

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CAMPUS DE ENGENHARIAS E CIÊNCIAS AGRÁRIAS**

JERÔNIMO BARBOSA LESSA

**REMOÇÃO DE NUTRIENTES EM LAVOURAS DE MILHO DE ALTA
PRODUTIVIDADE DESTINADAS À ENSILAGEM**

RIO LARGO-AL

2023

JERÔNIMO BARBOSA LESSA

**REMOÇÃO DE NUTRIENTES EM LAVOURAS DE MILHO DE ALTA
PRODUTIVIDADE DESTINADAS À ENSILAGEM**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Campus de Engenharias e Ciências Agrárias, da
Universidade Federal de Alagoas, como requisito
para obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.
Orientador: Prof. Dr. Mauro Wagner de Oliveira.

RIO LARGO-AL

2023

Catálogo na Fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Campus de Engenharias e Ciências Agrárias
Bibliotecário Responsável: Erisson Rodrigues de Santana - CRB4 - 1512

L638r Lessa, Jerônimo Barbosa.

Remoção de Nutrientes em lavouras de milho de alta produtividade destinadas à ensilagem. / Jerônimo Barbosa Lessa. – 2023.

27f.: il.

Orientador: Mauro Wagner de Oliveira.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) – Graduação em Agronomia, Campus de Engenharias e Ciências Agrárias, Universidade Federal de Alagoas. Rio Largo, 2023.

Inclui bibliografia.

1. Adubação de restituição. 2. Nutrição mineral do milho. 3. Tecnologias de produção.
I. Título.

CDU: 633.15

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a DEUS por Ele ter me capacitado e dado forças para chegar até aqui, e de alcançar os objetivos traçados anteriormente. A meus pais “in memorium”, minha mãe Arly que sempre me apoiou e incentivou nos estudos, a meu pai Jorge homem do campo, trabalhador e dedicado a família.

À minha família, em especial a minha esposa Cláudia, minhas filhas Larissa e Lais e meu filho Ícaro pela compreensão ao longo da jornada, bem como pela ajuda técnica de Larissa, Laís e Ícaro.

Ao meu orientador, professor Mauro Wagner de Oliveira pela oportunidade de poder aprender mais com seu grande conhecimento técnico, pela sua paciência, presteza e disponibilidade em ajudar.

E por fim, agradeço aos professores, amigos e colegas de turma, pela parceria firmada ao longo do curso.

RESUMO

O milho têm sido a planta mais usada para a produção de silagem de alto valor bromatológico, visando a alimentação de vacas leiteiras de média a alta produtividade. Várias técnicas têm sido propostas para aumentar a produtividade das lavouras e a qualidade bromatológica das silagens, incluindo novas práticas agrícolas na implantação e condução das lavouras e também novos procedimentos durante o corte e a ensilagem. No presente trabalho são apresentados os resultados referentes a fertilidade do solo, ao estado nutricional, a produção de matéria seca e a remoção de nutrientes em quatro lavouras de milho de alta produtividade. As avaliações foram realizadas em propriedade rurais da Zona da Mata Mineira, que utilizam intensamente a produção de silagem de milho para a alimentação de vacas leiteiras. As amostragens para a avaliação da fertilidade do solo, do estado nutricional e da produção e acúmulo de nutrientes foram realizadas de forma sistemática. Na fase de emissão de inflorescência feminina o limbo foliar foi analisado quanto aos teores de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn, amostrando-se de forma sistemática, sete áreas de 3,5 m² cada. Quando a biomassa aérea das plantas apresentou em média 33% de matéria seca, avaliou-se a produção de forragem da lavoura, amostrando-se novamente, nas mesmas áreas utilizadas para avaliação da fertilidade do solo e do estado nutricional das plantas. O milho foi cortado a cerca de 20 cm acima do solo e o material vegetal foi pesado e passado em picadeira de forragem. Subamostras desse material foram analisadas quanto aos teores de N, P, K, Ca, Mg e S. A partir dos valores de concentração do N, P, K, Ca, Mg e S na matéria seca, e da produção de matéria seca foi calculada o acúmulo de nutrientes na biomassa aérea das plantas. A fertilidade do solo nas lavouras das pequenas propriedades rurais avaliadas foi de média a alta, com teores de fósforo variando de 10 a 20 mg dm⁻³, enquanto para o potássio esta variação foi de 40 a 89 mg dm⁻³. Nos solos das quatro lavouras analisadas não havia alumínio trocável na camada de 0 a 20 cm, e na camada de 20 a 40 cm, a saturação por alumínio, nas lavouras 1 e 3 também foi pequena, menos de 5%. Constatou-se que todas as lavouras estavam com nutrição mineral adequada tanto para os macros quanto para os micronutrientes. A produção de matéria seca e acúmulo de nutrientes na biomassa aérea do milho nas lavouras foram altas. O valor médio de acúmulos de matéria seca foi próximo a 20,0 t por hectare, e a remoção média de nutrientes, pela colheita da parte aérea do milho para a ensilagem, foi de 247, 34, 245, 34, 23 e 22 kg por hectare para o N, P, K, Ca, Mg e o S, respectivamente.

Palavra-chave: Adubação de restituição, nutrição mineral do milho, tecnologias de produção.

ABSTRACT

Corn has been the most used plant for the production of silage of high bromatological value, aiming at feeding dairy cows of medium to high productivity. Several techniques have been proposed to increase the productivity of crops and the bromatological quality of silages, including new agricultural practices in the implantation and management of crops and also new procedures during cutting and ensiling. In the present work, results regarding soil fertility, nutritional status, dry matter production and nutrient removal in four high-yield corn crops are presented. The evaluations were carried out in rural properties in the Zona da Mata Mineira, which intensively use the production of corn silage to feed dairy cows. Samplings for the evaluation of soil fertility, nutritional status and production and accumulation of nutrients were carried out systematically. In the female inflorescence emission phase, the leaf blade was analyzed for N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn and Zn contents, systematically sampling seven areas of 3, 5 m² each. When the aerial biomass of the plants presented an average of 33% of dry matter, the forage production of the crop was evaluated, sampling again, in the same areas used to evaluate the soil fertility and the nutritional status of the plants. The corn was cut at about 20 cm above the ground and the plant material was weighed and passed through a forage chopper. Subsamples of this material were analyzed for N, P, K, Ca, Mg and S contents. Based on the concentration values of N, P, K, Ca, Mg and S in the dry matter, and the dry matter production, calculated the accumulation of nutrients in the aerial biomass of the plants. Soil fertility in the crops of the small rural properties assessed was medium to high, with phosphorus contents ranging from 10 to 20 mg dm⁻³, while for potassium this variation was from 40 to 89 mg dm⁻³. In the soils of the four analyzed crops, there was no exchangeable aluminum in the 0 to 20 cm layer, and in the 20 to 40 cm layer, aluminum saturation in crops 1 and 3 was also small, less than 5%. It was found that all crops had adequate mineral nutrition for both macros and micronutrients. Dry matter production and nutrient accumulation in corn area biomass in crops were high. The average value of dry matter accumulation was close to 20.0 t per hectare, and the average removal of nutrients, by harvesting the aerial part of the corn for silage, was 247, 34, 245, 34, 23 and 22 kg per hectare for N, P, K, Ca, Mg and S, respectively.

