

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO
– CAMPUS RIO VERDE
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS – AGRONOMIA

**Calcário convencional e nanoparticulado para correção de solo e produtividade e qualidade
de milho para silagem em diferentes cultivos com soja em sucessão**

Autor: Helena Maria Fonseca da Silva

Orientador: Prof. Dr. Adriano Jakelaitis

Rio Verde – GO

Novembro – 2023

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO
– CAMPUS RIO VERDE
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS – AGRONOMIA

Calcário convencional e nanoparticulado para correção de solo, produtividade e qualidade de milho para silagem em diferentes cultivos com soja em sucessão

Autor: Helena Maria Fonseca da Silva
Orientador: Prof. Dr. Adriano Jakelaitis

Tese apresentada, como parte das exigências para obtenção do título de DOUTOR EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS- AGRONOMIA, no Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias - Agronomia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, Área de concentração em Produção Vegetal Sustentável no Cerrado.

Rio Verde – GO
Novembro-2023

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano

SS1586
c Silva, Helena Maria
Calcário convencional e nanoparticulado para
correção de solo, produtividade e qualidade de milho
para silagem em diferentes cultivos com soja em
sucessão / Helena Maria Silva; orientador Adriano
Jakelaitis; co-orientador Roniel Geraldo Ávila. --
Rio Verde, 2023.
56 p.

Tese (Doutorado em Doutorado em Ciências Agrárias-
Agronomia) -- Instituto Federal Goiano, Campus Rio
Verde, 2023.

1. Fertilidade do solo. 2. BRS Zuri. 3. Nano
Atom. I. Jakelaitis, Adriano , orient. II. Ávila,
Roniel Geraldo, co-orient. III. Título.

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

- Tese (doutorado) Artigo científico
 Dissertação (mestrado) Capítulo de livro
 Monografia (especialização) Livro
 TCC (graduação) Trabalho apresentado em evento

Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor:
Helena Maria Fonseca da Silva

Matrícula:
2018202320140043

Título do trabalho:

Calcário convencional e nanoparticulado para correção de solo e produtividade e qualidade de milho para silagem em diferentes cultivos com solo em sucessão

RESTRICÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial: Não Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIIF Goiano: 01 / 01 / 2024

O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O(a) referido(a) autor(a) declara:

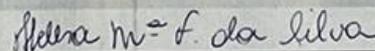
- Que o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- Que obteve autorização de quaisquer materiais incluídos no documento do qual não detém os direitos de autoria, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- Que cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Rio Verde

12 / 12 / 2023

Local

Data



Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

ADRIANO
JAKELAITIS:15874223878

Assinado de forma digital por ADRIANO
JAKELAITIS:15874223878
Dados: 2023.12.13 09:48:39 -03'00'

Ciente e de acordo:

Assinatura do(a) orientador(a)



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Ata nº 51/2023 - SREPG/CMPR/CPG-RV/DPGPI-RV/CMPRV/IFGOIANO

ATA Nº/106 BANCA EXAMINADORA DE DEFESA DE TESE

Aos trinta dias do mês de maio do ano de dois mil e vinte e três, às 14:00h (catorze horas) reuniram-se os componentes da Banca Examinadora: Prof. Dr. Adriano Jakelaitis (Orientador), Prof. Dr. Marconi Batista Teixeira (Avaliador interno); Profª. Dra. Ana Paula Cardoso Gomide (Avaliadora externa); Profª. Dra. Cibele Silva Minafra (Avaliadora externa) e Prof. Dr. Patrick Bezerra Fernandes (Avaliador externo) sob a presidência do(a) primeiro(a), em sessão pública realizada no auditório da Diretoria de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação, para procederem a avaliação da defesa de Tese, em nível de Doutorado, de autoria de **HELENA MARIA FONSECA DA SILVA**, discente do Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias – Agronomia do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde. A sessão foi aberta pelo(a) presidente da Banca Examinadora, Prof. Dr. Adriano Jakelaitis, que fez a apresentação formal dos membros da Banca. A palavra, a seguir, foi concedida o(a) autor (a) da Tese para, em 40 min., proceder à apresentação de seu trabalho. Terminada a apresentação, cada membro da banca arguiu o(a) examinado(a), tendo-se adotado o sistema de diálogo sequencial. Terminada a fase de arguição, procedeu-se a avaliação da defesa. Tendo-se em vista as normas que regulamentam o Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias – Agronomia, e procedidas às correções recomendadas, a Tese foi **APROVADA**, considerando-se integralmente cumprido este requisito para fins de obtenção do título de **DOCTOR(a) EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS-AGRONOMIA**, na área de concentração Produção Vegetal Sustentável no Cerrado, pelo Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde. A conclusão do curso dar-se-á quando da entrega na secretaria do PPGCA-AGRO da versão definitiva da Tese, com as devidas correções. Assim sendo, esta ata perderá a validade se não cumprida essa condição, em até **60** (sessenta) dias da sua ocorrência. A Banca Examinadora recomendou a publicação dos artigos científicos oriundos dessa Tese em periódicos de circulação nacional e/ou internacional, após procedida as modificações sugeridas. Cumpridas as formalidades da pauta, a presidência da mesa encerrou esta sessão de defesa de Tese de Doutorado, e para constar, eu, Viviane Proto Ferreira, secretária do PPGCA-AGRO, lavrei a presente Ata, que, após lida e achada conforme, será assinada pelos membros da Banca Examinadora.

Prof. Dr. Adriano Jakelaitis (Presidente)

Prof. Dr. Marconi Batista Teixeira (Avaliador interno)

Prof^ª. Dra. Ana Paula Cardoso Gomide (Avaliadora externa)

Prof. Dr. Fernando Luiz Cabral (Avaliador externo)

Prof. Dr. Patrick Bezerra Fernandes (Avaliador externo)

Documento assinado eletronicamente por:

- Marconi Batista Teixeira, COORDENADOR(A) DE CURSO - FUC0001 - CCMDAGRO-R, em 31/05/2023 09:57:34.
- Ana Paula Cardoso Gomide, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 30/05/2023 22:55:05.
- Patrick Bezerra Fernandes, 2022202343660001 - Discente, em 30/05/2023 21:10:20.
- Cibele Silva Minafra, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 30/05/2023 18:47:42.
- Adriano Jakelaitis, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 30/05/2023 18:20:28.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 13/03/2023. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 476025
Código de Autenticação: 8db5bcc375



INSTITUTO FEDERAL GOIANO
Campus Rio Verde
Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, 01, Zona Rural, RIO VERDE / GO, CEP 75901-970
(64) 3624-1000

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo dom da vida, e pela realização deste sonho.

A minha família, em especial meu esposo Fábio, que caminhou lado a lado comigo, em todas as etapas deste sonho, e aos meus filhos Olavo e Manuela, que são minha fonte diária de alegria e determinação.

Aos meus pais, avó e meus irmãos que sempre me incentivaram na vida acadêmica e torceram para que eu chegasse a este título.

Ao IF Goiano e à empresa Polli Fertilizantes Especiais, pelo apoio na realização desta pesquisa.

Ao Orientador na pessoa de Prof. Dr. Adriano Jakelaitis, por ter aceitado dividir comigo esta caminhada, e por sempre me compreender e por todos os ensinamentos.

A todos amigos novos que fiz durante o programa de Doutorado, em especial a todos da equipe do laboratório de plantas daninhas, que me ajudaram a tocar todo o experimento, e a realização deste sonho, muito obrigada a todos os amigos!

Ao amigo e professor Francisco Neto, pelos ensinamentos.

Quero agradecer de forma especial aos meus orientadores da graduação Nicolas e Letícia e todos os meus professores da agronomia que me incentivaram a estar aqui. Agradecer também a minha amiga e orientadora do mestrado Ana Paula, que também contribuiu e me incentivou a seguir com este sonho.

Por fim, agradeço a todos que de alguma forma, contribuíram para a realização deste sonho. Sei que tem muitas pessoas que torcem por mim, e que estão felizes com esta conquista.

BIOGRAFIA DO AUTOR

Helena Maria Fonseca da Silva, natural de Três Corações MG, nascida em 17 de novembro de 1991, filha de Sheila Fonseca da Silva e Antônio Carlos da Silva. Residenciada em Três Corações até no ano de 2009, quando mudou para Machado-MG para cursar Técnico Agrícola concomitante com ensino médio formando em 2011, no Instituto Federal do Sul de Minas. Já em 2011, ainda na mesma instituição, iniciou os estudos em Engenharia Agrônoma, concluindo em 2015. Em 2016, mudou-se para Rio Verde-GO, e ingressou na pós-graduação *Stricto Sensu*, pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, no Programa de Pós-Graduação em Zootecnia. Em novembro de 2017, defendeu sua dissertação, parte indispensável para a obtenção do diploma de Mestre em Zootecnia. Em 2018/2 ingressou no pós-graduação *Stricto Sensu*, pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, no Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias-Agronomia, para obtenção do título de Doutor.

ÍNDICE GERAL

RESUMO GERAL	1
ABSTRACT GERAL	2
INTRODUÇÃO GERAL.....	3
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	5
CAPÍTULO I Calcário nanoparticulado e convencional sob a disponibilidade de nutrientes no solo em diferentes sistemas de cultivo de milho com soja em sucessão	7
CAPÍTULO II Calcário nanoparticulado e convencional na silagem de milho solteiro e consorciado com <i>Panicum maximum</i> cv. BRS Zuri	33

ÍNDICE DE TABELAS

CAPÍTULO I

Tabela 1. Variáveis químicas do solo após a aplicação de calcários nanoparticulado (CN) e convencional (CC), avaliados aos 45 dias após o plantio da cultura do milho.....	13
Tabela 2. Variáveis químicas do solo após a aplicação de calcários nanoparticulado (CN) e convencional (CC) avaliados aos 90 dias após o plantio da cultura do milho.....	15
Tabela 3. Variáveis químicas do solo após a aplicação de calcários nanoparticulado (CN) e convencional (CC) avaliados na colheita da cultura do milho.....	17
Tabela 4. Variáveis químicas do solo após a aplicação de calcários nanoparticulado (CN) e convencional (CC) avaliados no final da entressafra, após a colheita do milho.....	18
Tabela 5. Variáveis químicas do solo após a aplicação de calcários nanoparticulado (CN) e convencional (CC) avaliados na colheita da cultura da soja.....	20
Tabela 6. Variáveis químicas do solo após a aplicação de calcários nanoparticulado (CN) e convencional (CC) avaliados aos 45 dias após a semeadura do milho consorciado com BRS Zuri.....	22
Tabela 7. Variáveis químicas do solo após a aplicação de calcários nanoparticulado (CN) e convencional (CC) avaliados aos 90 dias após a semeadura do milho consorciado com BRS Zuri.....	25
Tabela 8. Variáveis químicas do solo após a aplicação de calcários nanoparticulado (CN) e convencional (CC) avaliados na colheita do milho consorciado com BRS Zuri.....	26
Tabela 9. Variáveis químicas do solo após a aplicação de calcários nanoparticulado (CN) e convencional (CC) avaliados no período de entressafra após a colheita do milho consorciado com BRS Zuri.....	28
Tabela 10. Variáveis químicas do solo após a aplicação de calcários nanoparticulado (CN) e convencional (CC) avaliados na colheita da cultura da soja estabelecida após o consórcio de milho com BRS Zuri.....	29

CAPÍTULO II

Tabela 1. Níveis foliares de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) avaliados no florescimento do milho tratado com calcário nanoparticulado (NN) e convencional (CC).....	41
---	----

Tabela 2. Proporções de sabugo, palha, grão, folha, colmo, pendão, rendimento de silagem (RS) e população de plantas de milho tratado com calcário nanoparticulado (NN) e convencional (CC).....	43
Tabela 3. Número de touceiras, perfilhos, rendimento forrageiro (RF), altura de plantas (AP), e porcentagem de área coberta pela forrageira (ACF) <i>Panicum maximum</i> BRS Zuri, porcentagem de área coberta por plantas daninhas (ACPD), área não coberta (ANC) por vegetação no ensaio de milho consorciado com <i>Panicum maximum</i> BS Zuri tratado com calcário nanoparticulado (NN) e convencional (CC).....	44
Tabela 4. Níveis de umidade, matéria seca, proteína bruta, aminoácidos totais, fibra em detergente ácido (FDA), fibra em detergente ácido (FDN), lignina, amido, extrato etéreo, cinzas, cálcio, fósforo, magnésio, potássio, enxofre e pH da silagem de milho cultivado em área tratada com calcário convencional (CC) e nanoparticulado (NN).....	46
Tabela 5. Níveis de umidade, matéria seca, proteína bruta, aminoácidos totais, fibra em detergente ácido (FDA), fibra em detergente ácido (FDN), lignina, amido, extrato etéreo, cinzas, cálcio, fósforo, magnésio, potássio, enxofre e pH da silagem de milho consorciado com <i>Panicum maximum</i> BRS Zuri em área tratada com calcário convencional (CC) e nanoparticulado (NN).....	47
Tabela 6. População de plantas, vagens por planta, grãos por vagem, rendimento de grãos (RG) e peso de mil grãos (PMG) de soja cultivada em áreas de monocultivo de milho e de consórcio deste com <i>Panicum maximum</i> cv. BRS Zuri tratadas com calcário nanoparticulado (NN) e convencional (CC).....	48

LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES

- CC:** Calcário Convencional
- Cnano:** Calcário nanoparticulado
- PRNT:** Poder reativo de Neutralização total
- DAE-** dias após emergência
- DAA-** dias após aplicação
- DAP-** dias após plantio
- Ep-** Épocas
- CV%-** coeficientes de variação
- ns-** não significativo
- *** - significativo a 5% de probabilidade

SPD- sistemas de plantio direto
SPC- sistemas de plantio convencional
IF- Instituto Federal
ha- hectare de terra
pH- potencial hidrogeniônico
Ca- Cálcio
Mg- Magnésio
Al- Alumínio
H+Al- Hidrogênio mais alumínio
CTC- Capacidade de trocas catiônicas
K- Potássio
P- Fósforo
Zn- Zinco
SL- Solução
Kg- quilograma
mL- mililitro
NPK- nitrogênio- fosforo- potássio
n- número
m- metro
m²- metro quadrado
cm- centímetros
mm- milímetro
mn- nanômetros
L- litro
g- gramas

RESUMO GERAL

Objetivou-se com o presente estudo avaliar as propriedades químicas/nutricionais dos solos cultivados com milho solteiro e milho consorciado com *Panicum maximum* BRS Zuri, além da produtividade e qualidade de silagem sob diferentes combinações de calcário convencional e nanoparticulado, com soja em sucessão. Foram conduzidos dois experimentos simultâneos, um cultivando milho solteiro e outro milho consorciado com a forrageira BRS Zuri. Em ambos os experimentos os tratamentos foram: T1: Sem correção, T2: 100% corretivo convencional, T3: 100% corretivo nanoparticulado, T4: 50% convencional e 50% nanoparticulado, T5: 75% convencional e 25% nanoparticulado e T6: 75% nanoparticulado e 25% convencional. Foram avaliadas a produtividade e qualidade de silagem no milho solteiro e consorciado, produtividade do capim e acompanhamento da fertilidade do solo, através de análises realizadas 45 dias após aplicação, 90 dias após aplicação, na colheita do milho, na entressafra para o plantio da soja e na colheita da soja. Para a cultura da soja foi avaliado a produtividade, número de vagens por planta, número de grãos por vagem e peso de 1.000 grãos. Os resultados obtidos demonstram maior efeito corretivo sobre a acidez potencial, acidez ativa, teor de Al e Saturação de Al para solos corrigidos com a combinação dos corretivos (T4, T5 e T6), sendo equivalente ao (T2). Esses mesmos tratamentos proporcionaram o aumento no pH e na Saturação de Bases, teor de Ca e Mg, e na disponibilidade de Ca e Mg. Os corretivos apresentaram efeito mais intenso nas camadas superficiais do solo (0-20 cm). As culturas são influenciadas diretamente pelo uso de corretivo, e pelo tipo de corretivo empregado. As combinações de corretivos nanoparticulado com corretivo convencional e a dose exclusiva do corretivo convencional, entrega os melhores resultados em produtividade e fertilidade do solo. Fica evidente a necessidade de reposição dos nutrientes, após a extração das culturas.

ABSTRACT GERAL

The objective of this study was to evaluate the chemical/nutritional properties of soils cultivated with single corn and corn intercropped with *Panicum maximum* BRS Zuri, in addition to the productivity and silage quality under different combinations of conventional and nanoparticle limestone, with soybeans in succession. Two simultaneous experiments were conducted, one growing single corn and the other corn intercropped with the forage BRS Zuri. In both experiments, the treatments were: T1: No correction, T2: 100% conventional corrector, T3: 100% nanoparticulate corrector, T4: 50% conventional and 50% nanoparticle, T5: 75% conventional and 25% nanoparticle and T6: 75 % nanoparticulate and 25% conventional. The productivity and quality of silage in single and intercropped corn, grass productivity and monitoring of soil fertility were evaluated, through analyzes carried out at 45 days and 90 after application, at the corn harvest and between harvests for planting the soybeans and soybean harvest. For soybeans, productivity, number of pods per plant, number of grains per pod and weight of 1,000 grains were evaluated. The results obtained demonstrate a greater corrective effect on potential acidity, active acidity, Al content and Al saturation for soils corrected with the combination of correctives (T4, T5 and T6), being equivalent to (T2). These same treatments provided an increase in pH and Base Saturation, Ca and Mg content, and Ca and Mg availability. The amendments had a more intense effect on the surface layers of the soil (0-20 cm). Cultures are directly influenced using concealer, and the type of concealer used. The combinations of nanoparticle amendments with conventional amendment and the exclusive dose of conventional amendment deliver the best results in productivity and soil fertility. The need to replace nutrients after crop extraction is evident.

INTRODUÇÃO GERAL

Globalmente, o milho e a soja são as principais culturas de cereais, fornecendo alimentos e rações para humanos e animais, juntamente com diversas matérias-primas para as indústrias agrícolas (Z Aidun *et al.*, 2013). Muitos alimentos e rações são preparados a partir do milho, fornecendo vários nutrientes e vitaminas. No entanto, a produção de milho em solos ácidos é relativamente baixa, podendo ser melhorado se tecnologias de estratégias de manejo adequadas forem implementadas (Mosharrof, *et al.*, 2021).

Práticas integradas, como o consórcio entre culturas e a manutenção da fertilidade do solo, são importantes aliados do produtor para maior sustentabilidade da atividade. O consórcio entre o milho e gramíneas do gênero *Panicum*, vem crescendo no Brasil trazendo benefícios como cobertura eficiente do solo, diminuição da infestação de plantas invasoras, descompactação do solo pelas raízes das gramíneas, além de servir de fonte de volumoso para bovinos na época de estiagem.

