



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO” CÂMPUS DE ILHA
SOLTEIRA

DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA, TECNOLOGIA DE ALIMENTOS E SÓCIO ECONOMIA

GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÔNOMICA

HEITOR KENNEDY DE CASTRO JÚNIOR

**Vinte e um anos de plantio direto no cerrado: Comportamento do
milho em função da calagem, gessagem, culturas de cobertura e
adubação nitrogenada – safra 2021/22**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**Ilha solteira
2024**

HEITOR KENNEDY DE CASTRO JÚNIOR

Vinte e um anos de plantio direto no cerrado: Comportamento do milho em função da calagem, gessagem, culturas de cobertura e adubação nitrogenada – safra 2021/22

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Programa de graduação, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de bacharel em Engenharia Agrônômica.

Orientador: Edson Lazarini

Ilha Solteira

2024

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

- C355v Castro Júnior , Heitor Kennedy de.
Vinte e um anos de plantio direto no cerrado: comportamento do milho em função da calagem, gessagem, culturas de cobertura e adubação nitrogenada – safra 2021/22 / Heitor Kennedy de Castro Júnior . -- Ilha Solteira: [s.n.], 2024
56 f. : il.
- Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Agrônômica) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira, 2024
- Orientador: Edson Lazarini
- Inclui bibliografia
1. Calcário . 2. Sustentabilidade . 3. Zea mays.

Elaborado por Raiane da Silva Santos - CRB - 8/9999

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO” FACULDADE
DE ENGENHARIA – UNESP – CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA CURSO DE GRADUAÇÃO
EM ENGENHARIA AGRÔNOMICA**

ATA DA DEFESA – TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**TÍTULO: VINTE E UM ANOS DE PLANTIO DIRETO NO CERRADO:
COMPORTAMENTO DO MILHO EM FUNÇÃO DA CALAGEM, GESSAGEM,
CULTURAS DE COBERTURA E ADUBAÇÃO NITROGENADA – SAFRA 2021/22**

ALUNO: HEITOR KENNEDY DE CASTRO JUNIOR - RA: 172054079

ORIENTADOR: PROF. DR. EDSON LAZARINI

Aprovado (X) Reprovado () pela Comissão Examinadora com nota obtida: 9,0 (nove inteiros)

Comissão Examinadora:



Documento assinado digitalmente
EDSON LAZARINI
Data: 22/07/2024 10:25:36-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

EDSON LAZARINI

(ORIENTADOR)



Documento assinado digitalmente
FERNANDO DE SOUZA BUZO
Data: 21/07/2024 18:07:40-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

MSc FERNANDO DE SOUZA BUZO



Documento assinado digitalmente
BRUNA MIGUEL CARDOSO
Data: 17/07/2024 09:58:43-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

MSc PROF. BRUNA MIGUEL CARDOSO

Heitor K. de Castro Junior

HEITOR KENNEDY DE CASTRO JUNIOR

Aluno

Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – Departamento de Fitotecnia, Tecnologia de Alimentos e Sócio Economia.
Avenida Brasil, 56 Centro CEP 15385-000 Ilha Solteira São Paulo Brasil
Fone (18) 3743 1144 www.feis.unesp.br

Ilha Solteira (SP), 10 de julho de 2024.

DEDICATORIA

Dedico este trabalho aos meus pais,
por sempre acreditarem em mim e,
principalmente, me apoiarem nos
meus estudos e na minha carreira.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por minha saúde e por estar sempre ao meu lado nos momentos bons e ruins da vida.

Aos meus pais, Heitor Kennedy de Castro e Janaína Ferreira de Brito, pelo apoio incondicional em todos os momentos da minha vida. Também quero expressar minha profunda gratidão à minha madrasta, Ana Claudia, que sempre me apoiou e aconselhou, assim como meus pais biológicos.

Aos meus familiares - irmão, avós, bisavós, tios e primos - por serem a base e o suporte fundamental. Sem família, não somos nada.

Deixo um agradecimento especial aos amigos da faculdade, que tornaram a jornada desafiadora da graduação mais leve e gratificante.

Aos amigos do grupo de pesquisa, especialmente ao Fernando, que me ajudou não apenas durante a graduação, mas também no início da minha carreira profissional.

Meu sincero agradecimento ao meu orientador, Prof. Dr. Edson Lazarini, por me acolher como seu orientando e, mesmo diante das adversidades do meu intercâmbio, manter a paciência e dedicação em me auxiliar.

Agradeço também aos membros da banca examinadora por aceitarem o desafio de corrigir, avaliar e contribuir com este trabalho.

“Se eu vi mais longe, foi por estar sobre ombros de gigantes.” (Isaac Newton)

RESUMO

O Brasil desempenha um papel crucial na produção de milho, predominantemente cultivado em solos do cerrado. O Sistema Plantio Direto (SPD), inicialmente desenvolvido como uma ferramenta de conservação do solo, evoluiu para um sistema altamente tecnificado e amplamente utilizado em diversas regiões do país. Para assegurar a sustentabilidade do SPD, é essencial produzir palhada e melhorar a fertilidade do solo, sendo a correção do solo, por meio de culturas de cobertura e calagem, fundamental para alcançar esse objetivo. Este trabalho teve como objetivo avaliar a influência de diferentes tratamentos de aplicação de calcário e gesso, doses de nitrogênio (N) e duas culturas de cobertura nas características agronômicas e nutricionais da cultura do milho. Um experimento de longa duração está sendo conduzido na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão da UNESP, Campus de Ilha Solteira, localizada em Selvíria – MS desde 2000. Este trabalho refere-se ao ano agrícola 2021/22, ou seja, 20 anos após a implantação do sistema plantio direto na área experimental. Utilizou-se o delineamento em blocos casualizados, com esquema fatorial 5 x 3 x 2, envolvendo cinco tratamentos com calcário e gesso 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), três doses de N (0, 90, 180 kg ha⁻¹) e duas culturas de cobertura (milheto e *Crotalária juncea*). Durante o ano agrícola 2021/2022, foram avaliadas as características agronômicas, produtividade de grãos, estado nutricional do milho e valores de pH e teor de matéria orgânica no solo. Os resultados mostraram efeitos positivos da aplicação da calagem na altura de plantas, altura de inserção de espiga, comprimento e diâmetro de espiga, além da produtividade de grãos. Também foi observado um efeito benéfico da calagem na absorção de cálcio pelas plantas. A adubação nitrogenada contribuiu para o aumento da produtividade e diâmetro das espigas e influenciando a absorção de N, P, Ca, Mg e S. As plantas de cobertura impactaram a altura das plantas e população. Houve interação entre os três fatores avaliados para diâmetro de espiga, número de grãos por fileira e teor de Mg. A aplicação de calcário e gesso mostrou-se essencial para a sustentabilidade do SPD. Mesmo após mais de 20 anos de plantio direto com leguminosa (crotalária) e gramínea (milheto), a cultura do milho ainda apresentou resposta significativa à adubação nitrogenada. Milheto e crotalária demonstraram ser opções viáveis como culturas de cobertura precedendo o cultivo de milho no verão.

Palavras-chave: Calcário; sustentabilidade do SPD; *Zea mays*; *Crotalária juncea*; Milheto; Nitrogênio.

ABSTRACT

Brazil plays a crucial role in corn production, predominantly cultivated in cerrado soils. The No-Till System (NTS), initially developed as a soil conservation tool, has evolved into a highly technical system widely used in various regions of the country. To ensure the sustainability of NTS, it is essential to produce straw and improve soil fertility, with soil correction through cover crops and liming being fundamental to achieving this goal. This study aimed to evaluate the influence of different treatments of lime and gypsum application, nitrogen (N) doses, and two cover crops on the agronomic and nutritional characteristics of corn. A long-term experiment has been conducted at the Teaching, Research, and Extension Farm of UNESP, Ilha Solteira Campus, located in Selvíria – MS since 2000. This study refers to the 2021/22 agricultural year, i.e., 20 years after the implementation of the no-till system in the experimental area. A randomized block design with a 5 x 3 x 2 factorial scheme was used, involving five treatments with lime and gypsum over 20 years (T1: 8.05 T ha⁻¹ of lime; T2: 13.70 T ha⁻¹ of lime; T3: 8.86 T ha⁻¹ of lime + 3.7 T ha⁻¹ of gypsum; T4: 12.89 T ha⁻¹ of lime + 3.7 T ha⁻¹ of gypsum; T5: 0.81 T ha⁻¹ of lime), three N doses (0, 90, 180 kg ha⁻¹), and two cover crops (millet and *Crotalaria juncea*). During the 2021/2022 agricultural year, agronomic characteristics, grain yield, corn nutritional status, and soil pH and organic matter content were evaluated. The results showed positive effects of liming on plant height, ear insertion height, ear length and diameter, as well as grain yield. A beneficial effect of liming on calcium uptake by plants. Nitrogen fertilization contributed to increased yield and ear diameter and influencing the absorption of N, P, Ca, Mg and S. Cover crops impacted in the plant height, and population. There was an interaction between the three factors evaluated for ear diameter, number of grains per row, and Mg content. The application of lime and gypsum proved essential for the sustainability of NTS. Even after more than 20 years of no-till with legume (*Crotalaria*) and grass (millet), corn still showed a significant response to nitrogen fertilization. Millet and *Crotalaria* proved to be viable options as cover crops preceding corn cultivation in the summer.

Keywords: Lime; NTS sustainability; *Zea mays*; *Crotalaria juncea*; Millet; Nitrogen.

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Resultados da análise química da amostra de solo da área experimental. Selvíria-MS, 2000.	24
Tabela 2: Teores foliares de N, P, K, Ca, Mg e S na cultura do milho em função dos tratamentos. Selvíria – MS, 2022.	29
Tabela 3: : Desdobramento da interação calcário x cultura de cobertura, significativa para teor foliar de S em milho. Selvíria-MS, 2022.....	32
Tabela 4: Desdobramento da interação calcário x culturas de cobertura x doses de N, significativa para teor de Mg em fohas de milho. Selvíria – MS, 2022.....	33
Tabela 5: Valores de F e médias das características agronômicas, Altura de plantas (AP), Altura de Inserção de espiga (AIE) em função dos tratamentos. Selviria-MS, 2022.....	38
Tabela 6: Valores de F e médias das características agronômicas, População de Plantas (PP) 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) e Produtividade de grãos (PG) em função dos tratamentos. Selviria – MS, 2022.....	40
Tabela 7: Desdobramento da interação calcário x culturas de cobertura x doses de N, significativa para diâmetro da espiga de milho. Selviria – MS, 2022.....	41
Tabela 8: 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.....	44
Tabela 9: Desdobramento da interação culturas de cobertura x doses de N na cultura do milho, significativa para massa de 100 Grãos. Selviria – MS, 2022.	45
Tabela 10: Desdobramento da interação calcário x cultura de cobertura, significativa para produtividade de grãos de milho. Selvíria-MS, 2022.	46

Lista de Figuras

Figura 1: Influencia do pH na dinâmica dos nutrientes	14
Figura 2: Três classes de solo ocupam a maior parte do território nacional	16
Figura 3: Temperatura média anual (°C) no Bioma Cerrado	18
Figura 4: Distribuição espacial da precipitação média anual no Cerrado	18
Figura 5. Teores de Mg foliar em milho em função de doses de N, dentro do tratamento T1 – calcário e nas culturas de cobertura crotalária e milheto (A) e dentro dos tratamentos T3 (B) e T4 (C) de calcário e gesso, dentro da cultura de cobertura milheto. Selvíria – MS, 2022.	35
Figura 6: Ajustes para os valores de diâmetro da espeiga em função de doses de N e culturas de cobertura, em diferentes tratamentos com calcário ou calcário + gesso. Selvíria – MS, 2022.	43
Figura 7: Ajustes para os valores de produtividade de grãos de milho em função de doses de N. Selvíria – MS, 2022.	46

Sumário

1. INTRODUÇÃO	13
2. REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1 A cultura do milho	15
2.2 Importância da qualidade do solo	17
2.3 Sistema de Plantio Direto	17
2.4 Calagem e gessagem	21
2.5 Culturas de cobertura	22
2.5.1 Milheto	22
2.5.2 Crotalária	23
3. MATERIAL E MÉTODOS	25
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	30
4.1 Estado nutricional e características agronômicas da cultura do milho	30
4.2 Aspectos morfológicos	38
4.3 Aspectos de produtividade	41
5. CONCLUSÕES	498
6. REFERÊNCIAS	509

1 INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays*), pertence à família Poaceae e ao gênero *Zea*, é uma das plantas de maior importância comercial do mundo. Atualmente, o Brasil é o terceiro maior produtor mundial do grão. O cultivo brasileiro de milho se divide na primeira e segunda safra, fazendo com que a produção total seja alavancada. Levando em conta a produção total, o milho ocupa o segundo lugar na posição nacional, atrás apenas da cultura da soja. É de grande importância alimentar, sendo consumido em sua forma in natura ou derivados como óleos e fubá, além de ser utilizado como ração para consumo animal e fins industriais devido a sua relativa facilidade de fermentação e boa aceitação animal (GOMES *et al.*, 2002).

