

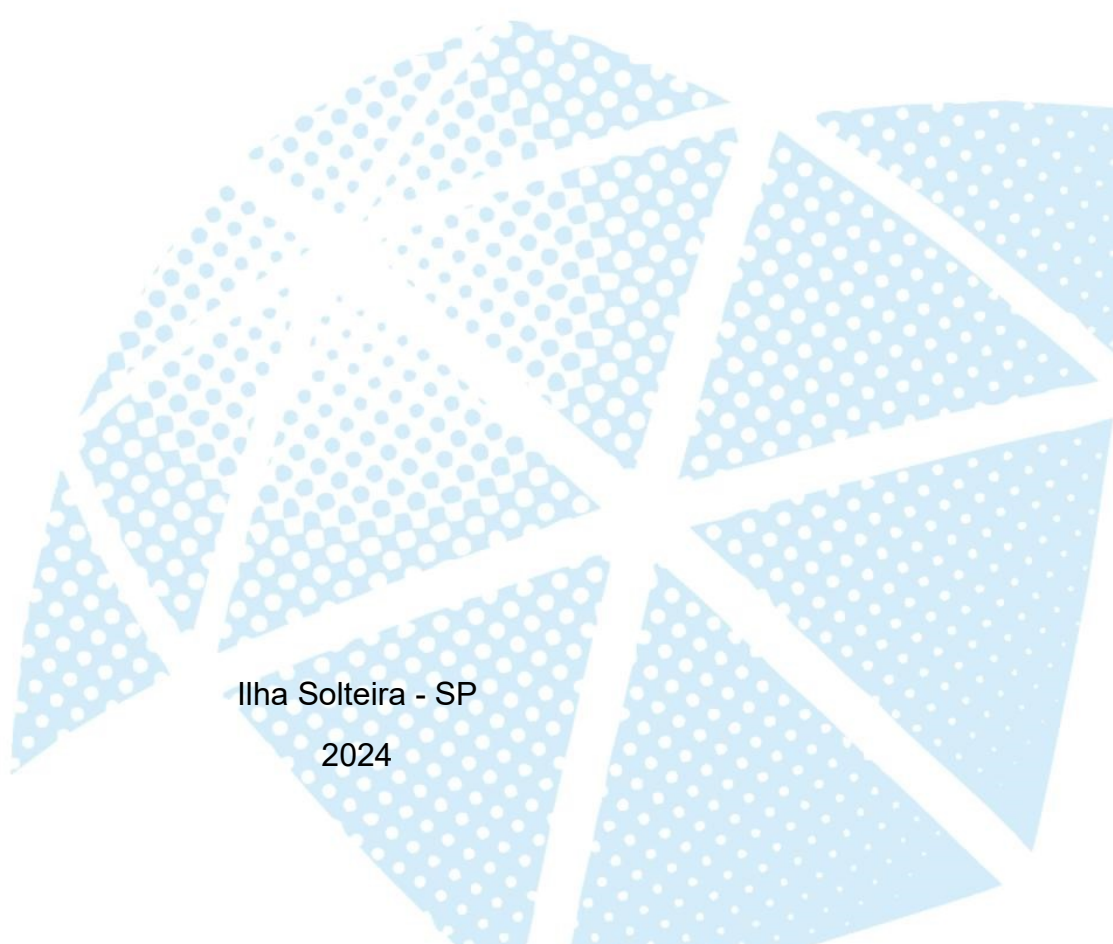
**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

LUIS AURELIO SANCHES

**PLANTIO DIRETO NO CERRADO: características agronômicas do milho sob
influência da calagem, culturas de cobertura e adubação nitrogenada**

Ilha Solteira - SP

2024



LUIS AURELIO SANCHES

PLANTIO DIRETO NO CERRADO: características agronômicas do milho sob influência da calagem, culturas de cobertura e adubação nitrogenada

Tese apresentada à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira, para obtenção do título de Doutor em Agronomia

Área de concentração: Sistemas de Produção

Orientador: Prof. Dr. Edson Lazarini

Ilha Solteira - SP

2024

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvida pela Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação

S211p Sanches, Luis Aurelio.
Plantio direto no cerrado: características agronômicas do milho sob influência da calagem, culturas de cobertura e adubação nitrogenada / Luis Aurelio Sanches. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2024
53 f. : il.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Sistemas de Produção, 2024

Orientador: Edson Lazarini
Inclui bibliografia

1. Calcário. 2. Sustentabilidade do SPD. 3. Zea mays. 4. Crotalária juncea. 5. Milheto. 6. Nitrogênio.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: PLANTIO DIRETO NO CERRADO: características agronômicas do milho sob influência da calagem, culturas de cobertura e adubação nitrogenada

AUTOR: LUIS AURELIO SANCHES

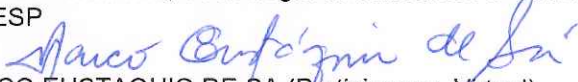
ORIENTADOR: EDSON LAZARINI

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em Agronomia, área: Sistemas de Produção pela Comissão Examinadora:



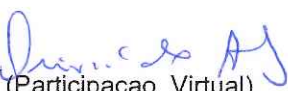
Prof. Dr. EDSON LAZARINI (Participação Virtual)

Departamento de Fitotecnia, Tecnologia de Alimentos e Socio-Economia / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP



Prof. Dr. MARCO EUSTAQUIO DE SA (Participação Virtual)

Departamento de Fitotecnia, Tecnologia de Alimentos e Socio-Economia / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP



Prof. Dr. ORIVALDO ARF (Participação Virtual)

Departamento de Fitotecnia, Tecnologia de Alimentos e Socio-Economia / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP

Prof. Dr. AGUINALDO JOSÉ FREITAS LEAL (Participação Virtual)

Curso de Agronomia / Universidade Federal do Triângulo Mineiro - UFTM



Documento assinado digitalmente

AGUINALDO JOSE FREITAS LEAL

Data: 28/02/2024 17:12:45-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Pesquisador Dr. WANDER LUÍS BARBOSA BORGES (Participação Virtual)

Polo Regional de Votuporanga / Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios



Documento assinado digitalmente

WANDER LUIS BARBOSA BORGES

Data: 29/02/2024 12:18:56-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Ilha Solteira, 28 de fevereiro de 2024

Dedico este trabalho à minha falecida mãe, por acreditar em mim e, principalmente, me apoiar incondicionalmente nos meus estudos. Infelizmente, ela não está mais presente neste plano, mas está acompanhando minha vitória lá de cima.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pela minha existência e por estar ao meu lado em todos os momentos, nas lutas e nas vitórias.

Aos meus pais, por todo apoio desde o momento que eu saí de casa para cursar agronomia.

À minha companheira Nathalia, por todo amor e apoio que tem dedicado a mim nesses quase 5 anos juntos. Esteve comigo durante todo meu doutorado, com certeza foi um apoio fundamental para concluir esta etapa.

Aos meus amigos que foram um ponto de apoio durante toda a graduação, todo o mestrado e o doutorado. Sem amigos não somos nada.

Um agradecimento especial aos amigos-irmãos da República Zona Rural, hoje extinta, que, com toda certeza, foram uma família que a faculdade me permitiu cultivar.

Aos meus professores, que durante toda minha jornada acadêmica, puderam construir um pedaço de quem sou hoje.

Aos meus alunos aqui na UNESP, das turmas de Fruticultura e de Floricultura e Paisagismo, foi uma experiência gratificante poder lecionar disciplinas como bolsista no ensino superior em uma universidade de renome como a UNESP. Com certeza um grande aprendizado.

Aos meus alunos da ETEC Jales e aos meus alunos da EE Ana Maria de Souza, pela incrível experiência de transmitir conhecimento de agricultura a jovens com futuros promissores e vê-los se interessar mais pela Agronomia.

Aos amigos do grupo de pesquisa, que sempre foram solícitos quanto ao apoio na execução das atividades dos experimentos.

Aos funcionários da UNESP, por todo apoio durante minha jornada acadêmica, nas execuções de atividades, seja na FEPE, nos laboratórios, até mesmo durante as aulas.

Ao meu orientador Prof. Dr. Edson Lazarini, por ter me acolhido como seu orientado e por todo conhecimento transmitido, além, é claro, da paciência que lhe é característica.

Aos membros da banca examinadora por terem aceito o desafio de corrigir, avaliar e contribuir para este trabalho.

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

RESUMO

O Brasil possui grande importância na produção de milho, sendo essa produção realizada em grande em solos localizados em região de cerrado. O Sistema Plantio Direto (SPD) que surgiu como uma ferramenta de conservação do solo se difundiu e tornou-se um sistema altamente tecnificado e usado em boa parte do país. Para garantir a sustentabilidade desse sistema, é fundamental a produção de palhada e construir a fertilidade do solo. Para isto a correção do solo é primordial, sendo o uso de culturas de cobertura e calagem ferramentas basilares para atingir esse objetivo. Este trabalho teve por objetivo identificar a influência dos tratamentos com aplicação de calcário e gesso, doses de N e duas plantas de cobertura nas características agrônômicas e nutrição na cultura do milho e no pH e teor de matéria orgânica do solo, em um experimento de SPD de longa duração, realizado na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão da UNESP, Campus de Ilha Solteira, localizado em Selviria – MS. O delineamento utilizado foi em blocos casualizados em esquema fatorial 5 x 3 x 2, sendo 5 tratamentos com uso de calcário e gesso aplicados ao longo de 20 anos, (T1: 8,05 Mg ha⁻¹ de calcário; T2: 13,70 Mg ha⁻¹ de calcário; T3: 8,86 Mg ha⁻¹ de calcário + 3,7 Mg ha⁻¹ de gesso; T4: 12,89 Mg ha⁻¹ de calcário + 3,7 Mg ha⁻¹ de gesso; T5 0,81 Mg ha⁻¹ de calcário), 3 doses de N (0, 90, 180), 2 culturas de cobertura (Milheto e Crotalária). Foram avaliados os cultivos 2021/2022 e 2022/2023 quando foi cultivado o milho. Avaliou-se características agrônômicas, produtividade e avaliação nutricional em ambos os cultivos, e, em 2022/2023, analisou-se os teores de MO e pH no solo. Foram identificados efeitos positivos da aplicação de calagem nas características agrônômicas, como altura das plantas, altura de inserção de espiga, comprimento de espiga, diâmetro de espiga e produtividade. Também foi identificado efeito da calagem na absorção de cálcio, e no pH do solo. A adubação nitrogenada apresentou efeitos de incremento na produtividade e diâmetro da espiga, influenciou na absorção de N, P, S, Cu, Zn e Mg e causou a redução do pH do solo. As plantas de cobertura não influenciaram o pH e MO do solo e a produtividade. Houve interação entre os três fatores avaliados para diâmetro da espiga, número de grãos por fileira e absorção de Mg em 2021/2022 e para comprimento de espiga em 2022/2023. A aplicação de calcário e gesso se demonstrou essencial para a sustentabilidade do SPD. Mesmo após mais de 20 anos de plantio direto utilizando leguminosa (crotalária) e gramínea (milheto) a cultura do milho apresentou resposta significativa a adubação nitrogenada. Milheto e crotalária se apresentam como opções viáveis para uso como culturas de cobertura, antecedendo o cultivo de milho verão.

Palavras-chave: calcário; *Crotalária juncea*; milheto; nitrogênio; sustentabilidade do SPD; *Zea mays*.

ABSTRACT

Brazil plays a significant role in maize production, with this production mainly carried out in soils located in the cerrado region. No-Tillage System (NTS), which emerged as a soil conservation tool, has spread widely and become a highly technified system used in a large part of the country. To ensure the sustainability of this system, straw production and soil fertility building are fundamental. Soil correction is paramount, with the use of cover crops and liming being fundamental tools to achieve this goal. This study aimed to identify the influence of treatments with lime and gypsum application, nitrogen doses, and two cover crops on agronomic characteristics and crop nutrition in maize culture, as well as on soil pH and organic matter content. The experiment was conducted in a long-term no-till system at the Teaching, Research, and Extension Farm of UNESP, Ilha Solteira Campus, located in Selviria – MS. The experimental design was a randomized block design in a 5 x 3 x 2 factorial scheme, with 5 treatments of lime and gypsum applied over 20 years (T1: 8.05 Mg ha⁻¹ lime; T2: 13.70 Mg ha⁻¹ lime; T3: 8.86 Mg ha⁻¹ lime + 3.7 Mg ha⁻¹ gypsum; T4: 12.89 Mg ha⁻¹ lime + 3.7 Mg ha⁻¹ gypsum; T5: 0.81 Mg ha⁻¹ lime), 3 nitrogen doses (0, 90, 180), and 2 cover crops (Pearl millet and Sunn hemp). Maize crops in 2021/2022 and 2022/2023 were evaluated. Agronomic characteristics, yield, and nutritional evaluation were assessed in both crops, and soil organic matter and pH were analyzed in 2022/2023. Positive effects of liming on agronomic characteristics such as plant height, ear insertion height, ear length, ear diameter, and yield were identified. Liming also affected calcium absorption and soil pH. Nitrogen fertilization increased productivity and ear diameter, influenced the absorption of N, P, S, Cu, Zn, and Mg, and reduced soil pH. Cover crops did not influence soil pH, organic matter, or productivity. Interaction between the three evaluated factors was observed for ear diameter, number of grains per row, and Mg absorption in 2021/2022, and for ear length in 2022/2023. Lime and gypsum application proved essential for the sustainability of the no-till system. Even after more than 20 years of direct planting using legumes (Sunn hemp) and grasses (Pearl millet), maize culture showed a significant response to nitrogen fertilization. Pearl millet and Sunn hemp are viable options for use as cover crops preceding summer maize cultivation.

Keywords: *Crotalaria juncea*; limestone; millet; nitrogen; NTS sustainability; *Zea mays*;

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	9
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
2.1	Sistema Plantio Direto (SPD)	11
2.2	Plantas de Cobertura	12
2.3	Calagem e Gessagem	13
2.4	Adubação nitrogenada na cultura do milho	15
3	MATERIAL E MÉTODOS	16
3.1	Localização	16
3.2	Histórico da área	16
3.3	Avaliações realizadas	22
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	24
4.1	Ano Agrícola 2021-2022.....	24
4.2	Ano Agrícola 2022/2023.....	35
	CONCLUSÕES.....	47
	REFERÊNCIAS	48

1 INTRODUÇÃO

O Brasil ocupa importante posição na produção global de milho, produzindo na safra 2022/2023 cerca de 132 milhões de toneladas (Conab, 2023), destacando a importância deste cereal para a agricultura brasileira, reforçando a demanda de constantes evoluções tecnológicas em seu cultivo. Em dados publicados do Censo Agropecuário de 2017 (IBGE, 2019) o Estado do Mato Grosso do Sul ocupa a terceira posição no ranking dos estados produtores de milho, com área produzida de mais de 1,8 milhões de hectares.

Com predominância de solos de baixa fertilidade natural, como Latossolos, com alta disponibilidade de alumínio e grande fixação de fósforo (Castro; Crusciol, 2013), o cerrado, bioma no qual está inserido boa parte do Estado do Mato Grosso do Sul, constitui-se como principal área de produção de grãos no país (Souza *et al.*, 2016).

