

PEDRO ALCANTARA DA SILVA ABREU

**USO DE BIOFERTILIZANTE NA FERTIRRIGAÇÃO DE MILHO: EFEITOS NA
PLANTA E NO SOLO**

Botucatu

2023

PEDRO ALCANTARA DA SILVA ABREU

**USO DE BIOFERTILIZANTE NA FERTIRRIGAÇÃO DE MILHO: EFEITOS NA
PLANTA E NO SOLO**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Doutor em Agronomia (Irrigação e Drenagem).

Orientador(a): Prof. Dr. Luís Henrique Basso

Coorientador(a): Prof. Dr. Wilson Tadeu Lopes da Silva

Botucatu

2023

A162u Abreu, Pedro Alcantara da Silva
 Uso de biofertilizante na fertirrigação de milho: efeitos na
 planta e no solo / Pedro Alcantara da Silva Abreu. -- Botucatu,
 2023
 226 p. : tabs.

 Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp),
 Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu
 Orientador: Luís Henrique Basso
 Coorientador: Wilson Tadeu Lopes da Silva

 1. Agricultura irrigada. 2. Efluente de esgoto tratado. 3.
 Nitrogênio. 4. Nutrição mineral de plantas. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da
Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Botucatu



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: USO DE BIOFERTILIZANTE NA FERTIRRIGAÇÃO DE MILHO: EFEITOS NA PLANTA E NO SOLO

AUTOR: PEDRO ALCANTARA DA SILVA ABREU

ORIENTADOR: LUÍS HENRIQUE BASSOI

COORIENTADOR: WILSON TADEU LOPES DA SILVA

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em Agronomia (Irrigação e Drenagem), pela Comissão Examinadora:

Pesquisador Dr. LUÍS HENRIQUE BASSOI (Participação Presencial)
Embrapa Instrumentação / Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

P/Prof. Dr. CLAUDINEI FONSECA SOUZA (Participação Virtual)
Recursos Naturais e Proteção Ambiental / Universidade Federal de São Carlos

P/Prof. Dr. LUÍS REYNALDO FERRACCIÙ ALLEONI (Participação Virtual)
Ciência do Solo / Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz

Prof. Dr. RODRIGO MÁXIMO SÁNCHEZ ROMÁN (Participação Presencial)
Engenharia Rural e Socioeconomia / Faculdade de Ciências Agrômicas de Botucatu UNESP

Prof. Dr. CARLOS ALEXANDRE COSTA CRUSCIOL (Participação Presencial)
Produção e Melhoramento Vegetal / Faculdade de Ciências Agrômicas de Botucatu

Botucatu, 24 de julho de 2023

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais e toda minha família por todo apoio e confiança.

A minha esposa, Lais Andrade, por todo apoio e confiança

A Faculdade de Ciências Agronômicas UNESP, ao programa de Pós-Graduação em Agronomia: Irrigação e Drenagem, pela estrutura e por todo conhecimento transmitido.

Ao meu orientador Prof. Dr. Luís Henrique Bassoi e coorientador Prof. Dr. Wilson Tadeu Lopes da Silva, pela dedicação e por todo conhecimento transmitido.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

A Embrapa Instrumentação, por toda estrutura cedida.

A equipe de trabalho, por toda contribuição.

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos da fertirrigação com efluente de esgoto tratado (EET) em parâmetros de produção e desenvolvimento da cultura do milho, e os impactos nos atributos químicos, físicos e biológicos do solo. A pesquisa foi desenvolvida na área experimental do Laboratório de Referência Nacional em Agricultura de Precisão (LANAPRE), Embrapa Instrumentação, no município de São Carlos – SP, no período da safra de verão, de setembro a dezembro de 2021 e no período da safrinha, de março a junho de 2022. Os experimentos foram conduzidos no delineamento de blocos casualizados, com quatro tratamentos e três repetições, com parcelas de 43,2 m² de área total e 22,4 m² de área útil. Os tratamentos foram definidos de acordo com as adubações realizadas: 1 – NPK (aplicação de ureia, superfosfato simples e cloreto de potássio), 2 – EfPK (aplicação de EET, superfosfato simples e cloreto de potássio), 3 – Ef (aplicação de EET), 4 – Controle (sem adubação). As parcelas dos tratamentos NPK e Controle receberam exclusivamente água durante todo o ciclo, enquanto as parcelas dos tratamentos EfPK e Ef receberam o EET após a semeadura (estádio VE) e durante os estádios fenológicos de V₄ a V₈ do milho (fertirrigação de cobertura) – e água nos demais estádios. O sistema de irrigação por sulcos fechados foi utilizado tanto para a aplicação de água e de EET. O manejo de irrigação foi realizado com base na evapotranspiração da cultura. Foram avaliados: massa de espiga sem palha, massa de grãos por espiga a 13% de umidade, massa seca de grãos, produtividade de grãos e massa de 100 grãos; comprimento de espiga, número de fileiras e de grãos por espiga, diâmetro da espiga no ápice, parte média e base da espiga; altura de planta, diâmetro de colmo, comprimento e diâmetro da espiga com palha; massa fresca e seca de folhas, colmo+pendão, palha e espiga; resistência estomática, índice relativo de clorofila total (IRCT), índice de área foliar (IAF), NDVI e NDRE; área foliar (AF); análises químicas do solo no início e final dos ciclos, condutividade elétrica e pH do solo; quantificação de coliformes totais, termotolerantes e determinação da enzima beta-glicosidase no solo; densidade e granulometria do solo. O tratamento NPK obteve valores superiores ao tratamento EfPK para produtividade de grãos, massa fresca e seca da parte aérea das plantas, massa seca de grãos, comprimento de espiga e número de grãos por espiga. Os tratamentos NPK e EfPK não apresentaram diferença significativa entre si quanto ao IAF, AF, NDVI e NDRE, mas ambos diferiram quanto ao IRCT. Foi observado uma melhora significativa dos aspectos químicos do solo ao fim dos ciclos de cultivo, mediante aplicação do EET no tratamento EfPK, sendo observado o aumento do pH do solo em CaCl₂ para a faixa de 5,4 a 6,4. O solo se mostrou capaz de neutralizar quase a totalidade dos coliformes termotolerantes ao final da safra de verão e neutralizou a totalidade de coliformes termotolerantes ao final da safrinha. Foi observado um aumento em um curto prazo da atividade de microrganismos no solo nos tratamentos NPK e Controle, enquanto que nos tratamentos EfPK e Ef esse aumento ocorreu em um maior período de tempo. Na safrinha, com uma menor dose

de adubo, foi necessário um maior tempo para ocorrer o aumento da atividade dos microrganismos do solo. O uso do EET sem suplementação de adubação mineral apresentou os menores valores de argila mecanicamente dispersa em água, o que não indica um potencial para a desestruturação do solo.

Palavras-chave: efluente de esgoto tratado; irrigação por sulcos; *Zea Mays* L.; água residuária; nitrogênio.

.

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the effects of fertirrigation with treated sewage effluent (TSE) on production and development of the corn crop, and the impacts on the chemical, physical and biological soil attributes. The research was carried out in the experimental area of the National Reference Laboratory in Precision Agriculture (LANAPRE), Embrapa Instrumentação, in São Carlos, state of São Paulo, Brazil, throughout September to December 2021 (summer crop) and March to June 2022) off-season crop). The experiments were conducted in a randomized block design, with four treatments and three replications, with plots of 43.2 m² of total area and 22.4 m² of useful area. The treatments were defined according to the fertilizations performed: 1 – NPK (application of urea, simple superphosphate and potassium chloride), 2 – EfPK (application of TSE, simple superphosphate and potassium chloride), 3 – Ef (application of TSE), 4 – Control (without fertilization). The plots of the NPK and Control treatments received water exclusively throughout the growing season, while the plots of the EfPK and Ef treatments received TSE after sowing (VE stage) and during the corn phenological stages from V₄ to V₈ (topdressing fertigation) – and water in the other stages. The closed furrow irrigation system was used for both water and TSE application. Irrigation management was carried out based on crop evapotranspiration. The following parameters were evaluated: ear mass without straw, grain mass per ear at 13% moisture, dry mass of grains, grain yield and mass of 100 grains; ear length, number of rows and grains per ear, ear diameter at the apex, middle part and base of the ear; plant height, stem diameter, length and diameter of the ear with straw; fresh and dry mass of leaves, stem+tassel, straw and ear; stomatal resistance, relative total chlorophyll index (RTCI), leaf area index (LAI), NDVI and NDRE; leaf area (LA); soil chemical analysis at the beginning and end of both growing seasons, soil electrical conductivity and pH; quantification of total and thermotolerant coliforms and determination of the beta-glucosidase enzyme in the soil; soil density and granulometry. The NPK treatment obtained higher values than the EfPK treatment for grain yield, fresh and dry mass of the aerial part of the plants, dry mass of grains, ear length and number of grains per ear. The NPK and EfPK treatments did not differ significantly from each other based on LAI, LA, NDVI and NDRE, but both differed in relation to RTCI. A significant improvement was observed in the soil chemical attributes at the end of the growing season, through the application of TSE in the EfPK treatment, with an increase in soil pH in CaCl₂ to the range of 5.4 to 6.4. The soil was able to neutralize almost all thermotolerant coliforms at the end of the summer season and neutralized all thermotolerant coliforms at the end of the off-season. A short-term increase in the activity of microorganisms in the soil was observed in the NPK and control treatments, while in the EfPK and Ef treatments this increase occurred over a longer period of time. In the off-season, with a lower rate of fertilizer, soil microorganism activity took a longer time to occur. The use of TSE without mineral fertilizer

supplementation showed the lowest values of clay mechanically dispersed in water, which does not indicate a potential for soil disruption.

Keywords: treated sewage effluent; furrow irrigation; *Zea Mays* L.; wastewater; nitrogen.

.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	18
2.1	Milho	18
2.2	Necessidade hídrica da cultura do milho	20
2.3	Estádios fenológicos do milho.....	21
2.4	Água residuária	21
2.5	Fossa séptica biodigestora (FSB) e efluente de esgoto tratado (EET)	22
2.6	Irrigação por sulcos	25
2.7	Clorofila	27
2.8	Área foliar.....	28
2.9	Índice de vegetação	29
2.10	Efeitos da aplicação do EET no solo	30
2.10.1	Parâmetros químicos do solo	30
2.10.2	Parâmetros biológicos do solo	32
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	34
3.1	Área experimental	34
3.2	Delineamento Experimental.....	34
3.3	Fossa séptica biodigestora (FSB) e efluente de esgoto tratado (EET)	35
3.4	Dados climáticos	37
3.5	Irrigação e manejo de irrigação.....	37
3.6	Análise de solo	42
3.7	Tratos culturais.....	42
3.8	Adubação	43
3.9	Parâmetros de produtividade	45
3.10	Altura de planta, diâmetro do colmo, comprimento de espiga com palha, diâmetro de espiga com palha e altura de inserção da espiga	46
3.11	Massa fresca e massa seca da parte área do milho	47
3.12	Resistência estomática	47

3.13	Índice Relativo de Clorofila Total (IRCT).....	48
3.14	Índice de área foliar (IAF)	49
3.15	Área foliar	49
3.16	Calibração do ceptômetro AccuPAR LP-80 para leituras de área foliar.....	50
3.17	Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) e diferença normalizada do vermelho limítrofe (NDRE)	50
3.18	Condutividade elétrica (CE) e potencial hidrogeniônico (pH) do solo	51
3.19	Carbono total e estoque de carbono do solo	51
3.20	Humificação da matéria orgânica do solo	52
3.21	Concentração de nitrato no solo	53
3.22	Coliformes totais e termotolerantes.....	53
3.23	Beta-glicosidase	53
3.24	Granulometria do solo.....	53
3.25	Densidade do solo	54
3.26	Argila mecanicamente dispersa em água (AMDA).....	54
3.27	Analises estatísticas.....	55
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	56
4.1	Irrigação.....	56
4.2	Resistência estomática	62
4.2	Parâmetros de produtividade	66
4.3	Altura de planta, diâmetro de colmo, comprimento de espiga com palha, diâmetro de espiga com palha e altura inserção da espiga	77
4.4	Massa fresca e massa seca da parte área do milho	90
4.5	Índice relativo de clorofila (IRCT)	113
4.6	Índice de área foliar (IAF) e área foliar (AF)	118
4.6.1	Índice de área foliar (IAF)	118
4.6.2	Área foliar (AF)	124
4.7	NDVI e NDRE	126
4.8	Efeitos do uso de EET no solo	142
4.8.1	Química do solo	142
4.8.1.4	Carbono total e estoque de carbono no solo	179

4.8.1.5	Humificação da matéria orgânica do solo.....	181
4.8.1.6	Concentração de nitrato no solo.....	183
4.8.2	Biologia do solo.....	184
4.8.2.1	Coliformes totais e termotolerantes	184
4.8.2.2	Atividade da enzima beta-glicosidase	190
4.8.3	Física do solo.....	194
4.8.3.1	Textura e granulometria do solo	194
4.8.3.2	Densidade do solo.....	198
4.8.3.3	Argila mecanicamente dispersa em água (AMDA)	202
6	CONCLUSÕES	205
	REFERÊNCIAS	207

1 INTRODUÇÃO

As crises hídricas que ao longo dos anos estão assolando o Brasil e vários países do mundo, liga o alerta sobre o uso da água de melhor qualidade. O reúso do efluente de esgoto tratado (EET) na agricultura irrigada é uma tendência crescente e totalmente viável, pelas grandes quantidades de água utilizadas para produção de alimento nessa atividade (MEDEIROS et al., 2020).

O uso do EET no Brasil ainda é considerado por muitos uma prática relativamente recente. Uma das culturas de maior destaque que pode ser citada em relação ao reúso de água é a cana-de-açúcar, onde a aplicação da vinhaça é uma prática comumente empregada em campo (SANDRI e ROSA, 2017). Outros países do mundo estão a frente com o uso do EET. Os Estados Unidos possuem o domínio da pesquisa e implantação do uso da água residuária no país, seguidos pela China, com grandes avanços na utilização da água residuária (MARQUES et al., 2022).

Existem vários tipos de EET e várias formas de tratamentos: origem animal, dejetos de suínos (BOLZANI et al., 2022); aves (LOZANO et al., 2015); bovinos (ERTHAL et al., 2010); origem humana, água negra e cinza (MEDEIROS et al., 2015; SILVA et al., 2021); origem vegetal, mandioca (COSTA et al., 2021); laticínios (SANTOS et al., 2018a) e origem industrial. A população rural brasileira é, aproximadamente, 30,5 milhões de pessoas, sendo que menos da metade possui acesso ao saneamento básico, utilizando-se de valas, buracos, despejo direto em corpos hídricos e fossas rudimentares que acabam contaminando o solo e o lençol freático (SILVA, MARMO e LEONEL, 2017).

Uma das soluções encontradas para o tratamento de esgoto na zona rural oriundo de vaso sanitário é o uso de fossa séptica biodigestora (GALINDO et al., 2019). Atualmente, existem mais de 11.500 fossas sépticas biodigestoras instaladas em propriedades rurais por todo país, responsáveis por tratar a água advinda de vasos sanitários (fezes e urina) sendo caracterizada como água negra, além de produzir o efluente de esgoto tratado (EET) que pode ser utilizado como fonte de nutriente e água pela agricultura (SILVA, MARMO e LEONEL, 2017).

O uso do EET é uma ótima alternativa tanto para locais que sofrem com ausência de recursos hídricos e também os que possuem; no entanto, o seu uso tem de ser feito de forma regulamentada seguindo parâmetros de qualidade (SANDRI e ROSA, 2017). O uso do EET sem nenhum tipo de tratamento ou tratado de forma

parcial pode causar alterações na parte física, química e biológica do solo, além de gerar riscos de contaminação nas plantas, pessoas e água, principalmente na presença de metais pesados e patógenos microbianos (SILVA et al., 2016). Bedbabis et al. (2014), Gonçalves et al. (2014), Santos et al. (2018b) e Rebouças et al. (2018), relataram melhoras de parâmetros químicos do solo com o uso do efluente de esgoto tratado. Simões et al. (2013) e Nazário et al. (2018), observaram aumento da atividade de microrganismos em solos com aplicação de EET.

A reciclagem de nutrientes é um grande benefício do uso de efluente de esgoto tratado na fertirrigação de culturas. O EET produzido pela fossa séptica biodigestora é um líquido que possui pH básico, matéria orgânica e macro e micro nutrientes, como potássio, fósforo, cálcio e em maior quantidade nitrogênio (SILVA, MARMO e LEONEL, 2017).

O milho (*Zea mays* L.) é uma das espécies mais cultivadas no mundo, sendo utilizado para produção de grãos para alimentação humana e animal e para geração de biocombustíveis. A cultura possui uma necessidade adubação de macro e micro nutrientes para atingir altos rendimentos de grão, matéria fresca e matéria seca. Atualmente, a adubação mineral é a mais utilizada para suprir nutricionalmente a cultura, com destaque para as adubações nitrogenadas. Os altos custos com fontes de nitrogênio (ureia, sulfato de amônio e nitrato de amônio) aumentam demasiadamente os custos de produção do milho, tornando viável e necessária a procura por outras fontes do nutriente. O efluente de esgoto tratado surge como uma alternativa interessante para a fertirrigação da cultura do milho, sendo capaz de substituir fontes minerais de N e em partes de P_2O_5 e K_2O , nutrindo as plantas e diminuindo os custos de produção.

Na literatura existem várias informações que indicam a resposta positiva da produção de milho à aplicação de EET. Costa et al. (2012) avaliaram o estado nutricional do milho fertirrigado com EET e observaram plantas com níveis de nutrição satisfatórios, e uma melhor absorção dos nutrientes por estarem diluídos. Mok et al. (2014) compararam os efeitos da irrigação no milho com água residuária e água de melhor qualidade, e observaram rendimentos comparáveis a produções comerciais e sem diferenças entre os tipos de água. Mousavi e Shahsavari (2014) avaliaram a resposta da aplicação de EET na cultura do milho, e constataram aumento da produtividade, parâmetros de produção e crescimento, devido os nutrientes fornecidos pelo EET.

Diante disso, esse trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos da fertirrigação com efluente de esgoto tratado em parâmetros de produção e desenvolvimento da cultura do milho, e os impactos na parte química, física e biológica do solo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Milho

A cultura do milho (*Zea Mays* L.) tem grande importância para a economia mundial, sendo um produto altamente utilizado na alimentação humana e animal, e atualmente está sendo demandada também como uma matriz energética, na produção de etanol. O milho é uma das principais *commodities* agrícolas do mundo, e os Estados Unidos são detentores das maiores produções mundiais, com 358,4 milhões de toneladas na safra 2020/2021; o Brasil aparece com a terceira maior produção, devido a possibilidade da realização de até três safras anuais, com produção de 87 milhões de toneladas (FIESP, 2022).

A estimativa da safra brasileira de milho para o ano agrícola de 2021/2022 é de 125,5 milhões de toneladas (CONAB, 2023). Percebe-se um aumento crescente das produções de milho no Brasil a partir da safra de 2015/2016 (66,5 milhões de toneladas), 2016/2017 (97,8 milhões de toneladas), 2017/2018 (80,7 milhões de toneladas), 2018/2019 (100 milhões de toneladas) até a safra de 2019/2020 (102,5 milhões de toneladas) (CONAB, 2022). A queda de produção na safra 2020/2021 foi devido aos veranicos durante as safras em estados que são grandes produtores de milho, como Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Paraná e Rio Grande do Sul. Na safra 2021/2022 o país voltou a obter uma produção recorde, 113,1 milhões de toneladas (CONAB, 2023). Caso se concretize a estimativa da safra 2022/2023, o Brasil terá uma safra recorde de milho. Esse aumento da produção da cultura nos últimos anos, deve-se ao aumento da demanda do mercado mundial, aumento do preço da saca de milho e pelo menor custo de produção quando comparado a culturas como soja, algodão e café.

A cultura do milho possui alta reposta ao manejo de adubação, e o déficit de macronutrientes no solo, como nitrogênio, fósforo e potássio, reduz significativamente o desenvolvimento e o rendimento de grãos da cultura (PIAS et al., 2017). A cultura do milho possui alta exigência, principalmente da adubação nitrogenada, podendo ser utilizado fontes minerais como ureia, sulfato de amônio e nitrato de amônio, e fonte orgânicas como efluente de esgoto tratado (EET), lodo de esgoto e esterco curtido. A recomendação de adubação nitrogenada é realizada de acordo com o rendimento de grãos esperado pelo produtor, e assim a cultura requer altas doses desse nutriente

para se obter altas produtividades (VELOSO et al., 2020). Diante dos altos custos dos adubos nitrogenados minerais no mercado mundial, torna-se cada vez mais necessário o manejo adequado da adubação nitrogenada, para diminuir os custos gerados por esse insumo.

O nitrogênio é responsável direto pela produção de proteínas, componentes das células vegetais, aminoácidos, ácidos nucleicos e pelas moléculas de clorofila, sendo um fator preponderante para o processo fotossintético e para se obter altos rendimentos de grãos. A falta de nitrogênio acaba inibindo o crescimento do milho, acarretando em perdas de produtividade. A deficiência de N no milho é identificada pelo amarelecimento das folhas mais velhas (clorose), devido à mobilização do nutriente para as folhas mais novas, e com os sintomas aparecendo na nervura central em sentido a margem da folha (TAIZ et al., 2017).

A adubação nitrogenada do milho costuma ser realizada de forma mecanizada, em duas etapas. A primeira aplicação é feita na semeadura ou logo após a emergência da cultura em cobertura. A segunda etapa é realizada entre os estádios fenológicos V₄ a V₈, períodos em que ocorrem as definições dos parâmetros de produtividades pelas plantas, comprimento de espiga, número de fileiras e de grãos. No entanto, incrementos na produtividade dependem de alta eficiência na adubação, os quais são influenciados por condições climáticas, tipos de solo e absorção do nitrogênio pela planta (NEUMANN et al., 2005; MORTATE et al., 2018).

Vários autores indicam a resposta positiva do rendimento de grãos e parâmetros de produtividade a incrementos de doses de adubação nitrogenada. Batista et al. (2019) avaliaram a densidade de plantas de milho e doses de N, e observaram acréscimo linear da massa de 1000 grãos e produtividade. Pandolfo et al. (2015) e Besen et al. (2019) avaliaram o milho inoculado com *Azospirillum brasilense* em associação a adubação nitrogenada de cobertura, e não observaram incrementos de rendimento de grão para o inoculante, mas somente para aplicação das doses de nitrogênio. Begnini et al. (2018) e Meneghini et al. (2020), também verificaram resposta positiva da produtividade de grãos e outros parâmetros de produtividade à adubação nitrogenada.

2.2 Necessidade hídrica da cultura do milho

A absorção de água pelo milho é um fator preponderante para se obter altos rendimentos para a cultura. O estresse hídrico impacta diretamente na absorção de recursos necessários para vários processos da planta, como a fotossíntese, afetando o processo de transformação dos nutrientes em fotoassimilados, essenciais ao enchimento de grão (YI et al., 2010).

Durante seu ciclo o milho tem uma necessidade hídrica de 385 a 550 mm, a depender das condições climáticas (ALBUQUERQUE, 2010). A necessidade hídrica da cultura do milho varia de acordo com seu estágio fenológico. O período da pré-floração até o início do enchimento de grãos (quinze dias antes e quinze dias depois do florescimento) é o mais crítico, pois há alta taxa de transpiração, formação do zigoto, e translocação de fotoassimilados para enchimento de grão; déficits hídricos nesse período afetam diretamente a produtividade e redução do número de grãos, causando danos irreversíveis (BERGAMASCHI et al., 2006). As perdas de rendimento de grãos por déficit hídrico, antes, durante e após o florescimento são de 20 a 40%, 40 a 50% e 10 a 20%, respectivamente, e a severidade das perdas irá depender do tempo em que as plantas passaram pelo estresse hídrico (ALBUQUERQUE, 2010). A maior perda ocorre durante o período do florescimento, pois é quando há a polinização e a definição do número de grãos por espiga.

A irrigação na cultura do milho em muitas regiões torna-se essencial para garantir altas produtividades, podendo ser usado durante todo o ciclo ou para suprir a cultura em períodos de veranicos, evitando que a planta passe por algum estresse hídrico.

Segundo Allen et al. (1998), o K_c do milho consta de quatro fases durante seu ciclo. Na fase crítica esse valor pode chegar até a 1,2, elevando a quantidade de água necessária à planta para desempenhar todo seu processo fisiológico e garantir altas produtividades.

O déficit hídrico no milho afeta os processos fisiológicos da planta; inicialmente ocorre o acúmulo do hormônio ácido abscísico (ABA) nas folhas devido à diminuição do potencial hídrico, levando ao aumento da resistência estomática e redução da taxa de transpiração (PESSOA, FREIRE e COSTA, 2017). Com o aumento da resistência estomática, diminui a absorção de CO_2 , afetando diretamente a eficiência fotossintética da cultura.

2.3 Estádios fenológicos do milho

A fase vegetativa (V) da cultura do milho vai de V0 ou VE (emergência) podendo chegar até V18, a depender do genótipo utilizado e das condições climáticas locais. Os estádios são definidos a partir do momento em que a folha se apresenta totalmente estendida, sendo possível visualizar o elo bainha-limbo (FANCELLI, 2015).

Durante esta fase V, existem alguns estádios que necessitam de atenção por serem definidores de parâmetros de produção do milho. A adubação nitrogenada de cobertura é recomendada a partir de V₄ pois é o período em que a cultura apresenta um maior requerimento por esse nutriente. Em V₅, já ocorreu a formação de todos os primórdios de folhas, da espiga e do número de fileira, e no ápice do colmo ainda abaixo no nível do solo, existe a presença de um pendão microscópico. A partir de V₁₀, a passagem dos estádios se torna rápida, o aparecimento de novas folhas ocorre de 2 a 3 dias, e a planta aumenta a absorção de nutrientes e água, período no qual ocorre os maiores valor de Kc e acúmulo de matéria seca. Em V₁₂, inicia-se a definição do comprimento de espiga e do potencial número de grãos pela definição da quantidade de óvulos, sendo que o número real de grãos por espiga só será definido após a polinização (BERGAMASCHI; MATZANAUER, 2014).

O estágio fenológico Vt é considerado uma fase de transição, período em que ocorre o florescimento e a cultura passa para o período reprodutivo (R), no qual os estádios são definidos como R₁ - florescimento e polinização, R₂ - grãos leitosos, R₃ - grãos pastosos, R₄ - grãos farináceos e início da formação dos dentes, R₅ - grãos duros e R₆ - grãos em maturidade fisiológica (FANCELLI, 2015).

2.4 Água residuária

O aumento crescente da população mundial demanda uma maior quantidade de água de melhor qualidade. Em muitas regiões do mundo, boa parte dessa água encontra-se comprometida, pelo uso irracional desse recurso, aumento de atividades industriais, alta produção de água residuária e adição de poluente em corpos hídricos (CARVALHO et al., 2013; MEDEIROS et al., 2020).

A água residuária é originada do esgoto urbano, rural, e industrial, podendo passar por estações de tratamento de esgoto (ETE); após tratada, a água residuária pode passar por um polimento no tratamento de água de reúso (PROLAGOS, 2022).

Existem outras tecnologias que dispensam uma unidade de tratamento de esgoto e que podem ser utilizadas para tratar a água residuária e destina-la a alguns usos. Uma delas é a fossa séptica biodigestora (FSB) desenvolvida pela Embrapa Instrumentação, e que é utilizada para tratamento da água negra e para fornecer o efluente de esgoto tratado (EET) que pode ser utilizado na fertirrigação de culturas.

A utilização de água residuária no reúso industrial, esfriamento de caldeiras, limpeza urbana, aquaponia, recarga de aquíferos, irrigações de jardins, campos de golfe e cultivos comerciais (MOURA et al., 2020) é uma alternativa interessante e viável para diminuir a pressão sobre as fontes de água de melhor qualidade, destinando-as em sua maior parte para o consumo humano.

No entanto, a água residuária deve ser utilizada atendendo padrões de qualidade para o seu uso. A falta de tratamento eleva o risco potencial de contaminação por poluentes químicos e microbiológicos (MOURA et al., 2020). A água residuária pode conter coliformes termotolerantes, *Salmonella* sp., *Shigella* sp. e ovos de helmintos, patógenos que possuem risco a saúde humana; porém, o correto tratamento da água residuária é capaz de fazer a remoção da maior parte desses microrganismos, tornando o seu uso seguro (SOUZA et al., 2011). A contaminação por microrganismos presentes na água residuária, depende de uma série de fatores para que ocorra, como resistência do patógeno ao tratamento, concentração de microrganismos na água residuária, grau de infecção do patógeno, e susceptibilidade e tempo de exposição do hospedeiro a fonte de transmissão (CARVALHO et al., 2013).

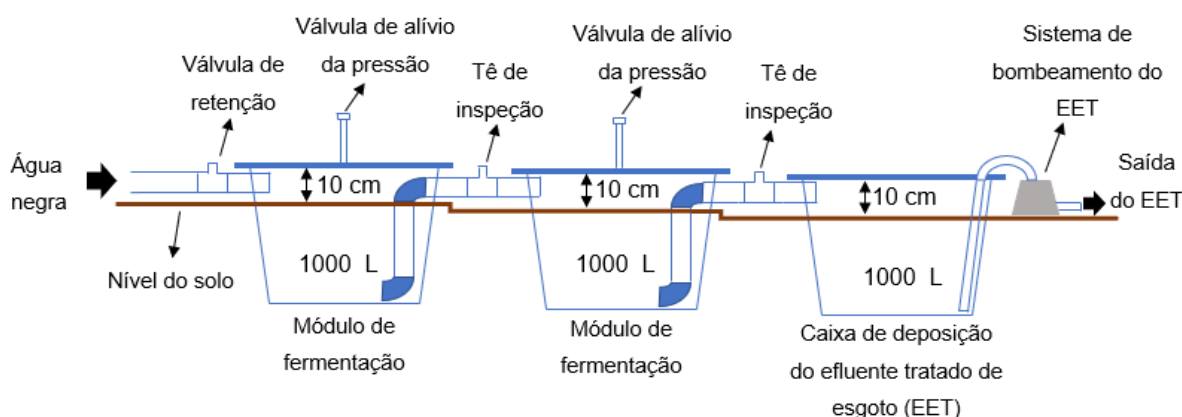
2.5 Fossa séptica biodigestora (FSB) e efluente de esgoto tratado (EET)

A fossa séptica biodigestora desenvolvida pelo médico veterinário Antônio Pereira de Novaes, pesquisador da Embrapa Instrumentação, ganhou destaque ao receber o Prêmio de Tecnologia Social da Fundação Banco do Brasil em 2003 (EMBRAPA, 2021). A FSB foi desenvolvida com a intenção de resolver um problema recorrente de áreas rurais, o despejo da água negra. No ambiente rural, ainda é costume o despejo da água oriunda de vasos sanitários em fossas negras, diretamente no solo ou em corpos hídricos, podendo causar sérios problemas de saúde pública pela falta de tratamento (OLIVEIRA et al., 2018a).

Atualmente, existem mais de 11.500 unidades instaladas pelo Brasil. Entidades parceiras, como CATI-SP, Fundação Banco do Brasil e Fundação Rio Rural, já instalaram mais de 10.000 FSB em parceria com a Embrapa, fazendo da fossa séptica uma tecnologia consolidada para o tratamento da água residuária de vasos sanitários (SILVA, MARMO e LEONEL, 2017).

Para uma casa com cinco ou menos ocupantes, o sistema deve ser formado por pelo menos três caixas de fibra de vidro de 1000 litros, sendo as duas primeiras caixas responsáveis pelo processo de tratamento da água negra, denominadas de módulos de fermentação. A terceira caixa receberá a água residuária tratada, o efluente de esgoto tratado (EET) (Figura 1). O sistema é hermeticamente fechado, não ocorrendo a entrada de ar, possibilitando assim a digestão anaeróbica. Para casas que possuem mais de cinco ocupantes, é necessário adicionar módulos de fermentação para garantir um eficiente tratamento da água residuária. A cada 2,5 pessoas a mais, é necessário a adição de mais um módulo de fermentação. O sistema possui uma válvula de retenção antes da primeira caixa para evitar a volta do esgoto; um tê de inspeção para verificar a ocorrência de obstrução do sistema; e válvulas de alívio da pressão, por se tratar de um sistema anaeróbico, que produz gases. A caixa de fibra de vidro não se deforma (é resistente à pressão realizada pelo solo e as altas temperaturas), é leve e de baixo custo (SILVA, MARMO e LEONEL, 2017).

Figura 1 – Sistema de tratamento de água negra pela fossa séptica biodigestora



Fonte: Pedro Alcantara, 2022.

As caixas devem ser enterradas, com sua borda 10 cm acima do nível do solo. Isso é necessário para manter a temperatura do sistema constante, o que contribui

para que o processo de digestão anaeróbica ocorra da maneira correta, com seu intervalo de temperatura ideal entre 30 e 37°C. É recomendável a pintura das caixas com tinta asfáltica, para que possa absorver radiação solar e auxiliar na manutenção da temperatura estável (GALINDO et al., 2019). A segunda caixa deve ser instalada um pouco mais baixa que a primeira e terceira mais baixa que a segunda, para favorecer a passagem da água residuária entre as caixas.

O processo de tratamento que ocorre nos módulos de fermentação é por meio de digestão anaeróbica, sem a presença de ar. Para ativar o sistema, após a montagem, devem ser adicionados 10 litros de esterco bovino fresco pela válvula de retenção, e para manutenção, a cada 30 dias devem ser adicionados cinco litros de esterco bovino fresco aos módulos de fermentação. A injeção do esterco acaba agregando ao sistema bactérias celulolíticas, hemicelulolíticas, pectinolíticas, amilolíticas e ureolíticas, que habitam no rúmen dos bovinos e estão presentes em suas fezes (RUIZ, 1992). Essas bactérias são responsáveis por degradar a biomassa, reduzir possíveis odores e realizar o tratamento da água residuária, além de determinar a qualidade do efluente (FAUSTINO, 2007).

A realização da aplicação do esterco bovino é de suma importância para permitir a digestão de todo material sólido do sistema, não sendo necessário realizar o esgotamento dos módulos de fermentação (SILVA, MARMO e LEONEL, 2017; GALINDO et al., 2019).

Uma das principais preocupações do uso do EET na agricultura refere-se a possíveis patógenos que podem estar presente no biofertilizante e levar a contaminação da planta, solo, água e pessoas, causando um problema de saúde pública. No entanto, a fossa séptica biodigestora é capaz de fazer o tratamento da água residuária, remover a maior parte desses patógenos, produzindo o EET na terceira caixa com níveis aceitáveis para ser utilizado na agricultura. Segundo Oliveira (2018a), a FSB é capaz de remover 3,63Log10, 1,2Log10, 3,06Log10 e 2,5Log10 de coliformes termotolerantes, *Salmonella sp.*, *Enterococcus spp.* e adenovírus humanos, respectivamente. A *Escherichia coli* obteve valor de $2,8 \times 10^4$ NMP 100 ml⁻¹, e para a Organização Mundial de Saúde (OMS), essa concentração é considerada segura, pois está abaixo de 10^5 NMP 100 ml⁻¹ de *E. coli*. Assim, o EET da FSB pode ser recomendado para realização de irrigação via solo de culturas de porte alto, com a parte da planta a ser aproveitada desenvolvendo-se distante do solo, como o milho, milheto, sorgo e frutíferas (WHO, 2005).

Para que o tratamento da água residuária ocorra com máxima eficiência, deve-se evitar a limpeza de vasos sanitários com produtos à base de cloro, pois essa substância é nociva aos microrganismos presentes na FSB. Podem ser utilizados detergentes e álcool, mas em baixas quantidades. Materiais sólidos que podem causar o entupimento do sistema, como papel higiênico, lenços umedecidos ou qualquer outro material sólido não podem ser jogados em vasos sanitários que abastecem fossas sépticas biodigestoras (SILVA, MARMO e LEONEL, 2017; GALINDO et al., 2019).

O efluente de esgoto tratado (EET) produzido pela fossa séptica biodigestora pode ser utilizado na fertirrigação de algumas culturas. O EET oriundo da FSB é rico em macronutrientes, principalmente nitrogênio, e em menor quantidade fósforo e potássio, contém também cálcio e matéria orgânica. A FSB além de resolver o problema do saneamento básico rural, disponibiliza ao produtor uma fonte de nutrientes e de água. A utilização do EET nas culturas como fonte de nutrientes e água, pode diminuir os custos da utilização de adubos químicos, principalmente as fontes de nitrogênio; maximizar os lucros do produtor; e gerar benefícios aos atributos químicos e biológicos do solo (SILVA, MARMO e LEONEL, 2017).

A distribuição do EET deve ser realizada por meio da fertirrigação, e os sistemas recomendados para a realização desse processo são a irrigação por superfície (sulcos) ou localizada (superficial ou subsuperficial). Esses sistemas de irrigação aplicam a EET diretamente no solo, evitando o contato direto com a parte aérea da planta, com o operador do sistema de irrigação e a contaminação caso o tratamento da água residuária não tenha sido realizado da maneira correta. A utilização de irrigações que usam a aspersão como meio de distribuição não é recomendada, pois podem emitir aerossóis, o que possibilita o contato do EET com a parte aérea da planta e com seres vivos (JESUS et al., 2020).

2.6 Irrigação por sulcos

A irrigação por sulcos consiste na aplicação de água por meio de canais com sifões, canais com saídas laterais, canais com desvio manual e tubos janelados, em pequenos canais ou sulcos paralelos as linhas de plantio (TESTEZLAF, 2017). A infiltração acontece no sentido horizontal e vertical ao longo do perímetro molhado, umedecendo o solo. Os sulcos podem ser classificados em simples, comuns, em

zigue-zague, em corrugação, em contorno e em nível (MANTOVANI, BERNADO e PALARETTI, 2013).

Diferente da irrigação por aspersão, os sulcos não umedecem toda a área irrigada, irrigando apenas de 30 a 80% da superfície do solo, evitando perdas por evaporação, reduzindo a formação de crostas em solos argilosos e possibilitando a colheita em áreas após serem irrigadas (BERNADO, SOARES e MANTOVANI, 2009). A formatação dos sulcos varia de acordo com a cultura a ser utilizada, podendo ter formato triangular ou trapezoidal. Os sulcos triangulares possuem profundidade que varia entre 15 a 25 cm e largura do espelho d'água de 20 a 30 cm, enquanto que os sulcos trapezoidais a profundidade, largura do espelho d'água e largura da base do sulco são de 5 a 15 cm, 30 a 40 cm e 15 a 25 cm, respectivamente (MANTOVANI, BERNADO e PALARETTI, 2013; AZEVEDO NETO e FERNÁNDEZ Y FERNÁNDEZ, 2018).

Segundo Scaloppi (2003), a irrigação por sulcos possui vantagens como menor necessidade de mão de obra especializada para manejo do sistema; menor custo anual em relação aos outros sistemas de irrigação; possibilidade de emprego em quase todas as culturas; utilização de água com condições físicas e biológicas menores; e não interferência na aplicação de defensivos agrícolas na parte área da planta. Como desvantagens, apresenta um potencial de erosão do solo; maior perda de água por escoamento superficial; custo inicial alto; a possibilidade de salinização do solo em sistemas mal manejado; a dificuldade para automação e para utilização de mecanização agrícola.

A declividade é um fator importante para que a irrigação por sulcos seja eficiente, e o desnível a favor do sulco entre 0 e 2% favorece o avanço gradual da água e evita erosão excessiva nos sulcos (BERNADO, SOARES e MANTOVANI, 2009). A vazão utilizada nos sulcos deve ser a máxima vazão que não cause erosão no sistema, variando geralmente entre 0,2 e 2,0 L s⁻¹. Uma alternativa para evitar perdas excessivas por percolação pode ser a diminuição da vazão pelo uso de vazão reduzida ou de fluxo intermitente, à medida que o solo for saturando com o tempo de irrigação (TESTEZLAF, 2017).

O comprimento dos sulcos de irrigação está diretamente ligado ao declive da área, textura do solo, a cultura a ser irrigada e a vazão utilizada, e costumam ser entre 50 a 300m. Em sulcos com declividade abaixo de 0,3%, o comprimento do sulco pode ser aumentado com o aumento da declividade e em sulcos com declividade maior que

0,3%, o comprimento deve diminuir com o aumento da declividade (AZEVEDO NETO e FERNÁNDEZ Y FERNÁNDEZ, 2018). O espaçamento entre sulcos pode variar de 0,3 a 1,8m, dependendo da cultura utilizada, do umedecimento do solo e de tratamentos culturais a serem realizados. A escolha do espaçamento tem que ser realizada de forma que favoreça a infiltração lateral, umedecendo a zona radicular e evitando o umedecimento das zonas abaixo da raiz (TESTEZLAF, 2017).

A irrigação por sulco é dividida em fases, sendo elas a de avanço, reposição, depleção e de recessão. A fase de avanço inicia quando água é aplicada no sulco e dura até que chegue ao final do sulco. A reposição é o período entre o final da fase de avanço e o momento em que a irrigação é cortada no início do sulco. A depleção inicia no momento em que a vazão do sistema é desligada e dura até o aparecimento de algum ponto da superfície do solo no sulco. A última fase, a recessão inicia no momento em que termina a fase de depleção e vai até a infiltração total da água no solo (LEVIEN, 2003).

2.7 Clorofila

Em plantas superiores, a clorofila está presente nos cloroplastos e em outros tecidos vegetais e são os pigmentos mais abundantes nas folhas, com a principal função de absorver a energia solar, a qual é convertida em energia química durante a fotossíntese (BORRMANN, 2009).

A fotossíntese ocorre em dois sistemas: na presença de luminosidade, com absorção de energia solar pela clorofila e outros pigmentos fotossintetizantes e conservados como adenosina trifosfato (ATP) e fosfato de dinucleótido de nicotinamida e adenina (NADPH); e na ausência de luminosidade, com reações de fixação de carbono, com o ATP e o NADPH sendo utilizados para reduzir CO₂ e formar glicose e outros compostos orgânicos (BORRMANN, 2009).

As clorofilas *a* e *b* são pigmentos de suma importância para a realização do processo de fotossíntese. A clorofila *a* é responsável pela realização da etapa fotoquímica da fotossíntese e é responsável por 75% dos pigmentos verdes, enquanto que a clorofila *b* absorve energia solar e a transfere rapidamente para a clorofila *a*, atuando como um pigmento complementar. As clorofilas *a* e *b* estão na proporção de 3:1, respectivamente (STREIT et al., 2005; BORRMANN, 2009).

A faixa de absorção das clorofilas *a* e *b* é de 400 a 450 nm e 450 a 480, respectivamente (TAIZ et al., 2017). A absorção em faixas diferentes é importante, pois mesmo em condições de baixa luminosidade a planta continua absorvendo energia solar e realizando o processo de fotossíntese.

A produção de clorofila pelo milho é uma resposta importante para a adubação realizada na cultura, principalmente a nitrogenada. Como o nitrogênio atua diretamente na constituição das moléculas de clorofila, por meio do composto nitrogenado glutamato, precursor de aminoácidos essenciais e do ácido δ -amino-levulínico, a sua deficiência leva a baixa produção de glutamato e influencia diretamente nos níveis de clorofila na planta (COELHO et al., 2010).

Por meio das leituras dos teores de clorofila na folha com equipamentos portáteis, é possível realizar uma análise dos teores de nutrientes nas folhas, principalmente o nitrogênio. Pode-se detectar o estado nutricional das plantas e tomar a melhor decisão quando ao manejo de adubação, realizando a aplicação no momento e na quantidade correta, evitando desperdícios e diminuindo os custos de produção (ARGENTA et al., 2001). Existe uma alta correlação entre os teores de nitrogênio e de clorofila na folha de milho (ARGENTA et al., 2003; SEGATTO et al., 2017; ALVES et al., 2021).

2.8 Área foliar

O milho é uma planta que possui metabolismo C4, possuindo alta eficiência a absorção de luz solar. As plantas C4 são classificadas em três grupos quanto à descarboxilação da bainha vascular. Por possuir menor espaço entre as lamelas e área suberizada, o milho está alocado no grupo que apresenta maior eficiência no uso da radiação solar ($64,5$ a $69 \mu\text{mol mol}^{-1}$), enquanto os demais grupos apresentam valores próximos a $52,6$ e a $60,4 \mu\text{mol mol}^{-1}$ (BRAGA et al., 2021).

A área foliar (AF) é um parâmetro de grande importância para a cultura do milho. O baixo desenvolvimento da área foliar afeta diretamente na capacidade de interceptação de radiação fotossinteticamente ativa, interferindo na eficiência fotossintética da planta, no acúmulo de fotoassimilados nas folhas, na produção de biomassa seca e no rendimento de grãos (ALVIM et al., 2011).

A área foliar depende da quantidade de folhas presente na planta, dos seus tamanhos e em qual estágio fenológico a planta se encontra. Os melhores valores de

área foliar são conseguidos de acordo com o manejo de adubação, condições climáticas, espaçamento utilizado entre plantas e fileiras e, principalmente, o material genético escolhido (SANGOI, 2001; MANFRON et al., 2003).

A área foliar do milho durante o período vegetativo apresenta crescimento até o florescimento, quando atinge o seu valor máximo e o mantém até após a emissão da folha bandeira (inflorescência masculina). Durante a fase reprodutiva a área começa a diminuir devido ao processo natural de senescência da planta; quanto mais rápido a máxima área foliar for atingida e mantida por um alto tempo, maiores são as chances de ocorrerem altos rendimentos de grãos (MAFRON et al., 2003).

A parte superior da planta de milho tem 40% do total de folhas; no entanto, a perda de área foliar nas folhas superiores durante o estágio fenológico R2 influencia mais na produtividade de grãos comparado a desfolha da parte inferior da planta, uma vez que 50% dos carboidratos que são encontrados nos grãos são oriundos das folhas superiores da planta, e 30 e 20% são advindos da parte média e das folhas basais, respectivamente (FORNASIERI FILHO, 2007; ALVIM et al., 2010). Essas informações são corroboradas por Viecelli et al. (2011), que ao avaliarem o efeito da desfolha no rendimento de grãos na cultura do milho, observaram que a retirada de 11 folhas da parte inferior e 9 folhas da parte superior da planta geraram perdas de produtividade de 38,2 e 62,5%, respectivamente.

2.9 Índice de vegetação

Os índices de vegetação permitem a avaliação do desenvolvimento vegetal com base em modelos matemáticos, por meio da relação de assinaturas espectrais com parâmetros qualitativos ou quantitativos, o que possibilita analisar mudanças na escala temporal em áreas que podem abranger uma propriedade até o globo terrestre (BARBOSA, 2006).

Os índices de vegetação podem ser utilizados como indicadores do vigor de vegetação e de crescimento, que possuem alta correlação com outros parâmetros de grande importância para a planta, como teor de clorofila, índice de área foliar, área coberta do solo, atividade fotossintética, acúmulo de biomassa, status nutricional, arquitetura da planta e produtividade (PONZONI, 2001; ABRAHÃO et al., 2009). Existe uma grande quantidade de índices de vegetação que podem ser utilizados para estimar o índice de vigor, como o índice de vegetação por diferença normalizada

(NDVI) e o índice de vegetação por diferença normalizada pelo vermelho limítrofe (NDRE)

O NDVI foi proposto por Rouse et al. (1973) e possui um espectral que diferencia a vegetação verde do solo, sendo utilizado com frequência para o acompanhamento da cobertura vegetal de culturas comerciais e associação com variáveis agrônomicas (MOTTA, FONTANA e WEBER, 2003; MARCUSSI et al., 2010). O cálculo do NDVI é realizado com os valores de reflectância do espectro do vermelho e ao infravermelho próximo, com resultados obtidos na faixa de -1 a 1. Os valores de NDVI entre -1 e 0 são de leituras realizadas em corpos hídricos e áreas úmidas, enquanto que entre os valores de 0 a 1, os mais próximos de zero correspondem ao solo exposto, sem vegetação, e os mais próximos de 1 representam a resposta espectral do dossel das culturas, indicando maior índice de vigor da cultura, teor de clorofila, acúmulo de matéria seca e produtividade da cultura (LOBATO et al., 2010; RISSINI, KAWAHAMI e GENÚ, 2015; TEIXEIRA, 2019).

O NDRE foi proposto por BARNES et al. (2000) e o cálculo desse índice de vegetação explora a banda do vermelho limítrofe. O NDRE é menos susceptível a variação da clorofila, pois é menos sensível a saturação em culturas de porte alto e de elevada biomassa, pois a medida do NDVI em culturas de porte alto apresenta uma saturação da banda que ocorre no início da fase reprodutiva (TEIXEIRA, 2019; SAMPAIO et al., 2021). As leituras espectrais com o NDRE são menos sensíveis a saturação pelo fato da banda vermelho limítrofe conseguir penetrar nas camadas de folhas inferiores da planta (MICHELON et al., 2019),

2.10 Efeitos da aplicação do EET no solo

2.10.1 Parâmetros químicos do solo

A composição do EET e o seu uso para fertirrigação de culturas podem causar alterações nos atributos químicos do solo, como potencial hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica do solo (CE), matéria orgânica, capacidade de troca de cátions (CTC), alumínio trocável e saturação de alumínio, e adicionar macro e micronutrientes que são utilizados para extração e nutrição das plantas e que também contribuem para alterar a soma de bases do solo (SB).

O pH é a medida da quantidade de prótons (H^+) presentes na solução do solo, sendo que a faixa ideal de valores de pH do solo para o cultivo do milho é de 5,4 a 6,0 e de 6,0 a 7,0 para pH em $CaCl_2$ e H_2O , respectivamente (PREZOTI e GUARÇONI, 2013). Essa faixa ideal de pH é de suma importância para a disponibilidade dos nutrientes no solo, pois a disponibilização de nitrogênio e fósforo acontece próximo ao pH de 5,4 ($CaCl_2$) e 7,0 (H_2O), e em solos ácidos ocorre a imobilização de fósforo no solo, impossibilitando a absorção necessária desse nutriente pela planta, comprometendo o seu desenvolvimento.

A alteração do pH do solo pode ocorrer pela absorção de bases presentes neste meio, degradação da matéria orgânica e exsudação de ácidos orgânicos. A aplicação de fontes minerais de nitrogênio, como a ureia e o sulfato de amônio, pode diminuir o pH do solo, pois a cada molécula de nitrogênio que reage são liberados dois e quatro prótons no solo, respectivamente.

Existem vários dados na literatura que indicam que o uso do EET como biofertilizante é capaz de aumentar ou de diminuir o pH do solo, dependendo da composição e do tratamento que foi realizado para obter o EET. Oliveira e Fia (2019) e Santos et al. (2021) observaram o aumento do pH (redução da acidez) do solo com o uso do EET. Dependendo da composição do efluente, o mesmo pode possuir pH básico, adicionar cátions e ânions ao solo e pelo processo de descarboxilação e desaminação da matéria orgânica, induzir o consumo de prótons do solo (STEWART, HOPMANS e FLINN, 1990; YAN, SCHUBERT e MENGEL, 1996). Santos et al. (2018b) e Salgado et al. (2018) relataram a redução do pH com a aplicação de EET ao solo, devido a degradação de resíduos biodegradáveis que produzem CO_2 e ácidos orgânicos no solo (BOUWER, 2000).

A matéria orgânica tem um papel importante no solo, pelo fornecimento de nutrientes, aumento da capacidade de troca de cátions (CTC), auxílio a permeabilidade da água e sua retenção, e agregação de partículas. Solos com altos teores de matéria orgânica contribuem para altas produtividades das culturas (SILVA et al., 2019). No entanto, a literatura diverge quanto ao incremento de matéria orgânica no solo pelo uso do EET. Garcia et al. (2012) e Santos et al. (2018b) utilizaram o EET na irrigação e observaram aumento do teor de matéria orgânica no solo ao final do ciclo. Fortes Neto et al. (2013), Rebouças et al. (2018) e Mota e Silva, Oliveira e Fia (2019) obtiveram resultados contrários ao aplicarem o EET, observando a diminuição dos níveis de matéria orgânica no solo.

O uso do EET como biofertilizante pode gerar outros benefícios ao solo. Queiroz et al. (2004) utilizaram o EET de dejetos suínos e promoveram o aumento da CTC e soma de bases do solo, mas houve também o aumento do alumínio trocável e redução da saturação de bases. Santos et al. (2018b) observaram o aumento da CTC do solo, utilizando proporções de 50 e 100% de EET. Lacerda et al. (2022) reportaram o aumento da CTC, soma de bases, saturação de bases e redução do alumínio trocável.

2.10.2 Parâmetros biológicos do solo

O solo é um local onde habitam uma variada gama de organismos, os quais são classificados desde microrganismos até animais invertebrados. Esses organismos que vivem no solo e desempenham importantes funções são conhecidos como a microbiota do solo, e as suas formas, tamanhos e metabolismos variam de acordo com cada espécie (RIBAS e FORTES NETO, 2008). A alteração da população de microrganismos pode afetar diretamente a qualidade do solo (CAVINATTO e PAGANINI, 2007).

Mesmo após a realização do tratamento da água residuária, está presente na composição do EET uma alta carga de microrganismos, que auxilia em alguns processos importantes para o solo, como a mineralização da matéria orgânica presente e a que está sendo adicionado pela EET, e a ciclagem de nutrientes, que pode aumentar a fertilidade do solo (CYPRIANO et al., 2019). Os microrganismos tem importante papel no ciclo do nitrogênio no solo, atuando no processo de fixação do nitrogênio, nitrificação, desnitrificação, mineralização e imobilização (MELLONI et al., 2000).

Também ocorre a entrada de microrganismos patogênicos, como coliformes termotolerante. No entanto, o solo atua como neutralizador desses agentes, por meio da atuação de rizobactérias, que compete por espaço e nutrientes, conseguindo uma alta eficiência na remoção desses patógenos (RIBAS e FORTES NETO, 2008).

Nogueira et al. (2005), observaram o aumento da atividade metabólica microbiana em área irrigadas com EET, devido ao aumento da umidade e do nitrogênio, criando uma condição propícia para a atuação dos microrganismos. Nazário et al. (2018), avaliaram os efeitos do EET na irrigação da cana-de-açúcar e encontraram aumento da massa microbiana do solo. Simões et al. (2013), também

encontraram aumento da atividade microbiana do solo mediante aplicação de doses crescentes de EET, e aumento da produção de CO₂ no solo devido a respiração microbiana. De acordo os mesmos autores, a maior parte dos microrganismos que habitam o solo é heterotrófica, com a adição de fonte de carbono e nitrogênio junto ao EET, o que propicia condições favoráveis ao aumento da população microbiana pela disponibilidade de substrato a ser decomposto no solo.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área experimental

O experimento foi desenvolvido no município de São Carlos-SP, na área experimental do Laboratório de Referência Nacional em Agricultura de Precisão (LANAPRE), pertencente à Embrapa Instrumentação, no período de setembro a dezembro de 2021 (ciclo de produção de verão ou safra) e de março a junho de 2022 (ciclo de verão e outono ou safrinha). A localidade apresenta as coordenadas geográficas de 21°57'13.77" S 47°51'16.54" O e altitude de 873 m

A área experimental está inserida no topo das cuestas basálticas (BARBOSA, 2009). Apresenta um inverno seco (Cw) e um verão quente (Cwa) (Alvares et al., 2013). Possui uma precipitação média anual de 1361,6 mm, temperatura máxima, mínima e média anuais são de 27,1, 15,8 e 21,5, respectivamente (EMBRAPA, 2022). O local possui como bioma predominante o Cerrado e o solo classificado como Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico (SARTORELLI et al., 2007). Na profundidade de 0 a 20 cm, o solo apresentou 31,5% de areia, 5,7% de silte e 62,8 % de argila, sendo classificado como textura franco argilo arenosa.

3.2 Delineamento Experimental

O experimento foi desenvolvido na área onde o projeto de pesquisa sobre uso de EET como biofertilizante para o milho vem sendo desenvolvido desde o ano de 2014. O estudo foi montado em blocos casualizados ao acaso (DBC), com doze parcelas experimentais, dividido em três blocos, com cada bloco contendo 4 parcelas. As parcelas experimentais possuíam 43,2 m², com 9 metros de comprimento e 4,8 m de largura. Cada parcela apresentava seis fileiras de plantas espaçadas em 0,8 m e espaçamento entre plantas de 0,18 m, o que resultou em 5,56 plantas m⁻¹ e área útil de cada planta de 0,144 m². O stand de plantas foi formado por 69.444 plantas ha⁻¹. Para as avaliações que foram realizadas nesse trabalho, foram descartadas um metro do início e fim de cada fileira e as linhas extremas (bordaduras), sendo utilizada apenas a área útil composta por quatro fileiras centrais com 7 m de comprimento (22,4 m²).

Quatro tratamentos foram empregados. No tratamento NPK foram aplicados nitrogênio, fosforo e potássio tendo como fontes os adubos minerais ureia (45% de N), superfosfato simples (18% de P_2O_5) e cloreto de potássio (60% de K_2O), respectivamente. No tratamento EfPK foram aplicados efluente de esgoto tratado (EET) como fonte de nitrogênio, fósforo e potássio orgânicos, e foram complementados com os adubos minerais superfosfato simples (18% de P_2O_5) e cloreto de potássio (60% de K_2O) como fonte de fosforo e potássio, respectivamente. No tratamento Ef foi aplicado somente o EET, como fonte de nitrogênio, fósforo e potássio orgânicos. No tratamento Controle não foi realizado nenhum tipo de adubação.

3.3 Fossa séptica biodigestora (FSB) e efluente de esgoto tratado (EET)

O efluente de esgoto tratado (EET) usado no experimento foi oriundo do sistema de tratamento de água negra, a fossa séptica biodigestora (FSB), desenvolvida pela Embrapa Instrumentação e instaladas no LANAPRE. O sistema de tratamento de água negra consiste de quatro caixas de polietileno de 7.500 litros cada. As caixas se comunicam entre si por meio de um tubo, sendo que as duas primeiras caixas foram responsáveis por realizar o tratamento da água negra, por meio da fermentação anaeróbica, onde há a atuação de microrganismos responsáveis pelo tratamento e digestão dos resíduos sólidos. A cada 30 dias foram adicionados 5 litros de esterco bovino ao sistema para renovar a carga de microrganismos. As duas últimas caixas armazenaram o EET para ser utilizado na fertirrigação.

Antes do início do ciclo de produção do milho, amostras do EET foram coletadas para análise no Laboratório de Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, em São Carlos - SP. As análises foram realizadas seguindo a metodologia do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, determinação de coliformes totais e termotolerantes - método SMWW 9223 B, cálcio - SMWW 3111 D, DBO - SMWW 5210 B, DBQ - SMWW 5220 D, fosfato total - SMWW 4500-P E, fósforo - SMWW 4500-P E, nitrogênio amoniacal - SMWW 4500-NH₃ C, nitrogênio nitrato - SMWW 4500-NO³ - C, nitrogênio nitrito - SMWW 4500-NO₂ - B, nitrogênio total - SMWW 4500-NTK B, pH - SMWW 4500-H+ B, potássio - SMWW 3500-K B e sódio - SMWW 3500-Na B. (APHA, 2017). O EET utilizado nos dois ciclos experimentais tem a composição descrita na Tabela 1 (Safrá)

e Tabela 2 (Safrinha). Os valores de *E. coli* NMP 100 ml⁻¹ estão abaixo do limite de $\leq 10^5$, sendo o uso desses efluentes seguros para irrigação de culturas de porte alto com irrigação por sulcos (WHO, 2005).

Tabela 1 – Composição do efluente de esgoto tratado (EET) utilizado na fertirrigação do milho na safra de setembro a dezembro de 2021.

Nitrogênio amoniacal	mg L ⁻¹	58,0
Nitrogênio nitrato	mg L ⁻¹	5,74
Nitrogênio nitrito	mg L ⁻¹	1,26
Nitrogênio total	mg L ⁻¹	65,0
Fósforo total	mg L ⁻¹	24,0
Potássio	mg L ⁻¹	62,0
Cálcio	mg L ⁻¹	35,66
Sódio	mg L ⁻¹	79,0
DBO	mg L ⁻¹	18
DQO	mg L ⁻¹	39
Coliformes totais	(NMP 100ml ⁻¹)	2,4 x 10 ⁴
<i>Escherichia coli</i>	(NMP 100ml ⁻¹)	1,3 x 10 ³

DBO: demanda biológica de oxigênio; DQO: demanda química de oxigênio; NMP: número mais provável.

Tabela 2 – Composição do efluente de esgoto tratado (EET) utilizado na fertirrigação do milho na safrinha de março a junho de 2022.

Nitrogênio amoniacal	mg L ⁻¹	52,0
Nitrogênio nitrato	mg L ⁻¹	0,5
Nitrogênio nitrito	mg L ⁻¹	0,5
Nitrogênio total	mg L ⁻¹	53,0
Fósforo total	mg L ⁻¹	28,6
Potássio	mg L ⁻¹	19,7
Cálcio	mg L ⁻¹	45,5
Sódio	mg L ⁻¹	35,8
DBO	mg L ⁻¹	27
DQO	mg L ⁻¹	56
Coliformes totais	(NMP 100ml ⁻¹)	2,8 x 10 ³
<i>Escherichia coli</i>	(NMP 100ml ⁻¹)	9,2 x 10 ²

DBO: demanda biológica de oxigênio; DQO: demanda química de oxigênio; NMP: número mais provável.

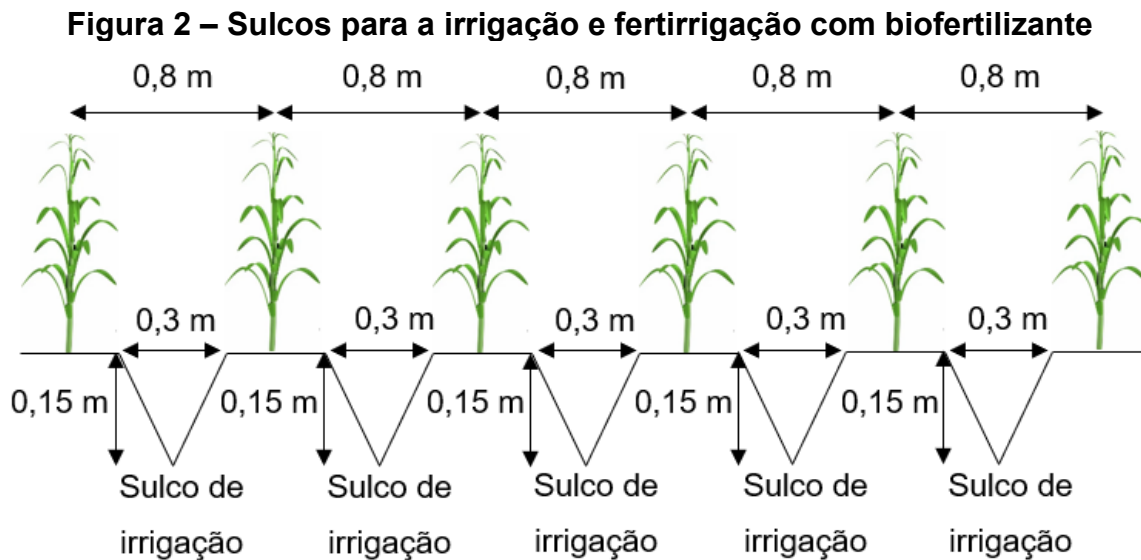
3.4 Dados climáticos

Os dados climáticos utilizados para realizar o manejo de irrigação do experimento foram registrados por uma estação agrometeorológica automática localizada na Embrapa Pecuária Sudeste, no município de São Carlos-SP. A estação está a 1,65 km da área experimental, nas coordenadas geográficas de 21°57'42" S e 47°50'28" O e a uma altitude de 860m. Foram utilizados os registros de temperatura máxima e mínima do ar, precipitação e ETo, calculado pelo método de Penman-Monteith FAO (PM-FAO 56), Boletim 56 da FAO (ALLEN et al.,1998).

3.5 Irrigação e manejo de irrigação

O sistema de irrigação utilizado para ser realizar a distribuição de lâmina de água e EET foi a de sulcos. A construção dos sulcos foi realizada logo após a emergência do milho, para não causar injúrias nas raízes das plantas. Inicialmente foi usado um escarificador a 0,15 m de profundidade e posteriormente a forma triangular dos sulcos foi obtida com auxílio de enxadas. A largura superior da lâmina d'água foi de 0,3 m (Figura 2). Os sulcos de irrigação possuíam 9 metros de comprimento, com

0,8% de declividade, aproveitando o desnível já presente nas parcelas. A vazão utilizada por sulco foi de $0,68 \text{ l s}^{-1}$, encontrada por meio de teste de vazão, respeitando a vazão máxima não erosiva ($q_{\text{máx}}$) (Equação 1) (MANTOVANI, BERNADO e PALARETTI, 2013).



Fonte: Pedro Alcantara, 2022

$$q_{\text{máx}} = \frac{0,631}{S} \quad (1)$$

Onde:

$q_{\text{máx}}$ = vazão máxima não erosiva por sulco, em l s^{-1} .

S = declividade do sulco, em porcentagem.

Cada parcela experimental foi composta por cinco sulcos, irrigadas por meio de um tubo janelado de PVC de 2 polegadas, com cinco saídas espaçadas a 0,8 m. O tubo janelado foi abastecido com água advinda de um reservatório montado em uma carreta agrícola, com uma bomba acoplada, ligada por meio de um eixo cardã a tomada de potência (TDP) de um trator. No momento da irrigação, foi acionado a TDP do trator e o movimento de giro do motor (rotação mínima) gerava uma vazão de $0,68 \text{ l s}^{-1}$, sendo aferido a vazão por tubo janelado.

