

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

**CORRETIVO NANOPARTICULADO APLICADO NO MILHO
SOLTEIRO E CONSORCIADO COM *Urochloa brizantha* cv.
Piatã**

Autor: Gustavo Dorneles de Sousa
Orientador: Prof. Dr. Adriano Jakelaitis

Rio Verde – GO
Maio – 2024

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

**CORRETIVO NANOPARTICULADO APLICADO NO MILHO
SOLTEIRO E CONSORCIADO COM *Urochloa brizantha* cv.
Piatã**

Autor: Gustavo Dorneles de Sousa
Orientador: Prof. Dr. Adriano Jakelaitis

Dissertação apresentada, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Ciências Agrárias – Agronomia, ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Campus Rio Verde. Área de Concentração Produção Vegetal Sustentável no Cerrado

Rio Verde – GO
Maio – 2024

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

Sousa, Gustavo Dorneles
SSO725 CORRETIVO NANOPARTICULADO APLICADO NO MILHO
c SOLTEIRO E CONSORCIADO COM *Urochloa brizantha* cv.
 Piatã / Gustavo Dorneles Sousa; orientador Adriano
 Jakelaitis. -- Rio Verde, 2024.
 34 p.

Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) --
Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, 2024.

1. *Zea mays*. 2. Nanopartículas. 3. Calagem. 4.
Sistemas integrados. I. Jakelaitis, Adriano, orient.
II. 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)

Dissertação (mestrado)

Monografia (especialização)

TCC (graduação)

Artigo científico

Capítulo de livro

Livro

Trabalho apresentado em evento

Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor:

Matrícula:

Título do trabalho:

RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial: Não Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: / /

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 inclusos 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.

Documento assinado digitalmente
 **GUSTAVO DORNELES DE SOUSA**
Data: 15/08/2024 10:52:28-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Local

/ /
Data

Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Ciente e de acordo:

Assinatura do(a) orientador(a):

Documento assinado digitalmente



ADRIANO JAKELAITIS

Data: 15/08/2024 18:29:30-0300

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



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

Documentos 31/2024 - SREPG/CMPR/CPG-RV/DPGPI-RV/CMPRV/IFGOIANO

**CORRETIVO NANOPARTICULADO APLICADO NO MILHO SOLTEIRO E CONSORCIADO
COM *Urochloa brizantha* cv. Piatã**

Autor: Gustavo Dorneles de Sousa

Orientador: Dr. Adriano Jakelaitis

TITULAÇÃO: Mestre em Ciências Agrárias-Agronomia - Área de Concentração em Produção Vegetal Sustentável no Cerrado

APROVADA em, 17 de maio de 2024.

Prof. Dr. Adriano Jakelaitis (Presidente)

Prof. Dr. Carlos Henrique de Lima e Silva (Avaliador externo)

Prof. Dr. Marconi Batista Teixeira (Avaliador interno)

Documento assinado eletronicamente por:

- Carlos Henrique de Lima e Silva, 2023102343960002 - Discente, em 17/05/2024 18:27:00.
- Marconi Batista Teixeira, COORDENADOR(A) DE CURSO - FUC0001 - CCMDAGRO-R, em 17/05/2024 17:40:10.
- Adriano Jakelaitis, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 17/05/2024 15:33:05.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 15/05/2024. 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: 600776
Código de Autenticação: 12fd02558c



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 primeiramente a Deus, por me conceder sabedoria e saúde para concluir essa fase.

Aos meus pais Jean Carlos e Maria Helena, aos irmãos Ana Clara e Guilherme, a minha esposa Janiffer, familiares e amigos, por todo apoio e confiança.

Ao laboratório de plantas daninhas por todo o suporte.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Campus Rio Verde, e a todos os funcionários e colaboradores que tive a oportunidade de conhecer, conviver e aprender durante os anos de pós-graduação, em especial ao meu orientador, Prof. Dr. Adriano Jakelaitis, e aos integrantes do laboratório de plantas daninhas. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pela concessão da bolsa de estudos.

Muito obrigado!

BIBLIOGRAFIA DO AUTOR

Gustavo Dorneles de Sousa, nascido em Rio Verde – GO, em 24 de maio de 1998. Graduado em Agronomia no ano de 2019 pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Campus Rio Verde. Nos anos de 2020 e 2021, vinculou-se ao mercado de trabalho. Em agosto de 2022, ingressou no Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias – Agronomia sob a orientação do Prof. Dr. Adriano Jakelaitis.