Se destaca como principal tecnologia de cultivo de grãos no mundo todo, mas principalmente no cerrado, o Sistema de Plantio Direto (SPD) devido a inúmeros benefícios relacionados à estrutura do solo e liberação de nutrientes às culturas (Tavares *et al.*, 2019). Outro efeito conhecido é o aumento do estoque de carbono através da matéria orgânica particulada, quando comparado com o sistema convencional (Bayer *et al.*, 2004).

Para garantir o sucesso do SPD, produzir biomassa e manter o solo coberto de palhada é muito importante, devendo a escolha de plantas de cobertura preconizar características como: adaptação ao clima e solo da região, bem como a habilidade de se desenvolver em ambiente menos favorável (Alvarenga *et al.*, 2001). Plantas gramíneas, comparadas às leguminosas, possuem uma relação C/N maior, o que retarda a decomposição, aumentando a permanência da palhada no solo (Fernandes *et al.*, 2019), tornando-as uma excelente opção para clima quente como o que predomina no Bioma Cerrado.

Além da cobertura do solo, a rotação de cultura é importante pilar do SPD. Alternando cultivos entre gramíneas e leguminosas, há um melhor aproveitamento nutricional através da ciclagem de nutrientes, favorecendo uma palhada de boa qualidade para o cultivo seguinte, garantindo melhorias nos atributos químicos e físicos do solo (Mendonça *et al.*, 2013; Costa *et al.*, 2015).

A utilização de adubação nitrogenada no SPD ganha papel de destaque, ao se pensar na adubação como um todo, fazendo parte de um sistema (Zanella *et al.*,

2023), pois enquanto leguminosas possuem a capacidade de fixar N via fixação biológica, gramíneas são mais dependentes do N orgânico disponível no solo e da adubação nitrogenada. Outra prática é realizar a adubação pensando na disponibilidade do N na palhada, realizando a inversão de adubação ou antecipação da adubação (Sirino *et al.*, 2023; Zanella *et al.*, 2023).

A aplicação de calcário é uma técnica muito usada na agricultura desde os primórdios da revolução verde, com objetivo de realizar a correção da acidez do solo, elevando o seu pH, além da neutralização de elementos tóxicos às plantas (Besen *et al.*, 2021). No Brasil o calcário ganha papel importante, visto que cerca de 70% dos solos são considerados dependentes do calcário devido a acidez (Pereira, 2007). Contudo a calagem em solos com maior teor de matéria orgânica, como os solos cultivados por longos períodos em sistema de plantio direto, apresentam uma dinâmica diferente, devido a capacidade da matéria orgânica formar quelatos com o Al^{3+} , reduzindo naturalmente o efeito tóxico deste elemento (Bortolini *et al.*, 2016). Além disso, nesse sistema esse corretivo não é incorporado ao solo.

Neste sentido, é de suma importância entender a influência da aplicação superficial de calcário, a utilização de doses de N e de diferentes culturas de cobertura a fim de garantir a sustentabilidade dos sistemas agrícolas sob SPD no Cerrado. Neste contexto, este trabalho teve por objetivo identificar a influência dos tratamentos com aplicação de calcário e gesso, doses de N e duas plantas de coberturas nas características agronômicas do milho, nutrição da planta e no pH e teor de matéria orgânica do solo, em um experimento de SPD de longa duração.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Sistema Plantio Direto (SPD)

Introduzido no Brasil no fim da década de 60 na região sul, apenas como uma técnica até então, foi objetivo de pesquisas em diversas instituições, até ser difundida como um sistema que envolve uma série de tecnologias e princípios que torna o sistema de plantio direto utilizado no Brasil, uma tecnologia importantíssima para a qualidade da produção agrícola, envolvendo a conservação do solo, controle de erosão, sequestro de carbono, além de complementar a biodiversidade dos solos e contribuir para o ciclo hidrológico (Motter; Almeida, 2015).

No cerrado, o SPD foi implantado na década de 80, com objetivo de diminuir os efeitos da erosão, melhorar a conservação do solo, reduzir custos com combustíveis, devido o menor uso de operações mecanizadas, melhorar a produtividade e o lucro (Bolliger *et al.*, 2006; Corbeels *et al.*, 2016).

O fato de não haver o revolvimento do solo garante uma melhor cobertura do solo, protegendo contra erosão, melhorando as propriedades físico-químicas e hidrológicas do solo (Londero *et al.*, 2021). A ausência de operações como aração e gradagem proporciona uma economia de combustível no sistema, além de uma melhor eficiência no tempo de semeadura, uma vez que não há a necessidade de um preparo do solo (Zotarelli *et al.*, 2012).

O estoque de carbono é maior no SPD, principalmente quando o sistema está implantado na área a um longo período, isso porque o acúmulo de matéria orgânica é lento e gradativo, podendo ser muito baixo principalmente em regiões tropicais, onde as temperaturas são elevadas, facilitando a decomposição e mineralização da matéria orgânica (Alvarenga *et al.*, 2001; Bayer *et al.*, 2004). Estoque de carbono após 14 anos de SPD pode chegar a ser maior que o cerrado natural (Corbeels *et al.*, 2016).

O uso de gramíneas no SPD, como braquiária, implantado como planta de cobertura ou numa forma de integração lavoura-pecuária pode trazer efeitos benéficos, aumentando a agregação do solo, teor de matéria orgânica, carbono orgânico e N orgânico (Loss *et al.*, 2011).

Um dos pilares do SPD é a rotação de cultura, resultados positivos nos atributos físicos do solo foi encontrados em sucessão soja-milho, isso sem levar em conta os benefícios que poderiam ser agregados ao se utilizar outras plantas de coberturas

nesse sistema, sendo uma opção muito viável para o cerrado (Mendonça *et al.*, 2013), uma vez que é interessante a utilização de plantas que permitam boa cobertura do solo combinado com uma alta relação C/N, garantindo maior acúmulo e permanência de resíduos vegetais no solo e incorporação de C no solo (Okuma *et al.*, 2019; Xavier *et al.*, 2019).

No entanto, para o sucesso do SPD, uma série de ações precisam serem executadas, como: sistematização da lavoura, manejo adequado da fertilidade, sistema de rotação de culturas, manejo dos restos culturais e culturas de cobertura, máquinas e implementos adequados e informação, sendo esta última imprescindível para a evolução do sistema (Kochhann; Denardin, 2000; Muzilli, 2006).

Podemos afirmar que o SPD é considerado o manejo mais sustentável e eficaz a conservação do solo, por todos benefícios que promove, dos quais podemos citar redução no impacto da gota da chuva, aumento da infiltração de água, diminuição do escoamento superficial, regulação da temperatura e umidade do solo, redução de plantas daninhas, aumento do teor de MO, redução no consumo de combustível e ciclagem de nutrientes (Borges; Alves; Sá. 2015).

2.2 Plantas de Cobertura

O uso intensivo do solo, com exploração em monocultura ou sucessão contínuas de culturas como por exemplo soja-milho safrinha, tem causado prejuízos às propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. (Calegari 2006; Souza *et al.*, 2023). Sendo as plantas de cobertura uma opção para minimizar esses efeitos, e garantir a sustentabilidade do sistema (Pereira *et al.*, 2017).

Além de proporcionar uma proteção ao solo, sendo esse de início o objetivo principal, as plantas de coberturas trazem uma série de benefícios, principalmente dentro do SPD, tais como, aumentar a infiltração de água no solo, impedir o impacto das gotas da chuva com o solo, evitar perdas de água por evaporação, aumento gradativo de MO ao longo dos anos, reduzir a incidência de plantas daninhas através da competição e cobertura do solo (Calegari, 2006; Borges; Alves; Sá, 2015).

Essas plantas de coberturas, serão também parte importante da composição da cobertura morta no SPD, possuindo grande importância para o sucesso do sistema. A escolha adequada da planta de cobertura é fundamental, equilibrando características de produção de fitomassa, ciclagem de nutrientes e permanência da

palhada no solo. Em geral, gramíneas têm maior potencial de permanência no solo, devido a maior relação C/V e maior produção de fitomassa, enquanto as leguminosas se destacam pela ciclagem de nutrientes e incorporação de N (Ziech *et al.*, 2015; Souza *et al.*, 2023).

O milheto, por exemplo, gramínea muito utilizada como planta de cobertura, e na produção de palhada para SPD, principalmente na região de cerrado, tem destaque no potencial de produção de biomassa, podendo chegar até 21 Mg MS ha⁻¹, podendo chegar a teores de 1,46, 0,29 e 3,12% de N, P e K respectivamente. Enquanto a crotalária, também muito utilizada, principalmente por sua capacidade de incorporação de N, possui um potencial produtivo menor, cerca de 8 Mg MS ha⁻¹, mas pode chegar a um teor de 2,30% de N na MS (Calegari, 2006).

A cultura do milheto teve grande importância como cultura de cobertura nos anos 2000, época de instalação do experimento, sendo escolhida pelas suas características que proporcionam grande produção de massa, tendo destaque na cobertura do solo (Pereira Filho *et al.*, 2003).

2.3 Calagem e Gessagem

A correção da acidez do solo, através da calagem é fundamental em qualquer sistema de cultivo, e no SPD não seria diferente, sendo considerada requisito fundamental para a sustentabilidade do sistema, principalmente nos primeiros anos (Kochhann; Denardin, 2000).

No SPD, a calagem é aplicada na maioria das vezes superficialmente, isso porque o sistema é caracterizado pelo não revolvimento do solo, impossibilitando a incorporação a 20 cm, como ocorre no sistema convencional. Com isso, a reação no solo ocorre de forma mais superficial, pelo menos no início, podendo chegar a profundidades maiores, podendo chegar a 20, até 40 cm, dependendo do tempo e da dose aplicada. (Pauletti *et al.*, 2014; Rodighero *et al.*, 2015).

Fidalski *et al.* (2015) destacou que o revolvimento ocasional a fim de incorporação do calcário e sistema plantio direto não trouxe nenhum benefício para o sistema, e não apresentou vantagens comparada com a aplicação em superfície, reforçando ainda mais a aplicação em superfície.

Alguns autores no passado, consideravam que a aplicação de calcário em superfície deveria ser em dose inferior à recomendada, aplicações de metade da

dose, até mesmo um quarto da dose eram recomendadas (Kochhann; Denardin, 2000). Estudos mais recentes admitem aplicação em dosagem maiores, Pauletti *et al.* (2014) obtiveram resultados positivos aplicando a dose total recomendada em superfície. É claro que isso depende muito da situação e principalmente da dosagem a ser utilizada, uma vez que a aplicação em concentrações abusivas pode causar efeito negativo.

O gesso também é importante na lavoura, utilizado com o objetivo de fazer percolar nutrientes como o cálcio, magnésio e enxofre para maiores profundidades, além de formar complexo com alumínio, reduzindo a disponibilidade deste elemento tóxico (Zambrozi *et al.*, 2007; Neis *et al.*, 2010).

Pauletti *et al.* (2014) encontraram efeito positivo à adição de gesso nas culturas de milho, trigo e soja em ocorrência de déficit hídrico, alertando para a possibilidade de deficiência de magnésio caso haja uma disponibilidade satisfatória de água, visto a tendência de aumento da lixiviação deste elemento.

Zandoná *et al.* (2015) relatam incremento na produtividade de soja e milho e doses até 2 Mg ha⁻¹ de gesso, sendo observado um aumento do teor de cálcio, além de uma redistribuição de magnésio para camadas subsuperficiais. Além de uma diminuição de alumínio na camada de 20 a 40 cm.

Costa *et al.* (2016) relatam efeito positivo do calcário na redução da acidez, aumento nos teores de Ca²⁺ e Mg²⁺ em profundidade, maior disponibilidade de fósforo no solo, aumento no teor de matéria orgânica a longo prazo, aumento na absorção de N, Ca e Mg, aumento na produção de MS e produtividade de grãos de soja.

Vale destacar a importância da correção do solo e o monitoramento regular da fertilidade do solo no SPD, uma vez que o processo natural de produção causa a acidificação do solo, principalmente quando existe o cultivo de gramíneas no sistema, uma vez que essas culturas são exigentes em nitrogênio, sendo necessário a utilização de fertilizantes nitrogenados, que causam a acidificação do solo. (Kochhann; Denardin, 2000; Caires; Milla, 2015).

2.4 Adubação nitrogenada na cultura do milho

O N é um elemento imprescindível para o desenvolvimento das plantas, estando presente nos principais compostos orgânicos, relacionado ao desenvolvimento das plantas, produtividade e resposta aos estresses (Arun *et al.*, 2016). Na cultura do Milho é o nutriente absorvido em maior quantidade, e está presente nas principais reações bioquímicas da planta (Cantarela, 2007).

A cultura do milho apresenta uma boa resposta à adubação nitrogenada, independente da tecnologia aplicada conseguimos bons resultados com o incremento de N. Souza *et al.* (2011) identificaram incremento na produtividade de milho variando de 150 a 200 kg ha⁻¹ de N no milho safrinha em Selviria-MS. Já Caires e Milla (2015) encontraram resposta de produtividade até 209 kg ha⁻¹, e incremento linear até 360 kg ha⁻¹ (máximo avaliado), para outros fatores, em milho com alto potencial produtivo.

Fernandes *et al.* (2020) encontraram efeitos positivos da adubação nitrogenada para produtividade e teor de N nas folhas na cultura do milho em três safras, avaliando experimento de SPD de longa duração, reforçando a importância do elemento para a cultura do milho.

Mesmo com a inclusão de novas tecnologias, como uso de bactérias promotoras de crescimento, e que possuem a capacidade de fornecer N para a cultura do milho através de simbiose, não foi possível substituir completamente a adubação nitrogenada, como é possível na soja por exemplo. Mas resultados positivos têm sido encontrados utilizando inoculação com bactérias, associadas à adubação nitrogenada (Moreira; Valadão; Valadão Junior, 2019).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização

O experimento de longa duração está sendo desenvolvido em área experimental inserida no bioma cerrado, na Fazenda de Ensino Pesquisa e Extensão (FEPE) da Faculdade de Engenharia – UNESP, Campus de Ilha Solteira, localizada no município de Selvíria – MS (51°24'W e 20°20'S) e altitude média de 350 m. A região é considerada de cerrado de baixa altitude e possui clima classificado como tipo Aw pela classificação de Köppen-Geiger (Alvares, 2014), definido como tropical úmido, com estação chuvosa no verão e seca no inverno. A temperatura e precipitação média anual é de 24,5°C e 1.370 mm respectivamente, além de umidade relativa do ar média anual de 64,8% (Hernandez *et al.*, 1995). O solo da área experimental de acordo com a nomenclatura atual é um Latossolo Vermelho distrófico típico argiloso (LVd) (Santos *et al.*, 2018).

3.2 Histórico da área

O experimento em questão é o resultado de dois cultivos de um experimento de longa duração, que iniciou na safra 2000/01, onde a área que era até então utilizada em sistema convencional de preparo do solo foi introduzida ao Sistema de Plantio Direto (SPD). No início o experimento consistia em um fatorial, onde os fatores eram modos e épocas de aplicação do calcário (5 tratamentos) e culturas de cobertura na entressafra (2 tratamentos) sendo a soja a cultura principal de verão.