A curva de retenção de água no solo foi determinada pelo método de distribuição cumulativa de partículas solidas, utilizando a metodologia da função

simplificada ajustada de Pham e Fredlund (2008). Os dados foram obtidos a partir da fração da granulométrica do solo, por meio de um analisador automático de raios gama (VAZ et al., 1992; NAIME et al., 2001). Utilizando a metodologia ajustada de equação unimodal de Fredlund et al. (2000) foi determinada a distribuição do tamanho das partículas solidas de diferentes tamanhos, das porcentagens obtidas pelo analisador de raios gama. A fórmula foi baseada na relação entre o conteúdo volumétrico de água (θ) e o potencial matricial (ψ_m), segundo a metodologia proposta por Arya e Paris (1981), descrito por Vaz et al. (2005).

Os valores de capacidade de campo (θ_{CC}) e ponto de murcha permanente (θ_{PMP}) foram considerados os correspondentes os valores de 23,06% (θ_{CC}) e 15,48% (θ_{PMP}), correspondentes respectivamente às tensões de 1/3 atm (33 kPa) e 15 atm (1500 kPa) (BERNADO, SOARES e MANTOVANI, 2009). A profundidade radicular efetiva (Z) e o fator de depleção para a cultura do milho foram de 40 cm e 0,6, respectivamente (ANDRADE e ALBUQUERQUE, 2015). A capacidade real de água (CRA) ou quantidade de água disponível para a planta foi calculada pela equação 2.

$$CRA = (\theta_{CC} - \theta_{PMP}) \times Z \times f \quad (2)$$

Onde:

CRA = capacidade real de água no solo, mm.

θ_{CC} = Umidade na capacidade de campo, em decimais.

θ_{PMP} = Umidade no ponto de murcha permanente, em decimais.

Z = profundidade efetiva radicular, mm.

f = fator de depleção de água no solo.

A capacidade real de água no solo calculada foi de 18,19 mm, sendo esse valor utilizado como água disponível para as plantas e para manejar a irrigação do experimento. Próximo à utilização de água da lâmina de 18,19 mm, eram realizadas novas irrigações. Em casos de ocorrência de precipitações que faziam com que a umidade do solo ultrapassasse o valor da capacidade de campo, foi adicionado a CRA 20% do seu valor para definir o quanto de água excedente foi utilizada pelas plantas. Nesses casos, a CRA máxima foi de 21,83 mm (Equação 3).

$$CRA_{MÁXIMA} = (0,2 \times CRA) + CRA \quad (3)$$

Quanto ao armazenamento de água no solo, a capacidade de campo, capacidade real de água no solo, o ponto de murcha permanente e o excedente de água aproveitado em casos de precipitações com altas magnitudes foram de 92,24, 74,05, 61,92 e 95,88mm, respectivamente.

A equação de infiltração de água no solo foi determinada de acordo com os dados de infiltração coletados em campo e determinadas pela equação potencial de Kostiakov (Equação 7), calculadas seguindo as equações 4, 5 e 6.

$$n = \frac{\frac{\sum xy - \frac{\sum x \cdot \sum y}{N}}{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{N}}}{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{N}} \quad (4)$$

$$a = y - n * x \quad (5)$$

$$k = \text{antilog}(a) \quad (6)$$

$$I = K \times T_o^n \quad (7)$$

Onde:

I = lâmina de CRA a ser infiltrada, em mm,

To = tempo de oportunidade, em minutos.

Foi realizado teste do tempo de avanço (Ta) da água no sulco, com tempo de 2 minutos (Equação 8). A lâmina de irrigação foi calculada com base na equação 9.

$$T_i = T_o + T_a \quad (8)$$

Onde;

Ti = tempo de irrigação, em minutos,

To = tempo de oportunidade, em minutos,

Ta = tempo de avanço, em minutos.

$$Lm = \frac{T_i \times q \times 60}{C \times L} \quad (9)$$

Onde:

Lm = lâmina média aplicada, por sulco, em mm.

q = vazão constante aplicada, por sulco, em $l\ s^{-1}$.

T_i = tempo de irrigação, em minutos.

C = comprimento do sulco, em metros.

L = espaçamentos entre sulcos, em metros.

O manejo de irrigação foi realizado por meio do cálculo da evapotranspiração da cultura (ET_c) (Equação 10). A partir dos dados de ET_o coletados na estação agrometeorológica automática e dos valores de K_c (Tabela 2), publicados no Boletim 56 da FAO (ALLEN et al., 1998).

$$ET_c = ET_o \times K_c \quad (10)$$

Onde:

ET_c = Evapotranspiração da cultura, em $mm\ dia^{-1}$.

ET_o = Evapotranspiração de referência, em $mm\ dia^{-1}$.

K_c = Coeficiente da cultura.

Tabela 3 – Valores de coeficiente da cultura (K_c) considerando os intervalos de dias após emergência (DAE) e estádios fenológicos.

Fases	K_c	DAE	Estádio fenológico
1	0,5	1 a 16	V_E a V_4
2	0,85	17 a 39	V_4 a V_8
3	1,2	40 a 79	V_8 a R_2
4	0,9	80 a 105	R_2 a R_6

V_E : emergência; V_4 : quatro folhas totalmente expandidas; V_8 : oito folhas totalmente expandidas; R_2 : grão leitoso; R_6 : grão em maturidade fisiológica.

Com os valores diários de ET_c , foi realizado o cálculo da capacidade real de água no solo a cada dia. Esse cálculo foi realizado em função da CRA do dia anterior,

da ET_c e da precipitação, caso ocorresse (Equação 11). Foi realizado o somatório diário, até a água no solo chegar próximo ao nível crítico da CRA, sendo aplicada a lâmina de irrigação necessária para o solo alcançar a capacidade de campo.

$$CRA_{DAT} = CRA_{DAN} - ET_c + P \quad (11)$$

CRA_{DAT} = capacidade real de água no solo, no dia atual, em mm.

CRA_{DAN} = capacidade real de água no solo, no dia anterior, em mm.

ET_c = evapotranspiração da cultura, em mm dia⁻¹.

P = precipitação, em mm.

3.6 Análise de solo

Foram realizadas coletas de solo antes do início e ao final de ambos os ciclos de produção do milho e após o fim dos mesmos, na camada de 0 a 20 cm, em dez pontos por parcela, em caminamento por zigue zague. Foram retiradas 500 gramas de solo por amostra, as quais foram acondicionadas em sacos plásticos abertos e secas ao ar livre durante 30 dias. Posteriormente, as amostras foram passadas em peneiras de 2 mm, obtendo terra fina ao ar seco (TFSA) e enviadas ao Laboratório de Solos da Embrapa Pecuária Sudeste, em São Carlos-SP, para determinação de pH em CaCl₂, matéria orgânica (g dm⁻³), fósforo (P) (mg dm⁻³), potássio (K⁺) (mmol_c dm⁻³), cálcio (Ca⁺²) (mmol_c dm⁻³), magnésio (Mg⁺²) (mmol_c dm⁻³), alumínio trocável (Al⁺³) (mmol_c dm⁻³), acidez potencial (H⁺+Al⁺³) (mmol_c dm⁻³), soma de bases (SB) (mmol_c dm⁻³), capacidade de troca de cátions (CTC) (mmol_c dm⁻³), saturação de bases (V%) e saturação de alumínio (m%), segundo a metodologia de Raij et al. (2001).

3.7 Tratos culturais

A semeadura do milho para a safra foi realizada no dia 1 de setembro de 2021 e para a safrinha em 3 de março de 2022, de forma mecanizada com auxílio de um trator acoplado a uma semeadora pantográfica de quatro linhas, com sistema de dosagem de sementes horizontal. A semente utilizada nas duas safras foi o híbrido P4285VYHR, de ciclo precoce, da empresa Pioneer, adaptada a terras altas (atitudes elevadas), com tecnologia a aplicação de glifosato e a ataques de lagarta.

Para a safra, a emergência do milho em campo foi observada no dia 7 de setembro de 2021. Em 21 de setembro de 2021, 15 dias após emergência de plântulas (DAE), foi verificada a quarta folha totalmente expandida (V_4), iniciando o período de adubação de cobertura de forma manual, que foi encerrado em 22 de outubro de 2021 (46 DAE), quando foi constatada a nona folha totalmente expandida (V_9). Para a safrinha, a emergência do milho em campo foi observada no dia 8 de março de 2022. No 24 de março de 2022, 16 dias após emergência de plântulas (DAE), foi verificada a quarta folha totalmente expandida (V_4), iniciando o período de adubação de cobertura, que foi encerrado em 18 de março de 2022 (42 DAE), quando foi constatada a nona folha totalmente expandida (V_9).

Ao longo do ciclo do milho foi verificada a necessidade da aplicação de dois defensivos agrícolas. No dia 6 de outubro de 2022 (30 DAE) e 4 de abril de 2022 (28 DAE) foram realizados a aplicação do herbicida Roundup® Original Mais (577,0 g L⁻¹ sal de di-amônio de N-(phosphonomethyl) glycine, 480,0 g L⁻¹ equivalente ácido de N-(phosphonomethyl) glycine e 678,0 g L⁻¹ de ingredientes inertes), para controle de plantas invasoras na área experimental, com dose de 3,0 L ha⁻¹. No dia 29 de outubro de 2021 (53 DAE) e 1 de abril de 2022 (25 DAE) foram aplicados o fungicida Piori Xtra® (200 g L⁻¹ de azoxistrobina, 80 g L⁻¹ de ciproconazol e 820 g L⁻¹ de ingredientes inertes), para controle na fase inicial da doença mancha-de-phaeosphaeria (*Phaeosphaeria maydis*), com dose de 300,0 mL ha⁻¹.

A emissão da folha bandeira (florescimento do milho) foi observada no dia 5 de novembro de 2021 (60 DAE) e 5 de maio de 2022 (59 DAE), e no dia 20 de dezembro de 2021 (105 DAE) e 20 de junho de 2022 (105 DAE) o milho alcançou o seu estágio fenológico R_6 (período de maturação fisiológica), quando então foi realizada a sua colheita, na safra e safrinha, respectivamente.

3.8 Adubação

A partir dos dados da análise de solo realizada em laboratório (Tabelas 4 e 5), foram determinadas as doses de adubação recomendadas para cada tratamento, de acordo com as recomendações do Boletim 100 (RAIJ et al., 1997).

Tabela 4 – Análise de solo na camada de 0 a 20 cm, utilizado para recomendação de adubação da cultura do milho, no ciclo de setembro a dezembro de 2021 (safrã).

pH	M.O.	P	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Al ⁺³	H ⁺ +Al ⁺³	SB	CTC	V	M
CaCl ₂	g dm ⁻³	mg dm ⁻³	-----mmol _c dm ⁻³ -----					-----%-----			
5,2	24,9	16,9	2	24,8	11,6	0,4	29,5	38,5	68,0	56,3	1,3

pH: potencial hidrogeniônico; M.O.: matéria orgânica; P: fósforo; K⁺: potássio, Ca⁺²: cálcio; Mg⁺²: magnésio; Al⁺³: alumínio trocável; H⁺+Al⁺³: acidez potencial; SB: soma de bases; CTC: capacidade de troca de cátions; V: saturação de bases; m: saturação de alumínio.

Tabela 5 – Análise de solo na camada de 0 a 20 cm, utilizado para recomendação de adubação da cultura do milho, no ciclo de março a junho de 2022 (safrinha).

pH	M.O.	P	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Al ⁺³	H ⁺ +Al ⁺³	SB	CTC	V	M
CaCl ₂	g dm ⁻³	mg dm ⁻³	-----mmol _c dm ⁻³ -----					-----%-----			
5,0	21,3	10,5	1,5	22,3	9,8	0,2	25,9	33,6	59,5	56,4	0,8

pH: potencial hidrogeniônico; M.O.: matéria orgânica; P: fósforo; K⁺: potássio, Ca⁺²: cálcio; Mg⁺²: magnésio; Al⁺³: alumínio trocável; H⁺+Al⁺³: acidez potencial; SB: soma de bases; CTC: capacidade de troca de cátions; V: saturação de bases; m: saturação de alumínio.

No tratamento NPK foram aplicados em cada semeadura (safrã e safrinha) a dose de 10 kg ha⁻¹ de N, 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 50 kg ha⁻¹ de K₂O, enquanto que na adubação em cobertura foram aplicados 30 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 50 kg ha⁻¹ de K₂O. A aplicação de N foi de 40 e 25,76 kg ha⁻¹, respectivamente, para a safrã e a safrinha.

No tratamento EfPK foram aplicados na adubação de semeadura na safrã e na safrinha uma dose de 556 e 500 litros de EET por parcela aos 4 e 15DAE, fornecendo ao solo 8,37 e 6,13 kg ha⁻¹ de N, 3,09 e 3,31 kg ha⁻¹ de P e 7,98 e 2,20 kg ha⁻¹ de K, respectivamente. Ainda na semeadura foi realizada a suplementação com adubação mineral de 56,91 e 56,69 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 42,02 e 47,80 kg ha⁻¹ de K₂O, respectivamente. Na adubação de cobertura foram aplicados 560, 550, 500, 500 e 525 litros e 500, 500, 500, 500, 500 litros por parcela de EET em 18, 22, 25, 32 e 37 DAE e 22, 24, 29, 35 e 42 DAE, respectivamente, fornecendo ao solo um total de 41,63 e 29,62 kg ha⁻¹ de N, 27,00 e 17,56 kg ha⁻¹ de P e 49,82 e 12,17 kg ha⁻¹ K, respectivamente. Ainda na adubação de cobertura foi realizada a suplementação com adubação mineral de 3,01 e 12,43 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 0,18 e 37,82 kg ha⁻¹ de K₂O, respectivamente.

No tratamento Ef foram aplicados na adubação de semeadura na safra e na safrinha uma dose de 556 litros de EET por parcela aos 4 DAE, fornecendo ao solo 8,37 e 6,13 kg ha⁻¹ de N, 3,09 e 3,31 kg ha⁻¹ de P e 7,98 e 2,20 kg ha⁻¹ de K, respectivamente. Na adubação de cobertura foram aplicados 560, 550, 500, 500 e 525 litros por parcela de EET em 18 DAE, 22 DAE, 25 DAE, 32 DAE e 37 DAE, respectivamente, fornecendo ao solo um total de 41,63 e 29,62 kg ha⁻¹ de N, 27,00 e 17,56 kg ha⁻¹ de P e 49,82 e 12,17 kg ha⁻¹ K, respectivamente.

No tratamento Controle não foi adicionado nenhuma dose de qualquer nutriente mineral ou orgânico.

3.9 Parâmetros de produtividade

Dezesseis plantas foram marcadas em cada parcela experimental, dentro da área útil, para a realização de avaliações dos parâmetros de produção do milho.

A massa da espiga sem palha (g) foi determinada por uma balança digital de precisão no momento da colheita do milho, no estágio fenológico R6 (105 DAE tanto para a safra como para a safrinha). Após a secagem dos grãos ao ar livre, a massa de grãos por espiga a 13% de umidade foi determinada utilizando-se a mesma balança digital de precisão. A massa seca de grãos por espiga foi determinada após secagem em estufa de circulação forçada a 60°C, até atingir peso constante.

A produtividade de grãos, em kg ha⁻¹, foi estimada utilizando-se a massa de grãos por espiga a 13% de umidade (Equação 12).

$$PG = \frac{MG \times AH}{AUP} \quad (12)$$

Onde:

PG = produtividade de grãos, em kg ha⁻¹.

MG = massa de grãos a 13% de umidade, em kg.

AH = área de um hectare, em m².

AUP = área útil da planta, em m².

A massa de 100 grãos foi realizada pela contagem manual do número de grãos necessários e posterior determinação com o auxílio de uma balança digital de precisão, em gramas (g).

O comprimento de espiga sem palha foi realizado com o auxílio de um escalímetro graduado na escala de 1:100. As medidas foram realizadas entre a base e o ápice da espiga, em centímetros (cm).

O número de fileiras por espiga e o número de grãos por espiga foram contabilizadas de forma manual.

O diâmetro de espiga sem palha foi realizado com o auxílio de um paquímetro digital, em milímetros (mm). Foram medidos o diâmetro no ápice da espiga (DAE), diâmetro na parte média da espiga (DME) e diâmetro na base da espiga (DBE).

3.10 Altura de planta, diâmetro do colmo, comprimento de espiga com palha, diâmetro de espiga com palha e altura de inserção da espiga

Os parâmetros descritos a seguir foram avaliados nas 16 plantas marcadas em cada parcela experimental.

A altura de planta (cm) foi realizada com o auxílio de uma trena métrica, aos 30, 45, 60, 75, 90 e 105 DAE do milho. A leitura foi realizada do nível do solo até a folha mais alta do milho durante a fase vegetativa e até a ponta do pendão, durante a fase reprodutiva.

O diâmetro do colmo (mm) foi medido por meio de um paquímetro digital, aos 30, 45, 60, 75, 90 e 105 DAE do milho. A leitura foi realizada no primeiro intervalo de nó acima do nível do solo.

O comprimento de espiga (cm) com palha foi realizado utilizando-se uma trena métrica nas plantas marcadas aos 75, 90 e 105 DAE do milho. A medida foi realizada da base da espiga, próximo ao colmo, até a ponta da palha, sem retirar a espiga da planta.

O diâmetro de espiga com palha (mm) foi medido utilizando-se um paquímetro digital nas plantas marcadas aos 75, 90 e 105 DAE do milho. A leitura foi realizada na parte média da espiga, sem retirá-la da planta.

A altura de inserção da espiga (cm) foi determinada com uma trena métrica nas plantas marcadas aos 60 DAE do milho. A medida foi realizada do nível do solo até o local de inserção da espiga.

3.11 Massa fresca e massa seca da parte área do milho

A determinação da massa fresca e seca da parte área do milho foi realizada ao longo do ciclo, em cinco e seis avaliações, na safra e safrinha, respectivamente: 14 DAE e 17 DAE (V₃/V₄) antes de iniciar as adubações de cobertura; 46 DAE e 43 DAE (V₉) após encerrar as adubações de cobertura; 60 DAE e 59 DAE (V_t) na emissão da folha bandeira; 74 DAE e 74 DAE (R₂) durante a fase do grão leitoso; 93 DAE e 93 DAE (R₄) durante a fase do grão farináceo; e 105 DAE e 105 DAE (R₆) durante a maturidade fisiológica. Aos 100 DAE (R₅) foi realizada uma análise de massa seca e fresca na safrinha.

Na safra e na safrinha, respectivamente, as avaliações aos 14 e 17 DAE, 46 e 43 DAE, as plantas foram separadas em folhas e colmo; aos 60 e 59 DAE, em folhas e colmo+pendão; e aos 74 e 74 DAE, 93 e 93 DAE, 100 DAE, e 105 e 105 DAE, em folhas, colmo+pendão, palha e espiga. A determinação da massa fresca de cada parte da planta foi feita com o auxílio de uma balança digital de precisão, em gramas. Todas as partes foram acondicionadas em sacos de papel e levadas a estufa de circulação forçada por 72 horas a 65 °C. Após esse período foi determinado a massa seca (g) para folha, colmo+pendão, palha e espiga, com o uso da mesma balança digital. Os valores de produtividade de massa fresca total e de massa seca total da parte área do milho foram determinados de acordo com a equação 13.

$$PMT = \frac{MT \times AH}{AUP} \quad (13)$$

Onde:

PMT = produtividade de massa fresca ou seca total, em kg ha⁻¹.

MT = massa fresca ou seca total, em kg.

AH = área de um hectare, em m².

AUP = área útil da planta, em m².

3.12 Resistência estomática

A resistência estomática (g_s, s m⁻¹) do milho na safra foi avaliada em 10 ocasiões: 14 DAE (V₃/V₄) - transição de três para quatro folhas totalmente expandidas;

22 DAE (V₆) - seis folhas totalmente expandidas; 32 DAE (V₇) - sete folhas totalmente expandidas; 37 DAE (V₈) - oito folhas totalmente expandidas; 46 DAE (V₉) - nove folhas totalmente expandidas; 60 DAE (V_t) - emissão da folha bandeira; 65 DAE (R₁) - florescimento e polinização; 74 DAE (R₂) - grão bolha d'água; 78 DAE (R₂) - grão bolha d'água; e 93 DAE (R₄) – grão pastoso. Na safrinha foram realizadas 11 avaliações durante o ciclo, aos 17 DAE - transição de três para quatro folhas totalmente expandidas; 22 DAE (V₆) - seis folhas totalmente expandidas; 36 DAE (V₈) - oito folhas totalmente expandidas; 43 DAE (V₉) - nove folhas totalmente expandidas; 59 DAE (V_t) - emissão da folha bandeira; 64 DAE (R₁) - florescimento e polinização; 74 DAE (R₂) - grão bolha d'água; 81 DAE (R₃) - grão leitoso; e 93 DAE (R₄) - grão pastoso e 100 DAE (R₅) – formação de dente,

A resistência estomática foi determinada com o equipamento SC-1 Leaf Porometer (Meter), que consta de um sensor sensível a variações de umidade e temperatura do ar e luminosidade. Após o procedimento de calibração, as leituras foram realizadas durante 30 segundos em cada folha de milho, sempre a pleno sol, com radiação PAR acima de 1000 μm , no período da manhã, para não ter a influência da baixa luminosidade e ocorrer o fechamento dos estômatos. O objetivo dessa análise foi observar a resistência estomática pela condição ideal de água no solo. Por ser um equipamento que demanda muito tempo para realização as leituras, foram utilizadas oito plantas por parcela (duas plantas por fileira), dentro da área útil. Em todas as avaliações, as leituras foram feitas nas mesmas plantas, totalizando 96 leituras em cada avaliação realizada.

3.13 Índice Relativo de Clorofila Total (IRCT)

A determinação do índice relativo de clorofila total (IRCT) foi realizada em 10 (14, 22, 32, 37, 46, 60, 65, 74, 78 e 93 DAE) e 11 (17, 22, 36, 43, 50, 59, 64, 74, 81, 93 e 100 DAE) avaliações na safra e safrinha, respectivamente, nos mesmos dias da avaliação da resistência estomática.

Foi utilizado o clorofilômetro ClorofiLOG® (Falker), que realiza leituras em três comprimentos de onda: na banda do vermelho, próximos aos picos da clorofila *a* e *b*, $\lambda = 635$ e 660nm , respectivamente; e na onda no infravermelho próximo, $\lambda = 880\text{nm}$ (BARBIERI JÚNIOR et al., 2012). Foram utilizadas 16 plantas por parcela, dentro da área útil, sendo realizadas leituras em quatro plantas por fileira. Em todas as

avaliações, as leituras foram feitas nas mesmas plantas, totalizando 192 leituras em cada avaliação realizada.

3.14 Índice de área foliar (IAF)

A determinação do índice de área foliar (IAF) foi realizada em 10 (14, 22, 32, 37, 46, 60, 65, 74, 78 e 93 DAE) e 11 (17, 22, 36, 43, 50, 59, 64, 74, 81, 93 e 100 DAE) avaliações na safra e safrinha, respectivamente, nos mesmos dias da avaliação da resistência estomática e do IRCT.

O índice de área foliar foi determinado por meio do ceptômetro AccuPAR LP-80, que é composto por um sensor interno em forma de barra que é colocado abaixo do dossel do milho, e por um sensor externo que é colocado acima do dossel. Esses dois sensores captam a radiação fotossinteticamente ativa (PAR), e por meio da diferença de radiação que foi captada nos dois sensores, foi determinado o índice de área foliar do milho. Foram utilizadas 16 plantas por parcela, dentro da área útil, sendo realizadas leituras em quatro plantas por fileira. Em todas as avaliações, as leituras foram feitas nas mesmas plantas, totalizando 192 leituras em cada avaliação realizada.

3.15 Área foliar

A determinação da área foliar foi realizada em cinco (14, 46, 60, 74 e 93 DAE) e seis (17, 43, 59, 74, 93 e 100 DAE) avaliações na safra e safrinha, respectivamente, as mesmas em que foram determinadas a massa fresca e massa seca da parte área do milho.

A cada avaliação, foram retiradas quatro plantas aleatórias da área útil de cada parcela experimental, totalizando 48 plantas avaliadas em cada dia. As plantas foram levadas ao Laboratório de Forragens da Embrapa Pecuária Sudeste, em São Carlos-SP, onde as folhas foram separadas do colmo para a determinação da área foliar de cada folha no equipamento LI-3100 Area Meter (LI-COR). Ao final, foi feito o somatório da área foliar das folhas de cada planta, para determinar a sua área foliar total.

3.16 Calibração do ceptômetro AccuPAR LP-80 para leituras de área foliar

A calibração do AccuPAR LP-80 para a leitura da área foliar foi realizada por meio da correlação dos dados de área foliar e índice de área foliar das análises realizadas aos 14, 46, 60, 74 e 93 DAE (safra) e aos 17, 43, 59, 74, 93 e 100 DAE (safrinha). Nas plantas que foram realizadas as leituras de área foliar, também foram estimadas o índice de área foliar com o ceptômetro AccuPAR LP-80, na mesma data. Para calibração foram utilizadas as 48 plantas de cada análise, resultando em uma curva de calibração com 528 medidas.

3.17 Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) e diferença normalizada do vermelho limítrofe (NDRE)

O sensor utilizado para determinação dos índices de vegetação foi o Crop Circle ACS-430, que emite luz (sensor ativo) a partir de um único local e detecta simultaneamente a reflectância (resposta do alvo) por meio de três fotodetectores dos comprimentos de ondas do vermelho (670 nm), vermelho limítrofe (730 nm) e infravermelho próximo (780 nm).

As leituras foram realizadas nas quatro fileiras centrais de cada parcela, sendo considerada apenas a área útil. A coleta dos dados foi feita por meio de caminhada na área com o Crop Circle ACS-430 a 30 cm acima do dossel do milho (uma fileira por vez).

Os dados de refletância determinados pelo sensor foram utilizados para o cálculo do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) (Equação 14) e diferença normalizada do vermelho limítrofe (NDRE) (Equação 15).

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED} \quad (14)$$

Onde:

NDVI = índice de vegetação por diferença normalizada.

NIR = refletância da banda no vermelho próximo.

RED = refletância da banda no vermelho visível.

$$NDRE = \frac{NIR - RE}{NIR + RE} \quad (15)$$

Onde:

NDRE = diferença normalizada do vermelho limítrofe.

NIR = refletância da banda no vermelho próximo.

RE = refletância da banda no vermelho limítrofe (red-edge).

3.18 Condutividade elétrica (CE) e potencial hidrogeniônico (pH) do solo

Para determinar a condutividade elétrica (CE) e o potencial hidrogeniônico (pH) do solo foram realizadas análises em 4 dias durante o ciclo do milho, na safra e safrinha: antes da semeadura, um dia após encerrar a adubação de cobertura, 30 dias após encerrar a adubação de cobertura e 60 dias após encerrar a adubação de cobertura. Em cada análise foram realizadas coletas de amostras de solo nas camadas de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20, 20 a 40 e 40 a 60 cm, em dez pontos por parcela. A metodologia utilizada para determinar a condutividade elétrica do solo foi a relatada por Van Raij, Gheyi e Bataglia (2001), utilizando o extrato 1:5. Foram transferidos 10 cm³ de TFSA e 50 ml de água desionizada para um béquer, que foram deixados em repouso por 30 minutos e agitados durante 15 minutos. Posteriormente, foi feita a filtragem da solução em papel de textura médio grosseira, sendo a mesma utilizada para a leitura da CE com o condutivímetro CG 200. Na mesma solução foi realizada as leituras de pH com o peagâmetro PG 2000.

3.19 Carbono total e estoque de carbono do solo

Como o carbono varia pouco no solo, foram realizadas as análises somente para o final da safrinha, que corresponde às variações ocorridas durante os 6 anos de experimento.

A determinação do carbono total do solo foi realizada nas camadas de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20, 20 a 40 e 40 a 60 cm, a coleta foi realizada em trincheiras ao final da safrinha. A quantificação do carbono foi determinada pelo analisador elementar Perkin Elmer, localizado na Embrapa Instrumentação, São Carlos-SP.

Alíquotas das amostras de solo (~10 mg) para cada profundidade foram envoltas em capsulas de estanho e sofreram combustão a seco, queimando todo o material e gerando gases de CO₂ que foram separados em colunas cromatográficas e analisadas como carbono.

O estoque de carbono no solo foi determinado de acordo com a equação 16 (FERNANDES e FERNANDES, 2008):

$$\text{Estoque de carbono (Mg ha}^{-1}\text{)} = \frac{\text{COT} \times \text{Ds} \times e}{10} \quad (16)$$

Onde:

COT = Teor de C orgânico total na profundidade amostrada, (g kg⁻¹),

Ds = Densidade do solo da profundidade (kg dm⁻³),

e = Espessura da camada considerada (cm)

3.20 Humificação da matéria orgânica do solo

A determinação do índice de humificação da matéria orgânica do solo (H_{FIL}) realizada nas profundidades de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20, 20 a 40 e 40 a 60 cm. O método utilizado foi o de fluorescência por laser. O laser de diodo possui uma potência de 20 mW e capacidade de emissão de 405 nm, com espectrômetro de 10 nm e faixas de 475 a 800 nm (MILORI et al., 2006).

Para a determinação do índice de humificação, utiliza-se a seguinte equação 17:

$$H_{FIL} = A_{FIL} / C \quad (17)$$

Onde:

H_{FIL} corresponde ao índice de humificação por fluorescência induzida por laser

A_{FIL} corresponde à área total do espectro de fluorescência

C corresponde à porcentagem do carbono presente na amostra de solo (determinado por análise elementar - CHN)

3.21 Concentração de nitrato no solo

A realização da coleta de amostras para determinação da concentração de nitrato no solo foi realizada por meio de extratores de solução do solo instalado a uma profundidade de 0,6 m no solo. A quantificação das frações de nitrato na solução da água do solo, foi realizado no Laboratório de Nutrição Animal da Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos-SP, a metodologia utilizada é descrita por Costa et al. (2018).

3.22 Coliformes totais e termotolerantes

Para determinar os coliformes totais (CTo) e coliformes termotolerantes (CTe) foram realizadas análises em 4 dias durante o ciclo do milho, na safra e safrinha, nos mesmos dias das análises de CE e pH. A coleta de amostras de solo foi realizada na camada de 0 a 10 cm, em dez pontos por parcela. As amostras foram incubadas por 24 h a 36,5°C (coliformes totais) e 44,5°C (coliformes termotolerantes). A quantificação (unidade formadoras de colônias - UFC) ocorreu por contagem em grid em membrana Petrifilm (3M), com uso de microscópio óptico.

3.23 Beta-glicosidase

Para determinar a atividade da enzima beta-glicosidase foram realizadas quatro análises durante o ciclo do milho, na safra e safrinha, nos mesmos dias da determinação da CE, pH, CTo e CTe. A coleta de amostra de solo foi realizada na camada de 0 a 10 cm, em dez pontos de cada parcela. As análises para determinar a atividade da enzima beta-glicosidase foram realizadas utilizando a metodologia de Eivazi and Tabatabai (1988). Para tal, as amostras foram encubadas a 37 °C, utilizando p-nitrofenol com leitura colorimétrica pelo espectrofotômetro Perkin-Elmer instalado no Laboratório de UV-visível da Embrapa Instrumentação, em São Carlos-SP.

3.24 Granulometria do solo

A fração granulométrica do solo foi determinada em todos os tratamentos ao final da safra e safrinha, nas profundidades de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20, 20 a 40 e 40 a

60 cm. A quantificação da granulometria do solo foi separada em areia, silte e argila utilizando um analisador automático de raios gama, conforme metodologia descrita por Vaz et al., (1992) e Naime et al., (2001).

3.25 Densidade do solo

A densidade do solo foi analisada em todos os tratamentos ao fim da safra e safrinha. As coletas foram realizadas nas profundidades de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20, 20 a 40 e 40 a 60 cm. As coletas foram realizadas com anéis de volume conhecido (98,125 cm³). Foram coletadas três amostras por profundidade por parcela. Em laboratório as amostras foram pesadas em uma balança analítica e a densidade do solo foi determinada pela equação 14:

$$ds = \frac{m}{v} \quad (13)$$

Onde:

ds = densidade do solo, g cm⁻³.

m = massa da amostra de solo, gramas.

v = volume da amostra coletada, cm³.

3.26 Argila mecanicamente dispersa em água (AMDA)

A argila mecanicamente dispersa em água (AMDA) foi quantificada ao final da safrinha para as camadas de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20, 20 a 40 e 40 a 60 cm, sendo coletadas três amostras por profundidade e por parcela de cada tratamento.

Foram utilizados cinco gramas de solo macerado em becker de 150 ml, sendo adicionado em seguida 125 ml de água desionizada. As amostras foram levadas a um agitador mecânico e foram agitadas durante três horas. Após as amostras foram deixadas em repouso durante 16 horas para deposição de partículas maiores que a argila. Decada amostra, 30 ml foram usadas em um turbidímetro para ser determinada a turbidez da amostra em unidades nefelométricas de turbidez (NTU). O fator representado pela relação entre o teor total de argila e a turbidez quando multiplicado

pelo NTU (g L^{-1}) de outras amostras determina o valor de argila mecanicamente dispersa em água em porcentagem.

3.27 Análises estatísticas

O programa SPSS Statisc foi empregado para a realização das análises de homogeneidade e normalidade dos dados, utilizando os testes de Levene e de Shapiro-Wilk, respectivamente. Todos os dados foram analisados estatisticamente utilizando o programa SISVAR (FERREIRA, 2008), pelo teste de Tukey a 5% de significância. As análises que foram realizadas entre os tratamentos seguiram o delineamento em blocos casualizados. As análises realizadas entre datas diferentes para uma mesma variável foram feitas em fatorial, utilizando o fator tempo para encontrar diferenças significativas entre as datas de análises para a mesma variável.

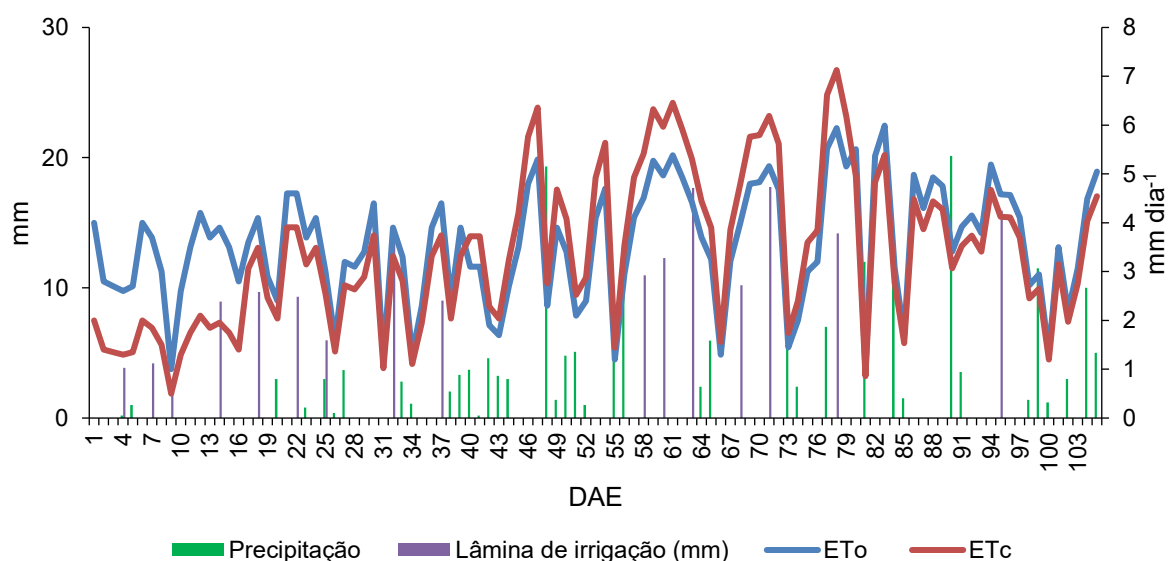
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Irrigação

As lâminas de irrigação aplicadas por sulcos em todas as parcelas foram iguais. No entanto, nos dias que foram realizadas as fertirrigações do EET, nenhuma das lâminas do biofertilizante foi capaz de elevar a quantidade de água no solo até a capacidade de campo, sendo necessário complementar com a aplicação de lâmina de água.

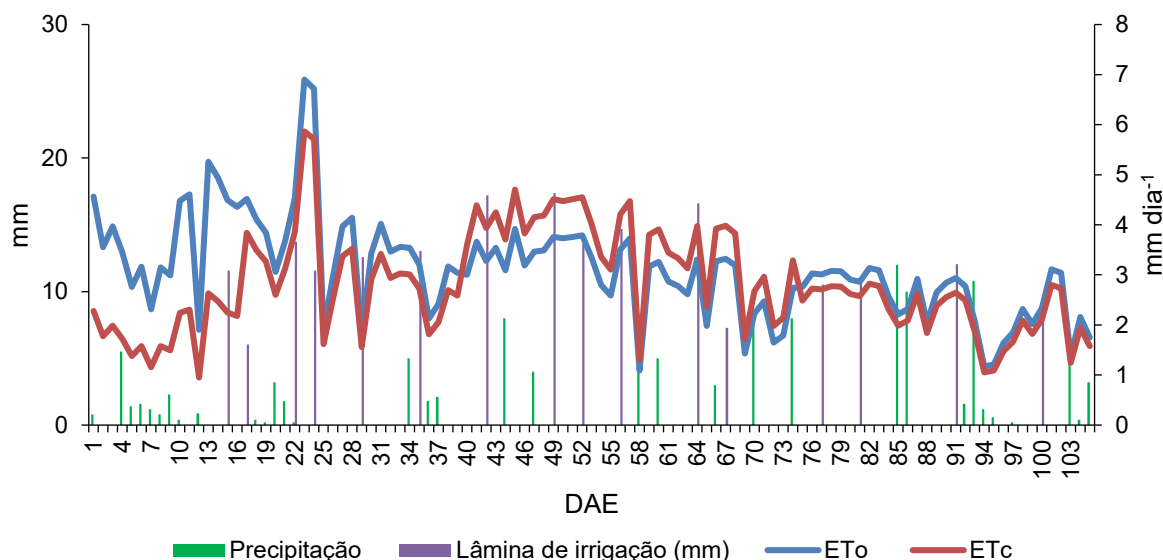
Os valores de precipitação, lâminas de irrigação, evapotranspiração de referência (ET_o) e da cultura (ET_c) para a safra e safrinha estão apresentados nas Figuras 3 e 4, respectivamente. As maiores lâminas foram aplicadas no período anterior e posterior ao florescimento do milho, a fase crítica da cultura. Até 40 DAE os valores de ET_o são superiores aos de ET_c, pois o K_c da fase 1 (0,5) e 2 (0,85), torna a necessidade hídrica diária da planta inferior a ET_o. Com o início da fase 3 (K_c de 1,2), a linha da ET_c passa a ser superior ao da ET_o. Isso é revertido aos 79 DAE, no início da fase 4 (K_c = 0,9), com valores de ET_c menores que os de ET_o (Figura 3 e 4).

Figura 3 – Precipitação, lâmina de irrigação, evapotranspiração de referência (ET_o) e evapotranspiração da cultura (ET_c) durante o ciclo do milho de setembro a dezembro de 2021 (safra)



ET_o: Evapotranspiração de referência; ET_c: Evapotranspiração da cultura, DAE: Dias após emergência.

Figura 4 –Precipitação, lâmina de irrigação, evapotranspiração de referência (ETo) e evapotranspiração da cultura (ETc) durante o ciclo do milho de março a junho de 2022 (safrinha)



ETo: Evapotranspiração de referência; ETc: Evapotranspiração da cultura, DAE: Dias após emergência.

Durante a safra (setembro a dezembro de 2021) e a safrinha (março a junho de 2022), a precipitação efetiva total registrada pela estação agrometeorológica automática foi de 192,03 e 116,78 mm, com precipitações de 1,2, 20,16, 88,26 e 82,41 mm e 14,87, 14,72, 41,79 e 45,40 nas fases 1, 2, 3 e 4, respectivamente (Figura 3 e 4). Nas mesmas fases, os valores de ETc acumulados foram de 25,35, 64,01, 177,50 e 90,51 mm e 29,97, 71,52, 139,22 e 55,19 mm, respectivamente. Durante o ciclo total, o milho apresentou uma necessidade hídrica de 357,37 e 295,92 mm, respectivamente, na safra e na safrinha. Tais valores estão abaixo dos 380 a 580 mm relatados por Albuquerque (2010), dos 480,81 mm (ALVES et al., 2014), dos 451,9 e 509,7 mm (ROCHA et al., 2020). A safrinha apresenta uma necessidade hídrica menor que a observada na safra, pois ocorreu durante o final do verão e o outono de 2022, com menores valores de temperatura do ar e menor ETc do milho.

O total de precipitação registrada nos dois ciclos foi abaixo da necessidade hídrica da cultura, sendo necessário realizar irrigações ao longo do cultivo do milho para suprir a demanda de água da cultura. Durante a safra, nas fases 2 e 3, foi necessário a realização de irrigações para fornecer a quantidade de água a ser repostada à planta, pois as chuvas foram mal distribuídas. Na fase 3 (52 a 63 DAE),

período mais crítico para a cultura do milho, foram registrados apenas 7,4 mm de chuva; e entre 56 a 63 DAE não foi registrado nenhuma precipitação, com ETo passando o valor de 6,0 mm dia⁻¹.

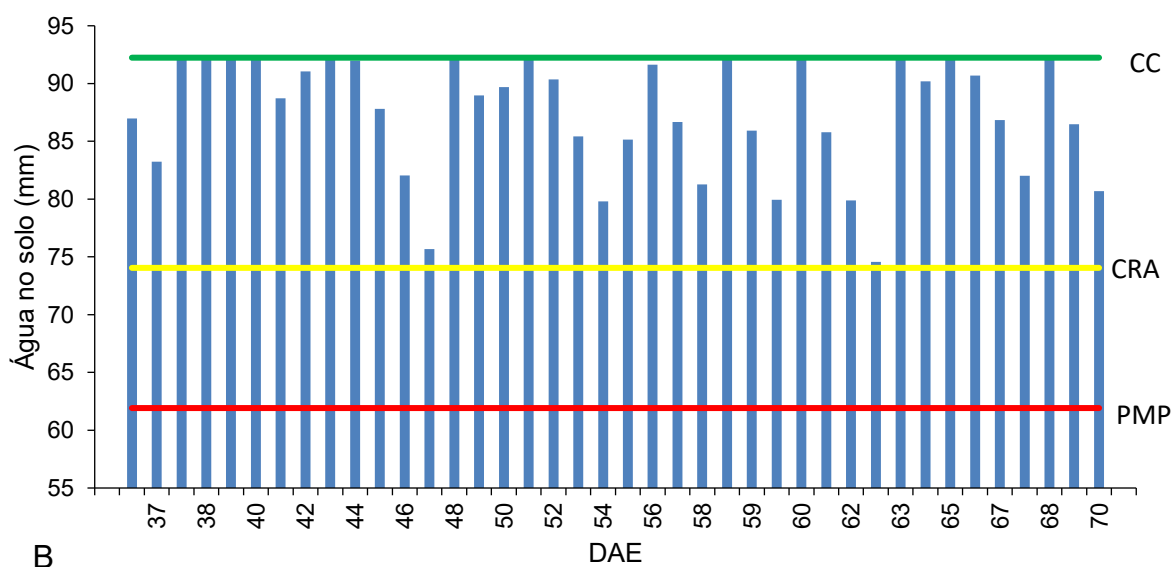
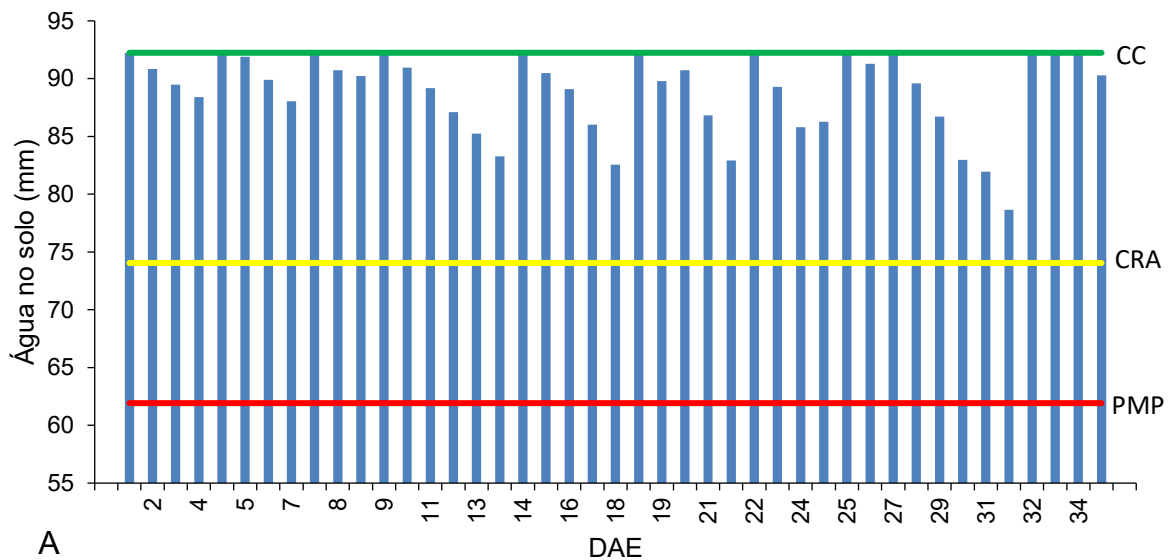
Na safrinha, as fases 2, 3 e 4 registraram valores de precipitação próximos (14,72, 41,79 e 45,40, respectivamente). Na fase 2, que apresenta a segunda maior demanda hídrica entre as quatro fases do milho, as lâminas de irrigação utilizadas foram elevadas, pois o período apresentou baixo índice pluviométrico (14,72 mm). Além disso, as chuvas foram mal distribuídas, com precipitação em apenas 35% do período da fase 2; entre 22 e 35 DAE (14 dias) choveu apenas 5,2 mm. A fase 3, período crítico para a cultura do milho (K_c igual a 1,2), foi o período que demandou maior necessidade hídrica (139,23 mm), sendo registrado 41,79 mm de precipitação. A fase 3 durou 32 dias (39 a 72 DAE), sendo registrados precipitação em apenas sete dias, distribuídas de forma desigual, demandando assim as maiores lâminas de irrigação para suprir a demanda hídrica da cultura.

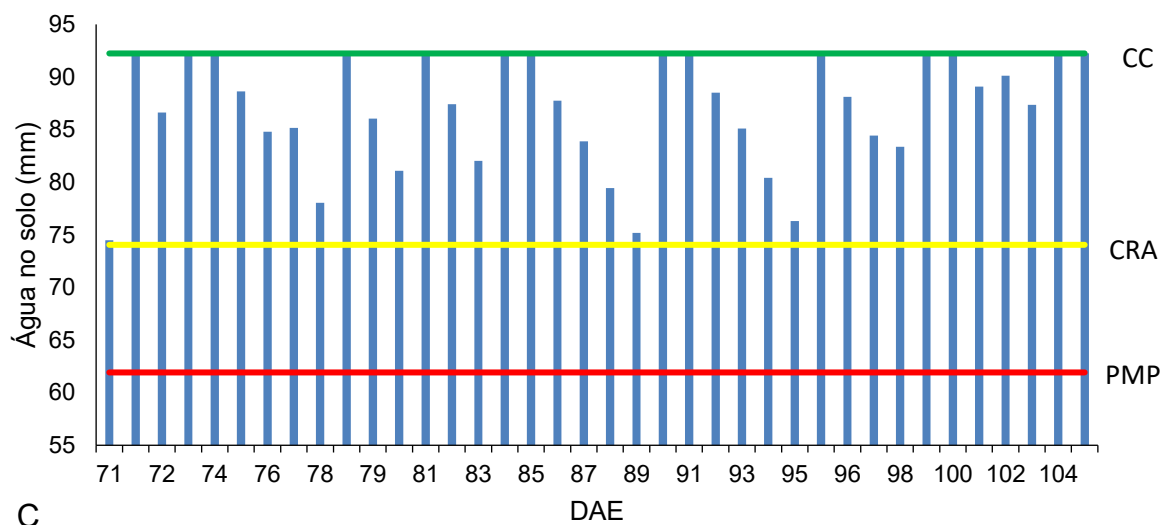
As irrigações foram realizadas em 16 datas na safra, aos 4, 7, 9, 14, 18, 22, 25, 32, 37, 58, 60, 63, 68, 71, 78 e 95 DAE, e em 16 datas na safrinha, aos 15, 17, 22, 24, 29, 35, 42, 49, 52, 56, 64, 67, 77, 81, 91 e 100 DAE. Foram aplicadas lâminas médias de 15,44, 15,92, 13,13, 23,28, 24,55, 26,23, 18,51, 25,00, 17,60, 38,86, 35,12, 38,54, 19,42, 39,71, 39,32 e 35,50 mm e 11,57, 6,02, 13,73, 11,58, 12,58, 13,04, 17,21, 17,38, 13,54, 14,70, 16,60, 7,28, 10,52, 10,73, 12,05 e 9,44 mm, respectivamente, na safra e na safrinha. No entanto, as parcelas dos tratamentos EfPK e Ef receberam a aplicação de EET aos 4, 18, 22, 25, 32 e 37 DAE (safra) e 15, 22, 24, 29, 35 e 42 DAE (safrinha), com lâminas de EET de 15,44, 15,56, 15,28, 13,89, 13,89 e 14,58 mm (safra) e 11,57, 11,57, 11,57, 11,57, 11,57 e 11,57 mm (safrinha). Foi necessário fazer a suplementação de irrigação com água, para que a condição do solo alcançasse a capacidade de campo (CC), com exceção de 4 DAE, na safra, e 15 e 24 DAE, na safrinha, pois a lâmina de EET não foi suficiente para elevar a quantidade de água no solo até a CC. Aos 18, 22, 25, 32 e 37 DAE e 22, 29, 35 e 42 DAE foram aplicadas lâminas de água de 8,99, 10,95, 4,62, 11,12 e 3,01 mm e 2,17, 1,01, 1,46 e 5,63 mm, na safra e safrinha, respectivamente, alcançando assim os valores totais de lâminas. Nos tratamentos NPK e Controle, foram aplicadas as lâminas totais com água nas 16 datas apresentadas anteriormente para cada um dos ciclos de produção do milho. As lâminas totais na safra e safrinha foram de 165,62 e 197,95 mm, respectivamente.

Nas fases 1, 2, 3 e 4 o somatório das lâminas para atingir o conteúdo ideal de água no solo foram de 19,00, 47,61, 83,07 e 15,94 mm (safra) e 11,57, 56,94, 97,22 e 32,22 mm (safrinha). A fase 3, por ser a crítica para a cultura quanto ao déficit hídrico, foi a que obteve as maiores lâminas acumuladas, para que os processos fisiológicos da planta ocorressem da maneira ideal, não afetando os processos fotossintéticos e o início do enchimento de grão. Na fase 4, que é um período de grande importância devido a translocação de fotoassimilados e enchimento de grãos, a lâmina acumulada na safra foi baixa (15,94 mm), pois nesse intervalo de tempo as precipitações foram bem distribuídas, supriram a necessidades hídricas da cultura, e diminuíram a demanda de irrigação. Na safrinha, o somatório da lâmina na fase 4 (32,22 mm) foi mais que o dobro do observado na safra, pois tal fase aconteceu no final do outono no estado de São Paulo, apresentando chuvas escassas e concentradas, sendo necessário um maior número de irrigações nesse período.

O acúmulo de água no solo para a camada de 0-40 cm (Figura 5 e 6), no período de 1 a 105 DAE, sempre dentro da faixa da capacidade real de água no solo (CRA). A presença de dias repetidos indica a condição de água no solo antes e após a irrigação. Na Figura 5A e 6A, observa-se que de 1 a 35 DAE, a diminuição da água no solo entre os dias ocorrerem de forma mais lenta, devido a menores valores de ETc nesse intervalo de tempo. Nas Figuras 5B e 5C, e 6B e 6C foram observados uma redução mais rápida da quantidade de água, pois foi quando ocorreram as fases 3 e 4, com os maiores valores de Kc e maior absorção de água pela planta. Apenas aos 58, 63, 71 e 78 DAE (safra) e aos 42, 49 e 64 DAE (safrinha), o armazenamento da água no solo se aproximou ao limiar estabelecido pelo fator de depleção da cultura do milho, respectivamente.

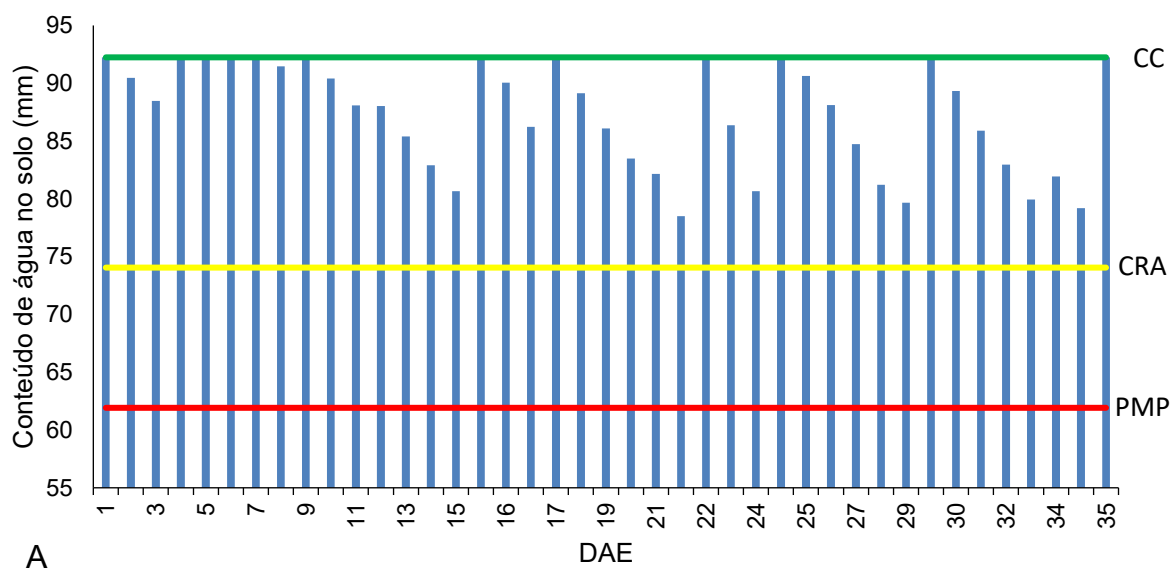
Figura 5 – Armazenamento de água no solo até a profundidade de 40 cm, de 1 a 35 DAE (A), 36 a 71 DAE (B) e 72 a 105 DAE (C), entre setembro e dezembro de 2021 (safra).

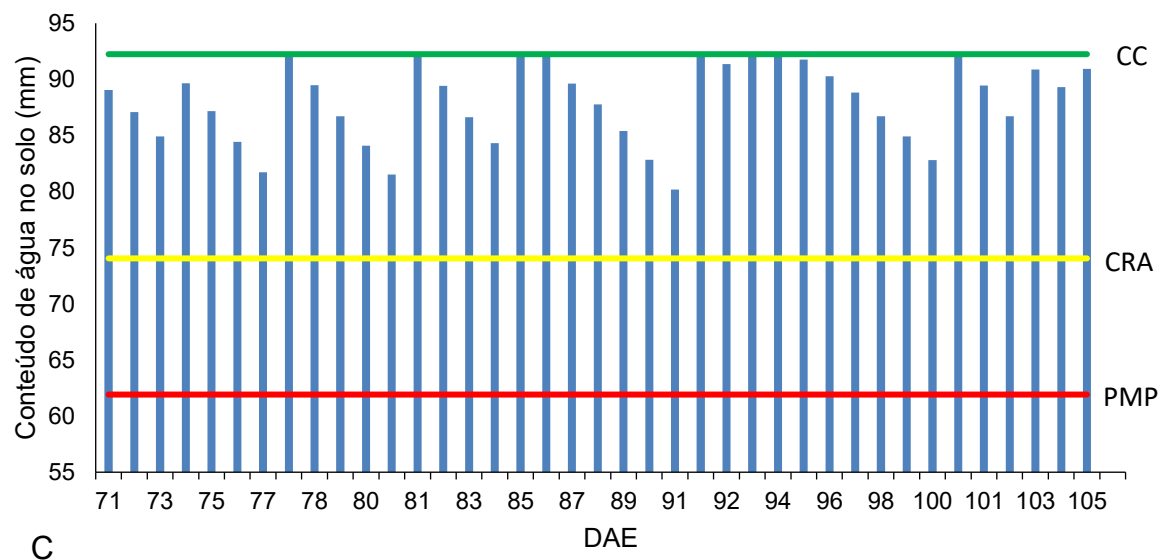
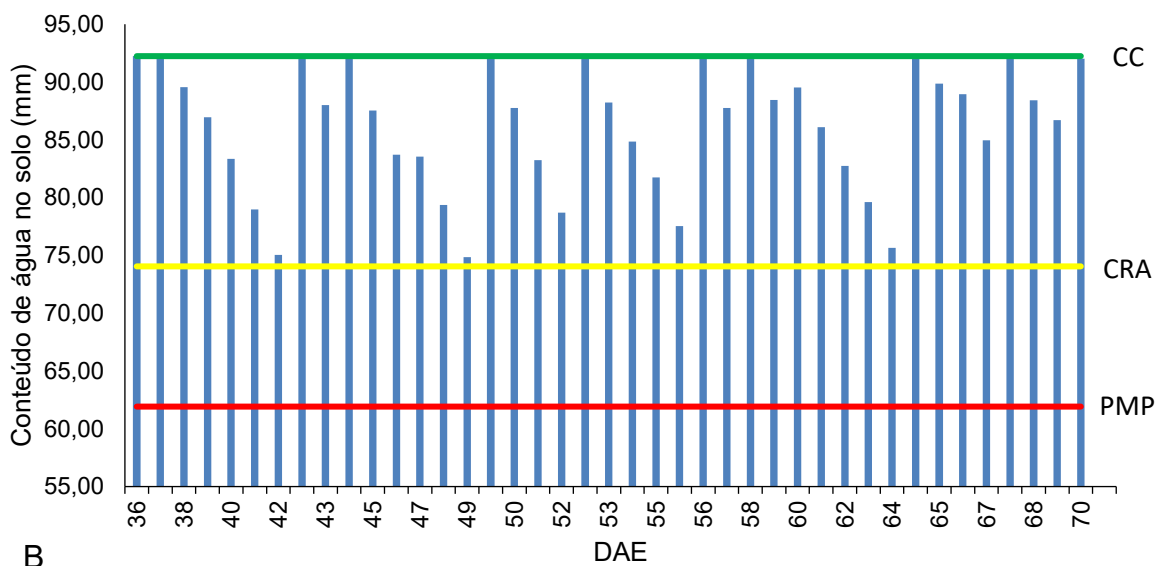




CC: Capacidade de campo, CRA: capacidade real de água no solo, PMP: ponto de murcha permanente, DAE: Dias após emergência.

Figura 6 – Armazenamento de água no solo até a profundidade de 40 cm, de 1 a 35 DAE (A), 36 a 70 DAE (B) e 71 a 105 DAE (C), entre março e junho de 2022 (safrinha)





CC: Capacidade de campo, CRA: capacidade real de água no solo, PMP: ponto de murcha permanente.

4.2 Resistência estomática

A resistência estomática (g_s , $s\ m^{-1}$) não apresentou diferença significativa na safra e na safrinha entre os tratamentos em todas as avaliações realizadas, como também não foi verificado diferença entre blocos (Tabela 6 e 7). Houve diferença significativa entre as datas de avaliação em todos os tratamentos.

Tabela 6 – Análise de variância e comparação de médias da resistência estomática ($s\ m^{-1}$) em função dos tratamentos e dias após emergência (DAE) do ciclo do milho de setembro a dezembro de 2021 (safra).

Tratamento	14 DAE	22 DAE	32 DAE	37 DAE	46 DAE	60 DAE	65 DAE	74 DAE	78 DAE	93 DAE
NPK	1,32	1,02	1,08	1,06	1,09	1,01	0,87	1,01	1,08	1,26
	a A	a CD	a C	a C	a BC	a CD	a D	a CD	a BC	a AB
EfPK	1,33	1,00	1,08	1,06	1,12	0,98	0,88	1,02	1,10	1,27
	a A	a CD	a C	a C	a BC	a CD	a D	a CD	a BC	a AB
Ef	1,30	1,00	1,07	1,05	1,09	1,02	0,87	1,03	1,08	1,25
	a A	a CD	a C	a C	a BC	a CD	a D	a CD	a BC	a AB
Controle	1,30	1,01	1,09	1,04	1,11	0,99	0,89	1,04	1,10	1,26
	a A	a CD	a BC	a CD	a BC	a CD	a D	a CD	a BC	a AB
Tratamento	0,001 ^{NS}	0,0003 ^{NS}	0,0002 ^{NS}	0,0002 ^{NS}	0,001 ^{NS}	0,001 ^{NS}	0,0004 ^{NS}	0,0004 ^{NS}	0,0002 ^{NS}	0,0002 ^{NS}
Bloco	0,01 ^{NS}	0,003 ^{NS}	0,0004 ^{NS}	0,004 ^{NS}	0,003 ^{NS}	0,001 ^{NS}	0,004 ^{NS}	0,006 ^{NS}	0,001 ^{NS}	0,00002 ^{NS}
Erro	0,004	0,004	0,008	0,01	0,002	0,005	0,005	0,005	0,002	0,0004
C.V. (%)	4,90	6,56	8,03	11,07	4,17	7,14	8,20	6,65	4,54	1,74
Média geral	1,31	1,01	1,08	1,05	1,10	1,00	0,88	1,03	1,09	1,26

** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 7 – Análise de variância e comparação de médias da resistência estomática ($s\ m^{-1}$) em função dos tratamentos e dias após emergência (DAE) do ciclo do milho de março a junho 2022 (safrinha).

Tratamento	17 DAE	22 DAE	36 DAE	43 DAE	50 DAE	59 DAE	64 DAE	74 DAE	81 DAE	93 DAE	100 DAE
NPK	0,97	0,91	0,93	1,07	1,10	0,97	1,01	0,99	1,18	1,77	1,72
	a CDE	a E	a DE	a BCD	a BC	a CDE	a CDE	a CDE	a B	a A	a A
EfPK	0,93	0,89	0,92	1,04	1,16	0,91	0,94	0,94	1,23	1,79	1,73
	a DE	a E	a DE	a CD	a AB	a DE	a DE	a DE	a B	a A	a A
Ef	1,03	0,94	1,04	1,00	1,22	1,02	1,02	1,01	1,19	1,76	1,75
	a C	a C	a C	a C	a B	a C	a C	a C	a B	a A	a A
Controle	0,99	0,90	1,02	1,00	1,14	0,98	0,99	1,00	1,16	1,83	1,73
	a DE	a E	a BCD	a DE	a BC	a E	a DE	a DE	a B	a A	a A
Tratamento	0,006 ^{NS}	0,001 ^{NS}	0,01 ^{NS}	0,004 ^{NS}	0,008 ^{NS}	0,006 ^{NS}	0,003 ^{NS}	0,003 ^{NS}	0,003 ^{NS}	0,003 ^{NS}	0,0004 ^{NS}
Bloco	0,007 ^{NS}	0,001 ^{NS}	0,009 ^{NS}	0,0002 ^{NS}	0,008 ^{NS}	0,009 ^{NS}	0,01 ^{NS}	0,01 ^{NS}	0,003 ^{NS}	0,004 ^{NS}	0,005 ^{NS}
Erro	0,002	0,001	0,002	0,0007	0,008	0,001	0,002	0,002	0,001	0,003	0,001
C.V. (%)	4,53	2,91	4,42	2,48	7,6	3,47	4,64	4,88	2,34	3,28	1,69
Média geral	0,98	0,91	0,98	1,03	1,15	0,97	0,99	0,99	1,19	1,79	1,73

** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

As avaliações de g_s foram realizadas sempre em condição de pleno sol, favorecendo a abertura estomatal, e a não diferença significativa entre os tratamentos (Tabela 6 e 7) indica que a disponibilidade de água no solo não interferiu no processo de transpiração as plantas em todas as parcelas e em cada data de avaliação, nos dois ciclos analisados. Isso também indica que a abertura estomatal está ocorrendo da maneira ideal e igual entre os tratamentos. Segundo Castro Neto (2003), a água disponível no solo para as plantas tem influência direta na resistência estomática, e em casos de déficit hídrico, a abertura estomatal diminui e, conseqüentemente, diminui a taxa de transpiração da planta.

Os estômatos são a principal via de trocas gasosas entre a planta e o ambiente externo, e o estresse hídrico pode aumentar a resistência estomática e reduzir a fotossíntese líquida (AMARAL et al., 2006). Plantas cultivadas em condições ideais de disponibilidade de água apresentam maior abertura estomatal e maior assimilação de dióxido de carbono, aumentando o processo fotossintético (SHIMAZAKI et al., 2007).