Já para a fertilidade do solo, efeitos benéficos da correção da acidez do solo com a calagem são observados na cultura da soja. Neto *et al.* (2019) estudaram as mudanças nos atributos químicos e na produtividade da soja em solo arenoso após a incorporação do calcário, e constataram que o aumento do pH do solo, pelas diferentes doses de calcário, foi observado apenas nas camadas de 0,0-0,1 e 0,1-0,2 m. Após 6 meses, nenhuma mudança no pH do solo foi observada no subsolo (0,2-0,3 m). Com menor atividade de H^+ e Al^{3+} e maior disponibilidade de cátions básicos, a produtividade da soja também foi alterada. A produtividade máxima da soja de 2.929 kg ha⁻¹ foi observada com a aplicação de 4,6 Mg ha⁻¹ de calcário, embora o número de vagens por planta manteve constante, independente da dose de calcário. Porém, o calcário torna-se menos eficiente quando aplicado em superfície, que é a técnica que os produtores utilizam quando trabalham com plantio direto, ao invés de revolver o solo, incorporando o corretivo. Com isso, a eficiência agrônômica do produto é diminuída, como mostra a pesquisa de Kaminsk *et al.* (2005), em que o calcário incorporado corrigiu a acidez em profundidade e o calcário em superfície não.

Chegando ao ponto chave deste trabalho, sabe-se que o calcário desde a década de 1960 no Brasil é fundamental para melhorias nos atributos químico do solo e para produtividade dos vegetais. No entanto, o trabalho de Fageria (2001) demonstra que pode

avançar com essa tecnologia ao utilizar partículas de calcário de menor granulometria, aumentando a velocidade e a profundidade da correção da acidez ativa e potencial do perfil do solo. Sendo assim, a criação e utilização da tecnologia de nanopartículas de calcário pode melhorar a eficiência de correção da acidez ativa e potencial do solo e o fornecimento adequado de Ca e Mg no tempo (velocidade) e espaço (perfil do solo).

Em adicional, poderá contribuir para maior economia para o produtor através da obtenção de maiores produtividades vegetal, pode gerar benefícios socioambientais, acredita-se que com essa tecnologia haverá menor consumo de matéria-prima natural. Além disso, ao reduzir o consumo de corretivo por área, ocorre a economia no custo de transporte, na queima de combustível fóssil para levar esse produto até os centros de produções agrícola, economia no número de horas de caminhões e máquinas nas fazendas durante a aplicação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FAGERIA, N. K. Efeito da calagem na produção de arroz, feijão, milho e soja em solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 11, p. 1419-1424, 2001.

KAMINSKI, J. et al. Acidez e calagem no sul do Brasil: Aspectos históricos e perspectivas futuras. Tópicos em ciência do solo. Viçosa, **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v. 5, p. 307-332, 2007.

MOSHARROF, M. et al. Combined application of biochar and lime increases maize yield and accelerates carbon loss from an acidic soil. **Agronomy**, v. 11, n. 7, p. 1313, 2021.

NETO, M. et al. Efeitos de curto prazo da calagem nos atributos químicos do solo arenoso tropical e na produtividade da soja (*Glycine max*'L.). **Australian Journal of Crop Science**, v. 13, n. 6, p. 889-894, 2019.

ZAIDUN, S.W. et al. Biochar and clinoptilolite zeolite on selected chemical properties of soil cultivated with maize (*Zea mays* L.). **Eurasian Journal of Soil Science**. v. 8, p. 1–10. 2019.

OBJETIVOS

Geral:

Avaliar os efeitos da aplicação de calcários convencional e nanoparticulado. Avaliar combinações sobre a produtividade e qualidade de silagem de milho cultivado em monocultivo e consórcio com capim *Panicum maximum* cv. BRS Zuri e o rendimento de grãos da soja cultivados em sucessão, além de avaliar as características químicas do solo.

Específicos:

Avaliar a produtividade e qualidade da silagem de milho em monocultivo;

Avaliar a produtividade e qualidade da silagem de milho consorciado com capim *P. maximum* cv. BRS Zuri;

Avaliar a produtividade da soja cultivada em sucessão ao consórcio e monocultivo de milho tratados com os corretivos utilizados;

Avaliar as alterações químicas do solo em decorrência da aplicação de corretivo convencional e nanoparticulado e as combinações em diferentes períodos e ao longo do perfil do solo.

CAPÍTULO I

Calcário nanoparticulado e convencional sob a disponibilidade de nutrientes no solo em diferentes sistemas de cultivo de milho com soja em sucessão

Nanoparticulate and conventional limestone under soil nutrient availability in different cultivation systems of corn in soybean in succession

Resumo: A utilização de nanopartículas de calcário pode melhorar a eficiência de correção da acidez do solo e o fornecimento adequado de Ca e Mg na velocidade e profundidade adequada, por ser uma partícula pequena de fácil percolação pelo solo. Objetivou-se nesta pesquisa avaliar as alterações químicas dos solos cultivados com milho solteiro e milho consorciado com *Panicum maximum* cv. BRS Zuri e a soja cultivada em sucessão, tratados com combinações de calcário convencional e nanoparticulado. As combinações foram testadas nos cultivos milho solteiro-pousio-soja e milho consorciado com *Panicum maximum* cv. BRS Zuri-pastagem-soja, em Rio Verde, Goiás. Foram testadas as doses recomendadas de corretivos dividida entre o convencional e o nanoparticulado, sendo: testemunha sem correção; calcário convencional (100%CC); calcário nanoparticulado (100%CN); 50%CC:50%CN; 25%CN:75%CC; 75%CN:25%CC, aplicados de forma manual em superfície. Amostras de solo em cada parcela foram feitas aos 45 e 90 dias após a semeadura do milho, após a colheita do milho, na entressafra antes do plantio da soja, e após a colheita de soja, nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm. Foram determinados os valores de pH (CaCl₂), Al³⁺, H+Al, Ca, Mg, Ca+Mg, CTC, Ca/Mg, K, P, V, Ca/CTC, Mg/CTC e H+Al/CTC. Para o monocultivo de milho-pousio-soja os teores das variáveis químicas consideradas adequadas foram encontrados nos tratamentos com 100%CC e a combinação 50%CC:50%CN. No consórcio milho consorciado-pastagem-soja a dinâmica de alteração química foi diferente em relação ao monocultivo de milho, e as combinações dos corretivos manifestaram melhores resultados. Com a maior extração de nutrientes pela presença da forrageira torna-se necessário a reposição de nutrientes pela calagem. Conclui-se de maneira geral, para as variáveis e cultivos analisados, que os melhores resultados foram obtidos com as combinações dos corretivos convencional e nanoparticulado, especificamente a de 50%CC:50%CN.

Palavras-chave: Nanopartículas, calagem, consórcios.

INTRODUÇÃO

A acidez do solo é importante fator que afeta negativamente o rendimento das culturas (CRUSCIOL *et al.*, 2021). Estima-se que cerca de 50% das terras cultivadas no mundo são solos ácidos, sendo a toxicidade do alumínio (AL^{3+}) o principal fator limitante para a maioria das culturas de interesse econômico (PRADO, 2003; BAMBOLIM *et al.*, 2015). Em solos intemperizados como os presentes no Bioma Cerrado, a acidez atinge as camadas subsuperficiais, prejudicando o crescimento radicular, absorção de água e de nutrientes em profundidade pelas plantas (FURTINI NETO *et al.*, 2001).

Tradicionalmente, materiais provenientes da moagem de rochas compostas por carbonato de cálcio ($CaCO_3$) e carbonato de magnésio ($MgCO_3$), essas comumente denominadas de calcário – são adicionadas nos solos com o intuito de neutralizar os solos ácidos, reduzindo o AL^{3+} tóxico, elevando o pH e a saturação de bases e ainda, ser fonte de cálcio e magnésio (RAIJ, 2011). Todavia, a eficiência agronômica dos calcários está relacionada à capacidade e a velocidade de liberação de hidroxilas (OH^-) e, a reatividade do calcário é dependente da granulometria (BRASIL, 2006). Segundo Mello *et al.* (2003), calcários com granulometria mais fina apresentam maior reatividade relação a mais grosseira. Entretanto, a velocidade de reação do corretivo e o efeito residual são duas grandezas inversas, ou seja, materiais finamente moídos reagem rapidamente no solo, mas seu efeito é mantido por um período mais curto (GONÇALVES *et al.*, 2011).

A tecnologia Nano Atom traz ao mercado um corretivo à base de carbonato, com partículas que passam 100% na peneira de 0,08mm de diâmetro, e 25% deste volume está a nível de nanopartículas com diâmetros de 1-100 nanômetros, melhorando a eficiência agronômica do produto ao campo. E por ser um corretivo mais eficiente, sua dosagem é reduzida, quando comparado com corretivo convencional, trazendo ganho no rendimento operacional para o produtor, e economia na exploração das rochas de calcário, com benefícios para o meio ambiente.

O milho e a forrageira *Panicum maximum* cv. BRS Zuri são culturas altamente exigentes em fertilidade do solo (CRUZ *et al.*, 2008; JANK *et al.*, 2010). Ambas as culturas apresentam grande potencial de cultivo em consórcio, uma vez que, o milho apresenta inserção de espiga alta, proporcionando a colheita dos grãos sem prejuízo (ALMEIDA *et al.*, 2018). E, a forrageira BRS Zuri apresenta raízes profundas, garantindo o bom desenvolvimento no período de seca (JANUSCKIEWICZ *et al.*, 2021). Em adição, o consórcio proporciona melhoria na condição física e de fertilidade do solo, pela

manutenção da população microbiana, reciclagem de nutrientes, descompactação e na capacidade de infiltração e condicionamento hídrico (CANISARES *et al.*, 2021).

Neste sentido, objetivou-se com o presente estudo avaliar as alterações nas características químicas do perfil do solo, em função da aplicação de calcário convencional e nanoparticulado e das combinações sobre o desempenho das culturas cultivadas de milho solteiro e milho consorciado com *Panicum maximum* cv. BRS Zuri, bem como da soja cultivada em sucessão. Hipotetizam que, a combinação do calcário convencional de partículas com granulometria maiores e do nanoparticulado apresentará maior eficiência na correção da acidez do solo, elevação da saturação de bases e da disponibilidade de cátions no sistema.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram conduzidos dois experimentos de forma simultânea na área experimental do Instituto Federal Goiano – Campus, Rio Verde, Goiás, localizado na latitude 17°48'S e longitude 50°55'W, com altitude média de 748 metros. O clima da região é Aw, mesotérmico, tropical de savana, pela classificação de Köppen, com chuva no verão e seca no inverno. A precipitação média entre setembro de 2021 a março de 2023 foi de 2873mm acumulados na cidade de Rio Verde, segundo dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2023).

Os experimentos foram iniciados no mês de setembro de 2021, com preparo do solo com operação de grade pesada, niveladora e calagem de acordo com recomendação, com corretivo convencional e nanoparticulado oriundo da tecnologia Nano Aton. A área experimental estava formada com pastagem de capim-braquiária, sem histórico de aplicação de corretivos nos últimos dez anos. Antes da semeadura, fez-se a dessecação da área quimicamente com o uso do herbicida glifosato (Glifosato Nortox) na dose de 2,88 kg ha⁻¹ + 2,4-D (2,4-D Nortox) na dose de 670 kg ha⁻¹ de forma tratorizada, usando volume de calda a 200 litros ha⁻¹.

A análise de solo na profundidade de 0-20cm antes do início dos ensaios apresentou pH (CaCl₂) de 4,5; Ca de 1,65 cmol_c dm⁻³; Mg de 0,41 cmol_c dm⁻³; Al³⁺ de 0,30 cmol_c dm⁻³; H+Al de 5,8 cmol_c dm⁻³; K de 0,27 cmol_c dm⁻³; P de 8,7 mg dm⁻³; T de 8,1 cmol_c dm⁻³; t de 2,6 cmol_c dm⁻³; V de 28,8%; saturação de alumínio de 11,4%; argila de 56,5%; silte de 10%; areia de 33,5% e matéria orgânica de 2,9 dag kg⁻¹.

Foram testados dois ensaios, sendo no primeiro o milho em monocultivo-pousio-soja e no outro ensaio milho consorciado com *Panicum maximum* cv. BRS Zuri-

pastagem-soja. Ambos os ensaios foram conduzidos em blocos ao acaso contendo 6 tratamentos e 4 repetições. Os tratamentos foram constituídos da dose recomendada de corretivo dividida entre corretivo convencional e nanoparticulado, sendo: testemunha sem correção; calcário convencional (100%CC); calcário nanoparticulado (100%CN); 50%CC:50%CN; 25%CN:75%CC; 75%CN:25% CC. Os tratamentos foram aplicados a lanço e de forma manual.

Os corretivos utilizados apresentaram as seguintes características: 85,5 e 92,9% de PN; 25 e 33,5% de Cálcio (CaO); e 17,4 e 13,2% de magnésio (MgO), sendo um calcário dolomítico (convencional) e corretivo nanoparticulado da tecnologia Nano Atom, respectivamente. Em ambos os experimentos para elevação da saturação de bases para 70% com bases nas características do corretivo convencional, necessitou aplicar uma dose de 6,17 t ha⁻¹ para o tratamento com 100% convencional e, conforme recomendação do fabricante para o corretivo nanoparticulado a recomendação foi aplicação de 30% da dose estabelecida para o corretivo convencional, sendo 1,851 t ha⁻¹. Entretanto a fabricante recomenda que em áreas de abertura seja realizado um blend entre corretivo convencional e o corretivo oriundo da tecnologia NanoAtom, para resultados economicamente viáveis e agronomicamente satisfatórios.

A adubação em ambos os experimentos foi realizada conforme a recomendação para produção de silagem em solos de fertilidade média, buscando atingir 40 ha⁻¹ de produtividade de massa ensilada (EMBRAPA, 2006). Desta forma, a adubação de base consistiu em 500g ha⁻¹ com fertilizantes NPK equivalentes a 100 pontos para fósforo e potássio, aplicados na linha da semeadora no momento do plantio. E, a adubação de cobertura consistiu em 391 kg ha⁻¹ de ureia (46% N), equivalendo a 180 pontos de nitrogênio, aplicada a lanço de forma manual, quando a cultura do milho estava em estágio vegetativo (V4).

O híbrido de milho semeado foi da empresa Sempre Sementes 20 A 44 Vip3, recomendado para produção de silagem na região de Rio Verde – GO, na safra verão. Foi semeado para atender a população de 64.000 mil plantas ha⁻¹. E, para o experimento consorciado com *Panicum maximum* BRS Zuri, as sementes da forrageira foram semeadas a lanço de forma manual, utilizando 4 kg ha⁻¹ de sementes puras viáveis com 80% de VC. Para o manejo de plantas daninhas dicotiledôneas em pós-emergência foi realizada aplicação do herbicida atrazine + óleo (Atrazine Nortox) na dose de 1.500 g ha⁻¹ em mistura com mesotrione (Callisto) na dose de 64 g ha⁻¹ aos 20 dias após o plantio (DAP) do milho. E, ainda controle de formiga, lagarta do cartucho, fungos e *Dalbulus*

maidis (cigarrinha do milho). Os inseticidas aplicados foram teflubenzurom (Nomolt) na dose de 100 mL p.c. ha⁻¹ + clorpirifós (Capataz) na dose de 1000 mL p.c. ha⁻¹ aplicados em V3 e o inseticida acetamiprido + bifentrina (Sperto) na dose de 300 g p.c. ha⁻¹ aplicado em V5.

Após a colheita do milho, a área de monocultivo ficou em pousio de março a outubro de 2022, e em novembro foi realizado o plantio da soja. No ensaio de consórcio, após a colheita do milho a área ficou com a pastagem de *P. manimum* BRZ Zuri. Tanto a área de pousio quanto a de pastagem foram dessecadas em outubro de 2022 com glifosato na dose de 2,88 kg ha⁻¹, de forma tratorizada, usando 200 litros ha⁻¹ de calda.

Após a dessecação a soja foi semeada em plantio direto. Foi usada a cultivar DM68i69IPRO com a semeadura de 17 sementes por metro linear. A adubação foi realizada na linha do plantio, com 350 kg ha⁻¹ do formulado N-P-K (00-20-20). Aos 20 DAE foi realizado a aplicação de glifosato (Glifosato Nortox) na dose de 1,92 kg ha⁻¹ + haloxifope-R-metílico (Verdict Max) na dose de 0,108 kg ha⁻¹ para o controle de plantas daninhas. Também foi aplicado a mistura pronta dos inseticidas tiametoxam + lambda-cialotrina (Engeo Pleno) na dose de 0,180 L p.c ha⁻¹ + óleo mineral (Agefix) na dose de 1,0% do volume de calda.

Na fase reprodutiva da soja foram aplicados os fungicidas trifloxistrobina + tebuconazol (Nativo) na dose de 0,5 L p.c ha⁻¹, epoxiconazol + fluxapiraxade + piraclostrobina (Ativum) na dose de 0,9 L p.c ha⁻¹ + óleo mineral (Agefix) na dose de 1,0% do volume de calda, piraclostrobina + epoxiconazol (Opera) na dose de 0,6 L p.c ha⁻¹, e picoxistrobina + ciproconazol (Aproach Prima) na dose de 0,290 l L p.c ha⁻¹. E o inseticida espiromesifeno (Oberon) na dose de 0,400 L p.c ha⁻¹.

Para mensurar os efeitos da correção do solo com corretivo convencional e nanoparticulado foram realizadas amostragens de solo em cada unidade experimental em ambos os experimentos, aos 45 e 90 dias após a semeadura do milho, após a colheita do milho, na entressafra antes do plantio da soja, e pós-plantio de soja, nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm. Foram determinados os valores de pH (CaCl₂), Al³⁺, H+Al, Ca, Mg, Ca+Mg, CTC, Ca/Mg, K, P, V, Ca/CTC, Mg/CTC e H+Al/CTC, segundo Embrapa (2017).

Os dados foram submetidos a análise de resíduos para verificação da homogeneidade das variâncias e normalidades dos resíduos. Posteriormente, foi realizada a análise de variância, usando o teste F, e quando significativos foi usado o teste de Scott Knott. A taxa de erro adotada foi de 5%.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No milho solteiro aos 45 DAP na camada de 0-10 cm a calagem realizada com associação dos corretivos convencional e nanoparticulado apresentaram efeitos significativos sobre as concentrações de Al^{3+} , Ca, Mg, acidez do solo (H+Al), disponibilidade de Ca (CA/CTC) e Mg (Mg/CTC), e na CTC, acidez potencial (H+Al/CTC), pH e saturação de Bases (Tabela 1).

A combinação dos corretivos (50%CC:50%CN, 75%CC:25%CN e 75%CN:25%CC) e quando aplicada a dose exclusiva de corretivo convencional (100%CC) proporcionaram a redução de Al^{3+} levando a redução nos níveis de H+AL e consequentemente, reduzindo a H+AL/CTC. Neste sentido, houve elevação no pH do solo e da saturação de Bases nos solos que receberam 50%CC:50%CN, 25%CN:75%CC e 75%CN:25%CC e 100%CC. Hammerschmitt *et al.* (2021), trabalhando com aplicação de corretivo convencional, também observaram efeito sobre pH do solo e saturação de bases e alteração nos teores de cálcio e magnésio até 25cm de profundidade.

