZ, A. V. G.; SANTANA, A. L. G.; CORRÊA, L. D. M.; BATISTA, A. H.; FERREIRA, A. S. Sensibilidade à temperatura da atividade microbiana de solo de várzea às condições aeróbicas. In: SIMPÓSIO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, 2022. **Anais** [...]; [S. l.]. 2022. Disponível em: <https://grcmlesydpd.objectstorage.sa-saopaulo-1.oci.customer-oci.com/p/OQwcvnO-c63O08Gc2Kv4OTbJttj5ik60dguiDIyyQ0wuo5SWn-jHOLW9wNbylNqI/n/grcmlesydpd/b/dtysppobjmnbkp01/o/media/doity/submissoes/artigo->

e5a256b1bed737b80eb3d29a82af7d5b9deb23e5-arquivo_revisado.pdf. Acesso em: 11 set. 2025.

FIGUEIREDO, T. de O. V. *et al.* Decomposição de resíduos vegetais e nitrogênio mineral em solo no Cerrado. In: CONGRESO LATINOAMERICANO DE LA CIENCIA DEL SUELO, 20.; CONGRESO PERUANO DE LA CIENCIA DEL SUELO, 16., 2014, Cusco. **Anais** [...]. Cusco: Centro de Convenciones de la Municipalidad del Cusco, 2014.

FORTE, C.T.; BEUTLER, A.N.; GALON, L.; CASTOLDI, C.T.; WINTER, F.L.; HOLZ, C.M.; BIANCHESSI, F.; CONCENÇO, G.; CHECHI, L.; FERREIRA, M.M.; *et al.* Soil physical properties and grain yield influenced by cover crops and crop rotation. *Am. J. Plant Sci.*, v. 9, p. 584–598, 2018. <https://doi.org/10.4236/ajps.2018.94045>

FREITAS, L. B., COELHO, E. M., MAIA, S. C. M.; SILVA, T. R. B. Adubação foliar com silício na cultura do milho. **Revista Ceres**. v. 58, p. 262-267, 2011.

FREW, A.; WESTON, L. A.; REYNOLDS, O. L.; GURR, G. M. The role of silicon in plant biology: a paradigm shift in research approach. **Annals of Botany**, v. 121, 2018, p. 1265–1273. <https://doi.org/10.1093/aob/mcy009>

GALFORD, G. L.; MELILLO, J. M.; KICKLIGHTER, D. W.; MUSTARD, J. F.; CRONIN, T. W.; CERRI, C. E. P.; CEERRI, C. C. Historical carbon emissions and uptake from the agricultural frontier of the Brazilian Amazon. **Ecological Applications**, Tempe, Arizona, v. 21, p. 750-763, 2011. <https://doi.org/10.1890/09-1957.1>

GASSEN, D. N. **Insetos associados à cultura do trigo no Brasil**. Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT, Circular técnica, 3, 1984. 39 p.

GAZOLLA, P. R. GUARESCHI, R. F.; PERIN, A.; PEREIRA, M. G.; ROSSI, C. Q. Frações da matéria orgânica do solo sob pastagem, sistema plantio direto e integração lavoura-pecuária. **Semina: Ciências Agrárias**, v 36, n.2 p.693-704, 2015. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2015v36n2p693>

GOMES, F. B.; MORAES, J. C.; SANTOS, C. D.; GOUSSAIN, M. M.; GOUSSAIN JR, M.M. Resistance induction in wheat plants by silicon and aphids. **Scientia Agrícola** (USP. Impresso), v. 62, p. 547-551, 2005. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162005000600006>

GOMES, D., AGASSE, A., THIÉBAUD, P., DELROT, S., GERÓS, H.; CHAUMONT, F. As aquaporinas são transportadores multifuncionais de água e soluto altamente divergentes em organismos vivos. **Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Biomembranas**, 1788, p. 1213–1228, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.bbamem.2009.03.009>

GONG, H. et al Silicon alleviates oxidative damage of wheat plants in pots under drought. **Plant Science**, v. 169, n. 13-14, p. 313-321, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2005.02.023>

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* (J. E. Smith) (Lepidoptera Noctuidae). **Neotropical Entomology**, v. 31, p. 305-310, 2002. <https://doi.org/10.1590/S1519-566X2002000200019>

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. Universidade do Estado de Santa Catarina. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 18, n. 2, p. 2019. <https://doi.org/10.5965/223811711812019187>

GUNES, A. *et al.* Influence of silicon on sunflower cultivars under drought stress. I: Growth, antioxidant mechanisms, and lipid peroxidation. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, v. 39, n. 1, p. 1885-1903, 2008. <https://doi.org/10.1080/00103620802134651>

HAJIBOLAND, R.; MORADTALAB, N.; ESHAGHI, Z.; FEIZY, J. Effect of silicon supplementation on growth and metabolism of strawberry plants at three developmental stages. **New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science**, v. 46, 2 ed., p. 144-161, 2018. <https://doi.org/10.1080/01140671.2017.1373680>

HATTORI, T.; INANAGA, S.; ARAKI, H.; PING, A.; MORITA, S.; LUXOVÁ, M.; LUX, A. Application of silicon enhanced drought tolerance in Sorghum bicolor. **Plant Physiology**, Madison, v. 123, n. 4, p. 459-466, 2005. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2005.00481.x>

HARTLEY, S. E.; VOLTAS, S. E. Silício e voltas em ciclos? Defesas vegetais à base de silício e dinâmica populacional de ratazanas. **Functional Ecology**, v. 29, p. 151–153, 2015.

HAYNES, R. J. Significance and Role of Si in Crop Production. In: SPARKS, D. L. (ed.). **Advances in Agronomy**. San Diego, CA: Elsevier Academic Press, 2017, p. 83–166 v. 146. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2017.06.001>

HELIOS, W.; SERAFIN-ANDRZEJEWSKA, M.; KOZAK, M.; LEWANDOWSKA, S. Impact of nitrogen fertilisation and inoculation on soybean nodulation, nitrogen status, and yield in a Central European climate. **Agriculture**, v. 15, n. 15, p. 1654, 2025. <https://doi.org/10.3390/agriculture15151654>

HOVE, R. M.; BHAVE, M. Plant aquaporins with non-aqua functions: deciphering the signature sequences. **Plant Molecular Biology**, v. 75, p. 413-430, 2011. <https://doi.org/10.1007/s11103-011-9737-5>

HYMOWITZ, T. On the domestication of the soybean. **Economic Botany**, v. 24, p. 408–421, 1970. <https://doi.org/10.1007/BF02860745>

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (Brasil). **Dados históricos**. [S. l.]: INMET, 2025. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/dadoshistoricos>. Acesso em: 15 nov. 2025.

JALALI, M.; RAD, K. V.; ETESAMI, H. The use of silicon-based fertilization in agricultural fields for effective management of carbon sequestration. In: SINGH, D. P.; TRIPATHI, D. K.; AHMAD, P. (org.). **Silicon advances for sustainable agriculture and human health: increased nutrition and disease prevention**. Cham: Springer Nature Switzerland, 2024. p. 113–144. https://doi.org/10.1007/978-3-031-69876-7_6

JARVIS, S. C. The uptake and transport of silicon by perennial ryegrass and wheat. **Plant and Soil**, v. 97, n. 3, p. 429–437, 1987. <https://doi.org/10.1007/BF02383233>

JEER, M.; TELUGU, M.; VOLETI, S.R.; PADMAKUMARI, A.P. Soil application of silicon reduces yellow stem borer, *Scirpophaga incertulas* (Walker) damage in rice. **Applied Entomology**. v. 141, p.189-201, 2017. <https://doi.org/10.1111/jen.12324>

JI, L.; XU, X.; ZHANG, F.; SI, H.; LI, L.; MAO, G. The Preliminary Research on Shifts in Maize Rhizosphere Soil Microbial Communities and Symbiotic Networks under Different Fertilizer Sources. **Agronomy**, v. 13, 2111, 2023. <https://doi.org/10.3390/agronomy13082111>

KAMAA, M. H.; MBURU, E.; BLANCHART, L.; CHIBOLE, J. L.; CHOTTE, C.; KIBUNJA, D. Lesueur Effects of organic and inorganic fertilization on soil bacterial and fungal microbial diversity in the Kabete long-term trial. **Kenya Biology and Fertility of Soils**, v. 47, 315-321 p, 2011. <https://doi.org/10.1007/s00374-011-0539-3>

KER, J. C.; CURI, N.; SCHAEFER, C. E. G. R.; VIDAL-TORRADO, P. **Pedologia: Fundamentos**. Viçosa, SBCS. 1^a edição, 2012, 343p.

KERMAH, M.; FRANKE, A. C.; ADJEI-NSIAH, S.; AHIABOR, B. D. K.; ABAIDOO, R. C.; GILLER, K. E. Maize-grain legume intercropping for enhanced resource use efficiency and crop productivity in the Guinea savanna of northern Ghana. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 213, p. 38-50, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.07.008>

KORNDÖRFER, G. H.; LEPSCH, I. Effect of silicon on plant growth and yield. In: DATNOFF, L. E.; KORNDÖRFER, G.H.; SNYDER, G.H. Silicon in agriculture. Amsterdam, Netherlands: Elsevier Science. p.133-147, 2001. [https://doi.org/10.1016/S0928-3420\(01\)80011-2](https://doi.org/10.1016/S0928-3420(01)80011-2)

KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S. P.; NOL LA, A. **Análise de silício: solo, planta fertilizante**. Uberlândia: GPSi-ICIAG-UFU, 2004. 50 p.

KORNDÖRFER, G.H. Elementos benéficos. In: FERNANDES, M. S. (ed.) **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2006, p.355-374.

KORNDÖRFER, P. H.; SILVA, G. C.; TEIXEIRA, I. R.; SILVA, A. G.; FREITAS, R. S. Efeito da adubação silicatada sobre gramíneas forrageiras e características químicas do solo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 40, n. 2, p. 119-125, abr./jun. 2010. [https://doi.org/10.1016/S0928-3420\(01\)80011-2](https://doi.org/10.1016/S0928-3420(01)80011-2)

KORNDÖRFER, G.; SOUZA, S. R. Elementos benéficos. In: FERNANDES, M. S.; SOUZA, S. R.; SANTOS, L. A. **Nutrição Mineral de Plantas**, 2018, p. 563-599.

KUZYAKOV, Y. Priming effects: interactions between living and dead organic matter. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 42, p. 1363-1371, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2010.04.003>

KVEDARAS, O. L.; KEEPING, M. G. Silicon impedes stalk penetration by the borer *Eldana saccharina* in sugarcane, **Entomologia Experimentalis et Applicata**. v. 125, p. 103-110, 2007. <https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.2007.00604.x>

KVEDARAS, O. L.; BYRNE, M. J.; COOMBES, N. E.; KEEPING, M. G. Influence of plant silicon and sugarcane cultivar on mandibular wear in the stalk borer *Eldana saccharina*.