As avaliações realizadas em 14 e 92 DAE (Tabela 6) e 93 e 100 DAE (Tabela 7) foram as que apresentaram os maiores valores de g_s , e aos 22, 60, 65 e 74 DAE (Tabela 6) e aos 17, 22, 36, 59, 64 e 74 DAE (Tabela 7) foram observados os seus menores valores. Neste trabalho, g_s variou entre 0,87 e 1,33 $s\ m^{-1}$ e 0,89 e 1,79 $s\ m^{-1}$ (intervalo de 0,46 e 0,90 $s\ m^{-1}$), na safra e safrinha, respectivamente, os quais são baixos para se indicar alguma resistência estomática causada por déficit hídrico, mas por variação de temperatura e umidade do ar ou luminosidade momentânea.

Os valores de g_s encontrados corroboram que as condições de água no solo estiveram ideais, não ocorrendo déficit hídrico durante os dois ciclos do milho analisados. Segundo Souza et al. (2013) a ausência de água no solo leva a queda do potencial hídrico foliar do milho com um grande acúmulo do hormônio ácido abscísico (ABA), levando ao fechamento dos estômatos, aumentando a resistência estomática e a taxa de transpiração da planta.

4.2 Parâmetros de produtividade

A massa de espiga (g), massa de grãos por espiga (g), massa seca de grãos (g), produtividade de grãos (kg ha^{-1}), massa de 100 grãos, comprimento de espiga (cm), número de fileiras por espiga e número de grãos por espiga apresentaram diferença significativa a 1% entre tratamentos (Tabelas 8 e 9). Não houve diferença significativa entre blocos. Nas duas safras realizadas, a massa de espiga, massa de grãos por espiga, massa seca de grãos, produtividade de grãos e massa de 100 grãos, o tratamento NPK foi superior estatisticamente a todos os demais. Todos os tratamentos se diferenciaram entre si para o comprimento de espiga nas duas avaliações realizadas. Na safra, na variável número de fileiras, os tratamentos NPK, EfPK e Ef foram estatisticamente iguais, com a Controle igual ao Ef e inferior aos demais, mas na safrinha os tratamentos NPK e EfPK foram estatisticamente iguais e superiores aos tratamentos Ef e Controle. Em número de grãos por espiga não houve diferença estatística entre os tratamentos NPK e EfPK, na avaliação realizada na safra, enquanto que no cultivo realizado na safrinha, houve diferença significativa entre esses tratamentos

Tabela 8– Análise de variância e valores médios de parâmetros da espiga em função dos tratamentos, no ciclo do milho de setembro a dezembro de 2021 (safra).

Tratamentos	Massa da espiga sem palha (g)	Massa de grãos por espiga a 13% de umidade (g)	Massa seca de grãos por espiga (g)	Produtividade de grãos (kg ha ⁻¹)	Massa de 100 grãos (g)	Comprimento de espiga sem palha (cm)	Número de fileiras por espiga	Número de grãos por espiga
NPK	126,58 a	71,26 a	63,81 a	4948,66 a	16,38 a	16,99 a	14,00 a	459,38 a
EfPK	104,69 b	57,19 b	49,64 b	3971,63 b	15,36 a	15,47 b	13,96 a	423,92 a
Ef	55,81 c	22,18 c	19,07 c	1540,33 c	10,42 b	12,08 c	12,92 ab	258,32 b
PK	39,88 c	19,06 c	16,79 d	1323,35 c	10,96 b	9,90 d	12,00 b	168,21 c
Tratamento	4962,26**	2005,50**	1608,02**	9,7x10 ⁻⁷ **	27,50**	31,00**	2,73**	56847,90**
Bloco	97,93 ^{NS}	8,83 ^{NS}	0,005 ^{NS}	4,3x10 ⁻⁴ NS	0,80 ^{NS}	0,25 ^{NS}	0,12 ^{NS}	556,32 ^{NS}
Erro	32,28	14,55	0,01	7,0x10 ⁻⁴	0,62	0,22	0,26	333,73
C.V. (%)	6,98	8,99	0,27	8,99	5,91	3,42	3,87	5,58
Média geral	81,74	42,42	37,33	2945,99	13,28	13,61	12,22	327,46

** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. Valores nas colunas seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

Tabela 9 – Análise de variância e valores médios de parâmetros da espiga em função dos tratamentos, no ciclo do milho de março a junho de 2022 (safrinha).

Tratamentos	Massa da espiga sem palha (g)	Massa de grãos por espiga a 13% de umidade (g)	Massa seca de grãos por espiga (g)	Produtividade de grãos (kg ha ⁻¹)	Massa de 100 grãos (g)	Comprimento de espiga (cm)	Número de fileiras por espiga	Número de grãos por espiga
NPK	121,40 a	97,76 a	85,05 a	6788,71 a	21,28 a	15,06 a	13,54 a	434,94 a
EfPK	102,39 b	84,88 b	68,13 b	5894,87 b	20,04 a	13,84 b	13,50 a	372,17 b
Ef	53,57 c	40,47 c	35,21 c	2810,39 c	15,65 b	11,04 c	12,63 b	212,96 c
Controle	28,38 d	19,75 d	17,18 d	1371,69 d	11,61 c	10,01 d	12,38 b	171,90 c
Tratamento	5327,28**	4043,91**	2845,11**	1,9 10 ⁷ **	58,30**	16,65**	1,08**	47386,20**
Bloco	36,96 ^{NS}	26,13 ^{NS}	17,32 ^{NS}	126146,02 ^{NS}	2,26 ^{NS}	0,03 ^{NS}	0,04 ^{NS}	116,65 ^{NS}
Erro	23,31	12,29	10,33	59300,73	0,96	0,12	0,08	480,18
C.V. (%)	6,32	5,77	6,25	5,78	5,73	2,79	2,14	7,35
Média geral	76,44	60,72	51,39	4216,42	17,14	12,49	13,01	297,99

** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. Valores nas colunas seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

Em ambas as safras, os maiores valores de produtividade de grãos foram alcançados no tratamento NPK, seguido pelo tratamento EfPK (Tabelas 8 e 9). Resultados semelhantes foram encontrados por Rezapour et al. (2021), que ao aplicarem o EET com doses de 92,75 e 111,3 kg ha⁻¹ de N, obtiveram valores de produtividade superiores aos tratamentos onde foram aplicados somente água. Elamin et al. (2019), ao testarem o milho irrigado com efluente de esgoto tratado e água, obtiveram maiores produtividades com a utilização do EET na irrigação.

Araújo et al. (2019), ao avaliarem a utilização de urina tratada suplementada com fósforo e potássio mineral em comparação ao NPK, usando doses de 222,67 kg ha⁻¹ de N, não encontraram diferenças entre os tratamentos, para massa de espiga sem palha e massa de grãos seca, resultado diferente ao encontrado nesse trabalho. Em ambos os ciclos se percebe que a massa seca de grãos por espiga do tratamento NPK foi superior ao do tratamento EfPK, com adubação similar, indicando que a adubação do tratamento NPK apresentou uma maior eficiência na absorção dos nutrientes pelas plantas e maior acúmulo no grão de milho. Abreu et al. (2022), ao avaliarem a utilização de efluente tratado + fósforo e potássio mineral em relação ao NPK, usando doses de 135 kg ha⁻¹ de N, também não encontraram diferenças significativas para as variáveis massa e produtividade de grãos.

O Tratamento Controle na safra e safrinha apresentou valores próximos para as variáveis massa de grãos por espiga a 13% de umidade (g), massa seca de grãos por espiga (g), produtividade de grãos (kg ha⁻¹) e massa de 100 grãos, indicando que a falta da nutrição nitrogenada na cultura do milho é um fator preponderante para alcançar baixos índices de parâmetros de produtividade, e que o incremento de doses de N proporciona um maior acúmulo de nutrientes nos grãos e maior produtividade da cultura.

Nos trabalhos de Araújo et al. (2019) e Abreu et al. (2022), foram utilizados efluentes com altas concentrações de N, equivalentes a 666,8 e 339 mg L⁻¹, respectivamente, enquanto que nesse trabalho foram utilizadas concentrações de 65 e 53 mg L⁻¹, no primeiro e segundo ciclo, respectivamente, sendo em sua maior parte composto de N amoniacal (58 e 52 mg L⁻¹). A alta frequência com que foi aplicado o EET no solo para suprir a demanda de nitrogênio da cultura, aliado a forma como o nutriente estava disponível no efluente tratado podem ser a explicação para o tratamento EfPK possuir uma menor produtividade em comparação ao tratamento

NPK. O N amoniacal quando rapidamente nitrificado no solo pode levar a perdas do nutriente via lixiviação resultando em menor disponibilidade para a planta (WHITEHEAD, 1995). Aita et al. (2007), ao avaliarem a taxa de nitrificação de efluente tratado de suínos em solos de plantio direto, verificaram um aumento da nitrificação com aumento da aplicação de N amoniacal no solo oriundo do efluente tratado.

A redução de produtividade entre o primeiro e segundo ciclos de milho para os tratamentos NPK, EfPK e Ef foi de 1840,05, 1923,24 e 1258,94 kg ha⁻¹, respectivamente, pois foi utilizado uma menor dose de nitrogênio na safrinha do milho (40 kg ha⁻¹ de N) em relação à safra (50 kg ha⁻¹ de N). Segundo Coelho et al. (2006), a cultura do milho necessita da extração de 1,2 kg de N para produzir 60 kg de grãos de milho, e a diminuição de 10 kg ha⁻¹ de N resultaria em uma perda de produção de 500 kg de grãos de milho, valor abaixo do que foi observado nesse trabalho. Isso indica que outros fatores influenciaram na menor produtividade encontrada no segundo ciclo. A safrinha realizada no outono ocorreu em dias de fotoperíodos mais curtos, levando a uma menor incidência de luz solar e a baixas temperaturas do ar, principalmente no período de florescimento do milho. Isso pode ter contribuído para uma menor polinização, inviabilização do grão de pólen e estigma, e pegamento de grãos, e assim afetando a produtividade da cultura. Farinelli et al (2003), ao testarem o desempenho produtivo de híbridos de milho na safra e safrinha, perceberam que baixas temperaturas do ar, déficit hídrico e dias curtos foram decisivos na queda da produtividade em relação aos resultados encontrados na safra.

Para a variável massa de 100 grãos (Tabelas 8 e 9) os tratamentos NPK e EfPK não apresentaram diferença entre si. No primeiro ciclo de milho, o tratamento Ef foi inferior aos dois primeiros e o Controle obteve o menor valor entre todos os tratamentos para essa variável, enquanto que no segundo ciclo os tratamentos Ef e Controle não diferiram entre si. Araújo et al. (2019), ao aplicarem 222,67 kg ha⁻¹ de N por meio de urina tratada+PK e NPK, também não encontraram diferença significativa entre os tratamentos, com valores de 24,39 e 21,01 gramas para 100 grãos, respectivamente. Tais resultados são próximos aos encontrados no primeiro ciclo desse trabalho para os tratamentos NPK e EfPK (21,28 e 20,04 gramas, respectivamente) e superiores ao encontrado no segundo ciclo para os tratamentos NPK e EfPK (16,38 e 15,36 gramas, respectivamente). Galindo et al. (2019), ao avaliarem a influência de diferentes doses de N em parâmetros de produção de milho,

com uma dose de 50 kg ha⁻¹ de N, mesma quantia usada na safra e próxima da dose utilizada na safrinha, encontram massa de 100 grãos igual 30,78 gramas, valor superior ao encontrado nos dois ciclos dessa pesquisa.

Elamin et al. (2019), constataram que somente o uso do EET a irrigação do milho foi capaz de ter uma maior massa de 100 grãos, 25 gramas. Isso se deve pela massa do grão de milho ser constituído em sua maior parte de nitrogênio, e assim o aumento de doses de nitrogênio incrementa a massa do grão devido a uma maior absorção desse nutriente pela planta e maior acúmulo nesse órgão. Góes et al. (2012), analisaram a resposta do milho a diferentes doses e fonte de nitrogênio e não encontraram diferenças significativas nas mesmas dosagens em diferentes fontes; com uma aplicação de 50 kg ha⁻¹ de N, foi encontrado massa de 100 grãos de 23,28 gramas.

Os maiores comprimentos de espiga foram obtidos no tratamento NPK, 16,99 cm na safra (Tabela 8) e 15,06 cm na safrinha (Tabela 9). Resultado semelhante foi encontrado por Góes et al. (2012), que utilizando uma dose de N igual a utilizada nesse trabalho no primeiro ciclo (50 kg ha⁻¹ de N), obteve comprimento de espiga de 16,85 cm. Galindo et al. (2019), Mota e Portugal Filho (2016) e Pias et al. (2017), analisaram a influência de diferentes doses de adubação nitrogenada de cobertura em milho e encontraram um comprimento de espiga de 15,19 e 10,11 cm, para 50 e 40 kg ha⁻¹ de N, respectivamente. Nakao et al. (2016), ao avaliarem o cultivo de milho com tratamentos de adubação mineral e orgânica, não encontraram diferença significativas para comprimento de espiga entre as fontes de N aplicadas.

Mousavi and Shahsavari et al (2014), avaliaram os efeitos do EET na produtividade de milho, e constataram que o aumento das doses de EET durante o ciclo de milho gera incrementos no comprimento da espiga, em relação ao uso de doses menores de EET. Isso pode ser comprovado por Abreu et al. (2022), ao utilizarem uma dose de 135 kg ha⁻¹ de N, encontram comprimentos de espiga nos tratamentos EfPK e Ef de 16,78 e 14,04 cm, respectivamente. Tais valores são superiores aos encontrados nesse trabalho, que com doses de 50 (safra) e 40 (safrinha) kg ha⁻¹ de N, obtiveram comprimentos de espiga para os tratamentos EfPK e Ef de 15,47 e 12,08 cm (safra) e 13,84 e 11,04 cm (safrinha), respectivamente.

Para o número de fileira de grãos por espiga, Kopper et al. (2017) aplicaram uma dose de 72 kg ha⁻¹ de N para um stand de 70.000 plantas, e encontraram número

de fileiras por espiga de 15,20, próximo ao encontrado nesse trabalho pelo tratamento NPK, 14,00 (Tabela 8) e 13,54 (Tabela 9). Os resultados encontrados para o número de fileiras de grão entre a safra e a safrinha são próximos, e isso comprova que diferentes doses do macronutrientes nitrogênio, fósforo e potássio não são fatores preponderantes para a definição dessa variável, sendo o zinco nutriente fundamental para o aumento de fileiras de grãos na espiga. Abreu et al. (2022), utilizaram uma dose de 135 kg ha⁻¹ de N e encontram valores de 14,11 e 14,09 fileiras de grãos para os tratamentos NPK e EfPK, respectivamente.

No primeiro ciclo os maiores números de grãos por espiga foram encontrados nos tratamentos NPK e EfPK, 459,38 e 423,92, respectivamente (Tabela 8), e no segundo ciclo o maior valor para essa variável foi observado no tratamento NPK, 434,94 (Tabela 9). Araújo et al. (2019), ao compararem os tratamentos urina tratada+PK e NPK no milho, também não encontraram diferença para essa variável. Ao analisarem diferentes doses de N na adubação de cobertura do milho safrinha, Gazola et al. (2014), concluíram que com o aumento da dosagem de N ocorre um incremento do número de grãos, e com uma dose de 60 kg ha⁻¹ de N, alcançaram 277,7 grãos por espiga.

Soratto et al. (2010), avaliaram diferentes fontes e doses de N no milho em sucessão da soja e não encontraram diferença significativa para as fontes, mas o aumento da dosagem gerou crescimento do número de grãos por espiga. Apesar do número de grãos não apresentar diferença significativa entre os tratamentos NPK e EfPK e a produtividade apresentar diferença, no primeiro ciclo, a explicação está na massa seca de grãos (Tabela 8). Mesmo com um número iguais de grãos, o tratamento EfPK produziu grãos mais leves, acumulando um menor teor de matéria seca, resultando em uma menor produtividade comparado ao tratamento NPK. No segundo ciclo o tratamento EfPK apresentou um menor número de grãos em relação ao tratamento NPK.

Os valores de número de grãos por espiga entre a safra e a safrinha foram próximos. Nos tratamentos NPK, EfPK e Ef foram encontrados valores de 434,94, 372,17 e 258,23 grãos por espiga (safra) e 434,94, 372,17, e 212,96 grãos por espiga (safrinha), respectivamente. No entanto, os grãos foram mais leves na safrinha, devido ao menor acúmulo de matéria seca, o que gerou menor produtividade.

Segundo Kappes et al. (2009) e Góes et al. (2012), o comprimento de espiga pode afetar diretamente o número potencial de grãos que podem ser formados nas fileiras, tornando-se um parâmetro fundamental para alcançar altas produtividades. A adubação completa nos tratamentos NPK e EfPK gerou um acréscimo nas variáveis comprimento de espiga e número de grãos, em relação aos demais tratamentos. Em função disso ocorre um aumento na produtividade, sendo esses componentes importantes para o potencial produtivo da cultura. As Figuras 7 e 8 apresentam a correlação entre produtividade e parâmetros da espiga.

Figura 7 – Correlação linear entre a produtividade de grãos e o comprimento de espiga na cultura do milho

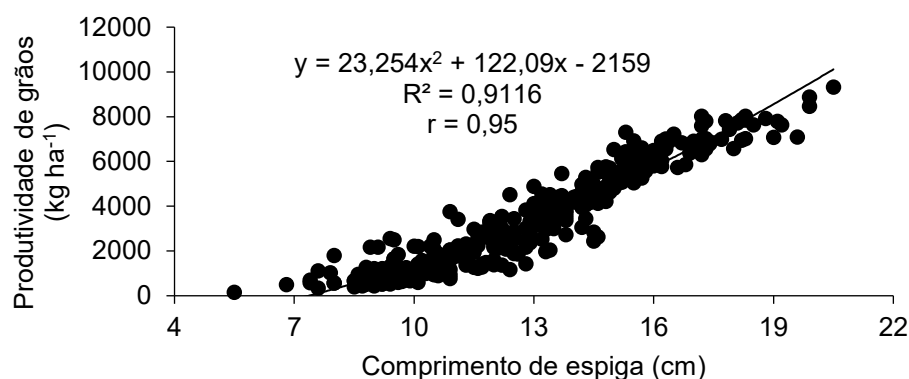
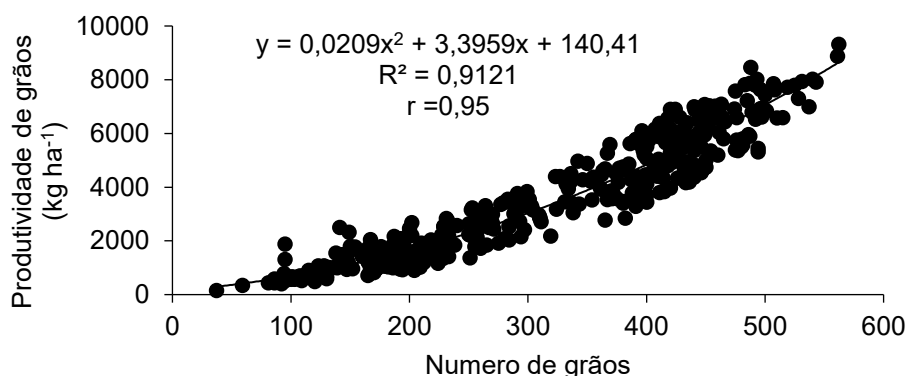


Figura 8 – Correlação linear entre a produtividade de grãos e número de grãos por espiga na cultura do milho



As variáveis diâmetro do ápice da espiga (DA, mm), diâmetro da parte média da espiga (DME, mm) e diâmetro da base da espiga (DBE, mm) apresentaram

diferença significativa entre si a 1% entre os tratamentos na safra e safrinha. Não havendo diferença estatística entre os blocos (Tabelas 12 e 13).

Tabela 10 – Análise de variância e valores médios de diâmetro no ápice da espiga (DA), diâmetro na parte média da espiga (DM) e diâmetro na base da espiga (DB), em função dos tratamentos, no ciclo do milho de setembro a dezembro de 2021 (safra).

Tratamentos	DA (mm)	DM (mm)	DB (mm)
NPK	31,55 a C	43,21 a B	46,19 a A
EfPK	31,04 a C	42,32 a B	44,59 a A
Ef	30,07 a B	39,22 b A	40,42 b A
Controle	27,56 b B	36,04 c A	36,77 c A
Tratamento	9,44**	31,86**	54,14**
Bloco	0,52 ^{NS}	0,44 ^{NS}	0,95 ^{NS}
Erro	0,78	0,45	0,74
C.V. (%)	2,93	1,66	2,04
Média geral	30,05	40,20	41,99

** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 11 – Análise de variância e valores médios de diâmetro no ápice da espiga (DA), diâmetro na parte média da espiga (DM) e diâmetro na base da espiga (DB), em função dos tratamentos, no ciclo do milho de março a junho de 2022 (safrinha).

Tratamentos	DA (mm)	DM (mm)	DB (mm)
NPK	32,60 a C	42,08 a B	46,24 a A
EfPK	32,31 a C	41,36 a B	42,66 b A
Ef	32,77 a B	37,20 b A	37,62 c A
PK	30,03 b C	34,93 c B	35,76 d A
Tratamento	4,93**	34,80**	68,39**
Bloco	0,04 ^{NS}	0,18 ^{NS}	0,04 ^{NS}
Erro	0,007	0,08	0,03
C.V. (%)	0,26	0,74	0,46
Média geral	31,93	38,89	40,57

** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Nas avaliações realizadas nos dois ciclos (safra e safrinha) os resultados encontrados para as medidas realizadas em DME e DBE indicaram que não houve diferença estatística entre os tratamentos NPK e EfPK, sendo superiores aos tratamentos Ef e Controle (Tabelas 10 e 11), com exceção do resultado encontrado no DBE no segundo ciclo, com o tratamento NPK sendo superior a todos os outros tratamentos. Em DA, os tratamentos NPK, EfPK e Ef foram iguais e superiores a Controle (Tabelas 10 e 11). Na safra e na safrinha, nos tratamentos NPK, EfPK, a base da espiga obteve os maiores diâmetros, enquanto que no tratamento Ef não houve diferença estatísticas entre as posições DM e DM, sendo superiores a DA. Apenas o tratamento Controle apresentou comportamento diferente entre os dois ciclos; na safra não apresentou diferença significativa entre base a parte média da espiga, enquanto que na safrinha a base da espiga apresentou o maior diâmetro.

Os maiores valores de DME e DBE no primeiro ciclo foram encontrados nos tratamentos NPK (43,21 cm e 46,19 cm) e EfPK (42,32 cm, e 44,59 cm), respectivamente (Tabela 10). No segundo ciclo os maiores diâmetros para a parte média da espiga também foram encontrados nos tratamentos NPK (42,08 cm) e EfPK (41,36 cm), e na base da espiga no tratamento NPK, com 46,24 cm (Tabela 11). Resultados semelhantes foram encontrados por Mota et al. (2016), que avaliaram fontes e doses de nitrogênio em cobertura no milho e não encontraram diferenças para o diâmetro de espiga com diferentes fontes desse nutriente. Rockenbach et al. (2017), avaliaram componentes de produção de milho e com uma dose de 60 kg ha⁻¹ de N alcançaram diâmetro de espiga de 45,6 mm. Araújo et al. (2019), não encontraram diferença significativa entre os tratamentos urina tratada+PK e NPK (42,90 e 46,57 mm, respectivamente). Galindo et al. (2019), avaliaram os efeitos de diferentes doses de N na produção de milho, ao utilizarem uma dose de 50 kg ha⁻¹ de N, encontraram um diâmetro de espiga de 50,80 mm.

O DA (Figura 9), DME (Figura 10) e DBE (Figura 11) apresentaram uma correlação positiva em função da produtividade de grãos e significativa a 1%; no entanto, para o DA o R² foi baixo, enquanto que DME e DBE o ajuste da curva apresentou valores de r de 0,83 e 0,86, respectivamente. Essas duas últimas variáveis melhor estimam a produtividade, e são posições mais confiáveis para realizar as medidas de diâmetro de milho.

Figura 9 – Correlação linear entre a produtividade de grãos e o diâmetro do ápice da espiga (DA) na cultura do milho

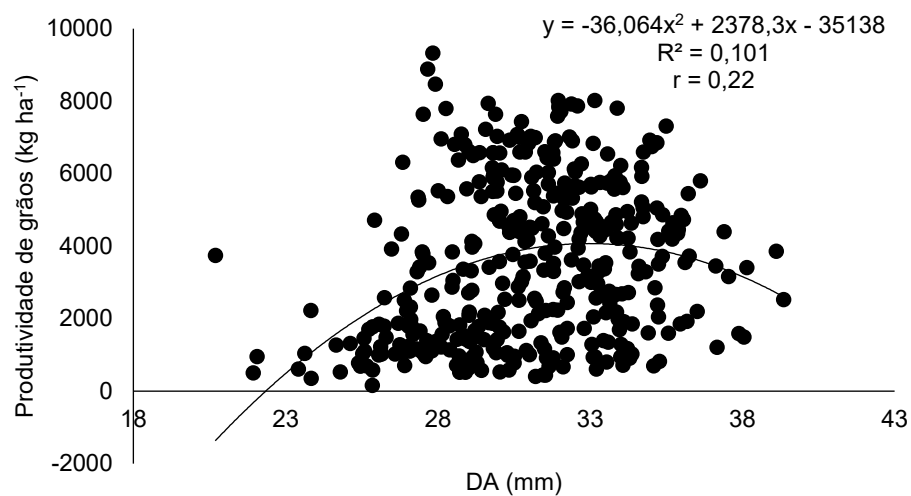


Figura 10 – Correlação linear entre a produtividade de grãos e o diâmetro na parte média da espiga (DME) na cultura do milho

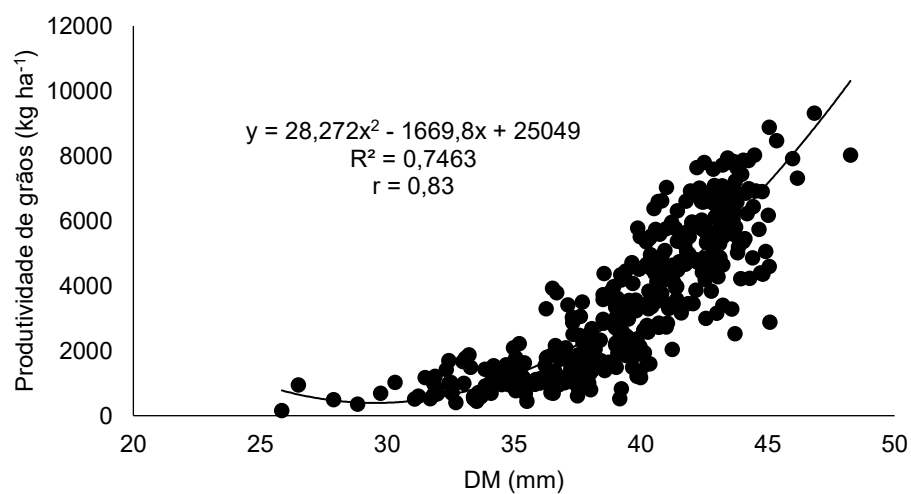
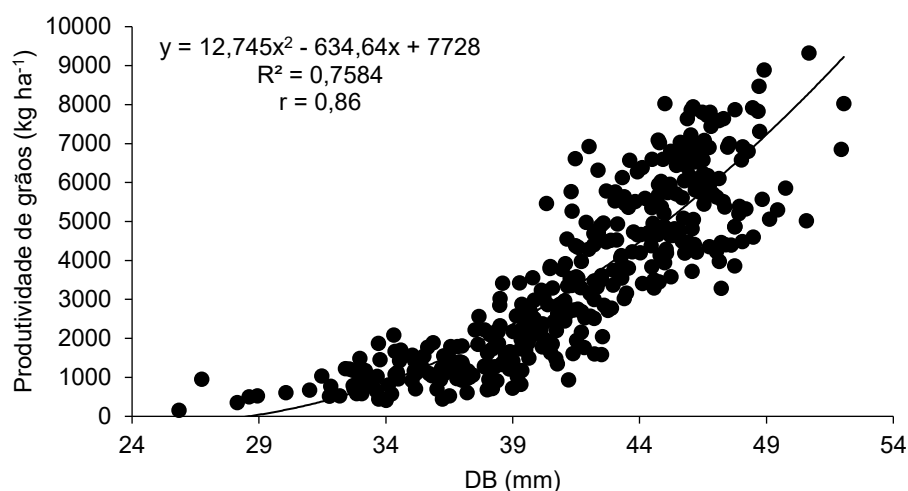


Figura 11 – Correlação linear entre a produtividade de grãos e o diâmetro na base da espiga (DBE) na cultura do milho



4.3 Altura de planta, diâmetro de colmo, comprimento de espiga com palha, diâmetro de espiga com palha e altura inserção da espiga

As avaliações realizadas para altura de plantas aos 30, 45, 60, 75, 90 e 105 DAE foram todas significantes a 1% entre os tratamentos (Tabelas 12 e 13). Não houve diferença significativa entre os blocos. No ciclo realizado entre setembro de 2021 a dezembro de 2021, os tratamentos NPK e EfPK foram superiores ao tratamento Ef, com a Controle inferior aos outros três tratamentos, com exceção de 30 e 45 DAE, nos quais os tratamentos Ef e Controle foram estatisticamente iguais. No ciclo realizado entre março de 2022 a junho de 2022, o tratamento NPK foi superior a todos os outros tratamentos com exceção da avaliação realizada aos 30 DAE. Nos dois ciclos foi observado que dentro de cada tratamento, os resultados obtidos aos 60, 75, 90 e 105 DAE foram iguais e superiores aos encontrados aos 30 e 45 DAE.

Tabela 12 – Análise de variância e valores médios da altura de plantas de milho (cm) em função dos tratamentos, de setembro a dezembro de 2021 (safra).

Tratamentos	30 DAE V ₇	45 DAE V ₉	60 DAE V _t	75DAE R ₂	90 DAE R ₄	105 DAE R ₆
NPK	60,42 a C	118,42 a B	230,67 a A	230,97 a A	230,52 a A	229,50 a A
EfPK	56,46 a C	115,40 a B	225,25 a A	225,37 a A	224,96 a A	224,19 a A
Ef	39,33 b C	63,85 b B	172,11 b A	172,00 b A	171,58 b A	172,31 b A
Controle	33,18 b C	57,75 b B	145,29 c A	145,18 c A	145,48 c A	144,80 c A
Tratamento	518,78**	3171,45**	5157,95**	5318,93**	5145,92**	5055,99**
Bloco	21,48 ^{NS}	54,84 ^{NS}	24,76 ^{NS}	54,90 ^{NS}	38,49 ^{NS}	49,37 ^{NS}
Erro	12,41	13,29	3,95	7,78	8,68	8,30
C.V. (%)	7,44	4,10	1,03	1,44	1,53	1,49
Média geral	47,35	88,85	193,28	193,38	193,14	192,70

** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 13 – Análise de variância e valores médios da altura de plantas de milho em função dos tratamentos, de março a junho de 2022 (safrinha).

Tratamentos	30 DAE	45 DAE	60 DAE	75DAE	90 DAE	105 DAE
	V ₇	V ₉	V _t	R ₂	R ₄	R ₆
NPK	50,61 a C	103,17 a B	201,23 a A	201,50 a A	201,79 a A	201,31 a A
EfPK	50,00 a C	89,75 b B	182,05 b A	182,02 b A	182,04 b A	181,81 b A
Ef	32,81 b C	53,37 c B	156,54 c A	157,94 c A	157,42 c A	155,69 c A
Controle	30,88 b C	50,02 c B	138,23 d A	139,00 d A	138,88 d A	138,90 d A
Tratamento	342,77**	2099,34**	2310,11**	2243,28**	2282,86**	2290,73**
Bloco	0,26 ^{NS}	0,05 ^{NS}	2,30 ^{NS}	2,21 ^{NS}	2,91 ^{NS}	1,08 ^{NS}
Erro	1,77	2,88	3,82	3,28	0,48	3,19
C.V. (%)	3,24	2,29	1,15	1,06	0,41	1,05
Média geral	41,07	74,08	169,51	170,12	170,03	169,43

** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

No primeiro ciclo, os maiores valores de altura de planta foram atingidos aos 60 DAE nos tratamentos NPK (230,67 cm) e EfPK (225,25 cm) (Tabela 12) e no segundo ciclo no tratamento NPK, com 201,23 cm (Tabela 13). As maiores alturas de planta foram observadas a partir do pendoamento da cultura em ambos os ciclos (emissão da inflorescência masculina da planta) atingindo a máxima altura que se manteve constante até a colheita, conforme as análises aos 75, 90 e 105 DAE. Resultados semelhantes foram encontrados por Castoldi et al. (2011), que estudaram a influência de diferentes fontes de adubos na produção de milho e ao aplicarem uma dose de 120 kg ha⁻¹ de N de adubação orgânica e mineral, encontraram alturas de planta de 216 e 210 cm, respectivamente, sem diferença significativa.

Gazola et al. (2014) avaliaram a adubação nitrogenada de cobertura no milho, encontraram altura de planta de 204,9 cm para uma dose de 60 kg ha⁻¹ de N. Costa et al. (2014) encontraram aos 60 DAE e com aplicação de 100% de EET, plantas de milho com 223,60 cm de altura, resultado próximo ao encontrado nesse trabalho com

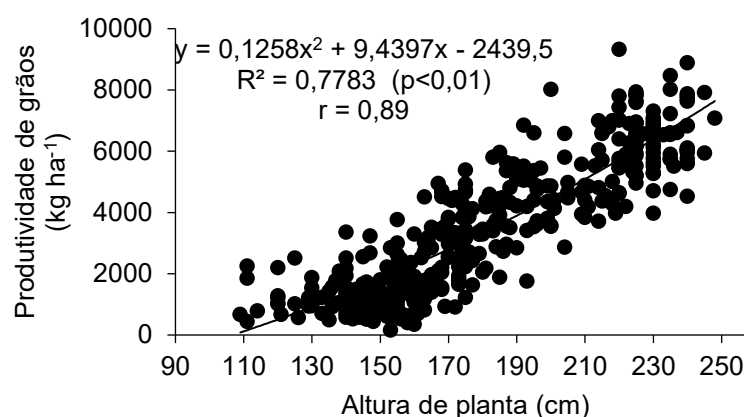
o tratamento EfPK. A aplicação de EET pode favorecer altos valores de altura de planta, pois a presença de baixas concentrações de íons de sódio aumenta a expansão celular e pode substituir parcialmente os íons de potássio como soluto osmoticamente ativo, favorecendo o crescimento da planta (TAIZ et al., 2017). Resultados diferentes foram encontrados por Barreto et al. (2014), que ao analisarem a adubação do milho com biofertilizante oriundo da manipueira, constataram que o aumento linear da dosagem do biofertilizante causou decréscimo na altura de planta.

Os resultados encontrados nos dois ciclos indicam menores portes de planta no segundo ciclo. Apesar da mesma dose de adubação utilizada entre os tratamentos NPK e EfPK, o tratamento NPK obteve maiores alturas de planta, indicando uma maior assimilação dos nutrientes via solo (YERLI et al., 2023). Plantas de milho com portes mais baixos sob irrigação de EET podem ser explicados pelo decréscimo da dose do efluente, acarretando em menor quantidade de nutrientes no solo.

O tratamento Ef atingiu os maiores valores de altura de plantas aos 60 DAE (safra) e 59 DAE (safrinha), os quais foram superiores aos da Controle. Isso indica que os nutrientes adicionados ao solo pela EET proporcionam uma melhor nutrição a planta, mostrando que somente a utilização do EET sem complementação de adubação mineral traz benefícios para a produção da planta. Resultados parecidos foram encontrados por Mousavi and Shahsavari (2014), Araujo et al. (2019), Elamin et al. (2019), Yerli et al. (2023), ao compararem a altura de milho em tratamentos utilizando EET e somente água.

A Figura 12 indica que a produtividade de grãos tem relação positiva e significativa a 1% com a altura de plantas, ou seja, as plantas de milho com maior porte geram incremento de produtividade de grãos.

Figura 12 – Correlação linear entre a produtividade de grãos e a altura de plantas na cultura do milho



Nas Tabelas 14 e 15, para a variável diâmetro de colmo, as análises realizadas aos 30, 45, 60, 75, 90 e 105 DAE foram todas significantes a 1%, sem diferença nos blocos. Em todas as datas não houve diferença significativa entres os tratamentos NPK e EfPK em ambos os ciclos de cultivo. No primeiro e segundo ciclos, o tratamento Ef foi inferior aos dois primeiros, e o tratamento Controle foi inferior a todos, com exceção das análises realizadas aos 45 e 60 DAE e 30 e 45 DAE, respectivamente, com os tratamentos Ef e Controle sendo iguais. Dentro de cada tratamento, foram observados resultados diferentes entre os dois ciclos avaliados. Na avaliação realizada em 2021 os maiores valores de diâmetro de colmo foram alcançados aos 45 e 60 DAE (Tabela 14), para todos os tratamentos, enquanto que no cultivo realizado em 2022 (Tabela 15), o tratamento NPK e EfPK apresentaram os maiores valores de 45 a 60 DAE. No entanto, os tratamentos Ef e Controle apresentaram os maiores valores de 45 a 105 DAE.

Tabela 14 – Análise de variância e valores médios do diâmetro de colmo (mm) de milho em função dos tratamentos, de setembro a dezembro de 2021 (safra).

Tratamentos	30 DAE	45 DAE	60 DAE	75 DAE	90 DAE	105 DAE
	V ₇	V ₉	V _t	R ₂	R ₄	R ₆
NPK	21,56 a C	25,99 a A	27,15 a A	23,54 a B	22,78 a BC	22,10 a BC
EfPK	21,52 a B	25,19 a A	26,10 a A	23,04 a B	22,27 a B	21,72 a B
Ef	15,61 b C	20,46 b A	21,47 b A	17,60 b B	17,29 b BC	16,85 b BC
Controle	12,98 c C	17,67 b A	18,95 b A	15,33 c B	15,13 c B	14,84 c B
Tratamento	55,93**	46,81**	44,87**	49,27**	42,33**	38,84**
Bloco	2,31 ^{NS}	2,63 ^{NS}	1,62 ^{NS}	0,34 ^{NS}	0,71 ^{NS}	0,12 ^{NS}
Erro	0,22	1,21	1,23	0,21	0,35	0,29
C.V. (%)	2,59	4,92	4,73	2,31	3,04	2,83
Média geral	17,92	22,33	23,42	19,88	19,37	18,88

** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 15 – Análise de variância e valores médios do diâmetro de colmo (mm) de milho o em função dos tratamentos, de março a junho de 2022 (safrinha).

Tratamentos	30 DAE	45 DAE	60 DAE	75 DAE	90 DAE	105 DAE
	V ₇	V ₉	V _t	R ₂	R ₄	R ₆
NPK	17,28 a C	21,90 a A	22,50 a A	21,45 a B	21,32 a B	20,04 a B
EfPK	17,08 a D	20,95 a A	21,53 a A	20,31 a B	19,76 a BC	18,86 a C
Ef	11,58 b B	15,96 b A	17,06 b A	16,82 b A	16,31 b A	15,51 b A
Controle	11,14 b B	14,45 b A	15,09 c A	14,61 c A	14,04 c A	13,63 c A
Tratamento	33,97**	36,62**	37,70**	31,10**	32,59**	26,28**
Bloco	0,99 ^{NS}	0,97 ^{NS}	0,40 ^{NS}	0,16 ^{NS}	0,16 ^{NS}	2,02 ^{NS}
Erro	0,31	0,59	0,17	0,37	0,35	0,48
C.V. (%)	3,91	4,23	2,19	3,33	3,31	4,06
Média geral	14,27	18,16	19,04	18,37	17,86	17,01

** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

No primeiro ciclo de cultivo, os maiores valores de diâmetros de colmo foram obtidos pelos tratamentos NPK e EfPK aos 45 e 60 DAE (25,99 e 25,19 mm e 27,15 e 26,10 mm, respectivamente) (Tabela 14). No segundo ciclo os maiores valores da variável analisada foram observados nos tratamentos NPK e EfPK aos 45 e 60 DAE (21,90 e 22,50 mm e 20,95 e 21,53 mm, respectivamente) (Tabela 15). Em nenhuma das parcelas foi verificado quebra ou acamamento de milho.

O comportamento de desenvolvimento do diâmetro de colmo entre os estádios fenológicos nos dois ciclos é semelhante, indicando que a partir dos 75 DAE ocorre um decréscimo do diâmetro de colmo, e aos 90 e 105 DAE os valores de NPK e EfPK são estatisticamente iguais à análise realizada aos 30 DAE, no primeiro ciclo, e superiores a análise realizada aos 30 DAE, no segundo ciclo. Essa perda de diâmetro de colmo deve-se a esse órgão atuar como fator de sustentação da planta e na fase vegetativa como reserva de fotoassimilados. Isso favorece a perda de diâmetro do

colmo, pois aos 60 DAE, quando ocorre o pendoamento e o milho entra na fase reprodutiva, o colmo atua como fonte e a espiga como dreno, ocorrendo a translocação de umidade e fotoassimilados do colmo para o enchimento de grãos na espiga (MAGALHÃES et al., 2002; VIECELLI et al., 2011).

Costa et al. (2014), utilizaram a irrigação com 100, 75, 50 e 25 % de EET, e também observaram um aumento do diâmetro de colmo até os 60 DAE, atingindo 29,90, 31,12, 26,66 e 31,32 mm, respectivamente, valores próximos aos alcançados pelos tratamentos NPK e EfPK nesse trabalho aos 45 e 60 DAE do primeiro ciclo. Hanashiro, Mingotte e Fornasieri Filho (2013) e Araújo et al. (2016), analisaram o desempenho agrônômico em diferentes híbridos, e reportaram diâmetros entre 20,19 e 23,44 mm e 21,1 e 25,5 mm, valores próximos aos encontrados no segundo ciclo dessa pesquisa, não sendo observados quebras ou acamamento de milho. Para Zucareli et al. (2013), o acamamento de planta de milho deve-se ao pequeno desenvolvimento dos colmos.

Nas Tabelas 16 e 17 são apresentadas as análises de variância do comprimento de espiga com palha. Em todos os tratamentos ocorreu diferença significativa a 1%, sem diferença entre os blocos. No primeiro ciclo, os tratamentos NPK, EfPK e Ef foram estatisticamente iguais nas três datas, com exceção aos 75 DAE, com o tratamento Ef inferior. No segundo ciclo, apenas os tratamentos NPK e EfPK foram estatisticamente iguais e superior aos demais tratamentos aos 75 e 90 DAE; aos 105 DAE o tratamento NPK foi superior a todos os tratamentos. A Controle foi o menor resultado encontrado em todas as avaliações, com exceção da realizada aos 75 DAE do segundo ciclo. Houve diferença entre as avaliações em todos os tratamentos, com 90 e 105 DAE sendo estatisticamente iguais e superiores a 75 DAE, na avaliação realizada durante a safra. Na safrinha o valor de comprimento de espiga com palha encontrado aos 105 DAE foi superior as outras avaliações realizadas.

Tabela 16 – Análise de variância e valores médios do comprimento de espiga com palha, em função dos tratamentos, de setembro a dezembro de 2021 (safra).

Tratamento	75 DAE R ₂ (cm)	90 DAE R ₄ (cm)	105 DAE R ₆ (cm)
NPK	27,29 a B	29,65 a A	31,41 a A
EfPK	26,54 a B	28,86 a A	29,81 a A
Ef	25,63 b B	28,04 a A	29,42 a A
Controle	21,57 c B	24,45 b A	24,86 b A
Tratamento	19,56**	15,81**	23,78**
Bloco	0,06 ^{NS}	0,04 ^{NS}	0,82 ^{NS}
Erro	0,09	1,09	2,05
C.V. (%)	1,21	3,76	4,96
Média geral	25,26	27,75	28,88

** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 17 – Análise de variância e valores médios do comprimento de espiga com palha, em função dos tratamentos, de março a junho de 2022 (safrinha).

Tratamento	75 DAE R ₂ (cm)	90 DAE R ₄ (cm)	105 DAE R ₆ (cm)
NPK	26,71 a B	27,43 a B	30,84 a A
EfPK	25,11 a B	26,07 ab B	28,38 b A
Ef	21,29 b B	24,70 b A	25,09 c A
Controle	18,75 b B	22,08 c A	22,04 d A
Tratamento	39,20**	15,64**	44,17**
Bloco	0,16 ^{NS}	0,05 ^{NS}	0,31 ^{NS}
Erro	0,89	0,31	0,44
C.V. (%)	4,10	2,23	2,49
Média geral	22,97	25,07	26,59

** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os maiores valores de comprimento de espiga com palha no primeiro ciclo foram alcançados nos tratamentos NPK, EfPK e Ef aos 90 e 105 DAE (Tabela 16), diferente do comprimento de espiga sem palha, com os tratamentos NPK, EfPK e Ef diferindo entre si. No segundo ciclo o maior valor de comprimento de espiga com palha foi encontrado aos 105 DAE (Tabela 17), no tratamento NPK, resultado similar ao que foi encontrado para o comprimento de espiga sem palha. A presença da palha acabou influenciando para que os tratamentos NPK, EfPK e Ef não diferissem entre si no comprimento de espiga com palha no primeiro ciclo, não sendo possível verificar essa influência no segundo ciclo.

Resultados semelhantes foram encontrados por Camara et al. (2016), que avaliaram a produtividade de milho em função da adubação mineral com doses de 0, 100 e 200% e não encontraram diferença significativa entre as adubações de 100 e 200% (23 e 24 cm, respectivamente) para comprimento de espiga com palha, mas foi notado diferença significativa entre as doses de 100 e 200% (13 e 14,3 cm, respectivamente) para comprimento de espiga sem palha.

Houve diferença significativa a 1% entre todos os tratamentos em relação ao diâmetro da espiga, com os tratamentos NPK e EfPK sendo superiores ao tratamento Ef e a Controle inferior a todos na safra (Tabela 18) e o tratamento NPK estatisticamente superior a todos os outros tratamentos na safrinha (Tabela 19). Também ocorreu diferença significativa entre as avaliações (75, 90 e 105 DAE) em todos os tratamentos. No primeiro ciclo, o máximo diâmetro de espiga com palha nos tratamentos NPK e EfPK foi alcançado nas avaliações de 90 e 105 DAE, enquanto que os tratamentos Ef e Controle apresentaram o mesmo comportamento observado no segundo ciclo, com os tratamentos atingindo o máximo diâmetro aos 105 DAE.

Tabela 18 – Análise de variância e valores médios do diâmetro de espiga com palha, em função dos tratamentos, de setembro a dezembro de 2021 (safra).

Tratamento	75 DAE	90 DAE	105 DAE
	R ₂ (mm)	R ₄ (mm)	R ₆ (mm)
NPK	52,22 a B	57,56 a A	59,02 a A
EfPK	51,10 a B	55,92 a A	57,02 a A
Ef	36,26 b C	44,53 b B	49,03 b A
Controle	28,67 c C	35,75 c B	42,15 c A
Tratamento	377,14**	315,53**	180,12**
Bloco	14,24 ^{NS}	1,68 ^{NS}	2,14 ^{NS}
Erro	3,30	2,92	1,70
C.V. (%)	4,27	3,53	2,52
Média geral	42,56	48,44	51,81

** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 19 – Análise de variância e valores médios do diâmetro de espiga com palha, em função dos tratamentos, de março a junho de 2022 (safrinha).

Tratamento	75 DAE (cm)	90 DAE (cm)	105 DAE (cm)
NPK	46,71 a C	50,35 a B	53,49 a A
EfPK	42,17 b C	45,52 b B	48,12 b A
Ef	25,36 c C	38,16 c B	43,24 c A
Controle	22,64 d C	34,68 d B	38,89 d A
Tratamento	431,56**	149,52**	118,72**
Bloco	1,52 ^{NS}	0,68 ^{NS}	0,41 ^{NS}
Erro	0,64	1,15	0,79
C.V. (%)	2,35	2,55	1,94
Média geral	34,22	42,15	45,94

** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os maiores valores de diâmetro de espiga com palha foram encontrados nos tratamentos NPK e EfPK, respectivamente com valores de 57,56 e 55,92 mm aos 90 DAE) e de 59,02 e 57,02 mm aos 105 DAE (Tabela 18). No segundo ciclo o maior valor de diâmetro de espiga com palha foi encontrado no tratamento NPK aos 105 DAE, com 53,49 mm (Tabela 19).

Camara et al. (2016) utilizaram 0, 100 e 200% da dose de adubo recomendada para o milho e também não encontram diferença significativa para as variáveis diâmetro de espiga com palha e sem palha para as doses de 100 e 200%, que diferiram da dose de 0%. Oliveira et al. (2020), estudaram a resposta da produtividade de milho verde em função de níveis crescentes de irrigação e população de plantas, e com lâminas correspondentes a 100% da ETc como utilizada neste trabalho, reportaram o diâmetro da espiga de 51,67 mm, valor inferior aos resultados encontrados nos dois ciclos dessa pesquisa.

As análises de variância da inserção da primeira espiga apresentadas nas Tabelas 20 e 21 mostram que houve diferença significativa a 1% entre os tratamentos e não houve diferença significativa entre blocos. Os tratamentos NPK e EfPK foram estatisticamente iguais entre si e superiores aos tratamentos Ef e Controle no primeiro ciclo, enquanto que o tratamento NPK se apresentou superior aos demais tratamentos na avaliação realizada no segundo ciclo.

Tabela 20 – Análise de variância e valores médios da altura da espiga, em função dos tratamentos, de setembro a dezembro de 2021 (safra).

Tratamento	Inserção da primeira espiga (cm)
NPK	95,36 a
EfPK	92,19 a
Ef	59,02 b
Controle	54,52 b
Tratamento	1384,39**
Bloco	11,04 ^{NS}
Erro	4,29
C.V. (%)	2,75
Média geral	75,27

** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 21 – Análise de variância e valores médios da altura da espiga, em função dos tratamentos, de março a junho de 2022 (safrinha).

Tratamento	Inserção da espiga (cm)
NPK	75,13 a
EfPK	68,59 b
Ef	47,54 c
Controle	39,61 d
Tratamento	852,73**
Bloco	0,75 ^{NS}
Erro	0,61
C.V. (%)	1,36
Média geral	57,72

** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os tratamentos NPK e EfPK conseguiram valores de inserção de primeira espiga de 95,36 e 92,19 cm, respectivamente, na safra (Tabela 20) e 75,13 cm para o tratamento NPK na safrinha (Tabela 21). Araújo et al. (2015), analisaram o crescimento e produtividade de milho em função da adubação com doses de manipueira, e constataram um incremento da inserção da primeira espiga em função do aumento da dosagem da manipueira em relação ao controle.

Gazola et al. (2014) avaliaram a resposta de produção e parâmetros agronômicos do milho em função a adubação nitrogenada de cobertura e aplicação foliar de aminoácidos, e com uma dose de 60 kg ha⁻¹ de N registraram a inserção da espiga a 121,1 cm. Zoz et al. (2018) estudaram a influência da adubação nitrogenada, densidade populacional e espaçamento entre linhas, e para espaçamento de 0,8m entre linha e densidade populacional de 75.000 plantas, os autores encontraram, respectivamente, valores de 92,4 e 94,4 cm para a altura da inserção da espiga, resultados próximos aos encontrados no primeiro ciclo desse trabalho.

4.4 Massa fresca e massa seca da parte área do milho

A matéria fresca de folha apresentou diferença significativa a 1% entre os tratamentos, em todos os estádios fenológicos (Tabelas 22 e 23). Os dois ciclos apresentaram o mesmo comportamento, com apenas a análise realizada em V₃/V₄, resultando nos tratamentos NPK e EfPK iguais entre si, enquanto que entre V₉ e R₆ o tratamento NPK foi superior aos demais. Foi verificada diferença significativa para massa fresca de folha entre os estádios fenológicos, com R₂ obtendo a maior valor em todos os tratamentos para o primeiro ciclo e V_t apresentando os maiores valores de MFF para o segundo ciclo.

Tabela 22 – Análise de variância e valores médios da massa fresca de folha (MFF) (g planta⁻¹), em função dos tratamentos, de setembro a dezembro de 2021 (safra).

Tratamentos	14 DAE V ₃ /V ₄	46 DAE V ₉	60 DAE V _t	74 DAE R ₂	93 DAE R ₄	105 DAE R ₆
NPK	17,49 a E	120,83 a D	165,27 a B	188,99 a A	163,67 a B	133,31 a C
EfPK	13,49 a E	108,48 b D	157,83 b B	177,99 b A	141,07 b C	113,19 b D
Ef	7,33 b F	39,91 c E	95,90 c B	103,72 c A	87,32 c C	75,37 c D
Controle	4,42 b F	27,59 d E	79,12 d B	86,25 d A	65,07 d C	56,59 d D
Tratamento	104,64**	6697**	5650**	8046**	6305**	3658**
Bloco	1,24 ^{NS}	16,92 ^{NS}	1,59 ^{NS}	3,45 ^{NS}	13,34 ^{NS}	0,61 ^{NS}
Erro	2,78	6,05	8,00	7,18	5,62	0,46
C.V. (%)	15,63	3,31	2,27	1,92	2,07	0,72
Média geral	10,68	74,20	124,53	139,24	114,28	94,61

** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 23 – Análise de variância e valores médios da massa fresca de folha (MFF) (g planta⁻¹), em função dos tratamentos, de março a junho de 2022 (safrinha).

Tratamentos	17	36	59	74	93	100	105
	DAE	DAE	DAE	DAE	DAE	DAE	DAE
	V _{3/V4}	V ₉	V _t	R ₂	R ₄	R ₅	R ₆
NPK	4,37	79,73	115,69	111,98	91,45	85,09	75,85
	a G	a E	a A	a B	a C	a D	a F
EfPK	4,12	59,60	92,58	87,53	62,09	64,87	58,13
	a G	b E	b A	b B	b D	b C	b F
Ef	3,38	36,85	65,39	52,80	48,43	45,56	38,36
	b G	c F	c A	c B	c C	c D	c E
Controle	3,12	27,64	58,24	43,78	40,58	27,08	24,84
	b F	d D	d A	d B	d C	d D	d E
Tratamento	1,05**	1645**	2083**	2098**	1503**	1870**	1500**
Bloco	0,01 ^{NS}	0,05 ^{NS}	0,08 ^{NS}	0,03 ^{NS}	0,15 ^{NS}	0,12 ^{NS}	0,48 ^{NS}
Erro	0,03	0,17	0,13	0,94	0,18	0,08	0,38
C.V. (%)	4,55	0,81	0,43	1,31	0,70	0,51	1,25
Média geral	3,75	50,95	82,98	74,02	60,64	55,65	49,30

** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os maiores valores de matéria fresca de folha obtidas pelo tratamento NPK foi de 188,99 g planta⁻¹ em R2 (Tabela 22) e 155,69 g planta⁻¹ em Vt (Tabela 23). No primeiro e segundo ciclos dos estádios fenológicos que ocorreram os maiores valores de MFF até R6 ocorreu um declínio do valor das massas nos tratamentos NPK, EfPK e Ef e Controle, de 29,46 e 34,43%, 36,40 e 37,21%, 27,33 e 32,89% e 34,38 e 57,34 %, respectivamente. Magalhães et al. (2014) ao analisarem o desenvolvimento inicial do milho sob diferentes doses de manipueira, também observaram um aumento gradual da massa fresca de folhas durante a fase vegetativa da cultura. Guareschi et al. (2010) avaliaram três híbridos de milho, P-30F90, DKB-177 e AG-7010, aos 105 DAE (R6) encontram massa fresca de folha iguais a 10.170, 9.690 e 10.640 kg ha⁻¹, respectivamente, os quais foram superiores aos encontrados neste trabalho. O

tratamento NPK, o mais produtivo, no mesmo estágio, alcançou 133,31 g planta⁻¹ (equivalente a 9.257,64 kg ha⁻¹).

A variável massa fresca de colmo apresentou comportamento semelhante a observada na massa fresca de folhas. Houve diferença significativa a 1% entre todos os tratamentos para todos os estádios fenológicos analisados (Tabela 24 e 25). O tratamento NPK foi superior aos demais tratamentos em todos os estádios fenológicos, dos dois ciclos. Também houve diferença significativa entre os estádios para todos os tratamentos. Observa-se que no primeiro ciclo os tratamentos NPK, Ef e Controle atingiram a maior massa fresca de colmo em R2, enquanto que o tratamento EfPK alcançou maior valor para essa variável em Vt e manteve o alto valor até R2. No segundo ciclo os maiores valores de MFC foram atingidos em Vt.

Tabela 24 – Análise de variância e valores médios da massa fresca de colmo (MFC) (g planta⁻¹), em função dos tratamentos, de setembro a dezembro de 2021 (safra).

Tratamentos	14 DAE V ₃ /V ₄	46 DAE V ₉	60 DAE V _t	74 DAE R ₂	93 DAE R ₄	105 DAE R ₆
NPK	11,71 a F	242,47 a E	357,78 a B	372,60 a A	322,35 a C	292,83 a D
EfPK	8,84 b E	232,41 b D	348,78 b A	345,33 b A	305,28 b B	277,36 b C
Ef	3,96 c E	57,17 c D	155,26 c B	198,26 c A	158,19 c B	138,45 c C
Controle	1,64 d E	35,99 d D	111,52 d C	154,17 d A	120,47 d B	108,43 d C
Tratamento	62,72**	36704**	49326**	34741**	31302**	26704**
Bloco	0,86 ^{NS}	0,47 ^{NS}	1,25 ^{NS}	6,32 ^{NS}	12,89 ^{NS}	1,78 ^{NS}
Erro	0,60	1,45	10,36	7,00	9,41	3,93
C.V. (%)	11,90	0,85	1,32	0,99	1,35	0,97
Média geral	6,54	142,01	243,31	267,59	226,58	204,27

** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 25 – Análise de variância e valores médios da massa fresca de colmo (MFC) (g planta⁻¹), em função dos tratamentos, de março a junho de 2022 (safrinha).

Tratamentos	17	36	59	74	93	100	105
	DAE	DAE	DAE	DAE	DAE	DAE	DAE
	V ₃ /V ₄	V ₉	V _t	R ₂	R ₄	R ₅	R ₆
NPK	2,08	134,06	325,22	233,95	224,11	220,78	216,57
	a G	a F	a A	a B	a C	a D	a E
EfPK	1,90	92,46	273,49	207,72	176,58	181,63	176,67
	b F	b E	b A	b B	b D	b C	b D
Ef	1,42	47,53	152,82	132,32	118,58	104,30	102,76
	c G	c F	c A	c B	c C	c D	c E
Controle	1,08	37,24	127,24	111,45	93,75	71,94	69,33
	d G	d F	d A	d B	d C	d D	d E
Tratamento	0,63**	5940**	27049**	10352**	10307**	14078**	13581**
Bloco	0,004 ^{NS}	0,14 ^{NS}	0,01 ^{NS}	0,34 ^{NS}	0,28 ^{NS}	0,14 ^{NS}	0,14 ^{NS}
Erro	0,04	0,30	0,30	0,23	0,27	0,35	0,21
C.V. (%)	12,84	0,70	0,25	0,28	0,34	0,41	0,32
Média geral	1,62	77,82	219,70	171,36	153,26	144,66	141,33

** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A adubação mineral (NPK) foi responsável por produzir colmos mais pesados em detrimento às outras formas de adubações realizadas, em todos os estádios, com destaque para R₁, com 322,35 g planta⁻¹ (Tabela 24) e 325,22 g planta⁻¹ (Tabela 25). Na safra e safrinha, a perda percentual de massa entre o estádio fenológico de maior valor de MFC (safra – R₂, safrinha – V_t) e R₆ nos colmos foi menor a perda percentual observada nas folhas, sendo de 21,41 e 33,41% (NPK), 19,68 e 35,40% (EfPK), 30,16 e 32,75% (Ef) e 29,66 e 45,51% (Controle), respectivamente. A maior perda percentual encontrada nos tratamentos Ef e Controle indicam que o déficit de adubação nesses tratamentos levou a um baixo acúmulo de matéria nas folhas, e isso fez com que os colmos tivessem uma maior contribuição como fonte de fotoassimilados para o enchimento de grãos da espiga, quando comparados aos tratamentos NPK e EfPK.

Resultados semelhantes foram encontrados por Magalhães et al. (2014), que observaram um aumento linear da massa fresca de colmo durante a fase vegetativa do milho. Severo (2021) ao analisar a influência do déficit hídrico sobre a produção de milho verde, encontrou uma produtividade em R4 de 17.813,7 kg ha⁻¹, resultado inferior ao encontrado nesta pesquisa no tratamento NPK em R4, 22.385,42 kg ha⁻¹ (equivalente a 322,35 g planta⁻¹).

Na análise de variância da matéria fresca de palha apresentada nas Tabelas 26 e 27, é possível observar que houve diferença significativa entre os tratamentos de todos os estádios fenológicos analisados. O tratamento NPK foi superior a todos os outros tratamentos, nas três e nas quatro fases avaliadas no primeiro e segundo ciclos, respectivamente. Entre os estádios fenológicos houve diferença significativa para todos os tratamentos. Para o primeiro ciclo, o estágio R₂ obteve a maior massa fresca de palha nos tratamentos NPK e EfPK, enquanto que em R₄ foi alcançado o maior valor para os tratamentos Ef e Controle. No segundo ciclo, o tratamento NPK apresentou o maior valor de MFPE em R₂; os tratamentos EfPK e Controle, obtiveram os maiores valores de MFPE em R₄ e em R₅ o tratamento Ef atingiu o maior valor.

Tabela 26 – Análise de variância e valores médios da massa fresca da palha da espiga (MFPE) (g planta⁻¹), em função dos tratamentos, de setembro a dezembro de 2021 (safra).

Tratamentos	74 DAE R ₂	93 DAE R ₄	105 DAE R ₆
NPK	168,85 a A	117,86 a B	97,22 a C
EfPK	133,81 b A	91,11 b B	78,80 b C
Ef	68,54 c B	79,00 d A	68,46 c B
Controle	29,21 d C	63,15 c A	44,89 d B
Tratamento	11884**	1599**	1428**
Bloco	2,09 ^{NS}	1,64 ^{NS}	11,38 ^{NS}
Erro	0,54	7,75	3,30
C.V. (%)	0,74	3,17	2,51
Média geral	100,10	87,78	72,34

** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 27 – Análise de variância e valores médios da massa fresca da palha da espiga (MFPE) (g planta⁻¹), em função dos tratamentos de março a junho de 2022 (safrinha).

Tratamentos	74 DAE R ₂	93 DAE R ₄	100 DAE R ₅	105 DAE R ₆
NPK	157,12 a A	141,70 a B	113,15 a C	82,13 a D
EfPK	107,12 b B	110,76 b A	93,54 b C	69,04 b D
Ef	57,85 c C	64,33 c B	75,73 c A	48,84 c D
Controle	35,86 d B	48,84 d A	36,02 d B	31,73 d C
Tratamento	8761,99**	5449,40**	3234,09**	1478,46**
Bloco	0,03 ^{NS}	0,06 ^{NS}	0,48 ^{NS}	1,06 ^{NS}
Erro	0,12	0,10	0,07	0,33
C.V. (%)	0,37	0,34	0,34	1,00
Média geral	89,49	91,41	79,61	57,93

** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O maior valor de massa fresca de palha encontrado no tratamento NPK foi de 168,85 g planta⁻¹ em R₂ (Tabela 26) e 157,12 g planta⁻¹ em R₂ (Tabela 27). Os tratamentos NPK e EfPK atenderam ao mesmo padrão encontrado em massa fresca de folha e colmo, com maior acúmulo em R₂. Na safra e na safrinha, os tratamentos NPK e EfPK tiveram uma perda de 42,42 e 41,11% e 47,72 e 35,54%, entre R₂ e R₆, respectivamente, enquanto que os tratamentos Ef perdeu um valor de massa fresca de 13,34% entre R₄ e R₆. Oliveira (2018), analisou a produção de silagem de milho em consorcio com a soja, ao utilizar inoculante *Azospirillum brasiliensis* e doses de 20, 50 e 80 kg de N ha⁻¹, encontrou valores de massa fresca de palha em R₅ de 5.860,56, 4.073,89 e 4.483,33 kg ha⁻¹, respectivamente, resultados próximos aos encontrados pelos tratamentos EfPK e Ef, 78,80 g planta⁻¹ (5.472,22 kg ha⁻¹) e 68,46 (4.754,17 kg ha⁻¹) g planta⁻¹.

Para massa fresca de espiga, houve diferença significativa a 1% entre os tratamentos, em todos os estádios fenológicos, e não houve diferença entre blocos (Tabelas 28 e 29). Nos dois ciclos, o tratamento NPK foi superior aos demais entre R₂ e R₆. Os estádios fenológicos diferiram entre si para os tratamentos, com R₄ sendo

superior a R2 e R6, na safra e o estágio R6 sendo superior aos demais estádios na safrinha.

Tabela 28 – Análise de variância e valores médios da massa fresca da espiga (MFE) (g planta⁻¹), em função dos tratamentos, de setembro a dezembro de 2021 (safra).

Tratamentos	74 DAE - R ₂	93 DAE - R ₄	105 DAE - R ₆
NPK	133,95 a C	203,14 a A	162,48 a B
EfPK	124,65 b B	173,30 b A	128,23 b B
Ef	49,31 c C	123,62 c A	71,70 c B
Controle	17,61 d C	87,51 d A	37,98 d B
Tratamento	9731,83**	7329,56**	9348,02**
Bloco	13,72 ^{NS}	2,83 ^{NS}	0,75 ^{NS}
Erro	8,74	7,72	6,86
C.V. (%)	3,63	1,89	2,62
Média geral	81,38	146,89	100,10

** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 29 – Análise de variância e valores médios da massa fresca da espiga (MFE) (g planta⁻¹), em função dos tratamentos, de março a junho de 2022 (safrinha).