Para Ca/CTC o melhor tratamento foi 100%CC, seguidos por 50%CC:50%CN, 25%CN:75%CC e 75%CN:25%CC. Já para a concentração de Mg/CTC, solos que receberam 50%CC:50%CN, 25%CN:75%CC e 75%CN:25%CC e 100%CC obtiveram melhores resultados, sendo a testemunha e o tratamento 100%CN inferiores. Para a concentração de magnésio, os melhores resultados foram obtidos pelos tratamentos 100%CC, 50%CC:50%CN e 75%CN:25%CC. Já o tratamento 100%CN e 75%CC:25%CN igualaram-se a testemunha. Não houve significância para os níveis de fósforo e potássio entre tratamentos. Estes resultados demonstram que há maior eficiência na correção do solo e disponibilidade de nutrientes na combinação dos corretivos convencional e nanoparticulado na camada de 0-10 cm em solos cultivados com milho solteiro.

Na camada de 10-20 cm no milho solteiro aos 45 DAP houve efeito significativo para Ca, Mg, H+Al/CTC, Mg/CTC, pH e saturação de Bases. Nota-se um comportamento similar a camada superficial (0-10 cm), em que, a combinação dos corretivos convencional e nanoparticulado apresentaram os melhores resultados para pH, sendo 50%CC:50%CN, 25%CN:75%CC e 75%CN:25%CC com maiores valores, mas similar ao 100%CC. Para a saturação de bases os melhores resultados foram obtidos com 100%CC, 50%CC:50%CN e 25%CC:75%CN. Os tratamentos 100%CC, 50%CC:50%CN e 75%CN:25%CC proporcionaram maiores disponibilidades de Ca e Mg em relação aos demais.

Tabela 1. Variáveis químicas do solo após a aplicação de calcários nanoparticulado (CN) e convencional (CC), avaliados aos 45 dias após o plantio da cultura do milho.

Prof. cm	Tratamentos	pH	Al	H+Al	Ca	Mg	Ca+Mg	CTC	Ca/Mg	K	P	V	Ca/CTC	Mg/CTC	H+Al/CTC
		CaCl ₂	----- cmolc dm ⁻³ -----						-----mg dm ⁻³ -----						
0-10	Testemunha	4,52 b	0,67 a	6,82 a	2,0 c	0,99 b	3,05 c	10,25 b	2,15 b	154,75 ^{ns}	19,32 ^{ns}	33,62 b	20,15 c	9,60 b	66,65 a
	CC	5,92 a	0,15 c	3,67 b	5,50 a	1,75 a	7,26 a	11,32 a	3,15 a	157,75	23,62	67,37 a	48,32 a	15,47 a	32,80 b
	CN	4,70 b	0,42 b	6,15 a	2,12 c	1,03 b	3,15 c	9,67 c	2,12 b	143,00	15,75	36,40 b	21,97 c	10,65 b	63,62 a
	50%CN:50%CC	5,52 a	0,22 c	4,37 b	4,15 b	1,56 a	5,72 b	10,60 b	2,62 a	160,06	12,83	58,05 a	38,70 b	14,70 a	41,90 b
	25%CN:75%CC	5,35 a	0,21 c	4,37 b	3,42 b	1,26 b	4,68 b	9,35 c	2,70 a	116,75	14,20	53,17 a	36,47 b	13,50 a	46,90 b
	75%CN:25%CC	5,47 a	0,25 c	4,20 b	3,52 b	1,48 a	5,01 b	9,62 c	2,37 b	154,75	14,93	56,15 a	36,62 b	15,45 a	43,75 b
CV(%)		7,12	27,02	15,11	23,78	19,04	21,47	5,63	14,33	18,6	33,04	16,55	20,28	15,85	17,02
10-20	Testemunha	4,45 b	0,38 ^{ns}	6,32 ^{ns}	1,60 b	0,66 b	2,26 b	8,85	2,42 ^{ns}	113,50 ^{ns}	13,72 ^{ns}	28,95 b	18,27 ^{ns}	7,45 b	71,30 a
	CC	5,27 a	0,12	4,22	3,09 a	1,13 a	4,23 a	8,85	2,72	156,50	11,55	51,67 a	34,52	12,62 a	48,40 b
	CN	4,45 b	0,37	6,37	1,34 b	0,60 b	1,94 b	8,57	2,17	103,25	9,45	25,87 b	15,75	7,07 b	74,20 a
	50%CN:50%CC	5,10 a	0,16	5,32	2,74 a	1,07 a	3,82 a	9,57	2,55	167,50	14,37	44,20 a	28,50	11,20 a	55,85 b
	25%CN:75%CC	4,82 a	0,16	5,00	1,86 b	0,64 b	2,51 b	7,77	2,87	105,75	3,20	35,25 b	23,70	8,15 b	64,82 a
	75%CN:25%CC	4,95 a	0,16	5,17	2,27 a	0,89 a	3,17 a	8,60	2,57	129,25	8,95	40,45 a	26,70	10,40 a	59,77 b
CV(%)		7,13	35,51	18,14	14,41	25,85	28,64	7,73	14,20	29,23	34,79	23,20	29,35	25,00	14,09
20-40	Testemunha	4,57 c	0,32 a	5,40 a	1,52 c	0,59 c	2,12 c	7,75 b	2,62 ^{ns}	99,25 ^{ns}	4,15 ^{ns}	30,45 c	19,55 c	7,57 b	69,85 a
	CC	5,62 a	0,08 c	3,70 b	3,59 a	1,29 a	4,89 a	8,95 a	2,85	144,75	8,55	58,47 a	40,00 a	14,32 a	41,67 c
	CN	4,67 c	0,17 b	5,32 a	1,43 c	0,61 c	2,05 c	7,60 b	2,32	91,50	3,35	30,05 c	18,90 c	8,07 b	70,00 a
	50%CN:50%CC	5,15 b	0,10 c	5,00 a	2,78 b	0,98 b	3,76 b	9,05 a	2,92	119,00	7,12	44,90 b	30,57 b	10,90 b	55,30 b
	25%CN:75%CC	5,15 b	0,08 c	4,60 a	2,47 b	0,79 c	3,26 b	8,10 b	3,20	97,25	4,70	42,75 b	30,12 b	9,55 b	57,40 b
	75%CN:25%CC	5,05 b	0,08 c	4,02 b	1,82 c	0,62 c	2,45 c	6,72 b	2,95	92,50	2,05	40,20 b	27,20 b	9,42 b	59,62 b
CV(%)		22,00	18,64	15,62	15,44	21,38	15,56	9,32	17,46	25,39	72,55	12,95	13,14	18,55	9,10

ns – não significativo pelo teste F, a 5% de probabilidade. Médias acompanhadas por letras minúsculas não diferem entre si pelo teste de Scott Knott, a 5% de probabilidade.

Para os níveis de Mg/CTC, os melhores resultados foram obtidos pelos tratamentos 100%CC, 50%CC:50%CN e 75%CN:25%CC. Os demais equipararam-se a testemunha. Não houve significância na camada de 10-20cm para as variáveis H+Al, Al³⁺, Ca/Mg, potássio, fósforo e Ca/CTC.

Na camada de 20-40 cm houve significância para as variáveis pH, e o melhor tratamento é com 100%CC, seguido de 50%CN:50%CC, 25%CN:75%CC e 75%CN:25%CC. O tratamento 100%CN, igualou-se a testemunha. Para a neutralização do alumínio (Al³⁺) os tratamentos 100%CC, 50%CC:50%CN, 25%CN:75%CC e 75%CN:25%CC foram os mais eficientes e o tratamento 100%CN igualou-se a testemunha. Para a variável H+Al, os melhores resultados foram obtidos com os tratamentos 100%CC e 75%CN:25%CC, os demais igualaram-se a testemunha. Para os teores de cálcio (Ca) no solo, os melhores resultados foram obtidos pelo tratamento 100%CC, seguido por 50%CC:50%CN e 25%CN:75%CC e os tratamentos 100%CN e 75%CN:25%CC equivalem a testemunha. Já para o teor de magnésio (Mg), o melhor tratamento foi com 100%CC, seguido pela combinação 50%CC:50%CN. Os demais equivalem a testemunha. A combinação do corretivo convencional e nanoparticulado apresentaram valores intermediários, para as variáveis Ca+Mg, V Ca/CTC, Mg/CTC, sendo o tratamento 100%CC superior nos resultados e o tratamento 100%CN equivalendo a testemunha.

Na camada mais profunda, nota-se maior poder de ação do calcário convencional em dose exclusiva principalmente na redução da acidez ativa e potencial, no pH e na saturação de bases, pela liberação mais gradativa de OH⁻ (GONÇALVES *et al.*, 2011). Em todas as camadas de solo, os tratamentos compostos de corretivo convencional exclusivo e em combinação com nanoparticulado, apresentaram-se com valores adequados para a saturação de bases > 36%), já para o pH, apenas alguns tratamentos estão dentro do valor preconizado (entre 5,6 e 6,3) por SOUSA; LOBATO, (2004).

No milho solteiro aos 90 DAP na camada 0-10 cm houve efeito significativo para todas as variáveis mensuradas, excetuando fósforo e potássio (Tabela 2). A acidez potencial e acidez ativa apresentaram redução quando o solo foi corrigido com a combinação dos corretivos e para dose 100% de convencional. Estes mesmos resultados foram encontrados para a saturação de bases, Ca/CTC e Mg/CTC.

Tabela 2. Variáveis químicas do solo após a aplicação de calcários nanoparticulado (CN) e convencional (CC) avaliados aos 90 dias após o plantio da cultura do milho.

Prof. cm	Tratamentos	pH	Al	H+Al	Ca	Mg	Ca+Mg	CTC	Ca/Mg	K	P	V	Ca/CTC	Mg/CTC	H+Al/CTC
		CaCl ₂	----- cmolc dm ⁻³ -----						-----mg dm ⁻³ -----						
0-10	Testemunha	4,00 b	0,79 a	7,50 a	1,49 c	0,61 c	2,10 c	9,73 ^{ns}	2,50 ^{ns}	51,00	15,40	23,10 b	15,48 b	6,27 b	76,95 a
	CC	5,08 a	0,15 c	3,90 b	4,62 a	1,76 a	6,38 a	10,40	2,63	51,00	14,55	62,07 a	44,00 a	16,80 a	38,00 b
	CN	4,32 b	0,51 b	6,92 a	1,84 c	0,84 c	2,68 c	9,75	2,20	55,50	17,35	28,90 b	18,83 b	8,60 b	71,02 a
	50%CN:50%CC	4,90 a	0,09 c	4,58 b	3,46 b	1,41 b	4,87 b	9,60	2,50	57,25	14,95	52,22 a	36,07 a	14,63 a	47,65 b
	25%CN:75%CC	4,93 a	0,21 c	5,40 b	3,52 b	1,24 b	4,77 b	10,30	2,78	51,00	14,00	48,27 a	34,77 a	12,20 a	51,70 b
	75%CN:25%CC	4,80 a	0,16 c	5,37 b	2,92 b	1,24 b	4,16 b	9,67	2,42	54,25	16,47	44,30 a	30,18 a	12,67 a	55,65 b
CV(%)		5,19	29,73	18,91	26,39	23,48	24,44	8,29	12,06	30,98	35,42	21,98	24,47	21,80	16,84
10-20	Testemunha	4,20 b	0,59 a	6,35 a	1,59 b	0,67 ^{ns}	2,26 b	8,78 ^{ns}	2,35 ^{ns}	61,00 ^{ns}	10,10 ^{ns}	27,83 b	18,32 b	7,75 b	72,05 a
	CC	4,83 a	0,14 b	4,48 b	3,40 a	1,44	4,84 a	9,47	2,33	61,50	13,23	52,68 a	35,90 a	15,13 a	47,25 b
	CN	4,35 b	0,46 a	6,60 a	1,83 b	0,77	2,61 b	9,42	2,40	86,75	10,75	29,90 b	19,30 b	8,20 b	70,10 a
	50%CN:50%CC	4,70 a	0,18 b	5,22 b	2,44 a	1,02	3,46 a	8,85	2,42	67,50	9,80	40,78 a	27,45 a	11,35 a	59,30 b
	25%CN:75%CC	4,73 a	0,18 b	5,70 a	2,78 a	1,08	3,85 a	9,72	2,65	72,00	12,98	41,80 a	28,78 a	11,15 a	58,25 b
	75%CN:25%CC	4,75 a	0,14 b	4,80 b	2,57 a	1,03	3,59 a	8,57	2,65	70,50	6,95	43,10 a	29,40 a	11,55 a	56,92 b
CV(%)		6,31	30,14	16,11	28,14	26,90	26,49	8,94	18,80	28,33	59,96	23,79	27,18	23,93	15,48
20-40	Testemunha	4,28 ^{ns}	0,38 ^{ns}	5,22 ^{ns}	1,52 ^{ns}	0,52 ^{ns}	2,04 ^{ns}	7,48 ^{ns}	2,85 ^{ns}	79,50 ^{ns}	2,87 ^{ns}	30,82 ^{ns}	20,92 ^{ns}	7,12 ^{ns}	69,07 ^{ns}
	CC	4,70	0,14	4,75	1,90	0,71	2,61	7,55	2,67	72,25	3,00	36,75	25,00	9,35	63,10
	CN	4,55	0,15	4,93	1,95	0,65	2,60	7,73	2,92	84,25	2,18	36,35	24,90	8,53	63,85
	50%CN:50%CC	4,65	0,16	4,52	2,03	0,66	2,69	7,42	3,05	82,00	3,28	38,73	27,17	8,83	61,18
	25%CN:75%CC	4,73	0,14	4,75	1,77	0,68	2,45	7,45	2,70	98,00	2,03	36,47	24,03	9,08	63,53
	75%CN:25%CC	4,80	0,21	4,90	2,23	0,70	2,93	8,00	3,20	64,00	7,45	39,37	28,35	8,95	60,52
CV(%)		5,43	42,49	18,83	27,83	19,14	24,62	11,12	16,24	32,97	42,75	22,30	25,63	19,50	13,02

ns – não significativo pelo teste F, a 5% de probabilidade. Médias acompanhadas por letras minúsculas não diferem entre si pelo teste de Scott Knott, a 5% de probabilidade.

Para os teores de cálcio, magnésio e a combinação destes nutrientes, os melhores resultados foram obtidos pelo tratamento 100%CC, seguido pelas combinações de corretivos convencionais e nanoparticulado. O tratamento 100%CN equivaleu a testemunha. Não houve significância para as variáveis CTC, fósforo e potássio.

Já na camada de 10-20 cm aos 90 DAP verificou-se efeito na concentração de Al^{3+} , Ca e Ca/CTC, H+Al/CTC, Mg/CTC, pH e saturação de bases, sendo os melhores resultados obtidos com os tratamentos que contêm a combinação de calcário convencional e nanoparticulado e o tratamento com 100% de calcário convencional. Para as demais variáveis estudadas não houve significância. A testemunha e o tratamento exclusivo de corretivo nanoparticulado apresentam os resultados menos promissores, não sendo capaz de reduzir a acidez do solo, elevar o pH e aumentar a disponibilidade de nutrientes no solo. Para a camada 20-40 cm no solo cultivado com milho solteiro aos 90 DAP, nenhuma variável foi significativa.

Para análises realizadas na colheita do milho (Tabela 3), na camada de 0-10cm, houve significância para as variáveis pH e H+AL/CTC, para as demais variáveis não houve. Os melhores tratamentos foram as combinações entre o corretivo convencional e nanoparticulado, juntamente com o tratamento com 100 % calcário convencional. Já para análise realizada na camada de 20-40cm, houve significância para o Al, e os melhores tratamentos foram 100%CN e 75%CN:25%CC, chegando a neutralizar o alumínio por total. Os demais tratamentos equivaleram a testemunha. Para as variáveis pH, H+Al, Ca e Ca+Mg os melhores resultados foram obtidos nos tratamentos com a combinação entre calcário convencional e nanoparticulado e o tratamento com 100% calcário convencional. As demais variáveis não foram significativas. Na amostragem na camada de 20-40cm obteve-se comportamento similar à camada de 10-20cm, e houve significância para as variáveis pH, Ca, Mg e Ca+Mg, em que os melhores resultados foram obtidos nos tratamentos com a combinação entre calcário convencional e nanoparticulado e o tratamento com 100% calcário convencional. As demais variáveis não foram significativas.

Para as análises avaliadas no final da entressafra (Tabela 4), na camada de 0-10cm, houve significância para as seguintes variáveis: pH, Al^{3+} , H+Al, Ca, Ca+Mg, saturação de bases, Ca/CTC e H+Al/CTC, sendo os melhores tratamentos 100%CC e 75%CC/25%N. Para as demais variáveis não houve significância. Já na camada de 10-20cm, houve significância apenas para H+Al e Mg/CTC, e todos os tratamentos obtiveram bons resultados em relação a testemunha.

Tabela 3. Variáveis químicas do solo após a aplicação de calcários nanoparticulado (CN) e convencional (CC) avaliados na colheita da cultura do milho.

Prof. cm	Tratamentos	pH	Al	H+Al	Ca	Mg	Ca+Mg	CTC	Ca/Mg	K	P	V	Ca/CTC	Mg/CTC	H+Al/CTC
		CaCl ₂	----- cmolc dm ⁻³ -----						-----mg dm ⁻³ -----						
0-10	Testemunha	4,20 b	0,17 ^{ns}	4,60 a	3,42 ^{ns}	0,60 ^{ns}	3,42 ^{ns}	8,08 ^{ns}	2,32 b	175,50 ^{ns}	26,00 ^{ns}	40,00 b	26,52 b	7,80 ^{ns}	59,97 a
	CC	4,80 a	0,10	3,65 b	3,40	0,82	3,40	8,01	4,02 a	120,50	28,50	52,75 a	37,02 a	11,45	47,32 b
	CN	4,42 b	0,15	5,15 a	3,52	0,50	3,52	8,15	2,20 b	116,00	18,50	32,50 b	22,60 b	6,42	67,32 a
	50%CN:50%CC	4,85 a	0,05	3,40 b	3,35	0,97	3,35	8,23	4,13 a	138,00	31,50	54,75 a	38,60 a	11,65	45,42 b
	25%CN:75%CC	4,85 a	0,07	3,72 b	3,50	0,90	3,50	8,65	3,57 a	109,00	30,25	53,75 a	38,80 a	11,60	46,10 b
	75%CN:25%CC	4,82 a	0,05	3,75 b	4,10	0,75	4,10	7,96	3,22 a	167,50	26,50	50,50 a	35,69 a	8,97	49,80 b
CV(%)		5,1	39,08	18,15	16,43	37,89	16,43	13,46	22,46	28,37	59,90	17,04	18,61	28,61	15,41
10-20	Testemunha	4,25 b	0,17 a	4,90 a	1,67 b	0,52 ^{ns}	2,20 b	8,28 ^{ns}	3,42 ^{ns}	147,25 ^{ns}	18,75 ^{ns}	36,75 ^{ns}	25,32 b	6,90 ^{ns}	63,2 ^{ns}
	CC	4,70 a	0,12 a	3,90 b	2,50 a	0,77	3,27 a	8,00	3,40	127,00	18,25	49,25	34,92 a	10,45	50,22
	CN	4,40 b	0,12 a	4,45 a	1,77 b	0,57	2,35 b	6,83	3,52	101,50	15,06	38,00	26,77 b	7,02	62,45
	50%CN:50%CC	4,75 a	0,00 b	3,85 b	2,87 a	0,85	3,72 a	8,16	3,35	110,00	23,75	49,25	35,55 a	10,27	50,50
	25%CN:75%CC	4,65 a	0,12 a	3,92 b	2,32 a	0,80	3,12 a	7,69	3,50	95,75	22,75	45,25	32,30 a	9,85	54,67
	75%CN:25%CC	4,70 a	0,02 b	3,67 b	2,35 a	0,72	3,07 a	7,91	4,10	131,00	20,00	44,50	31,50 a	9,07	55,05
CV(%)		3,89	59,5	18,15	22,22	37,38	22,93	13,10	16,43	29,03	48,48	16,24	15,16	32,41	12,52
20-40	Testemunha	4,27 b	0,25 ^{ns}	3,95 ^{ns}	1,70 b	0,35 b	2,05 b	6,64 ^{ns}	4,27 ^{ns}	114,50 ^{ns}	5,25 ^{ns}	37,50 ^{ns}	26,37 ^{ns}	6,50 ^{ns}	62,47 ^{ns}
	CC	4,80 a	0,12	3,47	2,27 a	0,65 a	2,92 a	7,56	3,35	93,50	9,00	48,50	34,75	10,95	51,00
	CN	4,50 b	0,05	3,87	1,62 b	0,45 b	2,07 b	6,42	4,20	78,75	6,00	35,00	25,70	6,25	64,57
	50%CN:50%CC	4,82 a	0,05	3,40	2,15 a	0,75 a	2,90 a	6,66	5,02	103,50	10,50	44,25	32,97	7,27	55,62
	25%CN:75%CC	4,67 a	0,10	3,20	2,02 a	0,65 a	2,67 a	6,77	3,62	85,50	10,00	47,50	34,07	9,95	53,05
	75%CN:25%CC	4,72 a	0,10	3,80	1,97 a	0,62 a	2,60 a	6,73	4,30	117,50	15,50	40,75	29,00	7,10	59,37
CV(%)		4,29	45,26	21,79	11,9	28,88	12,07	11,54	28,96	27,48	44,12	20,94	19,97	34,08	15,03

ns – não significativo pelo teste F, a 5% de probabilidade. Médias acompanhadas por letras minúsculas não diferem entre si pelo teste de Scott Knott, a 5% de probabilidade.