Os tratamentos iniciais foram os seguintes: T1 - aplicação total da dose recomendada em outubro de 2001 e sua incorporação a 0 – 0,20 m; T2 - aplicação total da dose recomendada em outubro de 2001, em superfície; T3 - aplicação de 1/2 da dose recomendada em outubro de 2001 e 1/2 em agosto de 2002, todas em superfície; T4 - aplicação de 1/3 da dose recomendada em março de 2001, 1/3 em outubro de 2001 e 1/3 em agosto 2002, todas em superfície; T5 - testemunha (sem aplicação de calcário).

Nos anos agrícolas 2001/02 e 2002/03, a soja foi novamente cultivada na área, sempre no período de primavera/verão, utilizando-se o sistema de semeadura direta. As culturas de cobertura utilizadas foram, em junho de 2001, milho e sorgo, em

outubro de 2001, milho em área total antecedendo a soja e, em setembro de 2002, capim pé-de-galinha (*Eleusine coracana*) e sorgo.

A dose de calcário determinada a partir dos resultados da análise química da amostra de solo (apresentada na Tabela 1) foi de 1,59 t ha⁻¹ e, teve como objetivo elevar a saturação por bases a 70%. O calcário utilizado apresentava as seguintes características: CaO - 39,6%, MgO - 13%; PN-102%; PRNT-91%; peneira ABNT 10 (2,0 mm) - 100%, peneira ABNT 20 (0,84 mm) - 93% e peneira ABNT 50 (0,3 mm) - 80%.

Tabela 1 - Resultados da análise química da amostra de solo da área experimental. Selvíria-MS, 2000.

Prof. m	P resina mg/dm ³	M.O. g/dm ³	pH CaCl ₂	K	Ca	Mg	H+Al mmol _c /dm ³	Al	SB	CTC	V %
0-0,2	37	26	4,7	2,1	19	11	34	2	31,7	65,7	48

Nota: ¹—metodologia de Raij e Quaggio (2001).

Fonte: O próprio autor.

O delineamento experimental inicial utilizado foi o de blocos casualizados com os tratamentos dispostos em esquema fatorial (5 x 2), ou seja, 5 modos e épocas de aplicação de calcário e 2 culturas de cobertura em cada entressafra, com três repetições, onde cada parcela possuía 12 m de comprimento x 15 m de largura.

A partir do ano agrícola 2003/04, as culturas de cobertura sempre foram o milho e crotalária (*C. juncea*), semeadas na primavera com o milho em sucessão (anos agrícolas 2003/04, 04/05 e 05/06), subdividindo-se as parcelas para a aplicação anual de doses de N (0, 90 e 180 kg ha⁻¹). Portanto, o experimento passou a possuir tratamentos dispostos em esquema fatorial 5x2x3, ou seja, 5 modos e épocas de aplicação de calcário na implantação do sistema plantio direto, 2 culturas de cobertura de primavera (crotalária e milho) e 3 doses de nitrogênio em cobertura (0, 90 e 180 kg ha⁻¹), utilizando-se como fonte o sulfato de amônio (2003/04 e 2004/05) e ureia (2005/06). Todos os tratamentos continuaram com 3 repetições e as parcelas passaram para as dimensões de 12,0 m de comprimento x 5,0 m de largura. Foi considerado com área útil, as três linhas centrais de cada parcela, desprezando-se 2,0 m em cada extremidade.

No ano agrícola 2006/07, a soja sucedeu o milho como cultura de verão, mantendo-se as culturas de cobertura implantadas na primavera, modos de aplicação de calcário na implantação do SPD e residual das doses de N aplicadas em cobertura

na cultura do milho nos anos agrícolas anteriores. Em outubro de 2007, foi reaplicado em superfície e em todas parcelas dos tratamentos T1, T2 e T5, 812 kg ha⁻¹ de calcário. O delineamento experimental, portanto, passou a ser o em blocos casualizados com os tratamentos dispostos em esquema fatorial de 3 x 2 x 3, sendo residual de 3 doses de nitrogênio em cobertura (0, 90, e 180 kg ha⁻¹), 2 culturas de cobertura milheto (*Pennisetum americanum*) e crotalária (*Crotalaria juncea*) e residual de 3 modos de aplicação de calcário na implantação do Sistema Plantio Direto. As parcelas possuíam 5 m de largura e 12 m de comprimento. Esses tratamentos foram avaliados na cultura da soja nos anos agrícolas 2007/08 e 2008/09. No tratamento T4 não foi reaplicado calcário e no T3 foi aplicado em superfície 1.624 kg ha⁻¹ de calcário. Sendo assim, os tratamentos T2, T3 e T4, passaram a ser considerados um novo experimento com doses de calcário em superfície, mantendo-se o residual de doses de nitrogênio aplicadas no milho e as culturas de cobertura semeadas na primavera. Esses tratamentos foram avaliados na cultura da soja nos anos agrícolas 2007/08 e 2008/09. Nos anos agrícolas 2009/10, 2010/2011 e 2011/12 substituiu-se a soja pelo milho e manteve-se as culturas de cobertura de primavera, e aplicou-se anualmente, as mesmas doses de nitrogênio em cobertura na cultura do milho, utilizando-se desta vez, apenas o sulfato de amônio como fonte.

Nos anos agrícolas 2012/2013, 2013/2014 e 2014/2015 a cultura da soja substituiu o milho novamente, mantendo-se as culturas de cobertura, milheto e crotalária, sendo elas sempre semeadas em setembro/outubro. Na primeira semana de dezembro/2012, 11 anos após o início do experimento e em função dos resultados da análise de solo, foram reaplicadas as doses de calcário, seguindo os tratamentos: T1 e T3 – 2,26 t ha⁻¹ (recomendada para elevar a saturação por bases a 60%); T2 e T4 – 4,52 t ha⁻¹ (dobro da recomendação); T5 – 0 t ha⁻¹ de calcário (testemunha). Sendo utilizado o calcário dolomítico, com CaO – 28%; MgO – 20,0%; PN - 99% e PRNT - 80,3%.

Nos anos agrícolas 2015/16, 2016/17 e 2017/18, a cultura da soja foi substituída pelo milho, mantendo-se a semeadura das culturas de cobertura no início da primavera. Em 23/02/17 houve aplicação de calcário, semelhante em termos de doses e parcelas a aplicação realizada em dezembro/2012. Acrescentou-se nos tratamentos T3 e T4, 1,7 t ha⁻¹ de gesso agrícola, aplicado em superfície simultaneamente a aplicação do calcário. O calcário utilizado apresentava as seguintes características: CaO – 40%; MgO – 10,0% e PRNT – 85%.

Nesses três anos agrícolas, as doses de nitrogênio foram aplicadas superficialmente e ao lado das plantas, parceladas em 2 vezes (geralmente as plantas encontravam-se com 4 e 8 folhas em cada aplicação, respectivamente). A fonte de N utilizada nestes experimentos foi a ureia.

Nos anos agrícolas 2018/19, 2019/20 e 2020/21, o milho foi substituído pela soja, mantendo-se as culturas de cobertura com semeadura na primavera. Em 20/10/2020, foi reaplicado calcário e gesso nas seguintes dosagens para T1, T2, T3, T4 e T5: 1,13; 2,26; 1,13; 2,26 e 0 t ha⁻¹, respectivamente. Os tratamentos T3 e T4 também receberam 1,7 t ha⁻¹ de gesso.

Na tabela 2 observamos o resumo das aplicações de calcário e gesso ao longo do tempo, e o total acumulado para os tratamentos.

Tabela 2 - Aplicação de calcário e gesso ao longo dos anos no experimento

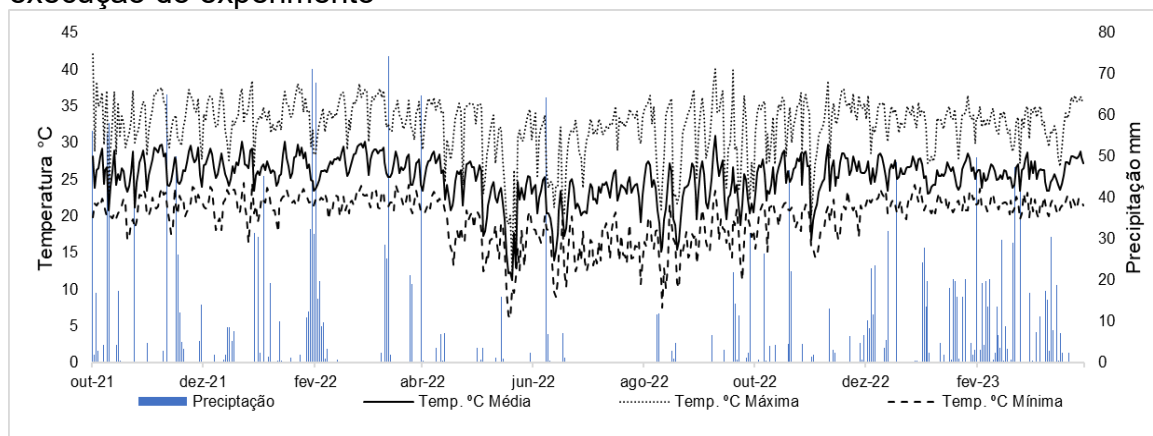
Trat.	2001/2002	2007	2012	2017	2020	TOTAL
T1	1,59	0,812	2,26	2,26	1,13	8,05
T2	1,59	0,812	4,52	4,52	2,26	13,70
T3	1,59	1,624	2,26	2,26+1,17	1,13 +1,17	8,86+3,4
T4	1,59	0	4,62	4,52+1,17	2,26+1,17	12,89+3,4
T5	0	0,812	0	0	0	0,812

Fonte: O próprio autor

A presente tese apresentará os resultados obtidos com a cultura do milho, cultivado nos anos agrícolas 2021/22 e 2022/23. Também será apresentado resultados de pH e matéria orgânica do solo, em diferentes profundidades de amostragem, em função dos tratamentos.

Assim, a semeadura das culturas de cobertura ocorreu em 14/05/2021, em área dessecada anteriormente com os herbicidas glifosato e clethodim, acrescendo-se óleo mineral à calda. Tanto a crotalária quanto o milheto, foram semeados no espaçamento de 0,34 m entre linhas e gasto aproximado de 20 kg ha⁻¹ de sementes e de forma semelhante aos anos anteriores, não se utilizou fertilizante nessa semeadura. Essas culturas cresceram livremente durante o período de outono /inverno com irrigação apenas para germinação. No período de entressafra do ano de 2022, não foram semeadas as culturas de cobertura, em função do longo período de estiagem que ocorreu na região neste ano.

Figura 1 - Temperaturas médias, máximas, mínimas e precipitação no período de execução do experimento



Nota: Dados coletados no site www.clima.feis.unesp.br

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para a instalação e condução da cultura do milho, foram realizadas as seguintes atividades:

Ano agrícola 2021/22:

- 29/10/21: dessecação das plantas de cobertura e daninhas existentes na área, utilizando-se os herbicidas glifosato + clethodim + carfentrazone + óleo mineral;
- 15/11/21: manejo mecânico das culturas de cobertura e plantas daninhas com a utilização de um desintegrador horizontal (triton);
- 24/11/21: semeadura do milho – híbrido AG 8082 PRO2; uso no sulco de semeadura de 300 kg ha⁻¹ da formulação 02 - 20 – 20, espaçamento de 0,85 m entrelinhas e regulagem para distribuição aproximada de 5,4 sementes por metro de sulco. As sementes foram tratadas com o inseticida tiametoxam;
- 25/11/21: aplicação dos herbicidas glifosato + diquat;
- 01/12/21: germinação do milho;
- 08/12/21: aplicação dos inseticidas espinetoram e acetamiprido + bifentrina;
- 17/12/21: aplicação dos herbicidas glifosato e atrazina + óleo mineral;
- 18/12/21: aplicação em cobertura de metade das doses de nitrogênio, utilizando-se como fonte a uréia;
- 28/12/21: aplicação em cobertura do restante das doses de nitrogênio, fonte uréia;
- 04/02/22: coleta de folhas para a diagnose nutricional. Foram coletados o terço médio da folha da base da espiga de 10 plantas por parcela;
- 13/04/22: colheita das espigas para avaliação da produtividade;

- 16/04/22: amostragem de espigas para avaliações de comprimento, diâmetro, número de fileiras e grãos por fileira. Foram coletadas aleatoriamente 5 espigas por parcela;
- 18/04/22: avaliação da altura de espiga e de planta; – foram avaliadas 5 plantas seguidas em uma das linhas da área útil da parcela.
- 18/04/22: avaliação da população de plantas e colheita das espigas para determinação da produtividade de grãos.

Ano agrícola 2022/23:

- 21/09/22: manejo das plantas daninhas com desintegrador horizontal (triton)
- 29/10/21: dessecação das plantas de cobertura e daninhas existentes na área, utilizando-se os herbicidas glifosato + clethodim + carfentrazone + óleo mineral;
- 14/11/22: semeadura do milho – híbrido FS 575 PWU; uso no sulco de semeadura de 300 kg ha⁻¹ da formulação 02 - 20 – 20, espaçamento de 0,90 m entrelinhas e regulagem para distribuição aproximada de 5,4 sementes por metro de sulco;
- 16/11/22: aplicação do herbicida glufosinato de amônio;
- 20/11/22: germinação do milho;
- 07/12/22: aplicação dos herbicidas glifosato e atrazina + óleo mineral. Foi adicionado a calda os inseticidas metomyl + acetamiprido + binfentrina + clorantraniliprole;
- 26/12/22: aplicação em cobertura de metade das doses de nitrogênio, utilizando-se como fonte a uréia;
- 03/01/23: aplicação em cobertura do restante das doses de nitrogênio. Fonte – uréia;
- 20/01/23: coleta de folhas para a diagnose nutricional. Foram coletados o terço médio da folha da base da espiga de 10 plantas por parcela; 13/04/22: colheita das espigas para avaliação da produtividade;
- 22/03/23: amostragem de espigas para avaliações de comprimento, diâmetro, número de fileiras e grãos por fileira; avaliação da altura de espiga e de planta, avaliação da população de plantas e colheita das espigas para determinação da produtividade de grãos.