Tratamentos	74 DAE R ₂	93 DAE R ₄	100 DAE R ₅	105 DAE R ₆
NPK	122,87 a D	188,70 a C	195,39 a B	202,84 a A
EfPK	65,29 b D	141,90 b C	156,08 b B	157,79 b A
Ef	39,22 c C	95,68 c B	109,23 c A	110,19 c A
Controle	15,03 d C	72,21 d B	73,13 d B	80,71 d A
Tratamento	6433,28**	7988,40**	8573,71**	8652,17**
Bloco	0,39 ^{NS}	0,02 ^{NS}	0,48 ^{NS}	0,35 ^{NS}
Erro	0,09	0,45	0,29	0,07
C.V. (%)	0,49	0,54	0,41	0,19
Média geral	60,61	124,62	133,46	137,88

** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os estádios R₄ e R₆ se destacam na análise da massa fresca de espiga, e o maior valor encontrado foi de 203,14 g planta⁻¹ (Tabela 28) em R₄ no tratamento NPK e 202,84 g planta⁻¹ (Tabela 29) em R₆ no tratamento NPK. Diferente dos resultados encontrado nas folhas, colmo e palha, a maior massa fresca de espiga foi encontrada em R₄ pois o grão de milho estava com 70% de umidade nesse estágio, contribuindo para maior massa. Na colheita (R₆) o grão chega a 30 – 38 % de umidade (MAGALHÃES & DURÃES, 2006), explicando a perda de massa fresca da espiga entre esses estádios no primeiro ciclo; no entanto, para o segundo ciclo foi observado o aumento linear do ganho de massa fresca na espiga até o atingimento da maturidade fisiológica.

A produtividade de massa fresca, apresentado na Tabela 30 e 31, indica que houve diferença significativa entre os tratamentos em todos os estádios. Para essa a variável o tratamento NPK também foi superior a todos os outros tratamentos, com exceção da análise realizada no segundo ciclo no estágio fenológico V₃/V₄, com o tratamento NPK e EfPK estatisticamente iguais. No primeiro ciclo, houve diferença significativa entre os estádios, com maior produtividade em R₂ para os tratamentos NPK e EfPK, e em R₄ para os tratamentos Ef e Controle. No segundo ciclo, os maiores valores para os tratamentos NPK e Controle ocorreram no estágio R₄ e em R₅ para os tratamentos EfPK e Ef. A maior produtividade no primeiro e segundo ciclos foi alcançada pelo tratamento NPK, 60.027,95 kg ha⁻¹ (Tabela 30) em R₂ e 44858,22 kg ha⁻¹ em R₄ (Tabela 31), respectivamente. As variáveis, folha e colmo tiveram grande contribuição para a maior produtividade ser alcançada nos estádios R₂ (primeiro ciclo) e R₄ (segundo ciclo), sendo responsáveis por 44,33 e 43,10% 52,46 e 34,69% da produtividade de massa fresca, respectivamente. Os tratamentos EfPK e Ef, apesar de estatisticamente inferiores a NPK, alcançaram altas produtividades de massa fresca, tornando-se uma alternativa interessante para produção de silagem.

Tabela 30 – Análise de variância e valores médios da produtividade de massa fresca (PMF) (kg ha⁻¹), em função dos tratamentos, de setembro a dezembro de 2021 (safra).

Tratamentos	14 DAE V ₃ /V ₄	46 DAE V ₉	60 DAE V _t	74 DAE R ₂	93 DAE R ₄	105 DAE R ₆
NPK	2027,31 a F	25228,99 a E	36323,21 a D	60027,95 a A	56042,77a B	47628,29 a C
EfPK	1550,81 b F	23673,15 b E	35173,03 b D	54290,16 b A	49358,27 b B	41498,56 b C
Ef	783,97 c F	6741,09 c E	17441,38 c D	29154,63 c B	31119,62 c A	24582,07 c C
Controle	420,60 c F	4414,30 d E	13238,48 d D	19947,11 d B	23347,16 d A	17215,22 d C
Tratamento	1,5x10 ^{7**}	3,6x10 ^{9**}	4,2x10 ^{9**}	1,1x10 ^{9**}	7,0x10 ^{9**}	6,1x10 ^{8**}
Bloco	11573 ^{NS}	77678 ^{NS}	25498 ^{NS}	219054 ^{NS}	221951 ^{NS}	159091 ^{NS}
Erro	24858	49656	135638	151486	444390	40647
C.V. (%)	13,19	1,48	1,44	0,95	1,67	0,62
Média geral	1195,67	15014,38	25544,03	40854,96	39966,95	32731,03

** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 31 – Análise de variância e valores médios da produtividade de massa fresca (PMF) (kg ha⁻¹), em função dos tratamentos, de março a junho de 2022 (safrinha).

Tratamentos	17 DAE	36 DAE	59 DAE	74 DAE	93 DAE	100 DAE	105 DAE
	V ₃ /V ₄	V ₉	V _t	R ₂	R ₄	R ₅	R ₆
NPK	447,97 a G	14846,53 a F	30618,63a E	43466,55 a B	44858,22 a A	42667,36 a C	40096,87 a D
EfPK	418,46 a G	10559,32 b F	25421,88 b E	32475,87 b C	34119,33 b B	34452,49 b A	32057,55 b D
Ef	333,10 b G	5860,24 c F	15153,88 c E	19596,76 c D	22709,72 c B	23250,75 c A	20843,93 c C
Controle	291,90 b E	4505,38 d D	12880,96 d C	14314,12 d B	17734,14 d A	14456,02 d B	14347,74 d B
Tratamento	10 ⁴ **	6x10 ⁷ **	2x10 ⁸ **	5x10 ⁸ **	4x10 ⁸ **	4x10 ⁸ **	3x10 ⁸ **
Bloco	120,48 ^{NS}	1708 ^{NS}	619,99 ^{NS}	3677 ^{NS}	103,87 ^{NS}	3942 ^{NS}	31199 ^{NS}
Erro	349,10	2782	777,73	5811	4701	6436	3858
C.V. (%)	5,01	0,59	0,13	0,28	0,23	0,28	0,23
Média geral	372,86	8942,94	21018,84	27463,33	29855,35	28706,35	26836,53

** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Nas Tabela 32 e 33, a massa seca de folha (MSF) não apresentou diferença significativa a 1% entre os tratamentos para todos os estádios fenológicos. Os dois ciclos apresentaram comportamento diferentes. A avaliação realizada na safra indica que os tratamentos NPK e EfPK não diferiram entre si para MSF, sendo superiores aos tratamentos Ef e Controle; na safrinha o tratamento NPK se apresentou superior aos demais tratamentos em todos os estádios fenológicos. Também ocorreu diferença significativa entre os estádios fenológicos, na safra, nos tratamentos NPK e EfPK os estádios V_t , R_2 e R_4 foram iguais e superiores aos demais, nos tratamentos Ef e Controle, os estádios V_t , R_2 , R_4 e R_6 não diferiram entre si e foram superiores a V_3/V_4 e V_9 . Na safrinha, nos tratamentos NPK, EfPK, Ef e Controle, os estádios R_4 , R_5 , R_5 e R_4 , respectivamente, apresentaram-se superiores aos demais estádios.

Tabela 32 – Análise de variância e valores médios da massa seca de folha (MSF) (g planta⁻¹), em função dos tratamentos, de setembro a dezembro de 2021 (safra).

Tratamentos	14 DAE V_3/V_4	46 DAE V_9	60 DAE V_t	74 DAE R_2	93 DAE R_4	105 DAE R_6
NPK	3,40 a C	28,84 a B	43,01 a AB	45,24 a A	43,51 a AB	42,85 a B
EfPK	2,55 ab D	26,08 a C	41,06 a AB	42,92 a A	41,59 a AB	39,72 a B
Ef	1,57 bc C	10,53 b B	24,43 b A	25,67 b A	25,97 b A	25,67 b A
Controle	1,01 c C	7,28 c B	20,97 c A	21,83 c A	21,68 c A	20,22 c A
Tratamento	3,36**	353,34**	381,66**	423,18**	361,81**	250,34**
Bloco	0,03 ^{NS}	1,30 ^{NS}	0,65 ^{NS}	1,46 ^{NS}	3,14 ^{NS}	0,72 ^{NS}
Erro	0,13	0,37	0,48	1,99	0,95	1,42
C.V. (%)	16,78	3,33	2,13	4,16	2,94	3,71
Média geral	2,13	18,18	32,37	33,92	33,19	32,11

** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 33 – Análise de variância e valores médios da massa seca de folha (MSF) (g planta⁻¹), em função dos tratamentos, de março a junho de 2022 (safrinha).

Tratamentos	17	36	59	74	93	100	105
	DAE	DAE	DAE	DAE	DAE	DAE	DAE
	V ₃ /V ₄	V ₉	V _t	R ₂	R ₄	R ₅	R ₆
NPK	0,80	16,10	26,44	28,43	28,27	27,80	28,15
	a D	a C	a B	a A	a A	a A	a A
EfPK	0,72	11,81	22,66	23,19	22,69	21,55	20,04
	b E	b D	b A	b A	b A	b B	b C
Ef	0,65	8,22	15,55	15,38	15,48	15,43	15,05
	c C	c B	c A	c A	c A	c A	c A
Controle	0,56	6,10	13,67	13,67	13,38	13,48	13,51
	d C	d B	d A	d A	d A	d A	d A
Tratamento	0,03**	57,60**	107,67**	142,55**	139,78**	125,95**	130,37**
Bloco	10 ⁻⁴ NS	0,02 ^{NS}	0,30 ^{NS}	0,05 ^{NS}	0,09 ^{NS}	0,21 ^{NS}	0,01 ^{NS}
Erro	0,0001	0,01	0,09	0,09	0,12	0,17	0,15
C.V. (%)	1,17	0,71	1,56	1,47	1,72	2,10	2,02
Média geral	0,68	10,56	19,58	20,17	19,95	19,57	19,19

** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O acúmulo inicial de matéria seca na folha foi baixo (V₃/V₄) (Tabelas 32 e 33), em todos os tratamentos, principalmente no segundo ciclo, mas com a adubação de cobertura nos tratamentos NPK, EfPK e Ef (realizada entre V₃/V₄ e V₈), foi disponibilizado uma maior quantidade de nutrientes no solo, sendo absorvidos pelas plantas e convertidos pelo processo de fotossíntese em fotoassimilados e acumulados nas folhas. Com o avanço da fase vegetativa, o acúmulo de MSF aumentou de forma gradual até atingir o valor máximo no florescimento e manteve-se estatisticamente igual até R₄ (safra) e R₆ (safrinha). Entre os estádios R₂ e R₆ foi observado perda de MSF nas folhas nos tratamentos NPK e EfPK. Resultados semelhantes também foram observados por Von Pinho et al. (2009) e Santos et al. (2010), que ao avaliarem acúmulos de massa seca no milho em diferentes estádios, verificaram um máximo acúmulo na fase reprodutiva e perda de MSF próximo ao período de maturidade

fisiológica da cultura (R_6). Nos tratamentos Ef e Controle também foi observado um aumento gradual na MSF até V_t ; no entanto, não foi verificado perda de MSF até R_6 .

Houve diferença significativa a 1% para massa seca de colmo (MSC) entre os tratamentos para todos os estádios fenológicos (Tabelas 34 e 35). Na massa seca de colmo o tratamento NPK foi superior aos demais, com exceção das avaliações realizadas em V_3/V_4 e V_t no segundo ciclo. Os estádios apresentaram diferença significativa entre si para todos os tratamentos. No primeiro ciclo, o estágio R_4 acumulou maior teor de MSC, sendo superior as demais fases nos tratamentos NPK, EfPK e Controle; no tratamento Ef, R_4 e R_6 foram superiores aos demais. No segundo ciclo, os maiores valores de MSC dos tratamentos NPK, EfPK, Ef e Controle ocorreram, respectivamente, em R_6 , R_4 , R_2 a R_4 e R_2 .

Tabela 34 – Análise de variância e valores médios da massa seca de colmo (MSC) (g planta^{-1}), em função dos tratamentos, de setembro a dezembro de 2021 (safra).

Tratamentos	14 DAE V_3/V_4	46 DAE V_9	60 DAE V_t	74 DAE R_2	93 DAE R_4	105 DAE R_6
NPK	1,05 a E	40,24 a D	61,61 a C	90,24 a B	107,78 a A	92,18 a B
EfPK	0,79 b E	34,53 b D	54,38 b C	87,59 b B	104,06 b A	89,05 b B
Ef	0,40 c E	7,56 c D	23,87 c C	47,24 c B	50,12 c A	49,47 c A
Controle	0,18 d F	4,74 c E	14,72 d D	32,80 d C	42,47 d A	35,52 d B
Tratamento	0,45**	995,86**	1565**	2498**	3648**	2417**
Bloco	0,02 ^{NS}	0,52 ^{NS}	1,11 ^{NS}	1,71 ^{NS}	4,30 ^{NS}	0,10 ^{NS}
Erro	0,004	1,72	0,21	0,51	0,95	0,18
C.V. (%)	10,49	6,02	1,18	1,10	1,27	0,64
Média geral	0,61	21,77	38,65	64,47	76,36	66,55

** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 35 – Análise de variância e valores médios da massa seca de colmo (MSC) (g planta⁻¹), em função dos tratamentos, de março a junho de 2022 (safrinha).

Tratamentos	17	36	59	74	93	100	105
	DAE	DAE	DAE	DAE	DAE	DAE	DAE
	V ₃ /V ₄	V ₉	V _t	R ₂	R ₄	R ₅	R ₆
NPK	0,22	12,82	55,00	57,90	60,03	61,26	68,80
	a G	a F	a E	a D	a C	a B	a A
EfPK	0,22	9,61	54,24	54,99	56,41	54,36	52,55
	a E	b D	a B	b B	b A	b B	b C
Ef	0,17	5,80	23,24	29,52	29,55	30,37	29,27
	b E	c D	b C	c AB	c AB	c A	c B
Controle	0,12	3,68	21,26	25,35	23,23	22,58	21,89
	c F	d E	c D	d A	d B	d BC	d CD
Tratamento	0,01**	49,36**	1049**	854**	1039**	1035**	1391**
Bloco	2x10 ⁻⁵ NS	0,002 ^{NS}	0,07 ^{NS}	0,23 ^{NS}	0,09 ^{NS}	0,17 ^{NS}	0,12 ^{NS}
Erro	2x10 ⁻⁵	0,15	0,37	0,27	0,12	0,05	0,25
C.V. (%)	2,78	4,92	1,58	1,24	0,82	0,52	1,16
Média geral	0,18	7,98	38,44	41,94	42,30	42,14	43,13

** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O acúmulo de MSC em V₃/V₄ nos tratamentos NPK, EfPK, Ef e Controle (1,05 e 0,22, 0,79 e 0,22, 0,40 e 0,17, 0,18 e 0,12 g planta⁻¹, respectivamente) foi baixo (Tabela 34 e 35). As perdas de MSC (Tabela 34, safra) encontradas principalmente nos tratamentos NPK e EFPA indicam que ocorreu translocação de fotoassimilados da folha e do colmo para o enchimento de grão da espiga, a partir do estágio R₄. No entanto, na Tabela 35 (safrinha), percebe-se que no tratamento NPK ocorreu um aumento gradual da MSC até R₆, indicando que o colmo não foi uma fonte importante para a translocação de fotoassimilados para o grão.

Resultados semelhantes foram encontrados por Martins et al. (2017), que ao analisarem a absorção de nutrientes pela planta em função da variação temporal, encontraram um maior acúmulo de MSC em R₄-R₅ (106,56 g planta⁻¹), com perda de MSC até atingir R₆ (99,69 g planta⁻¹). Von Pinho et al. (2009), também verificaram um

máximo acúmulo de MSC próximos aos 80 DAE com queda de MSC próximo de 90 DAE.

Nas Tabelas 36 e 37, a análise de variância da massa seca da palha da espiga (MSPE) apresenta houve diferença significativa a 1% entre os tratamentos, mas não houve diferença entre os blocos. Com exceção da análise realizada em R₂ no primeiro ciclo, o tratamento NPK foi estatisticamente superior aos demais tratamentos em todos os estádios. No primeiro ciclo, houve diferença significativa entre os estádios para os tratamentos NPK, Ef e Controle, mas não foi verificado diferença no tratamento EfPK. Os estádios R₄ e R₆ foram os que mais acumularam MSPE entre os tratamentos que apresentaram diferença significativa. No segundo ciclo, os estádios R₄, R₄ e R₅, R₅ foram superiores aos demais estádios para os tratamentos NPK, EfPK e Controle, respectivamente.

Tabela 36 – Análise de variância e valores médios da matéria seca da palha da espiga (MSPE) (g planta⁻¹), em função dos tratamentos, de setembro a dezembro de 2021 (safra).

Tratamentos	74 DAE R ₂	93 DAE R ₄	105 DAE R ₆
NPK	29,60 a B	35,81 a A	32,92 a AB
EfPK	25,95 a A	29,16 b A	27,65 b A
Ef	11,73 b B	23,70 c A	22,35 c A
Controle	4,57 c B	16,93 d A	15,84 d A
Tratamento	417,36**	193,22**	160,35**
Bloco	3,04 ^{NS}	0,15 ^{NS}	0,46 ^{NS}
Erro	2,14	3,73	3,20
C.V. (%)	8,15	7,31	7,25
Média geral	17,96	26,40	24,69

** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 37 – Análise de variância e valores médios da matéria seca da palha da espiga (MSPE) (g planta⁻¹), em função dos tratamentos, de março a junho de 2022 (safrinha).

Tratamentos	74 DAE	93 DAE	100 DAE	105 DAE
	R ₂	R ₄	R ₅	R ₆
NPK	27,50 a B	31,32 a A	27,88 a B	25,50 a C
EfPK	17,34 b C	23,28 b A	23,82 b A	21,92 b B
Ef	10,60 c D	12,23 c C	18,15 c A	17,26 c B
Controle	6,28 d C	9,35 d AB	8,59 d B	9,82 d A
Tratamento	256,33**	309,09**	209,61**	138,50**
Bloco	0,02 ^{NS}	0,06 ^{NS}	0,03 ^{NS}	0,16 ^{NS}
Erro	0,21	0,06	0,26	0,09
C.V. (%)	2,95	1,29	2,59	1,67
Média geral	15,42	19,05	19,61	18,62

** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Como pode ser visto na Tabela 36, não foi observada perda de MSPE entre R₄ e a maturação fisiológica do milho (R₆), permanecendo constante. Na Tabela 37 é possível observar uma leve queda de MSPE, indicando perda de massa da palha. Isso indica que a palha da espiga não é fonte fundamental de fotoassimilados para a espiga. Von Pinho et al. (2009) e Martins et al. (2017), também observaram baixa variação da massa seca da palha da espiga, concluindo que essa variável tende a permanecer com sua massa constante.

A massa seca de espiga (MSE) apresentou diferença significativa a 1% entre os tratamentos para todos os estádios (Tabelas 38 e 39). Apenas no estádio R₂ do primeiro ciclo os tratamentos NPK e EfPK não diferiram entre si e foram superiores aos tratamentos Ef e Controle. Nos estádios R₄ e R₆, o tratamento NPK foi superior aos demais tratamentos. Entre os estádios houve diferença significativa, com R₆ sendo superior aos demais estádios.

Tabela 38 – Análise de variância e valores médios da massa seca da espiga (MSE) (g planta⁻¹), em função dos tratamentos, de setembro a dezembro de 2021 (safra).

Tratamentos	74 DAE	93 DAE	105 DAE
	R ₂	R ₄	R ₆
NPK	15,54 a C	72,07 a B	105,62 a A
EfPK	14,21 a C	63,57 b B	83,35 b A
Ef	5,33 b C	34,73 c B	46,61 c A
Controle	1,94 b C	15,84 d B	24,69 d A
Tratamento	132,98**	20,23,85**	3949,51**
Bloco	3,39 ^{NS}	3,65 ^{NS}	5,20 ^{NS}
Erro	2,83	3,44	2,41
C.V. (%)	18,17	3,98	2,39
Média geral	9,26	46,55	65,07

** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 39 – Análise de variância e valores médios da massa seca da espiga (MSE) (g planta⁻¹), em função dos tratamentos, de março a junho de 2022 (safrinha).

Tratamentos	74 DAE	93 DAE	100 DAE	105 DAE
	R ₂	R ₄	R ₅	R ₆
NPK	12,94 a D	41,14 a C	62,47 a B	86,06 a A
EfPK	8,17 b D	27,75 b C	53,09 b B	66,48 b A
Ef	4,71 c D	12,42 c C	25,30 c B	29,83 c A
Controle	1,62 d D	8,12 d C	14,56 d B	21,73 d A
Tratamento	70,74**	683,22**	1534,35**	2773,59**
Bloco	0,13 ^{NS}	0,03 ^{NS}	0,05 ^{NS}	0,28 ^{NS}
Erro	0,07	0,06	0,10	0,12
C.V. (%)	3,76	1,10	0,80	0,68
Média geral	6,86	22,36	38,86	51,02

** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Diferente dos resultados encontrados em MSF (Tabelas 32 e 33), MSC (Tabelas 34 e 35) e MSPE (Tabelas 36 e 37), observa-se um aumento gradual da MSE (Tabelas 38 e 39) durante a fase reprodutiva em todos os tratamentos, até o acúmulo máximo de matéria seca na maturidade fisiológica (R_6), com valores de 105,62 e 86,06, 85,35 e 66,48, 46,61 e 29,83, 24,69 e 21,73 g planta⁻¹ nos tratamentos NPK, EfPK, Ef e Controle no primeiro e segundo ciclos, respectivamente. O aumento da MSE indica a atuação do grão como o mais importante dreno de fotossintetizados na cultura do milho. Resultados semelhantes foram encontrados por Bassoi e Reichardt (1995), Martins et al. (2017) e Von Pinho et al. (2009). Esses autores também verificaram o aumento constante na MSE até atingir a maturidade fisiológica, com valores de MSE de 241,81 g planta⁻¹ (N aplicado em fertirrigação) e 179,26 g planta⁻¹ (N aplicado ao solo), 18.049 kg ha⁻¹, respectivamente.

A produtividade de massa seca apresentou diferença significativa a 1% entre os tratamentos em todos os estádios analisados, e não houve diferença significativa entre blocos (Tabelas 40 e 41). O tratamento NPK foi superior aos demais tratamentos em todos os estádios fenológicos. No primeiro ciclo, ocorreu diferença significativa entre os estádios, com R_6 sendo superior aos demais nos tratamentos NPK e Ef. Os estádios R_4 e R_6 obtiveram máxima produtividade para os tratamentos EfPK e Controle. No segundo ciclo, em todos os tratamentos o estádio fenológico R_6 foi superior aos outros estádios.

Tabela 40 – Análise de variância e valores médios da produtividade de massa seca (PMS) (kg ha⁻¹), em função dos tratamentos, de setembro a dezembro de 2021 (safra).

Tratamentos	14 DAE V ₃ /V ₄	46 DAE V ₉	60 DAE V _t	74 DAE R ₂	93 DAE R ₄	105 DAE R ₆
NPK	308,62 a F	4796,93 a E	7264,93 a D	12543,11 a C	17998,26 a B	18997,92 a A
EfPK	232,00 b E	4209,66 b D	6628,07 b C	11850,93 b B	16623,15 b A	16651,32 b A
Ef	136,63 c F	1255,84 c E	3354,46 c D	6247,69 c C	9340,57 c B	10006,39 c A
Controle	82,93 c E	834,90 d D	2478,36 d C	4245,48 d B	6730,09 d A	6684,85 d A
Tratamento	30148**	1,2x10 ⁸ **	1,7x10 ⁸ **	5,1x10 ⁸ **	9,0x10 ⁷ **	9,8x10 ⁷ **
Bloco	156,96 ^{NS}	5829 ^{NS}	6580 ^{NS}	66569 ^{NS}	180181 ^{NS}	68708 ^{NS}
Erro	667,85	13864	3140	86702	118437	67979
C.V. (%)	13,60	4,24	1,14	3,38	2,72	1,99
Média geral	190,05	2774,33	4931,45	8721,80	12673,02	13085,12

** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 41 – Análise de variância e valores médios da produtividade de massa seca (PMS) (kg ha⁻¹), em função dos tratamentos, de março a junho de 2022 (safrinha).

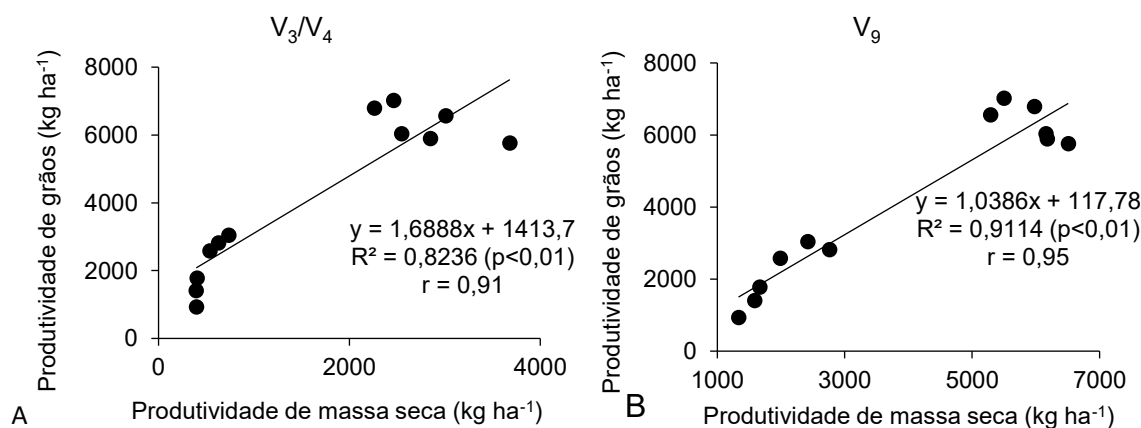
Tratamentos	17 DAE V ₃ /V ₄	36 DAE V ₉	59 DAE V _t	74 DAE R ₂	93 DAE R ₄	100 DAE R ₅	105 DAE R ₆
NPK	70,31 a G	2008,22 a F	5602,49 a E	8803,12 a D	11163,60 a C	12459,03 a B	14479,27 a A
EfPK	65,16 b G	1487,67 b F	5393,06 b E	6899,65 b D	8342,13 b C	10287,73 b B	11180,11 b A
Ef	56,54 c G	973,38 c F	2694,27 c E	4181,66 c D	4770,20 c C	6198,15 c B	6347,64 c A
Controle	46,59 d G	678,76 d F	2426,04 d E	3257,79 d D	3755,38 d C	3903,53 d B	4648,78 d A
Tratamento	324**	10 ⁶ **	8x10 ⁶ **	2x10 ⁷ **	3,4x10 ⁷ **	4,4x10 ⁷ **	6x10 ⁷ **
Bloco	0,71 ^{NS}	125 ^{NS}	858 ^{NS}	1116 ^{NS}	2016 ^{NS}	982 ^{NS}	1559 ^{NS}
Erro	0,38	872,95	2060	2074	2239	947,65	5315
C.V. (%)	1,03	2,30	1,13	0,79	0,68	0,37	0,80
Média geral	59,65	1287,01	4028,96	5785,56	7007,83	8212,11	9163,94

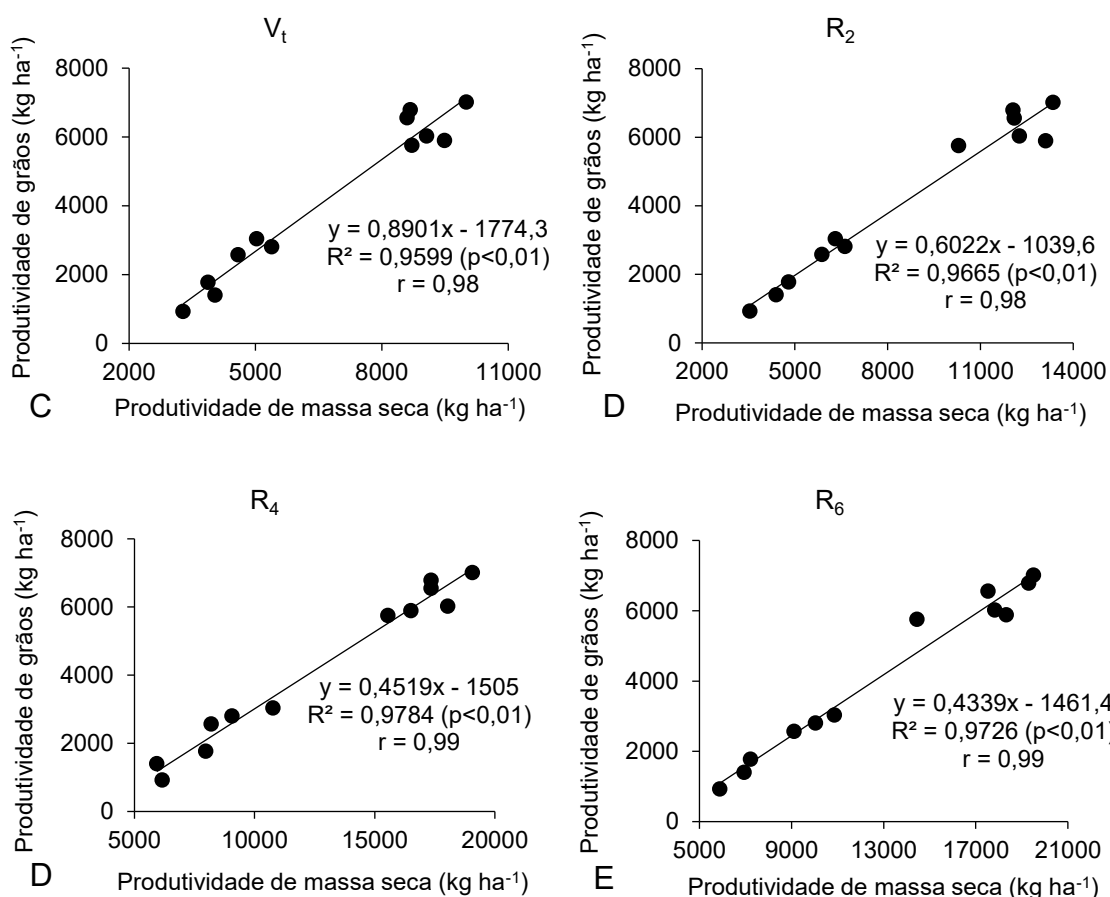
** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A maior produtividade de massa seca foi alcançada no tratamento NPK, 18.997,92 kg ha⁻¹ (Tabela 40) e 14.479,27 kg ha⁻¹ (Tabela 41), na maturidade fisiológica. Isso indica como a espiga contribui para a PMS da planta, ou seja, aproximadamente 39 e 51% da massa seca total foi advindo da espiga, respectivamente. Esses resultados são inferiores aos encontrados por Von Pinho et al. (2009) que alcançaram 67,6% da espiga contribuindo para PMS. Martins et al. (2017), também observaram a maior acúmulo de massa seca total na planta em R₆. No entanto, Duarte et al. (2003) e Rosa (2017) encontraram máximo acúmulo de PMS no estágio R₄, como observado nos tratamentos EfPK e Controle nesse trabalho, mas ambos os autores perceberam perda de massa entre R₄ e R₆, algo que não foi observado nesta pesquisa.

O tratamento EfPK, apesar de receber doses de adubação iguais a NPK, não foi capaz de acumular uma quantidade de massa seca total igual a NPK, sendo a PMS um parâmetro importante para a cultura do milho, pois possui correlação positiva e significativa a 1% com a produtividade de grãos (Figura 13). Percebe-se que durante os estádios V₃/V₄ (Figura 13A) e V₉ (Figura 13B), foram encontradas correlações muito altas, mas menores das que foram encontradas em V_t (Figura 13C), R₂ (Figura 13D), R₄ (Figura 13E) e R₆ (Figura 13E), com *r* igual a 0,98, 0,98, 0,99 e 0,99, respectivamente. As altas correlações encontradas indicam que o aumento do acúmulo de massa seca total na planta gera incrementos na produtividade de grãos.

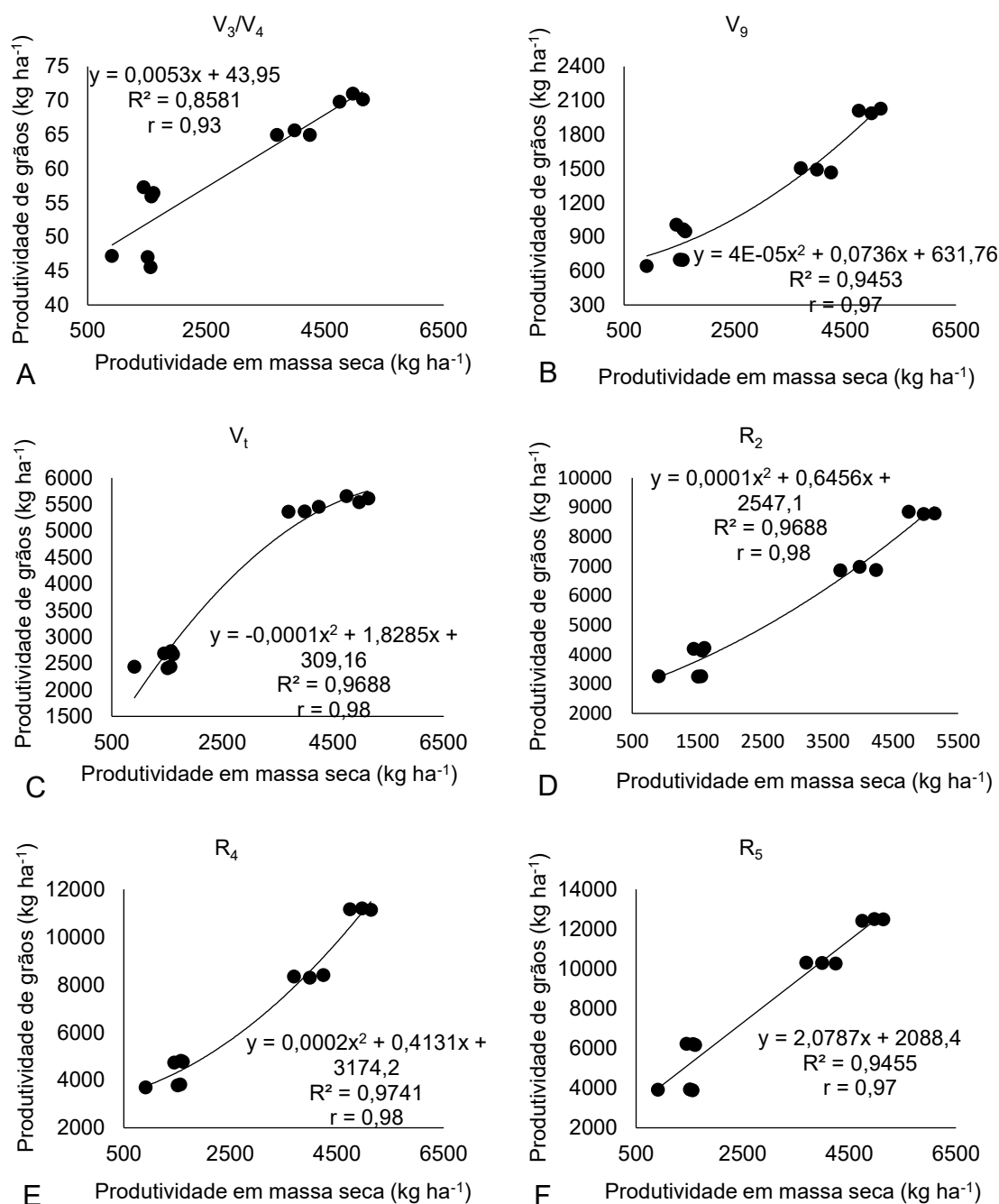
Figura 13 – Correlação linear entre a produtividade de grãos e a produtividade de massa seca dos valores médios por tratamento em V₃/V₄ (A), V₉ (B), V_t (C), R₂ (D), R₄ (E), R₆ (F), no ciclo do milho entre setembro de 2021 a dezembro de 2021 (safra)

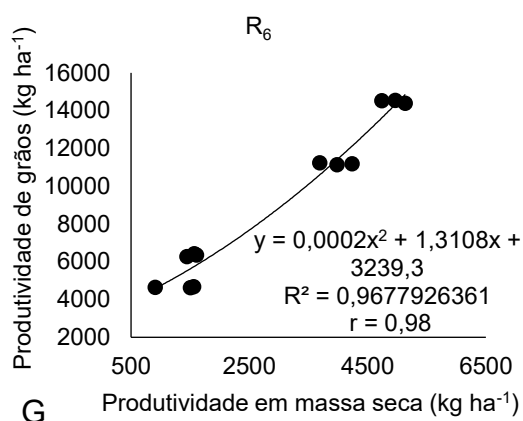




Na Figura 14, percebe-se uma correlação positiva e significativa a 1% entre produtividade de grãos e PMS para o segundo ciclo. Mesmo no estágio V_3/V_4 foram encontrados altos índices de correlação ($r = 0,93$), mas é a partir do pendoamento que é encontrado as maiores correlações em V_t (Figura 14C), R_2 (Figura 14D), R_4 (Figura 14E), R_5 (Figura 14F) e R_6 (Figura 14G), com r igual = 0,98, 0,98, 0,98, 0,97 e 0,98, respectivamente. Isso realmente comprova que incremento em massa seca gera aumento de produtividade para a cultura.

Figura 14 – Correlação linear entre a produtividade de grãos e a produtividade de massa seca dos valores médios por tratamento em V_3/V_4 (A), V_9 (B), V_t (C), R_2 (D), R_4 (E), R_5 (F), R_6 (G), no ciclo do milho entre março de 2022 a junho de 2022 (safrinha)





4.5 Índice relativo de clorofila (IRCT)

O índice relativo de clorofila total (IRCT) apresentou diferença significativa a 1% entre os tratamentos em todos os estádios fenológicos avaliados, com exceção da avaliação realizada aos 17 DAE (V_3/V_4). Os blocos não apresentaram diferença significativa (Tabelas 42 e 43). No primeiro ciclo, os tratamentos NPK e EfPK não diferiram entre si nas avaliações realizadas aos 22 DAE (V_6), 32 DAE (V_7) e 37 DAE (V_8) sendo superiores aos demais; no segundo ciclo, nas avaliações realizadas aos 17 DAE (V_3/V_4) e 22 DAE (V_6), os tratamentos NPK e EfPK foram estatisticamente iguais e superiores aos demais. Nas outras datas avaliadas, o tratamento NPK foi superior a todos os demais. Entre os estádios fenológicos, também ocorreu diferença significativa. No primeiro ciclo a análise realizada aos 60 DAE (V_t) foi superior aos demais estádios, em todos os tratamentos. No segundo ciclo, os estádios fenológicos V_9 a R_1 , V_6 a R_1 , V_{11} a R_2 , V_6 a R_2 , para os tratamentos NPK, EfPK, Ef e Controle, respectivamente, foram superiores aos demais estádios.

Tabela 42 – Análise de variância e valores médios do índice relativo de clorofila total (IRCT), em função dos tratamentos, de setembro a dezembro de 2021 (safra).

Tratamento	14 DAE (V ₃ /V ₄)	22 DAE (V ₆)	32 DAE (V ₇)	37 DAE (V ₈)	46 DAE (V ₉)	60 DAE (V _t)	65 DAE (R ₁)	74 DAE (R ₂)	78 DAE (R ₂)	93 DAE (R ₄)
NPK	29,08 a F	35,71 a E	43,03 a D	43,87 a CD	47,24 a B	52,91 a A	48,97 a B	46,92 a B	46,41 a BC	41,54 a D
EfPK	28,36 b G	35,02 a F	41,20 a CD	42,53 a BC	44,22 b B	48,03 b A	44,58 b B	39,18 b E	38,18 b E	34,23 b F
Ef	25,60 c F	29,77 b E	33,13 b CD	35,77 b BC	35,58 c BC	41,36 c A	37,32 c B	35,57 b BC	35,28 b BC	31,79 b DE
Controle	23,17 d F	26,77 c DE	31,07 c BC	31,70 c B	32,14 d B	35,92 d A	32,97 d B	30,67 c BC	28,50 c CD	25,07 c EF
Tratamento	22,04**	55,11**	104,69**	98,77**	151,40**	166,57**	154,30**	140,60**	165,18**	138,58**
Bloco	0,13 ^{NS}	0,02 ^{NS}	0,14 ^{NS}	1,34 ^{NS}	1,04 ^{NS}	4,08 ^{NS}	0,72 ^{NS}	0,74 ^{NS}	0,34 ^{NS}	0,28 ^{NS}
Erro	0,05	0,18	0,51	0,65	1,00	2,54	0,51	2,27	3,06	0,88
C.V. (%)	0,81	1,32	1,92	2,10	2,51	3,58	1,75	3,96	3,56	2,81
Média geral	26,55	31,82	37,11	38,47	39,80	44,56	40,96	38,09	37,09	33,1

** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 43 – Análise de variância e valores médios do índice relativo de clorofila total (IRCT), em função dos tratamentos, de março a junho de 2022 (safrinha).

Tratamentos	17 DAE (V ₃ /V ₄)	22 DAE (V ₆)	36 DAE (V ₈)	43 DAE (V ₉)	50 DAE (V ₁₁)	59 DAE (V _t)	64 DAE (R ₁)	74 DAE (R ₂)	81 DAE (R ₃)	93 DAE (R ₄)	100 DAE (R ₅)
NPK	31,78 a F	40,03 a E	42,73 a CDE	45,47 a ABC	48,39 a A	46,92 a AB	45,51 a ABC	44,57 a BCD	42,12 a CDE	41,24 a DE	39,95 a E
EfPK	31,40 a C	37,97 a A	38,83 b A	37,10 b A	39,70 b A	38,80 b A	37,23 b A	36,68 b AB	34,31 b BC	33,23 b BC	32,38 b C
Ef	29,40 a E	32,03 b DE	33,03 c BCD	34,03 c BCD	35,90 c ABC	37,99 b A	36,39 b AB	35,85 b ABC	33,72 b BCD	32,01 b DE	32,41 b CDE
Controle	28,25 a BCD	30,56 b ABC	31,27 c AB	30,40 c ABC	31,83 d A	31,07 c AB	30,20 c ABC	29,86 c ABC	26,19 c DE	26,52 c CD	23,16 c E
Tratamento	8,38 ^{NS}	62,35 ^{**}	83,70 ^{**}	128,21 ^{**}	149,74 ^{**}	126,29 ^{**}	119,08 ^{**}	109,38 ^{**}	127,08 ^{**}	102,08 ^{**}	141,60 ^{**}
Bloco	5,08 ^{NS}	1,48 ^{NS}	0,33 ^{NS}	2,25 ^{NS}	0,16 ^{NS}	2,93 ^{NS}	5,35 ^{NS}	1,03 ^{NS}	0,18 ^{NS}	0,04 ^{NS}	0,31 ^{NS}
Erro	1,69	1,84	0,74	3,11	0,42	0,93	2,46	3,81	4,10	0,09	0,14
C.V. (%)	4,31	3,86	2,35	4,73	1,67	2,5	4,17	5,31	5,94	0,91	1,18
Média geral	30,21	35,14	36,47	37,25	38,95	38,70	37,58	36,74	34,09	33,42	31,97

^{**} e ^{*} significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Na primeira análise realizada aos 14 DAE (V_3/V_4), houve diferença de comportamento entre os dois ciclos. Quatro dias antes de iniciar a adubação nitrogenada de cobertura no primeiro ciclo, foi verificado que os tratamentos diferiram entre si, com o tratamento NPK produzindo mais clorofila nesse estágio (Tabela 42). Esta análise sofreu influência apenas da adubação de semeadura, realizada 10 dias antes, tendo a ureia como fonte de N. No segundo ciclo, a análise realizada aos 17 DAE (V_3/V_4), antes de iniciar a adubação de cobertura, não foi verificado diferença estatística entre os tratamentos, não havendo influência da adubação de semeadura sobre o IRCT (Tabela 43). Com o início das adubações nitrogenadas de cobertura entre V_4 e V_8 , foi observada uma resposta positiva, com o aumento constante do conteúdo de clorofila.

Nas análises realizadas durante o primeiro ciclo nos estádios V_6 , V_7 e V_8 , os tratamentos NPK e EfPK foram iguais (35,71 e 35,02, 43,03 e 41,20, e 43,87 e 42,53, respectivamente). O nitrogênio oriundo do efluente proporcionou ao tratamento EfPK teores de clorofilas iguais aos produzidos pelo tratamento NPK. No segundo ciclo, após o início da adubação de cobertura apenas na análise realizada aos 22 DAE (V_6) não ocorreu diferença entre os tratamentos NPK e EfPK (40,03 e 37,97, respectivamente).

No primeiro e no segundo ciclos, após a última aplicação de nitrogênio em cobertura, foi realizada uma nova leitura com o clorofilômetro aos 46 DAE (V_9) na safra e 43 DAE (V_9) na safrinha, quando foi verificado que o valor do tratamento NPK (47,24 e 45,47) foi superior ao do tratamento EfPK, (44,22 e 37,10) (Tabelas 37 e 38), respectivamente. No segundo ciclo na análise realizada aos 36 DAE (V_8) já foi possível observar o tratamento NPK superior aos demais tratamentos. É uma indicação que o N do efluente só foi capaz de produzir clorofila igual ao tratamento NPK quando o mesmo foi aplicado de forma frequente no solo, antes do estágio fenológico V_8 . Isso acontece pois 89,2 e 63,64% do N do efluente do primeiro e segundo ciclo, respectivamente, já estão mineralizados como nitrogênio amoniacal, e a longo prazo, o N da ureia na forma mineral se mostrou mais eficiente na produção de clorofila. Esse comportamento foi o mesmo observado na análise realizada aos 14 DAE. Resultados semelhantes foram encontrados por Alves et al. (2021) que analisaram a resposta da produção de clorofila à fertirrigação com água residuária de suínos (ARS) e de piscicultura (ARP), e observaram um incremento de clorofila no milho fertirrigado com

ARS, que continha a 93% do N na forma mineral, em comparação com a fertirrigação com ARP, no qual 73 % do N já estava mineralizado.

A avaliação realizada no primeiro ciclo demonstra que a máxima produção de IRCT foi encontrado em V_t , no tratamento NPK com 52,91 (Tabela 42). Percebe-se um valor de IRCT 11,10% maior no florescimento (V_t) para o tratamento NPK em relação ao tratamento EfPK, e em V_9 esse aumento foi de 9,36%. Nas análises realizadas no segundo ciclo, também foi observado o aumento do IRCT após o início da adubação em cobertura. No primeiro ciclo a máxima produção de IRCT somente aconteceu aos 60 DAE (V_t); no segundo ciclo, ocorreu aos 36 (V_8) e aos 22 (V_6) DAE nos tratamentos NPK e EfPK, com valores de 42,73 e 38,83, 45,47 e 42,53, 48,39 e 39,70, respectivamente, e essa máxima produção de clorofila se manteve constante até aos 74 DAE (R_2) (Tabela 43). Os valores de IRCT encontrados nesse trabalho foram próximos aos encontrados por Hurtado et al. (2010), que utilizaram doses de 0, 100 e 500 kg ha⁻¹ de N e encontraram valores de IRCT próximo ao florescimento (V_t) de 56,40, 58,4 e 63,3, respectivamente. Hurtado et al. (2011), verificaram um aumento do IRCT durante a fase vegetativa e sua estabilização próximo ao florescimento. Segundo Costa et al. (2001), no período de florescimento a planta produz os maiores teores de clorofila na folha.

Na avaliação do primeiro ciclo, a partir da análise aos 65 DAE (R_1), é verificado uma queda do IRCT. No tratamento NPK a perda entre 65 e 78 DAE é de apenas 5,23%, observando uma perda maior entre 78 e 92 DAE, de 9,63% (Tabela 42). No segundo ciclo, no tratamento NPK é verificado uma diminuição da IRCT a partir de 74 DAE (R_2); até os 100 DAE a perda de IRCT foi de apenas 10,37% (Tabela 43). A perda do IRCT entre o florescimento (V_t) e a maturidade fisiológica (R_6) está ligado a diminuição da atividade fotossintética próximo a R_6 , devido a perda de água na folha (diminuiu a atividade fotossintética) e a degradação dos pigmentos de clorofila, levando a mudança de coloração das folhas, da cor verde escuro que pode ser visto facilmente de V_9 a R_1 , até próximo do amarelo em R_6 , que é causado pelo processo de senescência da planta. Fiorini et al. (2017), analisaram a resposta do milho a adubação com fonte distintas de enxofre e também observaram uma perda acentuada de clorofila após o florescimento do milho.

No tratamento EfPK, houve uma diminuição de 14,36% da IRCT na safra entre 65 e 78 DAE, e uma perda de 10,34% entre 78 e 93 DAE (Tabela 42). Durante a

safrinha, a diminuição no tratamento EfPK só foi percebido a partir de 83 DAE (R₃), com uma perda até 100 DAE (R₅) de 5,63% (Tabela 43). No tratamento EfPK foi observado uma degradação da clorofila de forma precoce comparado ao tratamento NPK. Na última análise, aos 93 DAE (R₄) e 100 DAE (R₅), o tratamento NPK manteve um IRCT de 41,54 e 39,95, valor 17,60 e 18,95% maior do encontrado no tratamento EfPK (34,23 e 32,38), respectivamente.

4.6 Índice de área foliar (IAF) e área foliar (AF)

4.6.1 Índice de área foliar (IAF)

O índice de área foliar (IAF) apresentou diferença significativa a 1% entre os tratamentos, em todas as avaliações realizadas (Tabelas 44 e 45). Os blocos não apresentaram diferença significativa. Os tratamentos NPK e EfPK foram iguais e superiores aos tratamentos Ef e Controle, em todas avaliações em ambos os ciclos. Os estádios apresentaram diferença significativa entre si. Na primeira avaliação, nos tratamentos NPK, EfPK e Controle, as avaliações realizadas aos 60 (V_t), 65 (R₁), 74 (R₂) e 78 (R₂) DAE, foram superiores aos demais avaliações. No tratamento Controle a avaliação de 93 (R₄) DAE também foi superior as demais. Nos tratamentos Ef, as avaliações realizadas entre 65 (R₁) e 78 (R₂) DAE foram superiores aos outros estádios. Na segunda avaliação, em todos os tratamentos, as avaliações realizadas aos 59 (V_t) e 63 (R₁) DAE foram superiores a todas as outras análises realizadas.

Tabela 44 – Análise de variância e valores médios do índice de área foliar (IAF) ($\text{m}^2 \text{m}^{-2}$), em função dos tratamentos, de setembro a dezembro de 2021 (safra).

Tratamentos	14 DAE (V ₃ /V ₄)	22 DAE (V ₆)	32 DAE (V ₇)	37 DAE (V ₈)	46 DAE (V ₉)	60 DAE (V _t)	65 DAE (R ₁)	74 DAE (R ₂)	78 DAE (R ₂)	93 DAE (R ₄)
NPK	1,36 a E	1,72a E	3,34 a D	3,51a D	4,83 a C	5,70a AB	5,80 a A	5,87 a A	5,63 a AB	5,35 a B
EfPK	1,20 ab E	1,56 a E	3,16 a D	3,34 a D	4,70 a C	5,58 a A	5,68 a A	5,71 a A	5,49 a AB	5,16 a B
Ef	0,97 b F	1,10 b F	1,96 b E	2,16 b E	2,94 b D	4,06 b BC	4,46 b A	4,35 b AB	4,15 b ABC	3,95 b C
Controle	0,92b D	1,01 b D	1,86 b C	2,01 b C	2,81 b B	3,93 b A	4,12 c A	4,10 b A	3,96 b A	3,78b A
Tratamento	0,131**	0,362**	1,816**	1,814**	3,592**	2,728**	2,165**	2,499**	2,289**	1,968**
Bloco	0,008 ^{NS}	0,010 ^{NS}	0,0002 ^{NS}	0,008 ^{NS}	0,002 ^{NS}	0,001 ^{NS}	0,022 ^{NS}	0,007 ^{NS}	0,043 ^{NS}	0,108 ^{NS}
Erro	0,012	0,005	0,010	0,013	0,004	0,008	0,008	0,064	0,017	0,058
C.V. (%)	10,01	5,16	3,93	4,14	1,61	1,91	1,79	5,06	2,69	5,30
Média geral	1,11	1,35	2,58	2,75	3,82	4,82	5,01	5,01	4,81	4,56

** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 45 – Análise de variância e valores médios do índice de área foliar (IAF) ($\text{m}^2 \text{m}^{-2}$), em função dos tratamentos, de março a junho de 2022 (safrinha).

Tratamentos	17 DAE (V ₃ /V ₄)	22 DAE (V ₆)	36 DAE (V ₈)	43 DAE (V ₉)	50 DAE (V ₁₁)	59 DAE (V _t)	64 DAE (R ₁)	74 DAE (R ₂)	81 DAE (R ₃)	93 DAE (R ₄)	100 DAE (R ₅)
NPK	0,56 a F	0,94 a F	2,62 a E	3,38 a D	4,51 a BC	5,67 a A	5,70 a A	5,08 a B	4,96 a B	4,85 a B	4,26 a C
EfPK	0,56 a F	0,88 a F	2,57 a E	3,31 a D	4,47 a BC	5,60 a A	5,65 a A	4,76 a B	4,61 a B	4,46 a BC	4,03 a C
Ef	0,51 b F	0,57 b F	1,39 b E	2,06 b D	2,92 b BC	4,03 b A	4,20 b A	3,19 b B	3,06 b BC	2,93 b BC	2,53 b CD
Controle	0,45 c E	0,50 c E	1,36 b D	1,76 c CD	2,48 c B	3,67 c A	3,73 c A	2,61 b B	2,60 b B	2,58 b B	2,30 b BC
Tratamento	0,008**	0,144**	1,49**	2,12**	3,28**	3,25**	3,03**	4,28**	3,99**	3,74**	3,06**
Bloco	0,00003 ^{NS}	0,068 ^{NS}	0,0006 ^{NS}	0,001 ^{NS}	0,0006 ^{NS}	0,0008 ^{NS}	0,0004 ^{NS}	0,459 ^{NS}	0,084 ^{NS}	0,024 ^{NS}	0,047 ^{NS}
Erro	0,00004	0,038	0,0006	0,056	0,0003	0,001	0,0006	0,158	0,06	0,045	0,111
C.V. (%)	1,16	1,32	1,25	3,68	0,45	0,72	0,52	10,17	6,87	5,76	10,17
Média geral	0,52	0,72	1,98	2,63	3,60	4,75	4,82	3,91	3,80	3,70	3,28

** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A primeira avaliação realizada em V₃/V₄ (14 e 17 DAE), próximo a quatro folhas totalmente estendidas, apresentou um IAF muito baixo. Somente os tratamentos NPK e EfPK, na primeira avaliação conseguiram ultrapassar a unidade, com 1,36 e 1,27 m² m⁻², respectivamente (Tabela 44). Na segunda avaliação todos os tratamentos ficaram abaixo de 1 m², com os tratamentos NPK e EfPK estatisticamente iguais e superiores aos demais tratamentos (Tabela 45). Apesar da primeira adubação nitrogenada em cobertura ter sido realizada aos 18 DAE (safra) e 19 DAE (safrinha), na análise realizada aos 22 DAE (V₆) não foi verificado aumento de IAF em nenhum tratamento, fato esse só observado em todos os tratamentos aos 32 DAE (V₇) (safra) e 36 DAE (V₈) (safrinha). A resposta do IAF à adubação ocorreu 14 e 17 dias após a sua realização, respectivamente.

Observa-se que durante a fase vegetativa o aumento da IAF ocorre de forma gradual. Entre os estádios V₃/V₄ e V₆, não há diferença estatística, o que indica a não ocorrência de incremento de IAF entre esses estádios. Os principais incrementos de IAF foram observados na análise aos 45 DAE (V₉) e 43 DAE (V₉), no primeiro e segundo ciclos, respectivamente, após já ter sido realizada toda a adubação em cobertura.

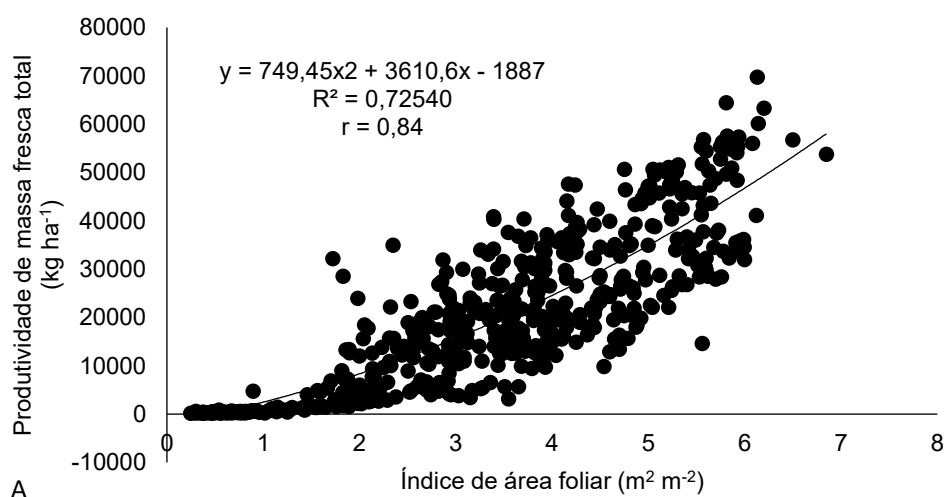
Para a análise realizada na safra, a máxima IAF foi alcançada pelos tratamentos NPK e EfPK aos 60 DAE (V_t), 65 DAE (R₁), 74 DAE (R₂) e 78 DAE, com valores respectivos de 5,70 e 5,58 m² m⁻², 5,80 e 5,68 m² m⁻², 5,87 e 5,61 m² m⁻² e 5,63 e 5,49 m² m⁻² (Tabela 44). Nas análises realizadas na safrinha, os valores máximos de índice de área foliar foram alcançados pelos tratamentos NPK (5,67 e 5,60 m² m⁻²) e EfPK (5,70 e 5,65 m² m⁻²), aos 59 DAE (V_t) e 63 DAE (R₁) (Tabela 45). O nitrogênio oriundo do EET mais o fósforo e o potássio minerais foram capazes de produzir IAF estatisticamente igual à do tratamento NPK nos dois ciclos cultivados. O IAF é um importante parâmetro, uma vez que plantas de milho que atingem o máximo IAF aos 50 - 60 DAE conseguem aumentar a eficiência de interceptação de radiação solar, impulsionando o processo fotossintético (KUNZ et al., 2007). Segundo Silva et al. (2016) é de grande importância para o processo fotossintético que as plantas atinjam valores de IAF de 3 a 5 m² m⁻², pois 80% da radiação solar na faixa do espectro visível é interceptada pelas plantas de milho com esses valores de IAF.

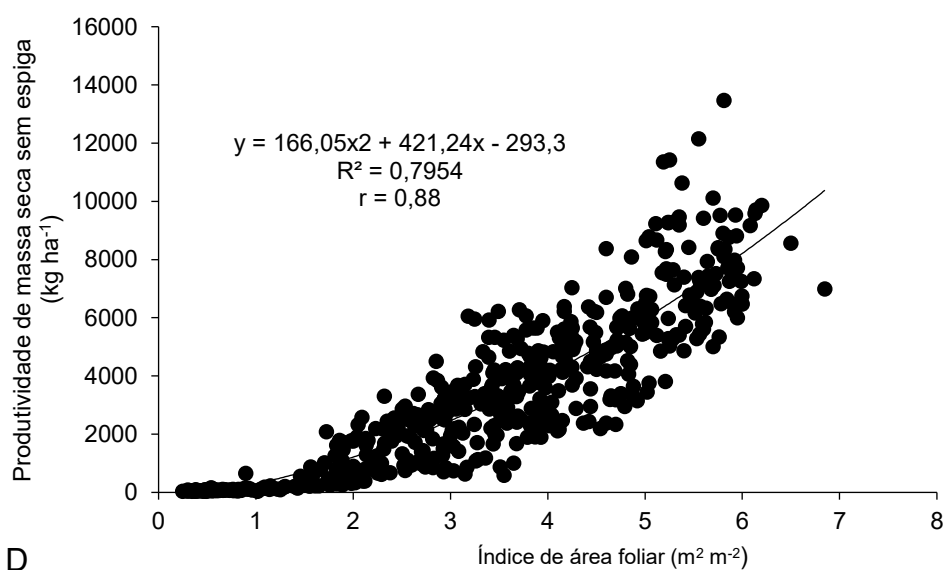
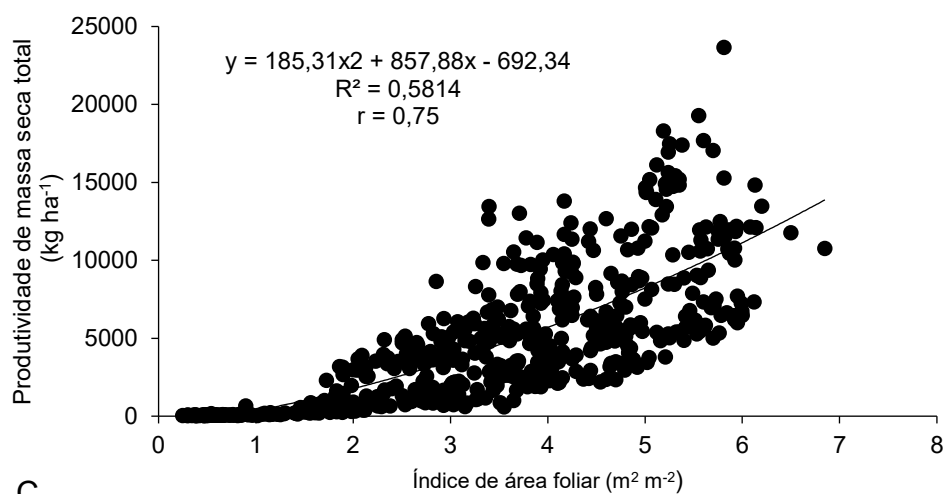
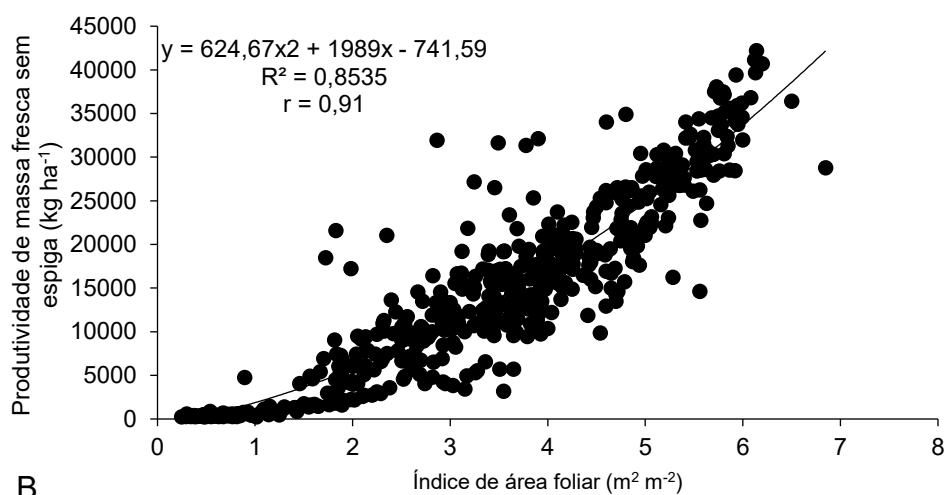
Após o atingir máximo valor, foi verificado que o IAF se manteve alto entre 60 e 74 DAE (Tabela 44) e entre 59 e 63 DAE (Tabela 45). Aos 78 (R₂) e 92 (R₄) DAE, e

aos 74 (R_2) e 100 (R_5) DAE foi observado uma diminuição do IAF nos tratamentos NPK, EfPK e Ef. A redução do valor de IAF ocorre pela senescência das folhas que ocorrem próximo ao fim do ciclo do milho. O processo de senescência da planta é causado pela degradação da clorofila, levando ao amarelecimento das folhas, aumento da resistência estomática e diminuição da penetração de CO_2 (SILVA et al., 2016).

O IAF possui relação positiva e significativa a 1% com a produtividade de massa fresca total (Figura 15A), produtividade de massa fresca sem espiga (Figura 15B), produtividade de massa fresca total (Figura 15C) e produtividade de massa seca sem espiga (Figura 15D). O ajuste das curvas foi melhor na fase inicial do milho até a cultura atingir $3 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ de IAF, sendo que após ocorreu uma maior dispersão dos dados. Foi possível observar que a produtividade tanto em massa fresca ($r = 0,84$, Figura 15A) como em massa seca totais ($r = 0,75$, Figura 15C), obtiveram correlações menores quando comparados com as produtividades de massa fresca ($r = 0,91$, Figura 15B) e seca sem espiga ($r = 0,88$, Figura 15D). Apesar da correlação da produtividade de massa fresca total ter sido inferior a encontrada em massa fresca sem espiga, a mesma é considerada alta. Com o IAF é possível estimar com maior exatidão as produtividades de massa fresca total (Figura 15A), massa fresca sem espiga (Figura 9B) e massa seca sem espiga (Figura 15D).