Agricultural and Forest Entomology, v. 11, p. 301–306, 2009.
<https://doi.org/10.1111/j.1461-9563.2009.00430.x>

KVEDARAS, O. L.; AN, M.; CHOI, Y. S.; GURR, G. M. Silicon enhances natural enemy attraction and biological control through induced plant defenses. **Bulletin of Entomological Research**, v. 100, p. 367-371, 2010. <https://doi.org/10.1017/S0007485309990265>

LAZAROVITZ, G.; HILL, J., PATTERSON, G., CONN K. L., CRUMP N. S. Edaphic soil levels of mineral nutrients, pH, organic matter, and cationic exchange capacity in the geocaulosphere associated with potato common scab. **Phytopathology**, v. 97, 9 ed, p. 1071-1082, 2007. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-97-9-1071>

LAZCANO, C.; GÓMEZ-BRANDÓN, M.; REVILLA, P.; DOMÍNGUEZ, J. Short-term effects of organic and inorganic fertilizers on soil microbial community structure and function. **Biology and Fertility of Soils**, v. 49, p. 723–733, 2013.
<https://doi.org/10.1007/s00374-012-0761-7>

LI, J.; LI, Y.-T.; YANG, X.-D.; ZHANG, J.-J.; LIN, Z.-A.; ZHAO, B.-Q. Microbial community structure and functional metabolic diversity are associated with organic carbon availability in an agricultural soil. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 14, n. 12, p. 2500–2511, 2015. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(15\)61229-1](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(15)61229-1)

LIANG, Y., NIKOLIC, M., BELANGER, R., HAIJUN, G. and SONG, A. **Silicon in agriculture from theory to practice**. Dordrecht: Springer, 2015. <https://doi.org/10.1007/978-94-017-9978-2>

LIMA, M. A.; CASTRO, V. F.; VIDAL, J. B.; ENÉAS-FILHO, J. Aplicação de silício em milho e feijão-de-corda sob estresse salino. Fortaleza: **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 2, p. 398-403, 2011. <https://doi.org/10.1590/S1806-66902011000200019>

LIMA FILHO, O. F.; AMBROSANO, E. J.; WUTKE, E. B.; ROSSI, F.; CARLOS, J. A. D. (ed.). **Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e prática**. 2. ed. rev. e atual. Brasília, DF: Embrapa, 2023. v. 2, 483 p.

LIU, Z.; MA, X.; HE, N.; ZHANG, J.; WU, J.; LIU, C. Shifts in microbial communities and networks are correlated with the soil ionome in a kiwifruit orchard under different fertilization regimes. **Applied Soil Ecology**, v. 149, p. 103517, 2020.
<https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2020.103517>

LOHAR, M. K.; KHUHRO, S. N.; LAKHO, M. H.; MAGSI, G. A.; KHUHRO, T. A. Biology and feeding potential of predator, *Hippodamia convergens* Guir (Coleoptera: Coccinellidae) on mustard aphid, *Lipaphis erysimi* (Kalt.) in laboratory. **Pakistan Journal of Agriculture**, Faisalabad, v. 28, n. 2, p. 150-159, 2012.

LOPES, A.A. de C.; SOUSA, D.M.G. de; CHAER, G.M.; REIS JÚNIOR, F.B. dos; GOEDERT, W.J.; MENDES, I. de C. Interpretação de indicadores microbianos do solo em função da produtividade das culturas e do carbono orgânico. **Jornal da Sociedade de Ciência do Solo da América**, v.77, p.461-472, 2013.

LOURENTE, E. R. P.; MERCANTE, F. M.; ALOVISI, A. M. T.; GOMES, C. F.; GASPARINI, A. S.; NUNES, C. M. Atributos microbiológicos, químicos e físicos de solo sob diferentes sistemas de manejo e condições de Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, n. 1, p. 20–28, 2011. <https://doi.org/10.5216/pat.v41i1.8459>

MA, J. F.; MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. Silicon as a beneficial element for crop plants. In: DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDÖRFER, G. H. **Silicon in agriculture: studies in plant science**. Amsterdam: Elsevier, 2001. p. 17-39. [https://doi.org/10.1016/S0928-3420\(01\)80006-9](https://doi.org/10.1016/S0928-3420(01)80006-9)

MA, J. F.; YAMAJI, N. Silicon uptake and accumulation in higher plants. **Trends in Plant Science**, v. 11, p. 392-397, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2006.06.007>

MA, J. F.; TAMAI, K.; YAMAJI, N.; MITANI, N.; KONISHI, S.; KATSUHARA, M.; ISHIGURO, M.; MURATA, Y.; YANO, M. A silicon transporter in rice. **Nature**, v. 440, p. 688-691, 2006. <https://doi.org/10.1038/nature04590>

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: POTAPOS, 1997. 319 p.

MALIK, M. A.; HASSAN, S.; RASHID, I.; TAHIR, I. Wheat genotypes vary in efficiently using silicon to enhance growth and yield – a physiological perspective. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 25, p. 1–13, 2025. <https://doi.org/10.1007/s42729-025-02348-5>

MANIVANNAN, A.; AHN, Y.K. Silicon regulates potential genes involved in majorphysiological processes in plants to combat stress. Lausanne, Switzerland: **Frontiers in Plant science**, v. 8, n. 1, p. 1-13, 2017. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01346>

MARAFON, A.C.; ENDRES, L. **Adubação silicatada em cana-de-açúcar**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2011, 46p.

MARAFON, A. C.; ENDRES, L. Silício: fertilização e nutrição em plantas superiores. **American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences**, v. 56, p. 380-388, 2013. <https://doi.org/10.4322/rca.2013.057>

MARSCHNER, P. **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. 3. ed. London: Academic Press, 2012, 651p.

MASSEY, F. P.; HARTLEY, S. E. Experimental demonstration of the antiherbivore effects of silica in grasses: impacts on foliage digestibility and vole growth rates. Proceedings of the Royal Society of London. Series B: **Biological Sciences**, v. 273, n. 2, p. 299–304, 2006. <https://doi.org/10.1098/rspb.2006.3586>

MASSEY, F. P.; ENNOS, A. R.; HARTLEY, S. E. Grasses and the resource availability hypothesis: the importance of silica-based defences. **Journal of Ecology**, v. 95, p. 414–424, 2007. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2007.01223.x>

- MASSEY, F. P.; HARTLEY, S. E. Physical defences wear you down: progressive and irreversible impacts of silica on insect herbivores. **Journal of Animal Ecology**, v.78, p.281–291, 2009. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2656.2008.01472.x>
- MATEUS, G. P.; SANTOS, N. D. Sistema plantio direto e a conservação dos recursos naturais. **Revista Pesquisa Technology**, v. 9, p. 1–5, 2012.
- MHLANGA, B.; CHEESMAN, S.; MAASDORP, B.; MUPANGWA, W.; MUNYORO, C.; SITHOLE, C.; THIERFELDEER, C. Effects of relay cover crop planting date on their biomass and maize productivity in a sub-humid region of Zimbabwe under conservation agriculture. **NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences, Amsterdam**, v. 78, p. 93-101, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.njas.2016.05.001>
- MIAO, B. H.; HAN, X. G.; ZHANG, W. H. The ameliorative effect of silicon on soybean seedlings grown in potassium-deficient medium. **Annals of Botany**, Oxford, v. 105, n. 6, p. 967-973, 2010. <https://doi.org/10.1093/aob/mcq063>
- MIRALLES, I. *et al.* Modifications of organic matter and enzymatic activities in response to change in soil use in semi-arid mountain ecosystems (Southern Spain). **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 63, p. 272-283, 2012. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2012.01426.x>
- MONTPETIT, J.; VIVANCOS, J.; MITANI-UENO; N., YAMAJI, N.; RÉMUS-BOREL, W.; BELZILE, F.; FENG MA, J.; RICHARD R. BÉLANGER, R. R. Cloning, functional characterization and heterologous expression of TaLsi1, a wheat silicon transporter gene. **Plant Molecular Biology**, v. 79, p. 35–46, 2012. <https://doi.org/10.1007/s11103-012-9892-3>
- MOREIRA, A. R.; FAGAN, E. B.; MARTINS, K. V.; SOUZA, C. H. E. Resposta da cultura de soja à aplicação de silício foliar. **Bioscience Journal**, v. 26, p. 413–423, 2010.
- NASCENTE, A. S.; SILVEIRA, P. M.; WANDER, A. E. Viabilidade agroeconômica da rotação de culturas e do manejo do solo em áreas irrigadas por aspersão. **Revista de Ciências Agrárias: Revista Amazônica de Ciências Agrárias e Ambientais**, v. 57, n. 1, p. 72–79, 2014. <https://doi.org/10.4322/rca.2013.068>
- NATH, D; SELVI, D. Carbon sequestration in soil with silicon: a green solution for climate change. **International Journal of Soil Science**, v. 5, n. 5, jan. 2025.
- NOLLA, A., KORNDÖRFER, G. H., SILVA, T. R. B., MUNIZ, A. S.; SILVA, M. A. G. Correção da acidez de um neossolo submetido à aplicação de carbonato e silicato de cálcio. **Journal of Agronomic Sciences**, v. 2, p.113-120, 2013.
- NÓIA JÚNIOR, R. S.; SENTELHAS, P. C. Soybean-maize off-season double crop system in Brazil as affected by El Niño Southern Oscillation phases. **Agricultural Systems**, v. 173, p. 254–267, 2019. <https://doi.org/10.4322/rca.2013.068>
- OLIVEIRA NETO, S. D.; PAIVA, H. N. Implantação e manejo do componente arbóreo em sistema agrossilvipastoril. In: OLIVEIRA NETO, S. D. *et al. Sistema agrossilvipastoril: integração lavoura, pecuária e floresta*. Viçosa: SIF, p. 15–68, 2010.

OLIVEIRA, I. P.; SOUZA, A. F.; LESCANO, C. H.; CAIRES, A. R. L.; MUZZI, R. M. Thermal oxidation analysis of forage turnip (*Raphanus sativus* L. var. *oleiferus* Metzg.) oil. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 92, p. 403–408, 2015. <https://doi.org/10.1007/s11746-015-2606-7>

OLIVEIRA, R. S. **Silício na indução de resistência a *Sitobion avenae* (Fabricius, 1775) (Hemiptera: Aphididae), na produtividade e na produção de voláteis em plantas de trigo.** 89 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2016.

OLIVEIRA, R. S.; PEÑAFLOR, M. F. G. V.; GONÇALVES, F. G.; SAMPAIO, M. V.; KORNDÖRFER, A. P.; SILVA, W. D.; BENTO, J. M. S. Silicon-induced changes in plant volatiles reduce attractiveness of wheat to the bird cherry-oat aphid *Rhopalosiphum padi* and attract the parasitoid *Lysiphlebus testaceipes*. **PLoS One**, v. 15, n. 4, p. 1-13, 2020. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0231005>

OLIVEIRA, M. W.; NASCIF, C.; OLIVEIRA, T. B. A.; RODRIGUES, T. C.; ASSIS, W. O.; SANTOS, D. F.; MOURA, S. C. S. Adubação verde com *Crotalaria juncea* em áreas de implantação ou reforma de canaviais, em pequenas propriedades rurais. In: OLIVEIRA, R. J. (org.). **Extensão rural: práticas e pesquisas para o fortalecimento da agricultura familiar.** v. 2. Guarujá, SP: Editora Científica Digital, 2021. p. 45–66. <https://doi.org/10.37885/201102246>

OLIVEIRA, R. S. de; SAMPAIO, M. V.; CARVALHO, F. J.; ALBUQUERQUE, C. J. B.; KORNDORFER, G. H. Silicon amendments reduce aphid numbers and improve yield of aphid-resistant and susceptible wheat cultivars in a dose-dependent manner. **Crop Protection**, v. 172, p. 106296, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2023.106296>

PAUNGFOOLONHIENNE, C. Y. K.; YEOH, N. R.; KASINADHUNI, T. G.; LONHIENNE, T. G. A.; ROBINSON, N.; HUGENHOLTZ, P.; RAGAN, M. A.; SCHMIDT, S. Nitrogen fertilizer dose alters fungal communities in sugarcane soil and rhizosphere. **Scientific Reports**, v. 5, p. 8678, 2015. <https://doi.org/10.1038/srep08678>

PERDOMO, D. N., RODRIGUES, A. A. R., SAMPAIO, M. V., CELOTTO, F. J., MENDES, S. M., PEREIRA, H. S., LIMA, D. T. AND REZENDE, G. F. Increase in foliar silicon content reduces defoliation by *Spodoptera frugiperda* (Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) in maize. **Bragantia**, v. 81, e2522, 2022. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.20210147>

PEREIRA, D. G. C.; SANTANA, I. A; MEGDA, M. M.; MEGDA, M. X. V. Cloreto de potássio: impactos na atividade microbiana do solo e na mineralização de nitrogênio. **Ciência Rural, Santa Maria**, v. 49, n. 5, e20180556, 2019.