Key words: Restitution fertilization, corn mineral nutrition, production technologies.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1-** Espigas de milho, nos estágios de $\frac{1}{4}$; $\frac{1}{2}$ e $\frac{3}{4}$ da linha do dente..... 14
- Figura 2-** Locais das amostragens sistemáticas utilizadas no presente estudo..... 15
- Figura 3-** Milho na fase de aparecimento da inflorescência feminina, época recomendada para a coleta de folha destinada a análise química. A folha recomendada é a primeira oposta e abaixo da primeira espiga, devendo-se coletar o terço médio desta folha..... 16

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Resultados das análises de solo das quatro lavouras de milho destinadas à ensilagem, nas camadas de 0 a 20 e 20 a 40 cm.....	18
Tabela 2- Valores médios, mínimos e máximos, de concentração de nutrientes no terço médio da primeira folha oposta e abaixo da primeira espiga, nas quatro lavouras de milho, e valores de referências citados na literatura nacional.....	23
Tabela 3- Valores médios, mínimos e máximos, do acúmulo de matéria seca e de nutrientes na biomassa aérea das plantas, nas quatro lavouras de milho.....	25

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	9
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	10
2.1 Híbridos de Milho.....	11
2.2 Fertilidade do Solo e Nutrição do Milho.....	12
2.3 Avaliação do Estado Nutricional das Plantas de Milho.....	13
2.4 Matéria Seca das Plantas de Milho e Qualidade da Silagem.....	13
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	15
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	18
4.1 Fertilidade do Solo nas Lavouras das Pequenas Propriedades Rurais.....	18
4.2 Estado Nutricional das Plantas de Milho.....	22
4.3 Produção de Matéria Seca e Acúmulo de Nutrientes na Biomassa do Milho.....	24
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	26
REFERÊNCIAS.....	27

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, nas pequenas propriedades rurais do Brasil, várias tecnologias foram incorporadas à produção de milho destinado à ensilagem, destacando-se o uso de híbridos mais produtivos e melhor adaptados a determinados ambientes edafoclimáticos; a melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, o fornecimento adequado de nutrientes pela adubação orgânica ou química; o controle de pragas e de plantas daninhas, e novos procedimentos na colheita e na ensilagem do milho (FRISTCHE & MORO, 2015; RESENDE et al., 2016; OLIVEIRA et al., 2017b).

Um dos fatores que interfere negativamente na produtividade das lavouras é a deficiência hídrica, principalmente na fase de polinização e de enchimentos de grãos. Para atenuar essa deficiência e aumentar a eficiência da água da chuva têm sido adotadas práticas agrícolas para aumentar a infiltração da chuva no solo e aprofundar o sistema radicular do milho, o que resulta em maior quantidade de água disponível para a cultura (RAIJ, 2008; OLIVEIRA et al., 2007). Dentre estas práticas pode-se citar o uso de plantas de cobertura de solo associadas a semeadura direta, a calagem e a gessagem que objetivam elevar a saturação por bases na camada arável e diminuir a saturação por alumínio na subsuperfície, e o planejamento da semeadura do milho baseado no histórico de chuva da região de forma que as fases de polinização e de enchimentos de grãos coincidam com a máxima disponibilidade de água (OLIVEIRA et al., 2017a; OLIVEIRA et al., 2020).

Alguns autores têm recomendado a adubação baseada na expectativa de produtividade ou na reposição de nutrientes removidos pela colheita das plantas. Esse critério de adubação contribui para manter ou elevar a fertilidade do solo, resultando em maiores produtividades das safras seguintes (RAIJ, 2011; OLIVEIRA et al., 2017a). A adubação verde associada a plantas de cobertura de solo e recicladores de nutrientes, a aplicação de dejetos dos bovinos ou de outros resíduos orgânicos da propriedade, disponíveis a preços compensadores, são formas de diminuir o custo de produção, otimizar o uso de nutrientes e aumentar a eficiência da terra e a sustentabilidade da atividade leiteira (OLIVEIRA et al., 2021a; OLIVEIRA et al., 2022b).

Ante ao exposto, no presente trabalho foram avaliados a fertilidade do solo, o estado nutricional, o acúmulo de matéria seca e a remoção de nutrientes pela colheita da biomassa aérea do milho destinado a ensilagem, em lavouras de pequenas propriedades, na zona da Mata Mineira.

2 REVISÃO DE LITERATURA

A pecuária leiteira é de grande importância socioeconômica para o Brasil, pois emprega grande número de pessoas de diferentes classes sociais, em diversas regiões do país (MARAFON, 2013; BUSO et al., 2018). Na Zona da Mata Mineira a pecuária leiteira é uma atividade presente na maioria das propriedades de agricultura familiar, tanto pelo emprego de mão-de-obra doméstica quanto pela receita mensal obtida com a venda do leite e subprodutos. Para que a atividade leiteira nestas propriedades seja economicamente viável, os pequenos produtores têm adotado técnicas para aumentar a produtividade da terra, da mão-de-obra, do capital investido, sendo também implementadas ações que contribuem para a sustentabilidade do sistema e do meio ambiente (PADILHA, 2014; OLIVEIRA et al., 2017b; OLIVEIRA et al., 2022a).

Nas pequenas propriedades rurais dedicadas à produção leiteira, com média a alta produtividade animal, a silagem de milho e de sorgo tem sido os volumosos mais utilizados para a alimentação animal, devido, dentre outras características, a disponibilidade de sementes, facilidade de cultivo, alta produção de matéria seca, alto percentual de grãos na massa a ser ensilada, e ao elevado consumo voluntário da silagem, pelos animais (BUSO et al., 2018; DA ROS et al., 2019; OLIVEIRA et al., 2017a).

No Brasil, nas últimas décadas várias tecnologias foram desenvolvidas por centros de pesquisas, universidades e empresas particulares, visando aumentar a produtividade das lavouras de milho, diminuir o custo de produção, reciclar resíduos da atividade leiteira, melhorar a qualidade da silagem e preservar o meio ambiente (MARAFON, 2013; HÜLSE, 2014). Neste cenário de alta tecnologia, isoladamente a alimentação animal é o item que mais onera a produção de leite, e a alimentação de vacas leiteiras de alta produtividade é constituída basicamente de ração concentrada e silagem de milho ou de sorgo (REZENDE et al., 2015; OLIVEIRA et al., 2017b).

Dentre as tecnologias empregadas na pecuária leiteira, nas pequenas propriedades com visão empresarial, pode-se citar a geoestatística aplicada à amostragem de solos, a plantas e a produtividade da lavoura, o uso de corretivos de acidez de solo e gesso para aumentar a disponibilidade de cálcio e magnésio no solo e neutralizar o alumínio tóxico da subsuperfície, resultando em maior aprofundamento do sistema radicular das plantas e conseqüentemente elevando a eficiência do uso da água da chuva e dos fertilizantes (RAIJ, 2011; NETO et al., 2013; OLIVEIRA et al., 2018b; OLIVEIRA et al., 2022b).

Outras práticas muito adotadas pelos pequenos produtores são a semeadura de híbridos de milho bem adaptados a determinado ambiente de produção, mais responsivos à adubação e que têm alto percentual de grãos na biomassa a ser ensilada (DUARTE et al., 2013; OLIVEIRA et al., 2020), a aplicação de herbicidas mais eficiente e menos tóxico à cultura e ao meio ambiente, o uso de composto orgânico originários das fezes e urina dos animais, a rotação de culturas, a utilização de fontes alternativas de fertilizantes e, o emprego e o aprimoramento de tecnologias ligadas à fermentação e melhoria da silagem do milho (UENO et al., 2011; HÜLSE, 2014; OLIVEIRA et al., 2022b).