Foram coletadas aleatoriamente 5 espigas por parcela;

3.3 Avaliações realizadas

- Estado nutricional das plantas: quando as plantas iniciaram o florescimento feminino (emissão da espiga) foi coletado o terço médio da folha da base da espiga em 15 plantas na área útil da parcela. As amostras foram colocadas para secagem em estufa de circulação forçada de ar, a 65°C até peso constante. A seguir, foram moídas em moinho tipo Wiley e armazenadas em sacos plásticos. No material amostrado, para cada parcela, foi determinado os teores de N, P, K, Ca, Mg e S (ano agrícola 2021/22) e esses mesmos nutrientes acrescido da determinação dos teores de Cu, Fe, Mn e Zn, para as amostras obtidas no ano agrícola 2022/23. A metodologia utilizada foi proposta por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997).
- População de plantas por hectare: foi realizada a contagem das plantas em uma das linhas da área útil da parcela, em 3,0 m de comprimento, no mesmo dia da colheita das espigas para avaliação da produtividade de grãos. Os dados obtidos foram utilizados para o cálculo da população de plantas ha⁻¹.
- Altura de planta e da espiga: a avaliação realizada com uma régua apropriada, medindo-se a distância entre a base da planta e a inserção da espiga (altura da espiga) e da base da planta a inserção da folha bandeira (altura da planta), em 5 plantas seguidas em uma das linhas da área útil da parcela. A avaliação foi realizada simultaneamente à colheita das espigas para avaliação da produtividade de grãos.
- Número de fileiras por espiga e grãos por fileira, comprimento e diâmetro da espiga: foram coletadas aleatoriamente 5 espigas na área útil de cada parcela e em laboratório, com o auxílio de régua e paquímetro, foram realizadas as avaliações nas espigas e posteriormente calculada a média para cada avaliação.
- Produtividade de grãos: foram coletadas as espigas em 2 linhas com 3,0 m de comprimento na área útil de cada parcela. Foram colocadas em sacos e devidamente identificados e levadas ao barracão. Após secagem ao solo, as amostras foram trilhadas e os grãos obtidos foram pesados. Simultaneamente a pesagem dos grãos, foi determinada a umidade dos grãos com o auxílio de um aparelho digital. Os pesos foram corrigidos para umidade de 13% base úmida e calculou-se a produtividade de grãos por hectare.
- Massa de 100 grãos: da produção de grãos obtida em cada parcela, foi retirada uma amostra e levada para o laboratório. Nessa amostra, contou-se 100 grãos, que foram pesados em balança de precisão e colocados em estufa com temperatura de 105 ±

2°C por 24 horas, para determinação da umidade e posterior correção da pesagem dos 100 grãos a 13% (base úmida).

Os dados foram submetidos à análise de variância individual ANOVA pelo teste F ($p \leq 0,05$), e quando houve diferença significativa, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$), para os fatores tratamentos (calcário e gesso) e culturas de cobertura. Para as doses de N, realizou-se a regressão polinomial, quando se obteve valor de F significativo para este fator.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Ano Agrícola 2021-2022

Nas avaliações das características agronômicas foram obtidas uma resposta positiva a calagem para produtividade, altura de planta, altura de inserção de espiga, diâmetro da espiga e massa de 100 grãos. Já para adubação nitrogenada apresentaram resultados significativos ($p < 0,05$) produtividade, número de fileiras e diâmetro da espiga. Houveram interações significativas ($p < 0,05$) entre Calagem e cultura de cobertura para produtividade, entre cultura de cobertura e dose de N para massa de 100 grãos e entre os três fatores para diâmetro da espiga e número de grãos por fileira (Tabela 3).

A variável produtividade se apresentou sensível a aplicação de N (tabela 3), respondendo de maneira linear, com incremento de cerca de $3,3 \text{ kg kg N}^{-1}$ dentro dos limites estudados no experimento, considerada uma resposta baixa, porém vale enfatizar que a safra sofreu em função das condições climáticas, apresentado uma baixa produtividade como podemos observar na tabela 3.

Destaca-se que o uso de culturas de cobertura capaz de fixar N, como a crotalária, mesmo por um longo período como nesse experimento de longa duração, não conseguiu fornecer quantidade de N suficiente para inibir a resposta à adubação nitrogenada. Respostas positivas à adubação nitrogenada na cultura do milho é naturalmente esperada por se tratar de uma planta bastante exigente no nutriente e já foram relatados em muitos trabalhos (Souza *et al.*, 2011; Albuquerque *et al.*, 2013; Caires; Milla, 2016). A cultura de cobertura não influenciou na produtividade.

A população de plantas foi influenciada somente pela cultura de cobertura (tabela 3), sendo encontrada uma população de plantas maior onde se utilizou o milheto como planta de cobertura. Alguns fatores podem ter influenciado esse comportamento, tais como uma maior quantidade de palhada potencialmente produzida pelo milheto, que pode ter influenciado em uma melhor umidade do solo, favorecendo a germinação. Outra hipótese considerada é a possibilidade de um efeito alelopático entre a crotalária e o milho. Apesar de pouco comum, Araújo, Santana e Espírito Santo (2011) identificaram a possibilidade de crotalárias em situação de estresse produzir substâncias que possam influenciar na germinação do milho, sendo

uma situação de estresse plausível considerando a baixa pluviosidade de 2021. Resultados semelhantes, com influência negativa da crotalaria também foi encontrado por Fernandes *et al.* (2020), na safra 2016/2017, no caso sobre a produtividade. Aker *et al.* (2016), avaliando diversas plantas de cobertura apresentou resultados que mostram que a *Crotalaria juncea* apresentou o pior resultado na influência da produtividade do milho, entretanto, sem influenciar a população de plantas.

Tabela 3 - Valores de F e médias das características agrônômicas, População de planta (PP), Altura de plantas (AP), Altura de Inserção de espiga (AIE), Comprimento das espigas (CE), Diâmetro das espigas (DE), Número de fileiras na espiga (NF), Número de grãos por fileira (NGF), Massa de 100 grãos (M100) Produtividade de Grãos (PG) em função dos tratamentos. Selviria-MS, 2022

Tratam.	PP	AP	AIE	CE	DE	NF	NGF	M100	PG
		m	m	cm	cm			G	kg ha ⁻¹
Calagem (C)									
T1	56790	1,62 a	0,91 a	17,8	4,38	16,8	32,4	24,5 a	4162 a
T2	57284	1,66 a	0,95 a	16,6	4,23	16,0	32,1	23,5 ab	4186 a
T3	55925	1,67 a	0,96 a	16,7	4,33	16,5	32,3	23,0 ab	4854 a
T4	57407	1,66 a	0,94 a	16,6	4,25	16,2	31,8	23,2 ab	4661 a
T5	55679	1,38 b	0,76 b	16,0	4,02	15,4	31,1	22,1 b	2200 b
C. Cobert. (CC)									
Milheto	58049 a	1,64 a	0,92	16,8	4,25	16,1	32,1	23,0	4142
Crotalaria	55185 b	1,56 b	0,88	16,6	4,23	16,2	31,8	23,6	3883
Doses de N (N)									
0	56370	1,63	0,91	17,1	4,36	16,9	31,9	22,9	3361
90	56703	1,57	0,89	16,5	4,23	16,2	31,4	23,7	4126
180	56777	1,63	0,91	16,5	4,15	15,9	32,6	23,3	4251
Teste F									
C	0,28	8,31**	7,25**	0,75	3,69**	2,03	0,38	2,60*	25,25**
CC	4,66*	4,10*	2,35	0,15	0,09	0,10	0,13	1,51	1,89
N	0,03	1,14	0,37	0,42	3,72*	4,55** ¹	0,66	1,06	3,63* ²
CxCC	1,11	1,08	0,63	0,76	1,91	1,42	1,08	0,27	3,29*
CxN	0,65	1,17	0,74	0,65	1,08	1,60	0,22	1,25	0,49
CCxN	0,66	0,64	0,56	0,37	2,57	3,09	2,14	3,43 *	1,19
CxCCxN	0,63	0,27	0,28	0,64	2,33*	0,67	2,15*	0,93	1,70
CV%	11,12	11,02	14,38	19,28	7,21	9,84	12,64	9,25	22,22
DMS									
C	----	0,17	0,12	----	----	----	----	2,1	837
CC	2655	0,07	----	----	----	----	----	----	----
RL	----	----	----	----	----	7,83**	----	----	6,54*
RQ	----	----	----	----	----	1,27ns	----	----	0,73

Nota: ¹ $y = 16,805556 - 0,006407x$ $r^2 = 85,98$; ² $y = 3718,761111 + 3,272778x$ $r^2 = 89,97$; Médias seguidas de letras distintas na coluna em cada fator avaliado, diferem entre si pelo Teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade. * significativo a 5% de probabilidade, ** significativo a 1% de probabilidade. T1 (8,05), T2 (13,70), T3 (8,86), T4 (12,89) e T5 (0,81): doses de calcário (Mg ha⁻¹) aplicadas no período de 2000 a 2023. Os tratamentos T3 e T4 receberam também 3,4 Mg ha⁻¹ de gesso no mesmo período.

Fonte: O próprio autor

A altura das plantas foi influenciada pelos tratamentos de calagem e gessagem, seguindo o mesmo padrão da produtividade, reforçando a importância da utilização de corretivos para o desenvolvimento das plantas em solos do cerrado. Também apresentaram influência das plantas de coberturas, sendo o menor desenvolvimento onde a cultura de cobertura antecessora era a crotalária, isso se relaciona com a influência da população de plantas, uma vez que uma maior população de planta pode significar estímulo para o crescimento das plantas para buscar mais luz. Refletindo assim em uma altura diferente. Estudos com diferentes populações de plantas de milho encontraram um aumento da altura da planta, com o aumento da densidade de cultivo (Brachtvogel *et al.*, 2012).

Seguindo a tendência da altura, para o efeito dos tratamentos de calagem e gessagem, a altura da inserção da espiga foi maior nos tratamentos 1 a 4, não diferenciando entre si, em comparação ao T5. Isso está ligado com o desenvolvimento da planta, onde a altura da planta é maior, naturalmente se espera uma altura da espiga maior.

A quantidade de fileiras da espiga sofreu influência negativa da adubação nitrogenada (Tabela 3), um decréscimo linear foi identificado, proporcionando uma diminuição média de uma fileira comparando a dose 0 com a dose máxima estudada, 180 kg ha⁻¹. Tal efeito não refletiu em diferença na produtividade, sendo compensado por outras variáveis produtivas.

A massa de 100 grãos apresentou resposta significativa ($p < 0,05$) aos tratamentos com calagem (tabela 3), O tratamento 1 apresentou a maior média, não diferenciando dos tratamentos 2, 3 e 4. O tratamento 5 diferenciou-se do tratamento 1, possuindo uma massa inferior, porém não se diferenciou dos tratamentos 2, 3 e 4. Uma interação significativa para os fatores cultura de cobertura e adubação nitrogenada também foi observada para a massa de 100 grãos (tabela 4) sendo identificado um incremento na massa com o aumento da dose de N onde a planta de cobertura antecessora era o milheto.

Tabela 4 - Desdobramento da interação culturas de cobertura x doses de N na cultura do milho, significativa para massa de 100 Grãos. Selvíria – MS, 2022.

Tratamentos	0	90	180	RL	RQ
	g				
Milheto	21,8 b	23,5	23,5	5,01* ¹	1,48
Crotalária	24,0 a	23,9	22,8	2,04	0,45
DMS	1,64				

Nota: $y=22,095556+0,010222x$ $r^2=77,17$; Médias seguidas de letras distintas na coluna, diferem entre si pelo Teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade.

Fonte: O próprio autor

Uma influência da cultura de cobertura é observada onde não houve adubação nitrogenada, sendo a crotalária a cobertura que se destacou. Essa resposta pode estar relacionada ao fato da palhada de crotalária possuir uma quantidade maior de N orgânico que o milheto (Calegari, 2006), já onde foi realizada adubação nitrogenada esse efeito não foi observado.

Uma interação entre plantas de cobertura e tratamentos de calagem foi identificada para a variável produtividade (tabela 5), em ambas as coberturas, os tratamentos 1, 2, 3 e 4 não diferenciam entre si, enquanto a produtividade do T5 foi consideravelmente menor, isso se deve aos tratamentos 1 a 4 terem recebidos uma quantidade maior de calcário ao longo dos anos comparados ao T5. Observa-se que os tratamentos 3 e 4 não diferenciam dos tratamentos 1 e 2, isso significa que a aplicação de gesso não interferiu na produtividade. A aplicação de calcário é reconhecidamente benéfica às culturas, principalmente em solos pobres e ácidos como o do Cerrado (Zandoná *et al.*, 2015; Fernandes *et al.*, 2020).

Tabela 5 - Desdobramento da interação calcário x cultura de cobertura, significativa para produtividade de grãos de milho. Selvíria-MS, 2022.

	Milheto	Crotalária	DMS
	kg ha ⁻¹		
T1	4074 a	4249 a	841
T2	4275 a	4098 a	
T3	4541 a	5194 a	
T4	4997 a	4325 a	
T5	2851 bA	1551 bB	
DMS	1184		

Nota: Médias seguidas por letra distintas, minúscula na coluna e maiúscula na linha, diferem entre si pelo Teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade.

Fonte: O próprio autor

No tratamento 5, que recebeu uma pequena quantidade de calcário a 14 anos antes, foi observado efeito da planta de cobertura na produtividade, tendo um destaque a cultura do milho como cobertura para esse tratamento. Ao considerar que ao longo dos anos em que este tratamento não recebeu calcário a acidez tenha aumentado, causando um estresse as plantas cultivadas, podemos relacionar este efeito a possibilidade da crotalária sobre estresse produzir substâncias que podem causar efeito negativo no milho (Araújo, Santana; Espírito Santo, 2011), podemos também considerar a possibilidade de a ausência de calagem ter causado uma baixa produção de palhada de crotalária, influenciando na qualidade do solo e consequentemente na produtividade do milho.

Uma interação entre os três fatores foi observada para a variável diâmetro da espiga, onde para ambas as plantas de cobertura foram encontrados efeitos para do tratamento de calagem somente para a dose máxima de N aplicada (tabela 6). Sendo identificado maiores produtividades para o T1 quando a planta de cobertura era o milho, não diferenciando dos tratamentos 2, 3 e 4 e diferenciando do T5, e para tratamento 2 quando a cobertura era a crotalária, não diferenciando dos tratamentos 1, 3 e 4 e diferenciando também do T5.

Tabela 6 - Desdobramento da interação calcário x culturas de cobertura x doses de N, significativa para diâmetro da espiga de milho. Selviria – MS, 2022.

Tratam	Milheto					Crotalária				
	0	90	180	RL	RQ	0	90	180	RL	RQ
	cm					cm				
T1	4,3	4,2	4,6 a	1,44	1,71	4,6	4,4	4,1 ab	5,76* ¹	0,09
T2	4,4	4,4	3,9 ab	3,00	0,71	4,2	4,1	4,4 a	0,87	0,71
T3	4,2	4,4	4,1 ab	0,01	1,71	4,7	4,3	4,3 ab	3,00	0,48
T4	4,0	4,5	4,3 ab	1,13	1,51	4,4	3,9	4,3 ab	0,64	4,65* ²
T5	4,4	4,1	3,8 b	4,55* ₄	0,02	4,3	4,0	3,6 b	7,84** ³	0,05
DMS	0,7									
	0		90		180					
	Milheto	Crotalária	Milheto	Crotalária	Milheto	Crotalária				
	cm	cm	cm	cm	cm	cm				
T1	4,3	4,7	4,2	4,3	4,6 A	4,0 B				
T2	4,4	4,2	4,4	4,1	4,0	4,4				
T3	4,2 B	4,7 A	4,4	4,3	4,1	4,3			0,5	
T4	4,1	4,5	4,5 A	3,9 B	4,3	4,3				
T5	4,4	4,3	4,1	4,0	3,9	3,6				

Nota: ¹ $y=4,688889-0,003333x$ $r^2=98,38$, ² $y=4,466667-0,011481x+0,000058x^2$ $r^2=100,0$

³ $y=4,283333-0,003889x$ $r^2=99,32$, ⁴ $y=4,388889-0,02963x$ $r^2=99,48$; Médias seguidas de letras distintas na coluna em cada fator avaliado, diferem entre si pelo Teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade. T1 (8,05), T2 (13,70), T3 (8,86), T4 (12,89) e T5 (0,81): doses de calcário (Mg ha⁻¹)

aplicadas no período de 2000 a 2023. Os tratamentos T3 e T4 receberam também 3,4 Mg ha⁻¹ de gesso no mesmo período.