ÍNDICE GERAL

LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES	8
RESUMO.....	10
ABSTRAT	11
1. INTRODUÇÃO	12
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	14
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	18
4. CONCLUSÕES	30
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Variáveis químicas do solo antes da aplicação dos corretivos.....	14
Tabela 2. Variáveis químicas do solo após a aplicação de calcários nanoparticulados e convencional, avaliadas após a colheita do milho solteiro.	20
Tabela 3. Variáveis químicas do solo após a aplicação de calcários nanoparticulado e convencional, avaliadas após a colheita do milho consorciado.....	24
Tabela 4. Variáveis químicas do solo após a aplicação de calcário nanoparticulado e convencional, avaliadas após o segundo corte da forrageira	25
Tabela 5. Número de plantas por metro (NPM), número de espigas por metro (NEM), número de espigas por planta (NEP), altura de plantas (AP), altura da inserção da espiga (IE), diâmetro do colmo (DC), número de fileiras por espiga (NFE), número de grãos por fileira (NGF), comprimento da espiga (CE), diâmetro da espiga (DE), peso de mil grãos (PMG) e rendimento de grãos (RG) em função dos tratamentos	28
Tabela 6. Número de plantas por metro (NPM), número de espigas por metro (NEM), número de espigas por planta (NEP), altura de plantas (AP), altura da inserção da espiga (IE), diâmetro do colmo (DC), número de fileiras por espiga (NFE), número de grãos por fileira (NGF), comprimento da espiga (CE), diâmetro da espiga (DE), peso de mil grãos (PMG) e rendimento de grãos (RG) em função dos tratamentos	29
Tabela 7. Número de perfilhos (NP), número de touceiras (NT), Altura da Forrageira (AF), relação folha colmo (F/C), Produção da forrageira (PRODF), massa seca (MS) do primeiro corte da forrageira Piatã.....	30
Tabela 8. Número de perfilhos (NP), número de touceiras (NT), Altura da Forrageira (AF), relação folha colmo (F/C), Produção da forrageira (PRODF), massa seca (MS) do segundo corte da forrageira Piatã	30

LISTA DE FIGURA

Figura 1. Condições climáticas durante a condução do experimento.....	14
--	-----------

LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES

SÍMBOLO	SIGNIFICADO	UNIDADE DE MEDIDA
°C	Temperatura em Graus Celsius	Graus Celsius
AE	Altura de espigas	m
AF	Altura da forrageira	m
AL	Alumínio	
AP	Altura da planta	m
Aw	Clima tropical, com inverno seco	
CE	Comprimento da espiga	
cm	Centímetro	cm
cmol _c	Centimol de carga	
cv.	Cultivar	
CTC	Capacidade de trocas catiônicas	
DAA	Dias após aplicação	
DC	Diâmetro do colmo	
CV	Coefficientes de variação	%
DAA	Dias após aplicação	
DE	Diâmetro da espiga	mm
dm ³	Decímetro cúbico	
g	gramas	
ha	Hectare	
H+Al	Hidrogênio mais Alumínio	
i.a. ha ⁻¹	Ingrediente ativo por hectare	
g L ⁻¹	Gramas por litro	
ILP	Integração Lavoura Pecuária	
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia	
ssp.	Espécie	
K	Potássio	
kg ha ⁻¹	Quilos por hectare	
L	Litro	
m	Metro	
m ²	Metro quadrado	
mg	Miligramas	
Mg	Magnésio	
mL	Mililitro	
Nm	Nanômetro	
mm	Milímetro	
Mn	Manganês	
MO	Matéria orgânica	
N	Nitrogênio	
NFE	Número de fileiras por espiga	
NGF	Número de grãos por fileira	
ns	Não significativo	
NPK	Nitrogênio, fósforo e potássio	
P	Fósforo	

PMG	Peso de mil grãos	g
pH	Potencial hidrogeniônico	
PRODF	Produção de forragem	t ha ⁻¹
PRNT	Poder reativo de Neutralização total	%
F/C	Relação folha/colmo	
RR [®]	Roundup Ready [®]	
s	Segundos	
V	Saturação por bases	%
*	Significativo a 5% de probabilidade	

RESUMO

SOUSA, GUSTAVO DORNELES. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, maio de 2024. Corretivo nanoparticulado aplicado no milho solteiro e consorciado com *Urochloa brizantha* cv. Piatã. Orientador: Prof. Dr. Adriano Jakelaitis.

A eficiência da correção do solo e a disponibilidade de Ca^{2+} e Mg^{2+} para o milho (*Zea mays*) podem ser melhoradas pela utilização de nanopartículas de calcário, em razão da tecnologia nano (partículas em nm). Objetivou-se nesta pesquisa analisar um material corretivo de acidez do solo à base de carbonato de cálcio nanoparticulado, seus efeitos sobre os atributos químicos do solo e o desempenho agrônômico no cultivo de milho solteiro, no consórcio com a forrageira *Urochloa brizantha*, cv. Piatã, e na pastagem cultivada em sucessão. Foram conduzidos dois ensaios: a) cultivo de milho na safra; b) milho consorciado com forrageira *U. Brizantha*, cv. Piatã, na safra; e c) pastagem na safrinha. Os tratamentos consistiram da aplicação de calcário nanoparticulado (CN) e/ou calcário convencional (CC), nas seguintes proporções, de acordo com a necessidade de calagem (NC): T1- 100% CC; T2- 100% CN; T3- 50% de CC + 50% CN; T4- 75% de CC + 25% de CN; T5- 25% de CC + 75% de CN; e T6 – testemunha sem correção da NC. Os seis tratamentos, em ambos os ensaios, foram delineados em blocos casualizados com quatro repetições. Foram avaliados pH, CaCl_2 , P, Ca, Mg, K, H+Al, Al, saturação por alumínio, soma e saturação de bases nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm após a exploração de milho e pastagem. Na cultura do milho, foram avaliados a altura de plantas, inserção de espigas, diâmetro de colmo e, na colheita, foram avaliados os componentes de rendimentos. Na pastagem de *U. Brizantha*, cv. Piatã, foram avaliados a formação da pastagem, a relação folha/colmo, o rendimento de forragem e o rendimento da rebrota. Os resultados foram submetidos à análise de variância e, quando significativos, foram contrastados com o teste de Duncan a 10%. As combinações e aplicações exclusivas de corretivos não foram suficientes para aumentar as produtividades das culturas, mas alteraram os atributos do solo, contribuindo para redução da acidez. Vale destacar que o efeito dos corretivos é evidenciado nas camadas mais superficiais e, com um tempo mais longo, 12 meses, o efeito é visualizado no subsolo.