2.1 Híbridos de Milho

Nas pequenas propriedades rurais, com elevada produtividade tanto da terra, quanto da mão de obra, semeiam-se apenas híbridos de milho, não se utilizam variedades de milho, que embora possam ser mais rústicas, têm potencial produtivo e qualidade da silagem muito inferior aos dos híbridos de milho, devido principalmente ao baixo percentual de grãos na massa a ser ensilada, o que resulta em silagem de baixo valor nutritivo e menor consumo voluntário pelos bovinos (DUARTE et al., 2013; OLIVEIRA et al., 2020). Os híbridos de milho são resultantes do cruzamento entre indivíduos geneticamente distintos entre si e homozigotos, conforme o número de genitores utilizados. O alto vigor é expresso na primeira geração (F1) e requer a aquisição de novas sementes a cada semeadura, visto que, o uso das sementes obtidas na colheita da F1 resulta em plantas heterogêneas, com perda de produtividade e vigor de híbrido, a depender do tipo, esta redução poderá ser de 15% a 40% na produtividade (FRITSCHÉ e MÔRO, 2015, BUSO et al., 2018).

Os híbridos são classificados em simples, duplo e triplo. Os híbridos simples são provenientes do cruzamento entre duas linhagens puras. Possui alto potencial produtivo, sendo recomendado o seu uso em sistemas de produção que disponham de altas tecnologias. É, portanto, mais cara a aquisição de sementes deste tipo. Híbridos triplos são resultados do cruzamento entre um híbrido simples e uma linhagem pura, indicado para sistemas de produção de média a alta tecnologia. O potencial produtivo das sementes é relativamente mais baixo em comparação com os de híbrido simples. A obtenção dos híbridos duplos provém do cruzamento entre dois híbridos simples. Recomenda-se o seu uso aos produtores com média tecnologia, é de rápida aceitação por parte dos agricultores por ter um custo de aquisição relativamente mais baixo em comparação com os demais e sua produtividade ser satisfatória (FRITSCHÉ e MÔRO, 2015, PADILHA, 2014; OLIVEIRA et al., 2020).

2.2 Fertilidade do Solo e a Nutrição do Milho

A cultura do milho para ensilagem, nos sistemas mais tecnificados, é de elevado potencial produtivo, que conseqüentemente extrai e remove grandes quantidades de nutrientes do solo. Oliveira et al. (2017b) em estudos como híbrido de milho BM 3066, em pequena propriedade rural da zona da Mata Mineira, relata produtividade de 61,5 t de matéria natural por hectare; 20,17 t de matéria seca por hectare. Nesse estudo a remoção média de nutrientes pela colheita do milho para a ensilagem foi de 273, 32, 214, 35, 23 e 24 kg por hectare, respectivamente para o N, P, K, Ca, Mg e S. Em estudos conduzidos no município de Guarapuava, situado na zona subtropical do estado do Paraná, Ueno et al. (2011) também relatam alta remoção de nutrientes pelo híbrido SG 6010, citando valores de 241, 42, 142, 35, 38 e 24 kg por hectare, respectivamente para o N, P, K, Ca, Mg e S.

Deve-se conhecer, portanto, a capacidade de fornecimento de nutrientes pelo solo para, se necessário, complementá-la com adubações e, se constatada a presença de elementos em níveis tóxicos, reduzir sua concentração pela calagem e gessagem. Normalmente, avaliam-se a disponibilidade de nutrientes e a presença de elementos em níveis tóxicos no solo pela análise química da camada arável, sendo também de grande valia o histórico da área, sobretudo as adubações realizadas e se houve ou não ocorrência de sintomas de deficiência ou de toxidez nos cultivos anteriores (RAIJ et al., 2011; OLIVEIRA et al., 2018a).

Usualmente, coletam-se amostras de solo das camadas de 0 a 20 e de 20 a 40 cm de profundidade. Os resultados da análise da camada de 0 a 20 cm serão utilizados para calcular a adubação e a calagem e os da camada de 20 a 40 cm, para os cálculos da necessidade de gessagem (OLIVEIRA et al., 2007; PADILHA, 2014). Nas pequenas propriedades tem-se utilizado a amostragem do solo de forma sistemática. Essa técnica consiste na coleta de amostras de solo a partir de um ponto referencial, por exemplo: esquina de um carreador, um riacho, alguma construção rural. Agindo-se desta forma, as amostragens serão realizadas sempre no mesmo local, sendo possível mensurar a variabilidade dos teores de nutrientes no solo e aplicar os corretivos de acidez e adubos à taxas variáveis (OLIVEIRA et al., 2020).

Recomenda-se para estas pequenas propriedades coletar de cinco a sete amostras simples por hectare. Após a secagem, ao ar, da amostra composta, retiram-se cerca de 500 g de terra para, depois de acondicionados em recipiente devidamente identificado, serem enviados ao laboratório de análise química (OLIVEIRA et al., 2017a). No Brasil, o potássio, o cálcio, o magnésio, o sódio e o alumínio são analisados quanto ao teor trocável e, mesmo havendo grande

variação dos extratores químicos utilizados, a precisão e exatidão dessas análises são muito grandes (OLIVEIRA et al., 2007).

2.3 Avaliação do Estado Nutricional das Plantas de Milho

A avaliação do estado nutricional das plantas é outra tecnologia recomendada para os produtores que almejam altas produtividades de suas lavouras de milho destinadas à ensilagem. Embora possa parecer mais um ônus para o produtor, mas na realidade é uma avaliação que associada à análise do solo e a produtividade da lavoura, permite determinar se a adubação empregada está sendo adequada, ou se há necessidade de alteração ou inclusão de algum nutriente. Para o milho a época de coleta de folhas para as análises químicas é na emissão da inflorescência feminina, coletando-se o terço médio da primeira folha oposta e abaixo da espiga, eliminando-se a nervura principal (MALAVOLTA et al., 1997; BROCH & RANNO, 2011; RAIJ et al., 2011; OLIVEIRA et al., 2020).

Após a realização das análises químicas do terço médio da primeira folha oposta e abaixo da espiga, os resultados obtidos são comparados com os de lavouras de alta produtividade e bem nutridas, citadas na literatura nacional, com o objetivo de verificar se o elemento se encontra em estado de deficiência, estado nutricional adequado ou em excesso/toxidez (BROCH & RANNO, 2011; OLIVEIRA et al., 2017a; OLIVEIRA et al., 2020).

2.4 Matéria Seca das Plantas de Milho e Qualidade da Silagem

Para que os processos fermentativos que ocorrem durante a conservação da forragem, na forma de silagem, limitem ao máximo o crescimento de microrganismos que deterioram a qualidade bromatológica da silagem, deve-se adotar algumas medidas. Uma delas é o corte das plantas de milho com teor adequado de matéria seca. A ensilagem das plantas com teor de matéria seca acima de 35% (350 g kg^{-1}) dificulta a compactação e aumenta a concentração de oxigênio na massa ensilada, favorecendo o desenvolvimento de microrganismos aeróbicos indesejáveis, com perda de nutrientes (BUSO et al., 2018; MARAFON, 2013; OLIVEIRA et al., 2020).

Por outro lado, quando o percentual de matéria seca das plantas de milho é inferior a 30% (300 g kg^{-1}) há perdas por efluentes, e a redução do pH da massa ensilada é menor, há menor formação de ácido lático (desejável) e formação de ácido acético e butírico. Estas

condições favorecem o desenvolvimento de microrganismos indesejáveis, como os clostrídios. Então, para que no processo fermentativo haja mais produção de ácido lático, e a qualidade da silagem tenha pequenas alterações bromatológicas negativas, as plantas de milho devem ser colhidas com teor de matéria seca oscilando em torno de 33% (330 g kg^{-1}), ou no estágio de $\frac{1}{2}$ da linha do dente, conforme citado por Duarte et al. (2013); Rezende et al. (2015), Buso et al. (2018) e Oliveira et al. (2020). Na figura abaixo são mostradas três espigas de milho, nos estágios de $\frac{1}{4}$; $\frac{1}{2}$ e $\frac{3}{4}$ da linha do dente.