PREZOTTI, L. C.; MARTINS, A. G. Efeito da escória de siderurgia na química do solo e na absorção de nutrientes e metais pesados pela cana-de-açúcar. **Revista Ceres**, v. 59, n.4, p. 530-536, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0034-737X2012000400014>

RAJPUT, V. D.; MINKINA, T.; FEIZI, M.; KUMARI, A.; KHAN, M.; MANDZHIEVA, S.; SUSHKOVA, S.; EL-RAMADY, H.; VERMA, K. K.; SINGH, A.; VAN HULLEBUSCH, E. D.; SINGH, R. K.; JATAV, H. S.; CHOUDHARY, R. Effects of silicon and silicon-based nanoparticles on rhizosphere microbiome, plant stress and growth. **Biology**, v. 10, n. 8, p. 791, 2021. <https://doi.org/10.3390/biology10080791>

RAMACHANDRAN, R.; KHAN, Z. R. Mechanisms of resistance in wild rice *Oryza brachyantha* to rice leaf folder *Cnaphalocrocis medinalis* (Guenée) (Lepidoptera: Pyralidae). **Journal of Chemical Ecology**, v. 17, p. 41–65, 1991. <https://doi.org/10.1007/BF00994421>

RAMÍREZ, J. M.; CRAINE, J. M.; FIERER, N. Climate and soil properties explain soil microbial community structure across biomes. **Global Change Biology**, v. 18, p. 1918–1927, 2012. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2012.02639.x>

RAMOS, L. A.; NOLLA, A.; KORNDORFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; CAMARGO, M. S. Reatividade de corretivos da acidez e condicionadores de solo em colunas de lixiviação. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, Viçosa, v. 30, p. 849-857, 2006. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832006000500011>

RAMOS, C. G.; QUEROL, X.; DALMORA, A. C.; DE JESUS PIRES, K. C.; SCHNEIDER, I. A. H.; SILVA, L. F. O.; KAUTZMANN, R. M. Evaluation of the potential of volcanic rock waste from southern Brazil as a natural soil fertilizer. **Journal of Cleaner Production**, v. 142, p. 2700–2706, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.11.006>

RANGARAJ, S., GOPALU, K., RATHINAM, Y., PERIASAMY, P., VENKATACHALAM, R., NARAYANASAMY K. Effect of silica nanoparticles on microbial biomass and silica availability in maize rhizosphere. **Biotechnology and Applied Biochemistry**, v. 61, p. 668–675, 2014. <https://doi.org/10.1002/bab.1191>

RASOOLIZADEH, A.; LABBÉ, C.; SONAH, H.; DESHMUKH, R. K.; BELZILE, F.; MENZIES, J. G.; BÉLANGER, R. R. Silicon protects soybean plants against *Phytophthora sojae* by interfering with effector–receptor expression. **BMC Plant Biology**, v. 18, p. 97, 2018. <https://doi.org/10.1186/s12870-018-1312-7>

REBONATTO, A.; SALVADORI, J. R.; LAU, D. Temporal changes in cereal aphids (Hemiptera: Aphididae) populations in Northern Rio Grande do Sul, Brazil. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 7, n. 10, p. 71-78, 2015. <https://doi.org/10.5539/jas.v7n10p71>

REYNOLDS, O. L.; KEEPING, M. G.; MEYER, J. H. Silicon-augmented resistance of plants to herbivorous insects: a review. **Annals of Applied Biology**, v. 155, p. 171-186, 2009. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2009.00348.x>

REYNOLDS, O. L., PADULA, M. P., ZENG, R., AND GURR, G. M. Silicon: potential to promote direct and indirect effects on plant defense against arthropod pests in agriculture. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, p. 744, 2016. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00744>

RIBEIRO, M. C. **Efeito residual da aplicação de pó de rocha silicática como fonte de silício e remineralizador de solos.** 2023. 86 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Agronômica) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Ilha Solteira, 2023.

RODRIGHERO, M. B.; BARTH, G.; CAIRES, E. F. Aplicação superficial de calcário com diferentes teores de magnésio e granulometrias em sistema plantio direto. **Revista Brasileira Ciências do Solo**, v. 39, p.1723-1736, 2015. <https://doi.org/10.1590/01000683rbcs20150036>

RODRIGUES, J. H. V.; ANGELINI, M. R.; OLIVEIRA, R. S. de; QUEIROZ, A. A. Efeito de doses de silício na resistência do feijoeiro a *Spodoptera frugiperda*. **Revista de Agricultura Neotropical**, v.5, 4 ed., p. 13–19, 2018. <https://doi.org/10.32404/rean.v5i4.2496>

RUPPENTHAL, V. *et al.* Silicon does not alleviate the adverse effects of drought stress in soybean plants. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 37, n. 6, p. 3941-3954, 2016. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2016v37n6p3941>

SALVADORI, J.R.; TONET, G.E.L. **Manejo integrado dos pulgões do trigo**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2001. 52 p. (Embrapa Trigo. Documentos, 34).

SAMPAIO, M. V.; FRANCO, G. M.; LIMA, D. T., OLIVEIRA, A. R. C; SILVA, P. F.; SANTOS, A. L. Z; RESENDE, A. V. M.; SANTOS, F. A. A.; GIRÃO, L. V. C. Plant silicon amendment does not reduce population growth of *Schizaphis graminum* or host quality for the parasitoid *Lysiphlebus testaceipes*. **Neotropical Entomology**, vol. 49, p.745-757, 2020. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2016v37n6p3941>

SANTO, B. Influência do silício na tolerância ao ataque de brusone em arroz. **Fitopatologia Brasileira**, v. 28, p. 45-52, 2003.

SARTO, M. V. M.; RAMPIM, L.; LANA, M. do C.; ROSSET, J. S.; ECCO, M.; WOBETO, J. R. Atributos químicos do solo e desenvolvimento da cultura do trigo em função da adubação silicatada. **Agrarian**, v. 7, n. 25, p. 390-400, 2014.

SÁVIO, F. L.; SILVA, G. C.; TEIXEIRA, I. R.; BORÉM, A. Biomass production and silicon content in forages under different sources of silicate. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 32, n. 1, p. 103-110, 2011. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2011v32n1p103>

SCHEEREN, P. L.; CASTRO, R. L. CAIERÃO, E. Botânica, morfologia e descrição fenotípica. In: BORÉM, A.; SCHEEREN, P. L. **Trigo: do plantio à colheita**. Viçosa: Editora UFV, 2015. 35-55p.

SCAVO, A.; FONTANAZZA, S.; RESTUCCIA, A.; PESCE, G.; ABBATE, C.; MAUROMICALE, G. The role of cover crops in improving soil fertility and plant nutritional status in temperate climates. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 42, n. 93, 2022. <https://doi.org/10.1007/s13593-022-00825-0>

SCHILMILLER, Anthony L.; GILGALLON, Karin; GHOSH, Banibrata; JONES, A. Daniel; LAST, Robert L. Acylsugar acylhydrolases: carboxylesterase-catalyzed hydrolysis of acylsugars in tomato trichomes. **Plant Physiology**, v. 170, n. 3, p. 1331-1344, 2016. <https://doi.org/10.1104/pp.15.01348>

SCHUMAN, M. C.; BALDWIN, I. T. The layers of plant responses to insect herbivores. **Annual Review of Entomology**, v. 61, p. 373–394, 2016. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-010715-023851>

SEDIYAMA, T.; PEREIRA, M.G.; SEDIYAMA, C.S.; GOMES, J.L.L. **A cultura da soja**. Viçosa: UFV, v.2, 1985.

SEDIYAMA, T.; TEIXEIRA, R. C.; BARROS, H. B. **Origem, evolução e importância econômica.** In: SEDIYAMA, T. (Ed.). *Tecnologias de produção e usos da soja*. Londrina: Mecenas, p. 1-5, 2009.

SERRA-WITTLING, C.; HOUOT, S.; ALABOUVETTE, C. Increased soil suppressiveness to *Fusarium* wilt of flax after addition of municipal solid waste compost. ***Soil Biology and Biochemistry***, v. 28, p. 1207–1214, 1996. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(96\)00126-5](https://doi.org/10.1016/0038-0717(96)00126-5)

SILVA, A. Efeitos da aplicação de silicatos em cana-de-açúcar. ***Revista Brasileira de Ciência do Solo***, v. 27, p. 123-130, 2003.

SOARES FILHO, C. V. Recomendações de espécies e variedades de *Brachiaria* para diferentes condições. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 11., 1994, Piracicaba. **Anais** [...] Piracicaba: FEALQ, 1994.

SONG, X.P., VERMA, K. K., TIAN, D. D. Exploration of silicon functions to integrate with biotic stress tolerance and crop improvement. ***Biology Research***. v. 54, p. 19, 2021. <https://doi.org/10.1186/s40659-021-00344-4>

SOUZA, A. C. G.; SOUZA, B. H. S.; MARCHIORI, P. E. R.; BÔAS, L. V. V. Characterization of priming, induced resistance, and tolerance to *Spodoptera frugiperda* by silicon fertilization in maize genotypes. ***Journal of Pest Science***, v. 95, p. 1387–1400, 2022. <https://doi.org/10.1007/s10340-021-01468-y>

SOUZA, J. V.; 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***, v. 26, n. 4, p. 502-513, 2010.

SOUZA JÚNIOR, J. P.; PRADO, R. M.; DINIZ, J. F.; GUEDES, V. H. F.; SILVA, J. L. F.; ROQUE, C. G.; ALVAREZ, R. C. F. Foliar application of innovative sources of silicon in soybean, cotton, and maize. ***Journal of Soil Science and Plant Nutrition***, v. 22, p. 3200–3211, 2022. <https://doi.org/10.1007/s42729-022-00878-w>

TAKAHASHI, E.; MA, J.F.; MIYAKE, Y. The possibility of silicon as an essential element for higher plants. ***Comments in Agriculture and Food Chemistry***, v.2, p.99-122, 1990.

TAVARES, L. C.; FONSECA, D. A. R.; RUFINO, C. A.; OLIVEIRA, S.; BRUNES, A. P.; VILLELA, F. A. Adubação silicatada em trigo: qualidade e rendimento de sementes. La Plata: ***Revista de la Facultad de Agronomía***. Vol 113, n.1, 2014, p.94-99

TEODORO, P. E.; RIBEIRO, L. P.; CORRÊA, C. C. G.; TORRES, F. E. Desempenho de híbridos de milho sob aplicação foliar de silício no cerrado sul-mato-grossense. ***Bioscience Journal***, v. 30, n. 3, p. 224-231, 2014.