Palavras-chave: *Zea mays*, nanopartículas, calagem, sistemas integrados.

ABSTRAT

SOUSA, GUSTAVO DORNELES. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, maio de 2024. Nanoparticulate corrective applied to single corn and intercropped with *Urochloa brizantha* cv. Piatã. Orientador: Prof. Dr. Adriano Jakelaitis.

The efficiency of soil correction and the availability of Ca²⁺ and Mg²⁺ for maize (*Zeamays*) can be improved through the use of limestone nanoparticles due to nano- technology (particles in nm). The objective of this research was to analyze a corrective soil acidity material based on nanoparticulate calcium carbonate, its effects on soil chemical attributes, and agronomic performance in single maize cultivation, in intercropping with *Urochloa brizantha* cv. Piatã, and in pasture cultivated in succession. Two trials were conducted: a) maize cultivation in the main crop; b) maize intercropped with *U. brizantha* cv. Piatã in the main crop, c) pasture in the off-season. Treatments consisted of nanoparticulate limestone (NL) and/or conventional limestone (CL) application in the following proportions, according to liming requirement (LR): T1- 100% CL; T2- 100% NL; T3- 50% CL + 50% NL; T4- 75% CL + 25% NL; T5- 25% CL + 75%

NL; and T6 – control without LR correction. The six treatments, in both trials, were arranged in randomized blocks with four replications. pH CaCl₂, P, Ca, Mg, K, H+Al, Al, aluminum saturation, sum, and base saturation were evaluated at depths of 0-20 and 20-40 cm after maize and pasture exploitation. For maize, plant height, ear insertion, stem diameter were evaluated, and at harvest, yield components were assessed. For *U. Brizantha* cv. Piatã pasture, pasture formation, leaf/stem ratio, forage yield, and regrowth yield were evaluated. Results were subjected to analysis of variance and when significant, contrasted with Duncan's test at 10%. Exclusive or combined applications of corrective measures were not sufficient to increase crop yields. However, they alter soil attributes contributing to acidity reduction. It is worth noting that the effect of correctives is evident in the more superficial layers and over a longer period (12 months), the effect is visualized in the subsoil.

Keywords: *Zea mays*, Nanoparticles, liming, integrated systems.

1. INTRODUÇÃO

O milho é uma das principais culturas do Brasil, sendo amplamente distribuído no território nacional, desempenhando papel importante na alimentação humana e animal. Práticas conservacionistas como plantio direto e rotação de cultura constituem mudanças técnicas que, ao longo dos anos, melhoraram a produtividade, sendo importantes para garantir a segurança alimentar, especialmente diante do aumento populacional (ALMEIDA et al., 2023). No entanto, os solos do cerrado brasileiro apresentam características de elevados teores de alumínio, pH baixo e baixa fertilidade. São pobres em matéria orgânica, com baixa capacidade de troca catiônica e baixa saturação de bases, mas, quando bem corrigidos, podem apresentar altas produtividades (DE OLIVEIRA et al., 2005).

A utilização de corretivos convencionais, como calcário e gesso agrícola, é uma prática comum para neutralizar a acidez do solo e melhorar a produtividade das culturas. No entanto, segundo Alleoni et al. (2003), têm mostrado respostas pouco expressivas do milho à aplicação superficial de calcário em solos ácidos, em semeadura direta.

Segundo Ferreira (2015), pode haver limitação na produção de culturas com a aplicação do calcário a lanço, que pode ter distribuição heterogênea no solo, principalmente em profundidades mais elevadas, sendo que a limitação pode estar correlacionada ao tamanho das partículas do corretivo. De acordo com Ministério da Agricultura (MAPA), o calcário deve ter 100% das partículas com diâmetro inferior a 2,00mm, 70% abaixo de 0,84mm e 50% abaixo de 0,3mm para garantir uma reatividade adequada. Assim, a eficiência está ligada ao tamanho das partículas, sendo que as partículas menores têm maior reatividade.

O uso de nanotecnologia na correção da acidez do solo tem se mostrado uma alternativa promissora, com potencial para melhorar ainda mais a eficiência dos corretivos convencionais. De acordo com Gomes et al. (2021), as partículas nanoparticuladas têm alta área superficial, o que favorece a interação com os íons presentes no solo e aumenta a capacidade de reação do corretivo, o que resulta numa distribuição mais uniforme do corretivo e maior eficiência na correção da acidez do solo. Além disso, a aplicação de corretivos nanoparticulados também pode contribuir para a redução da quantidade de corretivos utilizados.