Tabela 4. Variáveis químicas do solo após a aplicação de calcários nanoparticulado (CN) e convencional (CC) avaliados no final da entressafra, após a colheita do milho.

Prof. cm	Tratamentos	pH	Al	H+Al	Ca	Mg	Ca+Mg	CTC	Ca/Mg	K	P	V	Ca/CTC	Mg/CTC	H+Al/CTC
		CaCl ₂	----- cmolc dm ⁻³ -----						-----mg dm ⁻³ -----						
0-10	Testemunha	4,38 b	0,42 a	7,35 a	2,53 b	0,99 ^{ns}	3,53 b	11,20 ^{ns}	2,65 ^{ns}	117,00 ^{ns}	20,95 ^{ms}	34,03 b	22,53 b	8,83 ^{ns}	65,82 a
	CC	4,77 a	0,15 b	5,98 b	4,45 a	1,58	6,04 a	12,30	2,75	121,00	21,13	50,82 a	35,63 a	12,70	49,32 b
	CN	4,50 b	0,30 a	6,92 a	2,75 b	1,23	3,98 b	11,15	2,28	103,00	22,43	37,95 b	24,63 b	10,95	62,22 a
	50%CN:50%CC	4,55 b	0,24 a	6,80 a	3,23 b	1,30	4,52 b	11,60	2,53	110,00	28,10	41,00 b	27,57 b	11,03	59,02 a
	25%CN:75%CC	4,85 a	0,15 b	5,85 b	4,69 a	1,62	6,30 a	12,43	2,80	108,50	23,53	51,83 a	36,75 a	12,85	48,23 b
	75%CN:25%CC	4,48 b	0,25 a	6,90 a	3,12 b	1,32	4,44 b	11,70	2,37	135,50	23,07	40,73 b	26,60 b	11,20	59,15 a
CV(%)		4,70	25,02	10,22	29,72	24,90	27,11	6,45	15,29	25,10	22,35	18,62	21,19	19,68	13,77
10-20	Testemunha	4,50 ^{ns}	0,30 ^{ns}	6,65 a	2,48 ^{ns}	0,87 ^{ns}	3,35 ^{ns}	10,25 ^{ns}	2,90 ^{ns}	103,25 ^{ns}	9,60 ^{ns}	35,18 ^{ns}	24,15 b	8,45 b	64,92 ^{ns}
	CC	4,70	0,13	5,55 b	3,47	1,25	4,72	10,60	2,77	114,50	9,22	47,13	32,65 a	11,73 a	52,55
	CN	4,50	0,20	6,13 b	2,56	1,06	3,63	10,08	2,45	122,75	10,43	39,18	25,47 b	10,60 a	60,70
	50%CN:50%CC	4,67	0,16	5,92 b	3,18	1,15	4,33	10,55	2,75	116,25	10,38	43,67	30,05 a	10,85 a	56,30
	25%CN:75%CC	4,60	0,16	5,95 b	3,05	1,19	4,24	10,47	2,60	115,00	8,97	43,28	29,12 a	11,33 a	56,82
	75%CN:25%CC	4,65	0,18	6,05 b	2,93	1,06	4,00	10,38	2,75	133,75	9,75	41,53	28,03 a	10,23 a	58,65
CV(%)		2,63	18,11	5,84	15,00	15,38	14,20	5,29	12,10	26,10	29,45	10,24	11,35	11,16	7,57
20-40	Testemunha	4,55 ^{ns}	0,16 ^{ns}	5,55 ^{ns}	2,52 b	0,91 ^{ns}	3,44 b	9,30 ^{ns}	2,80 ^{ns}	128,00 ^{ns}	7,72 ^{ns}	40,52 ^{ns}	27,20 ^{ns}	9,83 ^{ns}	59,65 ^{ns}
	CC	4,80	0,11	4,65	3,88 a	1,32	5,19 a	10,20	2,98	133,00	8,37	53,83	37,78	12,78	46,05
	CN	4,75	0,10	4,90	2,76 b	1,07	3,83 b	9,01	2,62	111,50	8,45	45,82	30,88	11,83	53,98
	50%CN:50%CC	4,70	0,11	4,90	3,37 a	1,10	4,47 a	9,73	3,08	146,25	7,30	49,75	34,68	11,30	50,40
	25%CN:75%CC	4,72	0,12	4,95	3,37 a	1,24	4,61 a	9,88	2,75	122,50	6,80	49,65	33,95	12,48	50,27
	75%CN:25%CC	4,67	0,12	5,17	2,96 b	1,01	3,97 b	9,55	2,90	157,25	7,20	45,45	30,73	10,58	54,48
CV(%)		3,98	27,41	12,89	14,23	20,51	15,44	6,25	12,01	19,29	17,52	12,60	13,42	16,76	11,35

ns – não significativo pelo teste F, a 5% de probabilidade. Médias acompanhadas por letras minúsculas não diferem entre si pelo teste de Scott Knott, a 5% de probabilidade.

Na camada de 20-40cm, houve significância apenas para as variáveis Ca e Ca+Mg, e os melhores tratamentos foram os que havia a combinação entre o corretivo convencional e o nanoparticulado e o tratamento com 100% corretivo convencional.

Para as variáveis analisadas na colheita da cultura da soja (Tabela 5), na camada de 0- 10cm, houve significância para as variáveis pH, Al^{3+} , Ca/CTC, Mg/CTC, H+Al/CTC e saturação de bases, e os melhores tratamentos foram os que havia a combinação entre o corretivo convencional e o nanoparticulado e o tratamento com 100% corretivo convencional. Já para as variáveis Ca, Mg e Ca+Mg o melhor resultado foi obtido com uso do calcário 100%convencional, seguido pelas combinações entre calcário convencional e nanoparticulado. Para as demais variáveis não houve significância.

Para a camada de 10-20cm houve significância para as variáveis pH, Al, Ca, Ca+Mg, Ca/CTC, H+Al/CTC e saturação de bases, seguindo um comportamento semelhante com as observadas na camada de 0-10cm, e os melhores tratamentos foram os que havia a combinação entre o corretivo convencional e o nanoparticulado e o tratamento com 100% corretivo convencional. Já para a variável H+Al, os melhores tratamentos foram 100%CC, 50%CC:50%CN e 75%CN:25%CC. Para as demais variáveis não houve significância. Para a camada de 20-40cm não houve alterações na caracterização química em função dos tratamentos testados.

De acordo com a classificação de Sobral *et al.* (2015), para todos os tratamentos em que há a combinação de calcário convencional e nanoparticulado e o tratamento com 100% calcário convencional, atenderam os níveis considerados adequados para Al^{3+} ($<0,5$). Níveis de cálcio ($> 3,0$) e magnésio ($> 0,1$), são considerados altos, e foram obtidos valores acima destes na camada de 0-10cm. Já nas camadas mais profundas, para os tratamentos contendo blend de corretivos e o tratamento com 100% de calcário convencional, estão dentro do padrão médio para os níveis destes nutrientes, apresentando maior eficiência de correção apenas nas primeiras camadas do solo neste primeiro momento. Os melhores resultados também foram obtidos nos tratamentos contendo calcário nanoparticulado, e as menores partículas conseguem percolar nos poros do solo, proporcionando a correção adequada, pouco tempo após a aplicação.

Em suas pesquisas Viviani *et al.* (2010), descobriram que quanto maior a elevação do pH do solo, maior a disponibilidade do nutriente fósforo para as plantas. Este resultado não foi observado no presente trabalho, que independente da variação do pH, não houve diferenças estatísticas para os níveis deste nutriente no solo.

Tabela 5. Variáveis químicas do solo após a aplicação de calcários nanoparticulado (CN) e convencional (CC) avaliados na colheita da cultura da soja.

Prof. cm	Tratamentos	pH	Al	H+Al	Ca	Mg	Ca+Mg	CTC	Ca/Mg	K	P	V	Ca/CTC	Mg/CTC	H+Al/CTC
		CaCl ₂	----- cmolc dm ⁻³ -----						-----mg dm ⁻³ -----						
0-10	Testemunha	4,00 b	0,79 a	7,50 a	1,49 c	0,61 c	2,10 c	9,73 ^{ns}	2,50 ^{ns}	51,00 ^{ns}	15,40 ^{ns}	23,10 b	15,48 b	6,27 b	76,95 a
	CC	5,08 a	0,15 b	3,90 b	4,62 a	1,76 a	6,38 a	10,40	2,63	51,00	14,55	62,07 a	44,00 a	16,80 a	38,00 b
	CN	4,32 b	0,51 a	6,92 a	1,84 c	0,84 c	2,68 c	9,75	2,20	55,50	17,35	28,90 b	18,83 b	8,60 b	71,02 a
	50%CN:50%CC	4,90 a	0,09 b	4,58 b	3,46 b	1,41 b	4,87 b	9,60	2,50	57,25	14,95	52,22 a	36,07 a	14,63 a	47,65 b
	25%CN:75%CC	4,93 a	0,21 b	5,40 b	3,52 b	1,24 b	4,77 b	10,30	2,78	51,00	14,00	48,27 a	34,77 a	12,20 a	51,70 b
	75%CN:25%CC	4,80 a	0,16 b	5,37 b	2,92 b	1,24 b	4,16 b	9,67	2,42	54,25	16,47	44,30 a	30,18 a	12,67 a	55,65 b
CV(%)		5,19	36,56	18,91	26,39	23,48	24,44	8,29	12,06	14,86	17,69	21,98	24,47	21,80	16,84
10-20	Testemunha	4,20 b	0,59 a	6,35 a	1,59 b	0,67 ^{ns}	2,26 b	8,78 ^{ns}	2,35 ^{ns}	61,00 ^{ns}	10,10 ^{ns}	27,83 b	18,32 b	7,75 ^{ns}	72,05 a
	CC	4,83 a	0,14 b	4,48 b	3,40 a	1,44	4,84 a	9,47	2,33	61,50	13,23	52,68 a	35,90 a	15,13	47,25 b
	CN	4,35 b	0,46 a	6,60 a	1,83 b	0,77	2,61 b	9,42	2,40	86,75	10,75	29,90 b	19,30 b	8,20	70,10 a
	50%CN:50%CC	4,70 a	0,18 b	5,22 b	2,44 a	1,02	3,46 a	8,85	2,42	67,50	9,80	40,78 a	27,45 a	11,35	59,30 b
	25%CN:75%CC	4,73 a	0,18 b	5,70 a	2,78 a	1,08	3,85 a	9,72	2,65	72,00	12,98	41,80 a	28,78 a	11,15	58,25 b
	75%CN:25%CC	4,75 a	0,14 b	4,80 b	2,57 a	1,03	3,59 a	8,57	2,65	70,50	6,95	43,10 a	29,40 a	11,55	56,92 b
CV(%)		6,31	30,14	16,11	28,14	26,90	26,40	8,94	18,80	15,07P	29,25	23,79	27,18	23,63	15,48
20-40	Testemunha	4,28 ^{ns}	0,38 ^{ns}	5,22 ^{ns}	1,52 ^{ns}	0,52 ^{ns}	2,04 ^{ns}	7,48 ^{ns}	2,85 ^{ns}	79,50 ^{ns}	2,87 ^{ns}	30,82 ^{ns}	20,92 ^{ns}	7,12 ^{ns}	69,07 ^{ns}
	CC	4,70	0,14	4,75	1,90	0,71	2,61	7,55	2,67	72,25	3,00	36,75	25,00	9,35	63,10
	CN	4,55	0,15	4,93	1,95	0,65	2,60	7,73	2,92	84,25	2,18	36,35	24,90	8,53	63,85
	50%CN:50%CC	4,65	0,16	4,52	2,03	0,66	2,69	7,42	3,05	82,00	3,28	38,73	27,17	8,83	61,18
	25%CN:75%CC	4,73	0,14	4,75	1,77	0,68	2,45	7,45	2,70	98,00	2,03	36,47	24,03	9,08	63,53
	75%CN:25%CC	4,80	0,21	4,90	2,23	0,70	2,93	8,00	3,20	64,00	7,45	39,37	28,35	8,95	60,52
CV(%)		5,43	42,29	18,83	27,83	19,14	24,62	11,82	16,24	16,57	49,37	22,30	25,63	19,50	13,02

ns – não significativo pelo teste F, a 5% de probabilidade. Médias acompanhadas por letras minúsculas não diferem entre si pelo teste de Scott Knott, a 5% de probabilidade.

Quando avaliado os resultados do milho consorciado com capim-Zuri, observaram comportamento distinto em relação aos observados para o monocultivo de milho para algumas variáveis. Aos 45 dias após plantio (Tabela 6) houve significância para pH, sendo o melhor resultado foi obtido na combinação 50%CC:50%CN, seguido por 100%CC e 75%CN:25%CC. Logo após 100%CN e 75%CC:25%CN e por último a testemunha. Para a neutralização do Al todos os tratamentos foram satisfatórios, exceto a testemunha. Para a variável H+Al, os melhores tratamentos foram 100%CC, 75%CC:25%CN e 75%CN:25%CC, seguidos por 100%CN e 50%CC:50%CN e por último a testemunha. Para o Ca, Ca+Mg, H+Al/CTC, Ca/Mg e a saturação de bases, os melhores tratamentos foram 100%CC e 50%CC:50%CN, os demais equivaleram a testemunha. Para o magnésio os melhores tratamentos foram 100%CC, 100%CN e 50%CC:50%CN. Os demais equivalem a testemunha. Este mesmo padrão é encontrado nos resultados para variável CTC. Não foram observados efeitos para as demais variáveis.

Apenas o tratamento com blend de 50%CC:CN obteve pH próximo ao adequado para o desenvolvimento das plantas neste período, segundo as faixas citadas por Sobral *et al.*, (2015). Já os níveis de cálcio e magnésio são considerados altos pela mesma classificação nos tratamentos 100%CC e 50%CC:50%CN. A saturação de bases ficou adequado nestes mesmos tratamentos, chegando a ultrapassar 50%.

Este resultado de pH abaixo do adequado e os parâmetros nutricionais abaixo do preconizado na maioria dos tratamentos, pode ser explicado pela presença da forrageira consorciado com o milho. Desta forma, ocorre maior potencial de competição (principalmente nas camadas superficiais do solo, que se concentram as raízes) da forrageiras com o milho por água, luz e nutrientes, em razão das melhores condições para germinação, emergência e crescimento (Pariz *et al.*, 2011).

Para a camada de solo de 10-20cm, foi observado significância na variável pH, e a combinação de calcário convencional e nanoparticulado e o corretivo 100% convencional obtiveram os melhores resultados. O tratamento com 100% calcário nanoparticulado equivaleu à testemunha. Para o teor de magnésio no solo, os melhores resultados foram obtidos nos tratamentos 100%CN e 50%CC:50%CN, e os demais equivaleram a testemunha. Para a relação Ca/Mg, os melhores resultados foram encontrados nas combinações de calcário convencional e nanoparticulado, juntamente com a dose do corretivo 100% convencional. Houve diferença estatística para os níveis de potássio no solo, e os melhores resultados foram obtidos com os tratamentos 100%CC, 100%CN, 50%CC:50%CN e 75%CN:25%CC.

Tabela 6. Variáveis químicas do solo após a aplicação de calcários nanoparticulado (CN) e convencional (CC) avaliados aos 45 dias após a semeadura do milho consorciado com BRS Zuri.