Figura 15 – Correlação linear entre o índice de área foliar (IAF) e a produtividade de massa fresca total (A), produtividade de massa fresca sem espiga (B), produtividade de massa seca total (C) e produtividade de massa seca sem espiga (D), na cultura do milho





4.6.2 Área foliar (AF)

A análise de variância da área foliar apresentada nas Tabelas 46 e 47 indica que houve diferença significativa a 1% entre os tratamentos para todos os estádios fenológicos avaliados. Os tratamentos NPK e EfPK foram iguais entre si e superiores aos outros tratamentos, nas cinco avaliações realizadas para o primeiro ciclo e para as seis avaliações realizadas para o segundo ciclo. Houve diferença significativa entre os estádios fenológicos para todos os tratamentos nos dois ciclos.

Tabela 46 – Análise de variância e valores médios da área foliar (AF), em função dos tratamentos, de setembro a dezembro de 2021 (safra).

Tratamentos	14 DAE V ₃ /V ₄ (m ²)	46 DAE V ₉ (m ²)	60 DAE V _t (m ²)	74 DAE R ₂ (m ²)	93 DAE R ₄ (m ²)
NPK	0,084 a C	0,531 a B	0,681 a A	0,723 a A	0,607 a B
EfPK	0,068 a D	0,482 a C	0,678 a A	0,698 a A	0,587 a B
Ef	0,030 b C	0,188 b B	0,421 b A	0,418 b A	0,368 b A
Controle	0,037 b C	0,181 b B	0,391 b A	0,397 b A	0,347 b A
Tratamento	0,002**	0,105**	0,075**	0,094**	0,058**
Bloco	0,0001 ^{NS}	0,001 ^{NS}	0,001 ^{NS}	0,001 ^{NS}	0,001 ^{NS}
Erro	0,0001	0,001	0,001	0,001	0,001
C.V. (%)	15,36	8,53	4,79	4,24	7,48
Média geral	0,055	0,346	0,543	0,560	0,477

** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Tabela 47 – Análise de variância e valores médios da área foliar (AF), em função dos tratamentos, de março a junho de 2022 (safrinha).

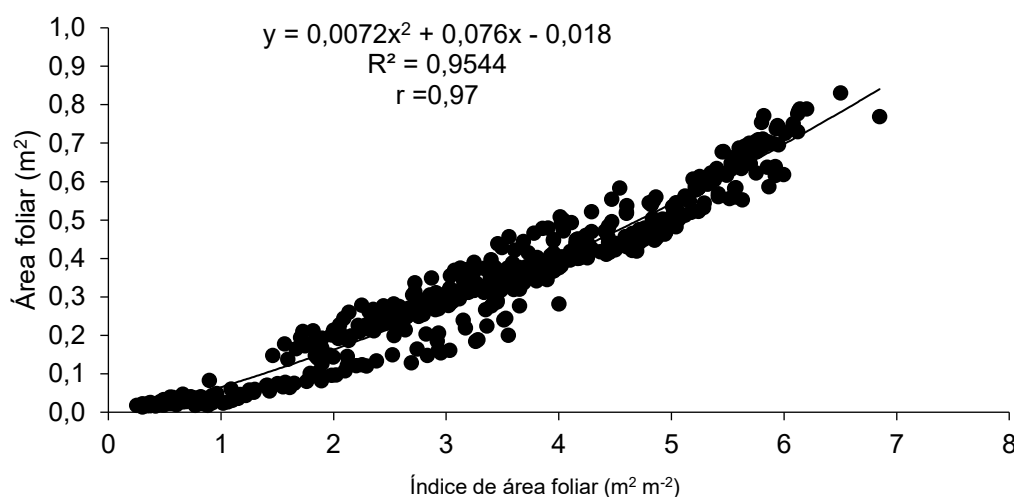
Tratamentos	17 DAE V ₃ /V ₄ (m ²)	43 DAE V ₉ (m ²)	59 DAE V _t (m ²)	74 DAE R ₂ (m ²)	93 DAE R ₄ (m ²)	100 DAE R ₅ (m ²)
NPK	0,024 a C	0,349 a B	0,498 a A	0,515 a A	0,492 a A	0,463 a A
EfPK	0,027 a C	0,308 a B	0,455 a A	0,475 a A	0,448 a A	0,428 a A
Ef	0,020 b D	0,185 b C	0,345 b A	0,299 b AB	0,279 b B	0,283 b B
Controle	0,022 b D	0,156 b C	0,311 b A	0,268 b AB	0,258 b AB	0,220 b B
Tratamento	2,5x10 ⁵ **	0,026**	0,023**	0,046**	0,041**	0,039**
Bloco	4x10 ⁵ NS	0,001 ^{NS}	0,004 ^{NS}	0,002 ^{NS}	8x10 ⁴ NS	0,0001 ^{NS}
Erro	9x10 ⁵	0,001	0,001	0,001	0,0003	0,0006
C.V. (%)	12,71	9,30	6,89	8,42	5,12	6,78
Média geral	0,023	0,249	0,402	0,389	0,369	0,347

** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Apesar de menor quantidade de avaliações, a área foliar (Tabelas 46 e 47) apresentou o mesmo comportamento observado no índice de área foliar (Tabelas 44 e 45). Aos 14 DAE (V₃/V₄) e aos 17 DAE (V₃/V₄) foram verificados um baixo valor de AF, com os maiores valores sendo encontrados nos tratamentos NPK e EfPK, 0,084 e 0,068 m², 0,024 e 0,027 m², respectivamente. Após o início das adubações de cobertura foi verificado um aumento da área foliar aos 46 DAE (V₉) (Tabela 46) e 43 DAE (V₉) (Tabela 47). Para a AF nestes mesmos tratamentos, no primeiro ciclo, os maiores valores também foram observados aos 60 DAE (V_t), os quais se mantiveram até 74 DAE (R₂), ou seja 0,681 e 0,678 m² e 0,723 e 0,698 m², respectivamente. Aos 93 DAE (R₄) foi observado um decréscimo de AF, como também foi ocorrido para o IAF. No segundo ciclo a AF para os tratamentos NPK e EfPK apresentou seus maiores valores (0,498 e 0,455 m², 0,515 e 0,475 m², 0,492 e 0,448 m²) respectivamente aos 59 DAE (V_t), 63 DAE (R₁), 74 DAE (R₂), 93 DAE (R₄) e 100 DAE (R₅).

Para a realização de medidas de área foliar é necessário a retirada de plantas do campo, tornando-se medidas destrutivas que diminuem o stand de plantas durante o ciclo. Como pode ser observado nas Tabelas 46 e 47, o comportamento de aumento e decréscimo de AF e IAF foram semelhantes, estabelecendo assim uma relação positiva e significativa a 1% (Figura 16). A correlação dos dados ($r = 0,97$) é muito alta, com um bom ajuste dos dados à curva. Isso indica que as leituras de IAF realizadas pelo AccuPAR LP-80 podem ser usadas para estimar a área foliar com alta precisão, por meio de medidas frequentes, o que evita a necessidade de retirada de plantas do campo.

Figura 16 – Correlação linear entre área foliar (AF) e índice de área foliar (IAF), na cultura do milho



4.7 NDVI e NDRE

De acordo com as Tabelas 48 e 49 houve diferença significativa a 1% entre os tratamentos para o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) em todas as análises, com exceção aos 14 DAE (não significativa), 22 DAE e 37 DAE (significante a 5%) (Tabela 48). Também ocorreu diferença significativa entre as datas nas quais foram realizadas as avaliações em todos os tratamentos.

Tabela 48 – Análise de variância e valores médios do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), em função dos tratamentos, de setembro a dezembro de 2021 (safra).

Tratamentos	14 DAE (V ₃ /V ₄)	22 DAE (V ₆)	32 DAE (V ₇)	37 DAE (V ₈)	46 DAE (V ₉)	60 DAE (V _t)	65 DAE (R ₁)	74 DAE (R ₂)	78 DAE (R ₂)	93 DAE (R ₄)
NPK	0,352 a D	0,697 ab C	0,712 ab BC	0,769 ab AB	0,817 a A	0,828 a A	0,798 a A	0,715 b BC	0,695 b C	0,675 b C
EfPK	0,398 a E	0,704 a CD	0,732 a BC	0,797 a A	0,813 a A	0,821 a A	0,784 a AB	0,714 b CD	0,685 b CD	0,657 b D
Ef	0,329 a D	0,653 ab C	0,667 b C	0,680 ab BC	0,788 a A	0,795 a A	0,801 a A	0,791 a A	0,735 a AB	0,703 a BC
Controle	0,322 a D	0,581 b C	0,591 c C	0,650 b B	0,739 b A	0,754 b A	0,748 b A	0,709 b AB	0,692 b AB	0,661 b B
Tratamento	0,004 ^{NS}	0,01*	0,012**	0,014*	0,004**	0,003**	0,002**	0,005**	0,002**	0,001**
Bloco	0,005 ^{NS}	0,0005 ^{NS}	0,001 ^{NS}	0,0000 ^{NS}	0,0000 ^{NS}	0,0001 ^{NS}	0,0001 ^{NS}	0,005 ^{NS}	0,0003 ^{NS}	0,0000 ^{NS}
Erro	0,002	0,002	0,0003	0,0022	0,0001	0,0001	0,0001	0,0000	0,0001	0,0001
C.V. (%)	11,51	6,42	2,71	6,41	1,38	1,40	1,16	0,82	1,14	1,27
Média geral	0,350	0,659	0,677	0,728	0,789	0,798	0,783	0,732	0,702	0,674

** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 49 – Análise de variância e valores médios do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), em função dos tratamentos, de março a junho de 2022 (safrinha).

Tratamentos	17 DAE (V ₃ /V ₄)	22 DAE (V ₆)	36 DAE (V ₈)	43 DAE (V ₉)	50 DAE (V ₁₁)	59 DAE (V _t)	64 DAE (R ₁)	74 DAE (R ₂)	81 DAE (R ₃)	93 DAE (R ₄)	100 DAE (R ₅)
NPK	0,378 a F	0,723 a B	0,795 a A	0,798 a A	0,801 a A	0,773 a A	0,713 b B	0,708 a BC	0,672 a C	0,620 a D	0,582 a E
EfPK	0,351 a F	0,687 a BC	0,757 a A	0,763 a A	0,780 a A	0,762 a A	0,692 c B	0,684 b BC	0,651 b C	0,593 b D	0,555 b E
Ef	0,271 b E	0,595 b CD	0,653 b C	0,665 b B	0,707 b A	0,744 b A	0,736 a A	0,667 c B	0,622 c C	0,605 b C	0,566 b D
Controle	0,281 b F	0,574 b DE	0,621 b AB	0,666 b AB	0,680 c AB	0,690 c A	0,671 d AB	0,653 c B	0,614 c C	0,595 b CD	0,556 b E
Tratamento	0,0082**	0,015**	0,020**	0,014**	0,001**	0,004**	0,002**	0,002**	0,002**	0,0005**	0,0005**
Bloco	4x10 ⁻⁵ NS	2x10 ⁻⁵ NS	0,001 ^{NS}	0,0006 ^{NS}	4x10 ⁻⁵ NS	10 ⁻⁵ NS	4x10 ⁻⁵ NS	3x10 ⁻⁵ NS	2x10 ⁻⁵ NS	2x10 ⁻⁵ NS	4x10 ⁻⁵ NS
Erro	0,0001	0,0001	0,0009	0,0008	0,00001	2x10 ⁻⁶	2x10 ⁻⁴	0,00003	0,00005	0,00002	0,00002
C.V. (%)	3,58	1,59	4,28	4,00	0,50	0,19	0,65	0,83	1,05	0,69	0,74
Média geral	0,320	0,645	0,707	0,723	0,742	0,743	0,703	0,678	0,640	0,604	0,565

** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Ainda de acordo com a Tabela 48, nas avaliações realizadas aos 22, 32, 37, 46, 60 e 65 DAE, os tratamentos NPK, EfPK e Ef não diferiram entre si, sendo superiores ao tratamento Controle; a exceção foi aos 32 DAE, com NPK e EfPK estatisticamente iguais e superiores aos demais tratamentos. O uso do EET com fósforo e potássio minerais ou somente o EET é capaz de produzir plantas com índices vegetativo iguais ao do NPK. Aos 74, 78 e 93 DAE, o tratamento Ef obteve os maiores índices de NDVI, sendo superior aos tratamentos NPK, EfPK e Controle.

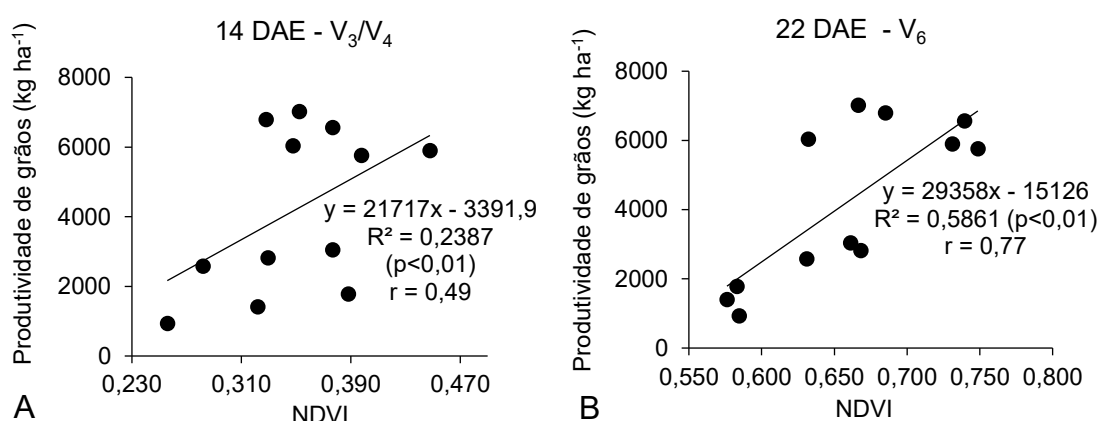
Os resultados encontrados para o segundo ciclo, como demonstrado na Tabela 49, indicam que nas avaliações realizadas de 17 a 59 DAE não ocorreu diferença estatística entre os tratamentos NPK e EfPK. A partir do pendoamento do milho (59 DAE – V_t) começou ocorrer queda nos valores de NDVI. Enquanto a cultura estava recebendo EET com frequência durante a adubação em cobertura, o tratamento EfPK conseguiu ter valores de índice vegetativo iguais aos obtidos pelo tratamento NPK.

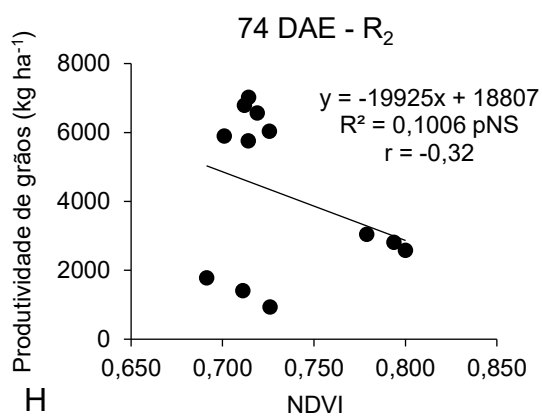
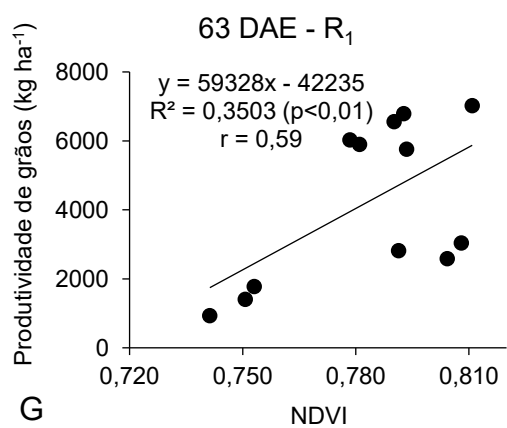
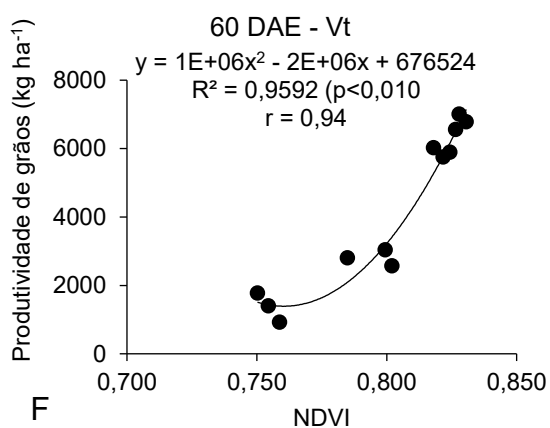
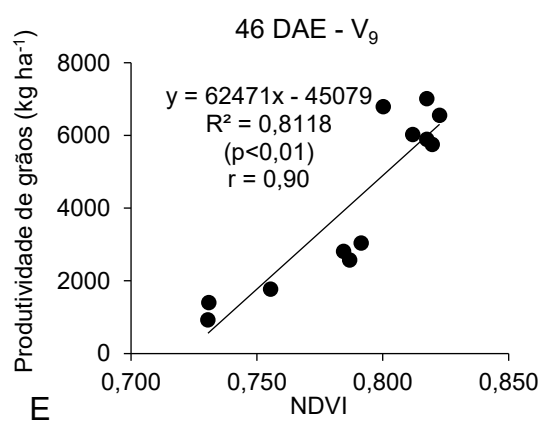
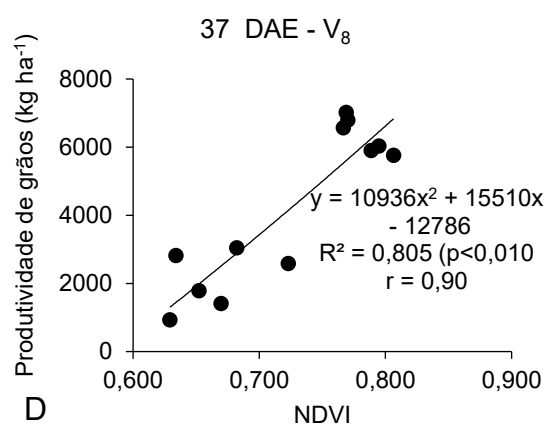
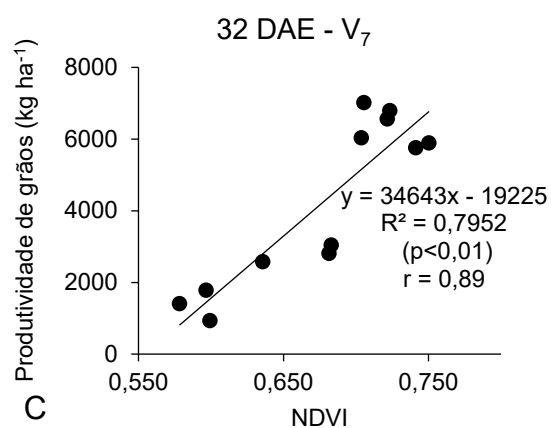
Os tratamentos NPK e EfPK atingiram o máximo valor de NDVI aos 37 DAE, o qual manteve-se até 65 DAE, indicando máximo vigor nos estádios fenológicos de V_8 até R_1 (Tabela 48). No segundo ciclo os mesmos tratamentos atingiram os maiores valores de NDVI aos 36 DAE (V_8) mantendo-se constante até 59 DAE (V_t) (Tabela 49). A alta translocação de fotoassimilados da parte área das plantas para as espigas, que acontece a partir do momento que os óvulos são fecundados, iniciando o processo de formação de grãos e seu enchimento, explica a diminuição do NDVI a partir da fase reprodutiva da cultura, ocorrida nos tratamentos NPK e EfPK. Os maiores índices vegetativos para o milho acontecem próximo ao período de pendoamento (V_t), pelo fato dessa cultura atingir a maior área foliar e índice de área foliar nesse período (KROSS et al., 2015; VENANCIO et al., 2020).

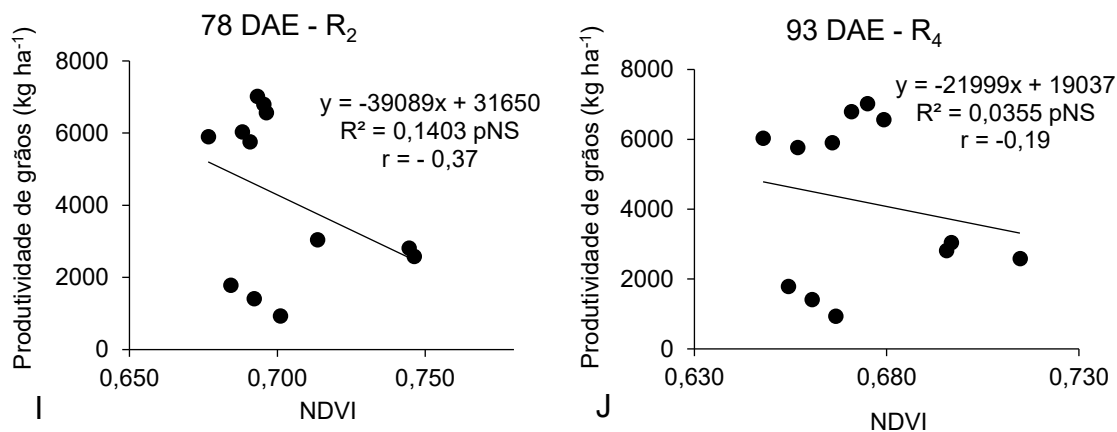
Vian et al. (2021), obtiveram valores inferiores de NDVI aos encontrados nesse trabalho para todos os tratamentos. Esses autores, utilizando 6 plantas m^{-1} linear, obtiveram valores de NDVI de 0,259 (V_4), 0,321 (V_5), 0,424 (V_6), 0,493 (V_7), 0,562 (V_8) e 0,631 (V_9). Venancio et al. (2020), ao estudarem a evolução do uso do NDVI para obtenção de informações fenológicas do milho por meio de sensores de imagem OLI e MODIS, relataram um aumento do NDVI até os 75 DAE de acordo com o aumento da biomassa, com maior valor de NDVI de 0,890 ocorrendo em V_t . Povh et al. (2008) também encontraram altos valores de NDVI (0,875) próximo ao florescimento do milho aos 66 DAS, com dose de 50 kg ha^{-1} de N.

Na safra, os valores de NDVI apresentaram relação positiva e significativa a 1% nos estádios fenológicos V₃/V₄ (Figura 17A), V₆ (Figura 17B), V₇ (Figura 17C), V₈ (Figura 17D), V₉ (Figura 17E), V_t (Figura 17F) e R₁ (Figura 17G). Os estádios R₂ (Figura 17H e Figura 17I) e R₄ (Figura 17J) apresentaram correlação negativa e não significativa. Segundo a classificação de Mukaka (2012), o NDVI apresentou baixa e moderada correlação com a produtividade de grãos em V₃/V₄ (0,49) e R₁ (0,59), respectivamente. De acordo com a mesma classificação, os estádios V₆ e V₇ possuíram alta correlação (r com valor de 0,77 e 0,89, respectivamente), enquanto que V₈, V₉ e V_t apresentaram correlação muito alta (r com valor de 0,90, 0,90, 0,94, respectivamente). Vian et al. (2018) e Coelho et al. (2018) também perceberam uma melhor correlação entre NDVI e produtividade de grãos com o desenvolvimento dos estádios fenológicos, da fase vegetativa até o pendoamento.

Figura 17 – Correlação linear entre a produtividade de grãos e o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), dos valores médios por tratamento aos 14 DAE – V₃/V₄ (A), 22 DAE – V₆ (B), 32 DAE – V₇ (C), 37 DAE – V₈ (D), 46 DAE – V₉ (E), 60 DAE – V_t (F), 65 DAE – R₁ (G), 74 DAE – R₂ (H), 78 DAE – R₂ (I) e 93 DAE – R₄ (J), no ciclo do milho de setembro a dezembro de 2021 (safra)

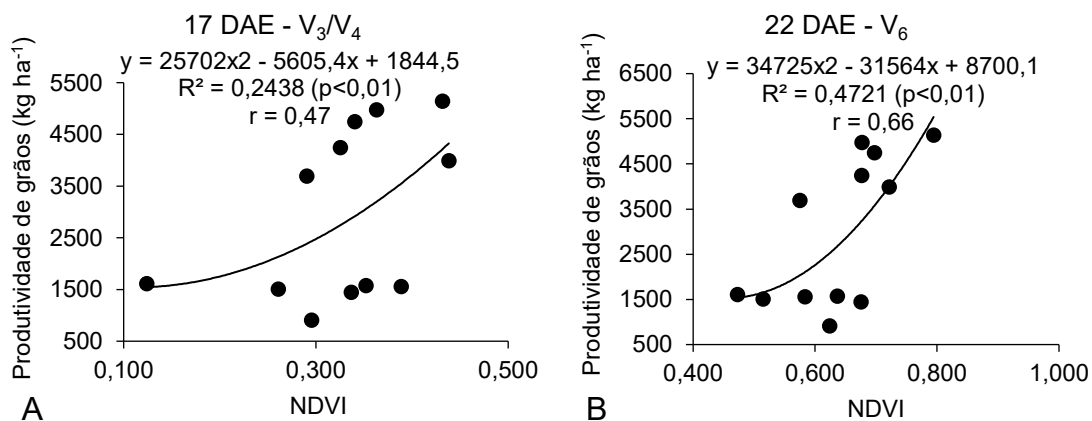


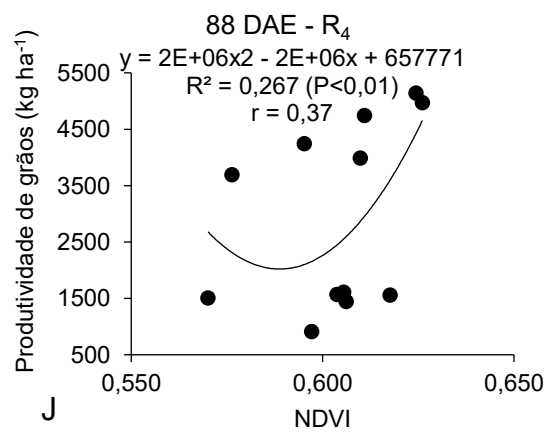
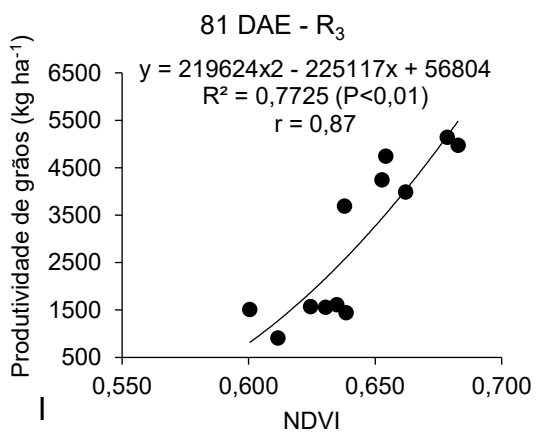
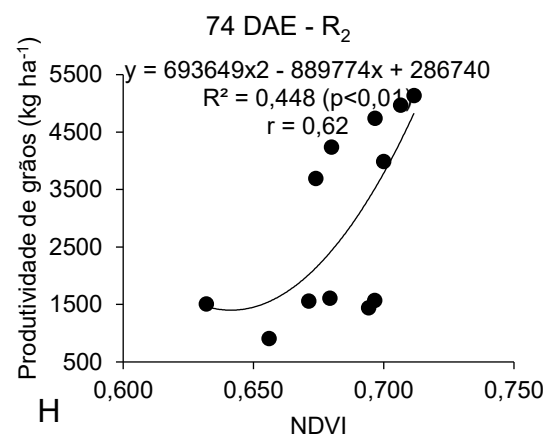
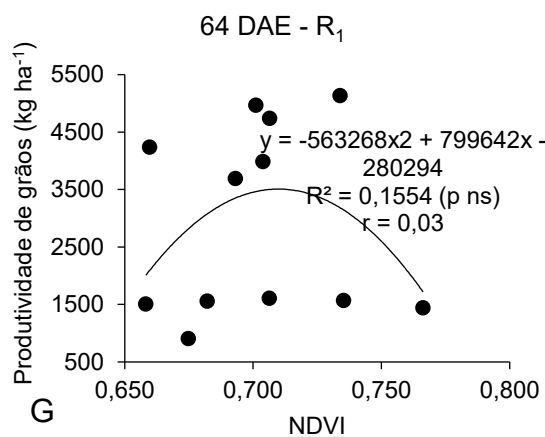
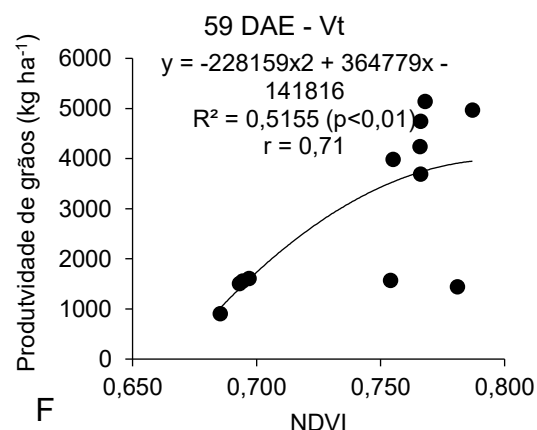
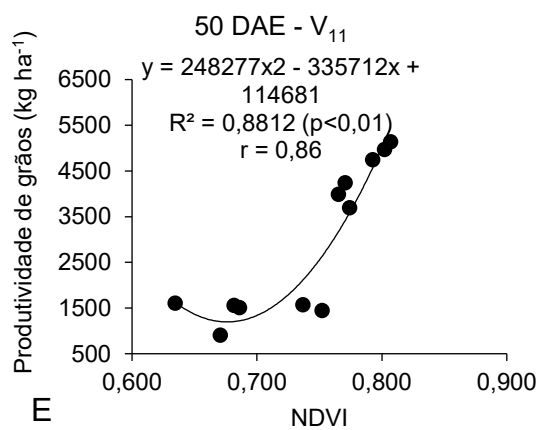
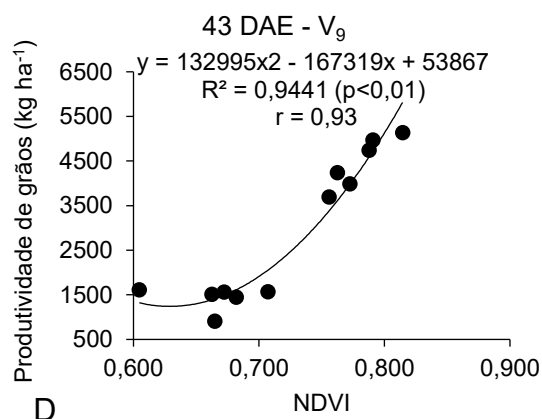
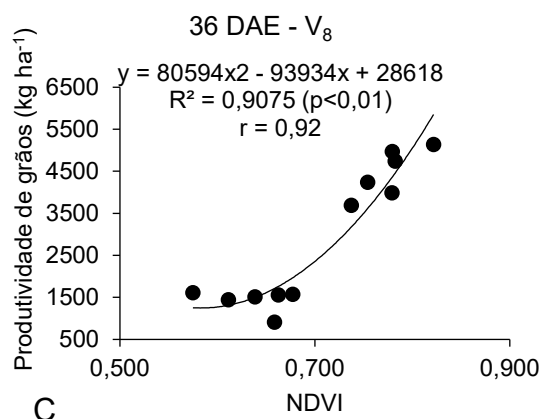


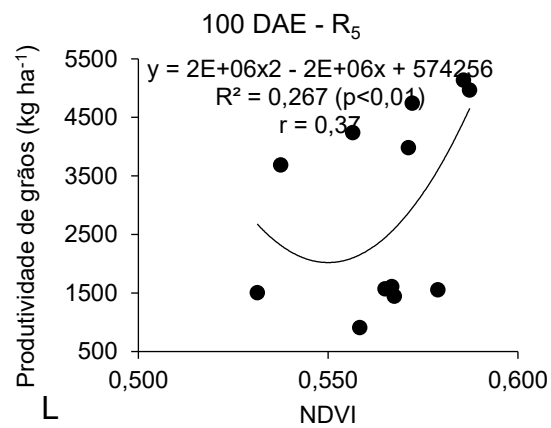


Na safrinha, os valores de NDVI apresentaram relação positiva e significativa a 1% nos estádios fenológicos V₃/V₄ (Figura 18A), V₆ (Figura 18B), V₈ (Figura 18C), V₉ (Figura 18D), V₁₁ (Figura 18E), V_t (Figura 18F), R₂ (Figura 18H), R₃ (Figura 18I), R₄ (Figura 18J) e R₅ (Figura 18L). O estágio R₁ (Figura 18G) apresentou correlação negativa e não significativa.

Figura 18 – Correlação linear entre a produtividade de grãos e os valores médios por tratamento do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), durante os estádios fenológicos do ciclo do milho de março a junho de 2022 (safrinha)







Os dados apresentados nas Tabelas 50 e 51 mostram que houve diferença significativa a 1% entres os tratamentos para o índice de diferença normalizada do vermelho limítrofe (NDRE), com exceção aos 14 e 22 DAE, não significantes (Tabela 50). Também houve diferença significativa entre as datas de realização das medidas para todos os tratamentos. Não houve diferença entre os blocos.

Tabela 50 – Análise de variância e valores médios do índice de vegetação diferença normalizada do vermelho limítrofe (NDRE), em função dos tratamentos, de setembro a dezembro de 2021 (safra).

Tratamentos	14 DAE (V ₃ /V ₄)	22 DAE (V ₆)	32 DAE (V ₇)	37 DAE (V ₈)	46 DAE (V ₉)	60 DAE (V _t)	65 DAE (R ₁)	74 DAE (R ₂)	78 DAE (R ₂)	93 DAE (R ₄)
NPK	0,147 a E	0,259 a CD	0,296 a BC	0,322 a AB	0,339 a AB	0,349 a A	0,322 a AB	0,258 ab CD	0,249 a CD	0,239 a D
EfPK	0,160 a D	0,278 a AB	0,300 a A	0,305 a A	0,313 b A	0,323 a A	0,288 b A	0,230 bc BC	0,223 b C	0,209 b C
Ef	0,129 a F	0,186 a E	0,209 b DE	0,247 b ABCD	0,278 c AB	0,288 b AB	0,293 ab A	0,266 a ABC	0,243 a BCD	0,224 ab CDE
Controle	0,131 a E	0,209 a BCD	0,229 b BCD	0,249 b AB	0,278 c A	0,255 c AB	0,242 c ABC	0,199 c CD	0,197 c CD	0,187 c D
Tratamento	0,001 ^{NS}	0,005 ^{NS}	0,006 ^{**}	0,004 ^{**}	0,003 ^{**}	0,005 ^{**}	0,003 ^{**}	0,003 ^{**}	0,002 ^{**}	0,002 ^{**}
Bloco	0,0002 ^{NS}	0,0001 ^{NS}	0,0000 ^{NS}	0,0000 ^{NS}	0,0001 ^{NS}	0,0001 ^{NS}	0,0000 ^{NS}	0,0002 ^{NS}	0,0001 ^{NS}	0,0000 ^{NS}
Erro	0,0001	0,0030	0,0002	0,0002	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0000	0,0000
C.V. (%)	7,77	23,51	5,69	5,28	2,84	3,22	3,82	4,61	2,82	2,68
Média geral	0,141	0,231	0,259	0,280	0,302	0,304	0,286	0,238	0,228	0,215

^{**} e ^{*} significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 51 – Análise de variância e valores médios da diferença normalizada do vermelho limítrofe (NDRE) para a cultura do milho em função dos tratamentos, de março a junho de 2022 (safrinha).

Tratamentos	17 DAE (V ₃ /V ₄)	22 DAE (V ₆)	36 DAE (V ₈)	43 DAE (V ₉)	50 DAE (V ₁₁)	59 DAE (V _t)	64 DAE (R ₁)	74 DAE (R ₂)	81 DAE (R ₃)	93 DAE (R ₄)	100 DAE (R ₅)
NPK	0,187 a H	0,294 a D	0,337 a C	0,352 a B	0,368 a A	0,329 a C	0,265 a E	0,245 a F	0,223 a G	0,211 a G	0,211 a G
EfPK	0,159 b H	0,277 a D	0,300 a BC	0,310 a AB	0,320 a A	0,305 b AB	0,226 b E	0,208 c F	0,191 b G	0,181 b G	0,179 b G
Ef	0,160 b F	0,220 b D	0,239 b C	0,272 b B	0,305 b A	0,291 c A	0,266 a B	0,220 b D	0,188 b E	0,183 c E	0,183 b E
Controle	0,141 c F	0,217 b C	0,249 b B	0,250 c AB	0,261 c A	0,241 d B	0,206 c C	0,179 d D	0,162 c E	0,168 d DE	0,168 c DE
Tratamento	0,001**	0,005**	0,007**	0,006**	0,006**	0,004**	0,003**	0,002**	0,002**	0,001**	0,001**
Bloco	6x10 ⁻⁶ NS	6x10 ⁻⁷ NS	4x10 ⁻⁵ NS	10 ⁻⁵ NS	3x10 ⁻⁵ NS	2x10 ⁻⁵ NS	10 ⁻⁵ NS	2x10 ⁻⁵ NS	3x10 ⁻⁷ NS	6x10 ⁻⁶ NS	3x10 ⁻⁶ NS
Erro	7x10 ⁻⁷	5x10 ⁻⁵	0,0002	5x10 ⁻⁵	2x10 ⁻⁵	2x10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	8x10 ⁻⁶	3x10 ⁻⁵	4x10 ⁻⁶	3x10 ⁻⁶
C.V. (%)	1,68	2,75	4,82	2,34	1,28	1,54	1,39	1,34	2,82	1,07	0,93
Média geral	0,162	0,252	0,279	0,296	0,313	0,291	0,241	0,213	0,191	0,186	0,185

** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

No primeiro ciclo, o NDRE apresentou comportamento estatístico diferente ao encontrado em NDVI. Entre 32 (V_7) e 60 DAE (V_t) os tratamentos NPK e EfPK não diferiram entre si, sendo superiores aos demais, com exceção aos 46 DAE (V_9) com o tratamento NPK conseguindo o maior valor de NDRE (Tabela 50). De 65 (R_1) até 93 DAE (R_4) os tratamentos NPK e Ef foram iguais e superiores aos demais. Em 65 (R_1) e 93 DAE (R_4), os tratamentos Ef e EfPK foram iguais e em 74 DAE (R_2) os tratamentos NPK e EfPK não diferiram entre si.

No segundo ciclo, as análises realizadas entre 22 e 50 DAE não apresentaram diferenças estatísticas entre os tratamentos NPK e EfPK, sendo superiores aos demais tratamentos. A partir do pendoamento da planta (59 DAE), percebe-se que o tratamento NPK passar a ter valores de NDRE superior aos demais tratamentos (Tabela 51).

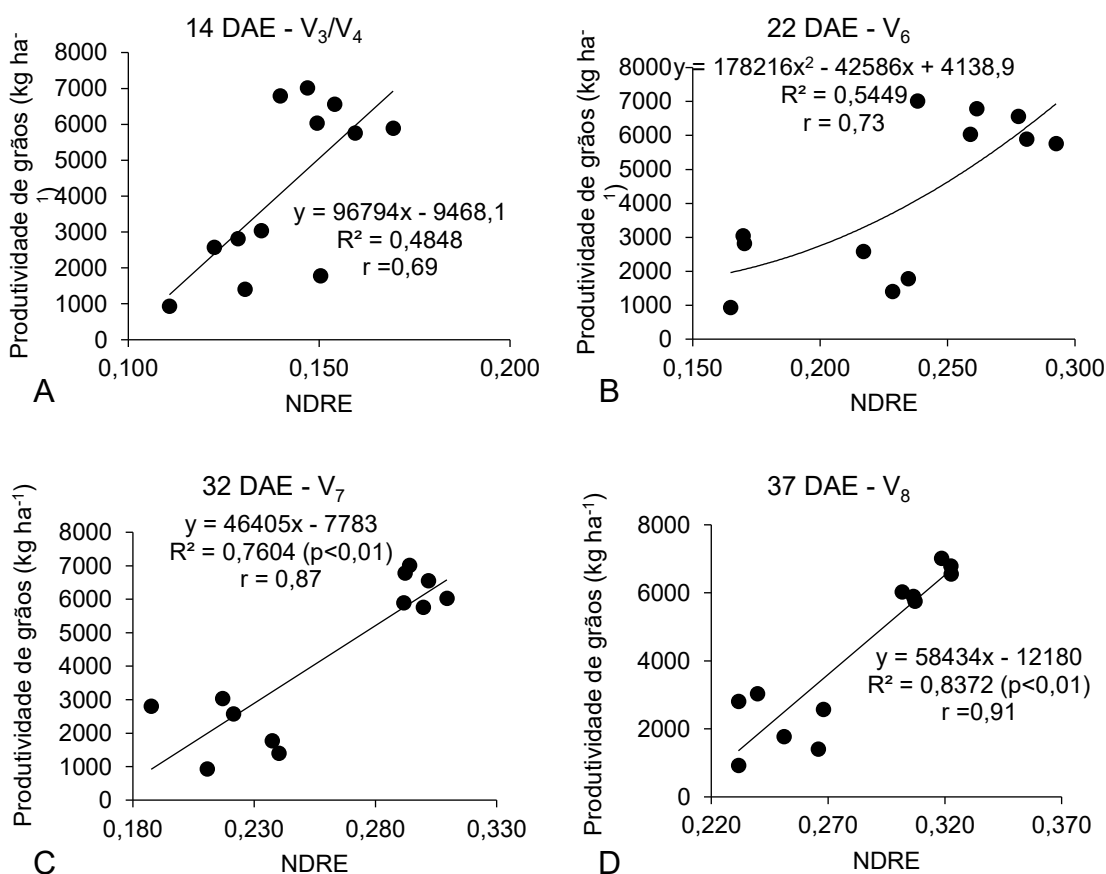
Na análise temporal, percebe-se que o máximo valor de NDRE atingido pelos tratamentos NPK, EfPK e Controle, no primeiro ciclo de plantio, ocorreu aos 37 DAE (V_8), o qual manteve-se estaticamente igual até 65 DAE (R_1) (Tabela 50). No tratamento Ef o mais alto NDRE também foi alcançado aos 37 DAE (V_8) e permaneceu igual até 74 DAE (R_2). No segundo ciclo, os maiores valores de NDRE para os tratamentos EfPK, Ef e Controle foi de 43 a 59 DAE, 50 a 59 DAE e 43 a 50 DAE, respectivamente. O tratamento NPK atingiu seu máximo valor de NDRE aos 50 DAE, e na análise posterior já foi percebido queda dos valores de NDRE (Tabela 51). Segundo Li et al. (2014) e Sampaio et al. (2021) valores de NDRE mais altos próximos a fase vegetativa V_t são normais pois a resposta as bandas vermelho limítrofe e infravermelho próximo expressam melhor a atividade fotossintética, e a radiação emitida pela banda vermelho limítrofe é mais fortemente absorvida pelos pigmentos de clorofila (KANKE et al., 2016).

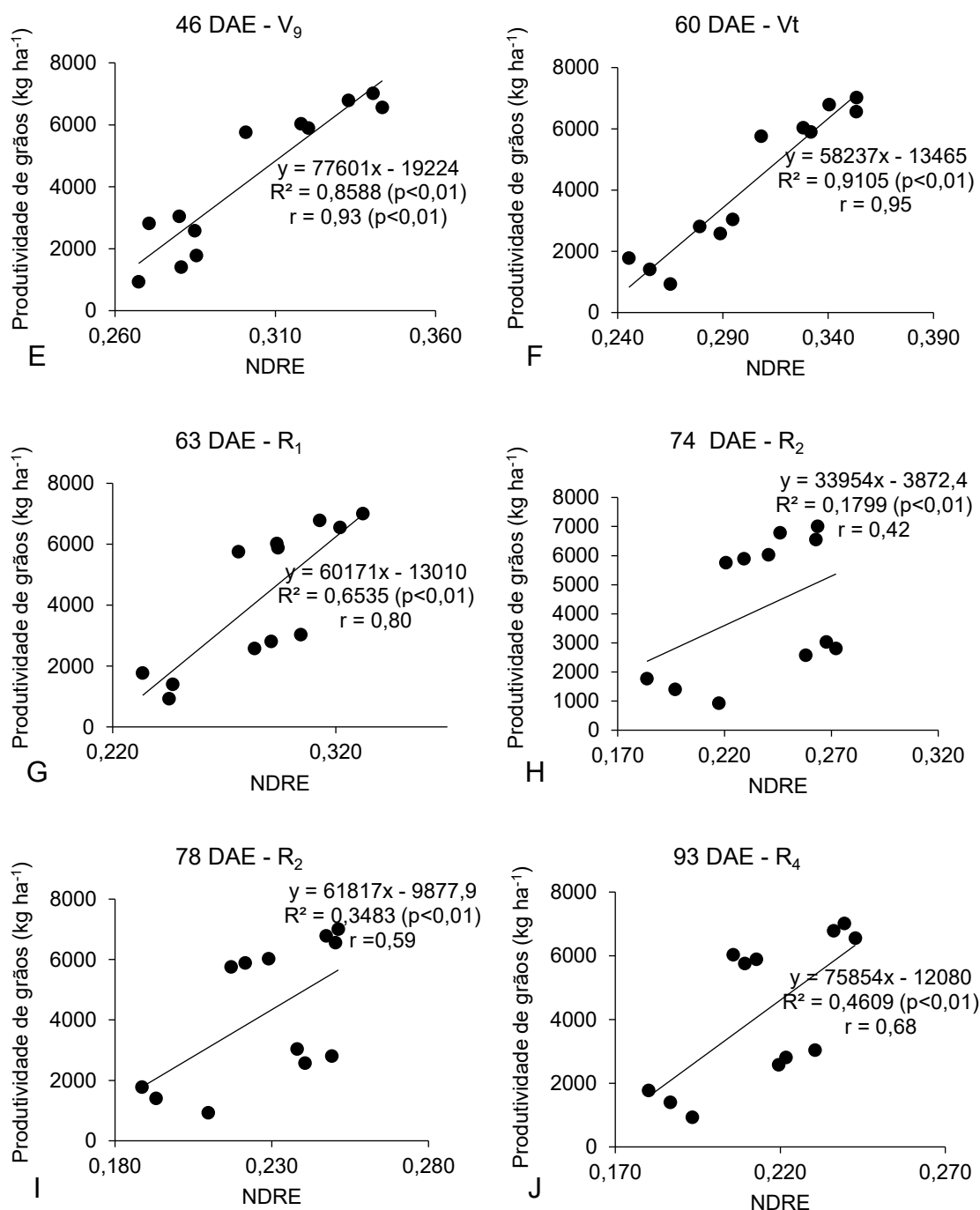
Segundo Michelon et al. (2019), o NDRE é mais indicado para culturas de maior porte, como é o caso do milho. Com o avanço das fases fenológicas e o aumento da área foliar a banda NIR não consegue mais penetrar nas camadas inferiores das folhas, ao contrário da banda vermelho limítrofe, que pode apresentar esse comportamento.

Foram encontradas correlações positivas e significantes a 1% entre produtividade de grãos e NDRE, em todas as avaliações. Tais resultados diferem dos encontrados nas correlações de produtividade de grãos e NDVI. Segundo a

classificação de Mukaka et al. (2012), somente a análise aos 74 DAE (R_2) (Figura 19H) obteve baixa correlação (r igual a 0,42). Correlações moderadas (0,69, 0,59 e 0,68) foram encontradas, respectivamente, aos 14 (V_3/V_4) (Figura 16A), 78 (R_2) (Figura 19I) e 93 DAE (R_4) (Figura 19J). As altas correlações (0,73, 0,87 e 0,80) foram obtidas, respectivamente, aos 22 (V_6) (Figura 19B), 32 (V_7) (Figura 19C) e 65 DAE (R_1) (Figura 19G). As avaliações realizadas aos 37 (V_8) (Figura 19D), 46 (V_9) (Figura 19E) e 60 DAE (V_t) (Figura 19F), atingiram correlações muito altas (r igual a 0,91, 0,93 e 0,95, respectivamente). Esses resultados são corroborados por Henriques et al. (2021), que afirmaram que o uso da banda vermelho limítrofe melhorou os resultados de correlação com produtividade de grãos. De acordo com Kanke et al. (2016) a utilização da banda vermelho limítrofe tem potencial para melhorar a estimativa atual de produtividade, como pode ser visto nas correlações apresentadas na Figura 16.

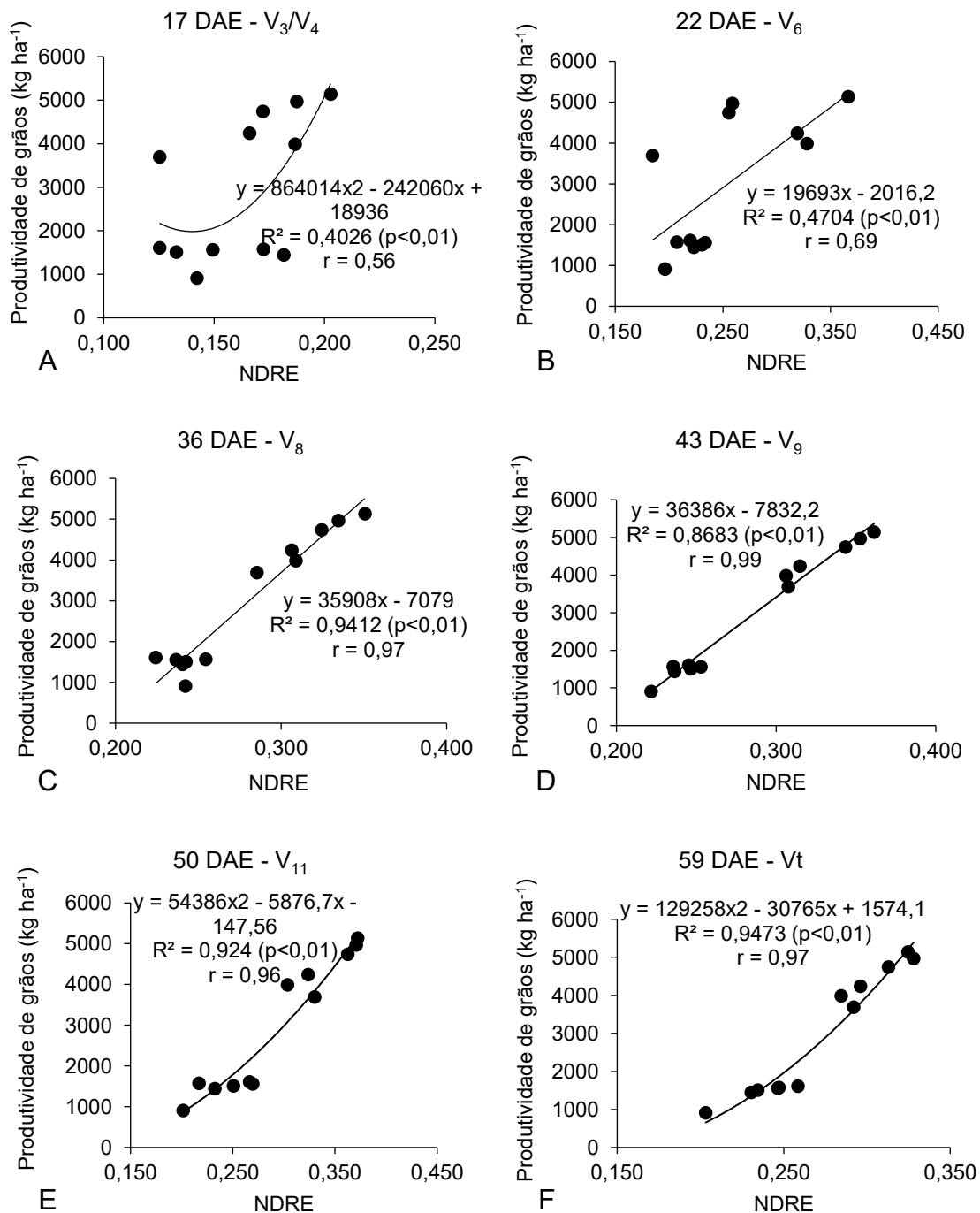
Figura 19 – Correlação linear entre a produtividade de grãos e os valores médios por tratamento da diferença normalizada do vermelho limítrofe (NDRE), durante os estádios fenológicos do ciclo do milho de setembro a dezembro de 2021 (safra)

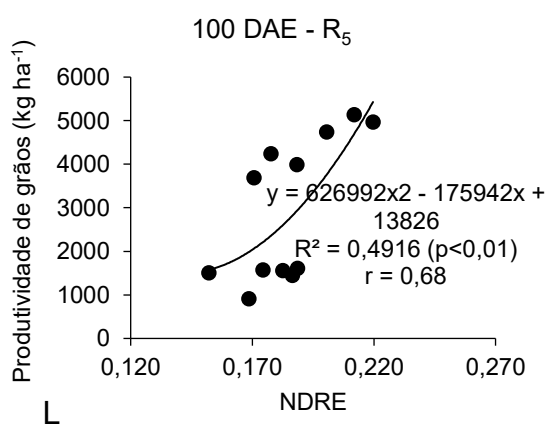
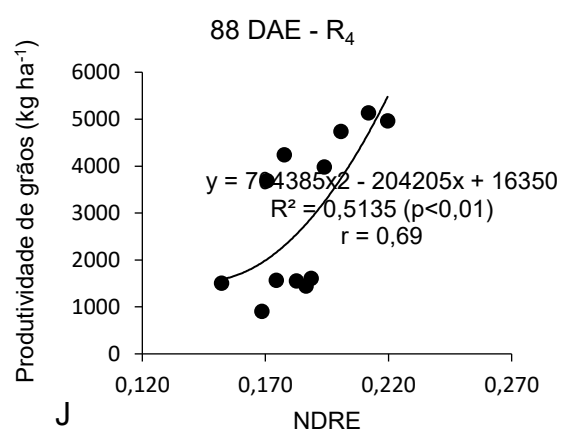
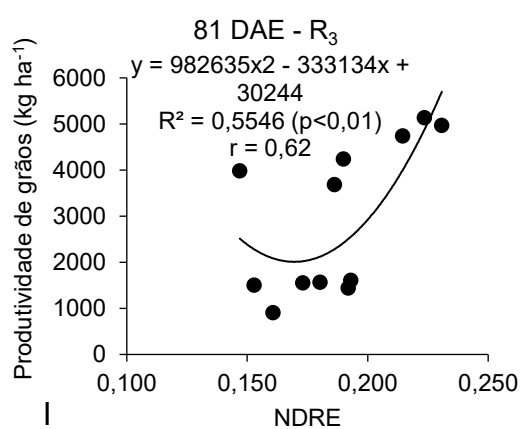
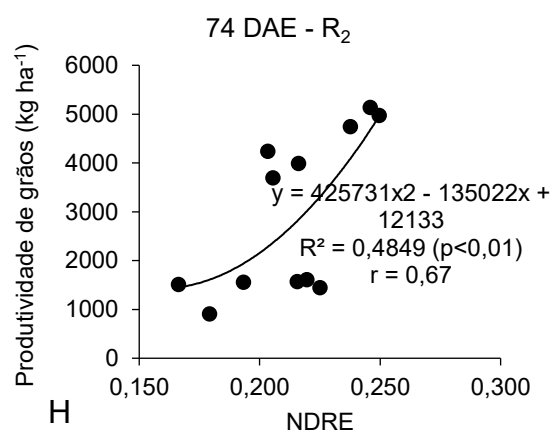
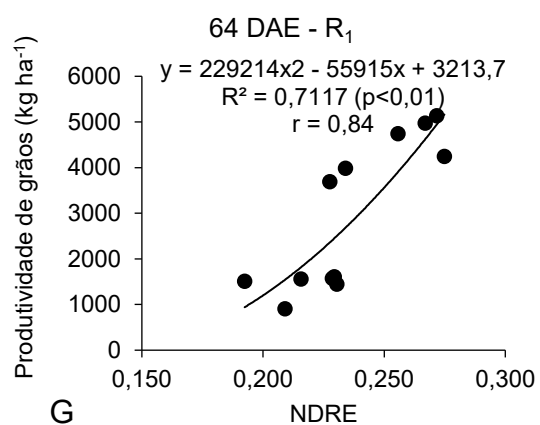




Todas as correlações entre produtividades de grãos e NDRE em diferentes estádios fenológicos, para o segundo ciclo, foram positivas e significantes a 1% (Figura 20). Foram obtidos valores de r igual a 0,56 (Figura 20A), 0,69 (Figura 20B), 0,97 (Figura 20C), 0,99 (Figura 20D), 0,96 (Figura 20E), 0,97 (Figura 20F), 0,84 (Figura 20G), 0,67 (Figura 20H), 0,62 (Figura 20I), 0,69 (Figura 20J) e 0,68 (Figura 20L).

Figura 20 – Correlação linear entre a produtividade de grãos e os valores médios por tratamento da diferença normalizada do vermelho limítrofe (NDRE), durante os estádios fenológicos do ciclo do milho de março a junho de 2022 (safrinha)





4.8 Efeitos do uso de EET no solo

4.8.1 Química do solo

4.8.1.1 Análise química do solo

As variáveis, potencial hidrogeniônico (pH) em CaCl_2 , matéria orgânica (MO) (g dm^{-3}), fósforo (P) (mg dm^{-3}) e potássio (K) ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$), apresentados na Tabela 52 e 53, indicam que para a safra apenas as variáveis fósforo e potássio apresentaram diferença significativa a 1% entre os tratamentos, no início do ciclo (IC) e no final do ciclo (FC). O pH e a M.O. não apresentaram diferenças significativas. Na análise realizada na safrinha (Tabela 53), ocorreu diferença significativa a 1% entre todas as variáveis analisadas com exceção da matéria orgânica, não sendo observado diferença significativa no IC e FC. Nas duas safras analisadas, os tratamentos NPK e EfPK foram superiores aos demais tratamentos para P e K, antes e depois da semeadura. O tratamento Controle foi igual ao tratamento NPK e o tratamento Ef foi inferior a todos, com exceção do K no início do ciclo da safrinha, com o tratamento EfPK sendo superior a todos os demais tratamentos. No início e final do ciclo da safrinha o tratamento EfPK apresentou resultados superiores aos demais tratamentos para a variável pH. Foi verificado diferença significativa entre IC e FC em todos os tratamentos.

Tabela 52 – Análise de variância e valores médios do potencial hidrogeniônico (pH) em CaCl_2 , matéria orgânica (M.O.) (g dm^{-3}), fósforo (P) (mg dm^{-3}) e potássio (K^+) (mmolc dm^{-3}), início do ciclo (IC) e final do ciclo (FC), no intervalo de profundidade de 0 a 20 cm, na cultura do milho em função dos tratamentos, de setembro a dezembro de 2021 (safra).

Tratamentos	pH (CaCl_2)		Matéria orgânica (MO) (g dm^{-3})		Fósforo (P) (mg dm^{-3})		Potássio (K^+) (mmolc dm^{-3})	
	IC	FC	IC	FC	IC	FC	IC	FC
NPK	5,2 a A	4,9 a B	24,67 a A	19,67 a B	20,33 ab A	14,67 a B	2,33 ab A	1,40 bc B
EfPK	5,2 a A	5,3 a A	24,67 a A	23,00 a A	27,33 a A	15,33 a B	2,50 a A	2,00 a B
Ef	5,1 a A	5,1 a A	24,00 a A	21,00 a A	6,33 c A	4,33 c A	1,40 c A	1,17 c A
Controle	5,3 a A	5,2 a A	26,33 a A	24,00 a A	13,67 b A	7,67 b B	1,97 b A	1,63 b B
Tratamento	0,01 ^{NS}	0,11 ^{NS}	2,97 ^{NS}	11,42 ^{NS}	242,75 ^{**}	86,78 ^{**}	0,71 ^{**}	0,38 ^{**}
Bloco	0,05 ^{NS}	0,02 ^{NS}	0,58 ^{NS}	1,08 ^{NS}	3,58 ^{NS}	0,25 ^{NS}	0,01 ^{NS}	0,02 ^{NS}
Erro	0,01	0,05	3,14	4,08	6,25	0,36	0,02	0,01
C.V. (%)	2,1	4,56	7,11	9,22	14,78	5,72	7,27	6,89
Média geral	5,2	5,11	24,92	21,92	16,92	10,50	2,05	1,55

^{**} e ^{*} significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha entre o início e final do experimento para cada variável, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 53 – Análise de variância e valores médios do potencial hidrogeniônico (pH) em CaCl_2 , matéria orgânica (MO) (g dm^{-3}), fósforo (P) (mg dm^{-3}) e potássio (K^+) (mmolc dm^{-3}), início do ciclo (IC) e final do ciclo (FC), no intervalo de profundida de 0 a 20 cm, na cultura do milho em função dos tratamentos, de março a junho de 2022 (safrinha).

Tratamentos	pH (CaCl_2)		Matéria orgânica (MO) (g dm^{-3})		Fósforo (P) (mg dm^{-3})		Potássio (K^+) (mmolc dm^{-3})	
	IC	FC	IC	FC	IC	FC	IC	FC
NPK	4,7 b A	4,5 c B	20,00 b A	18,00 a B	14,67 a A	8,00 a B	1,40 bc B	2,04 a A
EfPK	5,3 a B	5,5 a A	20,33 b A	19,67 a A	14,67 a B	15,33 a A	1,93 a B	2,10 a A
Ef	5,0 ab B	5,3 b A	20,33 b A	21,33 a A	4,33 c B	5,33 c A	1,17 c B	1,90 b A
Controle	5,1 a A	5,2 b A	21,33 a A	20,33 a B	7,66 b A	5,33 c B	1,57 b A	1,63 c A
Tratamento	0,165**	0,414**	11,42 ^{NS}	5,64 ^{NS}	86,78**	54,08**	0,31**	0,13**
Bloco	0,011 ^{NS}	0,023 ^{NS}	0,25 ^{NS}	1,33 ^{NS}	0,25 ^{NS}	0,00 ^{NS}	0,026 ^{NS}	0,001 ^{NS}
Erro	0,015	0,003	1,58	2,22	0,36	0,33	0,008	0,002
C.V. (%)	2,47	1,12	5,92	7,61	5,72	7,00	5,92	2,30
Média geral	5,0	5,2	20,50	19,83	10,50	8,25	1,52	1,92

** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha entre o início e final do experimento para cada variável, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A faixa ideal de pH em CaCl_2 para cultivo de milho vai 5,4 a 6,4. Em todos os tratamentos, antes e depois do ciclo, nenhum dos valores encontrados estava dentro desse intervalo desejado. Na análise de pH realizada na safra, os que mais se aproximaram foram o tratamento EfPK (5,3) depois do ciclo, e o tratamento Controle (5,3) antes do ciclo (Tabela 52). Somente na safrinha foi possível observar que o tratamento EfPK alcançou valor de pH (5,5) acima do valor mínimo considerado ideal para o cultivo do milho, e o tratamento Ef??? alcançou valor próximo ao ideal, 5,3 (Tabela 53).

Na safra e na safrinha, foi verificado a acidificação do solo apenas no tratamento NPK, com um pH de 5,2 em IC e de 4,9 em FC (Tabela 52) e de 4,5 em IC a 4,5 em FC (Tabela 53). O uso do fertilizante nitrogenado (ureia) é responsável por esse processo de acidificação do solo, pois durante a transformação do NH_4 em NO_3^- (nitrificação), são produzidos dois prótons (CHIEN, GEARHART & COLLAMER 2008; ANJOS & SOBRAL, 2019). Resultados semelhantes foram encontrados por Schroder et al. (2011), que analisaram os efeitos de diferentes fontes de N nos atributos de química do solo ao longo dos anos, e verificaram a acidificação do solo com o aumento das doses de N durante os experimentos e também com o decorrer dos anos. Delbem et al. (2011), estudaram a influência de diferentes fontes de N mineral no solo e também observaram a diminuição do pH com o aumento das doses de nitrogênio.

O uso do EET gerou efeitos positivos no pH do solo, como pode ser visto nos tratamentos EfPK e Ef, pois o valor do pH ao final da safra foi estatisticamente igual à do início do ciclo (Tabela 52) e na safrinha o valor de pH nos tratamentos EfPK e Ef no FC foi superior ao IC (Tabela 53). Sena, Ferreira e Silva (2020), analisaram as mudanças dos aspectos químicos do solo em função da aplicação de água residuária, e notaram um aumento do pH utilizando irrigações com água residuária com 100 e 75% da ETc. Sandri e Rosa (2017), não verificaram alteração do pH na camada de solo de 0 a 20 cm, com a aplicação do EET por microaspersão.

Na safra e safrinha, somente no tratamento NPK ocorreu o decréscimo da MO ao final do ciclo, 24,67 g dm^{-3} para 19,67 g dm^{-3} (Tabela 52) e de 20,33 g dm^{-3} para 18,33 g dm^{-3} (Tabela 53), respectivamente. Essa diminuição da MO do solo em função da aplicação das doses de ureia no solo foi observada por Delbem et al. (2011), que ao aplicarem 0, 100 e 200 kg ha^{-1} de N, encontraram teores de MO de 18, 14,55 e 13,33 g dm^{-3} , respectivamente. A adição de adubos nitrogenados minerais, além de

fornecer N ao solo, contribui para o aumento da atividade microbiana do solo, o que faz com que a mineralização da matéria orgânica aumente. O uso do EET nas condições do experimento não foi suficiente para gerar alterações do teor de matéria orgânica em comparação aos tratamentos NPK e Controle. No entanto, diferente do tratamento NPK, os tratamentos EfPK e Ef não apresentaram diferença entre o início e final do ciclo. Azevedo et al. (2013), ao aplicarem EET em tratamentos com a proporção de 100, 75, 50, 25 e 0%, observaram incremento de MO no solo nos tratamentos que receberam de 100 a 25% de EET. Sena, Ferreira e Silva (2020), observaram antes 2,7% de MO no solo, ao aplicarem doses de EET em tratamentos proporcionais a 100% ETc, 85% ETc, 70% ETc e 55% ETc, observaram 3,5, 3,1, 3,1 e 4,8% de MO no solo.