A nanotecnologia traz uma inovação prática de correção do solo, considerando que o produto (carbonato de cálcio e magnésio) passa por um processo de moagem e por um processo químico, que quebra as partículas com dimensão nano, sendo que 25% deste produto tem partículas de diâmetro de 1 a 100 nanômetros (nm) e os 75% restantes, 0,08 milímetros (mm) (SILVA et al., 2023). Segundo a literatura, a reatividade é calculada em relação à porcentagem

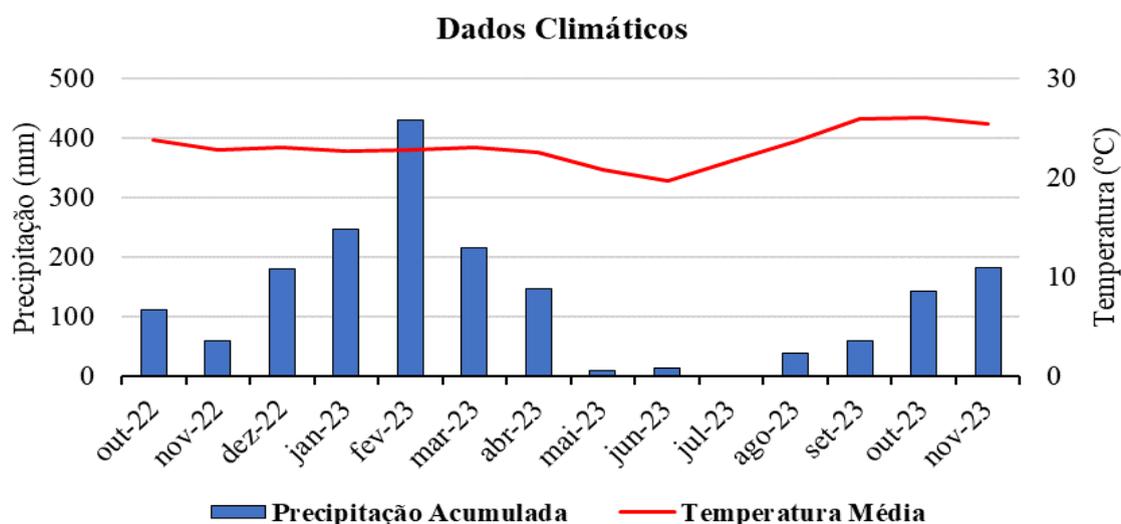
do corretivo que reage em um período de três meses. As partículas de 0,84 a 2,00 mm compreendem apenas 20%; no tamanho entre 0,30 a 0,84 mm, cerca de 60%; e partículas menores que 0,30 mm reagem totalmente em um período de três meses (ALCARDE et al., 2003).

Condições químicas do solo, como a disponibilidade de H^+ , afetam diretamente a disponibilidade de nutrientes para as plantas. Em condições químicas ideais, elevam o potencial produtivo de diferentes culturas. O milho (*Zea mays*) é uma cultura que apresenta alto potencial produtivo quando as exigências nutricionais são atendidas. Frente a isso, é importante o entendimento do sistema de produção para que os solos do cerrado mantenham seu potencial produtivo, destacando o aprimoramento dos métodos de manejo do solo, a fim de aumentar a eficiência no uso de corretivos e fertilizantes.

O consórcio entre milho e forrageira é uma ferramenta utilizada no sistema de produção do cerrado, que está associado ao aumento da produtividade de grãos, aumento da cobertura do solo e a melhorias nos atributos de fertilidade do solo. Embora a *Urochloa* spp. tenha tolerância à acidez do solo, ela pode responder positivamente nos seus atributos morfológicos à calagem. Portanto, o intuito é verificar se realmente as nanopartículas irão influenciar nos aspectos morfológicos e produtividade das culturas estudadas (milho em monocultivo e milho consorciado com *Urochloa brizantha*, cv. Piatã) e qual a contribuição destes corretivos nas condições químicas do perfil de solo. Acredita-se que os resultados desta pesquisa possam contribuir para o desenvolvimento de novas estratégias de correção da acidez do solo, pois a hipótese é que a combinação dos corretivos (convencional e nanoparticulado) terá maior eficiência na correção da acidez do solo, elevação da saturação de bases.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi conduzida na área experimental do Parque Tecnológico (Rodovia 174) do Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, Goiás, localizado na latitude 17°41'21.9"S e longitude 51°01'45.3"W, com altitude média de 806 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 está expressa na Figura 1.



Fonte: INMET (2024)

Figura 1. Condições climáticas durante a condução do experimento.

A área experimental estava formada com pastagem de capim braquiária sem histórico de aplicação de calcário. Antes da semeadura, no dia 9 de outubro de 2022, foi feita a dessecação da área quimicamente com o uso do herbicida glifosato na dose de 3 L ha⁻¹ e Cletodin na dose de 1,5 L ha⁻¹, de forma tratorizada, usando 200 litros ha⁻¹. A análise de solo na profundidade de 0-20 cm antes do início dos ensaios apresentou as seguintes características (Tabela 1).

Tabela 1 Variáveis químicas do solo antes da aplicação dos corretivos.