Segundo a ONU (2019), estima-se que a população mundial irá aumentar para cerca de 9,7 bilhões de pessoas até 2050, aumentando a demanda de alimentos em todo o mundo. Isso incluiu aumento da demanda para o milho, o que intensifica as pesquisas para maior produtividade do grão, mesmo em solos naturalmente de baixa fertilidade, como o caso do cerrado brasileiro. O cerrado, em sua maioria, possui solos com alta acidez e alta concentração de alumínio, que reduzem a quantidade de nutrientes disponíveis para as plantas, além de suas condições climáticas adversas, como a ocorrência de veranicos nas épocas chuvosas, e uma estação seca durante o outono/inverno gerando uma restrição hídrica que limita o cultivo nas entressafras (CARDUCCI *et al.*, 2015).

O sistema plantio direto (SPD) é a prática conservacionista que mais se destaca, uma vez que contribui para a sustentabilidade de sistemas agrícolas intensivos, mantendo a cobertura dos solos, promovendo a manutenção da MO e minimizando efeitos da erosão (ALBUQUERQUE *et al.*, 1995). Outras vantagens também são atribuídas ao SPD. Yano (2005) relata que o SPD possibilita receita extra ao agricultor atribuída ao ganho de tempo na semeadura, cobertura do solo e manutenção dos teores de água na entressafra e economia de combustível no plantio.

Os restos vegetais das culturas são um dos fatores chaves para o sucesso do SPD por proporcionarem um ambiente mais favorável ao crescimento vegetal e contribuir para a estabilização da produção, auxiliando na manutenção ou até mesmo na recuperação da qualidade do solo (ALVARENGA *et al.*, 2001; CRUZ *et al.*, 2004). Porém os resíduos da sucessão soja-milho ou dos monocultivos são insuficientes para manter uma boa cobertura, o que leva a uma compactação e perdas de água do solo, prejudicando assim todo o sistema em relação a qualidade e a estabilidade química e física (BRÜGGEMANN, 2011; SILVA, 2014).

Outro ponto de extrema importância, não só para o sucesso do SPD, mas para a produção agrícola brasileira, é a adição de calcário nos solos, uma vez que a acidez é uma característica generalizada dos solos brasileiros, provocando principalmente a diminuição na disponibilidade de nutrientes (Ca, Mg e K) e aumentando a solubilidade de cátions tóxicos (H, Al e Mn) (FRANCHINI *et al.*, 2001). A prática da calagem neutraliza os cátions H^+ e Al^{3+} , liberando as cargas presentes nas argilas do solo que serão ocupadas por Ca^{2+} e Mg^{2+} .

O objetivo deste estudo foi avaliar a influência das diferentes formas de correção do solo realizadas durante os 20 anos de cultivo, culturas de cobertura e doses de nitrogênio, no estado nutricional da cultura do milho, nas características agronômicas e produtividade grãos, em uma área inserida no bioma Cerrado e cultivada em SPD.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A cultura do milho

O milho é cultivado em todo o território nacional e é considerado como um dos principais produtos da cadeia produtiva do agronegócio brasileiro, devido à sua utilização na alimentação humana, bovina, no sistema de rotação de culturas, plantio direto, tanto como cultura principal quanto como cultura de cobertura outono/inverno, também conhecida como safrinha (PINAZZA, 1993). A possibilidade de cultivo em duas estações, nos dá uma vantagem sob os outros países produtores, com o total produzido no país de 113.272,1 mil toneladas, uma área plantada de 21.581,9 mil hectares e uma produtividade de 5.248 kg ha⁻¹ na safra 2021/22 (CONAB, 2022).

Sendo uma planta originária do México, e por ter esta origem tropical exige, durante seu ciclo vegetativo, temperatura, água e radiação para desenvolver e produzir (CRUZ, *et al.*, 2006). Temperaturas elevadas no período noturno (superiores a 24 °C) provocam consumo energético elevado, ocasionando em menor saldo fotossintético e estudos mostram que em temperaturas menores que 10 °C a planta não se desenvolve (FANCELLI, 2015). A água é outro fator abiótico de extrema importância para a cultura, sendo consumidos cerca de 600 mm de água durante todo o seu ciclo. A ocorrência de déficit hídrico na cultura pode ocasionar danos em todas as fases (CRUZ, *et al.*, 2006).

Os cereais de forma geral se caracterizam por uma grande resposta ao nitrogênio, advindo do melhoramento genético aplicado a essas culturas, especialmente no milho, mas o potássio também é um nutriente consumido em altas concentrações por estas plantas. Ao contrário do nitrogênio, grande parte do potássio retorna ao solo com a colheita (RAIJ, *et al.*, 1996).

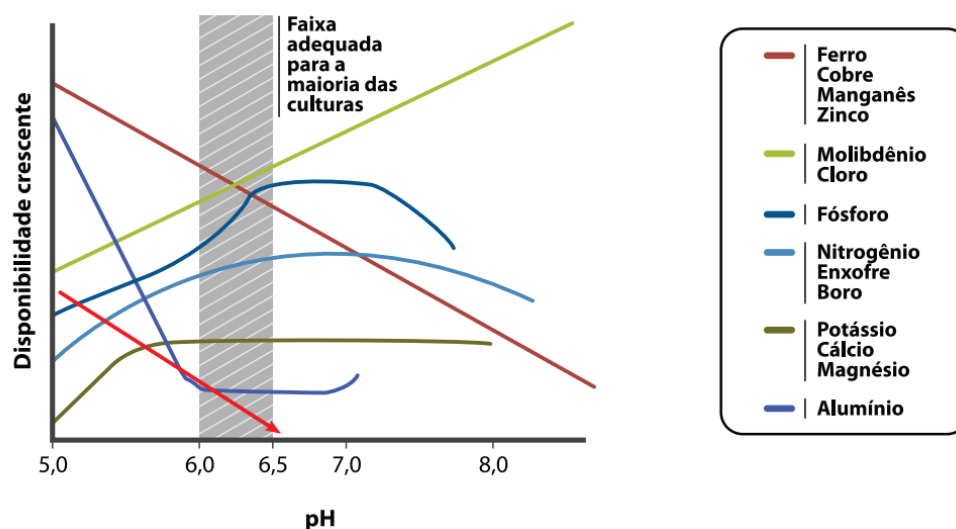
As necessidades de adubação na cultura do milho se diferenciam conforme a utilização deste grão, fertilidade e textura do solo e da produtividade esperada (RAIJ, *et al.*, 1996). Os macronutrientes são de extrema importância para o milho, destacando-se o nitrogênio que deve ser aplicado em duas etapas, sendo a primeira no sulco de semeadura para suprimento das raízes e em cobertura, o fósforo devido a sua dinâmica no solo e o enxofre. O micronutriente mais exigido pela cultura é o zinco (2 a 6 kg ha⁻¹) principalmente em área do cerrado, em solos arenoso e pobre em matéria orgânica (FANCELLI *et al.*, 2015).

No Brasil, a produção de milho se concentra no centro-oeste e no centro-sul, destacando-se o estado do Mato Grosso como maior produtor nacional, com uma produção de 48,987 milhões de

toneladas na safra 2021/22 (CONAB, 2022). O solo desta região é classificado de acordo com sua granulometria, principalmente Latossolos e Argissolos e são típicos do Bioma Cerrado, ocupando uma área de aproximadamente 20%, especialmente na fronteira agrícola (FARIAS NETO *et al.*, 2019).

Solos tropicais, como os do Mato Grosso por exemplo, são naturalmente ácidos seja pela excessiva precipitação, que causam lixiviação das bases trocáveis, ou pela ausência de minerais primários e secundários, responsáveis pela base trocável do solo. De modo geral a acidez influencia na disponibilidade dos nutrientes (Figura 1), diminuindo as concentrações de fósforo, cálcio, magnésio, potássio, molibdênio e nitrogênio (VELOSO, *et al* 2007).

Figura 1: Influencia do pH na dinâmica dos nutrientes



Fonte: Malavolta (1999)

A cultura do milho, como já mencionado, ocupa grande área do território nacional e com a expansão dos 10 últimos anos, o crescimento da produção deixa o país na posição de terceiro maior produtor global. Um dos fatores que ajudaram a compor este cenário é o manejo do solo, principalmente o SPD (FANCELLI *et al.*, 2015), priorizando não somente atingir as exigências fotoclimáticas e nutricionais, mas também a conservação e manutenção da fertilidade dos solos.

2.2 Importância da qualidade do solo

De acordo com Gomes (2015), a qualidade do solo é uma característica abstrata, sendo associada não somente aos fatores intrínsecos, mas também aos fatores externos como a prática de manejo e uso dos mesmos. Sendo assim, a boa qualidade de um solo dependerá das prioridades previamente estabelecidas tendo considerado a sua funcionalidade múltipla, apresentando dentro dos limites de um ecossistema natural ou manejado, a capacidade de manter a produtividade, a biodiversidade animal e vegetal e melhorar a qualidade do ar, água e da saúde humana.

Muito pouco pode ser feito para alterar as características intrínsecas de um solo como a textura, por exemplo. Porém, o manejo do solo possui grandes influências sobre os processos relacionados aos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, estes que são utilizados para avaliar sua qualidade (ABREU, 2019). O autor ainda cita a influência do teor de matéria orgânica no aumento da fertilidade, da capacidade de retenção de água e de nutrientes por longos períodos de tempo.

Para outros autores, como Vezzani e Mielniczuk (2009), a qualidade do solo está relacionada com a sustentabilidade agrícola, que consiste na produção de alimentos e fibras em um solo capaz de desempenhar suas funções e ao mesmo tempo preservar estas funções para o futuro, em um processo ambientalmente seguro que seja socialmente aceito e economicamente viável.

2.3 Sistema de Plantio Direto

O sistema plantio direto consiste em uma técnica de cultivo onde a cobertura vegetal permanece sobre o solo mesmo após a colheita, não havendo revolvimento da camada arável do solo. E sua adoção se expandiu expressivamente no país e, atualmente, muitos produtores de milho no Brasil utilizam (FANCELLI *et al.*, 2015).

A prática de manter os restos culturais no solo sem incorporação traz grandes benefícios ao sistema produtivo, isso porque a agricultura no Brasil abrange regiões de climas tropical e subtropical, nas quais os solos são predominantemente caulíníticos (Figura 2). Estes tipos de solo são extremamente suscetíveis à erosão provocadas por chuvas tropicais (FANCELLI *et al.*, 2015).

Sendo assim, a palhada forma uma barreira perante ao impacto das gotas de chuvas, o que diminui a desagregação do solo e consequentemente a erosão (PARO, 2021).

A cultura do milho é muito exigente em relação à fertilidade do solo, portanto a preservação da camada superficial evita que os nutrientes, como o nitrogênio, potássio e fósforo sejam levados junto às águas das enxurradas, prevenindo-se assim o empobrecimento do solo e o cultivo em camadas de menor fertilidade (FANCELLI *et al.*, 2015).

A mineralização e a reciclagem de nutrientes da cobertura vegetal são realizadas por microrganismos presentes no solo, resultando na preservação da fertilidade e aumento da quantidade de matéria orgânica e carbono orgânico no solo (PARO, 2021). Além destes benefícios nutricionais a palhada reduz a quantidade de plantas invasoras, diminuindo a competição resultando em uma maior produtividade.

Figura 2: Três classes de solo ocupam a maior parte do território nacional



Fonte: Embrapa, 2014

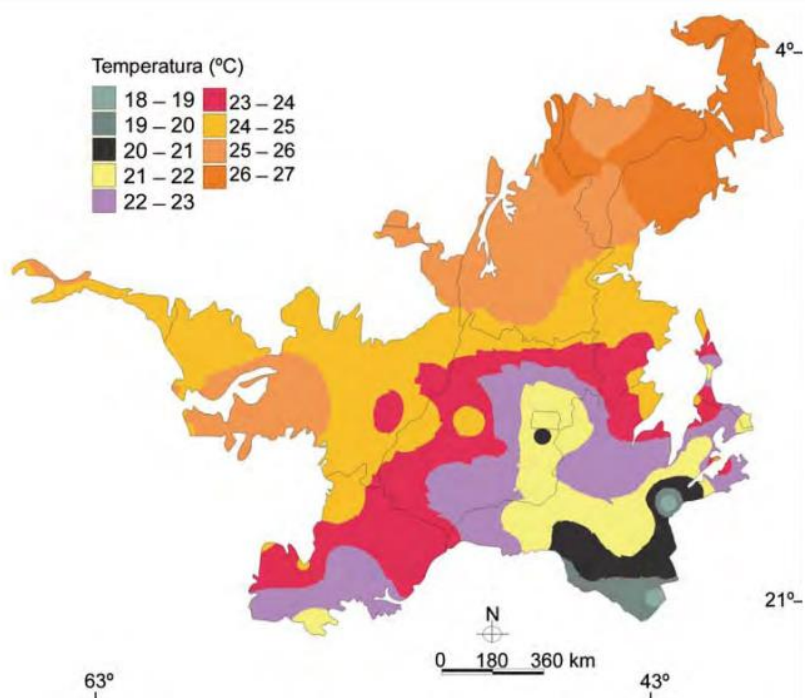
Além do controle da erosão pela chuva, a palhada presente no solo consegue manter a umidade no solo. Segundo FANCELLI *et al.*, (2015) escrevem, a manutenção dos resíduos auxilia na redução da amplitude térmica dos solos através da dissipação do calor, levando a uma

temperatura de até 7 °C menor em relação ao solo exposto à radiação (KENNEY *et al.*, 2015). Esta manutenção da temperatura é de extrema importância para a cultura do milho que aproveita o nitrogênio na forma nítrica e amoniacal, e o fornecimento deste nutriente é extremamente prejudicado em altas temperaturas. Além disso, este efeito ainda ajuda na produção do milho safrinha, pois este é semeado em meses quentes (fevereiro e março) (FANCELLI *et al.*, 2015).