Na safra, nos tratamentos NPK e EfPK foram encontrados os maiores teores de fósforo antes (20,33 e 27,33 mg dm⁻³, respectivamente) e ao final do ciclo (14,67 e 15,63 mg dm⁻³, respectivamente), resultando em decréscimo de 11,32 e 23,40 kg ha⁻¹ de P (Tabela 52). Na safrinha, foi verificado o mesmo comportamento no tratamento NPK, com diminuição do teor de fósforo do solo no FC (14,67 mg dm⁻³) em relação ao IC (8,00 mg dm⁻³), resultando em uma diminuição de 13,34 kg ha⁻¹ de P. No tratamento EfPK foi observado na safrinha um efeito contrário ao resultado da safra, com o aumento do teor de fósforo no solo em 0,66 mg dm⁻³, sendo acrescido ao solo 1,32 kg ha⁻¹ de P (Tabela 53).

Para o potássio, na safra apenas os tratamentos NPK e EfPK no início do ciclo obtiveram os maiores teores (2,33 e 2,50 mmolc dm⁻³, respectivamente) e na safrinha apenas o tratamento EfPK obteve o maior valor (1,93 mmolc dm⁻³). No final do ciclo da safra, o tratamento EfPK obteve o maior teor de K (2,00 mmolc dm⁻³) e na safrinha os tratamentos NPK e EfPK obtiveram os maiores valores (2,04 e 2,10 mmolc dm⁻³). Ocorreu decréscimo dos teores de K no solo durante a safra nos tratamentos NPK e EfPK, no FC (1,40 e 2,00 mmolc dm⁻³, respectivamente) em relação ao IC (2,33 e 2,50 mmolc dm⁻³, respectivamente), resultando em diminuição de 72,73 e 39,10 kg ha⁻¹ nos tratamentos NPK e EfPK, respectivamente (Tabela 52). Na safrinha, foi observado aumento dos teores de K no solo nos tratamentos NPK (1,40 e 2,04 mmolc dm⁻³) e EfPK (1,93 e 2,10 mmolc dm⁻³), entre o IC e FC, respectivamente. Esse aumento dos níveis de potássio no solo no final do ciclo, representou em acréscimo de 50,05 e 13,29 kg ha⁻¹ nos tratamentos NPK e EfPK, respectivamente (Tabela 53).

O comparativo dos tratamentos EfPK e Ef mostra a importância da suplementação de P e K mineral para atingir teores iguais aos do NPK. Na Tabela 52, observa-se que o tratamento Controle possui teores de P e K maiores aos encontrados no tratamento Ef, pois a área está no oitavo ano de cultivo, e até o ciclo da cultura de milho de 2019, essas parcelas recebiam doses de fósforo e potássio minerais, resultando em nutrientes residuais no solo. No entanto, a diminuição dos teores de ambos os nutrientes ao final do ciclo indica a exaustão dos nutrientes residuais no solo. Isso pode ser comprovado nos resultados encontrados na safrinha (Tabela 53), sendo possível observar uma diminuição dos teores de fósforo no solo no FC em relação ao IC. Para a variável potássio o tratamento Controle obteve valor inferior ao tratamento Ef, ao final do ciclo, confirmando a exaustão do K remanescente do solo.

Na Tabela 54, observa-se que o magnésio e a acidez potencial ($H^+ + Al^{+3}$) no início do ciclo não apresentaram diferenças significativas, mas as demais variáveis foram significativamente diferentes a 1% entre os tratamentos no início e no final do ciclo, com exceção de Mg^{+2} que apresentou significância a 5%. Na Tabela 55, ocorreu diferença significativa a 1% entre os tratamentos para todas as variáveis analisadas. Para o Ca^{+2} , na safra, os tratamentos NPK e Controle apresentaram valores iguais e superiores no início do ciclo, respectivamente; no entanto na safrinha, o Tratamento EfPK foi superior aos demais tratamentos. O tratamento EfPK foi superior aos demais tratamentos no final do ciclo para Ca^{+2} na safra e na safrinha, e para o Mg^{+2} o tratamento Controle foi igual ao tratamento EfPK, nos dois ciclos analisados. Os maiores teores de alumínio no solo, no início do ciclo, foram encontrados nos tratamentos EfPK e EF e no tratamento NPK, na safra e safrinha, respectivamente. Ao final do ciclo o tratamento NPK foi superior aos demais tratamentos, nas duas safras analisadas, fato que está em acordo com comportamento dos valores de pH observados nos tratamentos. Para a acidez potencial, no final do ciclo, na safra e safrinha o tratamento NPK obteve os maiores valores. Foi observado diferença significativa entre o início e o final do ciclo para todas as variáveis analisadas.

Tabela 54 – Análise de variância e valores médios do cálcio (Ca^{+2}) (mmolc dm^{-3}), magnésio (Mg^{+2}) (mmolc dm^{-3}), alumínio (Al^{+3}) e acidez potencial ($\text{H}^{+}+\text{Al}^{+3}$) (mmolc dm^{-3}), início do ciclo (IC) e final do ciclo (FC), no intervalo de profundidade de 0 a 20 cm, na cultura do milho em função dos tratamentos, de setembro a dezembro de 2021 (safra).

Tratamentos	Cálcio (Ca^{+2}) (mmolc dm^{-3})		Magnésio (Mg^{+2}) (mmolc dm^{-3})		Alumínio (Al^{+3}) (mmolc dm^{-3})		Acidez potencial ($\text{H}^{+}+\text{Al}^{+3}$) (mmolc dm^{-3})	
	IC	FC	IC	FC	IC	FC	IC	FC
NPK	25,67 ab A	20,00 c B	11,67 a A	9,00 b B	0,33b B	0,67 a A	29,67 a A	29,33 a A
EfPK	24,00bc B	26,33 a A	11,00 a A	10,67 ab A	0,53 a A	0,00 c B	29,33 a A	23,00 c B
Ef	22,67 c A	21,00 c B	11,33 a A	9,00 b B	0,63 a A	0,33 b B	30,33 a A	26,33 b B
Controle	27,00 a A	23,33 b B	12,33 a A	11,67 a A	0,00 c A	0,00 c A	28,67 a A	25,00 bc B
Tratamento	10,78**	23,78**	0,97 ^{NS}	5,19*	0,23**	0,31**	1,44 ^{NS}	21,19**
Bloco	1,08 ^{NS}	1,08 ^{NS}	0,08 ^{NS}	0,33 ^{NS}	0,001 ^{NS}	0,001 ^{NS}	1,00 ^{NS}	0,08 ^{NS}
Erro	0,53	0,53	0,64	0,78	0,002	0,001	0,78	0,86
C.V. (%)	2,93	3,21	6,90	8,75	11,79	11,59	2,99	3,58
Média geral	24,83	22,67	11,58	10,08	0,37	0,25	29,50	25,92

** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha entre o início e final do experimento para cada variável, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 55 – Análise de variância e valores médios do cálcio (Ca^{+2}) ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$), magnésio (Mg^{+2}) ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$), alumínio (Al^{+3}) e acidez potencial ($\text{H}^{+}+\text{Al}^{+3}$) ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$), início do ciclo (IC) e final do ciclo (FC), no intervalo de profundidade de 0 a 20 cm, na cultura do milho em função dos tratamentos, de março a junho de 2022 (safrinha).

Tratamentos	Cálcio (Ca^{+2}) ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$)		Magnésio (Mg^{+2}) ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$)		Alumínio (Al^{+3}) ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$)		Acidez potencial ($\text{H}^{+}+\text{Al}^{+3}$) ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	
	IC	FC	IC	FC	IC	FC	IC	FC
NPK	19,33 c A	17,67 d B	8,67 b B	13,00 b A	0,67 a B	1,67 a A	29,33 a A	30,33 a A
EfPK	25,67 a B	31,33 a A	10,00 ab B	15,00 a A	0,00 c A	0,00 b a	23,00 c A	21,33 c B
Ef	23,67 c B	28,33 b A	9,00 b B	13,00 b A	0,22 b A	0,00 b B	26,33 b A	24,33 b B
Controle	23,33 b A	24,00 c A	11,67 a B	14,67 a A	0,00 c A	0,00 b A	25,00 bc A	26,67 b A
Tratamento	23,86**	8,22**	5,44**	3,42**	0,31**	2,08**	21,19**	3,41**
Bloco	0,25 ^{NS}	1,33 ^{NS}	0,58 ^{NS}	0,08 ^{NS}	0,001 ^{NS}	0,08 ^{NS}	0,08 ^{NS}	0,08 ^{NS}
Erro	0,36	0,22	0,36	0,08	0,001	0,08	0,86	1,42
C.V. (%)	2,70	1,61	6,11	2,07	11,59	69,28	3,58	4,59
Média geral	22,93	25,33	9,83	13,92	0,25	0,42	25,92	25,92

** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha entre o início e final do experimento para cada variável, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Na safra, foi verificado um incremento de cálcio trocável de $5,66 \text{ mmolc dm}^{-3}$ apenas no tratamento EfPK, e apesar do tratamento Ef receber as mesmas lâminas, foi verificado um decréscimo do teor desse nutriente em $1,67 \text{ mmolc dm}^{-3}$ (Tabela 54), resultando em aumento e perda de Ca^{+2} nos tratamentos NPK e EfPK de $226,85$ e $66,93 \text{ kg ha}^{-1}$, respectivamente. O maior valor do tratamento EfPK no final do ciclo é explicado pelo EET ter em sua composição $35,66 \text{ mg L}^{-1}$ de cálcio e o adubo superfosfato simples possuir 20% de Ca^{+2} em sua composição, que forneceram ao solo $92,71 \text{ kg ha}^{-1}$ de Ca^{+2} , enquanto que no tratamento Ef só foi aplicado $26,12 \text{ kg ha}^{-1}$ de Ca^{+2} . O tratamento NPK, apesar de ter fornecido a maior dose de Ca^{+2} (100 kg ha^{-1}), não foi capaz de aumentar os teores de Ca^{+2} no solo ao final do ciclo. Na safrinha (Tabela 55), ocorreu o aumento do teor de cálcio no solo em FC ($31,33$ e $28,33 \text{ mmolc dm}^{-3}$) em relação a IC ($25,67$ e $23,67 \text{ mmolc dm}^{-3}$) nos tratamentos EfPK e Ef, respectivamente, mas os valores obtidos em IC e FC para o tratamento EfPK foi superior ao do tratamento Ef. Esse aumento dos níveis de Ca^{+2} no solo gerou incremento de $226,85$ e $187,05 \text{ kg ha}^{-1}$. Os maiores incrementos de cálcio ao final do ciclo no tratamento EfPK, deve-se a concentração do EET, $45,50 \text{ mg L}^{-1}$, utilizado na safrinha e ser adicionado cálcio do adubo mineral superfosfato simples, representando um total de $93,04 \text{ kg ha}^{-1}$ de Ca^{+2} , e sendo adicionado no tratamento Ef apenas $31,60 \text{ kg ha}^{-1}$ de Ca^{+2} via adubação. Os altos incrementos de cálcio no solo, além de ajudarem na suplementação mineral da cultura do milho, foi de grande importância para a correção da acidez do solo.

Firmino et al. (2015) analisaram as alterações das características químicas do solo com aplicação de água residuária tratada, e observaram um aumento do teor de Ca^{+2} entre o início e o fim do ciclo ($3,04$ e $3,64 \text{ cmolc dm}^{-3}$, respectivamente). O mesmo comportamento foi observado por Sandri e Rosa (2017), que ao adicionarem o EET via irrigação por gotejamento, não observaram diferença entre o início e fim do ciclo ($1,00$ e $1,00 \text{ cmolc dm}^{-3}$, respectivamente), mas ao utilizar a microaspersão para aplicar o EET, verificaram um incremento de Ca^{+2} de $0,70$ para $2,10 \text{ cmolc dm}^{-3}$.

Na safra, apenas os tratamentos EfPK e Controle conseguiram manter os níveis de Mg^{+2} iguais aos encontrados no início do ciclo. Nos tratamentos NPK e Ef foi observado menor quantidade de Mg^{+2} no solo ao final do ciclo ao observado na análise realizada antes da semeadura (Tabela 54). No início do ciclo percebe-se que não houve diferença significativa entre os tratamentos, enquanto que no final do ciclo

observa-se que os tratamentos NPK, EfPK e Ef foram iguais e superiores ao tratamento Controle. Na safrinha, ocorreu aumento dos níveis de Mg^{+2} ao final do ciclo em todos os tratamentos; no IC e no FC os tratamentos EfPK e Controle obtiveram os maiores valores de magnésio (Tabela 55). O aumento dos teores de Mg^{+2} no solo foram de 4,33, 5,00, 4,00 e 3,00 $mmol\,c\,dm^{-3}$, representando um aumento de 105,27, 121,56, 97,25 e 72,94 $kg\,ha^{-1}$ nos tratamentos NPK, EfPK, Ef e Controle, respectivamente.

O tratamento NPK foi o único em que foi verificado aumento na safra e safrinha (103,03 e 249,25%) do alumínio trocável no solo, entre o início (0,33 e 0,67 $mmol\,c\,dm^{-3}$) e o fim do ciclo (0,67 e 1,67 $mmol\,c\,dm^{-3}$), respectivamente (Tabelas 54 e 55). Resultados semelhantes foram encontrados por Schroder et al. (2011), que observaram um aumento quadrático dos teores de Al^{+3} com aplicação de doses crescentes de ureia. Anjos e Sobral (2019), também observaram aumento dos teores de alumínio trocável no solo ao longo dos anos com a adição de ureia. Segundo os autores a diminuição do pH é devido ao aumento dos níveis de H^{+} e Al^{+3} e diminuindo os níveis de Ca^{+2} e Mg^{+2} no solo, devido o hidrogênio e o alumínio substituíres esses nutrientes nos sítios de trocas da argila.

Foi verificado redução da acidez potencial ($H^{+}+Al^{+3}$) nos tratamentos EfPK, Ef e Controle na safra (Tabela 54) e na safrinha ocorreu redução da acidez potencial nos tratamentos EfPK e Ef (Tabela 55). A diminuição da $H^{+}+Al^{+3}$ no tratamento EfPK e Ef foi de 21,58 e 7,26 % na safra, e de 13,99 e 7,60% na safrinha, respectivamente. Como não ocorreu aumento do pH na safra, o decréscimo encontrado nos tratamentos EfPK e Ef deve-se a neutralização total e parcial do Al^{+3} , respectivamente. Na safrinha o decréscimo da acidez potencial nos tratamentos EfPK e Ef deve-se ao aumento do pH do solo e pela neutralização total do Al^{+3} nos dois tratamentos.

Na safra, no IC os tratamentos EfPK e Ef possuíam os maiores níveis de alumínio trocável no solo (0,53 e 0,63 $mmol\,c\,dm^{-3}$, respectivamente) (Tabela 54). No entanto, ao final do ciclo foi observado a neutralização total do Al^{+3} no tratamento EfPK e uma redução de 47,62% do seu teor no tratamento Ef. Na safrinha, dos tratamentos EfPK e Ef, apenas o tratamento EF apresentou Al^{+3} no IC e no FC ocorreu neutralização total do alumínio trocável no solo, indicando a correção do solo por Al^{+3} nas áreas de aplicação do EET. Segundo Garcia et al. (2008), a elevação do pH resulta em conversão do alumínio trocável em hidróxido de alumínio, sendo

precipitado no solo e diminuindo os níveis de Al^{+3} . Os mesmos autores também observaram um decréscimo de Al^{+3} no solo pela aplicação de água residuária oriunda da lavagem e despulpa de café. Pereira e Garcia (2017) analisaram os efeitos de aplicação de lodo de esgoto da indústria alimentícia no solo e observaram menores teores de alumínio trocável, ao compararem com áreas que não receberam o lodo de esgoto.

Na safra e safrinha as variáveis, soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions (CTC), saturação de bases (V) e saturação de alumínio (m) apresentaram diferença significativa entre os tratamentos a 1% no início e no final do ciclo, com exceção da CTC no início do ciclo da safra, que apresentou diferença significativa a 5% (Tabelas 56 e 57). Na safra e safrinha, a soma de bases no IC atingiu seus maiores valores nos tratamentos NPK e Controle, e os tratamentos EfPK e Controle, no FC os maiores valores foram atingidos nos tratamentos EfPK e Controle, e o tratamento EfPK, respectivamente. Na safra, no início do ciclo, os tratamentos NPK, EfPK e Controle obtiveram os maiores valores de CTC, e na safrinha os maiores valores foram obtidos ao final do ciclo nos tratamentos EfPK e Controle. Em relação a V, os tratamentos que obtiveram os maiores resultados na safra foram os tratamentos NPK, EfPK e Controle em IC e os tratamentos EfPK e Controle em FC, na safrinha os tratamentos EfPK e Controle em IC e os tratamentos EfPK e Ef em FC. Na saturação de alumínio, na avaliação realizada na safra, no início do ciclo, os tratamentos EfPK e Ef foram superiores aos demais, e no final do ciclo os tratamentos NPK e Controle, obtiveram os maiores valores de saturação de alumínio. Na safrinha, no início e final do ciclo o tratamento NPK apresentou os maiores valores de saturação de alumínio.

Tabela 56 – Análise de variância e valores médios da soma de bases (SB) (mmolc dm⁻³), capacidade de troca de cátions (CTC) (mmolc dm⁻³), saturação de bases (V%) e saturação de alumínio (m%), início do ciclo (IC) e final do ciclo (FC), no intervalo de profundidade de 0 a 20 cm, na cultura do milho em função dos tratamentos, de setembro a dezembro de 2021 (safra).

Tratamentos	Soma de bases (SB) (mmolc dm ⁻³)		Capacidade de troca de cátions (CTC) (mmolc dm ⁻³)		Saturação de bases (V) (%)		Saturação de alumínio (m) (%)	
	IC	FC	IC	FC	IC	FC	IC	FC
NPK	39,67ab A	30,67 b B	69,33 ab A	59,73 a B	57,22 ab A	50,83b B	0,82 c B	2,15 a A
EfPK	37,50 bc A	39,00a A	66,83 ab A	62,00 a B	56,09 ab B	62,90 a A	1,40 b A	0,00 c B
Ef	35,40 c A	31,17 b B	65,73 b A	57,33 b B	53,86 b A	54,20 b A	1,76 a A	1,05 b B
Controle	41,30 a A	37,00 a B	69,97 a A	61,63 a B	59,03 a A	59,43 a A	0,00d A	0,00 c A
Tratamento	19,81**	53,42**	12,14*	14,67**	14,406**	90,31**	1,76**	3,11**
Bloco	1,54 ^{NS}	0,58 ^{NS}	0,34 ^{NS}	0,33 ^{NS}	2,52 ^{NS}	0,75 ^{NS}	0,01 ^{NS}	0,01 ^{NS}
Erro	1,53	1,58	2,23	0,67	1,24	2,64	0,01	0,01
C.V. (%)	3,22	3,66	2,20	1,35	1,97	2,86	8,78	14,74
Média geral	38,47	34,42	67,97	60,33	56,55	56,75	1,00	0,79

** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha entre o início e final do experimento para cada variável, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 57 – Análise de variância e valores médios da soma de bases (SB) (mmolc dm⁻³), capacidade de troca de cátions (CTC) (mmolc dm⁻³), saturação de bases (V%) e saturação de alumínio (m%), início do ciclo (IC) e final do ciclo (FC), no intervalo de profundidade de 0 a 20 cm, na cultura do milho em função dos tratamentos, de março a junho de 2022 (safrinha).

Tratamentos	Soma de bases (SB) (mmolc dm ⁻³)		Capacidade de troca de cátions (CTC) (mmolc dm ⁻³)		Saturação de bases (V) (%)		Saturação de alumínio (m) (%)	
	IC	FC	IC	FC	IC	FC	IC	FC
NPK	29,67 b B	42,67 c A	59,00 ab B	69,00 bc A	50,00 c B	61,67 c A	2,20 a B	3,70 a A
EfPK	37,67 a B	48,33 a A	60,67 a B	74,67 a A	62,00 a B	64,67 a A	0,00 c B	0,00 b A
Ef	30,67 b B	43,33 c A	57,00 b B	67,67 c A	54,00 b B	64,00 a A	1,07 b B	0,00 b A
Controle	37,00 a B	46,00 b A	62,00 a B	72,67 ab A	59,33 a B	63,33 b A	0,00 c B	0,00 b A
Tratamento	52,08**	20,31**	14,00**	31,33**	86,67**	4,97**	3,31**	10,27**
Bloco	0,25 ^{NS}	1,33 ^{NS}	0,33 ^{NS}	1,75 ^{NS}	0,08 ^{NS}	0,58 ^{NS}	0,016 ^{NS}	0,37 ^{NS}
Erro	1,25	0,22	1,33	1,75	1,75	1,47	0,019	0,37
C.V. (%)	3,31	1,05	1,94	1,86	2,35	1,91	16,95	65,54
Média geral	33,75	45,08	59,67	71,00	56,33	63,42	0,82	0,93

** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha entre o início e final do experimento para cada variável, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Na safra, ao final do ciclo, percebe-se que o tratamento EfPK foi o único que aumentou a SB, devido aos altos teores de Ca^{+2} que foram adicionados ao solo, tanto pelo EET como pelo superfosfato simples (Tabela 56). Na safrinha, observou-se o aumento da soma de base ao final do ciclo em todos os tratamentos, indicando a adição de uma grande quantidade de bases no solo. O tratamento Controle apresentou uma média igual a encontrada pelo tratamento EfPK, devido à baixa extração de base do solo pelas plantas do tratamento Controle (Tabela 56). Na Tabela 57 é possível verificar que ao final do ciclo o tratamento EfPK foi superior aos demais tratamentos, indicando uma adição maior de bases do que os demais. Além da quantidade de bases contida no EET, a suplementação com adubação mineral principalmente em potássio contribuiu para que o tratamento EfPK alcançasse maiores valores de SB.

Na safra, a saturação de base apresentou o mesmo comportamento que a soma de bases, com o tratamento EfPK (Tabela 56) gerando resultados superiores aos encontrados nos tratamentos NPK e Ef, e sendo o único tratamento a ter a V superior ao final do ciclo. Na safrinha, os tratamentos EfPK e Controle, e os tratamentos EfPK e Ef atingiram os maiores valores de V no início e final do ciclo, respectivamente. Diferente do que foi observado na safra, ao final do ciclo da safrinha todos os tratamentos obtiveram aumento da saturação de bases. Nenhum dos tratamentos atingiu o valor considerado ideal para a cultura do milho, 70%, mas os tratamentos EfPK e Ef foram os que mais se aproximaram desse valor, 64,67 e 64,00%, respectivamente (Tabela 57).

Na safra o uso do EET não mostrou resultados significativos quanto a CTC do solo, não sendo observada diferença entre os tratamentos EfPK, NPK e Controle (Tabela 56), mas na safrinha foi possível observar o uso do EET resultando em resultados significantes no final do ciclo, com tratamento EfPK superior ao tratamento NPK (Tabela 57). Na safra, no final do ciclo foi observada a diminuição da CTC em todos os tratamentos. O menor decréscimo de CTC foi observada no tratamento EfPK (7,23%), enquanto que nos tratamentos NPK, Ef e Controle a redução foi de 13,84, 12,78 e 11,54%, respectivamente. Na safrinha foi observado o aumento da CTC do solo em todos os tratamentos no FC. O acréscimo nos tratamentos NPK, EfPK, Ef e Controle foi de 14,49, 18,74, 15,76 e 14,68%, respectivamente.

A saturação de alumínio no solo, inicialmente, foi maior nos tratamentos EfPK e Ef (safra) e nos tratamentos NPK e Ef (safrinha), mas ao final do ciclo, ocorreu redução total do tratamento EfPK e parcial do tratamento Ef na safra, e aumento dos valores do tratamento NPK e neutralização do tratamento Ef na safrinha (Tabelas 58 e 59). No tratamento NPK foi observado um aumento da saturação de alumínio devido a aplicação de ureia, elevando a acidificação do solo e o aumento de alumínio trocável.

4.8.1.2 Condutividade elétrica do solo (CE)

A condutividade elétrica (CE) do solo, medida em amostras coletadas antes da semeadura, apresenta diferença significativa a 1% entre os tratamentos para todas as camadas de solo analisadas (Tabelas 58 e 59). Nas duas safras analisadas, nas camadas de 0 a 5 cm e 40 a 60 cm, o tratamento EfPK apresentou o maior valor de CE, enquanto que nas camadas de 5 a 10 e 20 a 40 cm a maior CE foi encontrada nos tratamentos EfPK e NPK. Na camada de 10 a 20 cm, o tratamento NPK apresentou o maior valor de CE. Houve diferença significativa entre as camadas de solo analisadas.

Tabela 58 – Análise de variância e valores médios da condutividade elétrica do solo ($\mu\text{S cm}^{-1}$) realizada antes da semeadura, nas camadas de 0 – 5 cm, 5 – 10 cm, 10 – 20 cm, 20 – 40 cm e 40 – 60 cm de solo, na cultura do milho em função dos tratamentos, de setembro a dezembro de 2021 (safra).

Tratamentos	0 - 5 cm ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	5 - 10 cm ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	10 - 20 cm ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	20 - 40 cm ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	40 - 60 cm ($\mu\text{S cm}^{-1}$)
NPK	34,85 b A	34,51 a A	34,34 a A	30,15 a B	27,86 bc C
EfPK	36,92 a A	34,33 a B	30,36 b C	30,32 a C	32,66 a B
Ef	32,70 c A	31,58 b A	24,51 c B	25,61 b B	25,75 c B
Controle	29,28 d A	25,23 c B	26,32 c B	25,91 b B	28,82 b A
Tratamento	32,00**	52,68**	49,68**	20,10**	25,02**
Bloco	2,16 ^{NS}	1,25 ^{NS}	1,61 ^{NS}	1,06 ^{NS}	0,64 ^{NS}
Erro	0,23	0,52	0,30	0,49	0,79
C.V. (%)	1,43	2,30	1,87	2,50	3,09
Média geral	33,44	31,49	29,13	28,00	28,77

** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 59 – Análise de variância e valores médios da condutividade elétrica do solo ($\mu\text{S cm}^{-1}$) realizada antes da semeadura, nas camadas de 0 – 5 cm, 5 – 10 cm, 10 – 20 cm, 20 – 40 cm e 40 – 60 cm de solo, na cultura do milho em função dos tratamentos, de março a junho de 2022 (safrinha).

Tratamentos	0 - 5 cm	5 - 10 cm	10 - 20 cm	20 - 40 cm	40 - 60 cm
NPK	37,34 b A	38,37 a A	38,77 a A	35,68 a B	32,60 b C
EfPK	39,29 a A	37,98 a B	34,47 b C	35,57 a C	37,77 a B
Ef	35,32 c A	35,57 a A	28,18 d C	30,71 b B	30,67 c B
Controle	32,66 d A	29,93 b B	30,74 d B	30,38 b B	33,21 b A
Tratamento	24,22**	45,40**	63,74**	25,83**	27,14**
Bloco	0,02NS	0,48NS	0,07NS	0,014NS	0,018NS
Erro	0,15	1,76	0,23	0,10	0,023
C.V. (%)	1,06	3,74	1,46	0,96	1,44
Média geral	36,15	35,46	33,04	33,09	33,56

** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Em todas as camadas de solo, os tratamentos NPK e EfPK apresentam altos valores de CE, superiores aos encontrados no tratamento Ef, com exceção da camada de 5 a 10 cm na safrinha (Tabela 59), com o tratamento Ef sendo estatisticamente igual aos tratamentos NPK e EfPK. Esses altos valores de condutividade elétrica no solo devem-se aos anos consecutivos de produção de milho com utilização do fertilizante mineral cloreto de potássio, que possui sais em sua composição. Nesses tratamentos houve um efeito residual no solo antes da semeadura do milho (Tabela 58 e 59).

Percebe-se que entre as camadas de solo houve um comportamento diferente entre os tratamentos NPK e EfPK. Nas duas safras analisadas, percebe-se que antes de iniciar o plantio do milho os maiores níveis de CE no tratamento EfPK ocorreu na camada de 0 a 5 cm, e a partir de 5 a 10 cm ocorreu o decréscimo desses valores (Tabela 58 e 59). Isso indica que para o tratamento NPK, as camadas de 0 a 5, 5 a 10 e 10 a 20 cm tiveram valores de CE iguais, o que pode ser explicado pelo fato desse tratamento receber ao longo dos anos o cloreto de potássio, com uma dose maior que

a utilizada no tratamento EfPK, pois o efluente também possui o potássio em sua constituição.

Na Tabelas 60 e 61, a condutividade elétrica do solo, analisada um dia após encerrar a aplicação do EET, apresentou diferença significativa a 1% entre os tratamentos para todas as camadas analisadas. Na camada de 0 a 5 cm, na safra e safrinha o comportamento foi semelhante, com os tratamentos EfPK e Ef obtendo os maiores valores de CE. Na camada de 5 a 10 cm, os tratamentos NPK, EfPK e Ef não diferiram entre si e foram superiores ao tratamento Controle, e os tratamentos NPK e EfPK foram superiores aos demais tratamentos. Os tratamentos NPK e EfPK também foram superiores aos demais tratamentos nas camadas de 10 a 20, 20 a 40 e 40 a 60 cm, nas duas safras analisadas. Entre as camadas de solo foi verificada a diferença significativa.

Tabela 60 – Análise de variância e valores médios da condutividade elétrica do solo ($\mu\text{S cm}^{-1}$) realizada um dia após o termino da aplicação do EET, nas camadas de 0 – 5 cm, 5 – 10 cm, 10 – 20 cm, 20 – 40 cm e 40 – 60 cm de solo, na cultura do milho em função dos tratamentos, de setembro a dezembro de 2021 (safra).

Tratamentos	0 - 5 cm ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	5 - 10 cm ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	10 - 20 cm ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	20 - 40 cm ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	40 - 60 cm ($\mu\text{S cm}^{-1}$)
NPK	35,92 b B	35,70 a B	35,49 ab B	38,52 a A	39,06 a A
EfPK	40,26 a A	35,43 a C	37,11 a BC	38,58 a AB	39,13 a A
Ef	41,00 a A	35,60 a B	34,18 b B	34,52 b B	30,87 b C
Controle	27,89 c C	29,99 b AB	27,47 c C	30,30 c A	28,25 b BC
Tratamento	108,69**	23,45**	53,82**	46,61**	94,41**
Bloco	0,77 ^{NS}	0,65 ^{NS}	0,18 ^{NS}	0,18 ^{NS}	0,54 ^{NS}
Erro	0,44	0,60	0,63	0,66	0,93
C.V. (%)	1,84	2,27	2,37	2,28	2,82
Média geral	36,27	34,18	33,56	35,48	34,33

** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 61 – Análise de variância e valores médios da condutividade elétrica do solo ($\mu\text{S cm}^{-1}$) realizada um dia após o termino da aplicação do EET, nas camadas de 0 – 5 cm, 5 – 10 cm, 10 – 20 cm, 20 – 40 cm e 40 – 60 cm de solo, na cultura do milho em função dos tratamentos, de março a junho de 2022 (safrinha).

Tratamentos	0 - 5 cm	5 - 10 cm	10 - 20 cm	20 - 40 cm	40 - 60 cm
NPK	38,67 b C	39,03 a C	37,10 ab C	43,03 a B	44,60 a A
EfPK	42,60 a A	38,30 ab C	39,83 a B	42,90 a A	43,47 a A
Ef	42,97 a A	37,57 b C	37,53 b C	39,73 b B	34,67 b D
Controle	30,67 c CD	31,60 c BC	30,23 c D	35,40 c A	32,53 c B
Tratamento	97,95**	34,74**	58,09**	38,56**	111,77**
Bloco	0,24 ^{NS}	0,03 ^{NS}	0,48 ^{NS}	0,20 ^{NS}	0,01 ^{NS}
Erro	0,08	0,10	0,35	0,20	0,37
C.V. (%)	0,73	0,84	1,61	1,10	1,56
Média geral	38,73	36,63	36,68	40,27	38,82

** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Na camada de solo de 0 - 5 cm, após o término da aplicação do EET, na safra e safrinha os tratamentos EfPK e Ef obtiveram os maiores valores de CE, 40,26 e 41,00 $\mu\text{S cm}^{-1}$ e 42,60 e 42,97 $\mu\text{S cm}^{-1}$ respectivamente, gerando um maior potencial de salinização do solo na camada mais superficial do solo (Tabela 60 e 61).

Na safra e safrinha, o comportamento da condutividade elétrica do solo foi semelhante, a partir da camada de 5 a 10 cm até a de 40 a 60 cm. A CE do tratamento NPK é igual ao tratamento EfPK, indicando que a adubação mineral com adubos ricos em sais tem um potencial de salinização do solo na camada de 5 a 60 cm de solo, similar a adubação realizada no tratamento EfPK (Tabela 60 e 61). A aplicação do cloreto de potássio a uma profundidade 5 cm durante o plantio acaba não indicando valores de CE altos para a camada de 0 a 5 cm e favorece a percolação dos sais no solo, aumentando a salinização na profundidade de 5 a 60 cm.

Como pode ser visto no tratamento Ef, o uso somente do EET é menos nocivo ao solo na camada de 5 a 60 cm, apresentando menores valores de CE em relação aos observados nos tratamentos NPK e EfPK, nos quais foram aplicados o cloreto de

potássio. Esse resultado indica que o uso do EET, nas condições do estudo, não é a maior problemática quanto ao potencial de salinização do solo.

Na safra, no tratamento NPK, ocorreu um maior valor de CE nas camadas de 20 a 40 cm e 40 a 60 cm, e na safrinha o maior valor do tratamento NPK foi alcançado na camada de 40 a 60 cm. No tratamento EfPK, foi observado o mesmo comportamento na safra e na safrinha, com as camadas de 0 a 5, 20 a 40 e 40 a 60 cm apresentando valores de CE superiores as demais profundidades (Tabela 60 e 61). No tratamento Ef, o maior valor de CE foi observado na camada de 0 - 5 cm, nas duas safras. Isso indica que os altos valores de CE observados nas camadas de 0 - 5 cm nos tratamentos EfPK e Ef são decorrentes da presença de sódio no EET, enquanto que os altos valores de CE encontrados nas camadas de 20 a 40 e 40 a 60 cm são oriundos a lixiviação do potássio para camadas mais profundas do solo, por se tratar de um íon passível de movimento por fluxo de massa no perfil do solo.

A condutividade elétrica do solo realizada trinta dias após o encerramento da aplicação do EET (Tabela 62 e 63) apresentou diferença significativa a 1% entre os tratamentos para todas as camadas analisadas, na safra e na safrinha. Nas camadas de 5 a 10, 10 a 20 e 40 a 60 cm, o tratamento NPK apresentou valores de CE maiores aos demais tratamentos. Nas camadas de 0 a 5 e 20 a 40 cm, a CE do solo encontrada nos tratamentos NPK e EfPK não diferiram entre si e foram superiores aos tratamentos Ef e Controle. Houve diferença significativa entre as camadas para todos os tratamentos.

Tabela 62 – Análise de variância e valores médios da condutividade elétrica do solo ($\mu\text{S cm}^{-1}$) realizada trinta dias após o termino da aplicação do EET, nas camadas de 0 – 5 cm, 5 – 10 cm, 10 – 20 cm, 20 – 40 cm e 40 – 60 cm de solo, na cultura do milho em função dos tratamentos, de setembro a dezembro de 2021 (safra).

Tratamentos	0 - 5 cm ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	5 - 10 cm ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	10 - 20 cm ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	20 - 40 cm ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	40 - 60 cm ($\mu\text{S cm}^{-1}$)
NPK	35,65 ab B	37,64 a B	40,06 a A	42,06 a A	44,05 a A
EfPK	39,29 a B	33,73 b C	37,36 b B	42,02 a A	33,36 b C
Ef	35,97 b A	31,18 bc B	30,08 b B	34,24 b A	31,77 b B
Controle	27,64 c BC	29,22 c AB	27,83 b ABC	29,81 c A	26,74 c C
Tratamento	80,41**	39,58**	101,30**	110,09**	159,08**
Bloco	0,62 ^{NS}	0,40 ^{NS}	0,30 ^{NS}	0,38 ^{NS}	0,98 ^{NS}
Erro	1,08	0,88	0,76	0,73	0,61
C.V. (%)	2,96	2,84	2,57	2,31	2,30
Média geral	35,14	32,94	33,83	37,03	33,98

** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 63 – Análise de variância e valores médios da condutividade elétrica do solo ($\mu\text{S cm}^{-1}$) realizada trinta dias após o termino da aplicação do EET, nas camadas de 0 – 5 cm, 5 – 10 cm, 10 – 20 cm, 20 – 40 cm e 40 – 60 cm de solo, na cultura do milho em função dos tratamentos, de março a junho de 2022 (safrinha).

Tratamentos	0 - 5 cm	5 - 10 cm	10 - 20 cm	20 - 40 cm	40 - 60 cm
NPK	36,80 ab E	38,23 a D	41,27 a C	43,40 a B	45,03 a A
EfPK	40,13 a B	34,97 b D	37,83 b C	42,93 a A	34,10 b D
Ef	36,17 b A	32,77 c B	31,17 c C	34,13 b A	32,03 c B
Controle	29,17 c B	30,63 d A	27,00 d C	31,13 c A	27,53 D C
Tratamento	63,70**	31,62**	124,13**	115,56**	165,61**
Bloco	0,19NS	0,12NS	0,25NS	0,07NS	0,37NS
Erro	0,15	0,13	0,33	0,34	0,14
C.V. (%)	1,11	1,07	1,68	1,54	1,08
Média geral	35,57	34,15	34,32	37,90	34,68

** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A partir de 30 dias após encerrar a aplicação do efluente, observou-se que nos dois ciclos analisados, o tratamento NPK possui os maiores valores de CE, com exceção das camadas de 0 - 5 e 20 - 40 cm, onde os tratamentos EfPK e NPK foram estatisticamente iguais (Tabela 62 e 63). Os valores obtidos pelo tratamento Ef na safra e na safrinha foram menores do que os tratamentos NPK e EfPK. Somente o uso do efluente não foi capaz de produzir valores de CE em todas as camadas iguais ao do tratamento NPK.

Trinta dias após encerrar a aplicação do EET, os maiores valores de condutividade elétrica foram encontrados na camada de 20 - 40 cm de solo (Tabela 62 e 63). O tratamento NPK na safra (camadas 10 - 20 e 40 - 60 cm) e safrinha (camada 40 a 60 cm) e o tratamento Ef na safra e safrinha (camada 0 - 5 cm) também tiveram altos valores de CE. No tratamento EfPK o maior valor de CE foi encontrado na camada de 0 - 5 cm um dia após aplicação do EET, mas não foi mais observado aos trinta dias após aplicação do EET (Tabela 62 e 63). Isso é devido à lixiviação dos sais das camadas superficiais para as mais profundas.

A condutividade elétrica do solo analisada aos 60 dias após encerrar a aplicação do EET (Tabela 64 e 65), apresentou diferença significativa a 1% entre os tratamentos para todas as camadas, e não foi verificado diferença entre os blocos. Houve diferença significativa entre as camadas para todos os tratamentos.

Tabela 64 – Análise de variância e valores médios da condutividade elétrica do solo ($\mu\text{S cm}^{-1}$) realizada sessenta dias após o termino da aplicação do EET, nas camadas de 0 – 5 cm, 5 – 10 cm, 10 – 20 cm, 20 – 40 cm e 40 – 60 cm de solo, na cultura do milho em função dos tratamentos, de setembro a dezembro de 2021 (safra).

Tratamentos	0 - 5 cm ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	5 - 10 cm ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	10 - 20 cm ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	20 - 40 cm ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	40 - 60 cm ($\mu\text{S cm}^{-1}$)
NPK	35,51 a BC	35,87 a B	39,62 a A	39,92 a A	34,98 a C
EfPK	36,10 a B	31,02 b C	33,62 b B	39,89 a A	31,52 b C
Ef	32,93 c A	29,11 b B	27,11 c C	34,02 c A	29,08 bc B
Controle	26,96 d C	29,28 b AB	28,13 c ABC	29,65 d A	27,47 c BC
Tratamento	52,31**	29,85**	99,65**	74,73**	41,26**
Bloco	1,35 ^{NS}	0,90 ^{NS}	0,21 ^{NS}	0,73 ^{NS}	0,01 ^{NS}
Erro	0,24	0,72	0,83	0,60	1,06
C.V. (%)	1,50	2,71	2,84	2,16	3,32
Média geral	32,87	31,33	32,13	35,87	31,01

** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 65 – Análise de variância e valores médios condutividade elétrica do solo ($\mu\text{S cm}^{-1}$) realizada sessenta dias após o termino da aplicação do EET, nas camadas de 0 – 5 cm, 5 – 10 cm, 10 – 20 cm, 20 – 40 cm e 40 – 60 cm de solo, na cultura do milho em função dos tratamentos, de março a junho de 2022 (safrinha).

Tratamentos	0 - 5 cm	5 - 10 cm	10 - 20 cm	20 - 40 cm	40 - 60 cm
NPK	29,43 b C	32,90 a B	35,53 a A	35,87 a A	30,27 a C
EfPK	31,13 a A	26,50 b C	28,37 b B	30,37 b A	25,27 b D
Ef	30,53 ab A	24,27 c C	22,83 d D	25,37 c B	23,50 c CD
Controle	24,70 c A	24,47 c AB	23,53 c B	24,20 c AB	19,37 d C
Tratamento	25,57**	48,94**	102,78**	85,25**	61,15**
Bloco	0,01NS	0,18NS	0,09NS	0,38NS	0,20NS
Erro	0,28	0,17	0,05	0,20	0,06
C.V. (%)	1,83	1,53	0,82	1,54	1,02
Média geral	28,95	27,03	27,57	28,95	24,60

** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Na safra, foi observado o mesmo comportamento encontrado aos 30 dias após o término desta prática. O tratamento NPK produziu os maiores valores de CE nas camadas de 5 - 10, 10 - 20 e 20 - 40 cm (Tabela 64). Na camada de 0 - 5 e 20 - 40 cm, os tratamentos NPK e EfPK foram estatisticamente iguais. A safrinha obteve resultados semelhantes aos encontrados na safra e aos resultados obtidos na análise de 30 dias após o termino da aplicação do EET, com exceção da camada de 20 a 40 cm, com o tratamento NPK sendo superior aos demais tratamentos (Tabela 65). Na safra, a camada de 20 - 40 cm foi a que acumulou maiores níveis de sais em todos os tratamentos, produzindo maiores valores de condutividade elétrica. Na safrinha as maiores concentrações de sais ocorreram na camada de 0 a 5 cm para os tratamentos EfPK, Ef e Controle e na camada de 20 a 40 cm para os tratamentos NPK, EfPK e Controle.

Durante as análises de condutividade elétrica realizada durante as duas safras, observou-se baixa variação de CE no tratamento Controle, que só recebeu água proveniente da irrigação e da chuva, indicando que a água não foi um fator determinante para adicionar sais no solo.

A Tabela 66 mostra que os maiores valores de CE em todas as camadas de solo aconteceram um dia após encerrar a adubação mineral de cobertura e aplicação do EET, e permaneceu alto na maior parte dos tratamentos até os 30 dias após o término da adubação de cobertura. A Tabela 67 indica que os maiores valores de condutividade elétrica do solo ocorreram um dia após encerrar a aplicação de EET e aos 30 dias após aplicação do EET foi notado queda dos valores de CE, com exceção do tratamento NPK nas camadas de 5 a 10, 10 a 20, 20 a 40 e 40 a 60 cm, e no tratamento EfPK na camada de 20 a 40 cm. Na safra, na análise realizada aos 60 dias após o fim desta prática, foi verificado um decréscimo dos valores de CE em quase todos os tratamentos, com exceção dos tratamentos NPK (camadas 5 - 10, 10 - 20 e 20 - 40 cm), Ef (camada de 20 - 40 cm) e Controle (camadas 5 - 10, 10 - 20 e 40 - 60 cm). Na safrinha, foi observado um decréscimo gradual dos níveis de CE no solo da análise realizada de 1 a 60 dias após aplicação do EET, com exceção apenas do tratamento na camada de 0 a 5 cm, sendo observado um aumento do valor de CE aos 60 dias. Os valores de CE encontrados no tratamento NPK durante a safra, em três das cinco camadas analisadas aos 60 dias indicam que no longo prazo o fertilizante mineral possui um potencial de salinização do solo superior ao EET da fossa séptica biodigestora.

Tabela 66 – Médias da variável condutividade elétrica do solo ($\mu\text{S cm}^{-1}$) por camadas em função das análises realizadas antes da semeadura, um, trinta e sessenta dias após aplicação do EET, na cultura do milho em função dos tratamentos, de setembro a dezembro de 2021 (safra).

Tratamentos	Antes da semeadura	Um dia após encerrar a adubação de cobertura	Trinta dias após encerrar a adubação de cobertura	Sessenta dias após encerrar a adubação de cobertura
Profundidade: 0 - 5 cm ($\mu\text{S cm}^{-1}$)				
NPK	34,85 C	35,92 BC	37,65 A	35,51 B
EfPK	36,92 B	40,26 A	39,29 A	36,10 B
Ef	32,69 C	41,00 A	35,98 B	32,93 C
Controle	29,27 A	27,89 AB	27,64 AB	26,96 B
Profundidade: 5 - 10 cm ($\mu\text{S cm}^{-1}$)				
NPK	34,51 B	35,70 B	37,63 A	35,87 AB
EfPK	34,33 AB	35,43 A	33,73 B	31,02 C
Ef	31,57 B	35,60 A	31,18 B	29,11 C
Controle	25,53 B	29,99 A	29,22 A	29,29 A
Profundidade: 10 - 20 cm ($\mu\text{S cm}^{-1}$)				
NPK	34,34 B	35,48 B	40,06 A	39,62 A
EfPK	30,35 C	37,11 A	37,37 A	33,66 B
Ef	25,51 C	34,18 A	30,08 B	27,11 C
Controle	26,32 B	27,47 AB	27,83 AB	28,13 A
Profundidade: 20 - 40 cm ($\mu\text{S cm}^{-1}$)				
NPK	30,15 C	38,52 B	42,06 A	39,92 A
EfPK	30,32 C	38,58 B	42,02 A	39,89 B
Ef	25,61 B	34,52 A	34,24 A	34,02 A
Controle	25,91 B	30,30 B	29,81 B	29,65 B
Profundidade: 40 - 60 cm ($\mu\text{S cm}^{-1}$)				
NPK	27,87 D	39,06 B	44,05 A	35,98 C
EfPK	32,66 B	39,13 A	33,36 B	31,52 B
Ef	25,75 C	30,87 AB	31,78 A	29,08 B
Controle	28,82 A	28,25 AB	26,74 B	27,47 AB

Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 67 – Médias da variável condutividade elétrica do solo ($\mu\text{S cm}^{-1}$) por camadas em função das análises realizadas antes da semeadura, um, trinta e sessenta dias após aplicação do EET, na cultura do milho em função dos tratamentos, de setembro a dezembro de 2021 (safrinha).

Tratamentos	Antes da semeadura	Um dia após encerrar a adubação de cobertura	Trinta dias após encerrar a adubação de cobertura	Sessenta dias após encerrar a adubação de cobertura
Profundidade: 0 - 5 cm				
NPK	37,34 B	38,68 A	36,80 B	29,42 C
EfPK	39,30 B	42,63 A	40,13 B	31,12 C
Ef	35,20 B	42,99 A	31,17 B	30,53 C
Controle	32,66 A	30,66 B	29,16 C	24,70 D
Profundidade: 5 - 10 cm				
NPK	38,38 A	39,04 A	38,25 A	32,88 B
EfPK	37,98 A	38,31 A	34,96 B	26,51 C
Ef	35,57 B	37,57 A	32,78 C	27,28 A
Controle	29,93 B	31,60 A	30,61 AB	24,46 C
Profundidade: 10 - 20 cm				
NPK	38,77 B	39,10 B	41,27 A	35,51 C
EfPK	34,47 C	39,80 A	37,80 B	28,39 D
Ef	28,18 C	37,51 A	31,19 B	22,84 D
Controle	30,74 A	30,24 A	27,01 B	23,53 C
Profundidade: 20 - 40 cm				
NPK	35,68 B	43,01 A	43,38 A	35,89 B
EfPK	35,57 B	42,90 A	42,93 A	30,38 C
Ef	30,71 C	39,71 A	34,14 B	25,37 D
Controle	30,38 B	35,38 A	31,12 B	24,20 C
Profundidade: 40 - 60 cm				
NPK	32,60 B	44,60 A	45,00 A	30,27 C
EfPK	37,77 B	43,43 A	34,09 C	28,27 D
Ef	30,67 C	34,67 A	32,04 B	23,48 D
Controle	33,21 A	32,54 A	27,54 B	19,35 C

Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

4.8.1.3 Potencial hidrogeniônico do solo (pH)

O potencial hidrogeniônico em H₂O do solo medido, na safra, antes da semeadura do milho (Tabela 68) indica que houve diferença significativa a 1% entre os tratamentos para todas as camadas de solo, com exceção de 20 - 40 e 40 - 60 cm. Na safrinha foi observada a diferença significativa a 1%, 5% e não significativa, respectivamente, nas camadas de 0 a 5, 5 a 10 e 10 a 20 cm, 20 a 40 cm e 40 a 60 cm (Tabela 69). Na safra, foi observado diferença significativa entre as camadas apenas para os tratamentos EfPK e Ef, e na safrinha foi verificado diferença estatística entre as camadas em todos os tratamentos.

Tabela 68 – Análise de variância e valores médios do potencial hidrogeniônico do solo (pH) em H₂O, realizada antes da semeadura, nas camadas de 0 – 5 cm, 5 – 10 cm, 10 – 20 cm, 20 – 40 cm e 40 – 60 cm de solo, na cultura do milho em função dos tratamentos, de setembro a dezembro de 2021 (safra).

Tratamentos	0 – 5 Cm	5 – 10 Cm	10 – 20 cm	20 – 40 cm	40 – 60 cm
NPK	6,0 b A	6,0 b A	6,0 b A	6,1 a A	6,0 a A
EfPK	6,1 ab B	6,2 a AB	6,3 a A	6,2 a AB	6,2 a AB
Ef	5,8 b B	6,0 b A	6,0 b A	6,1 a A	6,1 a A
Controle	6,2 a A	6,2 a A	6,2 a A	6,1 a A	6,1 a A
Tratamento	0,09**	0,04**	0,06**	0,003 ^{NS}	0,03 ^{NS}
Bloco	0,01 ^{NS}	0,02 ^{NS}	0,01 ^{NS}	0,01 ^{NS}	0,003 ^{NS}
Erro	0,004	0,002	0,003	0,004	0,01
C.V. (%)	1,12	0,81	0,92	1,03	1,48
Média geral	6,0	6,1	6,1	6,1	6,1

** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 69 – Análise de variância e valores médios do potencial hidrogeniônico do solo (pH) em H₂O, realizada antes da semeadura, nas camadas de 0 – 5 cm, 5 – 10 cm, 10 – 20 cm, 20 – 40 cm e 40 – 60 cm de solo, na cultura do milho em função dos tratamentos, de março a junho de 2022 (safra).

Tratamentos	0 - 5 cm	5 - 10 cm	10 - 20 cm	20 - 40 cm	40 - 60 cm
NPK	5,9 ab AB	5,8 c B	5,9 b AB	6,0 a A	5,9 b AB
EfPK	6,0 a B	6,1 a B	6,2 a A	6,0 a B	6,1 a B
Ef	5,7 b B	5,9 bc A	6,0 ab A	6,0 a A	6,0 ab A
Controle	6,1 a AB	6,0 ab B	6,2 a A	6,1 a B	6,0 ab B
Tratamento	0,07**	0,04**	0,08**	0,002 ^{NS}	0,02*
Bloco	0,003 ^{NS}	0,001 ^{NS}	0,002 ^{NS}	0,006 ^{NS}	0,007 ^{NS}
Erro	0,07	0,003	0,006	0,001	0,004
C.V. (%)	1,38	0,93	1,25	0,62	1,08
Média geral	5,9	6,0	6,1	6,0	6,0

** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Nas camadas de 0 - 5, 5 - 10 e 10 - 20 cm, os tratamentos EfPK e Controle apresentaram valores de pH superiores aos encontrados nos tratamentos NPK e Ef, com exceção da camada 0 a 5 cm, onde os tratamentos NPK e EfPK foram estatisticamente iguais e superiores aos demais na safrinha (Tabela 68 e 69). Isso indica que as adubações minerais (tratamento NPK) e a fertirrigação do efluente (tratamento Ef) realizadas na mesma área em experimentos anteriores acidificaram mais o solo que a fertirrigação do efluente suplementada com fósforo e potássio minerais realizada pelo tratamento EfPK.

Na avaliação de pH do solo, os tratamentos EfPK e Ef, os quais receberam EET, apresentaram comportamento diferente dos tratamentos NPK e Controle, que receberam fertilizante mineral e água. O tratamento Ef apresentou a maior acidificação na camada de 0 - 5 cm, sendo observado um aumento gradual do pH a partir da camada de 5 - 10 cm. No tratamento EfPK as camadas de 5 - 10, 20 - 40 e 40 - 60 foram estatisticamente iguais à de 0 - 5, com a camada de 10 - 20 cm apresentando o maior valor, numericamente, nesse tratamento (Tabela 68).

Na Tabela 69, observa-se que os tratamentos EfPK e Ef apresentaram comportamentos semelhantes, com o aumento gradual do pH do solo da camada 0 a 5 cm até 10 a 20 cm e da camada 0 a 5 cm até 5 a 10 cm, respectivamente. No tratamento NPK foi observado acidificação do solo na camada de 5 a 10 cm em relação a de 0 a 5 cm.

A análise do pH do solo realizada um dia após o término da aplicação do EET apresentou diferença significativa a 1 e 5% entre os tratamentos (Tabelas 70 e 71), para as camadas de 10 – 20, 20 - 40 cm (safra), 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20 e 40 a 60 cm (safrinha), e de 5 - 10 e 40 - 60 cm (safra), 40 a 60 cm (safrinha), respectivamente. A camada de 0 - 5 cm não apresentou diferença significativa (Tabela 70). Houve diferença significativa entre as camadas na safra e safrinha, para os tratamentos NPK, EfPK e Controle, e os tratamentos NPK, EfPK e Ef, respectivamente.

Tabela 70 – Análise de variância e valores médios do potencial hidrogeniônico do solo (pH) em H₂O realizada um dia após o término da aplicação do EET, nas camadas de 0 a 5 cm, 5 a 10 cm, 10 a 20 cm, 20 a 40 cm e 40 a 60 cm de solo, na cultura do milho em função dos tratamentos, de setembro a dezembro de 2021 (safra).

Tratamentos	0 – 5 cm	5 – 10 cm	10 – 20 cm	20 – 40 cm	40 – 60 cm
NPK	5,8 a A	5,8 ab A	5,6 b B	5,6 b B	5,6 b B
EfPK	5,9 a AB	5,9 a AB	6,0 a A	6,0 a A	5,8 a B
Ef	5,7 a A	5,8 ab A	5,7 ab A	5,6 b A	5,7 ab A
Controle	5,8 a A	5,7 b AB	5,6 b B	5,6 b B	5,6 ab B
Tratamento	0,01 ^{NS}	0,02*	0,09**	0,10**	0,04*
Bloco	0,004 ^{NS}	0,004 ^{NS}	0,01 ^{NS}	0,01 ^{NS}	0,01 ^{NS}
Erro	0,007	0,003	0,01	0,003	0,006
C.V. (%)	1,41	0,96	1,58	1,01	1,36
Média geral	5,8	5,8	5,8	5,7	5,7

** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 71 – Análise de variância e valores médios do potencial hidrogeniônico do solo (pH) em H₂O realizada um dia após o término da aplicação do EET, nas camadas de 0 – 5 cm, 5 – 10 cm, 10 – 20 cm, 20 – 40 cm e 40 – 60 cm de solo, na cultura do milho em função dos tratamentos, de março a junho de 2022 (safrinha).

Tratamentos	0 - 5 cm	5 - 10 cm	10 - 20 cm	20 - 40 cm	40 - 60 cm
NPK	5,8 c A	5,8 c A	5,8 b A	5,7 b B	5,7 c B
EfPK	6,4 a A	6,4 a AB	6,4 a A	6,2 a BC	6,0 a C
Ef	6,2 b A	6,2 b A	6,1 b AB	6,1 a AB	5,9 ab B
Controle	5,7 c A	5,7 c A	5,6 a A	5,7 b A	5,7 bc A
Tratamento	0,33**	0,27**	0,39**	0,22**	0,09*
Bloco	0,003 ^{NS}	0,001 ^{NS}	0,003 ^{NS}	0,003 ^{NS}	1,38x10 ⁻⁷ ^{NS}
Erro	0,003	0,003	0,012	0,006	0,01
C.V. (%)	0,83	0,92	1,85	1,26	1,8
Média geral	6,0	6,0	6,0	5,9	5,9

* e ** significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Logo após encerrar as aplicações de EET e adubação mineral, observa-se que nas camadas de 0 - 5 e 5 - 10 cm, os tratamentos NPK, EfPK e Ef obtiveram valores de pH estatisticamente iguais (Tabela 70). A partir da camada de 10 - 20 cm, ocorreu no tratamento NPK uma maior acidificação do solo comparado ao tratamento EfPK. Na Tabela 48, em todas as camadas o tratamento EfPK apresentou valores de pH superiores aos tratamentos NPK e Ef; a exceção foi as camadas 20 a 40 e 40 a 60 cm, onde o tratamento EF se igualou ao tratamento EfPK (Tabela 71).

Após encerrar as adubações de cobertura em todas as camadas, o tratamento NPK apresentou uma maior acidificação do solo em relação aos tratamentos EfPK e EF, os quais receberam EET. Apenas na camada de 10 a 20 cm os tratamentos NPK e Ef foram estatisticamente iguais, mas inferiores ao tratamento EfPK (Tabela 71).

Ao longo do perfil do solo, percebe-se que a ureia como fonte de nitrogênio aplicada no tratamento NPK, causou uma maior acidificação do solo a partir da camada de 10 cm (Tabela 70) e a partir de 20 cm (Tabela 71). Onde a fonte de N orgânico foi utilizada, só foi observado a acidificação a partir de 40 cm, como nos

tratamentos EfPK e Ef (Tabela 70) e na camada de 20 e 40 cm para os tratamentos EfPK e Ef (Tabela 71). O valor do pH não se alterou nas diferentes camadas de solo.

Após 30 dias de término da aplicação do EET, o pH do solo apresentou diferença significativa a 1% entre os tratamentos para todas as camadas nas duas safras realizadas, não sendo verificado diferença significativa entre blocos (Tabela 72 e 73). Somente foi verificada diferença significativa entre as camadas para o tratamento Controle (Tabela 72) e diferença significativa entre as camadas de solo para todos os tratamentos (Tabela 73).

Tabela 72 – Análise de variância e valores médios do potencial hidrogeniônico do solo (pH) realizada aos trinta dias após o término da aplicação do EET, nas camadas de 0 – 5 cm, 5 – 10 cm, 10 – 20 cm, 20 – 40 cm e 40 – 60 cm de solo, na cultura do milho em função dos tratamentos, de setembro a dezembro de 2021 (safra).

Tratamentos	0 - 5 cm	5 - 10 cm	10 - 20 cm	20 - 40 cm	40 - 60 cm
NPK	5,7 b A	5,7 b A	5,7 b A	5,6 c A	5,6 c A
EfPK	6,2 a A	6,3 a A	6,2 a A	6,1 b A	6,2 a A
Ef	6,3 a A	6,3 a A	6,3 a A	6,4 a A	6,4 a A
Controle	6,3 a AB	6,4 a A	6,2 a BC	6,0 b CD	5,9 b D
Tratamento	0,23**	0,27**	0,22**	0,33**	0,39**
Bloco	0,001 ^{NS}	0,003 ^{NS}	0,004 ^{NS}	0,012 ^{NS}	0,01 ^{NS}
Erro	0,001	0,01	0,01	0,01	0,01
C.V. (%)	0,51	1,69	1,32	1,21	1,50
Média geral	6,1	6,2	6,1	6,0	6,0

** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 73 – Análise de variância e valores médios do potencial hidrogeniônico do solo (pH) realizada aos trinta dias após o término da aplicação do EET, nas camadas de 0 – 5 cm, 5 – 10 cm, 10 – 20 cm, 20 – 40 cm e 40 – 60 cm de solo, na cultura do milho em função dos tratamentos, de março a junho de 2022 (safrinha).

Tratamentos	0 - 5 cm	5 - 10 cm	10 - 20 cm	20 - 40 cm	40 - 60 cm
NPK	6,5 b A	6,4 b AB	6,3 b B	6,0 b C	5,9 b C
EfPK	6,7 a A	6,7 a A	6,7 a A	6,3 a B	6,1 ab C
Ef	6,4 b BC	6,5 ab AB	6,6 a A	6,1 b CD	6,2 a D
Controle	6,3 b A	6,4 b A	6,5 ab A	6,3 a A	6,1 ab B
Tratamento	0,07**	0,05**	0,09**	0,08**	0,05**
Bloco	0,001NS	0,003 ^{NS}	0,003 ^{NS}	0,02 ^{NS}	0,01 ^{NS}
Erro	0,004	0,006	0,009	0,004	0,01
C.V. (%)	1,00	1,18	1,47	1,04	1,72
Média geral	6,5	6,5	6,5	6,2	6,1

** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Um mês após a finalização da adubação mineral e com o EET, os tratamentos EfPK, Ef e Controle apresentaram os maiores valores de pH nas camadas 0 - 5, 5 - 10 e 10 – 20 cm, com todos os tratamentos com pH acima de 6,0 e dentro do intervalo considerado como ideal para o cultivo de milho, ou seja, 6,0 a 7,0 de pH em H₂O. O tratamento NPK apresentou os menores valores de pH, todos abaixo de 6,0 em todas as camadas (Tabela 72).

Na Tabela 73, o tratamento EfPK apresentou valores de pH superiores em todas as camadas ao do tratamento NPK e Ef, com exceção das camadas de 5 a 10, 10 a 20 e 40 a 60 cm, com o tratamento Ef estatisticamente igual ao tratamento EfPK. O tratamento NPK, na safrinha, apresentou resultados de pH superiores aos encontrados na safra, com apenas a camadas de 40 a 60 cm ficando com pH abaixo de 6,0.

Em comparação com os valores de pH um dia após o término da aplicação de EET, os valores aos 30 dias após o fim desta prática (Tabela 72) mostra que ocorreu uma leve redução do pH do solo no tratamento NPK nas camadas de 0 - 5 e 5 - 10 cm, enquanto que os tratamentos EfPK e Ef apresentaram um aumento do pH do solo

para todas as camadas. Na safrinha, ao comparar os valores de pH do solo nos tratamentos NPK, EfPK e Ef aos 30 dias após encerrar a aplicação do EET, com os de um dia após aplicação do EET, verifica-se que ocorreu aumento do pH do solo nos três tratamentos citados em todas as camadas (Tabela 73).

Durante a safrinha foi observado uma rápida queda do pH do solo no tratamento NPK logo após encerrar a adubação de cobertura. O fornecimento de ureia se mostrou prejudicial ao solo devido a sua acidificação, pois o processo de nitrificação da ureia no solo acarreta a produção de prótons. Após encerrar essa adubação, com 30 dias é possível ver a melhora do pH do solo, devido a não produção de novos prótons e a neutralização dos que foram produzidos durante a adubação de cobertura.

A análise de pH do solo realizada aos 60 dias após a aplicação do EET apresentou diferença significativa a 1% entre os tratamentos, para todas as camadas analisadas (Tabela 74 e 75). Houve diferença significativa entre as camadas para os tratamentos EfPK e Controle (Tabela 74) e os tratamentos NPK, EfPK e Controle (Tabela 75).

Tabela 74 – Análise de variância e valores médios do potencial hidrogeniônico do solo (pH) realizada aos sessenta dias após o término da aplicação do EET, nas camadas de 0 – 5 cm, 5 – 10 cm, 10 – 20 cm, 20 – 40 cm e 40 – 60 cm de solo, na cultura do milho em função dos tratamentos, de setembro a dezembro de 2021 (safra).

Tratamentos	0 - 5 cm	5 - 10 cm	10 - 20 cm	20 - 40 cm	40 - 60 cm
NPK	5,5 b A	5,6 b A	5,6 b A	5,5 c A	5,5 c A
EfPK	6,3 a A	6,3 a A	6,1 a B	6,0 b B	6,0 ab B
Ef	6,3 a A	6,2 a A	6,2 a A	6,3 a A	6,1 a A
Controle	6,3 a A	6,3 ab A	6,1 a AB	6,0 b BC	5,8 b C
Tratamento	0,43**	0,33**	0,21**	0,36**	0,29**
Bloco	0,005 ^{NS}	0,003 ^{NS}	0,01 ^{NS}	0,002 ^{NS}	0,004 ^{NS}
Erro	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
C.V. (%)	1,48	1,34	1,84	1,41	1,86
Média geral	6,1	6,1	6,0	6,0	5,9

** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 75 – Análise de variância e valores médios do potencial hidrogeniônico do solo (pH) realizada aos sessenta dias após o término da aplicação do EET, nas camadas de 0 – 5 cm, 5 – 10 cm, 10 – 20 cm, 20 – 40 cm e 40 – 60 cm de solo, na cultura do milho em função dos tratamentos, de março a junho de 2022 (safrinha).