Prof.	pH	Al	H+Al	Ca	Mg	CTC	K	P	V	m	Argila	Silte	Areia	M.O.
cm	cmolc dm ⁻³						mg dm ⁻³							
0-20	5,40	0,0	2,60	1,9	0,6	5,3	0,18	14	51	0	25	6	69	10
20-40	4,90	0,1	2,10	0,9	0,4	3,5	0,12	3	41	7	25	15	60	5

Os experimentos foram iniciados dia 17 do mês de outubro de 2022, com distribuição dos corretivos convencionais e nanoparticulados, oriundos da tecnologia Nano Aton. As doses recomendadas tiveram como base a fórmula Necessidade de Calagem (NC) = (Saturação de bases (V₁%) – (V₂%) x CTC) / PRNT (%). Foram testados dois ensaios: o primeiro com milho em monocultivo e o segundo com milho consorciado com *Urochloa brizantha*, cv. Piatã. Ambos os ensaios foram conduzidos em blocos ao acaso, contendo seis tratamentos e quatro repetições.

Os tratamentos foram constituídos pela dose recomendada de corretivo, sendo que a dose do corretivo nanoparticulado é 30% menor que a dose do calcário convencional. Dessa forma, eles foram divididos entre corretivo convencional (CC) e nanoparticulado (CN), sendo: tratamento controle; calcário convencional (100% CC); calcário nanoparticulado (100% CN); 50% CC + 50% CN; 25% CN + 75% CC; e 75% CN + 25% CC. Os tratamentos foram aplicados a lanço e de forma manual em parcelas de 25 m². 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: 92,0% 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%, considerando as características do corretivo convencional, foi necessário aplicar uma dose de 1 t ha⁻¹ para o tratamento 100% convencional. A recomendação do fabricante para o corretivo nanoparticulado foi a aplicação de 30% a menos da dose estabelecida para o corretivo convencional, sendo 0,7 t ha⁻¹.

A adubação em ambos os experimentos foi feita conforme a recomendação para produção de grãos (SOUSA, 2004). Desta forma, a adubação de base consistiu em 500 kg ha⁻¹ de NPK, equivalentes a 100 pontos para fósforo e potássio, aplicados na linha de semeadura no momento do plantio. A adubação de cobertura consistiu em 267 kg ha⁻¹ de ureia (45% N), equivalendo a 120 pontos de nitrogênio, aplicada a lanço, de forma manual, quando a cultura do milho estava no estágio vegetativo V4.

No dia primeiro de novembro de 2022 foi semeado o híbrido de milho da empresa Pioneer, cultivar P3845 VYHR, recomendado para produção de grãos na região de Rio Verde – GO, na safra de verão. Foi semeado para atender a uma população de 65.000 mil plantas ha⁻¹. Para o experimento consorciado com *Urochloa brizantha*, cv. Piatã, a semeadura foi feita a lanço, de forma manual, utilizando 8 kg ha⁻¹ de sementes puras viáveis com 80% de

VC. O manejo de plantas daninhas dicotiledôneas em pós-emergência foi feito com a aplicação do herbicida atrazine + óleo mineral na dose de 1.500 g ha⁻¹, aos 20 dias após o plantio (DAP) do milho. Foi feito o controle da formiga, da lagarta do cartucho *Spodoptera frugiperda* da cigarrinha do milho *Dalbulus maidis* e de doenças do milho. Os inseticidas utilizados para o controle das pragas foram o teflubenzuom (Nomolt) na dose de 100 mL p.c. ha⁻¹ + acetamiprido + bifentrina (Sperto) na dose de 300 g p.c. ha⁻¹ aplicados em V3 e o inseticida acetamiprido + bifentrina (Sperto) na dose de 300 g p.c. ha⁻¹ aplicados em V5. E fungicida trifloxistrobina + tebuconazol (Nativo) na dose de 600 mL p.c. ha⁻¹ foi aplicado em V8 para controle de doenças das folhas.

Aos 60 dias após a emergência (DAE), nas plantas de milho foram avaliados altura da planta, inserção da espiga e diâmetro do colmo. Para isso, foram selecionadas cinco plantas dentro da área útil de cada parcela. A altura de inserção da espiga foi determinada medindo a distância entre o solo e a inserção da espiga. Para a altura das plantas, foi considerada a distância entre o solo e a inserção da folha bandeira. Em ambas as variáveis, foi utilizada uma régua de madeira graduada em centímetros. O diâmetro do colmo foi determinado com auxílio de um paquímetro digital.

A colheita do milho de ambos os experimentos foi feita no dia 5 março de 2023, e o momento da colheita do milho foi determinado quando os grãos de milho atingiram o estágio de maturação, com 13% de umidade. Na área útil, foram determinados a população de plantas de milho (plantas ha⁻¹), o número de espigas por planta e o número de espigas por metro.

Na época de colheita do milho, aos 125 DAE, foram feitas avaliações dos componentes do rendimento, como número de fileiras por espiga, número de grãos por fileira, comprimento da espiga e peso de mil grãos. Para tais determinações, foram utilizadas cinco espigas por área útil das parcelas. O rendimento de grãos foi obtido pela trilha das espigas colhidas na área útil das parcelas (quatro fileiras de três metros de comprimento) em debulhadeira e posterior pesagem dos grãos. Os valores foram convertidos para kg ha⁻¹ e corrigidos para 13% de umidade. Foram contabilizados o número total de plantas na área útil de cada parcela e o número de plantas acamadas para obtenção do estande final de plantas e a porcentagem de plantas acamadas.