O não revolvimento do solo e a manutenção da palhada ainda auxiliam no enfrentamento de secas, pois preserva os agregados do solo em quantidade e qualidade, auxiliando assim na retenção de água ao longo do perfil (ARAI *et al.*, 2013).

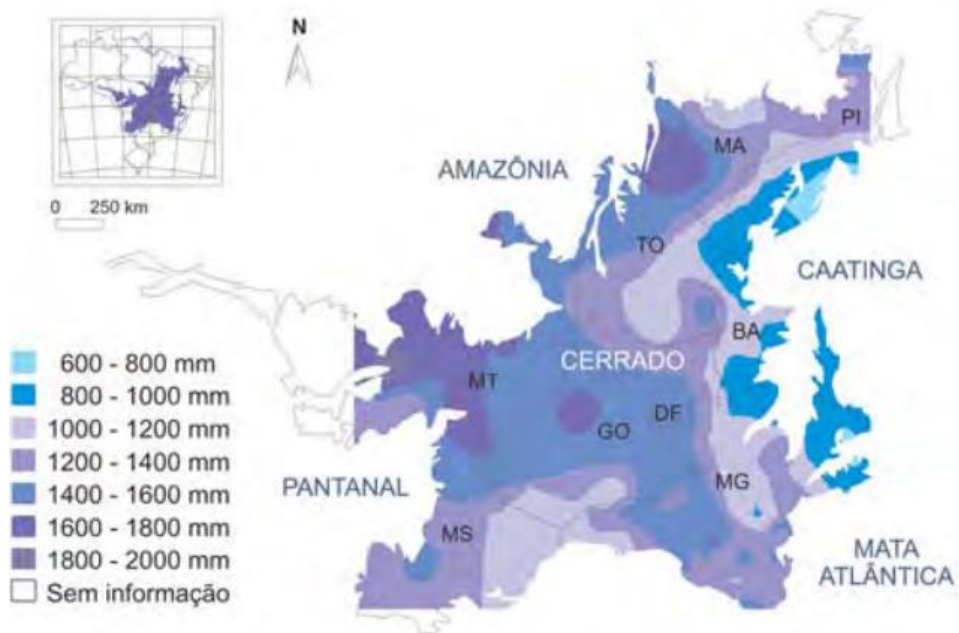
O clima do Cerrado é caracterizado pelas duas estações que são bem definidas e diferentes, sendo uma chuvosa de outubro a abril e outra seca de maio a setembro, com ocorrência de veranicos, que são tempos períodos longos de seca mesmo na estação chuvosa. E devido ao seu tamanho territorial possui uma variabilidade grande de temperatura (Figura 3) apresentando um expressivo aumento de temperatura na faixa sul-norte (DA SILVA *et al.*, 2008). E além de altas temperaturas, os regimes de chuvas do cerrado também são irregulares (Figura 4). Da silva (2008) também identificou uma grande variabilidade espacial da precipitação pluviométrica média anual, com lâminas que vão de 600 mm a 2 mil mm, prejudicando assim o pleno desenvolvimento da cultura. Fazendo assim com que a manutenção da palhada seja de extrema importância para evitar a erosão, manutenção da temperatura e da água no solo.

Figura 3: Temperatura média anual (°C) no Bioma Cerrado



Fonte: MACENA, F. A. S., *et al* 2008

Figura 4: Distribuição espacial da precipitação média anual no Cerrado



Fonte: Assad e Evangelista (2001).

2.4 Calagem e gessagem

A calagem é a prática mais utilizada na agricultura brasileira para neutralizar a acidez do solo, aumentar a disponibilidade de nutrientes, diminuir o teor de elementos tóxicos, melhorar o desenvolvimento radicular e restaurar a produtividade das culturas (Caires *et al.*, 2005). A reação do calcário no solo se inicia quando o produto entra em contato com a água, dissolvendo-se em água, gás carbônico e hidroxila (OH^-). Essa reação eleva o pH e os teores de Ca e Mg do solo, além de aumentar a saturação por base. Segundo Raij *et al.* (1996), a reação do calcário é restrita a uma pequena distância do local da aplicação, assim o benefício máximo é obtido com a aplicação antecipada, distribuição uniforme e a incorporação profunda. O que acaba ferindo com um dos princípios do plantio direto, o não revolvimento do solo.

Considerando que a calagem sem incorporação pode ter sua ação limitada às camadas superficiais, principalmente nos primeiros anos de cultivo, a aplicação de gesso agrícola em superfície pode ser uma alternativa para aumentar a saturação por bases na subsuperfície e reduzir o efeito tóxico do Al^{3+} , melhorando o solo para desenvolvimento radicular e favorecendo o crescimento das plantas. O efeito do gesso agrícola para diminuir o problema do teor tóxico de Al^{3+} e do baixo teor de Ca, em subsuperfície, é decorrente da sua maior solubilidade em relação ao calcário e da reatividade do ânion acompanhante. Na dissolução do calcário (CaCO_3 ou MgCO_3), o CO_3^{2-} se decompõe facilmente em condições de acidez, por ser menos estável que o SO_4^{2-} . Assim, o deslocamento do Ca no perfil do solo é muito maior quando a fonte é o gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), comparado com o calcário. O gesso agrícola aplicado na superfície do solo movimenta-se ao longo do perfil sob a influência da percolação de água (CAIRES *et al.*, 1999). Como consequência, obtêm-se aumento no suprimento de Ca e diminuição da toxidez de Al na subsuperfície (CAIRES *et al.*, 1999, 2003).

Soratto & Crusciol (2008) demonstraram que a aplicação de calcário em superfície, na implantação do sistema plantio direto, promoveu diminuição da acidez e elevação dos teores de Ca^{+2} e Mg^{+2} trocável e a aplicação de gesso agrícola promoveu aumentos nos teores de Ca trocável e S-SO_4^{2-} , e diminuição no teor de Al^{+3} trocável no solo, contribuindo para que os efeitos da calagem superficial nas características químicas do solo alcançassem, de forma mais rápida, as

camadas do subsolo (0,20–0,60 m) em um Latossolo Vermelho distroférrico no município de Botucatu, SP.

2.5 Culturas de cobertura

No sistema plantio direto (SPD) a cobertura vegetal morta, provenientes das culturas de coberturas e da rotação de culturas tem um papel muito importante na conservação do solo e da água e também na reciclagem dos nutrientes (WISNIEWSKI; HOLTZ, 1997; SANTOS *et al.*, 1998).

O cultivo de espécies vegetais conhecidas como plantas de cobertura intensifica a oferta de nutrientes nas camadas superficiais do solo (FIORIN, 1999). Porém, a cobertura ideal do solo em cultivos de plantio direto é aquela cuja taxa de decomposição dos resíduos vegetais é compatível com a manutenção da cobertura sobre o solo, protegendo-o contra agentes erosivos por um tempo maior com o fornecimento sincronizado de nutrientes a medida da demanda da cultura subsequente (OLIVEIRA *et al.*, 2002).

A disponibilidade dos nutrientes através dos resíduos vegetais pode ser rápida e intensa (ROSOLEM *et al.*, 2003 a) ou lenta e gradual, conforme a interação entre os fatores climáticos, principalmente a precipitação e temperatura, atividade macro e microbiológica do solo e qualidade do resíduo vegetal (ALCÂNTARA *et al.*, 2000; OLIVEIRA *et al.*, 2002). A decomposição dos restos vegetais e a mineralização de nitrogênio e fósforo são influenciados pelas características químicas dos resíduos como a relação carbono/nitrogênio (C/N), o teor de N, os teores de lignina e polifenóis, o teor de P e a relação C/P do material (WISNIEWSKI; HOLTZ, 1997).

Diversas espécies de plantas de cobertura do solo podem ser utilizadas para essa finalidade. No cerrado, as gramíneas têm apresentado desempenho importante na atuação como plantas de cobertura, com destaque para o milheto. Sua utilização em larga escala se deve à resistência ao déficit hídrico, elevada produção de biomassa e menor custo das sementes (BRAZ *et al.*, 2004; SILVA *et al.*, 2006).

2.5.1 Milheto

O milheto (*Pennisetum glaucum*) é uma gramínea anual que tem tido nas últimas décadas um aumento da área plantada, sobretudo nas regiões de cerrado, pelo enorme potencial de cobertura do solo oferecido para prática de plantio direto, bem como para o uso como forrageira na pecuária

de corte ou de leite (EMBRAPA, 2004). Bonamigo (1993) relata que a cultura do milheto como planta de cobertura em condições ideais pode produzir até 70 t ha⁻¹ de biomassa verde e 6,8 t ha⁻¹ de biomassa seca.

A época de semeadura do milheto está relacionada com sua finalidade, sendo para cobertura no plantio direto, pode-se realizar a semeadura como safrinha após a colheita do milho ou da soja. Outra opção de plantio para a produção de massa seca vai de agosto a setembro, antes da semeadura da cultura principal, em novembro, época em que se realiza a dessecação do milheto (SCALÉA, 1998). O milheto é uma boa opção de cultivo no inverno, no Mato Grosso do Sul, fornecendo palhada ao sistema de plantio direto, que permite o sucesso e a manutenção deste sistema para culturas posteriores, o ciclo da planta é de aproximadamente 130 dias (BRANCALIAO, 2005).

O milheto apresenta sistema radicular profundo, o que permite a ciclagem de nutrientes em quantidades consideráveis, deixando-os disponíveis às próximas culturas, uma vez que as plantas de milheto absorvem os nutrientes das camadas mais profundas do solo e liberam na camada superficial após a sua decomposição (PIRES et al., 2007).

O milheto cultivado em épocas de déficit hídrico pode afetar a absorção de potássio, tornando-o uma cultura de cobertura muito eficaz na chamada “safrinha”, após a colheita da cultura de verão, comumente soja ou milho, aproveitando a umidade residual das últimas chuvas de verão. A boa ciclagem de nutrientes, bem como a boa adaptação às condições de inverno seco, o que promove boa cobertura para a superfície, e por consequência melhora a propriedade física e biológica do solo, fazem com que o milheto seja amplamente utilizado, principalmente no estado do Mato Grosso após a colheita da soja (Rosolem *et al.* 2003b)

2.5.2 Crotalaria

O cultivo da crotalaria, nesse caso a *Crotalaria juncea*, como adubo verde, traz muitos benefícios para as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo. É cultivada em muitos países para a produção de fibras, como na Ásia tropical e Rússia meridional. (CALEGARI et al., 1993). Já no Brasil, a *Crotalaria juncea* foi introduzida inicialmente para produção de fibras, mas se difundiu com planta condicionadora de solo.

Sendo uma leguminosa de caule ereto semi-lenhoso, ramificado na parte superior, com um porte que varia de 2 a 3 m de altura, possuindo raízes profundas capazes de romper com camadas compactadas (MYASAKA, 1994)

Ohland *et al.* (2005) cita que as leguminosas contribuem para o aumento da disponibilidade de nitrogênio no solo, uma vez que este grupo de plantas realiza fixação simbiótica do nitrogênio atmosférico. Devido à realização da fixação, as leguminosas são comumente utilizadas como adubos verdes, uma vez que conseguem liberar o nitrogênio para a cultura subsequente.

A *Crotalaria juncea* L., destaca-se entre as fabáceas, também conhecidas como leguminosas, apresentando grande potencial de cultivo na região de Cerrado, promove rápida cobertura do solo; possui boa produção de matéria seca de 4 à 15 t ha⁻¹ (SILVA, 2002); se desenvolve bem em regiões com precipitação pluvial de 200 a 400 mm, além de possuir excelente capacidade de fixação de N, entre 150 e 165 kg ha⁻¹ por ano.

Perin *et al.* (2004), com o objetivo de avaliar os efeitos dos cultivos isolado e consorciado dos adubos verdes de verão crotalária (*Crotalaria juncea*) e milheto (*Pennisetum americanum*) na produção de fitomassa, nos teores e acúmulo de nutrientes e na fixação biológica de nitrogênio (FBN), verificaram que a crotalária apresentou maior produtividade de fitomassa, que foi 108% maior que a da vegetação espontânea e 31% superior a do milheto.