Fonte: O próprio autor

Efeito negativo linear da adubação nitrogenada no tratamento 5 foi observada independente da planta de cobertura, destacando a importância da calagem na resposta a adubação nitrogenada nas características de desenvolvimento das plantas.

Quando não houve adubação nitrogenada, a crotalária apresentou um efeito positivo no tratamento 3, que recebeu um acumulado de 8,86 Mg ha⁻¹ de calcário e 3,7 Mg ha⁻¹ de gesso, sendo a única condição em que a crotalária apresentou efeito positivo para diâmetro da espiga. Quando houveram adubação nitrogenada, a crotalária apresentou uma menor média para T4 quando aplicado 90 kgN ha⁻¹ e T1 quando aplicados 180 kgN ha⁻¹.

Para a variável número de grãos por fileira foi identificada uma interação entre os fatores calagem, cultura e cobertura e adubação nitrogenada (Tabela 6). Onde foi possível observar efeito significativo ($p < 0,05$) para adubação nitrogenada no tratamento 4 quando a planta de cobertura era a crotalária, sendo encontrado um efeito quadrático, onde a dose que apresentou o menor resultado pode ser calculada como 92 kg ha⁻¹ de N.

Analisando o efeito da planta de cobertura quando da adubação de N na dose 90, foi observada uma diferença significativa ($p < 0,05$) entre milho e crotalária para tratamento 4, onde a crotalária novamente apresenta um resultado inferior ao milho, nessa condição específica. Vale ressaltar que o T4, é o tratamento que recebe junto com o T2 a maior quantidade de calcário na última aplicação em 2020, diferenciando-se do T2 pela aplicação de 1,7 Mg ha⁻¹ de gesso.

A variável comprimento da espiga não sofreu influência dos fatores analisados, apresentando média de 16,7 cm de comprimento.

Efeitos negativos encontrados sobre algumas condições específicas do uso da crotalária podem significar um efeito alelopático, como já citado anteriormente, porém não significa que a crotalária é maléfica ao milho, mesmo com a possibilidade da planta produzir substâncias alelopáticas (Lemessa; Wakjira, 2015), e ter sido encontrado efeitos de extrato de crotalária sobre a germinação do milho (Souza *et al.*, 2011; Albuquerque *et al.*, 2013), não são quesitos para se descartar uma cultura de cobertura tão importante para a agricultura e principalmente para o plantio direto.

Principalmente por que mesmo havendo efeitos em algumas características, esses efeitos não refletiram em diminuição da produtividade quando o solo está corrigido.

Tabela 7 - Desdobramento da interação calcário x culturas de cobertura x doses de N, significativa para número de grãos por fileira em espigas de milho. Selvíria – MS, 2022.

Trat.	Milheto					Crotalária				
	0	90	180	RL	RQ	0	90	180	RL	RQ
T1	31,3	31,1	35,5	1,64	0,65	32,6	32,2	32,0	0,03	0,00
T2	31,2	34,1	31,6	0,01	0,87	33,9	28,9	33,2	0,04	2,62
T3	30,9	31,8	30,0	0,08	0,22	33,1	32,4	36,0	0,78	0,53
T4	29,2	35,9	32,9	1,30	2,87	34,4	24,8	33,5	0,07	10,31** ¹
T5	32,8	30,3	33,2	0,01	0,87	30,3	32,1	27,8	0,55	1,12
DMS	9,2									

	0		90		180		DMS
	Milheto	Crotalária	Milheto	Crotalária	Milheto	Crotalária	
T1	31,9	32,6	31,1	32,2	35,5	32,0	6,6
T2	31,2	33,9	34,1	28,9	31,6	33,2	
T3	30,9	33,1	31,8	32,4	30,0	36,0	
T4	29,2	34,4	35,9 A	24,8 B	32,9	33,5	
T5	32,8	30,3	30,3	32,1	33,2	27,8	

Nota: ¹ $y = 34,433333 - 0,209074x + 0,001134x^2$ $r^2 = 100,0$; Médias seguidas de letras distintas na coluna em cada fator avaliado, diferem entre si pelo Teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade. ** significativo a 1% de probabilidade. T1 (8,05), T2 (13,70), T3 (8,86), T4 (12,89) e T5 (0,81): doses de calcário (Mg ha^{-1}) aplicadas no período de 2000 a 2023. Os tratamentos T3 e T4 receberam também $3,4 \text{ Mg ha}^{-1}$ de gesso no mesmo período.

Fonte: O próprio autor

Para o teor de N observa-se um efeito ($p < 0,05$) para adubação nitrogenada, onde houve uma resposta quadrática à adubação, podendo ser calculado a dose máxima de $180,5 \text{ kg ha}^{-1}$, bem próximo da dose máxima utilizada que foi 180 kg ha^{-1} . Isso mostra um acréscimo de N na folha, conforme se aumenta a disponibilidade de N para a planta, até um certo limite. O que está de acordo com resultados de outros experimentos que avaliaram adubação nitrogenada. Moreira, Valadão e Valadão Junior (2019) encontraram efeito quadrático para teor de N foliar em função da adubação nitrogenada, e apontaram que elevadas doses de N podem ocasionar redução do teor de N foliar (Ferreira *et al.*, 2009), devido a toxicidade causada pela salinidade dos fertilizantes nitrogenados e a grande quantidade de NH_4^+ (Prado, 2008). Fernandes *et al.* (2020) também relataram efeito ($p < 0,05$) quadrático da aplicação de N no teor de N foliar na safra 2016/17, e interações entre doses de N e plantas de cobertura nas safras 2015/16 e 2017/18 com efeitos lineares e quadráticos, dependendo da interação, até a dose máxima de 180 kg ha^{-1} .

A análise nutricional foliar para os elementos nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre é mostrada na Tabela 8.

Teor de P apresentou efeito ($p < 0,05$) para cultura de cobertura e doses de N. Para cultura de cobertura foi observado maior incremento de P foliar quando utilizado crotalária, isso pode estar relacionado a ciclagem de nutriente realizado por essa cultura, que é amplamente utilizada como adubo verde (Wutke *et al.*, 2023), podendo acessar frações de P considerada indisponível a curto prazo (Rose *et al.*, 2009). Para doses de N identificado um efeito linear ($p < 0,05$) no incremento de P foliar, tal resultado pode ser relacionado com a relação do N na absorção de P (Bull, 1993).

Para teor de Ca observa-se efeito significativo ($p < 0,05$) para tratamentos de calagem e gessagem e culturas de cobertura. Dentre os tratamentos com calagem e gessagem, o T4 apresentou melhor resultado se diferenciando do T5 e T1, porém não se diferenciou dos tratamentos 2 e 3, que também receberam calcário. Já o T5 também apresentou resultado igual ($p < 0,05$) ao tratamento 1. Vale ressaltar que o tratamento 5 recebeu a menor dose de calcário durante todo o período ($0,81 \text{ Mg ha}^{-1}$). E o T1 recebeu $8,05 \text{ Mg ha}^{-1}$, bem similar ao T3, porém este recebeu também o gesso que é outra fonte de Ca, isso explica os tratamentos que receberam as menores quantidades de Ca, apresentarem o menor acúmulo, visto que a maior disponibilidade de Ca, influência na absorção do elemento devido característica passiva da absorção (Taiz *et al.* 2017).

Quanto às plantas de coberturas, o teor de cálcio foi maior onde a planta de cobertura foi o milheto, podendo ser reflexo da disponibilidade de Ca que a palhada do milheto disponibilizou para a cultura.

Tabela 8 - Teores foliares de N, P, K, Ca, Mg e S na cultura do milho em função dos tratamentos. Selvíria – MS, 2022.

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S
g/kg						
Calcário (C)						
T1	21,3	2,4	19,1	3,5 bc	1,9	2,9
T2	22,0	2,4	17,4	4,1 ab	2,3	2,8
T3	21,5	2,3	17,3	3,9 ab	1,9	2,9
T4	22,3	2,4	17,9	4,4 a	2,4	3,1
T5	21,8	2,2	18,4	3,0 c	1,3	2,9
C. Cobert. (CC)						
Milheto	21,4	2,2 b	18,1	4,0 a	2,1	2,9
Crotalária	22,1	2,4 a	17,9	3,6 b	1,8	2,9
Doses de N (N)						
0	18,4	2,2	17,4	4,0	2,2	2,6
90	22,7	2,3	18,6	3,8	1,9	3,0
180	24,1	2,4	18,0	3,6	1,8	3,1
Teste F						
C	0,68	2,36	0,52	14,21 **	24,28 **	1,78
CC	2,05	9,29**	0,04	8,01 **	20,60 **	0,73
N	61,76**	5,78**	0,55	3,99	8,63 **	17,95 **
CxCC	1,64	0,66	0,17	0,14	0,54	2,76 *
CxN	0,49	1,30	1,22	0,34	0,45	1,93
CCxN	0,69	2,16	1,94	0,72	1,89	0,33
CxCCxN	1,13	1,37	1,33	1,96	2,33 *	1,22
CV%	9,53	10,83	23,45	15,84	22,91	12,54
DMS						
C	----	----	----	0,6	----	----
CC	----	0,1	----	0,2	----	----
RL	114,10**	10,76** ²	----	7,98** ³	----	31,59**
RQ	9,42** ¹	0,81 ns	----	0,01ns	----	4,31* ⁴

Nota: ¹ $y=18,463333+0,063556x-0,000176x^2$ $R^2=100,0$; ² $y=2,253889+0,00036696x$ $R^2=92,95$

³ $y=4,028889-0,002444x$ $R^2=99,88$; ⁴ $y=2,623333+0,006796x-0,000021x^2$ $R^2=100,0$ Médias seguidas de letras distintas na coluna em cada fator avaliado, diferem entre si pelo Teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade. * significativo a 5% de probabilidade, ** significativo a 1% de probabilidade. T1 (8,05), T2 (13,70), T3 (8,86), T4 (12,89) e T5 (0,81): doses de calcário (Mg ha⁻¹) aplicadas no período de 2000 a 2023. Os tratamentos T3 e T4 receberam também 3,4 Mg ha⁻¹ de gesso no mesmo período.

Fonte: O próprio autor

Para teor de S foi observado efeito significativo ($p<0,05$) da adubação nitrogenada, representado por uma regressão quadrática, com o máximo acúmulo de S calculado para a dose 161 kg ha⁻¹. Esse incremento está relacionado com a presença do S em compostos proteicos que o N também faz parte, além da clorofila (Instituto Potassa e Fostafo, 1998).

Interação entre os fatores cultura de cobertura e tratamentos com calcário e gesso também foi encontrado para acúmulo de S foliar. Quando a planta de cobertura utilizada foi a crotalária, houve uma diferença significativa entre os tratamentos de

calcário e gesso, sendo o tratamento 4 diferente ($p < 0,05$) do tratamento 5 e 2, enquanto T1 e T3 foram iguais tanto aos tratamentos 2 e 5, como ao 4 (Tabela 9).

Tabela 9 - Desdobramento da interação calcário x cultura de cobertura, significativa para teor foliar de S em milho. Selvíria-MS, 2022.

	Milheto	Crotalária	DMS
	g kg ⁻¹		
T1	2,9	2,9 ab	
T2	2,9	2,7 b	
T3	2,8 B	3,2 abA	
T4	2,9 B	3,3 aA	
T5	3,0	2,8 b	
DMS	0,5		

Nota: Médias seguidas por letra distintas minúscula na coluna e maiúscula na linha, diferem entre si pelo Teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade.

Fonte: O próprio autor

Enquanto que houve diferença entre as plantas de coberturas, quando utilizado os tratamentos 3 e 4, onde em ambos, o uso da crotalária apresentou uma incorporação de S superior ao uso de milho.

Para a variável teor de Mg foi identificada uma interação entre os fatores tratamentos com calcário e gesso, adubação nitrogenada e culturas de cobertura (Tabela 9).

Para tratamento T1 de aplicação de calcário e gesso, tanto para milho quanto para crotalária houve efeito significativo da adubação nitrogenada. T3 e T4 também mostraram influenciar na adubação nitrogenada, apenas quando a cultura de cobertura utilizada era o milho, ambas sendo representadas por um incremento linear significativo. Estando em importantes metabólitos da planta, o Mg assim como o S faz parte da composição da clorofila (Instituto Potassa e Fostafó, 1998), por isso é possível encontrar correlação entre adubação nitrogenada e acúmulo de Mg, quando há disponibilidade de Mg, que é o caso dos tratamentos que receberam calagem.

Tabela 10 - Desdobramento da interação calcário x culturas de cobertura x doses de N, significativa para teor de Mg em folhas de milho. Selvíria – MS, 2022.

Trat.	Milheto			RL	RQ	Crotalária			RL	RQ
	0	90	180			0	90	180		
	cm					cm				
T1	2,1 bc	1,7 ab	2,3 ab	0,18	4,02* ²	1,8 ab	2,2 a	1,3 b	3,40	5,37* ¹
T2	2,7 ab	2,4 a	2,7 a	0,00	1,00	2,3 a	2,1 ab	1,8 ab	1,69	0,06
T3	2,4 abc	2,0 ab	1,7 bc	2,19* ³	0,09	2,1 ab	1,6 ab	1,5 ab	3,40	0,89
T4	3,2 a	2,4 a	2,1 ab	12,8** ⁴	1,13	2,1 ab	2,1 a	2,2 a	0,18	0,01
T5	1,7 c	1,3 b	1,2 c	2,30	0,25	1,4 b	1,1 b	1,0 b	1,17	0,14
DMS	0,8									

	0		90		180		DMS
	Milheto	Crotalária	Milheto	Crotalária	Milheto	Crotalária	
	cm	cm	cm	cm	cm	cm	
T1	2,1	1,8	1,7	2,2	2,3 A	1,3 B	0,6
T2	2,7	2,2	2,4	2,1	2,7 A	1,8 B	
T3	2,4	2,1	2,0	1,6	1,7	1,5	
T4	3,2 A	2,1 B	2,4	2,1	2,1	2,2	
T5	1,7	1,4	1,3	1,1	1,2	1,0	

Nota: ¹y=1,866667+0,010556x-0,00076x² r²=100,0, ²y=2,166667-0,011111x+0,000066x² r²=100,0

³y=2,405556-0,003889x r²=98,15, ⁴y=3,172222-0,006111x r²=91,87; Médias seguidas de letras distintas minúscula na coluna e maiúscula na linha, diferem entre si pelo Teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade. * significativo a 5% de probabilidade, ** significativo a 1% de probabilidade. T1 (8,05), T2 (13,70), T3 (8,86), T4 (12,89) e T5 (0,81): doses de calcário (Mg ha⁻¹) aplicadas no período de 2000 a 2023. Os tratamentos T3 e T4 receberam também 3,4 Mg ha⁻¹ de gesso no mesmo período.