No momento da colheita do milho, a altura da forragem foi mensurada com régua graduada em centímetros, sendo a plantas posteriormente colhidas com cutelo em dois metros quadrados da área útil de cada parcela a uma altura aproximada de 30 cm do solo. Dentro dos dois metros quadrados, foram determinados o número de touceiras e o número de perfilhos por planta. O rendimento da forragem foi determinado pesando o material coletado e retirando

uma alíquota de 0,5 kg. As amostras de 0,5 kg foram separadas em folhas e colmos e secas em estufa de circulação forçada de ar a 65°C até atingirem massa constante. Dessa forma, foram avaliadas a relação folha/colmo e a produção de massa seca da forragem.

Após o período de entressafra, a rebrota do capim foi avaliada no dia 17 de novembro de 2023, sendo determinados o número de touceiras, o número de perfilhos por planta, a produção de forragem, o rendimento de matéria seca, a altura de plantas e a relação folha colmo.

Para mensurar os efeitos da correção do solo com corretivo convencional e nanoparticulado, foi retirada uma amostra composta de solo em cada unidade experimental em ambos os experimentos, após a colheita do milho solteiro, do milho consorciado e após o segundo corte da forrageira, nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, conforme recomendação de Sousa (2004). Dessa forma, foram determinados os valores de pH (CaCl₂), Al³⁺, H+Al, Ca, Mg, Ca+Mg, CTC, Ca/Mg, K, P, V, Saturação por alumínio, Ca/CTC, Mg/CTC, Mg/CTC e H+Al/CTC.

Os dados foram submetidos à análise de resíduos para verificação da homogeneidade das variâncias e normalidades dos resíduos. Posteriormente, foi feita análise de variância, usando o teste F, e quando significativo, foi usado o teste de Duncan. A taxa de erro adotada foi de 10%.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a colheita do milho solteiro, na camada de 0-20 cm a associação de ambos os corretivos (convencional e nanoparticulado) apresentou efeitos significativos sobre as concentrações de Al^{3+} , Ca e na acidez do solo (H+Al) e também na disponibilidade de Ca (Ca/CTC), acidez potencial (H+Al/CTC), saturação por alumínio, pH $CaCl_2$ e saturação por bases (V%) (Tabela 2).

Com a aplicação dos corretivos, foi possível verificar aumento do pH do solo, que foi próximo ao valor de pH 5,5, que, segundo Sousa et al. (2016), está na faixa ideal para o cultivo de *Zea mays*. Notou-se também aumento da saturação por bases e na disponibilidade de Ca e CTC do solo, indicadores importantes de fertilidade do solo.

Nesse sentido, onde houve aplicação dos corretivos, os valores da saturação por bases chegaram perto de 70%, segundo Prezotti (2013), esse valor está na faixa desejável (50% a 80%) para várias culturas, inclusive, do milho. Portanto, o aumento da saturação de bases por meio da calagem contribuiu para redução na disponibilidade da acidez potencial (H+Al/CTC), da concentração de Al e (H+Al), melhorando as condições gerais para o desenvolvimento das plantas. Feba et al. (2020) trabalharam com calcário convencional aplicado a lanço em sistema de plantio direto e observaram efeitos dos corretivos no aumento do pH $CaCl_2$ do solo, saturação por bases, nos teores de Ca na camada de 0-20 cm de solo arenoso.

Para os teores de Ca, os melhores tratamentos foram com aplicação da dose exclusiva de calcário nanoparticulado, 50% CC + 50% CN e 25% CC + 75% CN, diferenciando da testemunha. Já em relação aos teores de magnésio, não houve diferença, independentemente da aplicação de corretivos, o que se refletiu diretamente na relação Mg/CTC, que também não apresentou diferença estatística em função dos tratamentos, similar ao observado na relação Ca/Mg, nos teores de potássio e fósforo.

No trabalho conduzido por Viviani et al. (2010), notou-se maior disponibilidade de fósforo no solo com a elevação do pH em função da aplicação de calcário ($CaCO_3 + MgCO_3$). Entretanto, não foi observado aumento da disponibilidade de fósforo no solo em função da aplicação dos corretivos, os quais aumentaram o pH no atual trabalho, em consonância com o estudo desenvolvido por Silva et al. (2023), que observaram que, independentemente, da aplicação de corretivos, não houve aumento da disponibilidade desse nutriente no solo.

Tabela 2. Variáveis químicas do solo após a aplicação de calcários nanoparticulados e convencional, avaliados aos após a colheita do milho solteiro.