Prof. cm	Tratamentos	pH	Al	H+Al	Ca	Mg	Ca+Mg	CTC	Ca/Mg	K	P	V	Ca/CTC	Mg/CTC	H+Al/CTC
		CaCl ₂	cmolc dm ⁻³						mg dm ⁻³						
0-10	Testemunha	4,40 d	0,30 a	7,00 a	1,81 b	0,78 b	2,59 b	9,97 b	2,27 b	146,50 ^{ns}	18,05 ^{ns}	29,67 b	18,05 b	7,87 a	70,30 a
	CC	5,00 b	0,09 b	4,82 c	3,97 a	1,40 a	5,37 a	10,57 a	2,82 a	151,25	19,19	54,45 a	37,57 a	13,22 b	45,62 b
	CN	4,67 c	0,11 b	6,35 b	2,41 b	1,22 a	3,63 b	10,45 a	2,02 b	178,00	17,69	39,07 b	23,05 b	11,93 c	60,85 a
	50%CN:50%CC	5,37 a	0,09 b	4,50 c	3,45 a	1,45 a	4,72 a	10,45 a	2,90 a	162,00	18,36	52,22 a	35,35 a	15,13 a	47,87 b
	25%CN:75%CC	4,82 c	0,12 b	5,80 b	2,29 b	0,91 b	3,21 b	9,32 b	2,52 b	123,25	15,22	37,42 b	24,32 b	10,41 d	62,60 a
	75%CN:25%CC	4,95 b	0,12 b	5,85 b	2,44 b	0,93 b	3,38 b	9,62 b	2,60 a	152,00	17,92	39,15 b	25,40 b	10,65 d	60,82 a
CV(%)		3,55	17,77	10,14	20,07	18,71	20,30	4,17	13,79	22,37	21,34	15,21	15,85	5,54	10,95
10-20	Testemunha	4,47 b	0,24 ^{ns}	5,75 ^{ns}	1,38 ^{ns}	0,49 b	1,88 ^{ns}	7,92 ^{ns}	2,80 b	77,71 b	2,95 b	26,87 ^{ns}	17,32 ^{ns}	6,17 b	72,85 ^{ns}
	CC	4,85 a	0,16	5,35	2,08	0,70 b	2,79	8,50	2,94 a	140,25 a	4,78 b	37,32	24,77	8,32 a	62,65
	CN	4,52 b	0,20	6,35	1,79	0,94 a	2,61	9,42	2,60 b	187,50 a	12,08 a	32,80	19,02	9,90 a	67,42
	50%CN:50%CC	4,95 a	0,10	5,35	2,44	0,78 a	3,22	9,00	3,15 a	160,50 a	5,61 b	40,17	26,97	8,62 a	59,62
	25%CN:75%CC	4,72 a	0,13	5,40	1,95	0,61 b	2,56	8,27	3,20 a	115,50 b	5,23 b	34,50	23,60	7,42 b	65,27
	75%CN:25%CC	4,75 a	0,14	5,40	1,79	0,57 b	2,37	8,12	3,12 a	152,50 a	3,15 b	33,72	21,92	7,07 b	66,70
CV(%)		3,79	38,45	10,52	23,91	20,84	22,74	9,11	8,01	22,53	24,53	17,99	20,82	16,93	9,17
20-40	Testemunha	4,70 b	0,13 ^{ns}	4,95 ^{ns}	1,37 ^{ns}	0,43 b	1,80 ^{ns}	7,05 ^{ns}	3,15 ^{ns}	81,71 c	2,32 ^{ns}	29,57 b	19,45 b	6,12 ^{ns}	70,25 ^{ns}
	CC	4,79 b	0,10	4,57	1,56	0,48 b	2,53	7,55	3,12	101,71 c	4,30	33,47 b	21,99 b	6,90	66,35
	CN	4,90 b	0,11	4,90	1,88	0,60 b	2,48	7,82	3,22	168,50 a	3,95	37,40 a	24,10 b	7,75	62,57
	50%CN:50%CC	5,05 a	0,11	4,82	2,37	0,79 a	3,17	8,35	3,02	136,75 b	2,88	42,32 a	28,50 a	10,10	57,62
	25%CN:75%CC	5,07 a	0,08	4,32	1,95	0,58 b	2,54	7,10	3,30	89,00 c	2,55	38,67 a	27,35 a	8,25	61,22
	75%CN:25%CC	5,02 a	0,07	4,27	1,97	0,72 a	2,62	7,20	3,30	102,15 c	1,74	40,10 a	27,10 a	8,53	63,63
CV(%)		3,05	30,09	14,80	22,87	22,92	15,86	14,81	13,82	12,57	67,49	13,86	14,77	13,10	7,18

ns – não significativo pelo teste F, a 5% de probabilidade. Médias acompanhadas por letras minúsculas não diferem entre si pelo teste de Scott Knott, a 5% de probabilidade.

O tratamento 75%CC:25%CN equivale a testemunha. Foram encontradas diferenças também para a disponibilidade de fósforo no solo, e o tratamento com a melhor resposta foi o com uso de 100%CN, seguido pelos demais equivalendo a testemunha. Para a variável Mg/CTC, os melhores resultados foram obtidos com os tratamentos 100%CC, 100%CN e 50%CC:50%CN. Para as demais variáveis não houve diferença estatística entre tratamentos.

Nesta camada do solo, o corretivo nanoparticulado torna-se mais eficiente, apresentando bons resultados quando usado 100%CN e todos os tratamentos com combinações entre calcário convencional e nanoparticulado. Ocorrendo pela baixa solubilidade do calcário ($\text{CaCO}_3 = 0,014 \text{ g L}^{-1}$ e $\text{MgCO}_3 = 0,106 \text{ g L}^{-1}$ a 25°C), e os efeitos mais notórios das práticas de calagem em plantio direto são observados nas camadas superficiais (Caires *et al.*, 2014), com eficiência reduzida na neutralização da acidez em solo subsuperficial, principalmente nos primeiros anos após a aplicação.

Neste sentido, os tratamentos combinados, com os corretivos nanoparticulados (25% deste produto, têm partículas de diâmetro de 1 a 100 nanômetros, e os 75% restantes 0,08 milímetros), tenham aumentado a eficiência e o poder de percolação nas camadas mais profundas do solo, apresentando melhores resultados na fertilidade do solo e disponibilidade dos macronutrientes.

Já na camada de 20-40cm houve diferença estatística para a variável pH, e os melhores tratamentos foram 50%CC:50%CN, 75%CC:25%CN e 25%CC:75%CN. Os demais foram iguais a testemunha. Para os níveis de magnésio no solo as melhores respostas foram obtidas com os tratamentos 50%CC:50%CN e 25%CC:75%CN e os demais equivalem a testemunha. Para os níveis de potássio (K) no solo, o melhor resultado foi obtido pelo tratamento 100%CN, seguido por 50%CC:50%CN e os demais equivaleram a testemunha. Para a saturação de bases e tratamento com 100% calcário nanoparticulado e as combinações entre calcário convencional e nanoparticulado obtiveram os melhores resultados. Já o tratamento com 100% calcário convencional igualou-se a testemunha. Para a variável Ca/CTC, as combinações entre os corretivos obtiveram os melhores resultados. Os tratamentos 100%CC e 100%CN equivalem a testemunha. As demais variáveis estudadas não apresentaram diferença estatística, ainda seguindo o mesmo padrão observado na camada de 10-20cm de profundidade.

Quando avaliado a camada do solo de 0-10cm aos 90 dias após o plantio do milho consorciado com capim-Zuri, não foram observadas diferenças estatísticas para nenhuma

das variáveis estudadas (Tabela 7). O mesmo comportamento foi observado nas profundidades de 10-20cm e 20-40cm do solo.

Já a avaliação feita na colheita do milho consorciado com capim-Zuri na camada de 0-10cm (Tabela 8), observou-se diferença estatística apenas para a variável Al^{3+} , e todos os tratamentos foram eficazes na neutralização do alumínio, exceto a testemunha. Apesar de não haver diferença, os níveis de cálcio, magnésio e a saturação de bases estão na faixa preconizada por Sobral *et al.* (2015).

Para a camada de 10-20cm todos os tratamentos, exceto a testemunha, obtiveram resultados satisfatórios no aumento do pH, neutralização de alumínio, teor de cálcio, teor de Ca+Mg, aumento na saturação de bases e na relação Mg/CTC. Para o teor de magnésio no solo, 100%CC foram obtidas respostas positivas para todos os tratamentos, exceto a testemunha e 75%CC:25%CN. Para a CTC do solo, todos os tratamentos obtiveram resultados satisfatórios, exceto a testemunha e o tratamento 75%CN:25%CC. Para a variável H+Al/CTC, os melhores resultados foram obtidos pelos tratamentos 100%CC e 75%CN:25%CC, seguidos por 100%CN, 50%CN:50%CC e 25%CN:75%CC e com pior resultado, a testemunha. Para as demais variáveis não houve significância.

Já na camada de 20-40cm do solo, um comportamento diferente é observado, em que todos os tratamentos foram superiores a testemunha para aumento de pH, aumento nos níveis de cálcio no solo, aumento do Ca+Mg do solo, aumento na saturação de bases, no teor de cálcio na CTC, e na diminuição do teor de H+Al na CTC. As demais variáveis estudadas não obtiveram significância.

Este dado é importante, mostrando a eficiência dos corretivos na percolação das camadas profundas do solo, mesmo após a extração (colheita), de ambas as culturas. Este resultado corrobora com os estudados por Minato *et al.* (2023), que na aplicação de diferentes doses de calcário, associado ao uso de gesso agrícola, houve correção do solo em perfil e aumento na disponibilidade de nutrientes, mesmo nas camadas mais profundas.

No cultivo consorciado, observa-se maior efeito dos corretivos combinados e a dose exclusiva do calcário convencional. Possivelmente porque no cultivo consorciado houve maior atividade biológica presente no solo, fauna do solo e raízes da gramínea forrageira BRS Zuri, que promove a rede de canais, favorecendo a infiltração de água no solo, e conseqüentemente a movimentação dos corretivos e seus produtos (CALEGARI *et al.*, 2013; TESTONI, *et al.*, 2017).

Tabela 7. Variáveis químicas do solo após a aplicação de calcários nanoparticulado (CN) e convencional (CC) avaliados aos 90 dias após a semeadura do milho consorciado com BRS Zuri.

Prof. cm	Tratamentos	pH	Al	H+Al	Ca	Mg	Ca+Mg	CTC	Ca/Mg	K	P	V	Ca/CTC	Mg/CTC	H+Al/CTC
		CaCl ₂	-----cmolc dm ⁻³ -----						-----mg dm ⁻³ -----						
0-10	Testemunha	4,50 ^{ns}	0,34 ^{ns}	6,45 ^{ns}	2,85 ^{ns}	1,30 ^{ns}	4,15 ^{ns}	10,72 ^{ns}	2,35 ^{ns}	55,50 ^{ns}	16,35 ^{ns}	40,15 ^{ns}	26,70 ^{ns}	12,17 ^{ns}	60,00 ^{ns}
	CC	4,45	0,39	6,70	2,36	0,96	3,32	10,13	2,50	46,50	12,30	34,27	23,50	9,55	65,85
	CN	4,70	0,20	5,85	3,46	1,36	4,82	10,80	2,57	56,25	17,43	46,57	32,40	12,80	53,57
	50%CN:50%CC	4,48	0,37	6,90	2,51	1,03	3,54	10,60	2,60	63,50	13,52	34,67	23,52	9,55	65,33
	25%CN:75%CC	5,03	0,16	4,97	4,06	1,49	5,55	10,60	2,67	41,33	13,10	52,67	37,80	13,83	47,53
	75%CN:25%CC	4,55	0,32	6,32	3,04	1,20	4,24	10,75	2,50	66,25	13,78	40,63	28,02	11,05	59,23
CV(%)		8,30	49,51	19,12	17,92	18,66	17,64	5,21	17,88	23,89	24,36	31,75	16,43	16,89	22,57
10-20	Testemunha	4,65 ^{ns}	0,21 ^{ns}	6,25 a	2,57 ^{ns}	1,08 ^{ns}	3,65 ^{ns}	10,13 ^{ns}	2,45 ^{ns}	85,25 ^{ns}	10,50 ^{ns}	38,58 ^{ns}	25,60 ^{ns}	10,72 ^{ns}	61,35 ^{ns}
	CC	4,42	0,43	6,45 a	2,10	0,76	2,85	9,47	2,82	63,25	7,68	32,42	22,63	8,08	67,42
	CN	4,80	0,21	5,20 b	2,81	1,01	3,82	9,18	2,80	67,00	10,75	43,85	30,80	11,18	56,30
	50%CN:50%CC	4,40	0,28	6,52 a	2,32	0,86	3,18	9,90	3,00	86,25	13,55	34,38	23,50	8,65	65,88
	25%CN:75%CC	4,97	0,08	4,90 b	3,39	1,25	4,64	9,67	2,67	63,33	7,93	48,90	34,43	12,77	51,47
	75%CN:25%CC	4,57	0,30	6,10 a	2,56	0,93	3,49	9,77	2,70	76,25	8,48	37,15	25,75	9,45	63,02
CV(%)		5,75	38,88	11,86	30,35	29,17	29,66	6,01	25,91	23,80	24,35	23,13	26,63	24,80	14,96
20-40	Testemunha	4,67 ^{ns}	0,12 ^{ns}	5,03 ^{ns}	2,20 ^{ns}	0,75 ^{ns}	2,94 ^{ns}	8,23 ^{ns}	2,98 ^{ns}	91,50 ^{ns}	3,00 ^{ns}	38,67 ^{ns}	26,72 ^{ns}	9,10 ^{ns}	61,00 ^{ns}
	CC	4,65	0,34	5,35	1,63	0,53	2,16	7,67	3,10	63,00	3,10	31,73	22,43	7,20	68,22
	CN	4,73	0,13	4,50	2,21	0,68	2,89	7,58	3,25	67,00	3,55	40,77	29,38	9,05	59,07
	50%CN:50%CC	4,73	0,16	4,60	1,85	0,61	2,46	7,27	3,27	88,25	3,40	38,15	26,35	8,57	62,05
	25%CN:75%CC	5,07	0,05	4,47	2,71	0,89	3,60	8,30	3,00	94,33	2,70	46,13	32,37	10,83	53,83
	75%CN:25%CC	4,60	0,14	5,13	2,05	0,67	2,72	8,05	3,05	84,00	2,40	35,90	25,10	8,20	64,18
CV(%)		5,28	45,53	19,86	28,42	22,51	26,25	10,48	19,05	19,11	36,07	23,53	26,54	20,99	14,44

ns – não significativo pelo teste F, a 5% de probabilidade. Médias acompanhadas por letras minúsculas não diferem entre si pelo teste de Scott Knott, a 5% de probabilidade.

Tabela 8. Variáveis químicas do solo após a aplicação de calcários nanoparticulado (CN) e convencional (CC) avaliados na colheita do milho consorciado com BRS Zuri.

Prof. cm	Tratamentos	pH	Al	H+Al	Ca	Mg	Ca+Mg	CTC	Ca/Mg	K	P	V	Ca/CTC	Mg/CTC	H+Al/CTC
		CaCl ₂	cmolc dm ⁻³						mg dm ⁻³						
0-10	Testemunha	4,65 ^{ns}	0,20 a	3,80 ^{ns}	2,17 ^{ns}	0,72 b	2,90 ^{ns}	6,99 ^{ns}	3,17 ^{ns}	114,50 ^{ns}	15,75 ^{ns}	46,50 ^{ns}	31,50 ^{ns}	10,55 ^{ns}	54,05 ^{ns}
	CC	5,20	0,00 b	3,30	3,87	1,30 a	5,17	8,79	3,02	124,00	10,00	62,75	43,90	15,00	37,42
	CN	4,90	0,05 b	3,70	3,05	0,68 b	3,90	7,95	3,95	137,50	18,00	53,50	38,72	10,30	46,57
	50%CN:50%CC	5,05	0,02 b	3,60	3,32	1,12 a	4,45	8,31	3,02	102,00	15,75	56,25	39,77	13,37	43,87
	25%CN:75%CC	5,10	0,00 b	3,38	3,85	1,35 a	5,20	9,00	2,85	127,50	20,00	61,00	42,37	15,05	38,97
	75%CN:25%CC	4,95	0,05 b	4,09	3,37	0,97 b	4,15	8,29	3,17	115,50	14,00	53,25	37,55	12,25	46,65
CV(%)		4,57	47,42	20,29	22,77	24,71	21,13	11,58	19,86	40,53	33,82	14,98	14,59	24,59	18,56
10-20	Testemunha	4,44 b	0,22 a	4,55 ^{ns}	1,57 b	0,45 b	2,02 b	6,78 b	3,57 ^{ns}	79,00 ^{ns}	12,91 ^{ns}	33,00 b	23,40 b	6,70 b	66,90 a
	CC	5,05 a	0,02 b	3,60	3,37 a	1,22 a	4,60 a	8,32 a	2,77	88,00	9,05	58,00 a	40,52 a	14,77 a	42,02 c
	CN	4,87 a	0,02 b	4,10	2,87 a	0,94 a	3,85 a	8,21 a	3,17	104,00	10,50	49,75 a	34,92 a	11,67 a	49,97 b
	50%CN:50%CC	4,92 a	0,02 b	4,05	2,97 a	0,97 a	3,95 a	8,24 a	3,45	96,00	13,00	50,50 a	35,85 a	11,60 a	49,22 b
	25%CN:75%CC	4,82 a	0,05 b	4,10	2,80 a	0,59 b	3,57 a	7,88 a	3,62	82,00	15,25	48,25 a	35,60 a	11,11 a	52,02 b
	75%CN:25%CC	4,87 a	0,05 b	3,70	2,67 a	0,92 a	3,60 a	7,50 b	2,99	79,00	10,50	49,50 a	35,07 a	11,87 a	45,01 c
CV(%)		3,29	52,44	13,27	13,57	29,05	15,39	7,30	20,68	22,70	31,59	12,82	12,07	23,20	18,00
20-40	Testemunha	4,60 b	0,06 ^{ns}	4,12 ^{ns}	1,30 b	0,42 ^{ns}	1,72 b	6,05 ^{ns}	3,05 ^{ns}	80,00 ^{ns}	4,35 ^{ns}	33,25 b	20,61 b	7,25 ^{ns}	66,95 a
	CC	4,97 a	0,02	3,25	2,50 a	0,70	3,20 a	6,63	3,57	71,00	3,85	51,25 a	37,87 a	10,55	48,92 b
	CN	4,97 a	0,00	3,47	2,60 a	0,62	3,22 a	6,90	4,25	80,00	3,85	49,50 a	37,40 a	8,85	50,27 b
	50%CN:50%CC	4,97 a	0,02	3,62	2,77 a	0,87	3,65 a	7,54	3,50	106,00	7,60	52,00 a	36,77 a	11,42	48,50 b
	25%CN:75%CC	4,85 a	0,00	3,42	2,47 a	0,65	3,12 a	6,74	3,80	76,00	8,10	49,25 a	36,77 a	9,65	51,00 b
	75%CN:25%CC	4,87 a	0,02	3,35	2,27 a	0,60	2,87 a	6,46	3,87	95,50	2,15	48,00 a	32,74 a	9,25	51,75 b
CV(%)		3,38	100,20	20,84	16,43	28,21	17,47	12,35	20,05	21,24	37,38	14,54	7,86	22,47	13,20

ns – não significativo pelo teste F, a 5% de probabilidade. Médias acompanhadas por letras minúsculas não diferem entre si pelo teste de Scott Knott, a 5% de probabilidade.

A avaliação realizada no período de entressafra na área consorciada com capim-Zuri (Tabela9), na camada de 0-10cm do solo, obteve-se diferença estatística apenas para o alumínio (Al), e todos os tratamentos foram eficientes na neutralização de alumínio do solo, exceto a testemunha. Para as camadas de 10-20cm e 20-40cm do solo, não houve diferença estatística para nenhuma das variáveis estudadas.

Para análise realizada após a colheita da soja estabelecida após o consócio de milho com capim-Zuri (Tabela 10), não foram observadas diferenças estatísticas para nenhuma das variáveis analisadas, em nenhuma das profundidades coletadas (0-10, 10-20 e 20-40cm), na camada do solo, porém, o tratamento contendo 75%CC:25%CN, apresentou valores próximo ou dentro do preconizado para o bom desenvolvimento das culturas (SOBRAL, *et al.* 2015). Assim, fica evidente a importância da reposição de nutrientes via calagem, conforme acontece a extração dos nutrientes pelas culturas (consócio milho/BRS Zuri, entressafra com BRS Zuri e soja em sucessão).

Tabela 9. Variáveis químicas do solo após a aplicação de calcários nanoparticulado (CN) e convencional (CC) avaliados no período de entressafra após a colheita do milho consorciado com BRS Zuri.