Fonte: O próprio autor

Houveram resposta à cultura de cobertura para T1 e T2 quando a adubação nitrogenada foi realizada na maior dosagem aplicada, e para T4 quando não houve adubação nitrogenada. Em ambos os casos, a cultura que representou maior acúmulo foi o milheto.

Os tratamentos de calcário e gesso apresentaram respostas significativas em todas as combinações de plantas de cobertura e adubação nitrogenada. Destacando-se positivamente o T4, na maioria das vezes, acompanhados pelos demais tratamentos que recebeu calagem e negativamente o T5, eventualmente sendo igual estatisticamente a outros tratamentos.

Devemos fazer um destaque ao tratamento 3, que se apresentou em todas situações resultados iguais ao tratamento que não recebeu calcário, diferenciando por vezes de outros tratamentos com utilização de calcário. Ressalta-se que este tratamento recebeu aplicação de gesso, e dentre os que recebeu gesso, foi o que recebeu a menor quantidade de calcário, tanto na última aplicação como no acumulado. Pauletti *et al.* (2014) ressalta a possibilidade de deficiência de Mg em doses altas de gesso, principalmente quando há uma disponibilidade hídrica boa.

Mesmo o ano de 2021 tendo sido marcado por estiagens, vale ressaltar que a aplicação foi realizada em 2020, podendo a disponibilidade hídrica daquele ano ter estimulado uma lixiviação de Mg através do gesso. Como a quantidade de calcário no T3 foi menor que no T4, a lixiviação de Mg no T3 foi sentida em maior grau.

De modo geral a safra 2021/2022 sofreu com baixo volume de chuvas e períodos de estiagens, o que refletiu em uma produtividade menor do que o esperado. Tendo por vezes influenciado nos efeitos obtidos pelos tratamentos.

4.2 Ano Agrícola 2022/2023

Para o ano agrícola 2022/2023 os resultados das avaliações de características agronômicas população de planta, altura de planta altura de inserção de espiga, comprimento de espiga, diâmetro de espiga, número de fileiras, número de grãos por fileiras estão apresentados na Tabela 11.

População de plantas não sofreu influência de nenhum dos tratamentos, diferente da safra anterior, onde foi observado efeito das plantas de cobertura, isso pode ser explicado pelo fato de não ter havido cultivo de plantas de cobertura na entressafra do ano de 2022, devido a estiagem que foi bastante severa, os efeitos de plantas de coberturas nesta safra se referem ao efeito residual obtido por sucessivos cultivos das mesmas.

Isso coincide com a teoria do efeito alelopático causado por substâncias produzidas pela crotalária em situação de estresse, sendo esse efeito anulado com o passar do tempo.

As variáveis altura de planta e altura de inserção de espiga sofreram influência dos tratamentos de calagem e gessagem e também das plantas de coberturas. Para os tratamentos com calagem e gessagem, os tratamentos que receberam calagem recente (1, 2, 3 e 4) apresentaram resultados similares, sendo superior ($p < 0,05$) ao T5, que não recebeu calagem. Isso reforça a importância da calagem para o desenvolvimento adequado das plantas. Devido a adição de calcário reduzir o pH, melhorar a disponibilidade de alguns nutrientes, melhorando a absorção, trazendo efeitos benéficos para as plantas (Rodrighero *et al.*, 2015).

Tabela 11 - Valores de F e médias das características agronômicas, População de planta (PP), Altura de plantas (AP), Altura de Inserção de espiga (AIE), Comprimento das espigas (CE), Diâmetro das espigas (DE), Número de fileiras na espiga (NF), Número de grãos por fileira (NGF) em função dos tratamentos. Selviria-MS, 2023

Tratamentos	Características Agronômicas						
	PP	AP	AIE	CE	DE	NF	NGF
		cm	cm	cm	cm		
Calagem (C)							
T1	57099	234,72 a	139,53 a	17,16 ab	5,23 a	15,38 bc	39,12
T2	58025	235,92 a	136,97 a	17,54 a	5,27 a	16,15 a	40,10
T3	57716	236,67 a	141,02 a	17,26 ab	5,21 ab	15,69 bc	40,00
T4	58025	242,50 a	143,44 a	17,31 a	5,31 a	16,10 ab	40,18
T5	56481	190,00 b	106,84 b	16,41 b	5,07 b	15,22 c	38,52
Cult. Cobert (CC)							
Milheto	56790	223,15 b	130,41 b	16,95	5,20	15,72	39,12
Crotalária	58148	232,78 a	136,71 a	17,32	5,23	15,69	40,05
Dose N (N)							
0	57037	227,06	132,78	16,43	5,10	15,97	37,88
90	57593	227,67	132,50	17,44	5,24	15,73	40,35
180	57778	229,16	135,39	17,53	5,31	15,42	40,54
Teste F							
C	0,29	35,01**	29,17**	3,90**	6,57**	4,88**	1,71
CC	1,51	8,23**	6,33*	3,34	0,70	0,04	3,47
N	0,16	0,15	0,54	12,99**	14,96**	3,52*	11,70**
C x CC	1,10	0,52	0,28	2,26	3,25*	3,88**	1,02
C x N	1,33	1,34	1,79	0,85	1,14	0,82	0,34
CC x N	0,83	0,49	0,04	2,15	1,12	1,09	0,37
C x CC x N	1,50	0,89	0,73	2,18*	1,99	1,14	1,82
CV%	9,13	6,74	8,89	5,42	2,89	5,06	6,00
DMS							
C	4924,7	14,42	11,15	0,87	0,14	0,75	2,23
CC	2213,7	6,48	5,01	0,39	0,06	0,34	1,00
RL	---	---	---	---	28,26** ¹	7,01* ²	18,79**
RQ	---	---	---	---	0,20	0,03	4,60* ³

Nota: ¹ $y=5,1144+0,001148x$ $R^2=94,46\%$; ² $y=15,9805-0,003019x$ $R^2=99,55\%$; ³ $y=37,8766+0,040111x-0,000141x^2$ $R^2=100\%$; Médias seguidas por letras distintas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade, * significativo a 5% de probabilidade, ** significativo a 1% de probabilidade. T1 (8,05), T2 (13,70), T3 (8,86), T4 (12,89) e T5 (0,81): doses de calcário ($Mg\ ha^{-1}$) aplicadas no período de 2000 a 2023. Os tratamentos T3 e T4 receberam também $3,4\ Mg\ ha^{-1}$ de gesso no mesmo período.

Fonte: O próprio autor

Para plantas de cobertura, foi identificado uma superioridade para o uso da crotalária como tal. A crotalária é uma leguminosa com grande potencial para ciclagem de nutrientes e fixação de N, sendo amplamente utilizada como adubação verde, trazendo benefícios para as culturas posteriores, uma vez que os nutrientes na palhada são liberados gradativamente (Calegari, 2006; Wutke *et al.*, 2023).

A variável número de grãos por fileira respondeu significativamente à adubação nitrogenada, com efeito quadrático, sendo o ponto de máximo desempenho calculado para a dose 142 kg ha⁻¹. Resultados positivos à adubação nitrogenada nas características agronômicas são esperados visto a importância metabólica do N na planta (Taiz *et al.*, 2017) sendo encontrado um incremento de número de grãos com o aumento de N por Souza *et al.* (2011), no milho safrinha, também em Selviria.

Doses de N também influenciou as variáveis diâmetro da espiga e número de fileiras, sendo encontrado efeitos lineares, contraditórios, uma vez que o efeito e NF foi decrescente e em DE foi crescente. O aumento do diâmetro aumentando, mesmo o número de fileiras diminuindo mostra que o aumento do fornecimento de N conseguiu compensar a queda no número de fileiras através do enchimento de grãos, produzindo grãos maiores, proporcionando maior diâmetro.

As variáveis DE e NF também sofreram influência da interação entre os fatores tratamentos de calagem e gessagem com cultura de cobertura (Tabelas 12 e 13).

Tabela 12 - Desdobramento da interação entre Cultura de Cobertura (CC) e Calagem (C), significativas para diâmetro da espiga (DE). Selviria MS, 2023.

Calcário (C)	Cultura de Cobertura (CC)		DMS
	Milheto	Crotalária	
	----- cm -----		
T1	5,25 a	5,21 b	0,14
T2	5,34 aA	5,20 bB	
T3	5,19 ab	5,22 ab	
T4	5,21 abB	5,41 aA	
T5	5,03 b	5,11 b	
DMS	0,20		

Nota: Médias seguidas por letras distintas maiúscula na linha e minúscula na coluna, diferem entre si pelo Teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade

Fonte: O próprio autor

Tabela 13 - Desdobramento da interação entre Cultura de Cobertura (CC) e Calagem (C), significativas para número de fileiras (NF). Selviria MS, 2023.

Calcário (C)	Cultura de Cobertura (CC)		DMS
	Milheto	Crotalária	
T1	15,70 ab	15,07 c	0,75
T2	16,58 aA	15,71 abcB	
T3	15,26 bB	16,13 abA	
T4	15,84 ab	16,35 a	
T5	15,26 b	15,19 bc	
DMS	1,05		

Nota: Médias seguidas por letras distintas maiúscula na linha e minúscula na coluna, diferem entre si pelo Teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade

Fonte: O próprio autor

Os tratamentos com calcário e gesso influenciaram na resposta a cultura de cobertura tanto para NF como DE, para DE o tratamento 4 influenciou na resposta da CC, dando uma maior média quando utilizado crotalaria de cultura de cobertura, já quando o tratamento de calagem e gessagem foi o T2, o efeito foi o contrário, possuindo maior média onde foi cultivado milho. Já para NF, foi encontrado um efeito parecido, porém foi o T3 que influenciou no resultado positivo da crotalaria, enquanto o T2 continuou influenciando o milho. Um efeito interessante ao considerarmos que os tratamentos T3 e T4 receberam gesso, corretivo conhecido por ser um condicionante de subsuperfície, onde possui como características lixiviar bases para maiores profundidades, estimulando o desenvolvimento radicular em profundidade (Pauletti *et al.*, 2014; Zandoná *et al.*, 2015), sendo assim, a crotalaria por possuir um sistema radicular pivotante levou vantagem de uma maior disponibilidade de nutrientes em subsuperfície, melhorando a eficiência de ciclagem de nutrientes, incorporando-os na sua palhada.

A variável comprimento da espiga foi influenciada através da interação entre os três fatores (Tabela 14).

Quando não foi realizada a aplicação de adubação nitrogenada os tratamentos 1, 3 e 4 apresentaram influência da cultura de cobertura, sendo a cultura de cobertura crotalaria a que apresentou maior média para comprimento da espiga, reforçando a importância da aplicação de calcário e gesso para expressão da ciclagem de nutrientes efetuada pela leguminosa. Já quando houve aplicação máxima de N, somente o tratamento T5 influenciou na resposta da cultura de cobertura.

Tabela 14 - Desdobramento da interação tripla para comprimento da espiga (CE), em função dos tratamentos utilizados. Selviria, 2023.

Trat.	Milheto			RL	RQ	Crotalária			RL	RQ
	0	90	180			0	90	180		
	cm					cm				
T1	15,97	16,70 b	18,33 a	9,755 ^{*1}	0,47	17,57 a	17,23	17,16	0,279	0,041
T2	17,03	18,90 a	17,40 ab	0,234	6,58 ^{*2}	16,43 ab	17,57	17,93	3,919	0,561
T3	15,57	18,13 ab	17,13 ab	4,275 [*]	7,385 ^{**3}	17,30 ab	17,77	17,70	0,279	0,165
T4	15,40	17,13 ab	17,47 ab	7,428 ^{**4}	1,138	17,47 ab	17,93	18,43	1,627	0,001
T5	16,26	16,83 ab	16,10 b	0,048	0,981	15,33 b	16,23	17,67	9,48 ^{**5}	0,165
DMS	2,13									

	0		90		180		DMS
	Milheto cm	Crotalária cm	Milheto cm	Crotalária cm	Milheto cm	Crotalária cm	
T1	15,97 B	17,57 A	16,70	17,23	18,33	17,16	
T2	17,03	16,43	18,90	17,57	17,40	17,93	
T3	15,57 B	17,30 A	18,13	17,77	17,13	17,70	1,51
T4	15,40 B	17,47 A	17,13	17,93	17,47	18,43	
T5	16,26	15,33	16,83	16,23	16,10 B	17,67 A	

Nota: ¹ $y=15,81666+0,013148x$ $R^2=95,40\%$; ² $y=17,033333+0,039444x-0,000208x^2$ $R^2=100\%$; ³ $y=15,56666+0,048333x-0,000220x^2$ $R^2=100\%$; ⁴ $y=15,633333+0,011481x$ $R^2=86,73\%$; ⁵ $y=15,244444+0,012963x$ $R^2=98,29\%$; Médias seguidas por letras distintas minúscula na coluna, maiúscula na linha, diferem entre si pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade, * significativo a 5% de probabilidade, ** significativo a 1% de probabilidade. . T1 (8,05), T2 (13,70), T3 (8,86), T4 (12,89) e T5 (0,81): doses de calcário ($Mg\ ha^{-1}$) aplicadas no período de 2000 a 2023. Os tratamentos T3 e T4 receberam também $3,4\ Mg\ ha^{-1}$ de gesso no mesmo período.

Fonte: O próprio autor

Quando a cultura de cobertura foi o milho, todas os tratamentos que receberam calagem na última aplicação influenciaram na resposta às doses de N, onde ambos apresentaram um efeito de incremento no comprimento da espiga em função das doses de N, sendo tratamentos 2 e 3 apresentando efeito quadrático e tratamento 1 e 4, efeito linear. Já a cultura do milho, apresentou interação com o T5, influenciando na resposta do N em um efeito linear crescente.

A produtividade foi influenciada pelos tratamentos de calagem e gessagem, sendo os melhores resultados encontrados para os tratamentos que recebeu calagem na última aplicação (Tabela 15), e também para as doses de N, apresentando um efeito linear de incremento na produtividade com o aumento das doses de N, na proporção de $12,1\ kg\ ha^{-1}$ de grão produzido por $kg\ ha^{-1}$ de N aplicado (Tabela 15).

Tabela 15 - Valores de F e médias das características agrônômicas produtividade de grãos (PG) e massa de 100 grãos (M100) em função dos tratamentos. Selviria-MS, 2023

Tratamentos	Características Agrônômicas	
	Produtividade de grãos	M100
	kg	g
Calagem (C)		
T1	8109 a	33,87
T2	8198 a	33,93
T3	8453 a	34,09
T4	8557 a	34,05
T5	6522 b	32,39
Culturas Cobertura (CC)		
Milheto	7805	33,21 b
Crotalária	8131	34,12 a
Dose N (N)		
0	6715	31,60
90	8294	34,62
180	8894	34,78
Teste F		
C	8,53**	2,74
CC	1,65	5,48*
N	26,25**	28,53**
C x CC	1,99	0,43
C x N	0,96	1,07
CC x N	3,06	6,43**
C x CC x N	0,96	0,84
CV%	15,10	5,46
DMS		
C	1129,85	1,72
CC	507,88	0,77
RL	49,20** ¹	45,04**
RQ	3,31	12,03**

Nota: ¹ $y=6878,09444+12,10907x$ $R^2=93,69\%$; Médias seguidas por letras distintas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade, * significativo a 5% de probabilidade, ** significativo a 1% de probabilidade. . T1 (8,05), T2 (13,70), T3 (8,86), T4 (12,89) e T5 (0,81): doses de calcário ($Mg\ ha^{-1}$) aplicadas no período de 2000 a 2023. Os tratamentos T3 e T4 receberam também $3,4\ Mg\ ha^{-1}$ de gesso no mesmo período.