Em diversas regiões do Brasil está se iniciando a adoção do sistema plantio direto, porém é pouco o conhecimento sobre as plantas de cobertura que possam produzir quantidade de palha suficiente para o sistema, e, conseqüentemente, manter ou elevar a fertilidade do solo e a produtividade das culturas comerciais. Portanto, há necessidade de se conhecer o modo correto de aplicação desse sistema, em relação ao cultivo de gramíneas como plantas de cobertura do solo (OLIVEIRA; CARVALHO; MORAES, 2002).

3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento de longa duração está sendo desenvolvido em área experimental inserida no bioma cerrado. A região, considerada cerrado de baixa altitude, possui clima classificado como tipo Aw, ou seja, definido como tropical úmido com estação chuvosa e quente no verão, com possibilidades de veranico e inverno com temperaturas amenas e seco, segundo a classificação climática de Koppen.

O solo da área experimental de acordo com a nomenclatura atual é um LATOSSOLO VERMELHO distrófico típico argiloso (LVd) (SANTOS et al., 2018).

A área experimental era utilizada no sistema convencional de cultivo há vários anos. Na safra 2000/01, após preparo convencional do solo, foi semeada a cultura da soja. Após sua colheita, iniciou-se a implantação do SPD através da instalação dos tratamentos com modos e épocas de aplicação de calcário e culturas de cobertura na entressafra, tendo a soja, como a cultura principal, cultivada no período de primavera/verão.

Tratamentos iniciais constituíram de 5 modos e épocas de aplicação de calcário, sendo eles: 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, milheto em área total e, em setembro de 2002, capim pé-de-galinha (*Eleusine coracana*) e sorgo.

A dose de calcário determinada foi de 1,59 t ha⁻¹ a partir dos resultados da análise química da amostra de solo da área experimental, apresentada na Tabela 1, com o objetivo de 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%.

O delineamento experimental utilizado foi o em 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 x 15 m de dimensão.

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

A partir do ano agrícola 2003/04, as culturas de cobertura sempre foram o milheto e a crotalária (*C. juncea*), semeadas na primavera com o milho em sucessão (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 5 x 2 x 3, ou seja, 5 modos de aplicação de calcário na implantação do sistema plantio direto, 2 culturas de cobertura de primavera (crotalária e milheto) 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/ou uréia (2005/06). Todos os tratamentos continuaram com 3 repetições. As parcelas passaram às dimensões de 12,0 x 5,0 m.

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 20012/13, 2013/2014 e 2014/15 a cultura da soja substituiu o milho, mantendo-se as culturas de cobertura, milheto e crotalária, sendo elas sempre semeadas em setembro/outubro. Na primeira semana de dezembro/2012 em função dos resultados da análise de solo, as doses de calcário determinadas e aplicadas em superfície, foram: 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) e T5 – 0 t ha⁻¹ de calcário (testemunha). Utilizou-se nesta ocasião 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 reaplicação de calcário, semelhante em termos de doses e parcelas à aplicação realizada em dezembro/2012. Acrescentou-se nos tratamentos T3 e T4, 1,7 t ha⁻¹ de gesso agrícola, aplicado em superfície simultaneamente à aplicação do calcário. O calcário utilizado apresentava as seguintes características: CaO – 40%; MgO – 10,0% e PRNT - 85%; 03/06/17 – colheita do milho. Portanto, desde 2001, os tratamentos T1, T2, T3, T4 e T5, receberam as seguintes quantidades de calcário, respectivamente: 6,92; 11,44; 7,73; 10,63 e 0,81 t ha⁻¹. Os tratamentos T3 e T4, também receberam 1,7 t ha⁻¹ de gesso.

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). A fonte de N utilizada nestes experimentos foi a uréia. 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 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 novamente 1,7 t ha⁻¹ de gesso, totalizando até esta aplicação, 8,05 (T1), 13,70 (T2), 8,86 (T3), 12,89 (T4) e 0,81 t ha⁻¹ de calcário e 3,4 t ha⁻¹ de gesso (T3 e T4).

Para o ano agrícola 2021/22, 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. Essas culturas cresceram livremente durante o período de outono /inverno com irrigação apenas para germinação.

Para a instalação e condução da cultura do milho, foram realizadas as seguintes atividades: 29/10/21: dessecação das plantas de cobertura e daninhas existentes na área – uso de glifosato + clethodim + carfentrazone + óleo mineral; 15/11/21: manejo mecânico dos resíduos das culturas de cobertura e plantas daninhas com triton; 24/11/21: semeadura do milho – híbrido AG 8082 PRO2, Realizando adubação no sulco de 300 kg ha⁻¹ da formulação 02 - 20 – 20 (NPK), 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 e 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 5 espigas para avaliações de comprimento, largura, número de fileiras e grãos por fileira. 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.

As avaliações realizadas foram:

-Estado nutricional das plantas: mediante a amostragem foliar quando as plantas emitiram a espiga (início do florescimento feminino). A metodologia utilizada para a determinação dos teores de N, P, K, Ca, Mg e S foi de acordo com MALAVOLTA et al. (1997).

-População final de plantas por hectare: contagem, no momento da colheita, das plantas existentes em 3,0 m em uma das linhas da área útil da parcela. Os dados obtidos foram utilizados para o cálculo da população de plantas ha⁻¹.

-Altura de planta e da espiga: 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 até

inserção da folha bandeira (altura da planta), em 5 plantas seguidas em uma das linhas da área útil da parcela.

-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 medições nas espigas e posteriormente realizadas as contagens de número de fileiras e grãos por fileira.

-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, sendo levados ao barracão e trilhadas. Os grãos foram pesados e realizou-se com o auxílio de um Medidor de umidade de grãos digital, a determinação da umidade dos grãos. 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 para determinação da umidade para correção da pesagem dos 100 grãos a 13% (base úmida).

Os dados foram submetidos à análise de variância individual ANOVA pelo teste F, e quando houve diferença significativa ($p \leq 0,05$), 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 DISCUSSÕES

4.1 Estado nutricional e características agronômicas da cultura do milho

Observa-se na tabela 2 que o teor de N apresentou efeito ($p < 0,05$) para adubação nitrogenada, no qual houve uma resposta quadrática a esta adubação (Figura 4A), sendo assim possível calcular a dose máxima para a resposta, no qual se chega à $180,5 \text{ kg ha}^{-1}$, bem próximo à adubação realizada no experimento, que foi de 180 kg ha^{-1} . Isso nos mostra que conforme se aumenta a disponibilidade de nitrogênio as plantas conseguem absorver até um máximo, o que corrobora com Moreira, Valadão e Valadão Junior (2019) que encontraram efeito quadrático para em função de adubação, apontando ainda que elevadas doses de podem ocasionar redução dos teores desse elemento na folha, devido a toxicidade causada pela salinidade dos fertilizantes nitrogenados e a grande quantidade de NH_4^+ (FERREIRA *et al.*, 2009; 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} .

Ainda na Tabela 2 observa-se para o teor foliar 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 a crotalária. Isso pode estar relacionado a ciclagem de nutriente realizado por essa cultura, que é amplamente utilizada como adubo verde, podendo acessar frações de P considerada indisponível a curto prazo (Rose, *et al* 2009; Wutke *et al.*, 2023). Para doses de N, verifica-se um efeito linear ($p < 0,05$) no incremento de P foliar (Figura 4B).

Tabela 2. Teores foliares de N, P, K, Ca, Mg e S na cultura do milho em função dos tratamentos. Selvíria – MS, 2022.

Tratam.	N	P	K	Ca	Mg	S
	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg
Calagem (C)						
T1	21,3	2,4	19,1	3,5 ab	1,9 b	2,9
T2	22,0	2,4	17,4	4,1 ab	2,3 a	2,8
T3	21,5	2,3	17,3	3,9 ab	1,9 b	2,9
T4	22,3	2,4	17,9	4,4 a	2,4 a	3,1
T5	21,8	2,2	18,4	3,0 b	1,3 c	2,9
C. Cobert. (CC)						
Milheto	21,4	2,2 b	18,1	4,0 a	2,1 a	2,9
Crotalária	22,1	2,4 a	17,9	3,6 b	1,8 b	2,9
Doses de N (D)						
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
D	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 *
CxD	0,49	1,30	1,22	0,34	0,45	1,93
CCxD	0,69	2,16	1,94	0,72	1,89	0,33
CxCCxD	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	1,95	0,24	3,98	0,6	0,35	0,34
CC	0,88	0,1	1,79	0,2	0,05	0,16
D	----	----	----	----	----	----

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 corretivos (T ha⁻¹) aplicadas no período de 2000 a 2023. Os tratamentos T3 e T4 receberam também 3,4 kg ha⁻¹ de gesso no mesmo período.

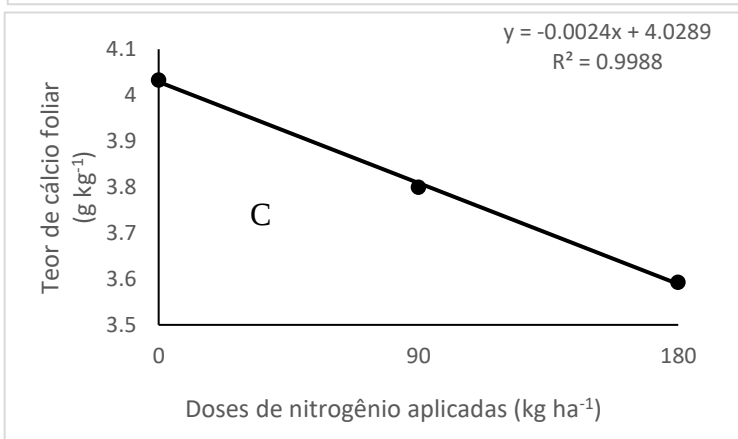
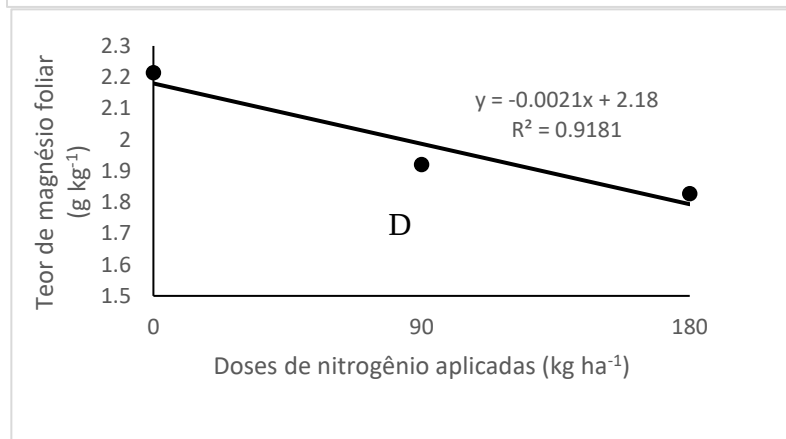
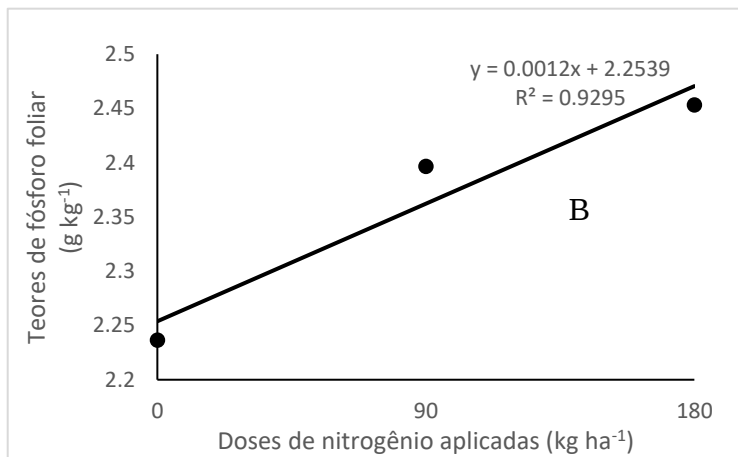
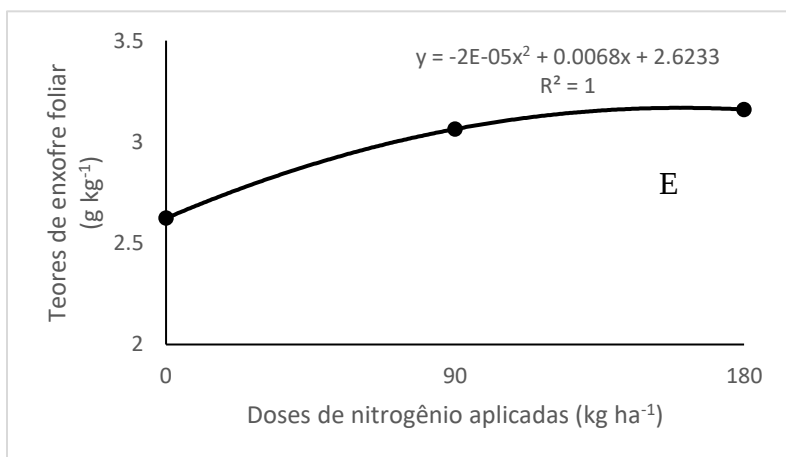
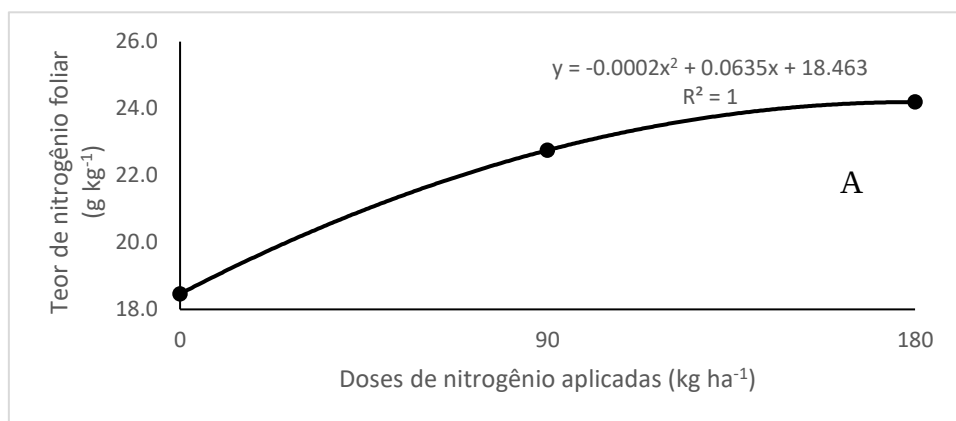
O tratamento de correção do solo influenciou significativamente ($p < 0,05$) os teores foliares de cálcio e magnésio. A influência do tratamento nas quantidades de Ca e Mg foliar pode ser entendida pela composição do calcário utilizado, uma vez que o mesmo apresenta em sua composição os dois elementos (39,6% e 13% respectivamente).