Prof. cm	Tratamentos	pH	Al	H+Al	Ca	Mg	Ca+Mg	CTC	Ca/Mg	K	P	V	Ca/CTC	Mg/CTC	H+Al/CTC
		CaCl ₂	-----cmolc dm ⁻³ -----						-----mg dm ⁻³ -----						
0-10	Testemunha	4,53 ^{ns}	0,28 a	6,32 ^{ns}	2,56 ^{ns}	0,98 ^{ns}	3,53 ^{ns}	10,08 ^{ns}	2,80 ^{ns}	87,75 ^{ns}	19,05 ^{ns}	37,50 ^{ns}	25,83 ^{ns}	9,45 ^{ns}	62,68 ^{ns}
	CC	4,75	0,12 b	5,42	4,24	1,49	5,73	11,40	2,85	98,00	20,10	52,35	37,15	13,02	47,67
	CN	4,65	0,18 b	6,27	3,59	1,61	5,20	11,72	2,30	103,50	27,35	46,30	30,47	13,63	53,82
	50%CN:50%CC	4,62	0,14 b	6,15	3,77	1,42	5,19	11,63	2,65	117,75	20,28	46,90	32,18	12,15	53,23
	25%CN:75%CC	4,72	0,17 b	6,00	3,83	1,41	5,23	11,38	2,72	63,00	17,67	46,55	32,95	12,13	53,65
	75%CN:25%CC	4,63	0,19 b	6,40	3,35	1,28	4,63	11,30	2,62	103,50	18,17	43,05	29,40	11,30	56,93
CV(%)		2,46	24,83	13,27	24,40	29,01	25,36	11,84	13,51	16,02	17,51	15,41	15,27	18,89	12,72
10-20	Testemunha	4,70 ^{ns}	0,16 ^{ns}	6,00 ^{ns}	2,93 ^{ns}	0,89 ^{ns}	3,82 ^{ns}	10,00 ^{ns}	3,30 ^{ns}	57,00 ^{ns}	9,50 ^{ns}	39,70 ^{ns}	29,30 ^{ns}	8,90 ^{ns}	60,00 ^{ns}
	CC	4,68	0,13	5,52	2,84	0,99	3,83	9,58	2,86	90,40	6,76	42,44	29,66	10,38	57,58
	CN	4,74	0,14	5,36	2,93	0,94	3,87	9,53	3,28	110,20	10,24	43,08	30,40	9,60	56,66
	50%CN:50%CC	4,74	0,14	5,84	2,88	1,02	3,90	10,02	2,80	113,20	8,22	41,52	28,50	10,20	58,52
	25%CN:75%CC	4,67	0,12	5,23	3,22	0,99	4,21	9,63	3,18	80,50	12,05	45,82	33,55	10,20	54,35
	75%CN:25%CC	4,80	0,15	5,67	2,94	1,10	4,03	9,98	2,67	106,25	7,22	42,92	29,27	10,95	57,10
CV(%)		2,39	28,67	12,03	21,88	21,19	21,13	11,70	12,29	16,70	16,15	13,70	14,89	13,14	10,11
20-40	Testemunha	4,72 ^{ns}	0,12 ^{ns}	5,85 ^{ns}	2,43 ^{ns}	0,81 ^{ns}	3,23 ^{ns}	9,35 ^{ns}	3,00 ^{ns}	101,00 ^{ns}	4,43 ^{ns}	36,98 ^{ns}	25,65 ^{ns}	8,55 ^{ns}	62,95 ^{ns}
	CC	4,92	0,06	4,10	2,49	0,77	3,26	7,55	3,30	77,75	2,88	46,55	33,75	10,27	53,47
	CN	4,90	0,08	4,88	3,12	1,06	4,18	9,35	3,03	121,75	6,22	48,40	33,60	11,32	51,80
	50%CN:50%CC	4,88	0,12	5,55	3,07	0,99	4,06	9,90	3,07	110,75	4,65	43,70	30,83	10,00	56,25
	25%CN:75%CC	4,95	0,10	5,07	3,27	1,11	4,38	9,70	2,95	100,50	4,88	47,35	33,40	11,30	52,72
	75%CN:25%CC	4,85	0,12	5,67	3,00	1,03	4,02	9,95	2,90	102,75	4,92	42,98	30,05	10,33	57,10
CV(%)		2,79	39,49	17,52	20,60	19,95	19,83	15,36	11,75	16,02	17,05	12,06	13,54	12,04	9,62

ns – não significativo pelo teste F, a 5% de probabilidade. Médias acompanhadas por letras minúsculas não diferem entre si pelo teste de Scott Knott, a 5% de probabilidade.

Tabela 10. Variáveis químicas do solo após a aplicação de calcários nanoparticulado (CN) e convencional (CC) avaliados na colheita da cultura da soja estabelecida após o consórcio de milho com BRS Zuri.

Prof. cm	Tratamentos	pH	Al	H+Al	Ca	Mg	Ca+Mg	CTC	Ca/Mg	K	P	V	Ca/CTC	Mg/CTC	H+Al/CTC
		CaCl ₂	----- cmolc dm ⁻³ -----							-----mg dm ⁻³ -----					
0-10	Testemunha	4,50 ^{ns}	0,34 ^{ns}	6,45 ^{ns}	2,85 ^{ns}	1,30 ^{ns}	4,15 ^{ns}	10,72 ^{ns}	2,35 ^{ns}	55,50 ^{ns}	16,35 ^{ns}	40,15 ^{ns}	26,70 ^{ns}	12,17 ^{ns}	60,00 ^{ns}
	CC	4,45	0,39	6,70	2,36	0,96	3,32	10,13	2,50	46,50	12,30	34,27	23,50	9,55	65,85
	CN	4,70	0,20	5,85	3,46	1,36	4,82	10,80	2,57	56,25	17,43	46,57	32,40	12,80	53,57
	50%CN:50%CC	4,48	0,37	6,90	2,51	1,03	3,54	10,60	2,60	63,50	13,52	34,67	23,52	9,55	65,33
	25%CN:75%CC	5,03	0,16	4,97	4,06	1,49	5,55	10,60	2,67	41,33	13,10	52,67	37,80	13,83	47,53
	75%CN:25%CC	4,55	0,32	6,32	3,04	1,20	4,24	10,75	2,50	66,25	13,78	40,63	28,02	11,05	59,23
CV(%)		8,52	50,05	19,63	17,98	19,02	17,17	5,14	18,40	24,67	24,56	15,77	16,98	17,35	22,68
10-20	Testemunha	4,65 ^{ns}	0,21 ^{ns}	6,25 a	2,57 ^{ns}	1,08 ^{ns}	3,65 ^{ns}	10,13 ^{ns}	2,45 ^{ns}	85,25 ^{ns}	10,50 ^{ns}	38,58 ^{ns}	25,60 ^{ns}	10,72 ^{ns}	61,35 ^{ns}
	CC	4,42	0,43	6,45 a	2,10	0,76	2,85	9,47	2,82	63,25	7,68	32,42	22,63	8,08	67,42
	CN	4,80	0,21	5,20 b	2,81	1,01	3,82	9,18	2,80	67,00	10,75	43,85	30,80	11,18	56,30
	50%CN:50%CC	4,40	0,28	6,52 a	2,32	0,86	3,18	9,90	3,00	86,25	13,55	34,38	23,50	8,65	65,88
	25%CN:75%CC	4,97	0,08	4,90 b	3,39	1,25	4,64	9,67	2,67	63,33	7,93	48,90	34,43	12,77	51,47
	75%CN:25%CC	4,57	0,30	6,10 a	2,56	0,93	3,49	9,77	2,70	76,25	8,48	37,15	25,75	9,45	63,02
CV(%)		5,78	38,27	12,09	15,00	28,07	28,53	6,03	26,79	24,70	24,23	23,05	26,91	24,72	14,66
20-40	Testemunha	4,67 ^{ns}	0,12 ^{ns}	5,03 ^{ns}	2,20 ^{ns}	0,75 ^{ns}	2,94 ^{ns}	8,23 ^{ns}	2,98 ^{ns}	91,50 ^{ns}	3,00 ^{ns}	38,67 ^{ns}	26,72 ^{ns}	9,10 ^{ns}	61,00 ^{ns}
	CC	4,65	0,34	5,35	1,63	0,53	2,16	7,67	3,10	63,00	3,10	31,73	22,43	7,20	68,22
	CN	4,73	0,13	4,50	2,21	0,68	2,89	7,58	3,25	67,00	3,55	40,77	29,38	9,05	59,07
	50%CN:50%CC	4,73	0,16	4,60	1,85	0,61	2,46	7,27	3,27	88,25	3,40	38,15	26,35	8,57	62,05
	25%CN:75%CC	5,07	0,05	4,47	2,71	0,89	3,60	8,30	3,00	94,33	2,70	46,13	32,37	10,83	53,83
	75%CN:25%CC	4,60	0,14	5,13	2,05	0,67	2,72	8,05	3,05	84,00	2,40	35,90	25,10	8,20	64,18
CV(%)		5,30	45,02	20,52	29,02	20,94	26,37	10,58	19,06	19,81	36,98	24,12	27,44	20,07	14,55

ns – não significativo pelo teste F, a 5% de probabilidade. Médias acompanhadas por letras minúsculas não diferem entre si pelo teste de Scott Knott, a 5% de probabilidade.

CONCLUSÕES

- 1- A combinação entre os corretivos convencional e nanoparticulado proporcionaram as melhores respostas nos parâmetros do solo, juntamente com a dose exclusiva de corretivo convencional;
- 2- O emprego da combinação dos corretivos mostra-se promissor na redução do uso do insumo, gerando benefícios para toda a cadeia de cultivo e para o meio ambiente;
- 3- O tipo de sistema de cultivo interfere na atuação dos corretivos, solos mais ativos biologicamente apresentam respostas mais significativas;
- 4- Ambos corretivos sofrem efeitos do tempo e da profundidade sobre sua atuação, sendo responsivos com maior intensidade no início do período de cultivo e nas camadas superficiais;
- 5- Diante de todas as variáveis estudadas, o melhor tratamento para correção de áreas de abertura é a combinação entre 50% de corretivo convencional e 50% corretivo nanoparticulado; Esta dose, está de acordo com a recomendação do fabricante pelas características químicas do solo da área estudada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, R. E. M. et al. Corn yield, forage production and quality affected by methods of intercropping corn and *Panicum maximum*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, p. 170-176, 2018.
- BAMBOLIM, A. et al. Calcário líquido e calcário convencional na correção da acidez do solo. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 2, n. 3, p. 34-38, 2015.
- CAIRES, E. F. et al. Efeito em longo prazo na aplicação de gesso e calcário no Sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 495-505, 2014.
- CALEGARI, A. et al. Long-term effect of different soil management systems and winter crops on soil acidity and vertical distribution of nutrients in a Brazilian Oxisol. **Soil and Tillage Research**, v. 133, p. 32-39, 2013.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro RJ). **Sistema brasileiro de classificação dos solos**. Rio de Janeiro: Embrapa-SPI/Embrapa-CNPS, 2006. 306p.
- EMBRAPA - **Manual de métodos de análise de solo**. Teixeira, P. C. [et al.], Editores Técnicos. – 3. ed. rev. e ampl. – Brasília, DF: Embrapa, 2017. 574 p. il. color.
- FAQUIM, V. **Nutrição mineral de plantas**. Universidade Federal de Lavras–UFLA. 2005.
- GONÇALVES, J. R. P. et al. Granulometria e doses de calcário em diferentes sistemas de manejo. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 33, p. 369-375, 2011.
- HAMMERSCHMITT, R. K. et al. Limestone and gypsum reapplication in an oxisol under no-tillage promotes low soybean and corn yield increase under tropical conditions. **Soil and Tillage Research**, v. 214, p. 105165, 2021.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (2021/2022). **Estações e dados/dados meteorológicos**. Brasília, DF: INMET.
- JANUSCKIEWICZ, E. R. et al. Estrutura e valor nutritivo do capim BRS Zuri sob sombreamento. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 22, 2021.
- MENDONÇA, V. Z. et al. Liberação de nutrientes da palhada de forrageiras consorciadas com milho e sucessão com soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 183-193, 2015.
- MINATO, E. A. et al. Lime and gypsum application to low-acidity soils: Changes in soil

chemical properties, residual lime content and crop agronomic performance. **Soil and Tillage Research**, v. 234, p. 105860, 2023.

PARIZ, C.M. et al. Yield, chemical composition and chlorophyll relative content of Tanzania and Mombaça grasses irrigated and fertilized with nitrogen after corn intercropping. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, p. 728-738, 2011.

PRADO, R.M. & NATALE, W. Calagem na nutrição de cálcio e no desenvolvimento do sistema radicular da goiabeira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, p. 1007-1012, 2004.

RAIJ, B. V. et al. **Análise química para avaliação da fertilidade de solo tropicais**. Campinas: IAC, 2001.

SOBRAL, L. F. et al. **Guia Prático para Interpretação de Resultados de Análises de Solo**. EMBRAPA. 2015.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2004., 2004.

TESTONI, S. A. et al. Clay mineralogy of Brazilian Oxisols with shrinkage properties. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 41, 2017.

VIVIANI, C. A. et al. Disponibilidade de fósforo em dois latossolos argilosos e seu acúmulo em plantas de soja, em função do aumento do pH. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, p. 61-67, 2010.

CAPÍTULO II
Calcário nanoparticulado e convencional na silagem de milho solteiro e consorciado com *Panicum maximum* cv. BRS Zuri

Nanoparticulate and conventional limestone in maize silage intercropped with *Panicum maximum* cv. BRS Zuri

Resumo

Um dos principais fatores que limitam a produção agrícola é a acidez do solo. Para corrigir o produto mais comumente utilizado é o calcário. Porém, o tamanho da partícula e a reatividade do calcário são diretamente influentes no efeito de correção. Objetivou-se com esta pesquisa avaliar o desempenho produtivo de milho silagem, de *P. maximum* cv. Zuri e soja submetidos a calagem com calcários nanoparticulado e convencional isolados e em mistura. As combinações foram testadas nos cultivos milho solteiro-pousio-soja e milho consorciado com *Panicum maximum* cv. BRS Zuri-pastagem-soja, em Rio Verde, Goiás. Foram testados os tratamentos: testemunha sem correção; calcário convencional (100%CC); calcário nanoparticulado (100%CN); 50%CC:50%CN; 25%CN:75%CC; 75%CN:25%CC, aplicados de forma manual em superfície. Foi adotado o delineamento em blocos ao acaso com quatro repetições. Não foram observadas alterações nos teores foliares de nutrientes no milho, no rendimento de silagem e na qualidade da silagem entre tratamentos. Para a silagem de milho proveniente de consórcio com a forrageira foram observados maiores teores de proteína bruta, fibras, lignina, cinzas, cálcio, magnésio, potássio e pH e redução no teor de amido em relação a silagem do monocultivo. Os rendimentos de forragem colhidas junto com o milho silagem e na entressafra não difeririam entre tratamentos. O uso de calcário nanoparticulado isolado e em mistura promoveu maior rendimento de grãos de soja, em relação ao uso do calcário convencional e a testemunha sem correção no sistema de cultivo milho solteiro-pousio-soja.

Palavras-chave: Consórcio; Capim-Zuri, Nano Atom

INTRODUÇÃO

Um dos principais fatores que limitam a produção agrícola no mundo é a acidez do solo (NUNES-NESI et al. 2014; SINGH *et al.* 2017). O produto mais comumente utilizado para correção de acidez é o calcário, proveniente da moagem de rochas calcárias, calcita e dolomita, compostas por carbonato de cálcio (CaCO_3) e carbonato de magnésio (MgCO_3) (PRIMAVESI; PRIMAVESI, 2004). Sua eficiência agronômica está atrelada à capacidade de liberar OH^- (Poder de neutralização - PN) e a velocidade de liberação das hidroxilas (Reatividade - RE) (SBCS, 2017). A RE é dependente da granulometria e de acordo com o MAPA deve possuir 100% das partículas < 2,00mm de diâmetro, 70% < 0,84mm e 50% < 0,3mm (BRASIL, 2004; BRASIL, 2006).

A tecnologia Nano Atom, traz ao mercado, inovação na prática da calagem. O produto é um carbonato de cálcio e magnésio, que passa por um processo físico de moagem, e após um processo químico para a quebra de partículas, elevando o material a nível de nano-partículas de calcário, sendo 25% deste produto, têm partículas de diâmetro de 1 a 100 nanômetros (nm), e os 75% restantes 0,08 milímetros (mm). Com a introdução de menores partículas no corretivo, o efeito de reação sobre o pH do solo, neutralização de alumínio, e fornecimento de nutrientes, tende a ser potencializado, gerando aumento de produtividade, conforme observado por Ratke *et al.* (2021), que relataram que a cultura da soja submetida aos tratamentos com menores partículas de calcário foi mais produtiva.

Outra vantagem importante no uso do corretivo nanoparticulado é que possui o selo IBD, significando que o processo de produção não faz uso de substâncias químicas e ou transgênicas. Portanto, está em conformidade com as leis sanitária, ambiental e trabalhista nacionais. Ademais, o corretivo nanoparticulado em sua aplicação tem redução significativa na quantidade recomendada para a correção do solo, além do impacto direto nas práticas agrícolas tornando um produto que vai de encontro com as necessidades urgentes que é uma agricultura sustentável, diminuindo os impactos ambientais.

Durante seu desenvolvimento, o milho extrai os constituintes nutricionais necessários para todo o desenvolvimento, sendo encontrados na natureza, ou fornecidos no manejo de adubação e/ou pelo solo (COELHO; FRANÇA, 1995; MALAVOLTA, 2006). Torna-se necessário colocar à disposição da planta a quantidade total de nutrientes que ela extrai, os quais devem ser repostos no solo por meio de adubações corretivas (FRANÇA; COELHO, 2001). Dentre as plantas utilizadas para fazer silagem, o milho destaca-se não somente pela

facilidade de produção e uso, mas, principalmente, pela segurança da constância de fornecimento de alimento de alta qualidade (RESENDE, 1997).

O consórcio com forrageiras proporcionam para o solo melhorias na condição física e de fertilidade, além de servir como cobertura, diminuindo a incidência de plantas daninhas, a palha é usada como protetor do solo no plantio direto, e servir como fonte alimentar para bovinos no período de estiagem (ALVARENGA, *et al.* 2006).

As forrageiras do gênero *Panicum maximum* cv. BRS Zuri, são boa alternativa no manejo de sistema consorciado, uma vez que estas plantas têm grande agressividade de raiz, boa resistência a baixos regimes hídricos, bom desempenho em épocas de estiagem para cobertura de solo (BARDUCCI *et al.*, 2009). Entretanto, as cultivares da espécie *P. maximum* estão entre as mais exigentes em fertilidade do solo (JANK *et al.* 2010).