Figura 1- Espigas de milho, nos estágios de $\frac{1}{4}$; $\frac{1}{2}$ e $\frac{3}{4}$ da linha do dente.



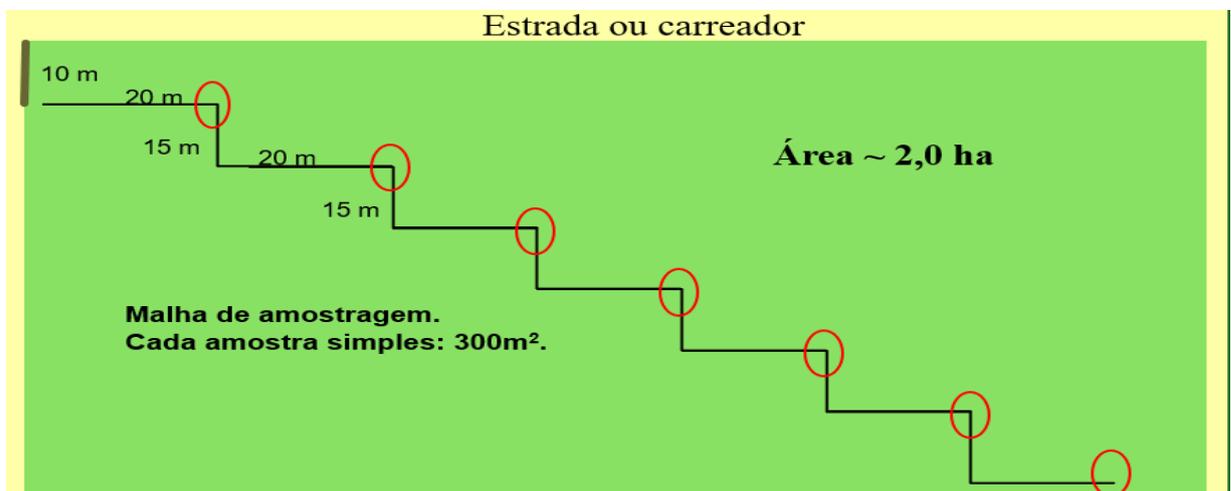
Fonte: Duarte et al. (2013)

3 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em pequenas propriedades rurais localizadas na Zona da Mata de Minas Gerais, Brasil. Essas pequenas propriedades rurais têm coordenadas geográficas: latitude variando de 20° 45' 14" a 21° 11' 39" Sul e, longitude compreendida entre 42° 52' 55" e 43° 01' 04" Oeste. A altitude dessas propriedades oscila de 330 a 650 m. O clima da região varia, segundo a classificação de Köppen, do tipo Aw a Cwa, considerado, portanto, como tropical de altitude com chuvas durante o verão e temperatura média anual de 18 °C, com variações entre 24 °C (média das máximas) e 13,8 °C (média das mínimas). A precipitação média nos últimos 30 anos foi cerca de 1.200 mm, com excedente hídrico de novembro a março e, de abril a setembro, a precipitação fica abaixo da evapotranspiração potencial, causando déficit hídrico nesse período. No mês de outubro, a precipitação volta a ser maior que a evapotranspiração, portanto, as estações seca e chuvosa são bem definidas nessa região. Os solos predominantes na região são: Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, Argissolo Vermelho-Amarelo e Cambissolo latossólico. Embora de baixa fertilidade, sua constituição física permite a atividade agrícola desde que se use técnicas agrícolas apropriadas (OLIVEIRA et al., 2017a; OLIVEIRA et al., 2021a).

Em setembro, antecedendo a semeadura do milho, foram coletadas amostras de solo para avaliar a fertilidade do solo, especialmente a saturação por bases na camada de 0 a 20 cm, e a saturação por alumínio na camada de 20 a 40 cm. As amostragens foram sistemáticas, tomando-se um ponto de referência na lavoura, a partir do qual estabeleceu-se uma equidistância entre as amostragens, seguindo procedimento descrito por Oliveira et al. (2021a), mostrado na figura 2.

Figura 2 - Locais das amostragens sistemáticas utilizadas no presente estudo.



Fonte: Oliveira et al. (2021a)

No início de outubro, logo após as primeiras chuvas, foram realizadas as semeaduras dos híbridos de milho das empresas Biomatrix-Agroceres (BM), DeKalb Genetics Corporation (DKB), e Kleinwanzlebener Saatzzucht (KWS). A área de cada lavoura variou de aproximadamente 1,5 a 2,0 hectares por híbrido de milho. A adubação química realizada por ocasião da semeadura forneceu, em média, 50 kg de N, 65 kg de P (150 kg de equivalente a P_2O_5) e 42 kg de K (50 kg de equivalente a K_2O).

Na adubação de cobertura, realizada no estágio fenológico de três pares de folhas definitivas, aplicou-se em média 200 kg de N e 200 kg de K, por hectare. Na fase da emissão de inflorescência feminina, avaliou-se o estado nutricional das plantas, coletando-se o terço médio da primeira folha oposta e abaixo da espiga principal, eliminando-se a nervura central, seguindo procedimentos descritos por Malavolta et al. (1997), Raij (2011), e Broch e Ranno (2011). As amostragens para a avaliação do estado nutricional foram realizadas de forma sistemática, coletando-se as folhas em sete áreas de 3,5 m² cada (0,7 m de espaçamento x 5,0 m de comprimento). Cada amostra foi coletada no mesmo local onde anteriormente coletou-se a amostra simples de solo.

Figura 3 - Milho na fase de aparecimento da inflorescência feminina, época recomendada para a coleta de folha destinada a análise química. A folha recomendada é a primeira oposta e abaixo da primeira espiga, devendo-se coletar o terço médio desta folha.



Fonte: Adaptada de Broch e Ranno (2011)

O limbo foliar foi seco em estufa, a 65 °C, até massa constante. Posteriormente o material foi passado em moinho de aço inoxidável e submetido às digestões sulfúricas e nitricoperclóricas. O limbo foliar foi analisado quanto aos teores de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn. Os teores de nitrogênio foram obtidos pelo método de Kjeldahl, o potássio por fotometria de chama e o fósforo e o boro por espectrocolorimetria. O cálcio, magnésio, cobre, manganês, zinco e ferro foram determinados por meio da espectrofotometria de absorção atômica e o enxofre por turbodimetria, conforme descrito por Malavolta et al. (1997), e Silva e Queiroz (2002).

Quando a biomassa aérea das plantas apresentou em média 33% de matéria seca, avaliou-se a produção de forragem da lavoura, amostrando-se novamente, de forma sistemática, sete áreas de 3,5 m² cada, nas mesmas áreas utilizadas para avaliação do estado nutricional das plantas. O milho foi cortado a cerca de 20 cm acima do solo e o material vegetal foi pesado e passado em picadeira de forragem. Subamostras desse material foram secas em estufa e analisadas quanto aos teores de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre (MALAVOLTA et al., 1997; SILVA & QUEIROZ, 2002). A partir dos valores de concentração do N, P, K, Ca, Mg e S na matéria seca, e da produção de matéria seca, foi calculada a remoção de nutrientes pela colheita da biomassa aérea do milho. Foram realizadas análises estatísticas descritivas dos resultados da análise do solo, do estado nutricional, da produção de matéria seca e da remoção de nutrientes destas lavouras (FERREIRA, 2011).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente serão apresentados e discutidos os resultados relacionados a fertilidade do solo e, posteriormente, o estado nutricional, o acúmulo de matéria seca e a remoção de nutrientes pela colheita da biomassa aérea do milho destinado a ensilagem, nas quatro lavouras das pequenas propriedades rurais, na Zona da Mata Mineira.