Tratamentos	0 - 5 cm	5 - 10 cm	10 - 20 cm	20 - 40 cm	40 - 60 cm
NPK	6,1 b A	6,0 b AB	6,0 b AB	5,9 c B	5,8 ab B
EfPK	6,8 a A	6,9 a A	6,3 a B	6,1 ab C	6,1 a C
Ef	6,2 b A	6,1 b A	6,1 ab A	6,2 a A	6,0 a A
Controle	6,2 b A	6,2 b A	6,0 b AB	5,9 bc BC	5,7 b C
Tratamento	0,29**	0,56**	0,050**	0,06**	0,08**
Bloco	0,001 ^{NS}	0,01 ^{NS}	0,006 ^{NS}	0,008 ^{NS}	0,01 ^{NS}
Erro	0,004	0,006	0,004	0,004	0,008
C.V. (%)	1,02	1,27	1,13	1,08	1,46
Média geral	6,3	6,3	6,1	6,0	5,9

** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Aos 60 dias após a aplicação do EET, no final do ciclo, o tratamento NPK continuou com os menores valores de pH do solo (abaixo de 6,0) em todas as camadas (Tabela 74). O uso da ureia faz com que seja necessária a realização da calagem para correção do pH do solo nas parcelas experimentais do tratamento NPK. Isso difere do que foi observado nos tratamentos EfPK e Ef, onde o pH do solo permaneceu na faixa ideal para cultivo do milho em todas as camadas.

Na Tabela 75, o tratamento EfPK continuou com valores de pH superiores em todas as camadas ao do tratamento NPK. No entanto, o tratamento Ef é estatisticamente igual ao tratamento NPK em todas as camadas, com exceção apenas da de 20 a 40 cm. É possível observar correção da acidez do solo da análise realizada antes da semeadura da safra até a análise realizada aos 60 dias após encerrar a aplicação do EET (Tabela 75). Nos tratamentos EfPK e Ef, nas camadas de 0 a 5 e 5 a 10 cm, o aumento foi de 0,7 (10,29%) e 0,7 (10,29%), respectivamente. Nas demais camadas dos tratamentos EfPK e Ef, foi observado estabilidade do pH entre as análises realizadas. O uso do EET é capaz de manter e aumentar o pH do solo, diminuindo a necessidade da correção por calagem.

As Tabelas 76 e 77 mostram que a maior acidificação do solo em todos os tratamentos ocorreu um dia após encerrar as aplicações de EET e a adubação mineral, com exceção do tratamento Ef, Controle e EfPK nas camadas de 0 - 5, 10 - 20 e 20 - 40 cm (safrã) e dos tratamentos NPK, Ef, Ef, Ef e Ef nas camadas de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20, 20 a 40 e 40 a 60 cm (safrinha), os quais permaneceram com os valores de pH iguais aos encontrados antes da semeadura. O tratamento NPK foi o único em que foi observada a acidificação do solo em todas as camadas ao decorrer das análises (Tabela 76). Na safrinha, o tratamento NPK apresentou comportamento diferente da safrã, sendo observado aumento do pH na análise realizada aos 30 dias, ocorrendo manutenção do pH nas camadas de 20 a 40 cm e diminuição do pH nas camadas de 0 a 5, 5 a 10 e 10 a 20 cm aos 60 dias. Nos tratamentos EfPK e Ef, a partir da análise de 30 dias após a adubação de cobertura, foi verificado o aumento do pH que se manteve alto até a análise realizada aos 60 dias após esta prática, com exceção do tratamento EfPK (camada 0 - 5 cm), onde o maior valor de pH só foi alcançado aos 60 dias, e no tratamento Ef (camada 40 - 60 cm), onde foi verificado um decréscimo do pH (Tabela 76). Na Tabela 77, apenas nas camadas 10 a 20 e 20 a 40 cm, o tratamento EfPK não atingiu o valor máximo de pH aos 60 dias e no tratamento Ef o valor máximo de pH somente foi atingido nas camadas de 20 a 40 cm e 40 a 60 cm.

Tabela 76 – Médias da variável potencial hidrogeniônico do solo (pH) por camadas de solo em função das análises realizadas antes da semeadura, um, trinta e sessenta dias após aplicação do EET, na cultura do milho em função dos tratamentos, de setembro a dezembro de 2021 (safra).

Tratamentos	Antes da semeadura	Um dia após encerrar a adubação de cobertura	Trinta dias após encerrar a adubação de cobertura	Sessenta dias após encerrar a adubação de cobertura
Profundidade: 0 - 5 cm				
NPK	6,0 A	5,8 B	5,7 B	5,5 C
EfPK	6,1 B	5,9 C	6,2 B	6,4 A
Ef	5,8 B	5,7 B	6,3 A	6,3 A
Controle	6,2 A	5,8 B	6,3 A	6,3 A
Profundidade: 5 - 10 cm				
NPK	6,0 A	5,7 B	5,7 BC	5,6 C
EfPK	6,1 B	5,9 C	6,3 AB	6,3 A
Ef	6,0 B	5,8 C	6,3 A	6,2 A
Controle	6,2 A	5,7 B	6,4 A	6,3 A
Profundidade: 10 - 20 cm				
NPK	6,0 A	5,7 B	5,7 B	5,6 B
EfPK	6,3 A	6,0 B	6,2 AB	6,1 AB
Ef	6,0 B	5,7 C	6,3 A	6,2 AB
Controle	6,2 A	5,6 A	6,2 A	6,1 A
Profundidade: 20 - 40 cm				
NPK	6,1 A	5,6 B	5,6 B	5,5 B
EfPK	6,1 A	6,0 A	6,1 A	6,0 A
Ef	6,1 B	5,6 C	6,4 A	6,3 A
Controle	6,1 A	5,6 B	6,0 A	6,0 A
Profundidade: 40 - 60 cm				
NPK	6,0 A	5,6 B	5,6 B	5,5 B
EfPK	6,2 A	5,8 B	6,2 A	6,1 A
Ef	6,1 B	5,7 C	6,4 A	6,1 B
Controle	6,1 A	5,6 C	5,9 B	5,8 BC

Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 77 – Médias da variável potencial hidrogeniônico do solo (pH) por camadas de solo em função das análises realizadas antes da semeadura, um, trinta e sessenta dias após aplicação do EET, na cultura do milho em função dos tratamentos, de março a junho de 2022 (safrinha).

Tratamentos	Antes da semeadura	Um dia após encerrar a adubação de cobertura	Trinta dias após encerrar a adubação de cobertura	Sessenta dias após encerrar a adubação de cobertura
Profundidade: 0 - 5 cm				
NPK	5,9 C	5,8 C	6,5 A	6,1 B
EfPK	6,0 C	6,4 B	6,7 A	6,8 A
Ef	5,7 C	6,2 B	6,4 A	6,2B
Controle	6,1 B	5,7 C	6,3 A	6,2 AB
Profundidade: 5 - 10 cm				
NPK	5,8 C	5,8 C	6,4 A	6,0 B
EfPK	6,1 D	6,4 C	6,7 B	6,9 A
Ef	5,9 C	6,2 B	6,5 A	6,1 B
Controle	6,0 B	5,7 C	6,4 A	6,2 B
Profundidade: 10 - 20 cm				
NPK	5,9 BC	5,8 C	6,3 A	6,0 B
EfPK	6,2 C	6,4 B	6,7 A	6,3 BC
Ef	6,0 B	6,1 B	6,6 A	6,1 B
Controle	6,2 B	5,6 D	6,5 A	6,0 C
Profundidade: 20 - 40 cm				
NPK	6,0 A	5,7 B	6,0 A	5,9 AB
EfPK	6,0 C	6,2 AB	6,3 A	6,1 BC
Ef	6,0 A	6,1 A	6,1 A	6,2 A
Controle	6,1 C	5,7 D	6,3 A	5,9 C
Profundidade: 40 - 60 cm				
NPK	5,9 AB	5,7 B	5,9 A	5,8 AB
EfPK	6,1 A	6,0 A	6,1 A	6,1 A
Ef	6,0 B	6,0 B	6,2 A	6,0 AB
Controle	6,0 A	5,7 B	6,1 A	5,7 B

Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

4.8.1.4 Carbono total e estoque de carbono no solo

Para a análise de carbono total, percebe-se que ocorreu diferença significativa a 1% entre os tratamentos nas profundidades 5 a 10, 20 a 40 e 40 a 60 cm e a 5% entre os tratamentos nas camadas 0 a 5 e 10 a 20 cm (Tabela 78). Houve diferença estatística entre as camadas.

Tabela 78 – Análise de variância e valores médios de carbono total no solo (%), nas camadas de 0 – 5 cm, 5 – 10 cm, 10 – 20 cm, 20 – 40 cm e 40 – 60 cm de solo, em função dos tratamentos, junho de 2022 (safrinha).

Tratamento	0-5 cm (%)	5-10 cm (%)	10-20 cm (%)	20-40 cm (%)	40-60 cm (%)
NPK	1,13 b A	0,78 c D	1,00 a B	0,98 a B	0,90 a C
EfPK	1,18 a A	0,95 b B	0,95 ab B	0,97 a B	0,82 b C
Ef	1,09 b A	0,97 b B	1,01 a B	0,81 b C	0,79 b C
Controle	1,10 b A	1,14 a A	0,90 b B	0,88 ab B	0,83 b B
Tratamento	0,005*	0,065**	0,008*	0,02**	0,006**
Bloco	0,0004 ^{NS}	0,003 ^{NS}	0,003 ^{NS}	0,004 ^{NS}	0,002 ^{NS}
Erro	0,0003	0,001	0,001	0,002	0,0004
C.V. (%)	1,52	3,26	3,65	4,76	2,33
Média geral	1,13	0,96	0,97	0,91	0,83

** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Em todos os tratamentos foi verificado que a maior quantidade de carbono total foi encontrada na camada de 0 a 5 cm e os menores valores de carbono total foram encontrados na camada de 40 a 60 cm, com exceção da de 5 a 10 cm, onde o tratamento NPK apresentou o menor valor de carbono total.

No estoque de carbono no solo foi verificado que a camadas de 40 a 60 cm apresentaram significância entre tratamentos a 1%, ao passo que as camadas 0 a 5 cm, 5 a 10 cm, 10 a 20 cm e 20 a 40 cm não apresentaram significância (Tabela 79). Foi observado diferença estatística entre as camadas.

Tabela 79 – Análise de variância e valores médios do estoque de carbono no solo (Mg ha^{-1}), nas camadas de 0 – 5 cm, 5 – 10 cm, 10 – 20 cm, 20 – 40 cm e 40 – 60 cm de solo, em função dos tratamentos, junho de 2022 (safrinha).

Tratamento	0-5 cm (Mg ha^{-1})	5-10 cm (Mg ha^{-1})	10-20 cm (Mg ha^{-1})	20-40 cm (Mg ha^{-1})	40-60 cm (Mg ha^{-1})
NPK	8,54 a D	9,45 a D	17,45 a C	26,92 a A	23,57 a B
EfPK	9,38 a D	8,94 a D	17,51 a C	28,44 a A	22,84 a B
Ef	9,16 a C	9,78 a C	17,95 a B	26,52 a A	18,80 b B
Controle	8,97 a D	9,09 a D	17,65 a C	28,77 a A	22,78 a B
Tratamento	0,38 ^{NS}	0,72 ^{NS}	0,14 ^{NS}	3,68 ^{NS}	14,06 ^{**}
Bloco	0,018 ^{NS}	0,73 ^{NS}	0,27 ^{NS}	0,44 ^{NS}	0,32 ^{NS}
Erro	0,104	0,29	1,05	0,78	0,37
C.V. (%)	3,59	2,22	1,22	1,11	0,65
Média geral	9,01	18,64	35,28	55,32	66,16

^{**} e ^{*} significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Percebe-se um aumento gradual do estoque de carbono no solo da camada mais superficial (0 a 5 cm) até a camada de 20 a 40 cm, de 18,38, 19,06, 17,36 e 19,80 Mg ha^{-1} de carbono nos tratamentos NPK, EfPK, Ef e Controle, respectivamente.

Independente do manejo de adubação os teores de estoque de carbono observados nas análises entre os tratamentos foram próximos em todas as camadas, com exceção da camada de 40 a 60 cm com uma diferença entre o maior e o menor de 4,77 Mg ha^{-1} de carbono. Nesta pesquisa, os resultados de estoque de carbono no solo estão relacionados a densidade do solo. Nas camadas mais superficiais com os maiores valores de densidade foram encontrados os menores estoques, mas com o aprofundamento das camadas e a diminuição da densidade do solo, foi observado maiores valores de estoque de carbono. Resultado semelhante foi encontrado por Zolin et al. (2010), que ao aplicarem doses de 150 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ de vinhaça durante 20 anos, também observaram maiores estoque de carbono em profundidades com menor densidade do solo.

O uso do EET durante nove anos de aplicação ao solo nos tratamentos EfPK e Ef não se mostrou significativa para conseguir estoque de carbono no solo superiores

aos observados nos tratamentos NPK e Controle. Resultados semelhantes foram encontrados por Côrrea et al. (2021), que avaliaram o estoque de carbono do solo em quatro situações diferentes (Caatinga nativa aberta, água residuária tratada, irrigação com água superficial e agricultura de sequeiro), e não observaram aumento significativo nos estoques de carbono do solo.

4.8.1.5 Humificação da matéria orgânica do solo

Na Tabela 80, observa-se que na análise de humificação, realizada ao final da safrinha, ocorreu diferença significativa a 1% entre os tratamentos para todas as camadas analisadas. Foi observado diferença significativa entre as camadas em todos os tratamentos.

Tabela 80 – Análise de variância e valores médios de humificação no solo, nas camadas de 0 – 5 cm, 5 – 10 cm, 10 – 20 cm, 20 – 40 cm e 40 – 60 cm de solo, em função dos tratamentos, junho de 2022 (safrinha).

Tratamento	0-5 cm	5-10 cm	10-20 cm	20-40 cm	40-60 cm
NPK	8,8x10 ⁴ b E	1,2x10 ⁵ ab D	1,4x10 ⁵ b C	1,5x10 ⁵ b B	1,7x10 ⁵ b A
EfPK	8,6x10 ⁴ b D	1,2x10 ⁵ a C	1,4x10 ⁵ b C	1,4x10 ⁵ c B	1,9x10 ⁵ a A
Ef	1x10 ⁵ a D	1,1x10 ⁵ bc CD	1,8x10 ⁵ a B	1,8x10 ⁵ a B	1,9x10 ⁵ a A
Controle	9,3x10 ⁴ b D	9,6x10 ⁴ c D	1,8x10 ⁵ a C	1,8x10 ⁵ a B	1,9x10 ⁵ a A
Tratamento	1,8x10 ^{8**}	5,4x10 ^{4**}	1,7x10 ^{8**}	1,5x10 ^{5**}	3,6x10 ^{8**}
Bloco	1,9x10 ^{6 NS}	2,1x10 ^{6 NS}	1,1x10 ^{7 NS}	3,9x10 ^{6 NS}	1,6x10 ^{6 NS}
Erro	6,1x10 ⁶	2,9x10 ⁷	5,6x10 ⁶	6,1x10 ⁶	1,6x10 ⁷
C.V. (%)	2,65	4,77	2,00	1,54	2,12
Média geral	93047	113295	118517	160502	189340

** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os tratamentos Ef e Controle obtiveram os maiores valores de humificação da matéria orgânica do solo, nas camadas de 10 a 20 cm, 20 a 40 cm e 40 a 60 cm, com exceção da camada de 40 a 60 cm, onde o tratamento EfPK foi estatisticamente igual aos tratamentos Ef e Controle (Tabela 80). Na camada mais superficial do solo (0 a 5 cm) o tratamento Ef apresentou resultados de humificação superior aos demais tratamentos. Na profundidade de 5 a 10 cm, os tratamentos NPK e EfPK foram estatisticamente iguais e superiores aos demais tratamentos.

O processo de humificação da matéria orgânica aumentou de acordo com aprofundamento das camadas do solo, o menor nível foi verificado na camada de 0 a 5 cm com os tratamentos NPK, EfPK, Ef e Controle, $8,8 \times 10^4$, $8,6 \times 10^4$, 1×10^5 e $9,3 \times 10^4$, respectivamente, e os maiores valores foram obtidos na profundidade de 40 a 60 cm com valores de $1,7 \times 10^5$, $1,9 \times 10^5$, $1,9 \times 10^5$ e $1,9 \times 10^5$ para os tratamentos NPK, EfPK, Ef e Controle, respectivamente. O processo de humificação, que ocorre pela atividade microbiana do solo na matéria orgânica presente, tende a aumentar com o passar do tempo. Redução de valores de índice de humificação da MOS, para um dado manejo, representa incorporação de material orgânico fresco ao solo. Ao contrário, aumento de H_{FIL} entre diferentes manejos, indica consumo de matéria orgânica nativa com aumento da recalcitrância (MARTIN-NETO et al., 2009).

Resultados semelhantes foram encontrados por Favoretto et al. (2008), ao analisarem a humificação da matéria orgânica do solo em latossolos, também observaram maiores níveis de humificação da matéria orgânica com o aprofundamento das camadas do solo, segundo os autores a MO em camadas mais profundas do solo é mais recalcitrante.

Com exceção das camadas 5 a 10 e 40 a 60 cm apenas o uso do EET no tratamento Ef acarretou em maior humificação da matéria orgânica do solo. A adição de adubos minerais com o EET no tratamento EfPK, diminuiu a humificação da matéria orgânica, com resultados iguais aos obtidos pelo tratamento NPK em todas as profundidades, com exceção da camada 20 a 40 e 40 a 60 cm, com o tratamento NPK superior ao Tratamento EfPK e o tratamento EfPK superior ao tratamento NPK, respectivamente.

4.8.1.6 Concentração de nitrato no solo

A tabela 81 indica os dados da análise de variância realizadas durante a safrinha para a determinação da concentração de nitrato no solo. Nas cinco datas avaliadas não foi verificado diferença significativa entre os tratamentos, como também não foi verificado diferença significativa entre as datas analisadas para todos os tratamentos.

Tabela 81 – Análise de variância e valores médios da concentração de nitrato (mg kg^{-1}) a 0,6 m de profundidade do solo em cinco datas após a emergência (DAE) das plântulas, em função dos tratamentos, de março a junho de 2022 (safrinha).

Tratamento	25 DAE	28 DAE	32 DAE	43 DAE	92 DAE
NPK	0,00 a A	1,97 a A	9,16 a A	5,32 a A	0,00 a A
EfPK	2,07 a A	1,48 a A	0,00 a A	0,00 a A	1,73 a A
Ef	0,00 a A	0,00 a A	0,00 a A	0,00 a A	2,47 a A
Controle	0,00 a A	0,00 a A	0,00 a A	0,00 a A	0,00 a A
Tratamento	3,20 ^{NS}	3,09 ^{NS}	62,88 ^{NS}	21,20 ^{NS}	4,68 ^{NS}
Bloco	3,20 ^{NS}	2,36 ^{NS}	62,88 ^{NS}	21,20 ^{NS}	13,23 ^{NS}
Erro	3,20	5,27	62,88	21,20	4,68
C.V. (%)	346,41	266,50	346,41	346,41	206,12
Média geral	0,52	0,86	2,29	1,32	1,05

** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A presença de nitrato a 0,6 m de profundidade foi observada nas 5 datas em que houve a coleta de solução do solo por meio de extratores de cápsula porosa. O tratamento NPK apresentou os maiores valores a 32 e 43 DAE, enquanto que o EfPK apresentou valores bem menores aos 25, 28 e 92 DAE. A aplicação apenas de Ef proporcionou a presença de nitrato apenas na última coleta de solução (92 DAE). Fica evidenciado que a substituição da fonte de fertilizante mineral nitrogenada pelo EET proporcionou uma menor presença de nitrato a 0,6 m de profundidade do solo.

4.8.2 Biologia do solo

4.8.2.1 Coliformes totais e termotolerantes

Nas avaliações de coliformes totais realizadas antes da semeadura, um, trinta e sessenta dias após o encerramento da adubação de cobertura, foi verificado uma diferença significativa a 1% entre os tratamentos em todas as análises realizadas. Não foi observado diferença entre blocos (Tabelas 82 e 83). Houve diferença significativa entre as datas de análises realizadas para todos os tratamentos.

Tabela 82 – Análise de variância e valores médios dos coliformes totais (CT) (UFC g⁻¹) das análises realizadas antes da semeadura, um, trinta e sessenta dias após encerrar a adubação de cobertura, para a camada de solo de 0 - 10 cm, na cultura do milho, em função dos tratamentos, de setembro a dezembro de 2021 (safra).

Tratamentos	Antes da semeadura (UFC g ⁻¹)	Um dia após encerrar a adubação de cobertura (UFC g ⁻¹)	Trinta dias após encerrar a adubação de cobertura (UFC g ⁻¹)	Sessenta dias após encerrar a adubação de cobertura (UFC g ⁻¹)
NPK	18 c D	1,7 x 10 ⁴ c B	3,5 x 10 ³ c C	2,4 x 10 ⁴ a A
EfPK	29 b D	2,5 x 10 ⁴ b A	2,2 x 10 ⁴ a B	4,1 x 10 ³ c C
Ef	39 a C	4,7 x 10 ⁴ a A	1,5 x 10 ⁴ b B	765 d C
Controle	6 d B	27 d B	1,6 x 10 ³ c B	1,6 x 10 ⁴ b A
Tratamento	583,15**	1,12x10 ⁹ **	2,91x10 ⁸ **	3,6x10 ⁸ **
Bloco	5,08 ^{NS}	1,35x10 ⁶ ^{NS}	5,9x10 ⁵ ^{NS}	8,0x10 ⁵ ^{NS}
Erro	2,86	999295	6,0x10 ⁵	1,3x10 ⁷
C.V. (%)	7,24	4,50	7,15	9,95
Média geral	23,36	22238,73	10840,64	11336,00

** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. UFC: Unidade formadoras de colônia.

Tabela 83 – Análise de variância e valores médios dos coliformes totais (CT) (UFC g⁻¹) das análises realizadas antes da semeadura, um, trinta e sessenta dias após encerrar a adubação de cobertura, para a camada de solo de 0 - 10 cm, na cultura do milho, em função dos tratamentos, de março a junho de 2022 (safrinha).

Tratamentos	Antes da semeadura (UFC g ⁻¹)	Um dia após encerrar a adubação de cobertura (UFC g ⁻¹)	Trinta dias após encerrar a adubação de cobertura (UFC g ⁻¹)	Sessenta dias após encerrar a adubação de cobertura (UFC g ⁻¹)
NPK	2,6 x 10 ³ d B	4,2 x 10 ³ b A	2,2 x 10 ³ a C	1,1 x 10 ³ a D
EfPK	2,8 x 10 ³ c B	3,8 x 10 ³ c A	2,3 x 10 ³ a C	1,1 x 10 ³ a D
Ef	3,9 x 10 ³ a B	9,4 x 10 ³ a A	937 c C	771 b D
Controle	3,3 x 10 ³ b A	1,2 x 10 ³ d B	1,1 x 10 ³ b C	1,2 x 10 ³ a BC
Tratamento	1,05x10 ^{-6**}	3,5x10 ^{-7**}	1,7x10 ^{-6**}	1,1x10 ^{-5**}
Bloco	15,20 ^{NS}	1600 ^{NS}	2279,15 ^{NS}	5173,37 ^{NS}
Erro	3,97	717,33	451,35	7326
C.V. (%)	0,26	0,57	1,27	8,13
Média geral	3195,12	4688,84	1670,66	1052,78

** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. UFC: Unidade formadoras de colônia.

Na tabela 82, na análise realizada antes da semeadura, percebe-se que a carga de coliformes totais foi muito baixa, com o tratamento Ef apresentando o maior valor; com o valor do tratamento NPK sendo inferior ao do EfPK; e com o tratamento Controle tendo o menor valor que os demais. Um dia após ser encerrada a adubação de cobertura, foi verificado no tratamento Ef o maior valor de CT, seguido pelo tratamento EfPK, com valores de coliformes totais de 46.686,61 e 24.843,83 UFC g⁻¹ solo⁻¹, respectivamente. O número de coliformes totais aumentou em 46.647,49 e 24.814,73 UFC g⁻¹ solo⁻¹, e esse incremento pode ser considerado como muito alto, devido à carga de coliformes presentes no EET.

Na tabela 83, o tratamento Ef foi estatisticamente superior aos demais tratamentos. Percebe-se que na análise realizada antes da semeadura, o valor de coliformes totais foi mais alto do que observado na safra, no mesmo período. No

entanto, houve um decréscimo de coliformes totais nos tratamentos NPK, EfPK e Controle, entre a análise de 60 dias após encerrar a aplicação do efluente da safra e a análise de antes da semeadura da safrinha. Isso indica que o solo continuou o processo de tratamento do EET, neutralizando boa parte do CT. A queda nos tratamentos NPK, EfPK e Controle foi de 21.714,48, 1.208,76 e 12.844,05 UFC g⁻¹ solo⁻¹, representando 89,23, 29,55 e 79,45%, respectivamente.

Um dia após encerrar a aplicação de efluente, nos tratamentos NPK e Controle, os valores encontrados foram de 17396,67 e 27,81 UFC g⁻¹ solo⁻¹, respectivamente, os quais são inferiores aos tratamentos EfPK e Controle (Tabela 82). Nos tratamentos EfPK e Controle foram observados os menores valores de coliformes totais, 3851,83 e 1263,27 UFC g⁻¹ solo⁻¹, respectivamente. O menor valor de coliformes totais antes da semeadura foi observado no tratamento NPK (2609,26 UFC g⁻¹ solo⁻¹), inferior aos demais tratamentos (Tabela 83). Na safra e safrinha, a carga de coliformes totais encontradas no tratamento NPK foi muito alta para parcelas que não receberam aplicação de EET.

Essa carga de coliformes que gerou incremento no tratamento NPK, na safra, foi advinda, possivelmente, pela contaminação por meio do pisoteio nas parcelas que receberam o EET e posteriormente nas parcelas que não receberam o EET. Na safrinha, além dos fatores citados anteriormente, a existência de CT decorrente dos valores observado na safra explica um valor maior de CT no solo nesse período. Scherer et al. (2016), avaliaram a qualidade da água de irrigação na cultura da alface e encontraram valores de coliformes totais no solo menores que 10.000, de 340.000 e de 1.500.000 g⁻¹ solo⁻¹. Tais concentrações de coliformes totais são superiores aos encontrados nos tratamentos NPK e Controle, os quais receberam somente água, e são maiores que os valores encontrados nos tratamentos EfPK e Ef, nas duas últimas amostragens.

Durante a safrinha o maior acúmulo de CT no solo em todos os tratamentos, com exceção do tratamento Controle, ocorreu na análise realizada um dia após aplicação do EET. No decorrer dos 30 e 60 dias após encerrar a aplicação do EET foi observado um decréscimo gradual dos níveis de CT no solo.

Na análise realizada aos 30 dias após encerrar a adubação de cobertura, o tratamento EfPK possui os maiores valores de coliforme totais, seguido pelos tratamentos Ef e Controle, e o tratamento NPK com um valor inferior (Tabela 82). No

entanto, percebe-se que em todos os tratamentos ocorreu uma diminuição dos níveis de coliformes totais, com exceção do tratamento Controle, no qual foi observado um aumento de 1.657,91 UFC g⁻¹ solo⁻¹. Nos tratamentos NPK, EfPK e Ef o decréscimo de coliformes totais foi de 79,58, 10,78 e 65,81%, respectivamente.

Na Tabela 83, na análise realizada aos 30 dias após o termino da aplicação do EET, os tratamentos NPK e EfPK foram estatisticamente iguais e superiores ao tratamento Controle e seguido pelo tratamento Ef. Nessa análise percebe-se uma menor variação de coliformes totais entre os tratamentos. Ocorreu decréscimo dos níveis de CT no solo em todos os tratamentos a partir da análise realizada um dia após encerrar a aplicação do EET.

Aos 60 dias após encerrar a adubação de cobertura, o tratamento Ef obteve o menor valor de coliformes totais seguido pelo tratamento EfPK; no entanto, observou-se um aumento acentuado dos níveis de coliformes totais nos tratamentos NPK e Controle (Tabela 82). Entre a análise realizada um dia e sessenta dias após encerrar a adubação de cobertura, foi observada uma eliminação de 83,53 e 98,36% para os tratamentos EfPK e Ef, respectivamente. Nos tratamentos NPK e Controle foi observado um aumento de 6.927,07 e 16.137,15 UFC g⁻¹ solo⁻¹, respectivamente. Para os tratamentos EfPK e Ef o solo atuou neutralizando a maior parte dos coliformes totais presentes na camada de 0 - 10 cm aos 60 dias após a aplicação de efluente, diminuindo o risco de contaminação ao longo do tempo. Mas um efeito contrário foi observado nos tratamentos NPK e Controle, ou seja, ocorreu um aumento de coliformes totais aos 60 dias após a aplicação de efluente, mesmo não recebendo nenhuma dose do biofertilizante.

Na tabela 83, os tratamentos NPK, EfPK e Controle foram estatisticamente iguais e superiores ao tratamento Ef. A neutralização de coliformes totais no solo entre as análises realizadas aos 60 e um dia após encerrar a aplicação de EET nos tratamentos NPK, EfPK e Ef (3.057,91, 2.762,41 e 8.653,75 UFC g⁻¹ solo⁻¹, respectivamente), representaram 72,54, 71,72 e 91,81%, respectivamente. O tratamento Controle apresentou seu maior acúmulo de coliformes totais no solo na análise realizada antes da semeadura, sendo também observado um decréscimo (64,07%) gradual dos valores de CT até aos 60 dias. Diferente do que foi observado na safra, não foi observado na safrinha incrementos de coliformes totais aos 60 dias, indicando uma neutralização dos coliformes totais oriundos do EET.

Os coliformes termotolerantes são aqueles que efetivamente podem levar a algum problema de saúde pública, sendo representados principalmente pelas bactérias da espécie *Escherichia coli*. A análise realizada para coliformes termotolerantes apresentou diferença significativa a 1% entre tratamentos apenas a um e aos trinta dias após encerrar a adubação de cobertura. As análises realizadas antes da semeadura e aos 60 dias após encerrar a adubação de cobertura não apresentaram diferença significativa (Tabela 84). As análises realizadas antes da semeadura, um e 30 dias após encerrar a aplicação do EET foram significantes a 1% entre tratamentos, e a análise realizada aos 60 dias não apresentou resultados significantes (Tabela 85). Entre as datas que ocorreram as avaliações foi observada diferença significativa para todos os tratamentos na safra e na safrinha.

Tabela 84 – Análise de variância e valores médios dos coliformes termotolerantes (CTe) (UFC g⁻¹) das análises realizadas antes da semeadura, um, trinta e sessenta dias após encerrar a adubação de cobertura, para a camada de solo de 0 - 10 cm, na cultura do milho, em função dos tratamentos, de setembro a dezembro de 2021 (safra).

Tratamentos	Antes da semeadura (UFC)	Um dia após encerrar a adubação de cobertura (UFC)	Trinta dias após encerrar a adubação de cobertura (UFC)	Sessenta dias após encerrar a adubação de cobertura (UFC)
NPK	0 a B	18 b A	1 b B	1 a B
EfPK	0 a C	74 b A	9 a B	1 a BC
Ef	0 a B	1,3 x 10 ³ a A	1 b B	1 a B
Controle	0 a B	25 b A	1 b B	1 a B
Tratamento	0,00 ^{NS}	1,2x10 ⁶ **	49,09**	0,00 ^{NS}
Bloco	0,00 ^{NS}	6409,75 ^{NS}	0,19 ^{NS}	0,00 ^{NS}
Erro	0,00	5209,59	0,18	0,00
C.V. (%)	0,00	19,92	14,37	0,00
Média geral	0,00 ±	362,25	3,02 ±	1,00 ±

** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. UFC: Unidade formadoras de colônia.

Tabela 85 – Análise de variância e valores médios dos coliformes termotolerantes (CTe) (UFC g⁻¹) das análises realizadas antes da semeadura, um, trinta e sessenta dias após encerrar a adubação de cobertura, para a camada de solo de 0 - 10 cm, na cultura do milho, em função dos tratamentos, de março a junho de 2022 (safrinha).

Tratamentos	Antes da aplicação do efluente	Um dia após aplicação do efluente	Trinta dias após aplicação do efluente	Sessenta dias após aplicação do efluente
NPK	2 b B	126 c A	2 a BC	0 a C
EfPK	3 b B	824 a A	1 b BC	0 a C
Ef	2 b B	665 b A	1 c BC	0 a C
Controle	12 a A	10 d A	1 c B	0 a C
Tratamento	70,54**	4,8x10 ⁻⁵ **	0,67**	0,00NS
Bloco	0,39NS	9,58NS	0,01NS	0,00 NS
Erro	0,07	3,94	0,004	0,00
C.V. (%)	5,06	0,49	4,56	0,00
Média geral	5,33	406,89	1,32	0,00

** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. UFC: Unidade formadoras de colônia.

Na safra, a análise realizada antes da semeadura, não foi verificada nenhuma concentração de coliformes termotolerantes (Tabela 84); na safrinha, verificou-se uma concentração baixa, com o tratamento Controle sendo superior aos demais tratamentos (12,60 UFC g⁻¹ solo⁻¹), seguidos pelos tratamentos NPK, EfPK e Ef (2,88, 3,11 e 2,73 UFC g⁻¹ solo⁻¹, respectivamente) (Tabela 85). No entanto, após ser encerrado o processo de fertirrigação do EET na safra, foi verificado no tratamento Ef os maiores valores de coliformes termotolerantes, seguido pelos valores dos tratamentos NPK, EfPK e Controle. Na safrinha, o maior valor de coliformes termotolerantes foi alcançado no tratamento EfPK seguido pelo tratamento Ef. Na safra e safrinha, um dia após encerrar a aplicação do EET, foram observadas as maiores concentrações de coliformes termotolerantes entre todas as profundidades.

Com 30 dias após o período de fertirrigação, foi observada uma grande diminuição das concentrações de coliformes termotolerantes, chegando a valores de 1,00 UFC g⁻¹ solo⁻¹ nos tratamentos NPK, Ef e Controle (safra) e tratamentos Ef e

Controle (safrinha), mas excetuando-se o EfPK, com 9,09 UFC g⁻¹ solo⁻¹ (Tabela 84) e tratamentos NPK e EfPK (2,00 e 1,26 UFC g⁻¹ solo⁻¹, respectivamente) (Tabela 85).

Na análise realizada aos 60 dias, os tratamentos NPK, Ef e Controle mantiveram os valores das concentrações de coliformes termotolerantes encontrados aos 30 dias, e o valor do tratamento EfPK se igualou aos demais, com 1,00 UFC g⁻¹ solo⁻¹. A diminuição das concentrações de coliformes termotolerantes aos 60 dias em relação à análise realizada um dia após encerrar a fertirrigação do EET nos tratamentos NPK, EfPK, Ef e Controle foram de 94,71, 98,66, 99,92 e 96,14%, respectivamente (Tabela 84). Na tabela 85, aos 60 dias, não foi contabilizado coliformes termotolerantes em todos os tratamentos, ocorrendo a neutralização total dos CT.

Ribas e Fortes Neto (2008) avaliaram a remoção de coliformes termotolerantes do solo advindo da aplicação de EET, e encontraram reduções de mais de 90% de coliformes termotolerantes aos 60 dias após três aplicações desse biofertilizante. Segundo os mesmos autores, os coliformes termotolerantes sofrem com ação antagonista de outros microrganismos presentes no solo, por meio de competição, predação e antibiose. Os baixos teores de matéria orgânica (1,63 a 24,00 g dm⁻³) que foram encontrados nesse trabalho podem ter aumentado a competição por nutrientes entre os demais microrganismos e os coliformes termotolerantes, reduzindo consideravelmente a carga de CTe no solo (RIBAS e FORTES NETO, 2008).

Por se tratar de uma área na qual o experimento é conduzido por vários anos com a aplicação de EET, o fato de não ter sido encontradas unidades formadoras de colônias de coliformes tolerantes antes da semeadura do milho indica que ao longo do tempo os valores de 1,00 UFC g⁻¹ solo⁻¹ que foram encontrados na análise 60 dias deverão ser neutralizados.

4.8.2.2 Atividade da enzima beta-glicosidase

A atividade da enzima beta-glicosidase medida antes da semeadura, em 1, 30 e 60 dias após encerrar a adubação de cobertura, apresentou diferença significativa a 1% entre os tratamentos (Tabelas 86 e 87). Houve diferença significativa entre as avaliações para todos os tratamentos.

Tabela 86 – Análise de variância e valores médios da enzima beta-glicosidase, das análises realizadas antes da semeadura, um, trinta e sessenta dias após encerrar a adubação de cobertura, para a camada de solo de 0 - 10 cm, na cultura do milho, em função dos tratamentos, de setembro a dezembro de 2021 (safra).

Tratamentos	Antes da semeadura	Um dia após encerrar a adubação de cobertura	Trinta dias após encerrar a adubação de cobertura	Sessenta dias após encerrar a adubação de cobertura
NPK	381 a C	449 a A	411 b B	448 a A
EfPK	358 b C	381 b B	444 a A	388 b B
Ef	329 c B	317 d C	379 c A	323 d BC
Controle	323 d B	330 c B	333 d B	358 c A
Tratamento	2109,16**	10696,05**	6732,93**	8535,24**
Bloco	0,21 ^{NS}	16,86 ^{NS}	4,23 ^{NS}	20,70
Erro	3,22	20,40	34,23	22,89
C.V. (%)	0,51	1,22	1,49	1,26
Média geral	348,43	369,89	392,26	379,77

** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 87 – Análise de variância e valores médios da enzima beta-glicosidase, das análises realizadas antes da semeadura, um, trinta e sessenta dias após encerrar a adubação de cobertura, para a camada de solo de 0 - 10 cm, na cultura do milho, em função dos tratamentos, de março a junho de 2022 (safrinha).

Tratamentos	Antes da aplicação do efluente	Um dia após aplicação do efluente	Trinta dias após aplicação do efluente	Sessenta dias após aplicação do efluente
NPK	310 a B	250 a C	227 b D	390 a A
EfPK	302 b B	232 b D	287 a C	326 b A
Ef	268 c A	213 c C	220 c B	262 d A
Controle	302 b A	167 d D	173 d C	299 c A
Tratamento	1059,98**	3744,61**	6500,97**	8769,65**
Bloco	7,75 ^{NS}	3,00 ^{NS}	0,58 ^{NS}	6,58 ^{NS}
Erro	0,75	2,33	2,92	0,58
C.V. (%)	0,29	0,71	0,75	0,24
Média geral	295,77	215,83	227,15	319,91

** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Na safra, a análise realizada um dia após encerrar a adubação de cobertura, mostra que somente os tratamentos NPK e EfPK foram capazes de aumentar a atividade da enzima beta-glicosidase (449,39 e 381,57, respectivamente) em relação aos valores obtidos antes da semeadura (381,01 e 358,79, respectivamente) (Tabela 86). No entanto, o tratamento NPK conseguiu um maior aumento da atividade enzimática (17,93%) que a encontrada no tratamento EfPK (6,07%). Isso indica que a adubação mineral que é realizada nos dois tratamentos, e em maior quantidade no tratamento NPK, é capaz de aumentar, no curto prazo, a atividade enzimática de forma mais eficiente que a aplicação do EET, fornecendo substratos que são degradados pela enzima beta-glicosidase de forma mais rápida.

Na safrinha, nas análises realizadas antes da aplicação do EET e um dia após encerrar a aplicação do EET, o tratamento NPK obteve os maiores resultados (310,24 e 250,03, respectivamente), seguido pelo tratamento EfPK (302,64 e 232,15, respectivamente) (Tabela 87). Diferente do que foi observado na safra, foi observado

na safrinha uma queda da atividade da enzima beta-glicosidase, um dia após encerrar a aplicação do EET nos tratamentos NPK e EfPK.

Aos 30 dias após encerrar a adubação de cobertura, os tratamentos EfPK e Ef apresentaram seus maiores valores de atividade enzimática (444,25 e 379,86, respectivamente). Os tratamentos NPK e Controle apresentaram os menores valores (Tabela 86). Na tabela 87, aos 30 dias após encerrar a aplicação do EET, o tratamento EfPK alcançou a maior atividade da enzima beta-glicosidase entre todos os tratamentos (287,17). Aos 30 dias foi verificado aumento da atividade enzimática em relação a análise realizada um dia após encerrar a aplicação do EET nos tratamentos EfPK, Ef e Controle, incrementando em 19,16, 3,18 e 3,40%, respectivamente. O maior aumento verificado no tratamento EfPK mostra que o EET comais a adubação mineral forneceu substratos que conseguiram ser degradados aos 30 dias e aumentar a atividade enzima beta-glicosidase.

Na safra, o maior tempo necessário para que os tratamentos que receberam o EET aumentassem a atividade enzimática da beta-glicosidase pode ser explicado pelo fato dos substratos adicionados pelo EET precisarem de um maior prazo para serem degradados por essa enzima. Isso pode ser percebido na análise de um dia após encerrar a adubação de cobertura, quando ocorreu um decréscimo da atividade enzimática no tratamento Ef (317,76), em relação ao observado na análise de antes da semeadura (326,96). Além disso, só é observado o aumento da atividade da beta-glicosidase para esse tratamento na análise de 30 dias (379,86) (Tabela 86). O aumento que ocorreu no tratamento EfPK na análise de um dia (381,57), deve-se a presença de fósforo e potássio provenientes dos fertilizantes minerais, que foram importantes também para que a atividade enzimática fosse incrementada e assim contribuir para que o maior valor fosse atingido aos 30 dias em todos os tratamentos.

Na análise de 60 dias percebe-se que ocorreu um leve aumento da atividade da enzima beta-glicosidase nos tratamentos NPK e Controle (448,82 e 358,18, respectivamente), enquanto que nos tratamentos EfPK e Ef foi observado um decréscimo (388,99 e 323,09, respectivamente) da atividade dessa enzima (Tabela 86). Na tabela 87, na análise realizada aos 60 dias foi verificado no tratamento NPK a maior atividade da enzima beta-glicosidase das análises realizadas na safrinha (390,95), seguido pelo tratamento EfPK (326,67). Aos 60 dias, observou-se a maior atividade enzimática em todos os tratamentos, com exceção do tratamento NPK. Já

era observado um aumento gradual da enzima beta-glicosidase desde a análise realizada aos 30 dias. Entre as análises de 60 e 30 dias foi verificado um incremento de 41,82, 12,09, 16,24 e 41,89%, nos tratamentos NPK, EfPK, Ef e Controle, respectivamente.

O comportamento da atividade enzimática da safrinha foi diferente do observado durante a safra. No tratamento NPK ocorreu decréscimo da atividade enzimática entre a análise de antes da aplicação do efluente a 30 dias de encerrado o uso do EET (310,24 e 227,43, respectivamente). Apenas aos 60 dias é que ocorreu a máxima atividade da enzima beta-glicosidase. Nas duas safras analisadas, o uso do adubo mineral se mostrou como um substrato importante na elevação da atividade enzimática. Nos tratamentos EfPK e Ef, as maiores atividades enzimáticas só foram observadas na análise realizada aos 60 dias; no entanto, foi observado um aumento gradual. O tratamento EfPK em todas as análises alcançou resultados superiores ao tratamento Ef, indicando que o adubo mineral que foi utilizado na suplementação do tratamento EET foi de grande importância para estimular a atividade da enzima beta-glicosidase. O adubo mineral, quando utilizado em quantidades maiores, como foi o caso da safra, apresentou resultados ainda mais superiores de atividade enzimática.

As diferenças observadas na atividade da beta-glicosidase na safra em relação à safrinha, mostram que são necessários estudos mais longos deste parâmetro para uma conclusão mais efetiva.

4.8.3 Física do solo

4.8.3.1 Textura e granulometria do solo

A análise de variância realizada para a variável granulometria indica que não ocorreu diferença estatística entre os tratamentos para as duas avaliações realizadas, com exceção das análises realizadas para areia (dezembro de 2021) na profundidade de 0 a 5 cm, sendo significativa a 5% (Tabela 88) e nas análises realizadas na areia (junho de 2022) nas profundidades de 5 a 10, 20 a 40 e 40 a 60 cm, sendo significantes a 1, 1 e 5%, respectivamente, e na argila (junho de 2022) na camada de 40 a 60 cm, significativa a 5% (Tabela 89). Ocorreram diferenças estatísticas entre as camadas de solo.

Tabela 88 – Análise de variância e valores médios da granulometria do solo (%), nas camadas de 0 – 5 cm, 5 – 10 cm, 10 – 20 cm, 20 – 40 cm e 40 – 60 cm de solo, na cultura do milho em função dos tratamentos NPK, EfPK, Ef e Controle, em dezembro de 2021 (safra).

Tratamentos	0 - 5 cm	5 - 10 cm	10 - 20 cm	20 - 40 cm	40 - 60 cm
Areia					
NPK	59,67 ab A	59,46 a A	56,60 a B	54,30 a BC	52,99 a C
EfPK	59,15 ab A	58,65 a A	55,60 a B	54,06 a BC	52,57 a C
Ef	61,02 a A	59,78 a AB	57,49 a BC	55,87 a CD	53,58 a D
Controle	58,19 b A	58,46 a A	56,43 a A	53,49 a A	52,79 a A
Tratamento	4,19*	1,19 ^{NS}	1,80 ^{NS}	3,12 ^{NS}	0,57 ^{NS}
Bloco	1,25 ^{NS}	0,70 ^{NS}	2,04 ^{NS}	8,96 ^{NS}	1,26 ^{NS}
Erro	0,59	1,31	0,63	1,79	2,06
C.V. (%)	1,29	1,93	1,41	2,46	2,71
Média geral	59,51	59,09	56,53	54,43	52,98
Silte					
NPK	5,75 a B	6,04 a AB	6,39 a AB	7,04 a B	6,77 a AB
EfPK	5,88 a A	6,49 a A	6,29 a A	6,67 a A	6,70 a A
Ef	5,35 a B	6,10 a AB	6,35 a AB	6,52 a B	6,38 a AB
Controle	6,12 a A	6,66 a A	6,86 a A	7,06 a A	6,81 a A
Tratamento	0,31 ^{NS}	0,27 ^{NS}	0,20 ^{NS}	0,22 ^{NS}	0,12 ^{NS}
Bloco	0,47 ^{NS}	0,41 ^{NS}	0,13 ^{NS}	0,44 ^{NS}	0,25 ^{NS}
Erro	0,19	0,41	0,17	0,34	0,17
C.V. (%)	7,62	10,12	6,43	8,51	6,23
Média geral	5,77	6,32	6,47	6,82	6,66
Argila					
NPK	34,58 a C	34,50 a C	37,01 a B	38,66 a AB	40,24 a A
EfPK	34,98 a C	34,86 a C	38,11 a B	39,27 a AB	40,40 a A
Ef	33,62 a D	34,11 a CD	36,15 a BC	37,60 a B	40,04 a A
Controle	35,69 a B	34,87 a B	36,71 a B	39,46 a A	40,40 a A
Tratamento	2,23 ^{NS}	0,39 ^{NS}	2,05 ^{NS}	2,09 ^{NS}	0,26 ^{NS}
Bloco	0,97 ^{NS}	0,05 ^{NS}	1,94 ^{NS}	5,80 ^{NS}	0,42 ^{NS}
Erro	0,71	1,17	0,55	0,95	1,51
C.V. (%)	2,43	3,13	2,01	2,52	3,05
Média geral	34,72	34,59	36,99	38,75	40,35

** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 89 – Análise de variância e valores médios da granulometria do solo (%), nas camadas de 0 – 5 cm, 5 – 10 cm, 10 – 20 cm, 20 – 40 cm e 40 – 60 cm de solo, na cultura do milho em função dos tratamentos NPK, EfPK, Ef e Controle, em junho 2022 (safrinha).

Tratamentos	0 - 5 cm	5 - 10 cm	10 - 20 cm	20 - 40 cm	40 - 60 cm
Areia					
NPK	60,42 a A	59,39 b AB	58,04 a AB	57,04 b AB	55,47 b B
EfPK	60,74 a A	59,96 b A	59,03 a A	57,74 b A	56,32 ab B
Ef	60,44 a A	58,29 b A	59,77 a A	57,52 b A	57,67 ab A
Controle	64,94 a AB	63,39 a AB	60,41 a AB	60,23 a AB	59,23 a B
Tratamento	28,55 ^{NS}	14,54 ^{**}	3,11 ^{NS}	6,13 ^{**}	8,37 [*]
Bloco	57,09 ^{NS}	5,72 ^{NS}	3,15 ^{NS}	0,36 ^{NS}	0,83 ^{NS}
Erro	10,38	0,98	1,12	0,61	1,49
C.V. (%)	5,29	1,64	1,78	1,34	2,14
Média geral	61,64	60,25	59,31	58,13	57,18
Silte					
NPK	3,82 a A	4,37 a A	4,70 a A	4,16 a A	4,29 a A
EfPK	4,13 a A	3,58 a A	2,88 a A	3,45 a A	5,14 a A
Ef	4,07 a A	4,90 a A	3,74 a A	4,81 a A	3,35 a A
Controle	3,87 a A	3,06 a A	3,93 a A	3,67 a A	3,33 a A
Tratamento	0,07 ^{NS}	1,99 ^{NS}	1,66 ^{NS}	1,09 ^{NS}	2,24 ^{NS}
Bloco	6,60 ^{NS}	5,56 ^{NS}	6,62 ^{NS}	3,18 ^{NS}	1,85 ^{NS}
Erro	1,15	1,66	1,59	0,85	2,22
C.V. (%)	27,04	32,41	33,10	22,99	37,03
Média geral	3,97	3,98	3,81	4,02	4,02
Argila					
NPK	35,76 a B	36,24 a B	37,27 a AB	38,81 a AB	40,24 a A
EfPK	35,13 a B	36,47 a B	38,08 a A	38,81 a A	38,54 ab A
Ef	35,49 a A	36,82 a B	36,49 a A	37,67 a A	38,98 ab A
Controle	31,18 a B	33,55 a B	35,66 a A	36,10 a A	37,38 b A
Tratamento	27,28 ^{NS}	6,73 ^{NS}	3,22 ^{NS}	4,93 ^{NS}	4,19 [*]
Bloco	27,41 ^{NS}	0,38 ^{NS}	0,81 ^{NS}	1,49 ^{NS}	3,67 ^{NS}
Erro	7,25	2,98	1,95	0,96	0,80
C.V. (%)	7,66	4,82	3,79	2,58	2,31
Média geral	34,39	35,78	36,88	37,85	38,79

^{**} e ^{*} significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Nas análises realizadas na safra (Tabela 88) e safrinha (Tabela 89) observa-se que para a fração areia ocorreu diferença estatística apenas na camada de 0 a 5 cm, com o tratamento Ef obtendo o maior valor e o tratamento Controle com a menor (Tabela 88); nas camadas de 5 a 10, 20 a 40 e 40 a 60 cm, o tratamento Ef obteve os maiores valores de areia (Tabela 89). As maiores quantidades de areia foram de 59,51% (0 a 5 cm) e 59,09% (5 a 10 cm) na safra, e 60,89% (0 a 5 cm), 60,25% (5 a 10 cm), 59,31% (10 a 20 cm) e 58,13% (20 a 40 cm) na safrinha. A camada de 40 a 60 cm na safra e safrinha atingiram os menores valores de areia no solo, 52,98 e 57,18%, respectivamente. Entre as camadas de 0 a 5 e 40 a 60 cm ocorreu uma diminuição dos teores de areia de 10,97% (safra) e 6,09% (safrinha). As camadas mais superficiais do solo (0 a 5 cm, 5 a 10 cm e 10 a 20 cm), com uma textura mais arenosa, indicam uma maior drenagem, enquanto que as camadas 20 a 40 cm e 40 a 60 cm tendem a um maior armazenamento de água.

Para o silte, na safra (Tabela 88) e safrinha (Tabela 89), percebe-se que não ocorreu diferença significativa entre tratamentos e nem entre camadas do solo nos dois ciclos.

Os resultados dos teores de argila na safra (Tabela 88) indicam que em todos os tratamentos ocorreu um aumento gradual dos níveis de argila com o aumento da profundidade do solo. Na camada de 40 a 60 cm e em todos os tratamentos, e na camada de 20 a 40 cm nos tratamentos NPK, EfPK e Controle, foram encontrados os maiores valores de argila. O aumento dos teores de argila entre as camadas de 0 a 5 cm e 40 a 60 cm nos tratamentos NPK, EfPK, Ef e Controle foi de 14,07, 13,42, 16,03 e 11,66%, respectivamente.

Na safrinha (Tabela 89), o tratamento NPK na camada de 40 a 60 cm obteve o maior teor de argila entre todos os tratamentos e camadas (40,24%). Foi observada uma diferença estatística entre as camadas de todos os tratamentos. Os maiores níveis de argila foram encontrados nas camadas de 10 a 20 cm, 20 a 40 cm e 40 a 60 cm: 37,27, 38,31 e 40,24% no tratamento NPK; 38,08, 38,81 e 38,54% no tratamento EfPK; 38,49, 37,67 e 38,98% no tratamento Ef; e 35,66, 36,10 e 37,38% na Controle. O aumento dos teores de argila entre as camadas 0 a 5 cm e 40 a 60 cm para os tratamentos NPK, EfPK, Ef e Controle foi de 11,13, 8,85, 11,23 e 16,59%, respectivamente.

Na safra, o solo apresentou teores médios de 59,51 % de areia, 5,77 % de silte e 34,72 % de argila na camada 0 a 5 cm; 59,09% de areia, 6,32% de silte e 34,59% de

argila na camada 5 a 10 cm; 56,53% de areia, 6,47% de silte e 36,99 % de argila na camada de 10 a 20 cm; e 54,43% de areia, 6,82% de silte e 38,75 % de argila na camada de 20 a 40 cm; e 52,98% de areia, 6,66% de silte e 40,35 % de argila na camada de 40 a 60 cm.

Na safrinha, o solo apresentou para as camadas de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20, 20 a 40 e 40 a 60 cm, o solo obteve teores médios de 61,64% de areia, 3,97% de silte e 34,39% de argila na camada 0a 5 cm; 60,25% de areia, 3,98% de silte e 35,78% de argila na camada 5 a 10 cm; 59,31% de areia, 3,81% de silte e 36,88% de argila na camada de 10 a 20 cm; 58,13% de areia, 4,02% de silte e 37,85% de argila na camada de 20 a 40 cm; e 57,18% de areia, 4,02% de silte e 38,79% de argila na camada de 40 a 60 cm.

Esses maiores teores de areia nas camadas superficiais do solo (0 a 5cm, 5 a 10 cm e 10 a 20 cm) e maiores teores de argila nas camadas mais profundas (20 a 40 cm e 40 a 60 cm) explicam os maiores valores de condutividade elétrica do solo nas duas camadas de solo mais profundas. Uma maior drenagem nas camadas mais superficiais do solo, devido ao maior teor de areia, pode contribuir para a lixiviação dos sais contidos no EET aplicado via irrigação por sulcos e nos adubos minerais, favorecendo um maior acúmulo desses sais nas camadas mais profundas do solo, com maior teor de argila.

4.8.3.2 Densidade do solo

Para a variável densidade do solo (g dm^{-3}) no sulco de irrigação, não ocorreu diferença significativa entre os tratamentos em todas as camadas nos dois ciclos avaliados (Tabela 90 e 91). No entanto, observaram-se diferenças estatística entre as diferentes camadas de solo analisadas.

Tabela 90 – Análise de variância e valores médios da densidade do solo (g dm^{-3}) no sulco de irrigação realizada ao final do ciclo, nas camadas de 0 – 5 cm, 5 – 10 cm, 10 – 20 cm, 20 – 40 cm e 40 – 60 cm de solo, na cultura do milho em função dos tratamentos NPK, EfPK, Ef e Controle, em dezembro de 2021 (safra).

Tratamentos	0 - 5 cm	5 - 10 cm	10 - 20 cm	20 - 40 cm	40 - 60 cm
NPK	1,39 a A	1,48 a A	1,50 a A	1,49 a A	1,45 a A
EfPK	1,47 a A	1,52 a A	1,51 a A	1,47 a A	1,41 a A
Ef	1,42 a B	1,51 a AB	1,57 a A	1,48 a AB	1,40 a B
Controle	1,40 a BC	1,54 a A	1,58 a A	1,52 a AB	1,39 a C
Tratamento	0,004 ^{NS}	0,007 ^{NS}	0,005 ^{NS}	0,001 ^{NS}	0,002 ^{NS}
Bloco	0,001 ^{NS}	0,009 ^{NS}	0,02 ^{NS}	0,003 ^{NS}	0,004 ^{NS}
Erro	0,003	0,001	0,004	0,002	0,001
C.V. (%)	3,59	2,50	4,16	3,22	2,54
Média geral	1,42	1,50	1,54	1,49	1,41

** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 91 – Análise de variância e valores médios da densidade do solo (g dm^{-3}) no sulco de irrigação realizada ao final do ciclo, nas camadas de 0 – 5 cm, 5 – 10 cm, 10 – 20 cm, 20 – 40 cm e 40 – 60 cm de solo, na cultura do milho em função dos tratamentos NPK, EfPK, Ef e Controle, em junho de 2022 (safrinha).

Tratamentos	0 - 5 cm	5 - 10 cm	10 - 20 cm	20 - 40 cm	40 - 60 cm
NPK	1,62 a A	1,59 a AB	1,56 a ABC	1,46 a BC	1,42 a C
EfPK	1,58 a AB	1,60 a A	1,54 a AB	1,45 a B	1,45 a B
Ef	1,58 a AB	1,62 a A	1,59 a AB	1,46 a BC	1,43 a C
Controle	1,62 a A	1,62 a A	1,57 a ABC	1,48 a BC	1,47 a C
Tratamento	0,002 ^{NS}	0,001 ^{NS}	0,0013 ^{NS}	0,001 ^{NS}	0,0012 ^{NS}
Bloco	0,011 ^{NS}	0,01 ^{NS}	0,009 ^{NS}	0,018 ^{NS}	0,021 ^{NS}
Erro	0,002	0,002	0,005	0,007	0,002
C.V. (%)	2,69	2,72	4,48	5,54	3,33
Média geral	1,60	1,61	1,57	1,46	1,44

** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Na primeira avaliação de densidade do solo (ds) no sulco de irrigação realizada em dezembro de 2021 (Tabela 90), percebe-se que nos tratamentos NPK e EfPK não apresentaram diferença estatística entre diferentes profundidades, indicando uma estabilidade da ds em termos de profundidade do solo. No entanto, na segunda avaliação realizada em junho de 2022, foi observado diferença estatística entre profundidades para os tratamentos NPK e EfPK (Tabela 91). Os menores valores de ds nos tratamentos NPK e EfPK foram de 1,46 e 1,42 g dm⁻³ e 1,45 e 1,45 g dm⁻³, nas camadas 20-40 cm e 40-60 cm, respectivamente. Os maiores valores de ds foram encontrados nos tratamentos NPK e EfPK, nas camadas de 0-5 cm, 5-10 cm e 10-20 cm (1,62, 1,59 e 1,56 g dm⁻³ e 1,58, 1,60 e 1,54 g dm⁻³, respectivamente).

Como não foi observada diferença estatística entre os tratamentos, ao avaliar as médias gerais de todas as camadas, percebe-se um aumento da densidade do solo no sulco de irrigação da avaliação realizada em dezembro 2021 para a de junho de 2022 em todas as camadas, com exceção da de 20-40 cm, sendo observado um menor valor da ds na segunda avaliação. O aumento da ds foi de 0,18, 0,11, 0,03 e 0,03 g dm⁻³, para as camadas 0-5, 5-10, 10-20 e 40-60 cm, respectivamente.

Nas avaliações de densidade do solo (g dm⁻³) na linha de semeadura não foi observado diferença estatística entre os tratamentos em todas as camadas de solo na safra e safrinha (Tabela 92 e 93).

Tabela 92 – Análise de variância e valores médios da densidade do solo (g dm^{-3}) na linha de plantio realizada ao final do ciclo, nas camadas de 0 – 5 cm, 5 – 10 cm, 10 – 20 cm, 20 – 40 cm e 40 – 60 cm de solo, na cultura do milho em função dos tratamentos NPK, EfPK, Ef e Controle, em dezembro de 2021 (safra).

Tratamentos	0 - 5 cm	5 - 10 cm	10 - 20 cm	20 - 40 cm	40 - 60 cm
NPK	1,31 a B	1,35 a AB	1,45 a A	1,48 a A	1,40 a AB
EfPK	1,35 a B	1,36 a AB	1,50 a A	1,44 a AB	1,38 a AB
Ef	1,31 a B	1,35 a AB	1,48 a A	1,46 a A	1,42 a AB
Controle	1,35 a B	1,39 a B	1,46 a AB	1,55 a A	1,43 a AB
Tratamento	0,001 ^{NS}	0,001 ^{NS}	0,002 ^{NS}	0,007 ^{NS}	0,002 ^{NS}
Bloco	0,007 ^{NS}	0,002 ^{NS}	0,004 ^{NS}	0,007 ^{NS}	0,017 ^{NS}
Erro	0,004	0,002	0,002	0,002	0,006
C.V. (%)	4,62	2,96	2,91	3,00	5,46
Média geral	1,33	1,36	1,47	1,49	1,41

** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 93 – Análise de variância e valores médios da densidade do solo (g dm^{-3}) na linha de plantio realizada ao final do ciclo, nas camadas de 0 – 5 cm, 5 – 10 cm, 10 – 20 cm, 20 – 40 cm e 40 – 60 cm de solo, na cultura do milho em função dos tratamentos NPK, EfPK, Ef e Controle, em junho de 2022 (safrinha).

Tratamentos	0 - 5 cm	5 - 10 cm	10 - 20 cm	20 - 40 cm	40 - 60 cm
NPK	1,38 a C	1,52 a AB	1,62 a A	1,45 a BC	1,42 a BC
EfPK	1,46 a B	1,58 a AB	1,61 a A	1,47 a B	1,47 a B
Ef	1,42 a C	1,57 a AB	1,65 a A	1,52 a BC	1,48 a BC
Controle	1,41 a C	1,53 a B	1,65 a A	1,53 a BC	1,49 a BC
Tratamento	0,004 ^{NS}	0,002 ^{NS}	0,001 ^{NS}	0,005 ^{NS}	0,003 ^{NS}
Bloco	0,001 ^{NS}	0,008 ^{NS}	0,005 ^{NS}	0,001 ^{NS}	0,018 ^{NS}
Erro	0,001	0,002	0,002	0,003	0,004
C.V. (%)	2,56	2,76	3,14	3,55	4,20
Média geral	1,42	1,55	1,63	1,49	1,46

** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Na primeira avaliação realizada em dezembro de 2021, percebe-se que os maiores valores de ds na linha de semeadura foram encontrados nas camadas de 5-10 cm, 10-20 cm, 20-40 cm e 40-60 cm (respectivamente 1,35, 1,45, 1,48 e 1,40 g dm⁻³ no tratamento NPK; 1,36, 1,50, 1,44 e 1,38 g dm⁻³ no tratamento EfPK; e 1,35, 1,48, 1,46 e 1,42 g dm⁻³ no tratamento Ef). Na segunda avaliação realizada em junho de 2022, para os tratamentos NPK, EfPK e Ef, os maiores valores de ds na linha de semeadura foram observados apenas nas camadas de 5-10 cm e 10-20 cm (respectivamente 1,52 e 1,62 g dm⁻³ no tratamento NPK; 1,58 e 1,61 g dm⁻³ no tratamento EfPK; e 1,57 e 1,65 g dm⁻³ no tratamento Ef).

Assim como observado na ds no sulco de irrigação, ao analisar a densidade do solo na linha de semeadura, percebe-se uma maior ds na avaliação de junho de 2022 (safrinha) em todas as camadas em relação a avaliação realizada em dezembro de 2021 (safra), com exceção da camada de 20-40 cm, com os valores semelhantes nas duas avaliações. Nas camadas de 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm e 40-60 cm, o aumento da média geral da ds foi de 0,09, 0,19, 0,16 e 0,05 g dm⁻³, respectivamente.

4.8.3.3 Argila mecanicamente dispersa em água (AMDA)

A análise de variância realizada na safrinha para a variável argila mecanicamente dispersa (AMD) (g 100g de argila⁻¹), mostrou diferença estatística entre os tratamentos a 1% para a camada 5 a 10 cm, a 5% para as camadas 0 a 5 cm, 10 a 20 cm e 40 a 60 cm, e sem diferença significativa na camada 20 a 40 cm (Tabela 94). Entre as camadas analisadas, todos os tratamentos apresentaram diferença significativa.

Tabela 94 – Análise de variância e médias da variável argila mecanicamente dispersa (%) nas camadas de 0 – 5 cm, 5 – 10 cm, 10 – 20 cm, 20 – 40 cm e 40 – 60 cm de solo, na cultura do milho em função dos tratamentos NPK, EfPK, Ef e Controle, em junho de 2022.