Por todos esses fatores, torna-se interessante avaliar o desempenho agrônômico do cultivo de milho solteiro e o consórcio de milho com *Panicum maximum* Cvcv. BRS Zuri, com diferentes fontes de corretivos de solo, com o intuito de verificar se realmente as menores partículas irão fornecer nutrientes para extração das culturas estudadas durante o ciclo, havendo maior produtividade. E qual a contribuição destes corretivos para a nutrição de plantas e a qualidade de silagem, visto que se trata de culturas altamente exigentes em fertilidade de solo.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi conduzida na área experimental do Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, Goiás, localizado na latitude 17°48'S e longitude 50°55'W, com altitude média de 748 metros. O clima da região é Aw, mesotérmico, tropical de savana, pela classificação de Köppen, com chuva no verão e seca no inverno. A pluviosidade acumulada no período experimental foi de 2873mm.

A área experimental estava formada com pastagem de capim-braquiária sem histórico de aplicação de corretivos nos últimos dez anos. Antes da semeadura, fez-se a dessecação da área quimicamente com o uso do herbicida glifosato (Glifosato Nortox) na dose de 2,88 kg ha⁻¹ + 2,4-D (2,4-D Nortox) na dose de 670 kg ha⁻¹, de forma tratorizada usando volume de calda a 200 litros ha⁻¹. A análise de solo na profundidade de 0-20cm antes do início dos ensaios apresentou pH (CaCl₂) de 4,5; Ca de 1,65 cmol_c dm⁻³; Mg de 0,41 cmol_c dm⁻³; Al³⁺ de 0,30 cmol_c dm⁻³; H+Al de 5,8 cmol_c dm⁻³; K de 0,27 cmol_c dm⁻³; P de 8,7 mg dm⁻³; T de 8,1 cmol_c dm⁻³; t de 2,6 cmol_c dm⁻³; V de 28,8%; saturação de alumínio de 11,4%; argila de 56,5%; silte de 10%; areia de 33,5% e matéria orgânica de 2,9 dag kg⁻¹.

Os experimentos foram iniciados no mês de setembro de 2021, com preparo do solo com operação com grade pesada, niveladora e calagem de acordo com recomendação, com corretivo convencional e nanoparticulado oriundo da tecnologia Nano Aton. Foram testados dois ensaios, sendo no primeiro o milho em monocultivo-pousio-soja e no outro ensaio milho consorciado com *Panicum maximum* cv. BRS Zuri-pastagem-soja. Ambos os ensaios foram conduzidos em blocos ao acaso contendo seis tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos da dose recomendada de corretivo dividida entre corretivo convencional e nanoparticulado, sendo: testemunha sem correção; calcário convencional (100%CC); calcário nanoparticulado (100%CN); 50%CC:50%CN; 25%CN:75%CC; 75%CN:25% CC. Os tratamentos foram aplicados a lanço e de forma manual em parcelas de 36m². A área útil foi considerada as três linhas centrais da cultura, desprezando um metro de bordadura de cada lado.

Os corretivos utilizados apresentaram as seguintes características: 85,5 e 92,9% de PN; 25 e 33,5% de Cálcio (CaO); e 17,4 e 13,2% de magnésio (MgO), sendo um calcário dolomítico (convencional) e corretivo nanoparticulado da tecnologia Nano Atom, respectivamente. Em ambos os experimentos para elevação da saturação de bases para 70% com bases nas características do corretivo convencional, necessitou aplicar uma dose de 6,17 t ha⁻¹ para o tratamento com 100% convencional e conforme recomendação do fabricante para o corretivo

nanoparticulado a recomendação foi aplicação de 30% da dose estabelecida para o corretivo convencional, sendo 1,851 t ha⁻¹.

A adubação em ambos os experimentos foi realizada conforme a recomendação para produção de silagem em solos de fertilidade média, buscando atingir 40 t ha⁻¹ de produtividade de massa ensilada (EMBRAPA, 2006). Desta forma, a adubação de base consistiu em 500 kg ha⁻¹ com fertilizantes NPK equivalentes a 100 pontos para fósforo e potássio, aplicados na linha da semeadora no momento do plantio. E, a adubação de cobertura consistiu em 391 kg ha⁻¹ de ureia (46% N), equivalendo a 180 pontos de nitrogênio, aplicada a lanço de forma manual, quando a cultura do milho estava em estágio vegetativo (V4).

O híbrido de milho semeado foi da empresa Sempre Sementes 20 A 44 Vip3, recomendado para produção de silagem na região de Rio Verde – GO, na safra verão. Foi semeado para atender a população de 64.000 mil plantas ha⁻¹. E, para o experimento consorciado com *Panicum maximum* BRS Zuri, as sementes da forrageira foram semeadas a lanço de forma manual, utilizando 4 kg ha⁻¹ de sementes puras viáveis com 80% de VC. Para o manejo de plantas daninhas dicotiledôneas em pós-emergência foi realizada aplicação do herbicida atrazine + óleo (Atrazine Nortox) na dose de 1.500 g ha⁻¹ em mistura com mesotrione (Callisto) na dose de 64 g ha⁻¹ aos 20 dias após o plantio (DAP) do milho. E, ainda controle de formiga, lagarta do cartucho, fungos e *Dalbulus maidis* (cigarrinha do milho). Os inseticidas aplicados foram teflubenzurom (Nomolt) na dose de 100 mL p.c. ha⁻¹ + clorpirifós (Capataz) na dose de 1000 mL p.c. ha⁻¹ aplicados em V3 e o inseticida acetamiprido + bifentrina (Sperto) na dose de 300 g p.c. ha⁻¹ aplicado em V5.

No florescimento do milho foram coletadas cinco folhas de plantas na área útil de cada parcela, sendo considerada a folha oposta e abaixo da espiga. Após a coleta, as folhas foram acondicionadas em sacos de papel e levadas para secagem em estufa de ventilação forçada de ar a 55°C por 72 horas. Para analisar a concentração de nutrientes, as folhas secas foram moídas em moinho tipo Wiley (peneira de 20 mesh) e a análise química dos elementos (N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn) contidos no material vegetal foram realizadas seguindo metodologias descritas por Malavolta *et al.* (1997).

A colheita do milho de ambos os experimentos foi realizada no dia 28 de março de 2022, e o momento da colheita do milho foi determinado quando os grãos de milho atingiram o estágio de farináceo-duro. Na área útil foram determinados a população de plantas de milho de cada parcela e os valores expressos em plantas por metro linear. As plantas inteiras de milho da área útil foram pesadas e o valor convertido para ton ha⁻¹ para determinação da produtividade de matéria seca total de milho. Na área útil foi retirada uma alíquota de cinco

plantas, sendo fracionadas em folhas, colmo, pendão, sabugo, palha e grãos, foram pesadas as partes e levadas para secagem em estufa de ventilação forçada de ar a 65°C por 72 horas, após a pesagem da massa seca foram determinadas as porcentagens de cada parte na massa seca total.

Para obter os dados de qualidade de silagem, as plantas colhidas na área experimental foram processadas em um picador mecânico. Logo após, as amostras foram colocadas em silos experimentais confeccionados com tubos de PVC com 10 cm de diâmetro e 50 cm de comprimento, contendo válvula de Bünsen para permitir o escape dos gases de fermentação. Com auxílio de um soquete de madeira, a massa vegetal foi compactada até atingir a densidade de 600 kg m⁻³. Os silos foram vedados com tampa e fita adesiva e armazenados em área coberta em temperatura ambiente por 90 dias, quando foram abertos. Após aberto, o material foi transferido para sacos de papel devidamente identificados e passou por secagem de 72 horas a 55°C em estufa de ventilação forçada. Foram determinados os teores de umidade, matéria seca, pH e os teores de proteína bruta, aminoácidos totais, cinzas, cálcio, fósforo, magnésio, potássio, enxofre, fibra em detergente ácido, fibra em detergente neutro, lignina e amido na matéria seca.

No ensaio de milho consorciado com *P. maximum* cv BRS Zuri, o capim foi colhido mecanicamente junto com o milho. No momento da colheita foram avaliados o número de touceiras por metro quadrado, o número de perfilhos por planta e o rendimento de matéria seca de capim em amostras de 2 m² por parcela. As amostras foram secas em estufa de circulação por 72 horas a 55°C e determinada a massa seca do capim. Após o período de entressafra, a rebrota do capim foi avaliada em 11 de outubro de 2022, sendo determinados o número de touceiras, perfilhos por planta, rendimento de matéria seca de capim, altura de plantas (AP), e porcentagem de área coberta pela forrageira *Panicum maximum* BRS Zuri, porcentagem de área coberta por plantas daninhas e área não coberta por vegetação.

Após a colheita do milho, a área de monocultivo ficou em pousio de março a outubro de 2022, e em novembro foi realizado o plantio da soja. No ensaio de consórcio, após a colheita do milho a área ficou com a pastagem de *P. maximum* BRS Zuri. Tanto a área de pousio quanto a de pastagem foram dessecadas em outubro de 2022 com glifosato na dose de 2,88 kg ha⁻¹, de forma tratorizada, usando 200 litros ha⁻¹ de calda.

Após a dessecação a soja foi semeada em plantio direto. Foi usada a cultivar DM68i69IPRO com a semeadura de 17 sementes por metro linear. A adubação foi realizada na linha do plantio, com 350 kg ha⁻¹ do formulado N-P-K (00-20-20). Aos 20 DAE foi realizado a aplicação de glifosato (Glifosato Nortox) na dose de 1,92 kg ha⁻¹ + haloxifope-R-metílico (Verdict Max) na dose de 0,108 kg ha⁻¹ para o controle de plantas daninhas. Também foi

aplicado a mistura pronta dos inseticidas tiametoxam + lambda-cialotrina (Engeo Pleno) na dose de 0,180 L p.c ha⁻¹ + óleo mineral (Agefix) na dose de 1,0% do volume de calda.

Na fase reprodutiva da soja foram aplicados os fungicidas trifloxistrobina + tebuconazol (Nativo) na dose de 0,5 L p.c ha⁻¹, epoxiconazol + fluxapirroxade + piraclostrobina (Ativum) na dose de 0,9 L p.c ha⁻¹ + óleo mineral (Agefix) na dose de 1,0% do volume de calda, piraclostrobina + epoxiconazol (Opera) na dose de 0,6 L p.c ha⁻¹, e picoxistrobina + ciproconazol (Approach Prima) na dose de 0,290 l L p.c ha⁻¹. E o inseticida espiromesifeno (Oberon) na dose de 0,400 L p.c ha⁻¹.

Na soja foram avaliados, no momento da colheita, o número de plantas na área útil, sendo expresso em plantas por metro linear. Do total de plantas colhidas na área útil por repetição, foram selecionadas aleatoriamente dez plantas e determinado o número de vagens total da planta, número de grãos por vagem, massa de mil grãos, corrigido a 13% de umidade e produtividade mensurada por meio da massa total dos grãos colhidos na área útil de cada parcela, corrigido para 13% de umidade, transformando-se o resultado para kg ha⁻¹.

Os dados foram submetidos a análise de resíduos para verificação da homogeneidade das variâncias e normalidades dos resíduos. Posteriormente, foi realizada a análise de variância, usando o teste F, e quando significativos foi usado o teste de Scott Knott. A taxa de erro adotada foi de 5%.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados referentes aos teores de nutrientes foliares no monocultivo de milho e no consórcio deste com a forrageira *P. maximum* BRS Zuri avaliados no florescimento da cultura não apresentaram diferenças estatísticas em função dos tratamentos (Tabela 1). De acordo com Malavolta et al. (1997), os micronutrientes: cobre, ferro, manganês e zinco, e os macronutrientes nitrogênio e enxofre, estão dentro da média de valores preconizados para atender as exigências nutricionais da cultura do milho (Tabela 1).

Para o fósforo e o potássio, todos os tratamentos apresentaram valores abaixo do nível crítico recomendado para cultura para os dois sistemas de cultivo (Tabela 1). Os mecanismos de adsorção de P nos solos são afetados principalmente pela competição com outros ânions e pelo pH, sendo este último, um dos fatores mais importantes neste fenômeno (VIVIANI, et al. 2010). Acredita-se que pelo solo da área inicialmente estar com pH baixo (4,5), o fósforo fornecido pela adubação, tornou-se menos disponível para as plantas refletindo nos baixos teores observados nas folhas.

O calcário é a principal fonte de fornecimento de cálcio e magnésio para a cultura. Para o nutriente cálcio, o valor encontrado, está acima do máximo preconizado para a cultura do milho (Malavolta et al., 1997). Já o magnésio apresentou valores abaixo dos níveis críticos considerados adequados, independente dos tratamentos e dos sistemas de cultivo. Acredita-se que o excesso de cálcio no solo tenha relação com o resultado de magnésio e potássio estarem abaixo do nível crítico para maioria dos tratamentos, uma vez que, cálcio, magnésio e potássio, competem entre si por sítios de absorção (MALAVOLTA et al. 1997).

Resultados semelhantes a estes foram encontrados por Caires et al. (2004), onde estudaram diferentes formas de aplicação de calcário (em superfície e incorporado), e não encontraram diferença entre os níveis nutricionais na folha do milho para os seguintes macronutrientes: nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre. Os resultados obtidos corroboram também com os resultados encontrados por Tisse et al. (2004), que trabalharam com calagem em diferentes profundidades, e não encontraram diferença na análise foliar para os nutrientes: nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, cobre e manganês. Caires et al. (2006) trabalhando com diferentes doses de calcário em superfície não encontraram diferenças na análise foliar para os nutrientes: fósforo, potássio, cálcio, magnésio e manganês.

Para o micronutriente boro, os níveis estão adequados nos tratamentos 100%CC, 50%CC:50%CN e 75%NN25%CC, e acima do máximo preconizado para os tratamentos testemunha 100%NN e 75%CC:25%CN (MALAVOLTA et al. 1997).

Tabela 1. Níveis foliares de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) avaliados no florescimento do milho tratado com calcário nanoparticulado (NN) e convencional (CC)

Variáveis	Tratamentos						CV%
	100% NN	100% CC	50% NN 50% CC	75% CC 25% NN	75%NN 25% CC	Testemunha	
Monocultivo de milho							
N (g kg ⁻¹)	29,77 ^{ns}	31,10	30,10	29,93	31,42	31,07	4,84
P (g kg ⁻¹)	1,95 ^{ns}	2,03	1,85	1,75	1,95	1,90	11,04
K (g kg ⁻¹)	17,75 ^{ns}	18,50	17,23	18,40	17,75	17,60	12,36
Ca (g kg ⁻¹)	4,05 ^{ns}	4,55	4,55	4,30	3,85	4,08	16,01
Mg (g kg ⁻¹)	1,50 ^{ns}	1,80	1,57	1,63	1,50	1,47	23,11
S (g kg ⁻¹)	1,92 ^{ns}	1,97	1,95	1,95	1,87	1,97	6,93
B (mg kg ⁻¹)	21,55 ^{ns}	16,19	15,10	15,86	17,18	19,47	19,52
Cu (mg kg ⁻¹)	7,62 ^{ns}	8,64	7,85	7,60	7,98	8,09	9,55
Fe (mg kg ⁻¹)	144,84 ^{ns}	148,01	138,21	134,45	138,85	132,63	10,88
Mn (mg kg ⁻¹)	137,86 ^{ns}	135,00	134,92	106,01	130,36	146,34	18,43
Zn (mg kg ⁻¹)	28,15 ^{ns}	26,83	25,18	21,62	28,96	26,36	16,89
Milho consorciado com <i>Panicum maximum</i> cv. BRS Zuri							
N (g kg ⁻¹)	29,15 ^{ns}	28,40	26,68	29,13	29,82	28,03	5,13
P (g kg ⁻¹)	1,90 ^{ns}	1,95	1,82	2,03	1,92	1,82	8,14
K (g kg ⁻¹)	16,43 ^{ns}	16,20	17,00	16,55	17,72	18,38	10,00
Ca (g kg ⁻¹)	4,35 ^{ns}	4,32	4,20	4,63	4,40	4,10	11,27
Mg (g kg ⁻¹)	1,60 ^{ns}	1,70	1,40	1,97	1,88	1,65	31,24
S (g kg ⁻¹)	2,03 ^{ns}	1,97	1,85	1,95	1,97	1,92	7,82
B (mg kg ⁻¹)	22,87 ^{ns}	19,60	22,90	22,77	18,28	21,10	26,53
Cu (mg kg ⁻¹)	7,74 ^{ns}	8,96	6,92	7,35	8,02	7,72	17,20
Fe (mg kg ⁻¹)	112,62 ^{ns}	126,37	106,67	121,65	134,49	126,20	11,07
Mn (mg kg ⁻¹)	124,07 ^{ns}	124,54	123,57	156,27	139,88	104,62	27,74
Zn (mg kg ⁻¹)	24,85 ^{ns}	27,03	22,82	27,48	26,89	21,64	15,04

ns – não significativo pelo teste.

Considerando a população de milho, no momento da silagem e a produção de massa seca total do milho e seus componentes estruturais, quando cultivado em monocultivo não foram observadas diferenças estatísticas entre as combinações de calcários utilizadas (Tabela 2). Em relação ao consórcio foi verificada diferenças estatísticas apenas para a proporção de folhas na massa seca a ser ensilada, e os maiores valores foram encontrados para os tratamentos 75%CN:25%CC, 100%NN e a testemunha, todavia, estas diferenças nas frações foliares não proporcionaram aumento do rendimento de silagem (Tabela 2). Para o consórcio entre o milho e o capim não foram observadas diferenças estatísticas para as proporções de sabugo, palha, grão, colmo, pendão e para a população de plantas. A ausência de efeitos também foi encontrada por Tissi *et al.* (2004), que em pesquisa com diferentes doses de calcário convencional em superfície, não obtiveram incremento na produtividade do milho, independente da dosagem utilizada, demonstrando que este comportamento pode estar associado a forma de aplicação do calcário feito a lanço em cobertura. Destarte, mesmo com o alto índice pluviométrico ocorrido no período experimental (), os tratamentos com os corretivos convencional e nanoparticulado para a variável rendimento total da silagem em ambos os ensaios equivaleram à testemunha.

Especificamente para o consórcio de milho com a forrageira *P. maximum* cv. BRS Zuri os resultados das variáveis número de touceiras por m², número de perfilhos por planta e massa seca da forrageira são apresentados na Tabela 2. Na avaliação feita na colheita do milho não foram observados efeitos para estas variáveis, em função dos tratamentos. Vale ressaltar, que o rendimento forrageiro da cultivar BRS Zuri foi considerado elevado em consórcio, situando-se na faixa de 4,3 a 5,9 ton ha⁻¹ (Tabela 2), representando quase 30% do rendimento forrageiro do milho (Tabela 1). A adição de forrageira na massa ensilada do milho pode contribuir com alterações de valores de qualidade de silagem, quando comparados com o milho solteiro. Na avaliação da forrageira resultante da colheita do milho silagem, feita no final da entressafra, nota-se que houve diferença estatística somente para variável número de touceiras por m² (Tabela 2), apresentando menor valor na área tratada com corretivo convencional em relação à testemunha. Valores intermediários foram observados para as misturas de calcário convencional e nanoparticulado. Para as variáveis número de perfilhos, rendimento forrageiro, altura de plantas, porcentagem de área coberta pela forrageira, porcentagem de área coberta por plantas daninhas e área não coberta por vegetação, foram estatisticamente semelhantes. Apesar de não ocorrer diferenças estatísticas na área coberta por plantas daninhas, os valores foram considerados baixos, demonstrando a contribuição da palhada da forrageira na supressão de plantas daninhas, conforme observado por Silva *et al.* (2009) e Correa *et al.* (2013).