4.1 Fertilidade do Solo nas Lavouras das Pequenas Propriedades Rurais

Na tabela 1 estão apresentados os resultados das análises de solo das quatro lavouras, nas camadas de 0 a 20 e 20 a 40 cm. Pela análise desta tabela pode-se notar que a fertilidade destes quatro solos, três de textura arenosa ou média, e um de textura argilosa, são de média a alta, com teores de fósforo variando de 10 a 20 mg dm⁻³, enquanto para o potássio esta variação foi de 40 a 89 mg dm⁻³.

Tabela 1 - Resultados das análises de solo das quatro lavouras de milho destinadas à ensilagem, nas camadas de 0 a 20 e 20 a 40 cm.

Camada de 0 a 20 cm													
Lavoura	pH	P	K	Na	Al ³⁺	H ⁺ + Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SB	CTC (t)	CTC (T)	V	m
	H ₂ O	mg dm ⁻³			cmol _c dm ⁻³					----- (%) -----			
1	5,5	10	40	0	0,00	2,27	3,12	0,94	4,16	4,16	6,43	64,71	0,00
2	6,2	11	52	0	0,00	1,69	2,41	0,93	3,47	3,47	5,16	67,27	0,00
3	5,7	14	57	0	0,00	3,51	3,89	1,43	5,47	5,47	8,98	60,89	0,00
4	6,0	20	89	0	0,00	2,84	4,15	2,91	7,29	7,29	10,13	71,96	0,00
Média	5,85	14	60	0	0,00	2,58	3,39	1,55	5,10	5,10	7,67	66,21	0,00
Mínimo	5,50	10	40	0	0,00	1,69	2,41	0,93	3,47	3,47	5,16	60,89	0,00
Máximo	6,20	20	89	0	0,00	3,51	4,15	2,91	7,29	7,29	10,13	71,96	0,00
Camada de 20 a 40 cm													
Lavoura	pH	P	K	Na	Al ³⁺	H ⁺ + Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SB	CTC (t)	CTC (T)	V	m
	H ₂ O	mg dm ⁻³			cmol _c dm ⁻³					----- (%) -----			
1	5,1	8	25	0	0,10	1,95	1,40	0,45	1,91	2,01	3,86	49,53	4,97
2	5,5	7	31	0	0,00	1,53	1,04	0,47	1,59	1,59	3,12	50,95	0,00
3	5,1	8	29	0	0,10	2,95	1,67	0,82	2,56	2,66	5,51	46,50	3,75
4	5,5	12	46	0	0,00	3,58	2,15	1,02	3,29	3,29	6,87	47,87	0,00
Média	5,30	9	33	0	0,05	2,50	1,57	0,69	2,34	2,39	4,84	48,71	2,18
Mínimo	5,10	7	25	0	0,00	1,53	1,04	0,45	1,59	1,59	3,12	46,50	0,00
Máximo	5,50	12	46	0	0,10	3,58	2,15	1,02	3,29	3,29	6,87	50,95	4,97

pH em H₂O (Relação 1:2,5). P e K: Extrator Mehlich. Ca, Mg e Al⁺³: Extrator KCl. H⁺ + Al⁺³: Extrator Acetato de Cálcio.

Fonte: Dados da pesquisa (2023)

O monitoramento da fertilidade do solo é uma das práticas gerenciais adotadas pelos pequenos proprietários, devido tanto a alta remoção de nitrogênio, fósforo e cátions básicos pela colheita de toda a biomassa aérea do milho, quanto pela acidificação causada pelos adubos nitrogenados, ureia ou sulfato de amônio. Em relação à acidificação causada por adubos nitrogenados, Raij (2011) cita índice de acidificação de 1,80 para a ureia e 5,35 para o sulfato de amônio. Assim, para neutralizar a acidez causada pela aplicação de 200 kg de N, na forma de sulfato de amônio, há necessidade de aplicar 1.070 kg de corretivo de acidez do solo, com poder de neutralização de 100%.

Para que a cultura do milho tenha boa produtividade é necessário adotar práticas agrícolas, que dentre outros fatores, assegurem o suprimentos adequados de água e nutrientes, e neutralizem elementos tóxicos do solo, especialmente o alumínio trocável, tanto da camada arável quanto da subsuperfície. Uma destas práticas agrícolas usualmente empregada nestas pequenas propriedades, é a correção da acidez do solo, que visa, além de neutralizar o alumínio trocável, fornecer cálcio e magnésio para as plantas (NETO et al. 2013; OLIVEIRA et al. 2017a; OLIVEIRA et al. 2020). A ação corretiva do calcário, na maioria das vezes, se restringe à camada arável do solo, sendo necessário o emprego de gesso agrícola para diminuir a saturação por alumínio e elevar a saturação por cátions básicos na camada não arável (RAIJ, 2008; OLIVEIRA et al. 2017a).

O alumínio trocável do solo e seus efeitos maléficos no desenvolvimento radicular e na fisiologia das plantas, têm sido muito prejudicial à produção do milho, especialmente durante períodos de deficiência hídrica, quando a absorção de água e de nutrientes das camadas subsuperficiais é de extrema importância para manter as taxas fotossintéticas das plantas e assegurar boa produtividade das lavouras em condições de distribuição irregular das chuvas (OLIVEIRA et al., 2007; RAIJ, 2008). Concentrações micromolares do alumínio interferem negativamente na cinética de absorção de nutrientes; na translocação da seiva e dos nutrientes para a parte aérea da planta; e, em algumas situações, induzem à formação de espécies reativas de oxigênio, que, por sua vez, promovem a peroxidação dos lipídios das membranas da célula vegetal, resultando em modificações nas suas estruturas e nas suas funções (NETO et al., 2013; OLIVEIRA et al., 2021a).

Conforme citado anteriormente, para aumentar a concentração de cálcio e de magnésio na camada não arável, tem sido utilizado o gesso agrícola, um sulfato de cálcio originário da indústria de fertilizantes fosfatados. A solubilidade do gesso em água é um fator que o diferencia dos calcários: ela não é muito alta, que promova rápida lixiviação de íons nos solos, nem muito baixa, que torne o material pouco reativo no solo. A solubilidade dos corretivos de

acidez é baixa: à temperatura de 25 °C a solubilidade do CaCO_3 , do MgCO_3 , do Ca(OH)_2 , do Mg(OH)_2 e do CaSiO_3 é, respectivamente, 0,014; 0,106; 1,85; 0,009 e 0,095 g por litro. Para o gesso, a solubilidade média é de 2,50 g por litro, portanto, 179 vezes maior que o carbonato de cálcio e 24 vezes maior que o carbonato de magnésio (RAIJ, 2008; OLIVEIRA et al., 2021a).

O gesso arrasta o cálcio, o magnésio e o potássio para as camadas mais profundadas, aumentando a saturação por bases e diminuindo, conseqüentemente, a saturação por alumínio. Outro efeito benéfico do gesso é a formação do $\text{Al(SO}_4\text{)}^+$, um composto menos tóxico que o alumínio trocável. A redução da saturação do alumínio e o aumento na saturação por bases na subsuperfície permitem maior aprofundamento do sistema radicular do milho, e esse aprofundamento do sistema radicular propicia melhor aproveitamento da água da chuva retida nas camadas mais profundadas, aumentando a tolerância das plantas ao déficit hídrico, com conseqüente elevação da eficiência dos insumos e da produtividade das lavouras. Para alguns autores, a disponibilidade de água para o milho é o principal fator responsável pela variabilidade interanual da produtividade, e os extremos climáticos, como seca mais prolongadas e grande volume de chuvas em curto período de tempo, tendem a se acentuar ainda mais (RAIJ, 2011; OLIVEIRA et al., 2020).