Prof.	Tratamentos	pH	Al	H+Al	Ca	Mg	Ca+Mg	CTC	Ca/Mg	K	P	V	m%	Ca/CTC	Mg/CTC	H+Al/CTC
cm	CaCl ₂	----- cmolc dm ⁻³ -----								cmolc dm ⁻³	mg dm ⁻³					
0-20	CC	5,30 a	0,000 b	1,3 b	1,52 ab	0,65 ^{ns}	2,17 ^{ns}	3,58 ^{ns}	2,3 ^{ns}	0,10 ^{ns}	3,88 ^{ns}	62,01 a	0,0 b	2,32 ^{ns}	17,98 ^{ns}	37,03 b
	CN	5,37 a	0,000 b	1,0 b	1,75 a	0,65	2,40	3,47	2,72	0,08	4,13	71,12 a	0,0 b	2,72	18,74	28,87 b
	50CC/50CN	5,32 a	0,000 b	1,2 b	1,80 a	0,65	2,45	3,73	2,68	0,08	7,97	66,59 a	0,0 b	2,68	17,21	33,40 b
	75CC/25CN	5,27 a	0,000 b	1,4 b	1,45 ab	0,63	2,10	3,59	2,37	0,11	5,38	62,01 a	0,0 b	2,37	17,41	37,98 b
	25CC/75CN	5,37 a	0,000 b	1,2 b	1,90 a	0,73	2,62	3,90	2,68	0,08	3,78	69,66 a	0,0 b	2,68	18,61	30,33 b
	Controle	4,92 b	0,060 a	1,8 a	1,10 b	0,55	1,65	3,51	2,09	0,09	3,15	49,49 b	3,39 a	2,09	15,63	50,50 a
	CV (%)	2,47	8,18*	23,97	8,40*	20,14	21,48	11,66	19,22	20,26	24,52	12,65	8,85*	19,22	13,6	22,15
20-40	CC	4,95 ^{ns}	0,007 ^{ns}	1,12 b	1,25 ^{ns}	0,60 ^{ns}	1,54 ^{ns}	2,8 ^{ns}	2,02 ^{ns}	0,09 ^{ns}	2,32 ^{ns}	59,25 ^{ns}	0,45 ^{ns}	2,02 ^{ns}	19,45 ^{ns}	40,77 ^{ns}
	CN	5,07	0,002	0,90 b	1,05	0,50	1,80	2,42	2,27	0,09	1,25	62,47	0,22	2,27	19,57	37,52
	50CC/50CN	4,97	0,032	0,95 b	1,08	0,48	2,21	2,5	2,27	0,08	1,57	62,10	2,55	2,27	18,95	37,90
	75CC/25CN	5,10	0,005	1,00 b	0,85	0,48	1,98	2,3	1,82	0,09	1,17	56,97	0,32	1,82	20,4	43,02
	25CC/75CN	5,05	0,005	1,15ab	1,08	0,50	1,83	2,72	2,15	0,08	1,37	57,85	0,35	2,15	18,35	42,15
	Controle	4,65	0,055	1,45 a	0,90	0,45	1,56	2,77	2,02	0,09	1,00	48,92	3,85	2,02	16,47	51,07
	CV (%)	4,99	19,06	17,99	19,55	10,06*	18,61	11,16	16,34	17,57	24,52	13,15	70,42*	16,34	14,28	18,1

ns – não significativo pelo teste F a 10% de probabilidade. Médias acompanhadas por letras minúsculas não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade. * dados transformados em Raiz quadrada + 0,5.

Na camada de 20-40 cm, não houve diferença significativa para os atributos químicos do solo analisados. Portanto, mesmo com a aplicação de nanopartículas não houve mobilidade na camada do subsolo. De forma similar, o estudo de Lopes et al. (2020) não mostrou interferência da aplicação superficial de calcário nos teores de cálcio, magnésio, pH e saturação por bases na camada de 20-40 cm em análise feita em duas épocas diferentes em solo arenoso.

Trabalho conduzido por Caires et al. (2004) mostrou que, 46 meses após a aplicação, o efeito da calagem aumentou de forma significativa o pH em CaCl_2 , teores de cálcio, magnésio e reduziu o H^+Al do solo, o que ocorreu apenas na camada 0-5 cm do solo, quando aplicado de forma superficial. E quando o calcário foi incorporado, proporcionou maiores reações nas camadas de 0-5 cm e 10-20 cm em comparação com a aplicação superficial. Vale destacar a importância da incorporação do calcário, pois, segundo Kaminski et al. (2000), a incorporação do calcário é capaz de apresentar melhores resultados nas culturas mais exigentes.

Portanto, são evidentes a baixa mobilidade e a baixa eficiência da calagem nas camadas subsuperficiais, efeito também observado por Caires et al. (1998), Franchini et al. (2001), Moreira et al. (2001) e Chapla et al. (2017), mesmo após longo período após aplicação do calcário.

Em relação ao milho cultivado em conjunto com *Urochloa brizantha*, cv. Piatã, Tabela 3, diferentemente do milho em monocultivo, não houve efeitos de doses de corretivos (convencional e nanoparticulado) sobre os atributos do solo em ambas as camadas analisadas. Similar a esse trabalho, Silva (2012), ao trabalhar com manejo da acidez do solo no consórcio milho-braquiária, observou que os atributos pH do solo e o teor de Ca no solo cultivado com milho solteiro foram maiores em relação ao consórcio milho *Urochloa ssp.* Com o teor de Al^{3+} ocorreu o contrário, ou seja, o teor de Al^{3+} foi maior no milho consorciado. Isso pode ser explicado pela presença da forrageira no sistema integrado, pois ocorre maior potencial de competição nas camadas mais superficiais do solo, onde ocorre maior concentração de raízes, havendo, assim, maior competição por luz e nutrientes em razão das melhores condições para germinação, emergência e crescimento (Pariz et al., 2011). Além disso, podem ser correlacionados fatores que prejudicam a correção do solo em aplicações superficiais, incluindo o deslocamento físico de partículas do corretivo através de raízes decompostas, mantidos intactos pela ausência do preparo convencional (AMARAL et al., 2004). Outro fator que pode interferir diretamente na elevação dos teores de cálcio e magnésio em profundidade e na

neutralização da acidez é reação dos ânions OH^- e HCO_3^- com os cátions ácidos H^+ , Fe^{2+} , Al^{3+} e Mn^{2+} , interrompendo as reações de alcalinização (MIYAZAWA, 2002).