TEODORO, P. E.; RIBEIRO, L. P.; OLIVEIRA, E. P.; CORRÊA, C. C. G.; TORRES, F. E. Acúmulo de massa seca na soja em resposta à aplicação foliar de silício sob condições de déficit hídrico. ***Bioscience Journal***, Uberlândia, v. 31, n. 1, p. 161–170, jan./fev. 2015. <https://doi.org/10.14393/BJ-v31n1a2015-22283>

TUBANA, B. S.; BROWN, P. H.; KORNDÖRFER, G. H.; SANTOS, A. C.; SILVA, A. P. S.; LIMA, M. A. S. Silicon fertilization and its effects on maize and wheat under drought stress. **Field Crops Research**, v. 196, p. 13–22, 2016.

VAN DER BOM, F.; NUNES, I.; RAYMOND, N. S.; HANSEN, V.; BONNICHSEN, L.; MAGID, J.; NYBROE, O.; JENSEN, L. S. Long-term fertilization form, level and duration affect the diversity, structure and functioning of soil microbial communities in the field. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 122, p. 91–103, 2018.
<https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.04.003>

VERMA, K. K.; SONG, X-P; LIANG, Q.; HUANG, H.-R.; BHATT, R.; XU, L.; CHEN, G.-L.; LI, Y.-R. Unlocking the role of silicon against biotic stress in plants. **Frontiers in Plant Science**. v. 15, 1430804, 2024. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1430804>

VINHAL-FREITAS, Isabel Cristina. **Matéria orgânica, fluxo de CO₂ e índice Q10 em dois latossolos com texturas contrastantes sob diferentes usos no cerrado**.105 f. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2013.

WANG, Q.; SONG, R.; FAN, S.; COLEMAN, J. J.; XU, X.; HU, X. Diversity of *Fusarium* community assembly shapes mycotoxin accumulation of diseased wheat heads. **Molecular Ecology**, v. 32, p. 2504–2518, 2022. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1430804>

YE, M.; SONG, Y.; LONG, J.; WANG, R.; BAERSON, S. R.; PAN, Z.; ZHU-SALZMAN, K.; XIE, J.; CAI, K.; LUO, S. Priming of jasmonate-mediated antiherbivore defense responses in rice by silicon. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 110, p. 3631–3639, 2013.
<https://doi.org/10.1073/pnas.1305848110>

ZHANG, L.; GUAN, Y. Consistent responses of soil bacterial communities to bioavailable silicon deficiency in croplands. **Geoderma**, v. 408, p. 115587, 15 fev. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115587>

ZELLNER, W., TUBAÑA, B., RODRIGUES, F. A., DATNOFF, L. A. Silicon's Role in Plant Stress Reduction and Why This Element Is Not Used Routinely for Managing Plant Health. **Plant Disease**, v. 105, n. 8, p. 2033-2049, 2021. <https://doi.org/10.1094/PDIS-08-20-1797-FE>

APÊNDICE A

APÊNDICE A – Quadro de análise de variância do primeiro cultivo de verão 2022/2023, da 2^a safra de 2023, do cultivo de inverno 2023 e segundo cultivo de verão 2023/2024, para os efeitos de aplicação de silicato e da cultura para os teores de Si no solo (mg kg^{-1}).

1º Cultivo de verão 2022/2023 (Semeadura 23 DAA)					
Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Bloco	3	38,58	2	3,577	0,01868 *
Aplicação de silicato	2	379,23	3	52,745	<0,0001 **
Cultura	1	2,11	4	0,587	0,4466 ns
Aplicação de silicato × Cultura	2	5,38	5	0,749	0,4771 ns
Resíduo	63	226,48	6		
Total	71	651,77	1		
CV (%)	18,58				
2ª Safra de 2023 (Semeadura 184 DAA)					
Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fc	Pr(>Fc)
Aplicação de silicato	8	319,77	39,971	7,2549	0,0000011 ***
Bloco	3	86,31	28,770	5,2219	0,0028622 **
Resíduo	60	330,57	5,509		
Total	71	736,64			
CV (%)	20,93				
Cultivo de Inverno 2023 (Semeadura 321 DAA)					
Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	Pr(>Fc)
Aplicação de silicato	17	232,69	13,688	2,307	0,0111 *
Bloco	3	125,70	41,900	7,061	0,000465 ***
Resíduo	51	302,65	5,934	—	—
Total	71	661,04	—	—	—
CV (%)	20,82				
2º Cultivo de verão 2023/2024 (Semeadura 391 DAA)					
Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Aplicação de silicato	17	93,977	5,5280	3,3157	0,000472***
Bloco	3	9,076	3,0253	1,8145	0,156238 ns
Resíduo	51	85,029	1,6672	—	—
Total	71	188,082	—	—	—
CV (%)	13,23				

ns – Não significativo, * - significativo ao nível de 5%, ** - significativo ao nível de 1%, *** - significativo ao nível de 0,1%.

APÊNDICE B

APENDICE B – Quadro de análise de variância para os teores de Si no solo (mg kg^{-1}) em função da época de coleta de solo e o sistema de sucessão.

Fonte de variação	GL	SQ	QM	F	p-valor
Sistema de sucessão	17	811,59	47,740	11,2269	< 2,2e-16***
Época de coleta	3	172,96	57,654	13,5582	4,218e-08***
Época de coleta: bloco	12	259,66	21,639	5,0887	2,056e-07***
Sistema de sucessão: Época de coleta	51	298,82	5,859	1,3779	0,06248'
Resíduo	204	867,47	4,252	—	—

ns – Não significativo, * - significativo ao nível de 5%, ** - significativo ao nível de 1%, *** - significativo ao nível de 0,1%; ' – tendência ($p < 0,1$).

APÊNDICE C

APÊNDICE C – Quadro de Análise de variância para teores de Si foliar na cultura da soja durante o primeiro cultivo de verão de 2022/2023 e o segundo cultivo de verão 2023/2024.

SOJA					
1º Cultivo de Verão 2022/2023 (Semeadura 23 DAA)					
Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Aplicação de silicato	2	0,00566	0,002832	0,24038	0,78740 ^{ns}
Bloco	3	0,03576	0,011920	1,01180	0,39704 ^{ns}
Resíduo	42	0,49482	0,011781		
Total	47	0,53624			
CV (%)		26,60			
2º Cultivo de Verão 2023/2024 (Semeadura 391 DAA)					
Fatores / Fontes de variação	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Bloco	3	0,00605	0,00202	0,323	0,8087 ^{ns}
Aplicação de silicato	2	0,05614	0,02807	4,49	0,0188*
2ª Safra de 2023	1	0,11929	0,11929	19,10	0,0001***
Cultivo de inverno 2023	1	0,00228	0,00228	0,365	0,5498 ^{ns}
Aplicação de silicato × 2ª Safra de 2023	2	0,01712	0,00856	1,37	0,2681 ^{ns}
Aplicação de silicato × Cultivo de inverno 2023	2	0,04005	0,02003	3,21	0,0534'
Safrinha × Cultivo de inverno 2023	1	0,00881	0,00881	1,41	0,2434 ^{ns}
Corr. de solo × 2ª Safra 2023× Cult. inverno	2	0,00768	0,00384	0,615	0,5467 ^{ns}
Resíduo	33	0,20611	0,00625	–	–
Total	44	0,46353	–	–	–
CV (%)		6,45			

ns – Não significativo, * - significativo ao nível de 5%, ** - significativo ao nível de 1%, *** - significativo ao nível de 0,1%; ' – tendência ($p < 0,1$).

APÊNDICE D

APÊNDICE D – Quadro de Análise de variância para teores de Si foliar na cultura do milho durante o primeiro cultivo de verão de 2022/2023, segunda safra de 2023 e segundo cultivo de verão 2023/2024.

MILHO					
1º Cultivo de Verão 2022/2023 (Semeadura 23 DAA)					
Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Aplicação de silicato	2	0,31633	0,158167	2,20178	0,13951 ^{ns}
Bloco	3	0,14291	0,047636	0,66313	0,58544 ^{ns}
Resíduo	18	1,29305	0,071836		
Total	23	1,75230			
CV (%)	17,86				
2ª Safra 2023 (Semeadura 184 DAA)					
Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Aplicação de silicato	2	0,12564	0,062818	6,3269	0,00830 **
Bloco	3	0,03235	0,010784	1,0862	0,38018 ^{ns}
Resíduo	18	0,17872	0,009929		
Total	23	0,33671			
CV (%)	13,54				
2º Cultivo de Verão 2023/2024 (Semeadura 391 DAA)					
Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Bloco	3	0,04009	0,01336	0,375	0,7725 ^{ns}
Aplicação de silicato	2	0,15065	0,07533	2,11	0,1556 ^{ns}
Cultura de inverno	1	0,01161	0,01161	0,326	0,5767 ^{ns}
Aplicação de silicato × Cultura de inverno	2	0,09147	0,04573	1,28	0,3062 ^{ns}
Resíduo	15	0,53503	0,03567	–	–
Total	23	0,82885	–	–	–
CV (%)	10,45				

ns – Não significativo, * - significativo ao nível de 5%, ** - significativo ao nível de 1%, *** - significativo ao nível de 0,1%.

APÊNDICE E

APÊNDICE E – Quadro de Análise de variância para teores de Si foliar na cultura do trigo durante a segunda safra de 2023.

TRIGO					
2ª Safra 2023 (Semeadura 184 DAA)					
Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Bloco	3	3,4915	1,1638	6,2889	0,00138 **
Aplicação de silicato	2	4,8431	2,4216	13,0852	0,00004 ***
1º Cultivo de verão 2022/2023	1	0,5898	0,5898	3,1870	0,08201 ^{ns}
Apl. de silicato × 1º Cult. verão 22/23	2	0,0638	0,0319	0,1723	0,84234 ^{ns}
Resíduo	39	7,2173	0,1851		
Total	47	16,2053			
CV (%)	15,71				

ns – Não significativo, * - significativo ao nível de 5%, ** - significativo ao nível de 1%, *** - significativo ao nível de 0,1%.

APÊNDICE F

APÊNDICE F – Quadro de análise de variância para altura de plantas (cm) de soja durante o primeiro cultivo de verão 2022/2023 e segundo cultivo de verão 2023/2024, em função do aplicação de silicato e culturas antecessoras.

Altura de plantas (cm)					
1º Cultivo de verão 2022/2023 (Semeadura 23 DAA)					
Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Aplicação de silicato	2	204,40	102,20	2,1701	0,1156 ^{ns}
Bloco	3	1526,30	508,76	10,8035	0,0000**
Resíduo	378	17800,80	47,09		
Total	383	19531,50			
CV (%)		10,52			
2º Cultivo de verão 2023/2024 (Semeadura 391 DAA)					
Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Bloco	31	2754,75	88,86	1,3677	0,0952 ^{ns}
Aplicação de silicato	2	1873,32	936,66	14,4164	0,0000**
Segunda safra de 2023	1	20,17	20,17	0,3104	0,5778 ^{ns}
Cultivo de inverno 2023	1	102,09	102,09	1,5714	0,2108 ^{ns}
Aplicação de silicato * Segunda safra de 2023	2	141,97	70,99	1,0926	0,3364 ^{ns}
Aplicação de silicato * Cultivo de inverno 2023	2	35,55	17,77	0,2736	0,7608 ^{ns}
Segunda safra de 2023* Cultivo de inverno 2023	1	110,51	110,51	1,7009	0,1930 ^{ns}
Corr. solo * Cul. seg. safra 2023* Cult. de inverno	2	323,04	161,52	2,4860	0,0846 ^{ns}
Resíduo	369	23974,56	64,97		
Total	380	29335,96			
CV (%)		9,18			

ns – Não significativo, * - significativo ao nível de 5%, ** - significativo ao nível de 1%, *** - significativo ao nível de 0,1%.