Nos solos das quatro lavouras analisadas não havia alumínio trocável na camada de 0 a 20 cm, e na camada de 20 a 40 cm, a saturação por alumínio, nas lavouras 1 e 3 também foi pequena, menos de 5%, não constituindo impedimento químico ao aprofundamento do sistema radicular até esta profundidade. Oliveira et al. (2021a) citam que em anos agrícolas com boa distribuição de chuvas, ocorre redução da resistência oferecida pelo solo ao desenvolvimento do sistema radicular das plantas. Por outro lado, nos anos com distribuição irregular de chuvas, aumenta a dependência da água disponível, retida a baixas tensões e relacionada à macroporosidade do solo. Há relatos na literatura mostrando alta correlação entre a evapotranspiração e a quantidade de luz interceptada pela planta, bem como entre a evapotranspiração, a fixação do CO_2 atmosférico e a expansão das células.

A pressão de água contra a parede celular (“pressão de turgor”) é a força que expande as células em crescimento. Oliveira et al (2021a) relatam que em um estudo clássico com plantas de milho, observou-se que quando o potencial hídrico da folha diminuiu de -0,30 MPa para -1,0 MPa a fixação do CO_2 atmosférico reduziu em 25%. Os autores citam ainda que, para melhor entendimento dessas tensões hídricas pode-se citar, comparativamente, a pressão de calibração de um pneu de automóvel. Quando o pneu é calibrado a 30 libras por polegada quadrada, esta pressão equivale a 0,21 MPa. A fixação do CO_2 atmosférico pelas folhas do milho no potencial hídrico de -0,30 MPa foi de 50 mg de CO_2 dm^{-2} por hora. Em relação a

expansão das células da folha do milho, constatou-se redução exponencial quando o potencial hídrico da folha do milho diminuiu de -0,20 MPa para -1,0 MPa, sendo que no potencial hídrico de -1,0 MPa não houve expansão das células da folha do milho.

O método de análise de solo que utiliza o acetato de cálcio para a determinação do H^+ + Al^{+3} é muito usado no centro-sul do Brasil. Esse extrator, usado nas análises de solo do presente estudo, subestima demasiadamente a quantidade de H^+ + Al^{+3} , resultando em subestimativa da capacidade de troca catiônica a pH 7,0, e conseqüentemente, da dose de calcário a ser aplicada (OLIVEIRA et al., 2018a). Por esses motivos, têm-se recomendado para os pequenos produtores, elevar de 1,5 a 2,0 vezes a quantidade de calcário a ser aplicado (OLIVEIRA et al., 2020; OLIVEIRA et al., 2021a).

Para o milho destinado a ensilagem, a recomendação é elevar a saturação por bases (V) a 60% (REZENDE et al., 2016; OLIVEIRA et al., 2020). Raij (2008) cita vários estudos conduzidos em São Paulo, nos quais foram comparadas as doses recomendadas de calcário e gesso com as doses desses insumos para a produtividade máxima econômica. O resultado econômico, foi altamente lucrativo para todos os casos, quando se compara as doses recomendadas de calcário e gesso e as doses desses insumos para a produtividade máxima econômica, reforçando que as recomendações oficiais de calagem e gessagem estão subestimadas. Para alcançar a produtividade máxima, as doses de calcário e de gesso devem ser duas vezes maiores que as recomendadas (OLIVEIRA et al., 2007; RAIJ, 2008; OLIVEIRA et al., 2022).

Os teores de Mg^{+2} , na camada de 0 a 20 cm, variaram de 0,93 a 2,91 $cmol_c dm^{-3}$, bem superiores à concentração mínima, para uma adequada nutrição das plantas, que oscila em torno de 0,50 $cmol_c$ de Mg^{+2} por dm^3 de solo (RAIJ, 2011; OLIVEIRA et al., 2017a). Diversos processos fisiológicos são afetados pelo magnésio, incluindo a absorção iônica, a fotossíntese, a respiração, o armazenamento e a transferência de energia, a síntese orgânica, o balanço eletrolítico e a estabilidade dos ribossomos (NETO et al., 2013). Oliveira et al. (2017a) relatam que a aplicação de óxido de magnésio, na entrelinha do milho BM 3066, em solo com 0,50 $cmol_c dm^{-3}$ não influenciou no estado nutricional das plantas e na produção e qualidade da forragem. Os bons teores de Mg^{+2} , citados na tabela 1, são devidos aos produtores comumente usarem calcário dolomítico na correção da acidez do solo.

4.2 Estado Nutricional das Plantas de Milho

Na tabela 2 estão citados os valores médios, mínimos e máximos, das concentrações de nutrientes no terço médio da primeira folha oposta e abaixo da primeira espiga. Pela análise da tabela 2 constata-se que todas as lavouras estavam com nutrição mineral adequada, segundo os valores citados na literatura brasileira por Malavolta et al. (1997), Raij et al. (2011), Broch e Ranno (2011).

Diversos fatores contribuíram para esta nutrição adequada das plantas. A fertilidade do solo foi melhorada ao longo dos anos de cultivo, tanto pela adubação química da lavoura, quanto pelo uso de dejetos de bovinos na fertilização das áreas. Na tabela 1 foi citado os valores médios, mínimos e máximos para os teores de fósforo e potássio. Na camada de 0 a 20 cm, os valores médios, mínimos e máximos para os teores de P foram respectivamente de 14, 10 e 20 mg dm⁻³. Para o potássio, esses teores foram de 60, 40 e 89 mg dm⁻³, caracterizando, portanto, solos de média a alta fertilidade.

Outros fatores que contribuíram para a nutrição adequada das plantas foram os bons teores de cálcio e magnésio no solo, e os ausentes ou baixos teores de alumínio trocável, tanto na camada de 0 a 20, quanto na de 20 a 40 cm. Um benefício impressionante do fornecimento adequado de Mg está relacionado ao seu efeito mitigador na toxicidade do Al³⁺ em plantas, que é uma restrição comum de limitação de crescimento em solos ácidos, como discutido anteriormente. Os efeitos protetores do Mg sobre a toxicidade do Al³⁺ iniciam-se nas raízes, aumentando a exsudação de ânions orgânicos, como malato, citrato, oxalato e piruvato, que quelatam o Al³⁺, impedindo sua entrada na planta. Oliveira et al. (2021a), citando resultados de pesquisa de vários autores, relatam que o Mg²⁺ na concentração micromolar foi 100 vezes mais eficaz que o Ca²⁺ para amenizar a toxicidade do Al³⁺, mas na concentração milimolar ambos os cátions foram igualmente eficazes.

Uma diferença na atividade do íon hidrogênio, H⁺, designada de ΔpH, entre o citoplasma e o apoplasma é a principal força motriz para a absorção de nutrientes através da membrana plasmática, contra um gradiente de concentração eletroquímico. Em condições de normalidade da célula, o pH é de 7,3 a 7,6 no citoplasma; 4,5 a 5,9 nos vacúolos; 7,0 nas mitocôndrias; 7,2 a 7,8 nos cloroplastos e 5,5 no apoplasma. Assim, o citoplasma é menos ácido quando comparado aos vacúolos e ao apoplasma. Essa diferença de pH é regulada por bombas de prótons (H⁺-ATPase e H⁺-PPase) localizadas na membrana plasmática e no tonoplasto, respectivamente, conduzindo H⁺ do citoplasma para o apoplasma ou o vacúolo (MALAVOLTA et al., 1997; NETO et al., 2013; OLIVEIRA et al., 2018).

Tabela 2 - Valores médios, mínimos e máximos, de concentração de nutrientes no terço médio da primeira folha oposta e abaixo da primeira espiga, nas quatro lavouras de milho, e valores de referências citados na literatura nacional.