Ainda de acordo com a tabela 2 o tratamento com a melhor média dos nutrientes foi o tratamento 4, tanto para Ca quanto para Mg, e a menor média foi o tratamento 5. Isso se deve ao fato da quantidade de calcário e gesso aplicados nestes tratamentos, uma vez que o tratamento 4 foi o que recebeu maiores dosagens de calcário juntamente com o gesso agrícola e o tratamento 5, sendo a testemunha, não recebeu calcário nem gesso. Este fato concorda com as pesquisas de Malavolta (199) que demonstram a influência do pH do solo na disponibilidade de nutrientes. Como visto anteriormente na Figura 1, a medida que o pH aumenta, tem-se também um aumento na disponibilidade de nutrientes, bem como cálcio e magnésio (presentes na constituição da rocha) mas também de outros nutrientes.

As mesmas variáveis também foram influenciadas pelas culturas de cobertura. Segundo Correia & Durigan (2008), algumas espécies utilizadas como cultura de cobertura alteram o pH nos primeiros 5 cm do solo, influenciando diretamente a absorção de nutrientes como o cálcio, magnésio e fósforo pelas culturas. Ressalta-se que para cálcio e magnésio, o milho resultou as melhores médias, ao contrário da crotalaria que foi melhor para o fósforo. Barbosa et al., (2020) estudaram a produção de matéria seca das crotálias e identificaram que o nutriente menos exportado, tanto para *C. Juncea* quanto para a *C. Spectabilis* foi o fósforo, reciclando este nutriente e liberando na sua decomposição.

Dentre os outros fatores, as doses de nitrogênio foi o que mais alterou a quantidade de macronutrientes presentes nas folhas, não influenciando apenas na presença de K foliar. Segundo CANTARELLA, 2007; p.439 a absorção de nitrogênio pode promover a alteração do pH na rizosfera, alcalinizando-a quando absorvido em sua forma de NO_3^- ou acidificando na forma de NH_4^+ , podendo afetar a disponibilidade de nutrientes, principalmente aqueles influenciados diretamente pelo pH do solo. Nas Figuras 4C e D, verifica-se que os teores foliares de cálcio e magnésio, reduziram linearmente, em função das doses de N utilizadas.

Figura 4. Teores foliares de nitrogênio (A), fósforo (B), cálcio (C), magnésio (D) e enxofre (E), em função de doses de N. Selvíria – MS, 2022..



Fonte: o próprio autor

Na Figura 4E observa-se um comportamento quadrático dos teores foliares de enxofre, em função das doses de N utilizadas, apresentando o máximo de acúmulo de enxofre calculado para a dose de 170,3 kg ha⁻¹ de N. Esse incremento está relacionado com a presença do S em compostos proteicos que o N também faz parte, além da clorofila (Instituto Potassa e Fostafa, 1998).

No Boletim Técnico 100, é que o nitrogênio é o nutriente absorvido em maiores quantidades pela cultura do milho. Araújo *et al* (2004) demonstraram que o milho absorve nitrogênio à medida que cresce suas dosagens, corroborando a regressão quadrática encontrada neste experimento.

Houve ainda interação entre os tratamentos e culturas de cobertura na disponibilidade de enxofre, estando apresentados na Tabela 3, o resultados deste desdobramento. Observa-se que o tratamento 4 obteve as maiores médias de teor deste nutriente quando a cultura de cobertura foi a crotalária. Em relação a cultura de cobertura observa-se que a crotalária teve as maiores médias em relação ao milheto nos tratamentos 3 e 4. Este fato se deve possivelmente pelo fato da crotalária ser uma leguminosa e fazer simbiose com bactérias, o enxofre aumenta o volume de raízes, aumentando assim a captação de nutrientes por essa planta, que ao se decomporem sobre o solo, aumentam a quantidade de nutrientes disponíveis.

Tabela 3: Desdobramento da interação calcário x cultura de cobertura, significativa para teor foliar de S em milho. Selvíria-MS, 2022.

Tratamento	Culturas de cobertura		DMS
	Crotalária	Milheto	
T1	2,9 ab	2,9	0.40
T2	2,7 b	2,9	
T3	3,2 ab A	2,8 B	
T4	3,3 a A	2,9 B	
T5	2,8 b	3	
DMS	0.50		

Médias seguidas de letras iguais, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, não diferem entre si, pelo Teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

Segundo Raij et al (1997) a calagem utilizada para minimizar os problemas com o pH do solo, geralmente fornece enxofre além das necessidades das culturas. Além disso o fato dos tratamentos 3 e 4 terem obtidos as maiores médias em relação aos outros tratamentos deixa evidente a influência da gessagem na disponibilidade deste nutriente, visto que o gesso agrícola é um sulfato de cálcio hidratado e ao ser adicionado ao solo, sofre dissolução, aumentando a disponibilidade de SO_4^{2-} podendo ser utilizado pelas plantas.

Para a variável teor de Mg foliar, obteve-se interação entre os fatores calcário e gesso, adubação nitrogenada e culturas de cobertura (Tabelas 2). Na Tabela 4, é apresentado o desdobramento desta interação.

Tabelas 4. Desdobramento da interação calcário x culturas de cobertura x doses de N, significativa para teor de Mg em fohas de milho. Selvíria – MS, 2022.

Trat.	Milheto					Crotalária				
	0	90	180	RL	RQ	0	90	180	RL	RQ
	g/kg					g/kg				
T1	2,1 bc	1,7 ab	2,3 ab	0,18	4,02*	1,8 ab	2,2 a	1,3 b	3,40	5,37*
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*	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	12,82**	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									

Trat.	0		90		180		DMS
	Milheto	Crotalária	Milheto	Crotalária	Milheto	Crotalária	
	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	
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	

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 $3,4 \text{ kg ha}^{-1}$ de gesso no mesmo período.

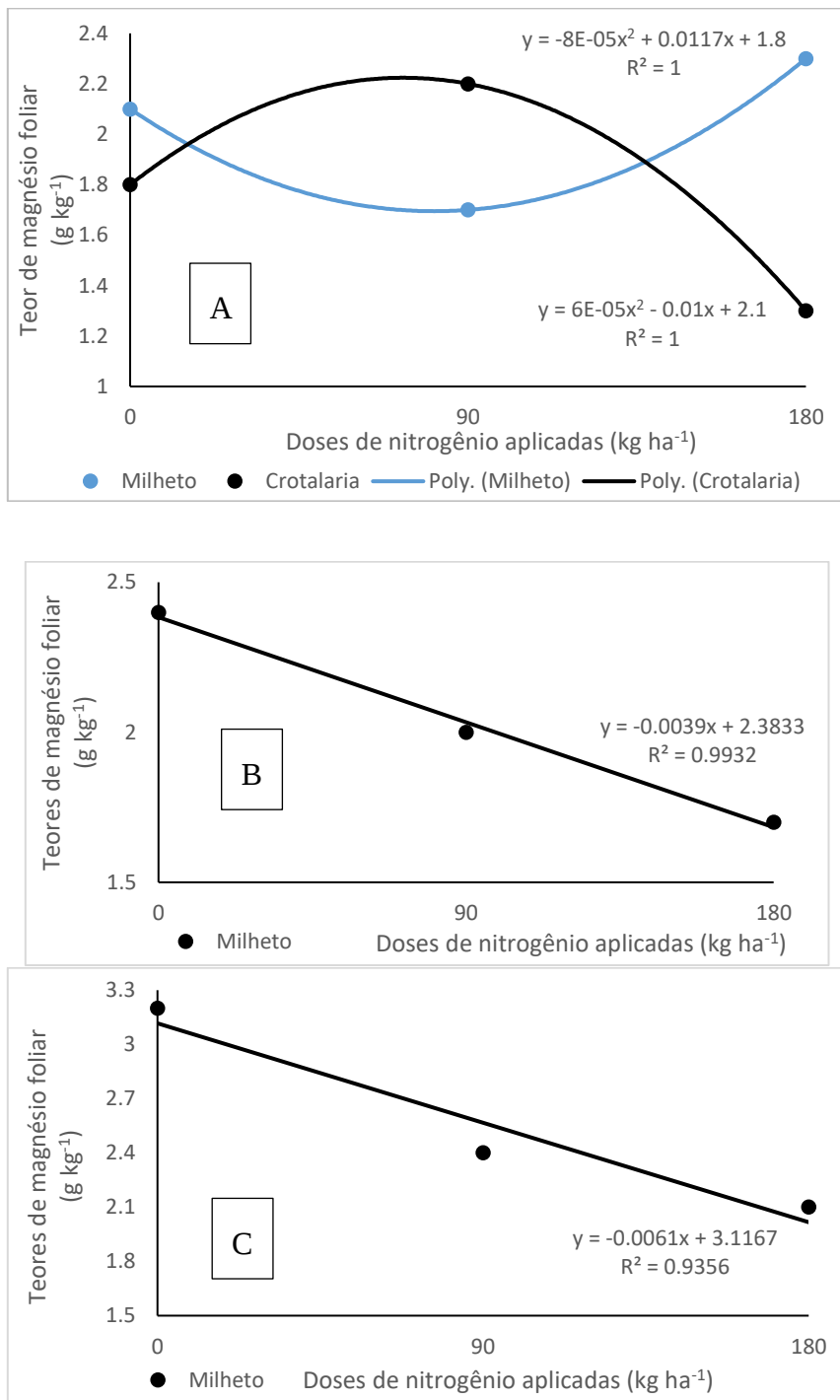
Para tratamento T1 de aplicação de calcário e gesso, tanto para milho quanto para crotalaria houve efeito significativo da adubação nitrogenada, ajustando-se os dados a uma regressão quadrática. Nos tratamentos T3 e T4 também observou-se alteração nos teores foliares de Mg em função das doses de N, no entanto, nas parcelas onde foi cultivado apenas o milho como cultura de cobertura, ajustando-se os dados a uma regressão linear decrescente. Estando em importantes metabólitos da planta, o Mg assim como o S fazem parte da composição da clorofila (Instituto Potassa e Fostafos, 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.

Houve ainda diferença significativa ($p < 0,05$) entre as coberturas para T1 e T2 quando a adubação nitrogenada foi a mais alta, e para o T4 quando não houve adubação. Em ambos os casos o maior acúmulo de magnésio foi o milho.

Pode-se destacar o tratamento 3, que apresentou em todas as situações médias iguais ao tratamento 5, que não recebeu calcário. Ressalta-se que este tratamento recebeu aplicação de gesso agrícola, e dentre os que receberam, foi o que menos recebeu calcário, tanto na última quanto no acumulado. Pauletti et al. (2014) ressaltou a possibilidade de deficiência de magnésio em doses altas de gesso, principalmente quando se tem uma boa disponibilidade hídrica. 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.

Na Figura 5, encontram-se os ajustes dos teores foliares de Mg, em função das doses de N, quando significativo para os tratamentos com calcário com ou sem gesso, dentro das culturas de cobertura crotalaria ou milho. Destaca-se que para o tratamento 3 e 4, a relação entre doses de nitrogênio e o milho foi uma relação linear decrescente (Figuras 5B e 5C), enquanto para o tratamento 1, os ajustes foram quadráticos, porém com comportamento contrários, entre as culturas de milho e crotalaria (5A).