Tratamentos	0 - 5 cm (%)	5 - 10 cm (%)	10 - 20 cm (%)	20 - 40 cm (%)	40 - 60 cm (%)
NPK	0,86 a A	1,01 a A	1,05 a A	0,58 a B	0,51 a B
EfPK	0,75 ab AB	0,78 b AB	0,88 ab A	0,64 a BC	0,48 ab C
Ef	0,63 b A	0,56 c AB	0,66 b A	0,51 a AB	0,35 b B
Controle	0,92 a A	0,85 ab A	0,72 ab AB	0,63 a B	0,41 ab C
Tratamento	0,05*	0,11**	0,09*	0,01 ^{NS}	0,15*
Bloco	0,03 ^{NS}	0,03 ^{NS}	0,07 ^{NS}	0,008 ^{NS}	0,002 ^{NS}
Erro	0,005	0,005	0,015	0,005	0,002
C.V. (%)	9,81	8,47	14,85	12,12	11,32
Média geral	0,79	0,80	0,83	0,59	0,44

** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Com exceção da camada 20 a 40 cm, onde não foi encontrada diferença significativa. As demais camadas apresentaram comportamento semelhante, com os tratamentos NPK, EfPK e Controle apresentando os maiores valores e superiores ao tratamento Ef, com exceção da profundidade 5 a 10 cm (apenas os tratamentos NPK e Controle apresentaram maiores valores) (Tabela 94). Apenas o tratamento NPK e nas camadas 5 a 10 cm e 10 a 20 cm apresentou AMDA acima de 1%. No geral a dispersão de argila em todas as camadas foi baixa.

As camadas 0 a 5 cm, 5 a 10 cm e 10 a 20 cm apresentaram os maiores valores de AMDA em todos os tratamentos, com exceção do tratamento Ef, com a camada de 20 a 40 cm também apresentando os maiores valores.

A prática da calagem superficial, muito comum em solos tropicais, adiciona íons monovalentes no solo que levam à desestruturação do solo por meio da dispersão da argila. Como nesse trabalho não foi realizada a prática de calagem, os maiores resultados obtidos nos tratamentos NPK e EfPK deve-se as altas doses de K⁺ adicionados nos tratamentos NPK e EfPK (100 e 100 kg ha⁻¹ de K, na safra e safrinha, respectivamente) em comparação a dose adicionada pelo tratamento Ef (57,8 e 14,37

kg ha⁻¹ de K, na safra e safrinha, respectivamente). A maior carga de potássio adicionada nos tratamentos NPK e Ef foi responsável por uma maior dispersão da argila. A adição de EET no solo, nas condições do estudo, não apresentou alto potencial de AMDA, pois os menores valores de AMDA foram encontrados no tratamento Ef.

6 CONCLUSÕES

Nas duas safras analisadas, a mesma dose de nitrogênio oriunda do efluente de esgoto tratado não foi capaz de proporcionar a cultura do milho um valor de produtividade igual ou superior a alcançada utilizando a ureia como fonte de nitrogênio.

O EET não foi capaz de proporcionar ao milho uma produtividade de massa fresca e seca iguais às encontradas nas plantas que receberam a adubação com fertilizantes minerais.

O efluente de esgoto tratado é capaz de produzir plantas com valores de índice de vigor de vegetação, índice de área foliar e área foliar iguais às plantas que receberam a adubação com fertilizantes minerais.

O efluente de esgoto tratado e o EET suplementado com fósforo e potássio mineral não conseguem produzir teores de clorofila iguais aos produzidos pelo tratamento NPK.

O efluente de esgoto tratado suplementado com fósforo e potássio minerais mostrou alto potencial para corrigir a acidez do solo, aumentando o pH e a saturação de bases do solo em duas safras seguidas, além de melhorar outras características químicas do solo em comparação ao uso de somente fertilizantes minerais.

Nas duas safras analisadas, o uso dos fertilizantes minerais causou um maior aumento nos teores de sais no solo entre todos os tratamentos, em comparação ao uso do EET.

Em dois ciclos seguidos, o solo se mostrou capaz de neutralizar ao final da safrinha a totalidade de coliformes termotolerantes e diminuir significativamente os coliformes totais que são adicionados com o EET, podendo ser utilizado como neutralizador desse patógeno e como um último estágio para o tratamento do EET.

Na safra, a adubação mineral, no curto prazo, apresentou uma maior atividade da enzima beta glicosidase, enquanto que na fertirrigação com ETT a atividade de microrganismos no solo aumentou de forma gradual, necessitando de 30 dias a mais para atingir seu máximo. Na safrinha, com uma dose menor do adubo mineral, foi observado o mesmo tempo da fertirrigação com EET para atingir a máxima atividade da enzima.

Somente a adição de EET no solo não gerou grandes alterações físicas no solo. Foram notadas maiores alterações da parte física do solo nos tratamentos em que foram adicionados fertilizantes minerais (tratamentos NPK e EfPK).

REFERÊNCIAS

- APHA. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (23rd ed.). Washington DC: American Public Health Association. 2017.
- PREZOTTI, L. C.; GUARÇONI, M. A. **Guia de interpretação de análise de solo e foliar**. Vitória, ES: Incaper, 2013. 104 p.
- ABRAHÃO, S. A.; PINTO, F. A. C.; QUEIROZ, D. M.; SANTOS, N. T.; GLERIANI, J. M. ALVES, E. A. Índices de vegetação de base espectral para discriminar doses de nitrogênio em capim-tanzânia. **R. Bras. Zootec.**, v.38, n.9, p.1637-1644, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982009000900001>
- ABREU, P. A. S.; COSTA, B. R. S.; OLDONI, H.; SILVA, W. T. L.; BASSOI, L. H. Corn crop responds positively to fertigation with black water from sewage treated by decentralized anaerobic system. **Ciência e Agrotecnologia**, 46:e001222, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1413-7054202246001222>
- ALBUQUERQUE, P. E. P. **Cultivo do milho**. Embrapa Milho e Sorgo. Sistemas de Produção, 6º ed., 2010.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: Guide lines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, p. 300, 1998.
- ALVES, A. S.; J. ESPÍNOLA SOBRINHO; MEDEIROS, J. F.; JUNIOR, E. G. C.; COSTA, J. P. N.; SANTOS, W. O. **Necessidades hídricas da cultura do milho sob irrigação suplementar nas condições edafoclimáticas da chapada do Apodi**. II INOVAGRI International Meeting, Fortaleza-CE, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.12702/ii.inovagri.2014-a479>
- ALVES, D. K. M.; TEIXEIRA, M. B.; CABRAL FILHO, F. R.; CUNHA, F. N.; SOARES, F. A. L.; VIEIRA, G. S.; GONÇALVES, M. V. M.; SANTOS, L. N. S. Teores de clorofilas do milho submetido a fertirrigação com água residuária de suinocultura e piscicultura. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 7, e2510716251, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i7.16251>
- ALVIM, K. R. T.; BRITO, C. H.; BRANDÃO, A. M.; GOMES, S.; LOPES, M. T. G. Quantificação da área foliar e efeito da desfolha em componentes de produção de milho. **Ciência Rural**, v. 40, n. 5, p.1017-1022, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782010000500003>
- ALVIM, K. R. T.; BRITO, C. H.; BRANDÃO, A. M.; GOMES, L. S.; LOPES, M. T. G. Redução da área foliar em plantas de milho na fase reprodutiva. **Rev. Ceres**, Viçosa, v. 58, n.4, p. 413-418, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0034-737X2011000400002>
- AITA, C.; GIACOMINI, S. J.; HÜBNER, A. P. Nitrificação do nitrogênio amoniacal de dejetos líquidos de suínos em solo sob sistema de plantio direto. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.42, n.1, p.95-102, jan. 2007.

DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2007000100013>

ALVES, D. K. M.; TEIXEIRA, M. B.; CABRAL FILHO, F. R.; CUNHA, F. N.; SOARES, F. A. L.; VIEIRA, G. S.; GONÇALVES, M. V. M.; SANTOS, L. N. S. Teores de clorofilas do milho submetido a fertirrigação com água residuária de suinocultura e piscicultura. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 7, e2510716251, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i7.16251>

AMARAL, J. A. T.; RENA, A. B.; AMARAL, J. F. T. Crescimento vegetativo sazonal do cafeeiro e suas relações com fotoperíodo, frutificação, resistência estomática e fotossíntese. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 3, p. 377-384, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2006000300002>

ANDRADE, C. L. T.; ALBUQUERQUE, P. M. P. Manejo de Irrigação. In: **Milho do plantio a colheita**. Viçosa-MG: Editora UFV, p. 178-206, 2015

ANJOS, J. L.; SOBRAL, L. F. **Fontes de Nitrogênio e Acidificação em um Argissolo dos Tabuleiros Costeiros**. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 144. Embrapa Tabuleiros Costeiros, Aracaju, SE, 2019.

ARAÚJO, N. C.; OLIVEIRA, S. J. C.; FERREIRA, T. C.; LIMA, V. L. A.; QUEIROZ, A. J. P.; ARAÚJO, F. A. C. Crescimento e produtividade de milho fertilizado com manipueira como fonte alternativa de nutrientes. **Tecnol. & Ciên. Agropec**, v. 9, n. 2, João Pessoa, p. 31-35, 2015.

ARAÚJO, L. S.; SILVA, L. G. B.; SILVEIRA, P. M.; RODRIGUES, F.; LIMA, M. L. P.; CUNHA, P. C. R. Desempenho agrônomo de híbridos de milho na região sudeste de Goiás. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 10, n. 4, p. 334-341, outubro-dezembro, 2016. DOI: 10.18227/1982-8470ragro.v10i4.3334.

ARAÚJO, N. C.; LIMA, V. L. A.; SENA, L. F.; LIMA, G. S.; ANDRADE, E. M. G.; CARDOSO, J. A. F.; OLIVEIRA, S. J. C. Produção de milho 'Potiguar' fertirrigado com água amarela e manipueira. **Revista de Ciências Agrárias**, 42(1): 166-174, 2019. DOI: <https://doi.org/10.19084/RCA18170>

ARGENTA, G.; SILVA, P.R.F. & BORTOLINI, C.G. Teor de clorofila na folha como indicador do nível de N em cereais. **Ci. Rural**, 31:715-722, 2001. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782001000400027>

ARGENTA, G.; SILVA, P. R. F.; FOSTHOFER, E. L.; STRIEDER, M. L.; SUHRE, E.; TEICHMANN, L. L. Adubação nitrogenada em milho pelo monitoramento do nível de nitrogênio na planta por meio do clorofilômetro. **R. Bras. Ci. Solo**, 27:109-119, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832003000100012>

AZEVEDO, J.; DUTRA, I. C. B.; COSTA, F. G. B.; BATISTA, R. O.; COSTA, L. R. Alterações químicas de cambissolo fertirrigado com água residuária doméstica tratada. **ACSA – Agropecuária Científica no Semi-Arido**, v.9, n. 02, p. 66 – 76, Patos, PB, 2013

AZEVEDO NETO, J. M.; FERNÁNDEZ Y FERNÁNDEZ, M. **Manual de Hidráulica**. 9° ed, São Paulo: Blucher, 2018.

BARBOSA, K. M. N. **Monitoramento espacial de biomassa e carbono orgânico da vegetação herbácea de várzea na Amazônia Central**. Tese (Doutorado em Ciências Florestais). Universidade Federal do Paraná. Curitiba-PR. 2006.

BARBOSA, R. V. R. **Estudo do campo térmico urbano de São Carlos-SP: Análise da intensidade da ilha de calor urbano em episódio climático de verão**. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental). Universidade de São Paulo. São Carlos-SP. 2009.

BARBIERI JÚNIOR, E.; ROSSIELLO, R. O. P.; SILVA, R. V. M. M.; RIBEIRO, R. C.; MORENZ, M. J. F. Um novo clorofilômetro para estimar os teores de clorofila em folhas do capim Tifton 85. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.42, n.12, p. 2242-2245, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782012005000109>

BARNES, E. M.; CLARKE, T. R.; RICHARDS, S. E.; COLAIZZI, P. D.; HABERLAND, J.; KOSTRZEWSKI, M.; WALLER, P.; CHOI, C.; RILEY, E.; THOMPSON, T.; LASCANO, R. J.; LI, H.; MORAN, M. S. **Coincident detection of crop water stress, nitrogen status and canopy density using ground-based multispectral data**. Proceedings of the 5th International Conference on Precision Agriculture, Bloomington, Minnesota, USA, 16-19 July, 2000: 1-15, 2000.

BARRETO, M. T. L.; MAGALHÃES, A. G.; ROLIM, M. M.; PEDROSA, E. M. R.; DUARTE, A. S.; TAVARES, U. E. Desenvolvimento e acúmulo de macronutrientes em plantas de milho biofertilizadas com manipueira. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.18, n.5, p.487–494, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662014000500004>

BASSOI, L. H.; REICHARDT, K. Acúmulo de matéria seca e de nitrogênio em milho cultivado no período de inverno com aplicação de nitrogênio no solo e via água de irrigação. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v. 30, n. 12, p. 1361-1373, 1995.

BATISTA, V. V.; OLIGINI, K. F.; GIARETTA, R.; RABELO, P. R.; ADAMI, P. F.; LINK, L. Densidade de plantas e doses de nitrogênio no cultivo de milho safrinha no Paraná. **Agrarian**. v.12, n.45, p. 296-307, Dourados-MS, 2019. DOI: <https://doi.org/10.30612/agrarian.v12i45.7485>

BEDBABIS, S.; ROUINA, B. B.; BOUKHRIS, M.; FERRARA, G. Effect of irrigation with treated wastewater on soil chemical properties and infiltration rate. **Journal of Environmental Management**, v. 133, p. 45-50, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.11.007>

BEGINNI, G.; ASSMAN, E. L.; RITTER, G.; BRITO, T. S. Adubação nitrogenada em diferentes estádios fenológicos na cultura do milho. **Revista Cultivando o Saber**. v, 9, n. 3, p. 1-7, 2018.

BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G. A.; COMIRAN, F.; BERGONCI, J. I.; MÜLLER, A. G.; FRANÇA, S.; SANTOS, A. O.; RADIN, B.; BIANCHI, C. A. M.; PEREIRA, P. G.

Deficit hídrico e produtividade na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 41, n. 2, p. 243-249, 2006.

DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2006000200008>

BERGAMASCHI, H.; MATZENAUER, R. **O milho e o clima**. Porto Alegre: Emater/RS-Ascar, 85p, 2014.

BERNADO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. Água no solo. In: **Manual de Irrigação**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, p. 15-44, 2009.

BESSEN, M. R.; RIBEIRO, R. H.; FIGUEROA, L. V.; PIVA, J. T. Produtividade do milho em resposta à inoculação com *Azospirillum brasilense* e adubação nitrogenada em clima subtropical. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.18, n.2, p. 257-268, 2019.

DOI: <https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v18n2p257-268>

BOLZANI, H. R.; KANIGOSKI, I. D.; OLIVEIRA, D. L. A.; POMPEI, C. M. E. Dinâmica de íons em Nitossolo e Argissolo e lixiviados sob aplicação de dejetos líquidos de suínos. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 4, p. 1-15, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i4.27509>

BORRMANN, D. **Efeito do déficit hídrico em características químicas e bioquímicas da soja e na degradação da clorofila, com ênfase na formação de metabólitos incolores**. Tese (Doutorado em Ciências dos Alimentos). Universidade de São Paulo. São Paulo-SP. 2009.

BOUWER, H. Integrated water management: emerging issues and challenges. **Agricultural Water Management**, v.45, p. 217-228, 2000.

BRAGA, F. M.; FERREIRA, E. A.; CABRAL, C. M.; FREITAS, I. C.; MACIEL, J. C.; FREITAS, M. S. S.; ASPIAZU, I.; SANTOS, J. B.; FERNANDES, L. A.; FRAZÃO, L. A.; SAMPAIO, R. A. Revisão: Crescimento de plantas C3 e C4 em resposta a diferentes concentrações de CO₂. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 7, e33810716701, 2021.

DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i7.16701>

CAMARA, F. T.; GONDIM, H. T.; MOTA, A. M. D.; NICOLAU, F. E. A.; BRITO, L. L. M.; MÁXIMO, P. J. M.; SILVA, J. M. F. Produtividade de milho verde em função do manejo da adubação na região do Cariri cearense. **Revista Cultivando o Saber**, v. 9, n. 4, p. 412-425, 2016.

CARVALHO, R. S.; SANTOS FILHO, J. S.; SANTANA, L. O. G.; GOMES, D. A.; MENDONÇA, L. C.; FACCIOLI, G. G. Influência do reuso de águas residuárias na qualidade microbiológica do girassol destinado à alimentação animal. **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 8, n. 2, p. 157-167, 2013.

DOI: <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1116>

CASTOLDI, G.; COSTA, M. S. S. M.; COSTA, L. A. M.; PIVETTA, L. A. STEINER, F. Sistemas de cultivo e uso de diferentes adubos na produção de silagem e grãos de

milho. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 33, n. 1, p. 139-146, 2011. DOI: 10.4025/actasciagron.v33i1.766

CASTRO NETO, M. T. Efeito do déficit hídrico na transpiração e resistência estomática da mangueira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 25, n. 1, p. 93-95, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-29452003000100027>

CAVINATTO, A. S.; PAGANINI, W. S. Os micronutrientes nas atividades de disposição de esgotos no solo – estudo de caso. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 12, n. 1, p. 42-51, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522007000100006>

CHIEN, S. H.; GEARHART, M. M.; COLLAMER, D. J. The effect of different ammonical nitrogen sources on soil acidification. **Soil Science**, v. 173 n. 8, p. 544-551, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1097/SS.0b013e31817d9d17>

COELHO, A. M. **Nutrição e Adubação do Milho**. Circular técnica 78. Sete Lagoas, MG Dezembro, 2006

COELHO, F. S.; FONTES, P. C. R.; PUIATTI, M.; NEVES, J. C. L.; SILVA, M. C. C. Dose de nitrogênio associada à produtividade de batata e índices do estado de nitrogênio na folha. **R. Bras. Ci. Solo**, 34:1175-1183, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000400017>

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira**. 2023. Disponível em:< https://www.conab.gov.br/component/k2/item/download/47458_af0d211f461aaca282f140c947afc938 >. Acessado em: 28 de maio de 2023.

CONAB. **Boletim de grãos - Julho de 2021**. 2022b. Disponível em:< https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos/item/download/38290_d7845cb956077dbc87cdc7fd8ba804b6>. Acessado em: 14 de maio de 2022.

COELHO, A. P.; ROSALEN, D. L.; FARIA, R. T. Vegetation indices in the prediction of biomass and grain yield of white oat under irrigation levels. **Pesq. Agropec. Trop.**, Goiânia, v. 48, n. 2, p. 109-117, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/1983-40632018v4851523>

CORRÊA, M. M.; CAVALCANTI, M. C.; PRIMO, D. C.; ROLIM NETO, F. C.; MARTINS, J. M.; MENEZES, R. S. C.; ANTONINO, A. C. D.; MENDES, I. S.; MEDEIROS, L. R. S. Wastewater reuse in irrigation: short-term effect on soil carbon and nitrogen stocks in Brazilian semi-arid region. *Rev. Ambient. Água* vol. 16 n. 1, e2623 - Taubaté 2021. DOI: <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2623>

COSTA, DWYER, L.; DUTILLEUL, P.; STEWART, P.; MA, B. L.; SMITH, D. L. Inter-relationships of applied nitrogen, SPAD, and yield of leafy and non-leafy maize genotypes. **Journal of Plant Nutrition**, v.24, n.8, p.1173-1194, 2001. DOI: 10.1081/PLN-100106974.

COSTA, M. S.; COSTA, Z. V. B.; ALVES, S. M. C.; FERREIRA NETO, M.; MARINHO, M. J. C. Avaliação nutricional do milho cultivado com diferentes doses de efluente doméstico tratado. **Irriga**. Botucatu-SP, Edição Especial, p. 12-26, 2012. DOI: <https://doi.org/10.15809/irriga.2012v1n01p12>

COSTA, Z. V. B.; GURGEL, M. T.; COSTA, L. R.; ALVES, S. M. C.; FERREIRA NETO, M. Efeito da aplicação de esgoto doméstico primário na produção de milho no assentamento Milagres (Apodi-RN). **Rev. Ambient. Água**, v. 9 n. 4 Taubaté, 2014. DOI: <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1417>

COSTA, A. G.; SOUZA, L. S.; COVA, A. M. W.; CORREIA, M. R. S. Produção de coentro em resposta a diferentes doses de água residuária da mandioca. **Agroecossistemas**, v. 13, n. 1, p. 145 – 162, 2021.

CYPRIANO, J. A.; SILVA, J. O.; SOUZA, V. L.; PEREIRA, S. M. L.; ROCHA, F. A. Influência do lodo de esgoto da estação de tratamento de efluentes nos atributos microbiológicos do solo. **Agrarian academy**, Goiânia-GO, v.6, n.12, p. 36-47, 2019. DOI: 10.18677/Agrarian_Academy_2019b4

DELBEM, F. C.; SCABORA, M. H.; SOARES FILHO, C. V.; HEINRICHS, R.; CROCIOLLI, C. A.; CASSIOLATO, A. M. R. Fontes e doses de adubação nitrogenada na atividade microbiana e fertilidade do solo cultivado com *Brachiaria brizantha*. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 33, n. 2, p. 361-367, Maringá, 2011. DOI: 10.4025/actasciagron.v33i2.3946

DUARTE, A. P.; KIEHL, J. C.; CAMARGO, M. A. F.; RECO, P. C. Acúmulo de matéria seca e nutrientes em cultivares de milho originárias de clima tropical e introduzidas de clima temperado. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.2, n.3, p.1-20, 2003. DOI: <https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v2n03p%25p>

EIVAZI, F.; TABATABAI, M. A. Glucosidases and galactosidases in soils. **Soil Biol. Biochem.** 20:601–606.1988. DOI: 10.1016/0038-0717(88)90141-1

ELAMIN, A. W. M.; SAEED, A. B.; RAHMA, A. E.; ELDAIAM, A. M. A.; MOHAMENDAI, G. Productivity of Maize (*Zea mays*) and Sorghum (*Sorghum bicolor* L.) Using Treated Wastewater for Irrigation. **Sudan J. Des. Res.** Vol. 11 (1) :58-70, 2019

EMBRAPA. **Tecnologia social amplia papel em projetos ambientais de olho em novos modelos de gestão rural**. 2021. Disponível em:< <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/63463853/tecnologia-social-amplia-papel-em-projetos-ambientais-de-olho-em-novos-modelos-de-gestao-rural>>. Acessado em: 21 de maio de 2022.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Caracterização**. 2022. Disponível em:< <http://www.cppse.embrapa.br/meteorologia/index.php?pg=caracterizacao>>. Acessado em: 12 de maio de 2022.

ERTHAL, V. J. T.; FERREIRA, P. A.; MATTOS, A. T.; PEREIRA, O. G. Alterações físicas e químicas de um Argissolo pela aplicação de água residuária de bovinocultura. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.14, n.5, p.467–477, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662010000500003>

FANCELLI, A. L. Ecofisiologia, fenologia e implicações básicas de manejo. In: BORÉM, A.; GALVÃO, J. C. C.; PIMENTEL, M. A. **Milho: do plantio a colheita**. Viçosa-MG: Ed. UFV, p. 50-76, 2015.

FARINELLI, R.; PENARIOL, F. G.; BORDIN, L.; COICEV, L.; FORNASIERI FILHO, D. Desempenho agrônomo de cultivares de milho nos períodos de safra e safrinha. **Bragantia**, Campinas, v.62, n.2, p.235-241, 2003

FAUSTINO, A. S. **Estudos físico-químicos do efluente produzido por fossa séptica biodigestora e o impacto no seu uso no solo**. Dissertação (Mestrado em Química). Universidade Federal de São Carlos. São Carlos-SP, 2007.

FAVORETTO, C. M.; GONÇALVES, D.; MILORI, D. M. P. B.; ROSA, J. A.; LEITE, W. C.; BRINATTI, A. M.; SAAB, S. C. Determinação da humificação da matéria orgânica de um latossolo e de suas frações organo-minerais. **Quim. Nova**, Vol. 31, No. 8, 1994-1996, 2008

FERNADES, F. A.; FERNANDES, A. H. B. M. **Cálculo dos estoques de carbono do solo sob diferentes condições de manejo**. Comunidade técnica 69. Dezembro, 2008 Corumbá, MS

FERNANDES, C. N. D.; RODRIGUES, A. M. G.; VIANA, T. V. A.; FERNANDES, C. N. V.; SOBREIRA, A. E. A.; AZEVEDO, B. M. Crescimento do milho verde sob lâminas de irrigação e adubação foliar silicatada. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 12, n. 4, p. 2789 – 2798, 2018. DOI: 10.7127/rbai.v12n400985

FERREIRA, D. F. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Symposium**, v. 6, p. 36-41, Lavras-MG, 2008.

FIORINI, I. F. A.; VON PINHO, R. G.; PEREIRA, H. D.; PIRES, L. P. M.; FIORINI, F. V. A.; RESENDE, E. L. Acúmulo de matéria seca, clorofila e enxofre foliar em milho adubado com diferentes fontes de enxofre. **J. Bioen. Food Sci.**, v.4, n.1, p.1-11, 2017.

FIESP. **Safra Mundial de Milho 2021/22 - 11º Levantamento do USDA**. 2022. Disponível em:< <https://www.fiesp.com.br/arquivo-download/?id=281418>>. Acessado em: 14 de maio de 2022.

FIRMINO, M. C.; FARIAS, M. S. S.; MEDEIROS, S. S.; GUERRA, H. O. C.; GUIMARÃES, J. P. Características químicas do solo influenciadas pela adição de água residuária tratada sob cultivo do pinhão manso. **ACSA - Agropecuária Científica no Semi-Árido**, v. 11, n. 2, p. 32-37, Patos-PB, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.30969/acsa.v11i2.629>

FORNASIERI FILHO, D. **Manual da cultura do milho**. Jaboticabal: Funep, 2007. 547p.

FORTES NETO, P.; VEIGA, P. G. A.; FORTES, N. L. P.; TARGA, M. S.; GADIOLI, J. L.; PEIXOTO, P. H. M. Alterações químicas do solo e produção de aveia fertilizada com água residuária do tratamento de esgoto sanitário. **Rev. Ambient. Água**, v. 8, (suplemento), Taubaté-SP, 2013.
DOI: 10.4136/ambi-agua.1368

FREDLUND, M.D.; FREDLUND, D.G.; WILSON, G.W. An equation to represent grain-size distribution. **Canadian Geotechnical Journal**, v.37, p.817-827, 2000.
DOI: <https://doi.org/10.1139/t00-015>

GALINDO, N.; SILVA, W. T. L.; NOVAES, A. P.; GODOY, L. A.; SOARES, M. T. S.; GALVANI, S.; MARMO, C. R.; ROMERO, P. A. L. **Perguntas e Respostas: Fossa Séptica Biodigestora Edição revisada e ampliada**. São Carlos, SP: Embrapa Instrumentação, 34p, 2019.

GARCIA, G. O.; FERREIRA, P. A.; MATOS, A. T., RUIZ, H. A.; MARTINS FILHO, S. Alterações químicas em três solos decorrentes da aplicação de águas residuárias da lavagem e despolpa de frutos do cafeeiro conilon. **Engenharia na Agricultura**, v.16, n.4, p. 416-427, Viçosa-MG, 2008.
DOI: <https://doi.org/10.13083/reveng.v16i4.58>

GARCIA, G. O.; RIGO, M. M.; CECÍLLIO, R. A.; REIS, E. F.; BAUER, M. O.; RANGEL, O. J. P. Propriedades químicas de um solo cultivado com duas forrageiras fertirrigadas com esgoto doméstico tratado. **Rev. Bras. Ciênc. Agrár.** Recife-PE, v.7, suppl., p.737-742, 2012. DOI:10.5039/agraria.v7isa1906

GAZOLA, D.; ZUCARELLI, C.; SILVA, R. R.; FONCESA, I. C. B. Aplicação foliar de aminoácidos e adubação nitrogenada de cobertura na cultura do milho safrinha. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.18, n.7, p.700–707, 2014.
DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662014000700005>

GOES, R. J.; RODRIGUES, R. A. F.; ARF, O.; VILELA, R. G. Nitrogênio em cobertura para o milho (*Zea mays* L.) em sistema plantio direto na safrinha. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.11, n.2, p. 169-177, 2012.
DOI: [10.18512/1980-6477/rbms.v11n2p169-177](https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v11n2p169-177)

GONÇALVES, I. Z.; GARCIA, G.O.; RIGO, M. M.; REIS, E. F.; TOMAZ, M. A. Soil fertility cultivated with conilon coffee after application of treated wastewater. **Coffee Science**, v. 9, n. 1, p. 110-121, 2014.

GUARESCHI, R. F.; BRASIL, R. B.; PERIN, A.; RIBEIRO, J. M. M. Produção de silagem de híbridos de milho e sorgo sem nitrogênio de cobertura em safra de verão. **Pesq. Agropec. Trop.**, Goiânia-GO, v. 40, n. 4, p. 541-546, out./dez. 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1983-40632010000400016>

HANASHIRO, R. K.; MINGOTTE, F. L. C.; FORNASIERI FILHO, D. Desempenho fenológico, morfológico e agrônomo de cultivares de milho em Jaboticabal-SP. **Científica**, Jaboticabal-SP, v.41, n.2, p.226–234, 2013.
DOI: <https://doi.org/10.15361/1984-5529.2013v41n2p226-234>

HENRIQUES, H. J. R.; SCHWAMBACK, D. A.; FERNANADES, V. J. M.; CORTEZ, J. W. Vegetation indices and their correlation with second-crop corn grain yield in Mato Grosso do Sul, Brazil. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 20, e1195, 2021.
DOI: <https://doi.org/10.18512/rbms2021v20e1195>

HURTADO, S. M. C.; SILVA, C. A.; RESENDE, A. V.; CORAZZA, E. J.; SHIRATSUCHI, L. S.; HIGASHIKAWA, F. S. Sensibilidade do clorofilômetro para diagnóstico nutricional de nitrogênio no milho. **Ciênc. agrotec.**, Lavras-MG, v. 34, n. 3, p. 688-697, 2010.
DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-70542010000300023>

HURTADO, S. M. C.; RESENDE, A. V.; SILVA, C. A.; CORAZZA, E. J.; SHIRATSUCHI, L. S. Clorofilômetro no ajuste da adubação nitrogenada em cobertura para o milho de alta produtividade. **Ciência Rural**, v.41, n.6, jun, 2011.
DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782011005000074>

JESUS, F. L. F.; SANTOS, O. N. A.; TALMAMINI JÚNIOR, M. V.; GOMES, T. M.; ROSSI, F.; ROMÁN, R. M. S. Águas residuárias para irrigação no brasil: uma abordagem química, física e microbiológica. **Irriga**, Botucatu, v. 25, n. 3, p. 562-589, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2020v25n3p562-589>

KANKE, Y, TUBAÑA, B, DALEN, M E HARRELL, D. Evaluation of red and red-edge reflectance-based vegetation indices for rice biomass and grain yield prediction models in paddy fields. **Precision Agriculture**, v. 17, n.5, p. 507-530, 2016. DOI: 10.1007/s11119-016- 9433-1

KAPPES, C.; CARVALHO, M. A. C.; YAMASHITA, O. M.; SILVA, J. A N. Influência do nitrogênio no desempenho produtivo do milho cultivado na segunda safra em sucessão à soja. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia-GO, v. 39, n. 3, p. 251-259, 2009. DOI:[10.5216/pat.v39i3.5756](https://doi.org/10.5216/pat.v39i3.5756)

KOPPER, C. V.; MEERT, L.; KRENSKI, A.; BORGHI, W. A.; OLIVEIRA NETO, A. M.; FIGUEIREDO, A. S. T. Produtividade de milho segunda safra em função de diferentes velocidades de semeadura e densidade de plantas. **Pesq. agropec. pernamb.**, Recife-PE, 22, e201701, 2017.
DOI: <https://doi.org/10.12661/pap.2017.003>

KROSS, A., MCNAIRN, H., LAPEN, D., SUNOHARA, M., & CHAMPAGNE, C. Assessment of RapidEye vegetation indices for estimation of leaf area index and biomass in corn and soybean crops. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, 34(1), 235-248, 2015.
DOI: 10.1016/j. jag.2014.08.002

KUNZ, J. H.; BERGONCI, J. I.; BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G. A.; HECKLER, B. M. M.; COMIRAN, F. Uso da radiação solar pelo milho sob diferentes preparos do

solo, espaçamento e disponibilidade hídrica. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília-DF, v.42, n.11, p.1511-1520, nov. 2007.

DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2007001100001>

LACERDA, S. M. P.; SILVA, J. O.; ROCHA, F. A.; OLIVEIRA, J. T.; SILVA, T. O.; NORONHA, R. H. F.; ALMEIDA, T. F.; FERRAZ, L. L. Reaproveitamento do lodo de esgoto da ETE do Município de Vitória da Conquista na produção de mudas da *Leucanthemum maximum*. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba-PR, v.8, n.1, p. 1279-1288, 2022. DOI:10.34117/bjdv8n1-082

LEVIEN, S. L. A. **Irrigação por superfiie: sistemas de irrigação por superfície**. Mossoró-RN, 2003. DOI:[10.13140/RG.2.2.24595.20009](https://doi.org/10.13140/RG.2.2.24595.20009)

LI, F., MIAO, Y., FENG, G., YUAN, F., YUE, S., GAO, X., LIU, Y., LIU, B., USTIN, S. L., CHEN, X. Improving estimation of summer maize nitrogen status with red edgebased spectral vegetation indices. **Field Crops Research**, v. 157, p. 111-123, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2013.12.018>.

LOBATO, R.; MENEZES, J.; LIMA, L. A.; SAPIENZA, J. A. Índice de vegetação por diferença normalizada para análise da redução da mata atlântica na região costeira do distrito de tamoios – Cabo Frio/RJ. **Caderno de Estudos Geoambientais – CADEGEO**. v.01, n.01, p.14-22, 2010.

LOZANO, C. S.; TONELLO, T. U.; BORTOLETTO, E. C.; ARAÚJO, M. A.; TONELLO, A. P. Resposta do capim mombaça (*Panicum maximum* cv. mombaça) submetido à aplicação de água residuária de abatedouro de aves. **Enciclopédia biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.11 n.22; p. 3796-3805, 2015. DOI:[10.18677/Enciclopedia_Biosfera_2015_267](https://doi.org/10.18677/Enciclopedia_Biosfera_2015_267)

MANFRON, P. A.; DOURADO NETO, D.; PEREIRA, A. R.; BONNECARRÈRE, R. A. G.; MEDEIROS, S. L. P.; PILAU, F. G. Modelo do índice de área foliar da cultura de milho. **Rev. Bras. Agrometeorologia**, v. 11, n. 2, p. 333-342, 2003.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M.; CARNEIRO, N. P.; PAIVA, E. **Fisiologia do Milho**. Circular técnica 22, Sete Lagoas, MG, 2002.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M. **Fisiologia da Produção de Milho**. Circular Técnica 76, Sete Lagoas-MG, 2006.

MAGALHÃES, A. G.; ROLIM, M. M.; DUARTE, A. S.; BEZERRA NETO, E.; TABOSA, J. N.; PEDROSA, E. M. R. Desenvolvimento inicial do milho submetido à adubação com manipueira. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.18, n.7, p.675–681, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662014000700001>

MANTOVANI, E. C.; BERNADO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação princípios e métodos**. 3ª ed., Viçosa-MG: Ed. UFV, 355p., 2013.

MARCUSSI, A. B.; BUENO, C. R. P.; MIQUELONI, D. P.; ARRAES, C. L. Utilização de índices de vegetação para os sistemas de informação geográfica. **Caminhos de Geografia**. Uberlândia-MG, v. 11, n. 35, p. 41 – 53, 2010.

MARQUES, M. S.; SILVA, A. A. F.; GABRIEL FILHO, L. R. A.; PUTTI, F. F.; GÓES, B. C. Análise bibliométrica sobre o uso de água residuária na agricultura. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 3, e30311326105, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i3.26105>

MARTIN-NETO, L. ; MILORI, D. M. B. P. ; DA SILVA, W. T. L. ; SIMOES, M. L. . EPR, FTIR, Raman, UV-visible light absorption and fluorescence spectroscopies in studies of humic substances. In: N. Senesi, B. Xing, P.M. Huang. (Org.). **Biophysico-Chemical Processes Involving Natural Organic Matter in Environmental Systems**. Hoboken, New Jersey: Wiley IUPAC Series, 2009, v. , p. 651-728.

MARTINS, K. V.; DOURATO-NETO, D.; REICHARDT, K.; FAVARIN, J. L.; SARTORI, F. F.; FELISBERTO, G.; MELLO, S. C. Maize dry matter production and macronutrient extraction model as a new approach for fertilizer rate estimation. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 89, p. 705-716, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0001-3765201720160525>

MEDEIROS, A. S.; NOBRE, R. G.; ALVES, F. I. S.; QUEIROZ, M. M. F.; SOUSA, E. P.; SILVA, I. A. **Crescimento vegetativo de plantas de berinjela em função da irrigação com água residuária, adubação nitrogenada e fosfatada**. III INOVAGRI International Meeting, Fortaleza-CE, p. 2159-2169, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.12702/iii.inovagri.2015-a232>

MEDEIROS, L. C.; SANTOS, J. S.; LIMA, V. L. A.; NASCIMENTO, M. T. C. C.; MEDEIROS, M. R. J. C. Morfometria de girassóis irrigados com água residuária e adubado com diferentes doses de nitrogênio. **Braz. J. of Develop.**, Curitiba, v. 6, n. 3, p. 14936-14950, mar. 2020. DOI:10.34117/bjdv6n3-391

MELLONI, R.; ABRAHÃO, R. S.; MOREIRA, F. M. M.; FURTINI NETO, A. E. Impacto de resíduo siderúrgico na microbiota do solo e no crescimento de eucalipto. **Revista Árvore**, v.24, n.3, p.309-315, 2000.

MENEGHINI, L. A.; LOPES, C. L.; ANDRADE, E. A.; ZANÃO JÚNIOR, L. A. Fontes e doses de adubação nitrogenada na cultura do milho segunda safra. **Revista Cultivando o Saber**. v. 13, n. 1, p. 1-8, 2020.

MICHELON, D.; ZAMBERLAN, J. F.; OLIVEIRA NETO, D.; SAMPAIO, M. I. R. Use of remote Sensing with VANTs: possibility of acquisition of data for agriculture. **Ciência & Tecnologia**, Cruz Alta v. 3, n. 1, p. 23-35, 2019.

MOK, H. F.; DASSANAYAKE, K. B.; HEPWORTH, G.; HAMILTON, A. J. Field comparison and crop production modeling of sweet corn and silage maize (*Zea mays* L.) with treated urban wastewater and freshwater. **Irrig Sci**, 32, 351–368, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00271-014-0434-4>

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

DOI: <https://doi.org/10.32404/rean.v5i1.2202>

MOTA, J. H.; PORTUGAL FILHO, C. C.; Características agronômicas e produtividade de milho safrinha em função de fontes e doses de nitrogênio. **Revista Agrotecnologia**, Ipameri-GO, v.7, n.2, p.47-52, 2016.

DOI: 10.12971/2179-5959/agrotecnologia.v7n2p47-52

MOTA E SILVA, J. R.; OLIVEIRA, L. F. C.; FIA, R. Aplicação de efluente de estação de tratamento de esgoto em solo cultivado com grama esmeralda (*Zoysia japonica*).

Engenharia na Agricultura, v. 27, n. 2, p. 157-169, 2019. DOI:

10.13083/revenge.v27i2.871

MOTTA, J. L. G.; FONTANA, D. C.; WEBER, E. Evolução temporal do NDVI/NOAA em áreas cobertas por pixels com proporções variáveis de soja. **Rev. Bras. Agrometeorologia**, v. 11, n. 2, p. 353-360, 2003.

Agrometeorologia, v. 11, n. 2, p. 353-360, 2003.

MOURA, P. G.; ARANHA, F. N.; HANDAM, N. B.; MARTIN, L. E.; SALLES, M. J.; CARVAJAL, E.; JARDIM, R.; SOTERO-MARTINS, A. Água de reúso: uma alternativa sustentável para o Brasil. **Eng Sanit Ambient**, v.25, n.6, p. 791-808, 2020. DOI:

<https://doi.org/10.1590/S1413-4152202020180201>

MOUSAVI, R. S.; SHAHSAVARI, M. Effects of Treated Municipal Wastewater on Growth and Yield of Maize (*Zea mays*). **Biological Forum – An International Journal**, 6(2): 228-233, 2014. DOI: [10.2166/wst.2012.624](https://doi.org/10.2166/wst.2012.624)

Journal, 6(2): 228-233, 2014. DOI: [10.2166/wst.2012.624](https://doi.org/10.2166/wst.2012.624)

MUKAKA, M. M. Statistics corner: a guide to appropriate use of correlation coefficient in medical research. **Malawi Medical Journal**, v. 24, n. 3, p. 69-71, 2012.

NAIME, J.M.; VAZ, C.M.P.; MACEDO, A. Automated soil particle size analyzer based on gamma-ray attenuation. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.31, n.3, p. 295–304, 2001.

DOI: [https://doi.org/10.1016/S0168-1699\(00\)00188-5](https://doi.org/10.1016/S0168-1699(00)00188-5)

NAKAO, A. H.; RODRIGUES, R. A. F.; SOUZA, M. F. P.; DICKMANN, L.; CATALANI, G. C.; CENTENO, D. P. Aplicação de composto orgânico e adubo químico no feijoeiro e seu efeito residual sobre a cultura do milho. **Cultura Agronômica**, Ilha Solteira-SP, v.25, n.4, p.387-400, 2016.

Cultura Agronômica, Ilha Solteira-SP, v.25, n.4, p.387-400, 2016.

DOI: <https://doi.org/10.32929/2446-8355.2016v25n4p387-400>

NAZÁRIO, A. A.; MATSURA, E. E.; GONÇALVES, I. Z.; BARBOSA, E. A. A.; SANTOS, L. N. S. **Atividade microbiana em solo cultivado com cana-de-açúcar irrigado com esgoto doméstico tratado**. Elementos da natureza e propriedades do solo, v. 2, Atena Editora, Ponta Grossa-PR, p. 58-66, 2018.

Atividade microbiana em solo cultivado com cana-de-açúcar irrigado com esgoto doméstico tratado. Elementos da natureza e propriedades do solo, v. 2, Atena Editora, Ponta Grossa-PR, p. 58-66, 2018.

NEUMANN, M.; SNDINI, I. E.; LUSTOSA, S. B. C.; OST, P. R.; ROMANO, M. A.; FALBO, M. K.; PANSERA, E. R. Rendimentos e componentes de produção da planta de milho (*Zea mays* L.) para silagem, em função de níveis de adubação nitrogenada em cobertura. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.4, p.418-427, 2005.

Revista Brasileira de Milho e Sorgo, v.4, p.418-427, 2005.

DOI: <https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v4n03p%25p>

NOGUEIRA, S. F.; CARMO, J. B.; MONTES, C. R.; VICTORIA, R. L.; RAVAGNANI, E. C.; BARUFALDI, R. O. Indicadores eco-fisiológicos da Indicadores eco-fisiológicos da qualidade de um solo irrigado com esgoto tratado. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, Campina Grande-PB, v.9, (Suplemento), p.138-142, 2005.

DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v9nsupp138-142>

OLIVEIRA, J. F. A. **Manejo da Adubação Nitrogenada no Consórcio entre Milho e Soja Para Produção de Silagem**. Dissertação (Mestrado em Zootecnia). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia. Rio Verde-GO. 2018.

OLIVEIRA, T. J. J. **Fossa séptica biodigestora: limitações e potencialidades de sua aplicação para o tratamento de águas fecais em comunidades rurais**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto-MG. 2018a.

OLIVEIRA, B. R.; GUEDES, M. C.; LIRA-GUEDES, A. C.; MARMO, C. R.; SARGES, R. C.; COSTA, J. P. B. **Construção do sistema de fossa séptica biodigestora adaptada para várzeas estuarinas do Rio Amazonas**. Brasília, DF: Embrapa, 32p, 2018b.

OLIVEIRA, F. A.; SILVA, J. C.; SANTOS, D. P.; BARRETO, J. A. S.; SILVA, C. B.; SANTOS, M. A. L.; SANTOS, V. R. Níveis crescentes de irrigação e maior densidade de plantas aumentam a produtividade do milho verde. **Braz. J. of Develop.**, Curitiba, v. 6, n. 7, p. 43371-43381 jul. 2020.

DOI:10.34117/bjdv6n7-088

PANDOLFO, C. M.; VOGT, G. A.; BALBINOT JÚNIOR, A. A.; GALLOTTI, G. J. M.; ZOLDAN, S. R. Desempenho de milho inoculado com *Azospirillum brasilense* associado a doses de nitrogênio em cobertura. **Agropecuária Catarinense**, v.27, n.3, p. 94-99, 2015.

PEREIRA, A. C. A.; GARCIA, M. L. Efeitos da disposição de lodo de estações de tratamento de efluentes (ETE) de indústria alimentícia no solo: estudo de caso. **Eng Sanit Ambient**, v.22, n.3, p. 531-538, 2017.

DOI: 10.1590/S1413-41522016152945

PESSOA, J. L.; FREIRE, A. L. O.; COSTA, A. S. Trocas gasosas de plantas de *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC) Mattos submetidas ao déficit hídrico e posterior reidratação. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v.16, n.3, p. 269-276, 2017. DOI: 10.5965/223811711632017269

PHAM, H.Q.; FREDLUND, D.G. Equations for the entire soil-water characteristic curve of a volume change soil. **Canadian Geotechnical Journal**, v.45, p.443-453, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1139/T07-117>

PIAS, O. H. C.; LOWE, M. A.; DAMIAN, J. M.; SANTI, A. L.; TREVISAN, R. Componentes de rendimento e produtividade de híbridos de milho em função de doses de NPK e de deficit hídrico em estádios fenológicos críticos. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages-SC, v.16, n.4, p.422-432, 2017.

DOI: <http://dx.doi.org/10.5965/223811711642017422>

POVH, F. P.; MOLIN, J. P.; GIMENEZ, L. M.; PAULETTI, V.; MOLIN, R.; SALVI, J. V. Comportamento do NDVI obtido por sensor ótico ativo em cereais. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília-DF, v.43, n.8, p.1075-1083, ago. 2008.

DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2008000800018>

PONZONI, F. J. Comportamento espectral da vegetação. In: MENESES, P. R.; MADEIRA NETO, J. S. **Sensoriamento remoto: Refletância dos alvos naturais**. Brasília, DF: UNB. Planaltina: Embrapa Cerrados. 262p, 2001.

PROLAGOS. **Sistema de esgotamento**. Disponível em:<

<https://www.prolagos.com.br/esgotamento-sanitario/>>. Acessado em: 18 de maio de 2022.

QUEIROZ, F. M.; MATOS, A. T.; PEREIRA, O. G.; OLIVEIRA, R. A. Características químicas de solo submetido ao tratamento com esterco líquido de suínos e cultivado com gramíneas forrageiras. **Ciência Rural**, Santa Maria-RS, v.34, n.5, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782004000500024>

RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 1997.

RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Análise química da fertilidade dos solos tropicais**. Campinas-SP: Instituto Agronômico de Campinas, 2001.

REBOUÇAS, J. R. L.; FERREIRA NETO, M.; DIAS, N. S.; GOMES, J. W. S.; GURGEL, G. C. S.; QUEIROZ, I. S. R. Qualidade de mudas de sabiá irrigadas com efluente doméstico. **FLORESTA**, Curitiba, PR, v. 48, n. 2, p. 173-182, 2018. DOI: [10.5380/rev.v48i2.54366](https://doi.org/10.5380/rev.v48i2.54366)

REZAPOUR, S.; NOURI, A.; JALIL, H. M.; HAWKINS, S. A.; LUKAS, S. B. Influence of Treated Wastewater Irrigation on Soil Nutritional-Chemical Attributes Using Soil Quality Index. **Sustainability**, 13(4):1952, 2021.

DOI: <https://doi.org/10.3390/su13041952>

RIBAS, T. B. C.; FORTES NETO, P.; Disposição no solo de efluentes de esgoto tratado visando à redução de coliformes termotolerantes. **Ambi-água**, v. 3, n. 3, p. 81-94, Taubaté-SP, 2008. DOI: [10.4136/ambi-agua.63](https://doi.org/10.4136/ambi-agua.63)

RICE, E. W.; BAIRD, R. B.; EATON, A. D.; CLESCERI, L. S. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 23° ed, 1496p, 2017.

RISSINI, A. L. L.; KAWAKAMI, J.; GENÚ, A. M. Índice de Vegetação por Diferença Normalizada e Produtividade de Cultivares de Trigo Submetidas a Doses de Nitrogênio. **R. Bras. Ci. Solo**, 39:1703-1713, 2015.

DOI: [10.1590/01000683rbcs20140686](https://doi.org/10.1590/01000683rbcs20140686)

ROCHA, D. F.; OLIVEIRA, G. M.; ALMEIDA, L. R. C.; PEREIRA, A. V. A.; SANTOS, G. V. S.; SILVA, C. P. Necessidades hídricas e térmicas de milho verde no Submédio do Vale do São Francisco. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 10, e3219108492, 2020.

DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i10.8492>

ROCKENBACH, M. D. A.; ALVAREZ, J. W. R.; FOIS, D. A. F.; TIECHER, T. KARAJALLO, J. C.; TRINIDAD, S. A. Eficiência da aplicação de *Azospirillum* brasileiro associado ao nitrogênio na cultura do milho. **Acta Iguazu**, Cascavel-PR, v.6, n.1, p. 33-44, 2017. DOI: <https://doi.org/10.48075/actaiguaz.v6i1.16558>

ROSA, P. A. L. **Acúmulo de matéria seca, extração e exportação de nutrientes por híbridos de milho inoculados com *Azospirillum brasilense***. Dissertação (Mestrado em Agronomia –Sistemas de Produção). Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Ilha Solteira-SP. 2017.

ROUSE, J. W. et al. Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation. **Progress Report RSC 1978-1**, [s. l.], 1973.

RUIZ, R. L. **Microbiologia Zootécnica**. São Paulo: Livraria Roca, 314p, 1992.

SALGADO, V. C.; SOUZA FILHO, E. J.; GAVAZZA, S.; FLORENCIO, L.; KATO, M. T. Cultivo de melancia no semiárido irrigado com diferentes lâminas de esgoto doméstico tratado. **Eng Sanit Ambient.**, v.23, n.4, p. 727-738, 2018. DOI: 10.1590/S1413-41522018161706

SAMPAIO, M. I. R.; KUNZ, A.; HILLEBRAND, F. L.; ZAMBERLAN, J. F.; IDALINO, F. D. Análise dos índices de vegetação NDVI e NDRE em imagens obtidas por meio de sensor embarcado em um RPAS para as culturas da soja (*Glycine max*) e milho (*Zea mays*) irrigados. **Rev. bras. Geom.**, Curitiba-PR, v. 9, n. 4, p. 350-362, 2021. DOI: [10.3895/rbgeo.v9n4.14449](https://doi.org/10.3895/rbgeo.v9n4.14449)

SANDRI, D.; ROSA, R. R. B. Atributos químicos do solo irrigado com efluente de esgoto tratado, fertirrigação convencional e água de poço. **Irriga**, Botucatu-SP, v. 22, n. 1, p. 18-33, 2017.

DOI: <http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2017v22n1p18-33>

SANGOI, L. Understanding plant density effects on maize growth and development: an important issue to maximize grain yield. **Ciência Rural**, Santa Maria-RS, v.31, p. 159-168, 2001.

DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782001000100027>

SANTOS, M. M.; GALVÃO, J. C. C.; SILVA, I. R.; MIRANDA, G. V.; FINGER, F. L. Épocas de aplicação de nitrogênio em cobertura na cultura do milho em plantio direto, e alocação do nitrogênio (15N) na planta. **R. Bras. Ci. Solo**, 34:1185-1194, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000400018>

SANTOS, V. A.; RAMOS, J. D.; OLIVEIRA, M. C.; MAGALHÃES, D. S.; FAGUNDES, M. C. P.; LUIZ, P. H. D. Formação de mudas de mamoeiro utilizando água residuária

de laticínio nos substratos. **Rev. Ciênc. Agrov.**, Lages-SC, 17(4): 2018a.

DOI: <https://doi.org/10.5965/223811711732018498>

SANTOS, C. K.; SANTANA, F. S.; RAMOS, F. S. M.; FACCIOLI, G. G.; GOMES FILHO, R. R. Impacto do uso de efluentes nas características do solo cultivado com quiabo (*Abelmoschus esculentus* L). **Rev. Bras. Agric. Irr.**, Edição Especial, V WINOTEC, Fortaleza-CE, v.12, n. 4, p. 2776 – 2783, 2018b.

DOI: 10.7127/rbai.v12n400975

SANTOS, D. B.; AZEVEDO, D. O.; SOUZA, J. A. A.; SIMÕES, W. L.; RODRIGUES, C. S.; ARAÚJO, R. O. F.; SOUZA, M. C.; CARVALHO, C. M.;

SANTOS, L. V. C. Uso de esgoto doméstico na produção da palma forrageira.

Brazilian Journal of Development, Curitiba-PR, v.7, n.9, p. 88639-88650, 2021.

DOI:10.34117/bjdv7n9-159

SARTORELLI, P. A. R.; SILVA, J. M. S.; GORENSTEIN, M. R.; GOMES, J. E.;

ÁVILA, E. Q. Rebrotas após fogo de espécies arbóreas de diferentes grupos

fenológicos foliares em cerrado stricto sensu. **Revista científica eletrônica de engenharia florestal**, Garça. n. 10, 2007.

SCALOPPI, E. J. Irrigação por superfície. In: MIRANDA, J. H.; PIRES, C. R. M.

Irrigação. Piracicaba: FUNEP, 2003. p. 311-470.

SCHERER, K.; GRANADA, C. E.; STÜLP, S.; SPEROTTO, R. A. Avaliação

bacteriológica e físico-química de águas de irrigação, solo e alface (*Lactuca sativa* L.). **Rev. Ambient. Água**, v. 11, n. 3, Taubaté-SP, 2016.

DOI: <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1829>

SCHRODER, J. L.; ZHANG, H.; GIRMA, K.; RAUN, W. R.; PENN, C. J. Soil Acidification from Long-Term Use of Nitrogen Fertilizers on Winter Wheat. **Soil Fertility & Plant Nutrition**, v. 75, n. 3, 2011.

DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj2010.0187>

SEGATTO, C.; CONTE, R.; LAJÚS, C. R.; DA LUZ, G. L. Relação da leitura do

clorofilômetro com o rendimento da cultura do milho em diferentes níveis de suprimento de nitrogênio. **Sci. Agrar. Parana.**, Marechal Cândido Rondon-PR, v. 16, n. 2, p. 253-259, 2017.

DOI: <http://dx.doi.org/10.18188/1983-1471/sap.v16n1p253-259>

SENA, C. C. R.; FERREIRA, A. A.; SILVA, V. C. R. Mudança dos atributos químicos do solo após a aplicação de água residuária. **Revista de Biotecnologia & Ciência**, v.9, n.2, p.1-10, Ipameri-GO, 2020

SEVERO, P. J. S. **Produção de milho verde sob déficit hídrico em associação à bactérias promotoras do crescimento ou Co+Mo**. Dissertação (Mestrado em Horticultura tropical). Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande-PB. 2021.

SHIMAZAKI, K.; DOI, M.; ASSMANN, S. M.; KINOSHITA, T. Light Regulation of Stomatal Movement. **Annu. Rev. Plant Biol.**, v. 58, p. 219–47, 2007.

DOI: 10.1146/annurev.arplant.57.032905.105434

SILVA, M. A. V.; FERREIRA, W. M. P.; ANDRADE, V. M. S.; COSTA, J. M. N. Influência das condições microclimáticas no crescimento do milho BRS 106, cultivado sob sementeira direta. **Revista de Ciências Agrárias**, 39(3): 383-394, 2016.

SILVA, J. G. D.; CARVALHO, J. J.; LUZ, J. M. R.; SILVA, J. E. C. Fertigation with domestic wastewater: uses and implications. **African Journal of Biotechnology**, Nairobi, v. 15, n. 20, p. 806-815, 2016. DOI: [10.19084/RCA15117](https://doi.org/10.19084/RCA15117)

SILVA, W. T. L.; MARMO, C. R.; LEONEL, L. F. **Memorial Descritivo: Montagem e Operação da Fossa Séptica Biodigestora**. Embrapa Instrumentação São Carlos - SP, 32p, 2017.

SILVA, F. W. A.; PORTELA, J. C.; GONDIM, J. E. F.; OLIVEIRA, V. N. S. Matéria orgânica e suas inter-relações com os atributos físicos do solo. In. SEABRA, G. (Org.). **Terra Habitats Urbanos e Rurais**. Ituiutaba: Barlavento, p. 255-263, 2019.

SILVA, P. F.; SANTOS, M. A. L.; SOUZA, J. V. R. S.; SILVA, D. M. P.; FERRARI, J. M. S.; SAAD, J. C. C. Uso racional da água e da adubação nitrogenada no milho (*Zea mays* L.) irrigado por gotejamento em cultivo de outono/inverno. **Irriga**, Botucatu, v. 25, n. 2, p. 296-314, 2020.
DOI: <http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2020v25n2p296-314>

SILVA, J. R. I.; SOUZA, E.; LEITE, M. L. M. V.; BARROS JÚNIOR, G.; LIMA, J. R. S.; SALES, A. T. Características estruturais e acúmulo de fitomassa do milheto sob diferentes regimes de irrigação com água residuária e adubação orgânica. **Irriga**, Botucatu-SP, Edição Especial - Nordeste, v. 1, n. 1, p. 206-220, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2021v1n1p206-220>

SIMÕES, K. S.; PEIXOTO, M. F. S. P.; ALMEIDA, A. T.; LEDO, C. A. S.; PEIXOTO, C. P.; PEREIRA, F. A. C. Água residuária de esgoto doméstico tratado na atividade microbiana do solo e crescimento da mamoneira. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.17, n.5, p.518–523, 2013.
DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013000500008>

SOARES, M. A. S.; TEODORO, I.; SILVA, S.; CANTARELLI, A. L. D.; FERREIRA JÚNIOR, R. A.; MOURA, A. H. Fenologia, componentes de produção e rendimento agrícola do milho sob lâminas de irrigação na região de Rio Largo, Alagoas. **Irriga**, Botucatu-SP, v. 25, n. 2, p. 279-295, 2020.
DOI: <http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2020v25n2p279-295>

SORATTO, R. P.; PEREIRA, M.; COSTA, T. A. M.; LAMPERT, V. N. Fontes alternativas e doses de nitrogênio no milho safrinha em sucessão à soja. **Rev. Ciênc. Agron.**, v. 41, n. 4, p. 511-518, 2010.
DOI: <https://doi.org/10.1590/S1806-66902010000400002>

SOUZA, J. A. A.; BATISTA, R. O.; RAMOS, M. M.; SOARES, A. A. Contaminação microbiológica do perfil do solo com esgoto sanitário. **Acta Scientiarum Technology**, Maringá-PR, v. 33, n. 1, p. 5-8, 2011.
DOI: 10.4025/actascitechnol.v33i1.5350

SOUZA, T. C.; MAGALHÃES, P. C.; CASTRO, E. M.; ALBUQUERQUE, P. E. P.; MARABESI, M. A. The influence of ABA on water relation, photosynthesis parameters, and chlorophyll fluorescence under drought conditions in two maize hybrids with contrasting drought resistance. **Acta Physiol Plant**, v. 35, p. 515–527, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11738-012-1093-9>

STEWART, H. T. L.; HOPMANS, P.; FLINN, D. W. Nutrient accumulation in trees and soil following irrigation with municipal effluent in Australia. **Environmental Pollution**, v. 63, p. 155-170, 1990

STREIT, N. M.; CANTERLE, L. P.; CANTO, M. W.; HECKTHEUER, L. H. H. As Clorofilas. **Ciência Rural**. Santa Maria-RS, v. 35, n. 3, p. 748-755, 2005.
DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782005000300043>

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6. ed. – Porto Alegre: Artmed, 858p, 2017.

TEIXEIRA, A. A. D. **Avaliação da acurácia radiométrica de imagem dos sensores sequoia e MSI na cultura da aveia preta**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre-RS. 2019.

TESTEZLAF, R. **Irrigação: métodos, sistemas e aplicações**. Campinas-SP: Unicamp/FEAGRI, 2017.

VAN RAIJ, B.; GHEYI, H. R.; BATAGLIA, O. C. Determinação da condutividade elétrica e de cátions solúveis em extratos aquosos de solo. In: VAN RAIJ, B.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas, Instituto Agrônomo, 2001.

VAZ, C. M. P.; OLIVEIRA, J. C. M.; REICHARDT, K.; CRESTANA, S.; CRUVINEL, P. E.; BACCHI, O. O. S. Soil mechanical analysis through gamma ray attenuation. **Cremlingen**, v.5, p.319-325, 1992.

VAZ, C.M.P.; IOSSI, M.F.; NAIME, J.M.; MACEDO, A.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; COOPER, M. Validation of the Arya and Paris Water Retention Model for Brazilian Soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.69, n.3, p.577–583, 2005. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj2004.0104>

VELOSO, C. A. C.; CARVALHO, E. J. M.; SILVA, A. R.; SILVEIRA FILHO, A.; SOUZA, F. R. S. Manejo da adubação nitrogenada no cultivo do milho sob sistema de plantio direto em diferentes densidades de semeadura. **Braz. J. of Develop.**, Curitiba, v. 6, n. 10, p. 82467-82477, 2020.
DOI:10.34117/bjdv6n10-614

VENANCIO, L. P.; FILGUEIRAS, R.; CUNHA, F. F.; SILVA, F. C. S.; SANTOS, R. A.; MANTOVANI, E. C. Mapping of corn phenological stages using NDVI from OLI and MODIS sensors. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 41, n. 5, p. 1517-1534, 2020. DOI: [10.5433/1679-0359.2020v41n5p1517](https://doi.org/10.5433/1679-0359.2020v41n5p1517)

VIAN, A. L.; BREDEMEIER, C.; SILVA, P. R. F.; SANTI, A. L.; GIORDANO, C. P. S.; SANTOS, F. L. Limites críticos de NDVI para estimativa do potencial produtivo do milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.17, n.1, p. 91-100, 2018. DOI: <https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v17n1p91-100>

VIAN, A. L.; BREDEMEIER, C.; DRUM, M. A.; PIRES, J. L. F.; FOCHESSATTO, E. Vegetation sensors as a tool for plant population identification and corn grain yield estimation. **Pesq. Agropec. Trop.**, Goiânia, v. 51, e66926, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/1983-40632021v5166926>

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. **Meteorologia básica e aplicações**. Viçosa, MG: UFV, 1991.

VIECELLI, C. P.; FILLWOCK, J. M.; SUZIN, V. Efeito do desfolhamento das plantas na produtividade do milho. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, Guarapuava-PR, v. 4, n.3, p.179-190, 2011. DOI: <https://doi.org/10.5777/paet.v4i3.1440>

VON PINHO, R. C.; BORGES, I. D.; PEREIRA, J. L. A. R.; REIS, M. C. Marcha de absorção de macronutrientes e acúmulo de matéria seca em milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.8, n.2, p. 157-173, 2009. DOI: <https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v8n02p%25p>

WHITEHEAD, D.C. Grassland nitrogen. Wallingford: CAB International, 1995. 352p

WHO. **Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater**. v. 1, 114p., 2005.

YAN, F.; SCHUBERT, S.; MENGEL, K. Soil pH increase due to biological decarboxylation of organics anions. **Soil Biology & Biochemistry**. v. 28, p. 617-624, 1996. DOI: [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(95\)00180-8](https://doi.org/10.1016/0038-0717(95)00180-8)

YERLI, C.; SAHIN, U.; ORS, S.; KIZILOGLU, F. M. Improvement of water and crop productivity of silage maize by irrigation with different levels of recycled wastewater under conventional and zero tillage conditions. **Agricultural Water Management** 277 (2023) 108100. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.108100>

YI, L.; SHENJIAO, Y.; SHIQING, L.; XINPING, C.; FANG, C. Growth and development of maize (*Zea mays* L.) in response to different field water management practices: Resource capture and use efficiency. **Agricultural and Forest Meteorology**. Amsterdam, v. 150, n. 4, p. 606-613, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2010.02.003>

ZOLIN, C. A.; PAULINO, J.; BERTONHA, A.; FREITAS, P. S. L.; FOLEGATTI, M. V. Estudo exploratório do uso da vinhaça ao longo do tempo. I. Características do solo. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.15, n.1, p.22–28, 2011

ZOZ, T.; LANA, M. C.; STEINER, F.; ZOZ, A.; ZOZ, J.; ZUFFO, A. M. Densidade populacional, espaçamento e adubação nitrogenada na semeadura de milho de segunda safra. **Rev. Agro. Amb.**, v. 12, n. 1, p. 103-125, jan./mar. 2018.
DOI:10.17765/2176-9168.2019v12n1p103-125

ZUCARELI, C.; OLIVEIRA, M. A.; SPOLAOR, L. T.; FERREIRA, A. S. Desempenho agronômicos de genótipos de milho de segunda safra na região Norte do Paraná. **Scientia Agrarias Paranaensis**, v. 12, n. 3, p. 227-235, 2013.
DOI: <https://doi.org/10.18188/sap.v12i3.5593>