	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Lavoura 1	g kg ⁻¹						mg kg ⁻¹				
Média	35	3,4	28	5,5	2,2	2,1	15	11	144	145	29
Mínimo	32	3,1	24	5,2	1,9	1,9	13	10	134	129	26
Máximo	37	3,7	32	5,8	2,5	2,2	18	13	153	161	31
Lavoura 2											
Média	35	4,1	27	5,2	2,3	1,7	16	13	125	130	19
Mínimo	31	3,9	24	4,8	1,9	1,6	14	12	98	118	18
Máximo	38	4,4	28	5,7	3,0	1,9	18	15	140	143	20
Lavoura 3											
Média	37	2,9	26	4,4	2,3	2,3	15	13	135	114	23
Mínimo	32	2,6	24	3,9	2,1	2,0	14	11	126	100	20
Máximo	41	3,2	29	5,0	2,7	2,5	18	14	148	128	26
Lavoura 4											
Média	43	3,7	20	5,2	2,0	2,3	13	15	130	131	23
Mínimo	40	3,5	19	5,0	1,8	1,8	12	12	115	116	21
Máximo	44	3,9	22	5,5	2,5	2,8	14	18	147	148	26

Faixas de concentração de nutrientes no terço médio da primeira folha oposta e abaixo da primeira espiga, consideradas como concentração foliar adequada.

Autores	Nutrientes					
	N	P	K	Ca	Mg	S
	g kg ⁻¹					
Malavolta et al. (1997)	27-33	2,5-3,5	17-23	2,5-4,0	2,5-4,0	1,5-2,0
Raij et al. (2011)	27-35	2,0-4,0	17-35	2,5-8,0	1,5-5,0	1,5-3,0
Broch e Ranno (2011)	30-35	3,0-3,7	20-25	5,0-8,0	2,0-2,5	1,8-2,2
Autores	B	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn
	mg kg ⁻¹					
Malavolta et al. (1997)	15-20	6-20	50-250	50-150	0,15-0,20	15-50
Raij et al. (2011)	10-25	6-20	30-250	20-200	0,1-0,2	15-10
Broch e Ranno (2011)	8-12	11-14	135-142	50-55	-----	20-30

Fonte: Dados da pesquisa (2023)

O alumínio causa alterações negativas na atividade da H⁺-ATPase, consequentemente alterando o pH do citoplasma e a cinética de absorção de nutrientes pelas raízes. A atividade da H⁺-ATPase é muito influenciada pela concentração de Mg²⁺ dentro do citoplasma. Oliveira et al. (2021a) relatam estudos nos quais constataram-se que a toxidez do alumínio na solução nutritiva, na ausência de Mg²⁺, inibiu a H⁺-ATPase em 37%, no entanto, a adição de Mg²⁺ à solução nutritiva, numa concentração de apenas 10 micromolar restaurou a atividade da H⁺-ATPase da membrana plasmática, sem haver nenhuma alteração na atividade do Al³⁺ na solução nutritiva.

Efeito positivo de suprimento adequado de Mg nas plantas resulta em maior eficiência nutricional e produtiva. A eficiência da adubação fosfatada é maior quando há suprimento adequado de magnésio no solo. O magnésio diminui a absorção do fósforo pelo solo e aumenta a eficiência de absorção do fósforo pelas raízes. Neto et al. (2013) avaliaram a cinética de absorção de fósforo em café sob duas concentrações de Mg na solução nutritiva: 0,02 e 2,00 mmol L⁻¹. Em 2,00 mmol de Mg, o P foi absorvido em 120 horas e atingiu uma concentração mínima (C_{min}) de 1,63 µmol, enquanto a C_{min} não foi atingida em 0,02 mmol L⁻¹ de Mg mesmo após 192 horas, pois ainda havia 23,26 µmol de P na solução. A taxa máxima de absorção (I_{max}) e para a absorção de fósforo aumentaram 7,5 vezes e a constante de Michaelis-Menten (K_m) reduziu 1,8 vezes na concentração de 2,00 mmol de Mg, respectivamente.

4.3 Produção de Matéria Seca e Acúmulo de Nutrientes na Biomassa Área do Milho

Os valores médios, mínimos e máximos, dos acúmulos de matéria seca e de nutrientes na biomassa aérea das plantas de milho estão citados na tabela 3. As produtividades médias das lavouras 1, 2 e 3 foi de 19,24 t por hectare. Houve uma diferença de apenas 2,01 t de matéria seca a mais na lavoura 4, que alcançou a produtividade de 21,25 t por hectare. Pode-se especular, portanto, que incrementos nas lavouras de altas produtividades estarão cada vez mais difíceis de serem alcançados. Raij (2011) refere-se a esse fato como incrementos não proporcionais na melhoria dos fatores de produção, como disponibilidade de água e de nutrientes, controle de pragas e de plantas daninhas, dentre outros, que resulta no mesmo aumento da produtividade.

Em relação ao acúmulo de nutrientes, destacaram-se o nitrogênio e o potássio. Nas médias das quatro lavouras a remoção de nutrientes, pela colheita da parte aérea do milho para a ensilagem, foi de 247, 34, 245, 34, 23 e 22 kg por hectare para o N, P, K, Ca, Mg e o enxofre, respectivamente. Oliveira et al. (2020), em estudos realizados como híbrido BM 3066, relata acúmulo de matéria seca variando de 16,3 a 20,7 t por hectare. Para os nutrientes são citados acúmulos variando de 198 a 226 kg por hectare para o nitrogênio. Para o fósforo a amplitude foi de 31 a 43 kg, e para o potássio as variações estiveram entre 189 a 256 kg por hectare. Em estudos conduzidos na Universidade Federal de Santa Maria, no Rio Grande do Sul, Da Ros et al. (2019), com três híbridos de milho destinados a ensilagem, constataram acúmulos de matéria seca variando de 18,2 a 23,6 t por hectare. As remoções médias de fósforo e de potássio, foram,

respectivamente de 33 e 257 kg por hectare. Nos estudos de Oliveira et al. (2020) obtiveram-se valores de acúmulos de P, em lavoura de alta produtividade, variando de 31 a 43 kg, sendo a média de 37 kg por hectare.

Tabela 3 - Valores médios, mínimos e máximos, do acúmulo de matéria seca e de nutrientes na biomassa aérea das plantas, nas quatro lavouras de milho.

Acúmulo de matéria seca (Ac. MS) e nutrientes na biomassa aérea das plantas de milho							
	Ac. MS	N	P	K	Ca	Mg	S
	t ha ⁻¹	kg ha ⁻¹					
Lavoura 1							
Média	19,35	236	31	229	33	22	19
Mínimo	18,23	226	28	197	28	20	16
Máximo	20,01	244	35	258	39	24	23
Lavoura 2							
Média	19,32	244	32	253	29	22	22
Mínimo	18,40	233	30	233	26	20	17
Máximo	20,89	269	34	269	31	23	30
Lavoura 3							
Média	19,04	240	34	223	36	23	22
Mínimo	17,39	214	30	208	26	20	17
Máximo	20,11	270	39	237	43	27	28
Lavoura 4							
Média	21,25	268	38	277	40	25	24
Mínimo	19,59	249	32	253	30	22	20
Máximo	22,98	283	45	298	49	31	29

Fonte: Dados da pesquisa (2023)