APÊNDICE G

APÊNDICE G – Quadro de análise de variância para altura de inserção da primeira vagem (cm) de soja durante o primeiro cultivo de verão 2022/2023 e segundo cultivo de verão 2023/2024, em função da aplicação de silicato e culturas antecessoras.

Altura de inserção da primeira vagem (cm)					
1º Cultivo de verão 2022/2023 (Semeadura 23 DAA)					
Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Aplicação de silicato	2	52,80	26,398	4,5304	0,0114 *
Bloco	3	51,84	17,280	2,9656	0,0320 *
Resíduo	378	2202,59	5,827		
Total	383	2307,23			
CV (%)		27,96			
2º Cultivo de verão 2023/2024 (Semeadura 391 DAA)					
Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Bloco	31	118,97	3,84	0,0659	1,0000 ns
Aplicação de silicato	2	221,41	110,71	1,9017	0,1508 ns
Segunda safra de 2023	1	30,94	30,94	0,5315	0,4664 ns
Cultivo de inverno 2023	1	59,38	59,38	1,0200	0,3132 ns
Aplicação de silicato * Segunda safra de 2023	2	52,26	26,13	0,4488	0,6387 ns
Aplicação de silicato * Cultivo de inverno 2023	2	141,82	70,91	1,2181	0,2970 ns
Segunda safra de 2023* Cultivo de inverno 2023	1	39,40	39,40	0,6768	0,4112 ns
Corr. solo * Cul. seg. safra 2023* Cult. de inverno	2	99,89	49,95	0,8579	0,4249 ns
Resíduo	369	21481,32	58,21		
Total	380	22245,37			
CV (%)		71,10			

ns – Não significativo, * - significativo ao nível de 5%, ** - significativo ao nível de 1%, *** - significativo ao nível de 0,1%.

APÊNDICE H

APÊNDICE H – Quadro de análise de variância para número de vagens por plantas de soja durante o primeiro cultivo de verão 2022/2023 e segundo cultivo de verão 2023/2024, em função da aplicação de silicato e culturas antecessoras.

Número de vagens por planta					
1º Cultivo de verão 2022/2023 (Semeadura 23 DAA)					
Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Aplicação de silicato	2	994	497,08	0,8189	0,4417 ^{ns}
Bloco	3	6455	2151,70	3,5447	0,0148*
Resíduo	378	229455	607,02		
Total	383	236904			
CV (%)	34,71				
2º Cultivo de verão 2023/2024 (Semeadura 391 DAA)					
Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Bloco	31	4612,81	148,80	0,0643	1,0000 ^{ns}
Aplicação de silicato	2	7695,66	3847,83	1,6627	0,1910 ^{ns}
Segunda safra de 2023	1	1700,17	1700,17	0,7347	0,3919 ^{ns}
Cultivo de inverno 2023	1	13,50	13,50	0,0058	0,9392 ^{ns}
Aplicação de silicato * Segunda safra de 2023	2	5606,26	2803,13	1,2113	0,2990 ^{ns}
Aplicação de silicato * Cultivo de inverno 2023	2	15257,67	7628,84	3,2965	0,0381*
Segunda safra de 2023* Cultivo de inverno 2023	1	2035,04	2035,04	0,8794	0,3490 ^{ns}
Corr. solo * Cul. seg. safra 2023* Cult. de inverno	2	11031,79	5515,89	2,3835	0,0936 ^{ns}
Resíduo	369	853949,06	2314,23		
Total	380	901901,96			
CV (%)	43,73				

ns – Não significativo, * - significativo ao nível de 5%, ** - significativo ao nível de 1%, *** - significativo ao nível de 0,1%.

APÊNDICE I

APÊNDICE I – Quadro de análise de variância para rendimento de grãos por plantas de soja durante o primeiro cultivo de verão 2022/2023 e segundo cultivo de verão 2023/2024, em função da aplicação de silicato e culturas antecessoras.

Rendimento de grãos por planta de soja					
1º Cultivo de verão 2022/2023 (Semeadura 23 DAA)					
Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Aplicação de silicato	2	144,10	72,04	1,5654	0,2104 ns
Bloco	3	427,20	142,41	3,0945	0,0270 *
Resíduo	378	17395,70	46,02		
Total	383	17967,10			
CV (%)		36,12			
2º Cultivo de verão 2023/2024 (Semeadura 391 DAA)					
Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Bloco	31	66,56	2,15	0,0088	1,0000 ns
Aplicação de silicato	2	514,08	257,04	1,0490	0,3513 ns
Segunda safra de 2023	1	1127,51	1127,51	4,6014	0,0326 *
Cultivo de inverno 2023	1	8,76	8,76	0,0358	0,8501 ns
Aplicação de silicato * Segunda safra de 2023	2	399,52	199,76	0,8152	0,4433 ns
Aplicação de silicato * Cultivo de inverno 2023	2	628,08	314,04	1,2816	0,2788 ns
Segunda safra de 2023* Cultivo de inverno 2023	1	96,00	96,00	0,3918	0,5318 ns
Corr. solo * Cul. seg. safra 2023* Cult. de inverno	2	1083,56	541,78	2,2110	0,1110 ns
Resíduo	369	90417,88	245,03		
Total	380	94341,96			
CV (%)		55,27			

ns – Não significativo, * - significativo ao nível de 5%, ** - significativo ao nível de 1%, *** - significativo ao nível de 0,1%.

APÊNDICE J

APÊNDICE J – Quadro de análise de variância para massa de 100 grãos (M100 - g) de soja durante o primeiro cultivo de verão 2022/2023 e segundo cultivo de verão 2023/2024, em função da aplicação de silicato e culturas antecessoras.

Massa de 100 grãos (M100 - g)					
1º Cultivo de verão 2022/2023 (Semeadura 23 DAA)					
Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Aplicação de silicato	2	0,305	0,1525	0,1373	0,8721 ns
Bloco	3	3,074	1,0247	0,9225	0,4383 ns
Resíduo	42	46,653	1,1108		
Total	47	50,032			
CV (%)		7,98			
2º Cultivo de verão 2023/2024 (Semeadura 391 DAA)					
Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Bloco	3	0,7573	0,2524	0,3280	0,8051 ns
Aplicação de silicato	2	3,0009	1,5005	1,9498	0,1583 ns
Segunda safra de 2023	1	0,1081	0,1081	0,1404	0,7102 ns
Cultivo de inverno 2023	1	0,8320	0,8320	1,0811	0,3060 ns
Aplicação de silicato * Segunda safra de 2023	2	1,6968	0,8484	1,1025	0,3440 ns
Aplicação de silicato * Cultivo de inverno 2023	2	1,4710	0,7355	0,9558	0,3949 ns
Segunda safra de 2023* Cultivo de inverno 2023	1	0,3139	0,3139	0,4080	0,5274 ns
Corr. solo * Cul. seg. safra 2023* Cult. de inverno	2	3,5141	1,7571	2,2832	0,1178 ns
Resíduo	33	25,3948	0,7695		
Total	44	37,0889			
CV (%)		7,37			

ns – Não significativo, * - significativo ao nível de 5%, ** - significativo ao nível de 1%, *** - significativo ao nível de 0,1%.

APÊNDICE K

APÊNDICE K – Quadro de análise de variância para a produtividade de grãos (kg.ha^{-1}) de soja durante o primeiro cultivo de verão 2022/2023 e segundo cultivo de verão 2023/2024, em função da aplicação de silicato e culturas antecessoras.

Produtividade de grãos (kg.ha^{-1})					
1º Cultivo de verão 2022/2023 (Semeadura 23 DAA)					
Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Aplicação de silicato	2	69,067	34,533	0,4166	0,6620 ^{ns}
Bloco	3	460,606	153,535	1,8520	0,1525 ^{ns}
Resíduo	42	3481,975	82,904		
Total	47	4011,648			
CV (%)		19,48			
2º Cultivo de verão 2023/2024 (Semeadura 391 DAA)					
Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Bloco	3	302,440	100,813	0,2555	0,8568 ^{ns}
Aplicação de silicato	2	776,067	388,033	0,9835	0,3847 ^{ns}
Segunda safra de 2023	1	383,419	383,419	0,9718	0,3314 ^{ns}
Cultivo de inverno 2023	1	33,602	33,602	0,0852	0,7722 ^{ns}
Aplicação de silicato * Segunda safra de 2023	2	338,150	169,075	0,4285	0,6550 ^{ns}
Aplicação de silicato * Cultivo de inverno 2023	2	772,217	386,108	0,9786	0,3865 ^{ns}
Segunda safra de 2023* Cultivo de inverno 2023	1	321,769	321,769	0,8155	0,3730 ^{ns}
Corr. solo * Cul. seg. safra 2023* Cult. de inverno	2	311,550	155,775	0,3948	0,6769 ^{ns}
Resíduo	33	13.020,235	394,553		
Total	44	16.259,448			
CV (%)		28,44			

ns – Não significativo, * - significativo ao nível de 5%, ** - significativo ao nível de 1%, *** - significativo ao nível de 0,1%.

APÊNDICE L

APÊNDICE L – Quadro de análise de variância para altura de plantas (cm) de milho durante o primeiro cultivo de verão 2022/2023, segunda safra de 2023 e segundo cultivo de verão 2023/2024, em função da aplicação de silicato e culturas antecessoras.

Altura de plantas (cm)					
1º Cultivo de verão 2022/2023 (Semeadura 23 DAA)					
Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Aplicação de silicato	2	847	423,54	1,59	0,2072 ^{ns}
Bloco	3	8777	2925,74	10,97	0,0000**
Resíduo	186	49625	266,80		
Total	191	59249			
CV (%)		7,15			
2ª Safra de 2023 (Semeadura 184 DAA)					
Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Aplicação de silicato	2	327,5	163,77	1,15	0,3391 ^{ns}
Bloco	3	753,2	251,07	1,77	0,1914 ^{ns}
Resíduo	17	2414,0	142,00		
Total	22	3494,8			
CV (%)		11,43			
2º Cultivo de verão 2023/2024 (Semeadura 391 DAA)					
Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Bloco	3	32505	10835,0	0,52	0,6657 ^{ns}
Aplicação de silicato	2	52884	26442,0	1,28	0,2802 ^{ns}
1º Cultivo de verão 2022/2023	1	14119	14119,0	0,68	0,4093 ^{ns}
Aplicação de silicato × 1º Cultivo de verão 22/23	2	38402	19201,0	0,93	0,3963 ^{ns}
Resíduo	183	3777107	20646,5		
Total	191	3915017			
CV (%)		56,60			

ns – Não significativo, * - significativo ao nível de 5%, ** - significativo ao nível de 1%, *** - significativo ao nível de 0,1%.

APÊNDICE M

APÊNDICE M – Quadro de análise de variância para diâmetro de espiga (DE - cm) de milho durante o primeiro cultivo de verão 2022/2023, segunda safra de 2023 e segundo cultivo de verão 2023/2024, em função da aplicação de silicato e culturas antecessoras.