Tabela 2. Proporções de sabugo, palha, grão, folha, colmo, pendão, rendimento de silagem (RS) e população de plantas de milho tratado com calcário nanoparticulado (NN) e convencional (CC).

Variáveis	Tratamentos						CV%
	100% NN	100% CC	50% NN 50% CC	75% CC 25% NN	75% NN 25% CC	Testemunha	
Monocultivo de milho							
Sabugo (%)	8,40 ^{ns}	9,00	9,18	10,72	10,31	10,12	18,08
Palha (%)	12,83 ^{ns}	10,10	11,12	11,29	10,17	10,64	29,68
Grão (%)	35,99 ^{ns}	38,46	33,34	33,81	36,94	34,20	18,82
Folha (%)	21,87 ^{ns}	18,08	22,48	20,42	17,47	18,63	18,42
Colmo (%)	19,95 ^{ns}	23,11	22,63	22,53	23,83	24,92	9,72
Pendão (%)	0,97 ^{ns}	1,25	1,25	1,22	1,29	1,49	20,20
RS (kg ha ⁻¹)	19.753,86 ^{ns}	16.663,58	16.891,97	19.381,69	19.107,25	17.180,55	26,02
População (plantas m ⁻¹)	2,63 ^{ns}	2,50	2,54	2,50	2,71	2,63	13,92
Milho consorciado com <i>Panicum maximum</i> cv. BRS Zuri							
Sabugo (%)	9,60 ^{ns}	8,65	10,20	9,11	8,28	9,69	16,24
Palha (%)	7,60 ^{ns}	9,72	8,00	8,50	6,33	8,16	18,91
Grão (%)	29,88 ^{ns}	29,43	29,19	32,45	28,46	29,11	8,84
Folha (%)	26,35 ab	22,21 bc	19,81 c	21,61 bc	28,09 a	24,93 abc	10,48
Colmo (%)	25,34 ^{ns}	28,47	31,37	27,07	27,46	26,81	9,16
Pendão (%)	1,24 ^{ns}	1,52	1,42	1,26	1,38	1,30	23,07
RS (kg ha ⁻¹)	14.867,34 ^{ns}	14.258,60	15.967,54	16.820,08	14.915,95	13.946,14	19,78
População (plantas m ⁻¹)	2,50 ^{ns}	2,67	2,42	3,08	2,58	2,38	14,00

ns – não significativo pelo teste F. Médias acompanhadas por letras minúsculas não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Tabela 3. Número de touceiras, perfilhos, rendimento forrageiro (RF), altura de plantas (AP), e porcentagem de área coberta pela forrageira (ACF) *Panicum maximum* BRS Zuri, porcentagem de área coberta por plantas daninhas (ACPD), área não coberta (ANC) por vegetação no ensaio de milho consorciado com *Panicum maximum* BS Zuri tratado com calcário nanoparticulado (NN) e convencional (CC).

Variáveis	Tratamentos					Testemunha	CV %
	100% NN	100% CC	50% NN 50% CC	75% CC 25% NN	75% NN 25% CC		
Avaliação feita na colheita do milho							
Touceiras (n. m ⁻²) ^{1/}	4,13 ^{ns}	2,75	2,88	2,75	4,00	3,75	21,25
Perfilhos (n. por planta)	14,01 ^{ns}	14,69	15,88	17,00	13,63	13,72	23,62
RF (kg ha ⁻¹)	5.885,45 ^{ns}	5.830,63	4.368,41	5.986,59	5.495,23	4.608,35	27,67
Avaliação feita no final da entressafra em 11/10/2022							
Touceiras (n. m ⁻²)	3,25 ab	2,63 b	3,50 ab	3,50 ab	3,75 a	3,75 a	11,79
Perfilhos (n. por planta)	18,58 ^{ns}	19,44	18,36	17,71	18,43	16,20	17,67
RF (kg ha ⁻¹)	2.957,07 ^{ns}	2.504,00	3.409,63	3.129,90	2.928,89	2.691,35	27,41
AP (cm)	74,88 ^{ns}	72,63	79,38	78,38	78,75	80,63	8,38
ACF (%)	88,75 ^{ns}	85,00	92,50	92,50	85,00	87,50	6,68
ACPD (%) ^{1/}	1,25 ^{ns}	1,25	1,25	0	1,25	0	43,15
ANC (%) ^{1/}	10,00 ^{ns}	13,75	6,25	7,50	13,75	12,50	26,35

ns – não significativo pelo teste F. Médias acompanhadas por letras minúsculas não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. ^{1/} variáveis transformadas em $\sqrt{x + 0,5}$ para análise.

Os dados de qualidade da silagem de milho cultivado solteiro e em consórcio com a forrageira *P. maximum* cv. BRS Zuri estão apresentados nas Tabelas 3 e 4, respectivamente. Não foram observados efeitos significativos em ambos os ensaios para as variáveis: nível de umidade, matéria seca, proteína bruta (PB), aminoácidos totais, fibra em detergente ácido (FDA), fibra em detergente ácido (FDN), lignina, amido, extrato etéreo, cinzas, cálcio, fósforo, magnésio, potássio, enxofre e pH da silagem em função dos tratamentos.

De acordo com Jobim e Nussio (2014), a qualidade da silagem é influenciada por fatores que podem alterar a extensão e padrões de fermentação. De forma geral, observa-se que no sistema consorciado a adição do capim na massa ensilada promoveu aumento nos valores de algumas variáveis bromatológicas em relação ao monocultivo de milho, notadamente para PB, FDA, FDN, lignina, cinzas, cálcio, magnésio, potássio e pH e redução no valor do amido (Tabelas 3 e 4). Aumento dos valores em silagens de capins foram reportados por outros autores como Rezende *et al.* (2014) para FDN, FDA e lignina, Januszkiewicz *et al.* (2021) para FDN, Rodrigues *et al.* (2002) para amido, Borghi *et al.* (2006) para PB, FDA e FDN, Ferreira *et al.* (2001), Vitória *et al.* (2017), Lopes *et al.* (2021) e Jobim (2007) para aumentos de pH, Henriques *et al.* (2006) para cinzas, Barcelos *et al.* (2018) para cálcio e fósforo e Oliveira *et al.* (2010) para magnésio.

Não foram observados efeitos dos tratamentos para as variáveis da soja cultivada em sucessão referentes à população de plantas, vagens por planta, grãos por vagem e peso de mil grãos em ambos os ensaios e para o rendimento de grãos no ensaio que envolveu a sequência de cultivo milho consorciado com *P. maximum*-pastagem-soja (Tabela 5). Para monocultivo de milho-pousio-soja foi observado aumento da produtividade de soja nos tratamentos que submetidos ao calcário nanoparticulado e a sua mistura com calcário convencional (75%CC:25%CN, 50%CN:50%CC e 75%CN:25%CC) em relação ao calcário convencional isolado e a testemunha, que foram estatisticamente diferentes (Tabela 5). Desta forma, observa-se após um ano da aplicação do calcário nanoparticulado, que produtos com maior solubilidade e mobilidade podem se tornar boa alternativa no aumento da produtividade da cultura, principalmente pelo fornecimento de cálcio e magnésio (FIRMANO *et al.*, 2017). Entretanto, ressalta-se que para substituir o método convencional de calagem, o produto nanoparticulado precisa corrigir a acidez do solo e melhorar suas condições químicas e físicas por período mais longo, favorecendo o aumento da produção e tornando a aplicação economicamente viável (SOUSA; MIRANDA; OLIVEIRA, 2007).

Tabela 4. Níveis de umidade, matéria seca, proteína bruta, aminoácidos totais, fibra em detergente ácido (FDA), fibra em detergente ácido (FDN), lignina, amido, extrato etéreo, cinzas, cálcio, fósforo, magnésio, potássio, enxofre e pH da silagem de milho cultivado em área tratada com calcário convencional (CC) e nanoparticulado (NN).

Variáveis	Tratamentos							Testemunha	CV%	
	100% NN	100% CC	50%NN	50%CC	75%CC	25%NN	75%NN			25%CC
Umidade (%)	5,00 ^{ns}	4,72	4,63		4,76		5,51		4,89	8,85
Matéria seca (%)	95,01 ^{ns}	95,03	95,38		95,24		94,49		95,11	0,50
Proteína bruta (% MS)	8,58 ^{ns}	8,44	8,62		8,85		8,50		8,37	6,67
Aminoácidos totais (% MS)	6,71 ^{ns}	6,38	6,47		6,75		6,86		6,49	5,90
FDA (% MS)	29,58 ^{ns}	27,60	30,47		31,27		26,65		29,60	10,04
FDN (% MS)	48,62 ^{ns}	45,79	50,62		51,58		44,21		48,57	8,62
Lignina (% MS)	5,69 ^{ns}	5,46	5,98		6,10		5,31		5,72	9,89
Amido (% MS)	22,75 ^{ns}	27,12	21,33		18,76		27,91		23,04	22,70
Extrato etéreo (% MS)	1,82 ^{ns}	1,87	1,35		1,70		1,77		1,83	19,44
Cinzas (% MS)	6,50 ^{ns}	6,39	6,32		6,76		6,27		6,41	5,86
Cálcio (% MS)	0,24 ^{ns}	0,22	0,24		0,25		0,22		0,23	9,43
Fósforo (% MS)	0,20 ^{ns}	0,20	0,20		0,21		0,21		0,20	4,83
Magnésio (% MS)	0,17 ^{ns}	0,16	0,17		0,18		0,17		0,17	5,95
Potássio (% MS)	1,23 ^{ns}	1,17	1,23		1,25		1,15		1,22	5,50
Enxofre (% MS)	0,10 ^{ns}	0,10	0,11		0,11		0,10		0,10	6,54
pH	4,06 ^{ns}	4,17	4,18		4,15		4,06		4,08	1,76

ns - não significativo pelo teste F, a 5% de probabilidade.

Tabela 5. Níveis de umidade, matéria seca, proteína bruta, aminoácidos totais, fibra em detergente ácido (FDA), fibra em detergente ácido (FDN), lignina, amido, extrato etéreo, cinzas, cálcio, fósforo, magnésio, potássio, enxofre e pH da silagem de milho consorciado com *Panicum maximum* BRS Zuri em área tratada com calcário convencional (CC) e nanoparticulado (NN).

Variáveis	Tratamentos								Testemunha	CV%
	100% NN	100% CC	50%NN 50%CC	75%CC 25%NN	75%NN 25%CC					
Umidade (%)	5,05 ^{ns}	4,74	4,76	5,16	4,79	5,00	5,95			
Matéria seca (%)	94,95 ^{ns}	95,31	95,24	94,84	95,21	95,00	0,30			
Proteína bruta (% MS)	9,91 ^{ns}	9,09	9,31	9,91	9,42	9,79	6,41			
Aminoácidos totais (% MS)	7,59 ^{ns}	7,45	6,98	7,46	7,16	7,40	8,88			
FDA (% MS)	42,97 ^{ns}	45,29	42,66	41,68	44,37	42,27	5,87			
FDN (% MS)	59,78 ^{ns}	62,83	59,03	58,64	61,98	58,79	5,62			
Lignina (% MS)	8,55 ^{ns}	9,14	8,61	8,27	9,00	8,50	7,34			
Amido (% MS)	4,37 ^{ns}	3,48	5,56	5,27	3,78	5,15	37,02			
Extrato etéreo (% MS)	1,89 ^{ns}	1,89	1,60	1,76	1,71	1,75	8,12			
Cinzas (% MS)	10,16 ^{ns}	10,34	9,66	9,38	9,92	9,54	6,92			
Cálcio (% MS)	0,44 ^{ns}	0,40	0,39	0,43	0,43	0,41	8,74			
Fósforo (% MS)	0,27 ^{ns}	0,27	0,26	0,27	0,25	0,27	5,25			
Magnésio (% MS)	0,26 ^{ns}	0,24	0,24	0,26	0,25	0,24	12,10			
Potássio (% MS)	2,48 ^{ns}	2,64	2,40	2,14	2,38	2,34	9,71			
Enxofre (% MS)	0,16 ^{ns}	0,16	0,14	0,15	0,15	0,15	5,74			
pH	4,42 ^{ns}	4,62	4,56	4,34	4,55	4,36	2,75			

ns - não significativo pelo teste F, a 5% de probabilidade.

Tabela 6. População de plantas, vagens por planta, grãos por vagem, rendimento de grãos (RG) e peso de mil grãos (PMG) de soja cultivada em áreas de monocultivo de milho e de consórcio deste com *Panicum maximum* cv. BRS Zuri tratadas com calcário nanoparticulado (NN) e convencional (CC).

Variáveis	Tratamentos						CV%
	100% NN	100% CC	50%NN 50%CC	75%CC 25%NN	75%NN 25%CC	Testemunha	
Área de monocultivo de milho							
População (plantas m ⁻¹)	15,50 ^{ns}	15,46	16,83	15,29	15,50	16,13	12,46
Vagens por planta	52,95 ^{ns}	47,60	44,20	48,15	46,55	49,20	16,32
Grãos por vagem	2,01 ^{ns}	2,13	2,32	2,35	2,29	2,13	12,95
RG (kg ha ⁻¹)	4.558,31 abc	4.203,56 bc	4.419,41 abc	4.850,87 ab	5.223,57 a	3.600,87 c	9,84
PMG (g)	145,66 ^{ns}	159,13	159,34	157,70	163,19	154,86	6,85
Área de milho consorciado com <i>Panicum maximum</i> cv. BRS Zuri							
População (plantas m ⁻¹)	14,50 ^{ns}	14,75	14,92	13,79	13,54	14,83	7,41
Vagens por planta	47,90 ^{ns}	44,40	42,15	46,50	47,05	45,40	16,49
Grãos por vagem	2,11 ^{ns}	1,96	2,01	1,87	2,05	2,20	11,37
RG (kg ha ⁻¹)	4.184,47 ^{ns}	3.526,47	4.348,35	4.795,33	4.017,00	3.226,73	18,53
PMG (g)	174,99 ^{ns}	166,08	161,51	195,12	161,03	159,41	9,18

ns – não significativo pelo teste F. Médias acompanhadas por letras minúsculas não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

CONCLUSÃO

- 1- O uso do calcário nanoparticulado e as misturas com o calcário convencional não alterou os teores foliares de nutrientes no milho;
- 2- Não houve aumento do rendimento total de silagem de milho e nem alterações da qualidade da silagem em função dos tratamentos;
- 3- O uso dos tratamentos corretivos não alterou o rendimento da forrageira *P. maximum* cv. BRS Zuri quando consorciada com milho ou estabelecida no período de entressafra;
- 4- Para o sistema de monocultivo de milho, o rendimento de grãos da cultura da soja cultivada em sucessão foi maior nos tratamentos que envolveram o uso do calcário nanoparticulado isolado ou em mistura com calcário convencional.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA FILHO, S. L. et al. Características agronômicas de cultivares de milho (*Zea mays*, L.) e qualidade dos componentes e silagem. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 28, n. 1, p. 7-13, 1999.
- ALVARENGA, R. C. et al. Cultura do milho na integração lavoura-pecuária. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.27, n.233, p.106-126. 2006.
- BARCELOS, A. F et al. Valor nutritivo e características fermentativas da silagem de capim-elefante com diferentes proporções de casca de café. **Ciência Animal Brasileira**, Goiânia, v.19, p.1-12, 2018.
- BERNARDI, A. C. C. et al. Fertilidade do solo e demanda por nutrientes no Brasil. In: MANZATTO, C. M. et al. **Uso agrícola dos solos brasileiros**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 2002. p. 61-77.
- BORGHI, E.; CRUSCIOL, C. A. C. Produtividade de milho, espaçamento e modalidade de consorciação com *Brachiaria brizantha* no SPD. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 42, n. 2, p. 163-171, 2007.
- CAIRES, E. F. et al. Calagem superficial e cobertura de aveia preta antecedendo os cultivos de milho e soja em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 30, p. 87-98, 2006.
- CAKMAK, I.; YAZICI, A. M. **Magnésio: um elemento esquecido na produção agrícola**. **Informações Agronômicas**, nº 132, dez. 2010, p. 14-16.
- COELHO, A. M. Correção da acidez do solo e equilíbrio cálcio e magnésio em cultivos sucessivos de milho e feijão sob irrigação. In: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA DE MILHO E SORGO, 20., 1994, Goiânia. **Resumos...** Goiânia: ABMS/EMGOPA / EMATER-GO; Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS, 1994. p.123.
- CORREIA, N. B. et al. Consórcio de milho com *Urochloa ruziziensis* e os efeitos na cultura da soja em rotação. **Bioscience Journal**, v. 29, n. 1, p. 65-76, 2013.
- COSTA, R. L. D.; FONTES, R. S. Ácidos graxos na nutrição e reprodução de ruminantes. **PUBVET**, Londrina, V. 4, N. 24, Ed. 129, Art. 873, 2010.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro RJ). **Sistema brasileiro de classificação dos solos**. Rio de Janeiro: Embrapa-SPI/Embrapa-CNPS, 2006. 306p
- FERREIRA. A. C. B. et al. Características agronômicas e nutricionais do milho adubado com nitrogênio, molibdênio e zinco. **Scientia Agrícola**, Piracicaba-SP, V.58, N. 1, 2001.

- FIRMANO, R. F. et al. Fontes com cálcio e magnésio nos atributos químicos de um latossolo e na produtividade da soja. **Scientia Agraria Paranaensis**, Cascavel, v. 16, n. 1, p. 27-31, 2017.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (2021/2022). **Estações e dados/dados meteorológicos**. Brasília, DF: INMET.
- JANUSCKIEWICZ, E. R. et al. Estrutura e valor nutritivo do capim BRS Zuri sob sombreamento. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**. v. 22, e2122122021, 2021.
- JOBIM, C. C. et al. Avanços metodológicos na avaliação da qualidade da forragem conservada. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, p. 101-119, 2007.
- LOPES, F. C. F. et al. Composição química e perfil de ácidos graxos do BRS Capiacu ensilado em diferentes idades de rebrota. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 42, n. 3, suplemento 1, p. 1981-2004, 2021.
- MALAVOLTA, E. et al. **Avaliação do estado nutricional das plantas: Princípios e aplicações**. Piracicaba: Potafos, 1997. p.115-230.
- OLIVEIRA, L. B. et al. Perdas e valor nutritivo de silagens de milho, sorgo- -sudão, sorgo forrageiro e girassol. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.39, n.1, p.61-67, 2010.
- RESENDE, H. A. Produção de milho para silagem. In: DIAS, J. C.; COSTA, J. L. (Org.) **Forragens para o gado leiteiro**. São Paulo: Tortuga; Juiz de Fora: Embrapa–CNPGL,1997. p. 17-25
- SILVA, A. C. et al. Produção de palha e supressão de plantas daninhas por plantas de cobertura, no plantio direto do tomateiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 1, p. 22-25, 2009.
- SOUSA, D. M. G. et al. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R. F. et al. (Ed.). **Fertilidade do solo**. 1. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 205-274.
- TISSI, J. A. et al. Efeitos da calagem em semeadura direta de milho. **Bragantia**, Campinas, v. 63, n. 3, p. 405-413, 2004.