Fonte: O próprio autor

A resposta positiva para a aplicação de calcário e doses de N encontradas na safra 2022/2023 para produtividade de grãos repetiu o efeito encontrado na safra anterior, inclusive apresentando um efeito mais expressivo de aumento na produtividade pela aplicação de N, visto que as condições ambientais eram melhores, proporcionando um desenvolvimento e uma resposta melhor aos tratamentos. Reforçando a importância da adubação nitrogenada e aplicação de calcário no

incremento da produtividade (Souza *et al.*, 2011; Albuquerque *et al.*, 2013; Rodighero *et al.*, 2015; Caires; Milla, 2016).

Ao se analisar massa de 100 grãos foi identificado uma interação entre os fatores cultura de cobertura e doses de N (Tabela 16).

Tabela 16: Desdobramento da interação entre cultura de cobertura (CC) e dose de N (N) significativas para massa de 100 grãos (M100). Selviria MS, 2023.

Dose N	Cultura de Cobertura (CC)		DMS
	Milheto	Crotalária	
	----- g -----		
0	30,23 B	32,97 A	1,34
90	34,93	34,30	
180	34,47	35,09	
RL	39,95**	10,05** ²	
RQ	19,72** ¹	0,21	

Nota: ¹ $y=30,23333+0,080889x-0,000319x^2$ $R^2=100\%$; ² $y=33,05666+0,011815x$ $R^2=97,90\%$; Médias seguidas por letras distintas maiúscula na linha, diferem entre si pelo Teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

Fonte: O próprio autor

É identificado um incremento na massa de 100 grãos com o aumento da dose de N, de efeito quadrático para o milho e linear para crotalária. O efeito quadrático encontrado para milho, calculou-se o máximo desempenho na dosagem 126 kg ha⁻¹. Este resultado vem de encontro com a importância do N para componentes de produtividade, o que vem a concordar com a resposta da produtividade ao N. Na ausência de adubação de N, foi possível identificar efeito das plantas de coberturas, onde foi encontrado um resultado positivo para o uso de crotalária.

Destaca-se que só foi possível observar esse efeito na ausência de adubação nitrogenada devido ao maior potencial de acúmulo de N na matéria seca da crotalária (Calegari, 2006), mas essa diferença não é expressiva quando se utiliza aplicação de N mineral de pronta disponibilidade como a ureia.

A adubação nitrogenada influenciou linearmente o pH nas profundidades 0,0-0,1, 0,1-0,2 e 0,2-0,4 m, sendo em ambos casos apresentados uma diminuição linear do pH conforme se aumentou a aplicação de fertilizante nitrogenado (Tabela 17).

Tabela 17 - Valores de F e médias dos teores de Matéria Orgânica (MO) e pH em função dos tratamentos. Selviria-MS, 2023

Tratamentos	pH(CaCl ₂)			M.O.		
	0-0,10 m	0,10-0,20 m	0,20-0,40 m	0-0,10 m	0,10-0,20 m	0,20-0,40 m
mg dm ⁻³						
Calagem (C)						
T1	5,35 b	4,75 b	4,29 ab	17,11	9,87	8,46
T2	6,01 a	5,17 ab	4,59 a	16,08	9,24	8,01
T3	5,52 b	4,98 ab	4,39 a	16,88	9,02	8,22
T4	6,08 a	5,29 a	4,60 a	16,13	9,22	8,03
T5	4,13 c	4,01 c	4,05 b	15,07	9,21	8,56
Cult. Cobert (CC)						
Milheto	5,46	4,82	4,42	16,09	9,66	7,95
Crotalária	5,38	4,86	4,36	16,42	8,96	8,57
Dose N (N)						
0	5,62 a	5,19 a	4,62 a	16,32	9,10	7,84
90	5,44 a	4,78 b	4,47 b	15,86	9,65	8,67
180	5,19	4,55	4,17	16,59	9,19	8,25
Teste F						
C	88,70 **	15,28 **	7,78 **	1,38 ns	0,26 ns	0,36 ns
CC	1,36 ns	0,08 ns	0,67 ns	0,30 ns	1,57 ns	2,76 ns
N	11,08 **	10,65 **	13,11 **	0,49 ns	0,36 ns	1,63 ns
C x CC	0,62 ns	0,14 ns	0,89 ns	0,67 ns	0,57 ns	0,95 ns
C x N	0,35 ns	0,67 ns	1,88 ns	2,86 **	1,57 ns	0,94 ns
CC x N	1,88 ns	0,53 ns	1,30 ns	0,11 ns	0,93 ns	0,21 ns
C x CC x N	0,84 ns	0,36 ns	0,44 ns	0,66 ns	1,05 ns	0,37 ns
CV%	6,51	11,30	7,88	17,61	28,52	21,45
DMS						
C	0,33	0,51	0,32	2,68	2,49	1,66
CC	0,15	0,23	0,14	1,21	1,12	0,75
RL	21,95** ¹	20,74** ²	26,14** ³	---	---	---
RQ	0,22	0,56	0,08	---	---	---

Nota: ¹ $y=5,6322 - 0,00237x$ $R^2 = 99,02\%$; ² $y=5,162778 - 0,003574x$ $R^2= 97,36\%$; ³ $y= 4,616111 - 0,002537x$ $R^2=99,70\%$; Médias seguidas por letras distintas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade, * significativo a 5% de probabilidade, ** significativo a 1% de probabilidade. T1 (8,05), T2 (13,70), T3 (8,86), T4 (12,89) e T5 (0,81): doses de calcário (Mg ha⁻¹) aplicadas no período de 2000 a 2023. Os tratamentos T3 e T4 receberam também 3,4 Mg ha⁻¹ de gesso no mesmo período.

Fonte: O próprio autor

Tal resultado vai de encontro com o que é apontado na literatura, o efeito de acidificação que a adubação nitrogenada causa pela liberação de H⁺ na solução do solo (Kochhann; Denardin. 2000; Caires; Milla. 2015).

Como esperado, o efeito corretivo do calcário apresentou diferença significativa ($p<0,05$) no pH das três camadas analisadas. Na superfície (0,0-0,10m) foi observado

um efeito direto da quantidade do calcário utilizada na última, que conseqüentemente acaba refletindo no acumulado. O tratamento 5, que não recebeu calcário, apresentou a pior média na superfície, seguidos dos tratamentos 1 e 3 que receberam a menor quantidade, ficando com os melhores resultados os tratamentos que receberam as maiores quantidades de calcário. Observe que o gesso não apresentou qualquer influência na superfície.

Na camada intermediária (0,1-0,2 m) o tratamento 5 continua sendo o pior resultado, diferenciando-se dos demais, O tratamento 4 apresenta o melhor resultado, juntamente com os tratamentos 2 e 3, sendo o tratamento 2, o que recebeu a maior quantidade de calcário junto com o 4, era de se esperar que fosse igual, porém o tratamento 3 não recebe a mesma quantidade de calcário que o 4, mas ele apresenta resultado igual ao 4, isso podemos destacar a capacidade do gesso de lixiviar elementos capazes de neutralizar o H^+ em profundidade, visto que o tratamento 1, que recebeu a mesma quantidade de calcário na última aplicação e não recebeu gesso se diferenciou do tratamento 4.

Em profundidade (0,2-0,4 m) o tratamento T5 foi inferior ao T2, T3 e T4, mas não se diferencia do T1, que por sua vez, não se diferencia dos demais. Sendo assim, o efeito do gesso não foi expressivo o suficiente para causar efeito significativo em profundidade de 0,2 a 0,4 m, destacando-se apenas os tratamentos que receberam calcário na última aplicação.

O calcário é um bom corretivo de acidez, enquanto o gesso é um bom condicionante de sub superfície, influenciando os valores de pH do solo. (Zambrozi *et al.*, 2007; Neis *et al.*, 2010; Pauletti *et al.*, 2014), enquanto o calcário tem o poder de neutralizar, o gesso tem a capacidade de arrastar bases em profundidade.

Foi identificado incremento do teor de N foliar em função do aumento da adubação nitrogenada (Tabela 18). Tal efeito é comum, uma vez que o N é importante constituinte do metabolismo vegetal e o aumento da disponibilidade favorece a absorção do elemento pela planta. Resultados como esse, apontando o incremento de N na folha é relatado em outros trabalhos na literatura, e considerado pertinente ao manejo adotado no sistema. (Souza *et al.*, 2011; Caires; Milla, 2016; Morais *et al.*, 2017; Fernandes *et al.*, 2020).

Tabela 18 - Valores de F e médias da análise foliar, dos teores dos macronutrientes nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) em função dos tratamentos. Selviria-MS, 2023

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S
	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹
Calagem e Gessagem (C)						
T1	24,59	3,18	22,76	0,81 ab	3,62 ab	0,16
T2	24,57	3,16	24,79	3,27 a	4,43 a	0,40
T3	23,70	3,22	22,31	0,11 ab	3,83 ab	0,06
T4	24,44	3,22	24,60	0,91 ab	4,23 ab	0,40
T5	25,01	2,97	23,68	2,35 b	3,29 b	0,31
Cult. Cobert (CC)						
Milheto	23,98	3,14	23,97	3,02	4,11 a	0,32
Crotalária	24,94	3,16	23,29	2,76	3,65 b	0,21
Dose N (N)						
0	21,46	2,71	24,02	3,06	4,02	0,06
90	25,19	3,48	23,50	2,80	3,84	0,44
180	26,74	3,26	23,38	2,82	3,78	0,29
Teste F						
C	0,44	0,35	0,71	2,58*	3,22*	0,33
CC	2,25	0,01	0,35	1,81	4,02*	0,77
N	24,08**	3,88**	0,12	0,70	0,40	0,53*
C x CC	1,23	1,12	0,16	0,46	0,36	0,28
C x N	0,34	0,88	1,01	1,12	0,90	0,41
CC x N	1,25	0,41	0,67	1,01	0,99	0,01
C x CC x N	1,00	0,97	0,67	1,21	0,73	0,52
CV%	12,40	23,05	23,23	31,97	28,03	0,28
DMS						
C	2,85	0,68	5,15	0,87	1,02	0,53
CC	1,28	0,31	2,31	0,39	0,46	0,24
RL	15,59***	3,60**	---	---	---	0,64
RQ	2,57	1,16**	---	---	---	42***

Nota: ¹ $y=21,818889+0,02937x$ $R^2=94,67\%$; ² $y=2,713333+0,013981x-0,000061x^2$ $R^2=100\%$; ³ $y=3,056667+0,007204x-0,000033x^2$ $R^2=100\%$; Médias seguidas por letras distintas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade, * significativo a 5% de probabilidade, ** significativo a 1% de probabilidade. T1 (8,05), T2 (13,70), T3 (8,86), T4 (12,89) e T5 (0,81): doses de calcário (Mg ha⁻¹) aplicadas no período de 2000 a 2023. Os tratamentos T3 e T4 receberam também 3,4 Mg ha⁻¹ de gesso no mesmo período.

Fonte: O próprio autor

O teor de P foliar, assim como na safra 2021/2022, sofreu influência positiva das doses de N, se apresentando em um efeito quadrático nesta ocasião, sendo calculado como a dose de maior acúmulo a dose de 114 kg ha⁻¹ de N. Como já apresentado anteriormente existe uma relação positiva entre a absorção de N e P (Bull, 1993).

Outro efeito que se repetiu nas duas safras foi o acúmulo de S, também associado a absorção de N, por participar de muitos compostos em comum, o

aumento nesses compostos irá aumentar o teor de S (Instituto Potassa e Fostafo, 1998), havendo disponibilidade do mesmo para absorção.

O teor de Ca sofreu variação causada pela aplicação da calagem e gessagem, o T2 que recebeu maior quantidade de calagem acumulada ($13,70 \text{ Mg ha}^{-1}$) apresentou diferença significativa do T5 ($p < 0,05$), os tratamentos 1, 3 e 4 não diferenciam entre si, nem dos tratamentos 2 e 5. A disponibilidade de Ca, através da calagem em grande quantidade, influenciou na absorção de Ca pela planta.

Para os teores dos micronutrientes Cu, Zn, Mn foram identificados efeitos lineares de incremento em função da adubação nitrogenada (Tabela 19).

Os micronutrientes têm grande importância no metabolismo das plantas, fazendo parte de enzimas importantes na fotossíntese, respiração, transcrição de DNA, ativação enzimática, além de formação de complexos orgânicos. Uma maior absorção de N, e S, reflete em um maior metabolismo e desenvolvimento da planta, consequentemente demandando maiores quantidades dos micronutrientes (Kirkby; Römheld, 2007).

Os teores de micronutrientes não sofreram influência das plantas de coberturas nem dos tratamentos de calagem e gessagem. O teor de Ferro não sofreu influência dos tratamentos, apresentando média geral de $156,07 \text{ mg kg}^{-1}$.

Tabela 19 - Valores de F e médias da análise foliar, dos teores de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), cobre (Cu), enxofre (S), ferro (F), zinco (Zn) e manganês (Mn) em função dos tratamentos. Selviria-MS, 2023

Tratamentos	Cu mg kg ⁻¹	Fe mg kg ⁻¹	Zn mg kg ⁻¹	Mn mg kg ⁻¹
Calagem e Gessagem (C)				
T1	7,06	157,67	33,94	57,22 b
T2	7,44	151,17	32,72	57,61 b
T3	7,39	155,39	33,11	63,38 b
T4	7,00	155,33	32,55	57,17 b
T5	8,00	160,78	32,78	91,06 a
Cult. Cobert (CC)				
Milheto	7,09	157,40	32,89	65,13
Crotalária	7,67	154,73	33,16	65,44
Dose N (N)				
0	6,63	153,40	31,00	54,17
90	7,63	157,77	33,83	65,53
180	7,87	157,03	34,23	76,17
Teste F				
C	0,82	0,48	0,68	27,55**
CC	2,13	0,34	0,20	0,02
N	3,66*	0,35	11,48**	25,93**
C x CC	0,55	0,63	1,06	2,06
C x N	0,42	0,61	0,61	1,83
CC x N	2,96	0,16	0,18	0,30
C x CC x N	0,23	1,04	0,90	0,62
CV%	25,43	13,83	8,63	18,13
DMS				
C	1,76	20,26	2,68	11,11
CC	0,79	9,11	1,20	4,99
RL	6,48* ¹	---	19,31** ²	51,84** ³
RQ	0,84	---	3,65	0,019

Nota: ¹ $y=6,761111+0,006852x$ $R^2=88,59\%$; ² $y=31,405556+0,017963x$ $R^2=84,12\%$;

³ $y=54,288889+0,122222x$ $R^2=99,96\%$; Médias seguidas por letras distintas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade, * significativo a 5% de probabilidade, ** significativo a 1% de probabilidade. T1 (8,05), T2 (13,70), T3 (8,86), T4 (12,89) e T5 (0,81): doses de calcário (Mg ha⁻¹) aplicadas no período de 2000 a 2023. Os tratamentos T3 e T4 receberam também 3,4 Mg ha⁻¹ de gesso no mesmo período.