Figura 5. Teores de Mg foliar em milho em função de doses de N, dentro do tratamento T1 – calcário e nas culturas de cobertura crotalária e milheto (A) e dentro dos tratamentos T3 (B) e T4 (C) de calcário e gesso, dentro da cultura de cobertura milheto. Selvíria – MS, 2022.



Fonte: Autor

A influência do nitrogênio na absorção de outros nutrientes é um fenômeno amplamente documentado na literatura. Segundo Malavolta *et al.* (1997) a presença excessiva de nitrogênio no solo pode resultar em competição prejudicial entre os elementos pelas mesmas vias de absorção das raízes das plantas. O nitrogênio, em altas concentrações, pode deslocar o cálcio do complexo de troca do solo, levando a uma diminuição da sua disponibilidade para as culturas.

O nitrogênio pode ser absorvido de duas formas pelas raízes, em forma de NO_3^- ou NH_4^+ . Pesquisas de Zhang *et al.* (2019) demonstraram que a aplicação excessiva de nitrogênio tem sido associada a alterações no pH do solo, influenciando negativamente a solubilidade de cálcio e magnésio.

A fixação biológica de nitrogênio por parte das leguminosas também é um fenômeno amplamente estudado na agricultura. Conforme abordado por Sprent (2007), leguminosas estabelecem uma simbiose com bactérias do gênero *Rhizobium*, formando nódulos nas raízes, convertendo nitrogênio atmosférico em amônia assimilável pelas plantas. A crotalária, como leguminosa, apresenta esta característica, disponibilizando nitrogênio para a cultura subsequente.

O nitrogênio residual das culturas de cobertura associado com as doses aplicadas está competindo com o cálcio e magnésio pelos sítios de absorção radicular, o que pode explicar os gráficos serem decrescentes.

4.2 Aspectos morfológicos

Os aspectos morfológicos, como a altura de planta e altura de espiga, desempenham um papel crucial na determinação da produtividade do milho. Estudos realizados por Ferreira *et al.* (2015) evidenciam que a altura de planta está diretamente relacionada à capacidade da cultura em captar luz solar, influenciando assim a eficiência fotossintética e a produção de biomassa. Plantas mais altas tendem a apresentar uma área foliar expandida, o que contribui para uma maior captura de luz, resultando em uma maior produção de carboidratos essenciais para o desenvolvimento de grãos de milho. Além disso, a altura de espiga é um indicador significativo da arquitetura da planta e da distribuição dos grãos.

A Tabela 5 apresenta a análise de variância dos fatores nas variáveis morfológicas analisadas.

A altura de planta foi influenciada pelo tratamento de calagem e gessagem, o que reforça ainda mais a importância da utilização de corretivos e condicionadores de solo para o desenvolvimento de plantas em solos ácidos, como o do cerrado brasileiro. 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. Brachtvogel et al. (2012) evidenciaram que a medida que a população de plantas de milho aumenta, há um aumento na altura de planta, concordando com o encontrado.

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.

Em resumo o tratamento sem calagem e sem gessagem foi o tratamento que obteve as piores médias nos dois aspectos analisados. Isso se deve ao fato da calagem e gessagem terem a função de elevar a capacidade produtiva dos solos, através da neutralização da acidez e do alumínio tóxico respectivamente. Como demonstrado por Malavolta (1997) na Figura 1, a acidez do solo influencia a dinâmica dos nutrientes e por consequência a absorção destes pelas culturas. Veloso *et al.* (2016) demonstrou a influência do fósforo na parte aérea do milho, sendo este um dos nutrientes mais afetados pela acidez do solo e pela presença de alumínio, segundo seu estudo a elevação do P no solo manifesta intensamente sobre a parte aérea da planta, auxiliando no alongamento do colmo do milho.

Tabela 5: Valores de F e médias das características agronômicas Altura de plantas (AP) e Altura de Inserção de espiga (AIE) em função dos tratamentos. Selviria-MS, 2022

Tratam.	AP		AIE	
		m		m
Calagem (C)				
T1		1,62 a		0,91 a
T2		1,66 a		0,95 a
T3		1,67 a		0,96 a
T4		1,66 a		0,94 a
T5		1,38 b		0,76 b
C. Cobert. (CC)				
Milheto		1,64 a	■	0,92
Crotalária		1,56 b	■	0,88
Doses de N (D)				
0	■	1,63	■	0,91
90	■	1,57	■	0,89
180	■	1,63	■	0,91
Teste F				
C		8,31**		7,25**
CC		4,10*	■	2,35
D	■	1,14	■	0,37
CxCC	■	1,08	■	0,63
CxD	■	1,17	■	0,74
CCxD	■	0,64	■	0,56
CxCCxD	■	0,27	■	0,28
CV%	■	11,02	■	14,38
DMS				
C	■	0,17	■	0,12
CC	■	0,07	■	0,05
D		----		----

Médias seguidas de 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.

4.3 Aspectos de produtividade

Nas avaliações dos aspectos de produtividade foram obtidas uma resposta positiva a calagem para produtividade, 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 6).

A população de plantas foi influenciada exclusivamente pela cobertura vegetal (Tabela 6), sendo observada uma população maior onde o milheto foi utilizado como cobertura. Diversos fatores podem ter contribuído para esse resultado, incluindo a maior quantidade de resíduos vegetais possivelmente gerados pelo milheto, o que pode ter promovido uma melhor retenção de umidade no solo, facilitando a germinação. Outra hipótese considerada é a possibilidade de um efeito alelopático entre a crotalária e o milho. Embora seja raro, Araújo, Santana e Espírito Santo (2011) identificaram a possibilidade de que a crotalária, em condições de estresse, produza substâncias que possam interferir na germinação do milho, sendo uma situação plausível devido à baixa pluviosidade de 2021. Resultados similares, com influência negativa da crotalária, foram encontrados por Fernandes et al. (2020) na safra 2016/2017, no contexto da produtividade. Aker et al. (2016), ao avaliarem diversas plantas de cobertura, demonstraram que a *Crotalaria juncea* apresentou o pior resultado em relação à produtividade do milho, porém sem afetar a densidade populacional de plantas.

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

Tabela 6: Valores de F e médias das características agronômicas População de Plantas (PP) 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) e Produtividade de Grãos (PG) em função dos tratamentos. Selviria-MS, 2022.

Tratam.	PP	CE	DE	NF	NGF	M100	PG
	Plantas ha ⁻¹	cm	Cm			g	kg ha ⁻¹
Calagem (C)							
T1	56790	17,8	4,38 a	16,8	32,4	24,5 a	4162 a
T2	57284	16,6	4,23 ab	16,0	32,1	23,5 ab	4186 a
T3	55925	16,7	4,33 a	16,5	32,3	23,0 ab	4854 a
T4	57407	16,6	4,25 ab	16,2	31,8	23,2 ab	4661 a
T5	55679	16,0	4,02 b	15,4	31,1	22,1 b	2200 b
C. Cobert. (CC)							
Milheto	58049 a	16,8	4,25	16,1	32,1	23,0	4142
Crotalária	55185 b	16,6	4,23	16,2	31,8	23,6	3883
Doses de N (D)							
0	56370	17,1	4,36	16,9	31,9	22,9	3361
90	56703	16,5	4,23	16,2	31,4	23,7	4126
180	56777	16,5	4,15	15,9	32,6	23,3	4251
Teste F							
C	0,28	0,75	3,69**	2,03	0,38	2,60*	25,25**
CC	4,66*	0,15	0,09	0,10	0,13	1,51	1,89
D	0,03	0,42	3,72* ¹	4,55** ²	0,66	1,06	3,63* ³
CxCC	1,11	0,76	1,91	1,42	1,08	0,27	3,29*
CxD	0,65	0,65	1,08	1,60	0,22	1,25	0,49
CCxD	0,66	0,37	2,57	3,09	2,14	3,43 *	1,19
CxCCxD	0,63	0,64	2,33*	0,67	2,15*	0,93	1,70
CV%	11,12	19,28	7,21	9,84	12,64	9,25	22,22
DMS							
C	55908,5	3,03	0,29	1,5	3,8	2,1	1101,8
CC	2655	1,36	0,13	0,67	1,7	0,95	495,3
D	----	----	----	----	----	----	----

** p<0,01 significativo à 1% de probabilidade; * 0,01<p<0,05 sendo significativo a 5% de probabilidade. TE: tamanho da espiga, G/F: grãos por fileira, NF: número de fileira

$$^1y = -0.0012x + 4.3544 \text{ } r^2 = 97,96 \quad ^2y = -0.0064x + 16.806 \text{ } r^2 = 85,98 \quad ^3y = 3.2728x + 3718.8 \text{ } r^2=89,97$$

O diâmetro da espiga foi influenciado pelos tratamentos com calcário, tendo as melhores médias nos tratamentos 1 e 3, e piores no tratamento 5, no qual não recebeu corretivo. Também observa-se influência das doses de nitrogênio além de uma interação entre os três fatores, percebe-se uma diferença significativa entre os tratamentos quando a dose de nitrogênio foi alta, tanto para milho quanto para crotalária, (Tabela 7), onde observa-se maiores valores 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 7: Desdobramento da interação calcário x culturas de cobertura x doses de N, significativa para diâmetro da espiga de milho. Selviria – MS, 2022.

Trat	Milheto					Crotalária				
	0	90	180	RL	RQ	0	90	180	RL	RQ
	cm					cm				
T1	4,33	4,20	4,63 a	1,44	1,71	4,66	4,43	4,06 ab	5,76 *	0,09
T2	4,40	4,36	3.96 ab	3,00	0,71	4,16	4,10	4,40 a	0,87	0,72
T3	4,16	4,43	4,13 ab	0,02	1,71	4,70	4,33	4,26 ab	3,00	0,48
T4	4,06	4,46	4,33 ab	1,14	1,15	4,46	3,90	4,26 ab	0,64	4,65*
T5	4,40	4,10	3,86 b	4,55*	0,02	4,26	3,96	3,56 b	7,84**	0,05
DMS	0,70									
Trat	0		90		180		DMS			
	Milheto	Crotalária	Milheto	Crotalária	Milheto	Crotalária				
T1	4,33	4,66	4,20	4,43	4,63 A	4,06 B	0,50			
T2	4,40	4,16	4,36	4,10	3,96	4,40				
T3	4,16 B	4,70 A	4,43	4,33	4,13	4,26				
T4	4,06	4,46	4,46 A	3,90 B	4,33	4,26				
T5	4,40	4,26	4,10	3,96	3,86	3,56				

Médias seguidas de letras distintas na coluna, diferem entre si pelo Teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade.

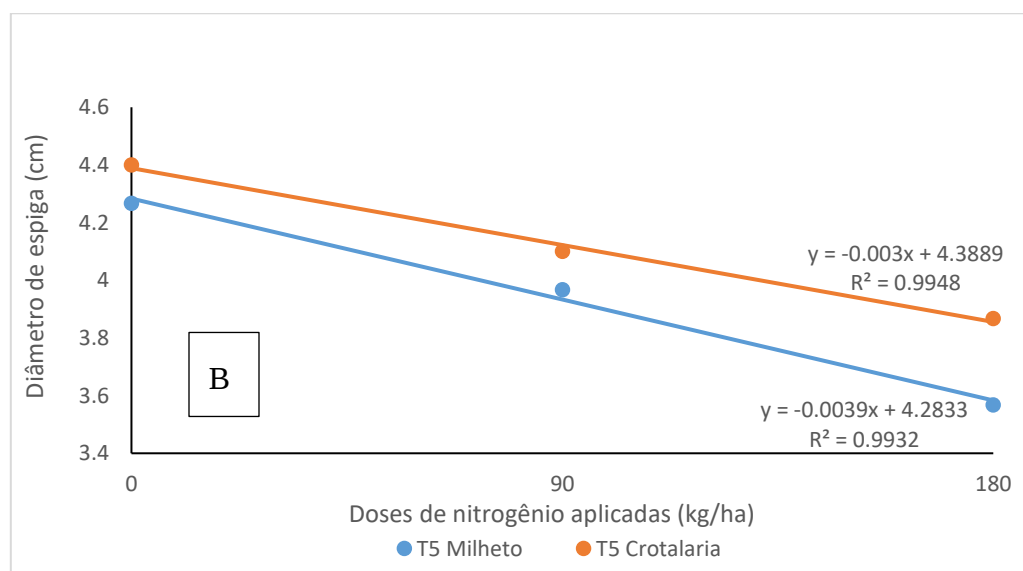
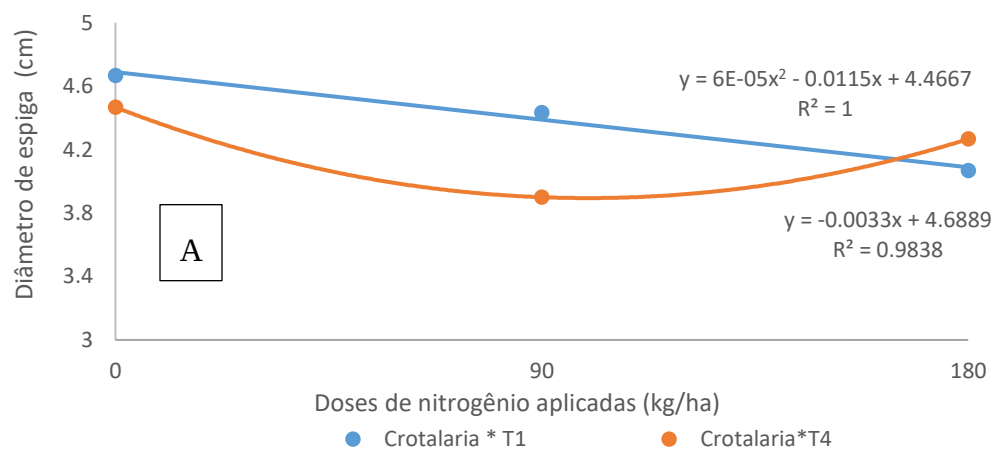
Efeito negativo linear da adubação nitrogenada do diâmetro da espiga, foi observado no o tratamento 5, independente da planta de cobertura (Figura 6B) e também, para o tratamento 1 para a crotalária com planta de cobertura (Figura 6A). Na Figura 6A, também observa-se um ajuste quadrático para o diâmetro da espiga, em função das doses de N utilizadas, dentro do tratamento 4 (calagem + gesso).