Diâmetro de espiga (DE - cm),					
1º Cultivo de verão 2022/2023 (Semeadura 23 DAA)					
Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Aplicação de silicato	2	1,204	0,6022	2,2135	0,1122 ^{ns}
Bloco	3	0,115	0,0384	0,1411	0,9353 ^{ns}
Resíduo	186	50,607	0,2721		
Total	191	51,926			
CV (%)		12,09			
2ª Safra de 2023 (Semeadura 184 DAA)					
Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Aplicação de silicato	2	0,1707	0,0854	0,3221	0,7289 ^{ns}
Bloco	3	1,1138	0,3713	1,4010	0,2768 ^{ns}
Resíduo	17	4,5052	0,2650		
Total	22	5,7898			
CV (%)		47,27			
2º Cultivo de verão 2023/2024 (Semeadura 391 DAA)					
Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Bloco	3	0,159	0,053	0,1848	0,9067 ^{ns}
Aplicação de silicato	2	0,062	0,031	0,1082	0,8975 ^{ns}
1º Cultivo de verão 2022/2023	1	0,076	0,076	0,2633	0,6085 ^{ns}
Aplicação de silicato × 1º Cultivo de verão 2022/2023	2	0,529	0,265	0,9205	0,4002 ^{ns}
Resíduo	183	52,598	0,287		
Total	191	53,425			
CV (%)		11,22			

ns – Não significativo.

APÊNDICE N

APÊNDICE N – Quadro de análise de variância para comprimento de espiga (CE - cm) de milho durante o primeiro cultivo de verão 2022/2023, segunda safra de 2023 e segundo cultivo de verão 2023/2024, em função da aplicação de silicato e culturas antecessoras.

Comprimento de espiga (CE - cm)					
1º Cultivo de verão 2022/2023 (Semeadura 23 DAA)					
Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Aplicação de silicato	2	11,66	5,830	2,0207	0,13546 ^{ns}
Bloco	3	108,68	36,226	12,5561	0,00000***
Resíduo	186	536,63	2,885		
Total	191	656,97			
CV (%)		11,71			
2ª Safra de 2023 (Semeadura 184 DAA)					
Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Aplicação de silicato	2	4,506	2,2529	0,3386	0,71743 ^{ns}
Bloco	3	25,616	8,5387	1,2835	0,31196 ^{ns}
Resíduo	17	113,095	6,6526		
Total	22	143,217			
CV (%)		49,53			
2º Cultivo de verão 2023/2024 (Semeadura 391 DAA)					
Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Bloco	3	3,55	1,183	0,2831	0,83757 ^{ns}
Aplicação de silicato	2	6,64	3,320	0,7944	0,45342 ^{ns}
1º Cultivo de verão 2022/2023	1	1,03	1,030	0,2471	0,61970 ^{ns}
Aplicação de silicato × 1º Cult. de verão 22/23	2	2,85	1,425	0,3412	0,71141 ^{ns}
Resíduo	183	764,31	4,176		
Total	191	778,37			
CV (%)		11,83			

ns – Não significativo, * - significativo ao nível de 5%, ** - significativo ao nível de 1%, *** - significativo ao nível de 0,1%.

APÊNDICE O

APÊNDICE O – Quadro de análise de variância para número de fileiras por espiga (NFE) de milho, durante o primeiro cultivo de verão 2022/2023, segunda safra de 2023 e segundo cultivo de verão 2023/2024, em função da aplicação de silicato e culturas antecessoras.

Número de fileiras por espiga (NFE)					
1º Cultivo de verão 2022/2023 (Semeadura 23 DAA)					
Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Aplicação de silicato	2	4,04	2,0208	0,4382	0,6459 ^{ns}
Bloco	3	28,60	9,5347	2,0674	0,1060 ^{ns}
Resíduo	186	857,83	4,6120	-	-
Total	191	890,48	-	-	-
CV (%)	13,98				
2ª Safra de 2023 (Semeadura 184 DAA)					
Fator	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Aplicação de silicato	2	0,834	0,4168	0,0413	0,9596 ^{ns}
Bloco	3	40,474	13,4915	1,3380	0,2951 ^{ns}
Resíduo	17	171,426	10,0839	-	-
Total	22	212,734	-	-	-
CV (%)	57,79				
2º Cultivo de verão 2023/2024 (Semeadura 391 DAA)					
Fator	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Bloco	2	817	408,5*	1,9089	0,1512 ^{ns}
Aplicação de silicato	1	13	13	0,0628	0,8025 ^{ns}
1º Cultivo de verão 2022/2023	2	1	0,5*	0,0029	0,9971 ^{ns}
Aplicação de silicato × 1º Cultivo de verão 22/23	3	407	135,7*	0,6341	0,5939 ^{ns}
Resíduo	183	39160	213,8*	-	-
Total	191	40398	-	-	-
CV (%)	87,14				

ns – Não significativo.

APÊNDICE P

APÊNDICE P – Quadro de análise de variância para número de grãos por fileira (NGF) em espigas de milho, durante o primeiro cultivo de verão 2022/2023, segunda safra de 2023 e segundo cultivo de verão 2023/2024, em função da aplicação de silicato e culturas antecessoras.

Número de grãos por fileira (NGF)					
1º Cultivo de verão 2022/2023 (Semeadura 23 DAA)					
Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Aplicação de silicato	2	128,9	64,474	1,784	0,1708 ^{ns}
Bloco	3	237,1	79,035	2,187	0,0911 ^{ns}
Resíduo	186	6722,4	36,142	-	-
Total	191	7088,5	-	-	-
CV (%)	19,62				
2ª Safra de 2023 (Semeadura 184 DAA)					
Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Aplicação de silicato	2	1,93	0,9667	0,0468	0,9544 ^{ns}
Bloco	3	71,25	23,7488	1,1500	0,3575 ^{ns}
Resíduo	17	351,07	20,6511	-	-
Total	22	424,25	-	-	-
CV (%)	58,43				
2º Cultivo de verão 2023/2024 (Semeadura 391 DAA)					
Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Bloco	3	595,3	198,433	3,040	0,0303*
Aplicação de silicato	2	39,5	19,75	0,303	0,7391 ^{ns}
1º Cultivo de verão 2022/2023	1	31,1	31,1	0,476	0,4910 ^{ns}
Aplicação de silicato × 1º Cultivo de verão 22/23	2	27,1	13,55	0,207	0,8129 ^{ns}
Resíduo	183	11946,7	65,31	-	-
Total	191	12639,7	-	-	-
CV (%)	24,39				

ns – Não significativo, * - significativo ao nível de 5%.

APÊNDICE Q

APÊNDICE Q – Quadro de análise de variância para número de grãos por espiga (NGE) de milho, durante o primeiro cultivo de verão 2022/2023, segunda safra de 2023 e segundo cultivo de verão 2023/2024, em função da aplicação de silicato e culturas antecessoras.

Número de grãos por espiga (NGE)					
1º Cultivo de verão 2022/2023 (Semeadura 23 DAA)					
Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Aplicação de silicato	2	47898	23949	1,402	0,249 ^{ns}
Bloco	3	43785	14595	0,854	0,466 ^{ns}
Resíduo	186	3177206	17082	-	-
Total	191	3268889	-	-	-
CV (%)	27,81				
2ª Safra de 2023 (Semeadura 184 DAA)					
Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Aplicação de silicato	2	223	111,3	0,032	0,969 ^{ns}
Bloco	3	10071	3357	0,960	0,434 ^{ns}
Resíduo	17	59460	3497,7	-	-
Total	22	69754	-	-	-
CV (%)	72,0				
2º Cultivo de verão 2023/2024 (Semeadura 391 DAA)					
Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Bloco	2	31064	15532	0,809	0,447 ^{ns}
Aplicação de silicato	1	6341	6341	0,330	0,566 ^{ns}
1º Cultivo de verão 2022/2023	2	4486	2243	0,117	0,890 ^{ns}
Aplicação de silicato × 1º Cultivo de verão 22/23	3	145942	48647	2,533	0,058 ^{ns}
Resíduo	183	3514724	19219	-	-
Total	191	3702558	-	-	-
CV (%)	30,97				

ns – Não significativo.

APÊNDICE R

APÊNDICE R – Quadro de análise de variância para massa de grãos por espiga (MGE - g) de milho, durante o primeiro cultivo de verão 2022/2023, segunda safra de 2023 e segundo cultivo de verão 2023/2024, em função da aplicação de silicato e culturas antecessoras.

Massa de grãos por espiga (MGE)					
1º Cultivo de verão 2022/2023 (Semeadura 23 DAA)					
Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Aplicação de silicato	2	2312	1156,1	1,1785	0,31004 ^{ns}
Bloco	3	16144	5381,3	5,4853	0,00124**
Resíduo	186	182474	981,0		
Total	191	200930			
CV (%)	29,87				
2ª Safra de 2023 (Semeadura 184 DAA)					
Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Aplicação de silicato	2	5,615	2,8075	0,19286	0,82637 ^{ns}
Bloco	3	43,821	14,6069	1,00343	0,41533 ^{ns}
Resíduo	17	247,468	14,5569		
Total	22	296,904			
CV (%)	59,95				
2º Cultivo de verão 2023/2024 (Semeadura 391 DAA)					
Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Bloco	3	4385	3	0,96603	0,40998 ^{ns}
Aplicação de silicato	2	29	2	0,00961	0,99043 ^{ns}
1º Cultivo de verão 2022/2023	1	86	6	0,05667	0,81211 ^{ns}
Aplicação de silicato × 1º Cultivo de verão 22/23	2	1656	5	0,54707	0,57959 ^{ns}
Resíduo	183	276915	4		
Total	191	283071			
CV (%)	35,55				

ns – Não significativo, * - significativo ao nível de 5%, ** - significativo ao nível de 1%.

APÊNDICE S

APÊNDICE S – Quadro de análise de variância para massa de 100 grãos (M100 - g) de milho, durante o primeiro cultivo de verão 2022/2023, segunda safra de 2023 e segundo cultivo de verão 2023/2024, em função da aplicação de silicato e culturas antecessoras.

Massa de 100 grãos (M100)					
1º Cultivo de verão 2022/2023 (Semeadura 23 DAA)					
Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Aplicação de silicato	2	19,728	9,864	1,31	0,2937 ^{ns}
Bloco	3	131,582	43,861	5,84	0,0057**
Resíduo	18	135,289	7,516		
Total	23	286,599			
CV (%)		10,27			
2ª Safra de 2023 (Semeadura 184 DAA)					
Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Aplicação de silicato	2	407,5	203,75	0,24	0,7913 ^{ns}
Bloco	3	2630,7	876,90	1,02	0,4078 ^{ns}
Resíduo	17	14.594,8	858,51		
Total	22	17.633,0			
CV (%)		59,74			
2º Cultivo de verão 2023/2024 (Semeadura 391 DAA)					
Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Bloco	3	21,846	7,282	0,66	0,5881 ^{ns}
Aplicação de silicato	2	19,609	9,805	0,89	0,4307 ^{ns}
1º Cultivo de verão 2022/2023	1	8,564	8,564	0,78	0,3915 ^{ns}
Aplicação de silicato × 1º Cultivo de verão 22/23	2	0,151	0,076	0,01	0,9932 ^{ns}
Resíduo	15	164,986	11,0		
Total	23	215,156			
CV (%)		13,83			

ns – Não significativo, * - significativo ao nível de 5%, ** - significativo ao nível de 1%.