Fonte: O próprio autor

5 CONCLUSÕES

O milheto e a crotalária utilizados como culturas de cobertura do solo em sistema plantio direto não apresentam efeito diferente nos valores de pH e teor de matéria orgânica do solo, em 20 anos da atualização das mesmas

A utilização de calcário ou calcário e gesso não alteraram significativamente os teores de M.O. do solo;

A alteração do pH em função da aplicação de calcário ou calcário + gesso em superfície em sistema plantio direto, varia em função da dose e camada avaliada, mas possibilita a correção do solo até a camada de 0,20 – 0,40 m, mesmo não sendo o calcário incorporado;

Os valores de pH diminuem em função das doses de adubos nitrogenados utilizadas, independente da profundidade avaliada.

As doses de calcário ou calcário e gesso diminuíram o teor de Mn foliar;

Os teores foliares de Cu, Zn e Mn aumentaram em função das doses de N utilizadas na cultura do milho;

Os teores foliares de Ca e Mg aumentaram em função da aplicação de calcário ou calcário + gesso;

As culturas de cobertura não alteraram significativamente a produtividade do milho;

O manejo de calcário ou calcário e gesso superficial apresentou resultados positivos para o desenvolvimento das plantas e produtividade de grãos de milho, mostrando-se prática fundamental para a sustentabilidade do sistema de plantio direto a longo prazo.

O milho em sistema plantio direto consolidado (mais de 20 anos) apresenta-se responsivo a adubação nitrogenada, independente da utilização de gramínea (milheto) ou leguminosa (crotalária) como culturas de cobertura.

REFERÊNCIAS

- AKER, A. M. *et al.* Plantas de coberturas sobre atributos agronômicos do milho na região sudoeste da Amazônia. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 15, n. 3, p. 531-542, 2016.
- ALBUQUERQUE, A. W. *et al.* Plantas de cobertura e adubação nitrogenada na produção de milho em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 7, p. 721-726, 2013.
- ALVARENGA, R. C. *et al.* Plantas de coberturas para sistema de plantio direto. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 22, n. 208, p. 25-36, jan/fev. 2001.
- ALVARES, C.A. *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, n. 6, p.711-728, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>. Acesso em: 14 jan. 2024.
- ARAÚJO, E. O.; SANTANA, C. N.; ESPIRITO SANTO, C. L. Potencial alelopático de extratos vegetais de Crotalária juncea sobre a germinação de milho e feijão. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Brasília, DF, v. 6, n. 1, p. 108-116, 2011.
- ARUN, M. *et al.* Nitrogenous compounds enhance the growth of petunia and reprogram biochemical changes against the adverse effect of salinity. **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, Abingdon, v. 91, n. 6, p. 562–572, 2016.
- BAYER, C. *et al.* Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um latossolo vermelho sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 39, n. 7, p. 677-683, 2004.
- BESSEN, M. R. *et al.* Forms of lime application and use of phosphogypsum in low acid soil in southern Brazil: soybean-wheat yield and soil chemical properties. **Revista Brasileira de Solos**, Viçosa, MG, v. 45, n. e0210001, p. 1-23, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/KHwKQrY73ZpgVLN35K6Tmpp/?lang=en>. Acesso em: 10 fev 2024.
- BOLLIGER, A. *et al.* Taking stock of the Brazilian “zero-till revolution”: A review of landmark research and farmers' practice. **Advances in agronomy**, Maryland Heights, v. 91, p. 47-110, 2006.
- BORGES, W. L. B.; ALVES, M. C.; SÁ, M. E. **Plantas de cobertura em rotação com soja e milho**: sustentabilidade do sistema de semeadura direta. 1.ed. Saarbrücken: Novas Edições Acadêmicas, 2015. 73p.
- BORTOLINI, D. *et al.* Surface applied lime dynamics and base saturation index in a consolidated no-tillage área. **Comunicata Scientiae**, Bom Jesus, v. 7, n. 4, p. 473-485, 2016.

BRACHTVOGEL, E. L. *et al.* População e arranjo de plantas uniformes e a competição intraespecífica em milho. **Revista Tropica: Ciências Agrárias e Biológicas**, Chapadinha, v. 6, n.1, p. 75-83, 2012.

BÜLL, L.T. Nutrição mineral do milho. In: BÜLL, L.T.; CANTARELLA, H. (Ed.). **Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Potafos, 1993. 301p.

CAIRES, E. F.; MILLA, R. Adubação nitrogenada em cobertura para o cultivo de milho com alto potencial produtivo em sistema de plantio direto de longa duração. **Bragantia**, Campinas, v. 75, n. 1, p. 87-95, 2016.

CALEGARI, A. Plantas de cobertura. In: CASÃO JUNIOR, R. *et al.* **Sistema plantio direto com qualidade**. Londrina: IAPAR; Foz do Iguaçu: ITAIPU Binacional, 2006. Cap 5, p. 55-73.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In NOVAIS, R. F. *et al.* (Eds.), **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. Cap 7, p. 375-470.

CASTRO, G. S. A.; CRUSCIOL, C. A. C. Yield and mineral nutrition of soybean, maize, and Congo signal grass as affected by limestone and slag. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 48, n. 6, p. 673-681, 2013.

CONAB. **Com novo recorde, produção de grãos na safra 2022/23 chega a 322,8 milhões de toneladas**. Brasília, DF: CONAB, set. 2023. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/5157-com-novo-recorde-producao-de-graos-na-safra-2022-23-chega-a-322-8-milhoes-de-toneladas>. Acesso em: 20 jan 2024.

CORBEELS, M. *et al.* Evidence of limited carbon sequestration in soils under no-tillage systems in the Cerrado of Brazil. **Scientific Reports**, London, v. 6, n. 1, p. 1-8, 2016.

COSTA, N. R. *et al.* Atributos do solo e acúmulo de carbono na integração lavoura-pecuária em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, MG, v. 39, p. 852-863, 2015.

COSTA, C. H. M. *et al.* Residual effects of superficial liming on tropical soil under no-tillage system. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 51, n. 9, p. 1633-1642, set. 2016.

FERNANDES, C. A. S. *et al.* Desenvolvimento do sistema de plantio direto no brasil: histórico, implantação e culturas utilizadas. **Uniciências**, Londrina, v. 23, n. 2, p. 83-88, 2019.

FERNANDES, V. C. *et al.* Calagem, gessagem, culturas de cobertura e adubação nitrogenada em sistema de plantio direto: estado nutricional e produtividade do milho. **Research, Society and Development**, Vargem Grande Paulista, v. 9, n. 8, p. 1-22, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i8.5943>. Acesso em: 15 fev 2024.

FERREIRA, A. O. *et al.* Desempenho de genótipos de milho cultivados com diferentes quantidades de palha de aveia-preta e doses de nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 44, n. 2, p. 173-179, fev. 2009.

FIDALSKI, J. *et al.* Revolvimento ocasional e calagem em latossolo muito argiloso em sistema plantio direto consolidado. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, MG, v. 39, p. 1483-1489, 2015.

HERNANDEZ, F. B. T. *et al.* **Software HIDRISA e o balanço hídrico de Ilha Solteira**. Ilha Solteira: UNESP/FEIS, 1995. 45 p.

INSTITUO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Censo Agropecuário 2017**: resultados definitivos. 8 ed. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2019. 108 p.

INSTITUTO POTASSA E FOSFATO. **Manual internacional de fertilidade do solo**. 2.ed. rev. e ampl. Piracicaba: Potafos, 1998. 177p.

KIRKBY, E. A.; RÖMHELD, V. Micronutrientes na fisiologia de plantas: funções, absorção e mobilidade. **Encarte do Informações Agronômicas**, Piracicaba, IPNI, n. 118, p.1-24, jun. 2007.

KOCHHANN, R. A.; DENARDIN, J. E. **Implantação e manejo do sistema plantio direto**. 1.ed. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2006. 36p

LEMESSA, F.; WAKJIRA, M. Culturas de coberturas como meio de manejo ecológico de ervas daninhas em agroecossistemas. **Journal of Crop Science and Biotechnology**, Suwon, v. 18, n. 2, p. 133-145, jun. 2015.

LONDERO, A. L. *et al.* Quantifying the impact of no-till on runoff in southern Brazil at hillslope and catchment scales. **Hydrological Processes**, Oxford, v. 35, n. 7, p. e14094, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/hyp.14286>. Acesso em: 10 fev 2024.

LOSS, A. *et al.* Agregação, carbono e nitrogênio em agregados do solo sob plantio direto com integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 46, n. 10, p. 1269-1276, out. 2011.

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

MENDONÇA, V. Z. *et al.* Avaliação dos atributos físicos do solo em consórcio de forrageiras e milho em sucessão com soja em região de cerrados. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, MG, v. 37, p. 251-259, 2013.

MORAIS, G. P. *et al.* Adubação nitrogenada associada à inoculação com *Azospirillum brasilense* na cultura do milho. **Revista Agropecuária Técnica**, Areia, v. 38, n. 3, p. 109-116, 2017.

MOREIRA, R. C.; VALADÃO, F. C. A.; VALADÃO JUNIOR, D. D. Desempenho agrônômico do milho em função da inoculação com *Azospirillum brasilense* e adubação nitrogenada. **Revista de Ciências Agrárias**. Belém, PA, v. 62, 2019.

MOTTER, P.; ALMEIDA, H. G. **Plantio direto**: a tecnologia que revolucionou a agricultura brasileira. 1.ed. Foz do Iguaçu: Parque Itaipu, 2015. 144p.

MUZILLI, O. Manejo do solo em sistema plantio direto. *In*: CASÃO JUNIOR, R.; SIQUEIRA, R.; MEHTA, Y. R.; PASSINI, J. J. **Sistema plantio direto com qualidade**. Londrina: IAPAR; Foz do Iguaçu: ITAIPU Binacional, 2006. Cap 2, p. 9-27.

NEIS, L. Gesso agrícola e rendimento de grãos de soja na região do sudoeste de Goiás. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, MG, v. 34, p. 409-416, 2010.

OKUMA, I. G. *et al.* Productivity evaluation of soybean varieties inoculated with *Bradyrhizobium japonicum* in no-tillage system under *Urochloa ruziziensis* straw. **International Journal of Development Research**, New York, v. 9, n. 8, p. 29197-29200, 2019.

PAULETTI, V. *et al.* Efeitos em longo prazo da aplicação de gesso e calcário no sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, MG, v. 38, p. 495-505, 2014.

PEREIRA, C. M. **Política de uso de calcário agrícola e a sustentabilidade da agricultura no Brasil**. 2007. Tese (Doutorado em Ciências) - Instituto de geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

PEREIRA, A. P. *et al.* Ciclagem de nutrientes por plantas de coberturas de verão. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 40, n. 4, p. 799-807, 2017.

PEREIRA FILHO, I. A. *et al.* **Manejo da cultura do milheto**. Sete Lagoas: EMPRAPA, dez. 2003. 17p. (Circular técnico, 29).

PRADO, R. M. **Nutrição de plantas**. São Paulo: Unesp, 2008. 408 p.

RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A. **Métodos de análise química do solo para fins de fertilidade**. Campinas: Instituto Agrônômico, 1983. 31 p. (Boletim Técnico, 81).

RODRIGHERO, M. B. *et al.* Aplicação superficial de calcário com diferentes teores de magnésio e granulometrias em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, MG, v. 39, p. 1723-1736, 2015.

ROSE, T. J. *et al.* Wheat, canola and grain legume access to soil phosphorus fractions differs in soils with contrasting phosphorus dynamics. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 326, p. 159-170, 2010.

SIRINO, F. I. *et al.* Antecipação da adubação da soja na braquiária consorciado com milho segunda safra. **Revista Cultivando o Saber**. Cascavel, PR, v. 16, p. 139-149, 2023.

SANTOS, H.P. *et al.* Fertilidade e teor de matéria orgânica do solo em sistemas de produção com integração lavoura e pecuária sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. Recife, v. 6, n. 3, 474-482. 2011. DOI: <https://doi.org/10.5039/agraria.v6i3a1266>

SOUZA, J. A. *et al.* Adubação nitrogenada na cultura do milho safrinha irrigado em plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 2, p. 447-454, 2011.

SOUZA, R. C. *et al.* Shifts in taxonomic and functional microbial diversity with agriculture: How fragile is the Brazilian Cerrado? **BMC Microbiology**, Berlim, v. 16, n. 42, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s12866-016-0657-z>. Acesso em: 15 dez 2023.

SOUZA, L. S. *et al.* Contribuição da adubação verde para os atributos físicos do solo. In: LIMA FILHO, O. F. *et al.* **Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e prática**. 2.ed. rev. e atual. Brasília: Embrapa, 2023. cap 9. p.359-406.

TAIZ, L. *et al.* **Fisiologia vegetal**. 6 ed. Porto Alegre: Editora Artmed, 2017.

TAVARES, R. L. M. *et al.* Long term application of pig manure on the chemical and physical properties of Brazilian Cerrado soil. **Carbon Management**, London, v. 10, n. 6, p. 541-549, 2019.

WUTKE, E. B. *et al.* Espécies de adubos verdes e plantas de cobertura e recomendações para uso In: LIMA FILHO, O. F. *et al.* **Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e prática**. 2.ed. rev. e atual. Brasília, DF: Embrapa, 2023. cap 3. p.57-173.

XAVIER, C. V. *et al.* Crop rotation and succession in a no-tillage system: Implications for CO₂ emission and soil attributes. **Journal of Environmental Management**, London, v. 245, p. 8-15, 2019.

ZAMBROSI, F. C. B. *et al.* Aplicação de gesso agrícola e especiação iônica da solução de um Latossolo sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, RS, v. 37, n. 1, p. 110-117, jan-fev, 2007.

ZANDONÁ, R. R. *et al.* Gesso e calcário aumentam a produtividade e amenizam o efeito do déficit hídrico em milho e soja. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 45, n. 2, p. 128-137, abr-jun, 2015.

ZANELLA, J. B. *et al.* Adubação de sistemas: prática que otimiza o uso de nutrientes e aumenta a eficiência produtiva dos sistemas agrícolas. *In: Avanços da pesquisa e inovação em sistemas agrícolas*: conjunturas da ciências agrárias. Guarujá: Editora Científica Digital, 2023. cap. 2, p. 55-71. Disponível em: <https://www.editoracientifica.com.br/livros/avancos-da-pesquisa-e-inovacao-em-sistemas-agricolas-conjunturas-da-ciencias-agrarias>. Acesso em: 10 fev 2024.

ZIECH, A. R. D. *et al.* Proteção do solo por plantas de cobertura de ciclo hiberna na região sul do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 50, n. 5, p. 374-382, mai, 2015.

ZOTARELLI, L. *et al.* Influence of no-tillage and frequency of a green manure legume in crop rotations for balancing N outputs and preserving soil organic C stocks. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 132, p. 185-195, 2012.