Observa-se que para o tratamento 3 houve diferença significativa entre as culturas de cobertura na dose de 0 kg ha⁻¹ obtendo as maiores médias nas parcelas com crotalária, o que acaba invertendo ao se aumentar a dose de nitrogênio para 90 e 180 kg ha⁻¹, dentro dos tratamentos T4 e T1, respectivamente (Tabela 7). Como dito anteriormente a crotalária é uma leguminosa que pode fazer associação com bactérias e realizar fixação biológica de nitrogênio. A FBN é um processo biológico vital em que bactérias simbióticas, como rizóbios em leguminosas, convertem o nitrogênio atmosférico em formas assimiláveis para as plantas. Por outro lado, a adubação nitrogenada é uma prática comum para suplementar nutrientes essenciais ao solo. Estudos como o de Hungria et al. (2015) destacam a importância da FBN na redução da dependência de fertilizantes nitrogenados, ressaltando o papel dessas interações simbióticas na promoção do crescimento vegetal.

Para a variável número de grãos por fileira foi identificada uma interação entre os fatores calagem, cultura e cobertura e adubação nitrogenada (Tabela 6). Verifica-se na Tabela 8 onde foi apresentado o desdobramento da interação significativa, o número de grãos por fileira, em função das doses de N utilizadas, ajustou-se a uma equação quadrática, para o tratamento 4 com relação ao calcário + gesso e crotalária como cultura de cobertura, apresentado como ponto de máxima a dose de 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 (Tabela 8), onde a crotalária novamente apresenta um resultado inferior ao milho, nessa condição específica. Vale ressaltar que o T4, é o tratamento que recebeu junto com o T2 a maior quantidade de calcário na última aplicação em 2020, diferenciando-se do T2 pela aplicação de 1,7 kg ha⁻¹ de gesso.

Figura 6: Ajustes para os valores de diâmetro da espiga em função de doses de N e culturas de cobertura, em diferentes tratamentos com calcário ou calcário + gesso. Selvíria – MS, 2022.



Fonte: Autor

Tabela 8: 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			RL	RQ	Crotalária			RL	RQ
	0	90	180			0	90	180		
T1	31,30	31,10	35,53	1,64	0,65	32,60	32,26	32,00	0,033	0
T2	31,26	34,10	31,60	0,01	0,87	33,93	29,93	33,20	0,05	2,63
T3	30,93	31,83	30,00	0,08	0,23	33,10	32,46	36,03	0,79	0,54
T4	29,20	35,93	32,96	1,30	2,87	34,43	27,80	33,53	0,07	10,31** ¹
T5	32,86	30,36	33,20	0,10	0,87	30,30	32,10	27,83	0,56	1,12
DMS	9,30									

Trat	0		90		180		DMS
	Milheto	Crotalária	Milheto	Crotalária	Milheto	Crotalária	
T1	31,30	32,60	31,10	32,26	35,53	32,00	6.6
T2	31,26	33,93	34,10	29,93	31,60	33,20	
T3	30,93	33,10	31,83	32,46	30,00	36,03	
T4	29,20	34,43	35,93 A	27,80 B	32,96	33,53	
T5	32,86	30,30	30,36	32,10	33,20	27,83	

¹y=34,433333-0,209074x+0,001134x² r²=100,0 Médias seguidas de letras distintas na linha, diferem entre si pelo Teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Autor

Observa-se também na Tabela 6, a influência do tratamento com calcário e gesso na massa de 100 grãos, obtendo-se no tratamento 1, maior média para esta variável enquanto o menor resultado foi obtido com o tratamento testemunha. Um dos aspectos importantes da calagem é proporcionar melhores ambientes radiculares, onde, com essa melhoria, as plantas podem aumentar a resistência a período de seca, segundo Kobata *et al* (1992). O enchimento de grãos é influenciado pelo déficit hídrico, acarretando em grãos com menor massa. Também obteve-se interação significativa entre os fatores cultura de cobertura (CC) e adubação nitrogenada. Observa-se na Tabela 9 que a massa de 100 grãos apresentou diferença significativa para as culturas de cobertura na dosagem de 0 kg ha⁻¹ de nitrogênio, obtendo maior valor para a crotalária. Perin *et al.* (2004) identificou que a crotalária apresentam maiores teores de acúmulo de nitrogênio (N) e cálcio (Ca), enquanto o milheto acumula mais fósforo (P), isso se deve ao fato da crotalária ser uma leguminosa, capaz de se associar com bactérias fixadoras de nitrogênio atmosférico e por isso a sua diferença significativa se deu apenas nas parcelas sem adubação nitrogenada.

Tabela 9. Desdobramento da interação culturas de cobertura x doses de N na cultura do milho, significativa para massa de 100 Grãos. Selviria – MS, 2022

Cobertura	Doses			RL	RQ
	0	90	180		
Milheto	21,80 b	23,59	23,64	5,01* ¹	1,48
Crotalária	24,02 a	23,92	22,85	2,04	0,45
DMS	1,64				

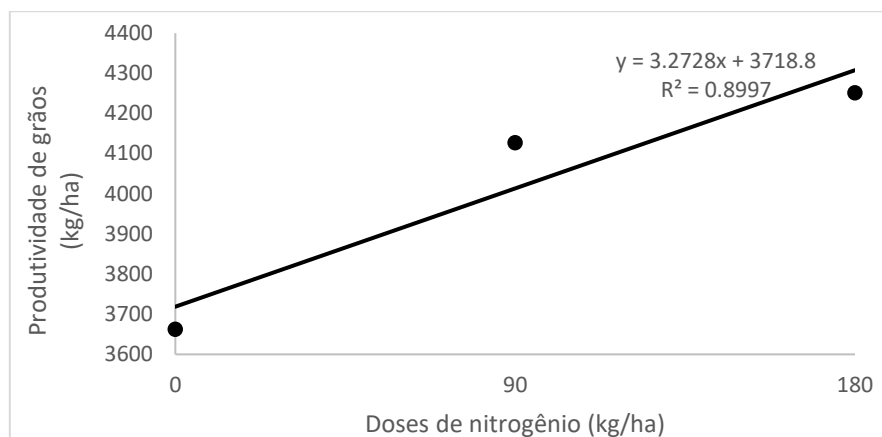
¹y=22,095556+0,010222x R²=77,17. Médias seguidas de letras distintas na coluna, diferem entre si pelo Teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade.

É possível ainda identificar através da equação linear (tabela 9) que obteve diferença significativa no teste de regressão, que ao se utilizar a adubação nitrogenada houve um incremento linear na massa de 100 grãos onde a planta de cobertura utilizada foi o milheto.

Por fim, observa-se na Tabela 6 que houve diferença significativa na produção de grãos do milho de acordo com a calagem, sendo o único tratamento que se diferenciou foi a testemunha. A calagem desempenha um papel crucial na otimização da produtividade de milho no cerrado brasileiro, uma vez que essa região é conhecida por apresentar solos ácidos. A acidificação do solo pode comprometer a disponibilidade de nutrientes essenciais para as plantas, afetando diretamente o desenvolvimento e a produção de culturas como o milho. Estudos como o de Ribeiro et al. (2003), enfatizam que a calagem é uma prática fundamental para corrigir a acidez do solo, melhorar a eficiência da adubação e, conseqüentemente, potencializar os rendimentos das culturas no cerrado.

A dosagem de nitrogênio também afetou significativamente a produtividade de grãos, foi realizado então o teste de regressão corrigido de forma linear (Figura 7). Observa-se um efeito positivo da dose de nitrogênio na produtividade de grãos, algo que pode ser esperado uma vez que o mesmo efeito, linear e positivo, afetou a massa de 100 grãos, que acaba por afetar a produtividade geral. Besen et al. (2020) também encontraram um efeito linear positivo entre adubação nitrogenada e produtividade de grãos.

Figura 7: Ajustes para os valores de produtividade de grãos de milho em função de doses de N. Selvíria – MS, 2022.



Fonte: Próprio autor

Uma interação entre plantas de cobertura e tratamentos de calagem foi identificada para a variável produtividade (Tabela 10). Verifica-se na tabela que, em ambas as coberturas, os tratamentos 1, 2, 3 e 4 não diferiram 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; Fernades et al., 2020).

Tabela 10: Desdobramento da interação calcário x cultura de cobertura, significativa para produtividade de grãos de milho. Selvíria-MS, 2022.

Trat	Milheto	Crotalária	DMS
	kg/ha		
T1	4074 a	4249 a	841
T2	4275 a	4098 a	
T3	4515 a	5194 a	
T4	4997 a	4325 a	
T5	2851 bA	1551 bB	
DMS	1184		

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.

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 milheto como cobertura para esse tratamento. Ao considerar que ao longo dos anos em que este tratamento não recebeu calcário, causando provavelmente um aumento da acidez, podendo este fator, causar estresse as plantas cultivadas, e no caso da crotalária, sobre estresse, pode produzir substâncias que causam efeito negativo na produtividade do milho (Araújo, Santana e Espírito Santo, 2011).

Moreira et al (2001) em seu trabalho sobre calagem em SPD concluíram que o aumento do tempo de cultivo sob o sistema de plantio direto aumenta a homogeneidade da distribuição de cálcio, magnésio e alumínio, dos valores do pH e também da saturação por bases. Sendo esta, uma pesquisa de longa duração, espera-se que estes valores tenham se tornado homogêneos também, fazendo com que o tratamento testemunha, tenha valores menores de pH e conseqüentemente menor disponibilidade de nutrientes para as plantas, afetando assim, seu pleno desenvolvimento e sua produtividade final.

5 CONCLUSÕES

- A calagem foi o principal fator de aumento da produtividade da cultura do milho. Sendo considerado o principal manejo para áreas de cerrado que possuem solos ácidos.
- As dosagens de nitrogênio e as culturas de cobertura influenciaram na nutrição das plantas, podendo essa ser uma alternativa para suprir as necessidades nutricionais da cultura.
- As doses de nitrogênio podem aumentar a massa de 100 grãos e por consequência a produtividade de grãos, mas dosagens altas podem afetar negativamente tanto a cultura do milho quanto a produção de palhada quando se utiliza leguminosas como cobertura.

6 REFERÊNCIAS

ABREU, S. Discutindo: “A Qualidade do solo”. Nutrição de safras, [S. l.], p. 1-1, 7 ago. 2019. Disponível em: <<https://nutricaoadesafras.com.br/discutindo-aqualidade-do-solo/>>. Acesso em: 15 setembro 2022.

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 Lagoa, MG, v. 15, n. 3, p. 531-542, 2016.

ALBUQUERQUE, J. A. et al. Rotação de culturas e sistemas de manejo do solo: efeito sobre a forma da estrutura do solo ao final de sete anos. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, MG, v. 19, p. 115-119, 1995.

ALCÂNTARA, F. A.; FURTINI NETO, A. E.; DE PAULA, M. B.; MESQUITA, H. A.; MUNIZ, J. A. Adubação verde na recuperação da fertilidade de um Latossolo Vermelho Escuro degradado. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 35, n. 2, p. 277-288, 2000.

ALVARENGA, R. C.; CABEZAS, W. A. L.; CRUZ, J. C.; SANTANA, D. P. Plantas de cobertura de solo para sistema de plantio direto. Informe Agropecuário, v. 22, n. 208, p. 25-36, 2001.

ARAI, M.; TAYASU, I.; KOMATSUZAKI, M.; UCHIDA, M.; SHIBATA, Y.; KANEKO, N. Changes in soil aggregate carbon dynamics under no-tillage with respect to earthworm biomass revealed by radiocarbon analysis. Soil & Tillage Research, v. 126, p. 42-49, 2013.

ARAÚJO, E. O.; SANTANA, C. N.; ESPIRITO SANTO, C. L. Potencial alelopático de extratos vegetais de Crotalaria juncea sobre a germinação de milho e feijão. Revista Brasileira de Agroecologia. Brasília, DF, v. 6, n. 1, p. 108-116, 2011.