APÊNDICE T

APÊNDICE T – Quadro de análise de variância para produtividade (PROD – kg ha⁻¹) de grãos de milho durante o primeiro cultivo de verão 2022/2023, segunda safra de 2023 e segundo cultivo de verão 2023/2024, em função da aplicação de silicato e culturas antecessoras.

Produtividade (PROD)					
1º Cultivo de verão 2022/2023 (Semeadura 23 DAA)					
Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Aplicação de silicato	2	493202	246601	1,31	0,2937 ^{ns}
Bloco	3	3289558	1096519	5,84	0,0057**
Resíduo	18	3382223	187901		
Total	23	7164983			
CV (%)		10,27			
2ª Safra de 2023 (Semeadura 184 DAA)					
Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Aplicação de silicato	2	10187	5093,7	0,24	0,7913 ^{ns}
Bloco	3	65768	21922,6	1,02	0,4078 ^{ns}
Resíduo	17	364869	21462,9		
Total	22	440824			
CV (%)		59,74			
2º Cultivo de verão 2023/2024 (Semeadura 391 DAA)					
Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Bloco	2	50152	25076	0,06	0,9408 ^{ns}
Aplicação de silicato	1	240000	240000	0,59	0,4557 ^{ns}
1º Cultivo de verão 2022/2023	2	447119	223560	0,55	0,5903 ^{ns}
Aplicação de silicato × 1º Cultivo de verão 22/23	3	1106704	368901	0,90	0,4636 ^{ns}
Resíduo	15	6139771	409318		
Total	23	7983746			
CV (%)		14,71			

ns – Não significativo, * - significativo ao nível de 5%, ** - significativo ao nível de 1%.

APÊNDICE U

APÊNDICE U – Quadro de análise de variância para altura de inserção da primeira espiga (AIP - cm) de milho durante o primeiro cultivo de verão 2022/2023, segunda safra de 2023 e segundo cultivo de verão 2023/2024, em função da aplicação de silicato e culturas antecessoras.

Altura de inserção da primeira espiga (AIP - cm),					
1º Cultivo de verão 2022/2023 (Semeadura 23 DAA)					
Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Aplicação de silicato	2	116	58,0	0,2587	0,7723
Bloco	3	11206	3735,5	16,6766	<0,0001***
Resíduo	186	41663	224,0		
Total	191	52985			
CV (%)		13,21			
2ª Safra de 2023 (Semeadura 184 DAA)					
Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Aplicação de silicato	2	96,33	48,16	0,8450	0,4468 ^{ns}
Bloco	3	521,21	173,74	3,0481	0,0571 ^{ns}
Resíduo	17	968,99	57,00		
Total	22	1586,53			
CV (%)		12,44			
2º Cultivo de verão 2023/2024 (Semeadura 391 DAA)					
Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Bloco	3	3147	1049	6,8272	0,0002***
Aplicação de silicato	2	2329	1165	7,5804	0,0007***
1º Cultivo de verão 2022/2023	1	438	438	2,8508	0,0930 ^{ns}
Aplicação de silicato × 1º Cult. de verão 22/23	2	402	201	1,3083	0,2728 ^{ns}
Resíduo	183	28114	154		
Total	191	34430			
CV (%)		8,73			

ns – Não significativo, * - significativo ao nível de 5%, ** - significativo ao nível de 1%, *** - significativo ao nível de 0,1%.

APÊNDICE W

APÊNDICE W – Quadro de análise de variância para altura de plantas (ALT - cm), número de espiguetas por espiga (NEE), número de grãos por espigueta (NGE), número de grãos por espiga (NGRE), massa de 100 grãos (M100 - g), peso hectolitro (PH – kg hL⁻¹) e produtividade (PROD – kg ha⁻¹) do trigo durante a segunda safra de 2023 (Semeadura 184 DAA) em resposta à aplicação de Si e equilíbrio da relação Ca/Mg e ao cultivo anterior de verão 2022/2023 (Semeadura 23 DAA).

Altura de plantas (ALT - cm)					
Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Bloco	3	6285,4	—	40,466	0,000000***
Aplicação de silicato	2	268,1	—	2,589	0,076447ns
1º Cultivo de verão 2022/2023	1	2315,8	—	44,727	0,000000***
Aplicação de silicato × 1º Cult. de verão 22/23	2	152,8	—	1,476	0,229925ns
Resíduo	375	19415,7	—		
Total	383	28437,8	—		
CV (%)		8,22			
Número de espiguetas por espiga (NEE)					
Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Bloco	3	40,78	—	6,0056	0,000527***
Aplicação de silicato	2	8,60	—	1,8996	0,151068ns
1º Cultivo de verão 2022/2023	1	12,40	—	5,4778	0,019783*
Aplicação de silicato × 1º Cult. de verão 22/23	2	7,33	—	1,6188	0,199509ns
Resíduo	375	848,77	—		
Total	383	917,87	—		
CV (%)		9,30			
Número de grãos por espigueta (NGE)					
Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Bloco	3	1,150	—	2,7396	0,04319*
Aplicação de silicato	2	0,131	—	0,4665	0,62757 ns
1º Cultivo de verão 2022/2023	1	0,337	—	2,4092	0,12147 ns
Aplicação de silicato × 1º Cult. de verão 22/23	2	1,307	—	4,6705	0,00992**
Resíduo	375	52,460	—		
Total	383	55,384	—		
CV (%)		15,53			
Número de grãos por espiga (NGRE)					
Fonte	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Bloco	3	246,7	82,23	1,6341	0,18102ns
Aplicação de silicato	2	67,1	33,55	0,6667	0,51400ns
1º Cultivo de verão 2022/2023	1	2,5	2,50	0,0497	0,82365ns
Aplicação de silicato × 1º Cult. de verão 22/23	2	610,3	305,15	6,0639	0,00256**
Resíduo	375	18870,4	50,32		
Total	383	19797,0	—		
CV (%)		18,19			
Massa de 100 grãos (M100 - g)					
Fonte	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Bloco	3	0,2246	0,07487	0,6791	0,57014ns
Aplicação de silicato	2	0,0451	0,02255	0,2047	0,81575ns
1º Cultivo de verão 2022/2023	1	0,0281	0,02810	0,2552	0,61625ns
Aplicação de silicato × 1º Cult. de verão 22/23	2	0,1332	0,06660	0,6041	0,55160ns
Resíduo	39	4,2993	0,11024		
Total	47	4,7303	—		
CV (%)		13,19			
Peso hectolitro (PH – kg hL⁻¹)					

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Bloco	3	8,6800e-09	3	0,1645	0,91966 ^{ns}
Aplicação de silicato	2	1,7901e-07	6	5,0872	0,01089*
1º Cultivo de verão 2022/2023	1	77620e-08	5	4,4115	0,04221*
Aplicação de silicato × 1º Cult. de verão 22/23	2	1,2575e-07	4	3,5735	0,03758*
Resíduo	39	6,8617e-07	2		
Total	47	1,0772e-06	1		
CV (%)	23,07				
Produtividade (PROD – kg ha⁻¹)					
Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Bloco	3	33946	2	0,60404	0,61631 ^{ns}
Aplicação de silicato	2	55	5	0,00147	0,99853 ^{ns}
1º Cultivo de verão 2022/2023	1	2423	4	0,12932	0,72108 ^{ns}
Aplicação de silicato × 1º Cult. de verão 22/23	2	93518	6	2,49614	0,09548 ^{ns}
Resíduo	39	730567	3		
Total	47	860509	1		
CV (%)	17,37				

ns – Não significativo, * - significativo ao nível de 5%, ** - significativo ao nível de 1%, *** - significativo ao nível de 0,1%.

APÊNDICE X

APÊNDICE X – Análise da Deviância (Testes Qui-quadrado de Wald do Tipo III) para intensidade de insetos no primeiro cultivo de verão 2022/2023 de soja.

1º Cultivo de Verão 2022/2023 (Semeadura 23 DAA)

Mosca branca (<i>Bemisia tabaci</i>)			
Efeito	Qui-quadrado	GL	Pr(>Qui-quadrado)
Bloco	7,69	1	0,005**
Aplicação de silicato	1,25	2	0,534 ns
Época	122,74	8	<0,001***
Aplicação de silicato × Época	2,82	16	0,999 ns
Vaqueirinha (<i>Diabrotica speciosa</i>)			
Efeito	Qui-quadrado	GL	Pr(>Qui-quadrado)
Bloco	0,000	1	0,996 ns
Aplicação de silicato	0,000	2	1,000 ns
Época	107,17	8	<0,001 ***
Aplicação de silicato × Época	2,74	16	0,999 ns
Besouro metálico (<i>Maecolaspis calcarisera</i>)			
Efeito	Qui-quadrado	GL	Pr(>Qui-quadrado)
Bloco	6,08	1	0,014 *
Aplicação de silicato	0,22	2	0,896 ns
Época	106,10	8	<0,001 ***
Aplicação de silicato × Época	5,21	16	0,995 ns

ns – Não significativo, * - significativo ao nível de 5%, ** - significativo ao nível de 1%, *** - significativo ao nível de 0,1%.

APÊNDICE Y

APÊNDICE Y – Análise da Deviância (Testes Qui-quadrado de Wald do Tipo III) para intensidade de mosca branca (*Bemisia tabaci*) no segundo cultivo de verão 2023/2024.

2º Cultivo de Verão 2023/2024 (Semeadura 391 DAA)			
Efeito	Qui-quadrado	GL	Pr(>Qui-quadrado)
Bloco	36,3464	1	1,652e-09***
Aplicação de silicato	1,3741	2	0,5031 ns
2ª Safra 2023	0,0000	1	0,9998 ns
Cultivo de inverno 2023	0,1981	1	0,6562 ns
Época	109,7798	7	< 2.2e-16***
Aplicação de silicato: 2ª Safra 2023	0,4055	2	0,8165 ns
Aplicação de silicato: Cultivo de inverno 2023	0,4783	2	0,7873 ns
2ª Safra 2023: Cultivo de inverno 2023	0,2421	1	0,6227 ns
Aplicação de silicato: Época	8,7431	14	0,8471 ns
2ª Safra 2023: Época	2,3182	7	0,9402 ns
Cultivo de inverno 2023: Época	9,2531	7	0,2350 ns
Corr. de Solo: 2ª Safra 2023: Cult. de Inverno	1,1988	2	0,5491 ns
Aplicação de silicato: 2ª Safra 2023: Época	5,3235	14	0,9808 ns
Aplicação de silicato: 2ª Safra 2023: Época	16,4044	14	0,2893 ns
2ª Safra 2023: Cultivo de inverno 2023: Época	1,9479	7	0,9627 ns
Corr. de Solo.: 2ª Saf. 2023: Cult. de Inver.: Época	6,7515	14	0,9439 ns

ns – Não significativo, *** - significativo ao nível de 0,1%.

APÊNDICE Z

APÊNDICE Z. Análise da Deviância (Testes Qui-quadrado de Wald do Tipo III) para ocorrência de insetos na cultura do milho durante o primeiro cultivo de verão 2022/2023.

1º Cultivo de Verão 2022/2023 (Semeadura 23 DAA)			
Vaquinha (<i>Diabrotica speciosa</i>)			
Efeito	Qui-quadrado	GL	p-valor
Bloco	10,54	1	0,001 **
Aplicação de silicato	3,18	2	0,204 ns
Época	0,00	2	0,999 ns
Aplicação de silicato × Época	4,66	4	0,324 ns
Cigarrinha do milho (<i>Dalbulus maidis</i>)			
Efeito	Qui-quadrado	GL	p-valor
Bloco	48,55	1	<0,001 ***
Aplicação de silicato	0,33	2	0,848 ns
Época	49,88	8	<0,001 ***
Aplicação de silicato × Época	3,51	16	0,999 ns

ns – Não significativo, * - significativo ao nível de 5%, ** - significativo ao nível de 1%, *** - significativo ao nível de 0,1%.