Em avaliação do potencial produtivo e da remoção de nutrientes por quatro híbridos de milho, em um Latossolo Vermelho distroférico, representativo do cerrado da região central de Minas Gerais, em Sete Lagoas, Rezende et al. (2016) citam acúmulos médios de N, P, K, Ca, Mg e S, respectivamente de, 281; 28; 153; 57; 41 e 21 kg por hectare. Ueno et al. (2013), nos estudos realizados em Guarapuava - PR, com acúmulo médio de matéria seca de 17,6 t por hectare, no momento da ensilagem, constataram que os acúmulo médios de N, P, K, Ca e Mg, respectivamente de, 241; 42; 142; 35 e 38 kg por hectare. Pelos resultados obtidos no presente estudo e pelas referências citadas anteriormente, verifica-se que nas lavouras de milho de alta produtividade, destinadas à ensilagem, a remoção de nutrientes também é alta, devendo-se, portanto, adotar práticas que mantenham ou elevem a fertilidade do solo, reciclem nutrientes e contribuam para uso mais eficiente dos fatores de produção.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A fertilidade do solo nas lavouras das pequenas propriedades rurais avaliadas foi de média a alta, com teores de fósforo variando de 10 a 20 mg dm⁻³, enquanto para o potássio esta variação foi de 40 a 89 mg dm⁻³. O alumínio trocável do solo têm sido muito prejudicial à produção do milho, especialmente durante períodos de deficiência hídrica, mas nos solos das quatro lavouras analisadas não havia alumínio trocável na camada de 0 a 20 cm, e na camada de 20 a 40 cm, a saturação por alumínio, nas lavouras 1 e 3 também foi pequena, menos de 5%, não constituindo impedimento químico ao aprofundamento do sistema radicular até esta profundidade. A calagem e a gessagem realizadas nas lavouras foram suficientes para neutralizar a acidez do solo e o alumínio trocável.

Com base na análise química do terço médio da primeira folha oposta e abaixo da primeira espiga, constatou-se que todas as lavouras estavam com nutrição mineral adequada. Diversos fatores contribuíram para esta nutrição adequada, sendo um deles a melhoria contínua da fertilidade do solo ao longo dos anos de cultivo, tanto pela calagem, gessagem e adubação química da lavoura, quanto pelo uso de dejetos de bovinos na fertilização das áreas.

A produção de matéria seca e acúmulo de nutrientes na biomassa área do milho nas lavouras avaliadas foram altas. O valor médio de acúmulos de matéria seca foi próximo a 20,0 t por hectare, e a remoção média de nutrientes, pela colheita da parte aérea do milho para a ensilagem, foi de 247, 34, 245, 34, 23 e 22 kg por hectare para o N, P, K, Ca, Mg e o enxofre, respectivamente.

REFERÊNCIAS

- BROCH, D.L.; RANNO, S. K. Fertilidade do Solo, Adubação e Nutrição da Cultura do Milho. Tecnologia e Produção: Soja e Milho 2011/2012. **Circular Técnica n.12**. 2011. Fundação Mato Grosso do Sul. 12p.
- BUSO, W. H. D.; MACHADO, A. S.; RIBEIRO, T. B.; SILVA, L. Produção e composição bromatológica da silagem de híbridos de milho sob duas alturas de corte. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 5, n. 4, p. 74-80, 2018.
- DA ROS, C.O. et al. Manejo da adubação fosfatada e potássica no cultivo sucessivo de milho e sorgo para silagem. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.18., n.1., 1-14-29, 2019.
- DUARTE, A. P.; NUSSIO, L. G.; PAZIANI, S. F. Avaliação de cultivares de milho para a produção de silagem, na safra 201/2013. **Secretaria de Agricultura e Abastecimento – Agência Paulista de Tecnologia e Agronegócio**. 44 p. 2013.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039–1042, 2011.
- FRITSCH, R; MÔRO, G.V. Escolha do cultivar é determinante e deve considerar toda informação disponível. **Visão Agrícola**. n.13, p.12-15. USP/ESALQ. 2015.
- HÜLSE, J. **Altura de colheita do milho para silagem**: valor nutritivo, balanço de nutrientes, produção animal e desempenho econômico. Dissertação, Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava, PR. 2014. 99 p.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas – Princípios e Aplicações** (2ª Edição). Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997. 319p.
- MARAFON, F. **Efeito da colheita da planta de milho em diferentes estádios reprodutivos e do processamento do grão sobre a qualidade da silagem**. Dissertação. Guarapuava, 2013, 94 f.
- NETO, A. P. et al. Cinética de absorção de fósforo em razão do teor de magnésio em cafeeiro. In: Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil, 8., 2013, Salvador. **Anais...** Brasília, DF: Embrapa Café, 5 p. 2013.
- OLIVEIRA M.W. et al. Nutrição mineral e adubação da cana-de-açúcar. **Informe Agropecuário**, n.28, p.30-43. 2007.
- OLIVEIRA, M. W. et al. Production of forage by corn hybrid BM 3066 in function of magnesium doses In: **Anais do V International Symposium on Forage Quality and Conservation**. Piracicaba: Departamento de Zootecnia, 2017a. CD ROM.
- OLIVEIRA, M. W. et al. Maize quality for silage and cost of production. In: **Anais do V International Symposium on Forage Quality and Conservation**. ESALQ, Piracicaba: Departamento de Zootecnia, 2017b. CD ROM.

OLIVEIRA, M. W. et al. Mineral Nutrition and Fertilization of Sugarcane. In: Alexandre Bosco de Oliveira. (Org.). Sugarcane - **Technology and Research**. 1ed. Londres: INTECH - Open Science, v. 1, p. 169-191, 2018a.

OLIVEIRA, M. W. *et al.* Variabilidade da fertilidade do solo, do estado nutricional e da produtividade em canavial manejado homoganeamente e visualmente uniforme. In: **Agronomia, elo da cadeia produtiva**. Vol. 2. ALFARO, TROJAM, Organizadores. Ponta Grossa -PR. Atena Editora, p.293-309. 2018b.

OLIVEIRA, M.W. et al. Nutrition status nutriente accumulation and field of corn grown in Yellow-Re Oxisol. **Revista GEAMA**, v.6., n.2., p.43-50. 2020.

OLIVEIRA, M.W. et al. Adubação verde com crotalária juncea em áreas de reforma de implantação ou reforma de canavial, em pequenas propriedades rurais. IN: **Extensão Rural: Práticas e Pesquisas para o Fortalecimento da Agricultura Familiar**. Editora Científica, São Paulo, SP. 2021a.

OLIVEIRA, M.W.; LOPES, A. G.; LANA, R. P.; RODRIGUES, T. C. Dry matter and protein accumulation as a function of nitrogen fertilization in brachiaria brizantha cv. Marandú (Urochloa brizantha). **Brazilian Journal of Sustainable Agriculture**., v.12, p.10-18. 2022a.

OLIVEIRA, M.W. et al. Dry matter accumulation and nutrient cycling by soil cover plants in an intensive corn silage production system. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 8, e45611831008, 2022b.

PADILHA, F. A. **Desempenho de híbridos de milho em dois níveis de investimento tecnológico na região de Sete Lagoas - MG**. 2014. 72 f. Dissertação (Mestrado em 2014) Universidade Federal de São João del Rey. São João del Rey. 2014.

RAIJ, B. Gesso na agricultura. Campinas: **Instituto Agrônomo/ Fundação IAC**, 2008. 233p.

RAIJ, B. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2011. 420p.

REZENDE, A.V. et al. Características agronômicas, bromatológicas e econômicas de altura de corte para ensilagem da cultura de milho. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36., n.2., p.961-970, 2015.

REZENDE, A.V. et al. Indicadores de demanda de macro e micronutrientes por híbridos modernos de milho. **Circular técnica 220**. EMBRAPA, Sete Lagoas -MG. 9 p. 2016.

SILVA, D. J.; QUEIROZ, A. C. **Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos**. 2. ed. Viçosa, MG: UFV. 2002. 235 p.

UENO, R. K. et al. Dinâmica dos nutrientes do solo em áreas destinadas a produção de milho para forragem. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, v. 4, n. 1, p. 182-203, 2011.