Araújo, L. A. N. D., Ferreira, M. E., & Cruz, M. C. P. D. (2004). Adubação nitrogenada na cultura do milho. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 39, 771-777.

BARBOSA, I. R.; SANTANA, R. S.; MAUAD, M.; GARCIA, R. A. Produção de matéria seca e marcha de absorção de nitrogênio, fósforo e potássio em Crotalaria juncea e Crotalaria

spectabilis. Pesquisa Agropecuária Tropical, Goiânia, v. 50, p. e61011, 2020. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/pat/article/view/61011>. Acesso em: 3 jun. 2024.

BESSEN, M.R.; RIBEIRO, R.H.; GOETTEN, M.; FIOREZE, S.L.; GUGINSKI, C.A.; PIVA, J.T., 2020. Produtividade de milho e retorno econômico em sistema integrado de produção com doses de nitrogênio. Revista de Ciências Agroveterinárias, 19(1), pp.94-103.

BONAMIGO, L. A. O plantio direto no cerrado do Mato Grosso do Sul. In: SIMPOSIO INTERNACIONAL SOBRE PLANTIO DIRETO EM SISTEMAS SUSTENTÁVEIS, Castro, 1993. Anais... Castro: Fundação ABC, 1993. p. 13-16.

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

BRANCALIÃO, Sandro Roberto. Alterações de propriedades físicas e químicas e das frações húmicas de um nitossolo vermelho na sucessão milheto-soja em semeadura direta. 2005.

BRAZ, A. J. B. P.; SILVEIRA, P. M. da; KLIEMANN, H. J.; ZIMMERMANN, F. J. P. Acumulação de nutrientes em folhas de milheto e dos capins braquiária e mombaça. Pesquisa Agropecuária Tropical, Goiânia, v. 34, n. 2, 2004, p. 83-87.

BRÜGGEMANN, G. Estado da arte e divulgação do plantio direto no Brasil. Revista Plantio Direto, v. 20, n. 122, p. 16-23, 2011.

CAIRES, E. F.; ALLEONI, L. R. F.; CAMBRI, M. A.; BARTH, G. Surface application of lime for crop grain production under a no-till system. Agron. J., 97:791-798, 2005.

CAIRES, E. F.; BLUM, J.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J.; KUSMAN, M. T. Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema de plantio direto. R. Bras. Ci. Solo, 27:275-286, 2003.

CAIRES, E. F.; FONSECA, A. F.; MENDES, J.; CHUEIRI, W.; MADRUGA, E. F. Produção de milho, trigo e soja em função das alterações das características químicas do solo pela aplicação de calcário e gesso na superfície, em sistema de plantio direto. R. Bras. Ci. Solo, 23:315-327, 1999.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R.F., ALVAREZ VENEGAS, V.H., BARROS, N.F., FONTES, R.L.F., CANTARUTTI, R.B. and NEVES, J.C.L., Eds., Fertilidade do Solo [Soil Fertility]. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, 375-470, 2007.

CARDUCCI, C. E.; OLIVEIRA, G. C.; OLIVEIRA, L. M.; BARBOSA, S. M.; SILVA, E. A. Retenção de água no solo sob sistema conservacionista de manejo com diferentes doses de gesso. Revista de Ciências Agrárias, v. 58, n. 3, p. 284-291, 2015.

CORREIA, N. M.; DURIGAN, J. C. Culturas de cobertura e sua influência na fertilidade do solo sob sistema de plantio direto (SPD). Bioscience Journal, 20-31, 2008.

CRUZ, J. C. et al. Manejo da cultura do milho. Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica (INFOTECA-E), 2006.

CRUZ, J. C.; ALVARENGA, R. C.; NOVOTNY, E. H.; PEREIRA FILHO, I. A.; SANTANA, D. P.; PEREIRA, F. T. F.; HERNANI, L. C. Cultivo do milho - Sistema Plantio Direto. Brasília: Embrapa, 2004. (Comunicado Técnico).

DA SILVA, F.A.M., ASSAD, E.D., STEINKE, E.T. and MÜLLER, A.G., 2008. Clima do bioma Cerrado. *Agricultura tropical: quatro décadas de inovações tecnológicas, institucionais e políticas*. ALBUQUERQUE, ACS, pp.93-148.

FANCELLI, A. L. et al. Milho. Visão agrícola. Piracicaba: USP ESALQ, 2015. v. 13.

FARIAS NETO, A. L. et al. Embrapa Agrossilvipastoril: primeiras contribuições para o desenvolvimento de uma agropecuária sustentável. 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, SP, 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.

FERREIRA, J. P., RODRIGUES, R. A. F., KANEKO, F. H., KAPPES, C., ARF, M. V., & GOÉS, R. J. Características agronômicas do milho sob arranjos espaciais e densidades de plantas em região de Cerrado. *Revista Cultura Agronômica*, 24(1), 27-44, 2015.

FIORIN, J. E. Plantas recuperadoras da fertilidade do solo. In: CURSO SOBRE ASPECTOS BÁSICOS DE FERTILIDADE E MICROBIOLOGIA DO SOLO EM PLANTIO DIRETO, 3., 1999, Cruz Alta. Resumos... Passo Fundo: Aldeia Norte, 1999. p. 39-55.

FRANCHINI, J. C. et al. "Potencial de extratos de resíduos vegetais na mobilização do calcário no solo por método biológico." *Scientia Agricola* 58 (2001): 357-360.

GOMES, A. S. Qualidade do solo: conceito, importância e indicadores da qualidade. *Revista Cultivar*, [s. l.], 10 nov. 2015. Disponível em: <<https://revistacultivar.com.br/artigos/qualidade-do-solo-conceito-importancia-e-indicadores-da-qualidade>>. Acesso em: 15 setembro 2022.

GOMES, M. S.; VON PINHO, R. G.; OLIVEIRA, J. S.; VIANA, A. C. Avaliação de cultivares de milho para a produção de silagem: parâmetros genéticos e interação genótipos por ambientes. In: Congresso Brasileiro de Melhoramento de Plantas, 6., 2002, Goiânia. Anais... Goiânia: Sociedade Brasileira de Melhoramento de Plantas, 2002.

HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A.; ARAUJO, R. S. Co-inoculation of soybeans and common beans with rhizobia and azospirilla: Strategies to improve sustainability. *Biology and Fertility of Soils*, v. 51, n. 8, p. 911-917, 2015.

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

KENNEY, I.; BLANCO-CANQUI, H.; PRESLEY, D. R.; RICE, C. W.; JANSSEN, K.; OLSON, B. Soil and crop response to stover removal from rainfed and irrigated corn. *GCB Bioenergy*, v. 7, n. 2, p. 219-230, 2015.

KOBATA, T.; PALTA, J.A.; TURNER, N.C. Rate of development of postanthesis water deficits and grain filling of spring wheat. *Crop Science*, Madison, v.32, p.1238-1242, 1992.

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

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.

MOREIRA, S.G.; KIEHL, J.C.; PROCHNOW, L.I. & PAULETTI, V. Calagem em sistema de semeadura direta e efeitos sobre a acidez do solo, disponibilidade de nutrientes e produtividade de milho e soja. *R. Bras. Ci. Solo*, 25:71-81, 2001.

MYASAKA, S. Histórico de estudos de adubação verde, leguminosas viáveis e suas características. In: FUNDAÇÃO CARGILL. Adubação verde no Brasil. Campinas, 1984. p. 30-33.

OHRLAND, R. A. A., SOUZA, L. C. F. D., HERNANI, L. C., MARCHETTI, M. E., & GONÇALVES, M. C. (2005). Culturas de cobertura do solo e adubação nitrogenada no milho em plantio direto. *Ciência e Agrotecnologia*, 29, 538-544.

OLIVEIRA, F. H. T.; NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; CANTARUTTI, R. B.; BARROS, N. F. Fertilidade do solo no sistema plantio direto. In: ALVAREZ, V. V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R.; BARROS, N. F.; MELLO, J. W. V.; COSTA, L. M. (Ed.). Tópicos em ciência do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. v. 2. p. 393-486.

OLIVEIRA, T. K.; CARVALHO, G. J.; MORAES, R. N. S. Plantas de cobertura e seus efeitos no feijoeiro em plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, DF, v. 37, n.8, p. 1079-1087, 2002.

PARO, J. V. Manejo do solo para instalação do sistema de plantio direto no cerrado. 2021.

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.

PERIN, A., SANTOS, R. H. S., URQUIAGA, S., GUERRA, J. G. M., & CECON, P. R. Produção de fitomassa, acúmulo de nutrientes e fixação biológica de nitrogênio por adubos verdes em cultivo isolado e consorciado. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 39, 35-40, 2004.

PINAZZA, L. A. Perspectivas da cultura do milho e do sorgo no Brasil. In: BÜLL, L. T.; CANTARELLA, H. (Orgs.). Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: POTAFOS, 1993. p. 1-10.

PIRES, F. R.; ASSIS, R. L de; SILVA, G. P.; BRAZ, A. J. B. P.; SANTOS, S. C.; VIEIRA NETO, S. A.; SOUZA, J. P. G. de. Desempenho agrônômico de variedades de milho em razão da fenologia em pré-safra. Bioscience Journal, Uberlândia. v. 23, n. 3, p. 41-49, 2007.

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

RAIJ, B. V. et al. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônômico, 1996. 285p. (Boletim Técnico, 100).

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Eds.). Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª Aproximação. Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 2003.

ROSE, T. J. et al. Wheat, canola and grain legume access to soil phosphorus fractions differs in soils with contrasting phosphorus dynamics. Plant Soil, v. 326, p. 159-170, 2009.

ROSOLEM, C. A.; CALONEGO, J. C.; FOLONI, J. S. S. Lixiviação de potássio da palhada de espécies de cobertura de solo de acordo com a quantidade de chuva aplicada. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 27, n. 2, p. 355-362, 2003. (a)

ROSOLEM, C. A.; MATEUS, G. P.; GODOY, L. J. G.; FELTRAN, J. C.; BRANCALIÃO, S. R. Morfologia Radicular e suprimento de potássio às raízes de milho de acordo com a disponibilidade de água e potássio. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 875-884, 2003.(b)

SANTOS, H. P.; LHAMBY, J. C. B.; WOBETO, C. Efeito de culturas de inverno em plantio direto sobre a soja cultivada em rotação de culturas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 33, n. 3, p. 289-295, 1998.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAÚJO, J. C. F.; OLIVEIRA, J. B. CUNHA, T. J. F. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília, DF: Embrapa, 2018a. 356 p.

SCALÉA, M. J. Perguntas & Respostas sobre o plantio direto. *Informações Agronômicas*, Piracicaba, n. 83, p. 1-8, 1998. Encarte Técnico.

SILVA, E. C. da; MURAOKA, T.; BUZETTI, S.; VELOSO, M. E. C.; TRIVELIN, P. C. O. Aproveitamento do nitrogênio (¹⁵N) da crotalária e do milho pelo milho sob plantio direto em Latossolo Vermelho de Cerrado. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 36, n. 3, p. 739-746, 2006.

SILVA, J. F. Milho safrinha em espaçamento reduzido consorciado com populações de plantas de *Brachiaria ruziziensis*. Dourados, MS: UFGD, 2014. 45f. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Produção Vegetal) – Universidade Federal da Grande Dourados, 2014.

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C. Atributos químicos do solo decorrentes da aplicação em superfície de calcário e gesso em sistema plantio direto recém-implantado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32, 675-688, 2008.

SPRENT, J.I. Evolving ideas of legume evolution and diversity: a taxonomic perspective on the occurrence of nodulation. *New Phytol.* 2007;174(1):11-25. doi: 10.1111/j.1469-8137.2007.02015.x. PMID: 17335493.

VELOSO, C. A. C. et al. Correção da acidez do solo. In: CRAVO, M. S.; VIÉGAS, I. J. M.; BRASIL, E. C. Recomendações de adubação e calagem para o Estado do Pará. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2007. p. 93-103.

VELOSO, C., SILVA, A., CARVALHO, E., SILVEIRA FILHO, A., & de SOUZA, F. R. S. Adubação fosfatada em cultivares de milho sob Latossolo Vermelho distrófico da Mesorregião Sudeste Paraense, 2016.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre a qualidade do solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 33, n. 4, p. 743-755, ago. 2009.

WISNIEWSKI, C.; HOLTZ, G. P. Decomposição da palhada e liberação de nitrogênio e fósforo numa rotação aveia-soja sob plantio direto. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 32, n. 11, p. 1191-1197, 1997.

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: Embrapa, 2023. cap 3. p.57-173.

YANO, E. H. Sucessão de culturas em sistemas integrados de produção. 2005. 129 f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2005.

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, GO, v. 45, n. 2, p. 128-137, abr-jun, 2015.

ZHANG, X.; DAVIDSON, E. A.; MAUZERALL, D. L.; SEARCHINGER, T. D.; DUMAS, P.; SHEN, Y. Managing nitrogen for sustainable development. Nature, v. 528, n. 7580, p. 51-59, 2019.