APÊNDICE AA

APÊNDICE AA. Análise da Deviância (Testes Qui-quadrado de Wald do Tipo III) para intensidade de insetos de cigarrinha-do-milho (*Dalbulus maidis*) na cultura do milho durante a segunda safra 2023.

2ª Safra de 2023 (Semeadura 184 DAA)			
Cigarrinha do milho (<i>Dalbulus maidis</i>)			
Efeito	Qui-quadrado	GL	p-valor
Bloco	424,63	1	$< 2,2e-16$ ***
Aplicação de silicato	1,88	2	0,3898 ns
Época	73,07	8	1,20e-12 ***
Aplicação de silicato × Época	7,02	16	0,9730 ns

ns – Não significativo, *** - significativo ao nível de 0,1%.

APÊNDICE AB

APÊNDICE AB – Análise da Deviância (Testes Qui-quadrado de Wald do Tipo III) para o número de indivíduos de cigarrinha do milho, vaquinha, lagarta do cartucho e joaninha na cultura do milho durante o segundo cultivo de verão 2023/2024.

Segundo Cultivo de Verão 2023/2024 (Semeadura 391 DAA)			
Cigarrinha do milho (<i>Dalbulus maidis</i>)			
Fonte de Variação	Qui-quadrado	GL	p-valor
Bloco	16,48	1	$<0,001$ **
Aplicação de silicato	0,72	2	0,699 ns
Cultivo de inverno 2023	0,53	1	0,468 ns
Época	12,22	7	0,094
Aplicação de silicato × Cultivo de inverno 2023	0,52	2	0,772 ns
Aplicação de silicato × Época	2,48	14	0,999 ns
Cultivo de inverno 2023 × Época	0,55	7	0,999 ns
Apli. de silicato × Cultivo de inverno 2023 × Época	4,82	14	0,988 ns
Lagarta do cartucho (<i>Spodoptera frugiperda</i>)			
Efeito	Qui-quadrado	df	p-valor
Bloco	1,9218	1	0,1657 ns
Aplicação de silicato	0,1160	2	0,9436 ns
Cultivo de inverno 2023	0,0400	1	0,8414 ns
Época	2,5924	7	0,9200 ns
Aplicação de silicato × Cultivo de inverno 2023	0,1989	2	0,9053 ns
Aplicação de silicato × Época	0,8197	14	1,0000 ns
Cultivo de inverno 2023 × Época	0,0389	7	1,0000 ns
Apli. de silicato × Cult. de inverno 2023 × Época	0,4520	14	1,0000 ns
Joaninha (<i>Cycloneda sanguínea</i> e <i>Hippodamia convergens</i>)			
Efeito	Qui-quadrado	GL	p-valor
Bloco	1,922	1	0,166 ns
Aplicação de silicato	0,060	2	0,970 ns
Cultivo de inverno 2023	0,150	1	0,699 ns
Época	0,660	7	0,999 ns
Aplicação de silicato × Cultivo de inverno 2023	0,135	2	0,935
Aplicação de silicato × Época	1,293	14	1,000 ns
Cultivo de inverno 2023 × Época	0,221	7	1,000 ns
Apli. de silicato × Cultivo de inverno 2023 × Época	1,093	14	1,000 ns

ns – Não significativo, *** - significativo ao nível de 0,1%.

APÊNDICE AC

APÊNDICE AC – Concentração de C-CO₂ (ug g⁻¹) em solo aos 3, 7, 14 e 21 dias com diferentes manejos do sistema agrícola (MTBM Si+, MTBM Ca/Mg, MTBM Si-, STNS Si+, STNS Ca/Mg e STNS) Si-após 541 dias da aplicação de Si e equilíbrio Ca/Mg.

Concentração de C-CO₂ (ug g⁻¹) em solo aos 3 dias de incubação					
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Sistema de sucessão e Aplicação de silicato	5	5340,8333	1068,1667	0,425	0,8241 ^{ns}
Repetições	3	720,8333	240,2778	0,096	0,9614 ^{ns}
Erro	15	37694,1667	2512,9444	-	-
Total	23	43755,8333	-	-	-
CV (%)		31,61			
Concentração de C-CO₂ (ug g⁻¹) em solo aos 7 dias de incubação					
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Sistema de sucessão e aplicação de silicato	5	18427,8333	3685,5667	0,437	0,8159 ^{ns}
Repetições	3	2247,0000	749,0000	0,089	0,9652 ^{ns}
Erro	15	126514,5000	8434,3000	-	-
Total	23	147189,3333	-	-	-
CV (%)		40,88			
Concentração de C-CO₂ (ug g⁻¹) em solo aos 14 dias de incubação					
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Sistema de sucessão e aplicação de silicato	5	37000,8333	7400,1667	0,517	0,7596 ^{ns}
Repetições	3	7992,8333	2664,2778	0,186	0,9042 ^{ns}
Erro	15	214712,1667	14314,1444	-	-
Total	23	259705,8333	-	-	-
CV (%)		40,71			
Concentração de C-CO₂ (ug g⁻¹) em solo aos 21 dias de incubação					
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Sistema de sucessão e aplicação de silicato	5	67252,8333	13450,5667	0,645	0,6695 ^{ns}
Repetições	3	12922,8333	4307,6111	0,207	0,8903 ^{ns}
Erro	15	312804,1667	20853,6111	-	-
Total	23	392979,8333	-	-	-
CV (%)		39,04			

ns – Não significativo.

APÊNDICE AD

APÊNDICE AD – C-CO₂ (ug g⁻¹) dos diferentes manejos dos sistemas de sucessão (7 – MTBM Si+, 8 – MTBM Ca/Mg, 9 – MTBM Si-, 16 – STNS Si+, 17 – STNS Ca/Mg, 18 – STNS Si-) aos 3, 7, 14 e 21 dias após 541 dias da aplicação de Si (Si+) equilíbrio de Ca/Mg (Ca/Mg), ou sem aplicação (Si-).

Tratamento	Parâmetro	GL	SQ	QM	Fc	Pr>F	R² (%)
7 – MTBM Si+	b1	1	86568,40	86568,40	27,510	0,001 ***	98,9
	b2	1	5355,44	5355,44	1,702	0,224 ns	
	b3	1	1003,41	1003,41	0,319	0,586 ns	
	Desvio	0	0,00	0,00	0,000	-	
	Erro	9	28321,25	3146,81	-	-	
CV (%)		22,23					
8 – MTBM Ca/Mg	b1	1	107529,28	107529,28	17,748	0,002 **	98,9
	b2	1	2909,94	2909,94	0,480	0,506 ns	
	b3	1	102,97	102,97	0,017	0,899 ns	
	Desvio	0	0,00	0,00	0,000	-	
	Erro	9	54528,56	6058,73	-	-	
CV (%)		27,06					
9 – MTBM Si-	b1	1	51833,65	51833,65	151,067	0,000 ***	99,4
	b2	1	65,53	65,53	0,191	0,672 ns	
	b3	1	13,00	13,00	0,038	0,850 ns	
	Desvio	0	0,00	0,00	0,000	-	
	Erro	9	3088,06	343,12	-	-	
CV (%)		8,87					
16 – STNS Si+	b1	1	106184,95	106184,95	156,90	0,000 *	99,4
	b2	1	289,06	289,06	0,43	0,530 ns	
	b3	1	368,17	368,17	0,54	0,480 ns	
	Desvio	0	0,00	0,00	0,000	-	
	Erro	9	6091,06	676,78	-	-	
CV (%)		10,16					
17 – STNS Ca/Mg	b1	1	188454,50	188454,50	361,94	0,000 *	99,1
	b2	1	434,70	434,70	0,84	0,385 ns	
	b3	1	1710,99	1710,99	3,29	0,103 ns	
	Desvio	0	0,00	0,00	0,000	-	
	Erro	9	4686,06	520,67	-	-	
CV (%)		7,36					
18 – STNS Si-	b1	1	72745,59	72745,59	112,94	0,000 *	98,9
	b2	1	266,63	266,63	0,41	0,536 ns	
	b3	1	574,28	574,28	0,89	0,370 ns	
	Desvio	0	0,00	0,00	0,000	-	
	Erro	9	5797,00	644,11	-	-	
CV (%)		9,93					

ns – Não significativo, * - significativo ao nível de 5%, ** - significativo ao nível de 1%, *** - significativo ao nível de 0,1%.

APÊNDICE AE

APÊNDICE AE – Análise de variância para Respiração Respieração – RES (C.CO₂. (ug g⁻¹)) em solo submetido a diferentes manejos do sistema agrícola, após 541 dias da aplicação de Si e equilíbrio Ca/Mg.

Fonte de Variação (FV)	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Aplicação de silicato e Sistema de Sucessão	5	151,927083	30,385417	0,644	0,6700 ^{ns}
Repetições	3	29,537917	9,845972	0,209	0,8888 ^{ns}
Erro	15	707,464583	47,164306	-	-
Total corrigido	23	888,929583			
CV (%)		38,96			

ns – Não significativo.

APÊNDICE AF

APÊNDICE AF – Análise de variância para a Carbono solúvel – CS (mmol_c kg⁻¹), em solo submetido a diferentes manejos do sistema agrícola, após 541 dias da aplicação de Si e equilíbrio Ca/Mg.

Fonte de Variação (FV)	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Aplicação de silicato e Sistema de Sucessão	5	434,1833	86,8367	1,305	0,3137 ^{ns}
Repetições	3	1133,3083	377,7694	5,677	0,0084 ^{**}
Erro	15	998,0867	66,5391	-	-
Total corrigido	23	2565,5783	-		
CV (%)		15,87			

ns – Não significativo, * - significativo ao nível de 5%, ** - significativo ao nível de 1%, *** - significativo ao nível de 0,1%.

APÊNDICE AG

APÊNDICE AG – Análise de variância para carbono da biomassa microbiana (CBM) em solo com diferentes manejos do sistema agrícola, após 541 dias da aplicação de Si e equilíbrio Ca/Mg.

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Aplicação de silicato e Sistema de Sucessão	5	6.644,833	1.328,967	0,912	0,4991 ^{ns}
Replicação	3	8.776,833	2.925,611	2,008	0,1561 ^{ns}
Erro	15	21.850,167	1.456,678	-	-
Total corrigido	23	37.271,833	-		
CV (%)		23,07			

ns – Não significativo, * - significativo ao nível de 5%, ** - significativo ao nível de 1%, *** - significativo ao nível de 0,1%.

APÊNDICE AH

APÊNDICE AH – Análise de variância para quociente metabólico (qCO₂) em solo com diferentes manejos do sistema agrícola, após 541 dias da aplicação de Si e equilíbrio Ca/Mg.

Fonte de Variação (FV)	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Aplicação de silicato e Sistema de Sucessão	5	0,002921	0,000584	0,587	0,7100 ^{ns}
Repetições	3	0,000930	0,000310	0,312	0,8168 ^{ns}
Erro	15	0,014930	0,000995	-	-
Total corrigido	23	0,018781			
CV (%)		29,40			

ns – Não significativo, * - significativo ao nível de 5%, ** - significativo ao nível de 1%, *** - significativo ao nível de 0,1%.