Após o segundo corte da forrageira, foi feita uma nova amostragem de solo 12 meses após a aplicação dos corretivos. De acordo com os dados apresentados na Tabela 4, na camada de 0-20 cm é evidente que todos os tratamentos (100% CC, 100% CN, 50% CC + 50% CN, 75% CC + 25% CN, 25% CC + 75% CN) resultaram em aumento do pH do solo, diferenciando-se significativamente da testemunha. Quanto aos teores de cálcio e à disponibilidade de cálcio na CTC do solo, os tratamentos mais eficazes foram aqueles que combinaram os corretivos nas proporções de 25% CC + 75% CN, 50% CC

+ 50% CN e 75% CC + 25% CN. Semelhante a esses resultados, Silva et al. (2023) notaram maior disponibilidade de cálcio na CTC do solo com aplicação da associação de corretivos (nanoparticulados e convencionais).

Independentemente da aplicação exclusiva de calcário nanoparticulado, convencional ou da associação entre ambos os corretivos, houve aumento significativo na saturação por bases do solo em comparação com a testemunha. É importante notar que, embora não tenha havido diferença nos teores de H^+Al entre os tratamentos, houve redução na disponibilidade na CTC do solo, exceto onde não foi aplicado, reflexo do efeito da aplicação dos corretivos. Entretanto, em relação aos demais nutrientes, não foram observadas diferenças estatisticamente significativas nos teores de magnésio, potássio e fósforo.

Na camada de 20-40 cm, notou-se aumento significativo no pH, nos teores de cálcio e na disponibilidade de Ca/CTC , semelhante ao efeito observado na camada 0-20 cm do solo. Isso indica que os tratamentos apresentaram impacto positivo nesses atributos do solo, resultando em uma maior saturação por bases e na redução da disponibilidade de H^+Al na CTC do solo. No entanto, não houve diferença entre os teores de Al^{3+} , magnésio, potássio, fósforo, na relação Ca/Mg e na soma de $\text{Ca} + \text{Mg}$ entre os tratamentos.

Neste trabalho, após 12 meses da calagem, houve alteração nas variáveis de pH em CaCl_2 , teores de Ca e disponibilidade de Ca/CTC e $\text{H}^+\text{Al}/\text{CTC}$. Semelhante a este trabalho, Cambri et al. (2004) mostram que o efeito da aplicação de calcário de forma superficial em semeadura direta modificou o pH em CaCl_2 e Al trocável após 6 meses apenas na camada de 0-5 cm de profundidade e aos 18 e 30 meses após a aplicação, tendo sido observados aumento do pH e diminuição do Al trocável até 0-10 cm de profundidade. Portanto, com base nesses resultados, nota-se que o efeito do calcário é

lento e restrito à camada superficial do solo nos primeiros anos após a aplicação, o que torna o sistema dependente de condições favoráveis que não prejudiquem a correção do solo.

Tabela 3. Variáveis químicas do solo após a aplicação de calcários nanoparticulado e convencional, avaliados após a colheita do milho consorciado.

Prof.	Tratamentos	pH	Al	H+Al	Ca	Mg	Ca+Mg	CTC	Ca/Mg	K	P	V	m%	Ca/CTC	Mg/CTC	H+Al/CTC
cm		CaCl ₂	----- cmolc dm ⁻³ -----						cmolc dm ⁻³			mg dm ⁻³				
0-20	CC	5,03 ^{ns}	0,02 ^{ns}	1,95 ^{ns}	1,50 ^{ns}	0,65 ^{ns}	2,15 ^{ns}	4,22 ^{ns}	2,79 ^{ns}	0,12 ^{ns}	4,45 ^{ns}	53,97 ^{ns}	1,15 ^{ns}	36,50 ^{ns}	15,66 ^{ns}	26,90 ^{ns}
	CN	5,03	0,02	1,65	1,70	0,73	2,42	4,19	2,34	0,12	5,09	61,44	1,15	40,20	18,34	28,54
	50CC/50CN	5,03	0,01	1,58	1,52	0,70	2,22	3,97	2,03	0,18	5,62	57,46	0,92	35,91	17,42	29,81
	75CC/25CN	5,15	0,01	1,48	1,42	0,73	2,15	3,74	1,90	0,12	4,60	59,19	0,77	35,94	19,91	31,71
	25CC/75CN	5,08	0,02	1,68	1,62	0,73	2,35	4,12	2,19	0,09	6,05	58,74	1,25	38,56	17,80	28,39
	Testemunha	4,78	0,03	1,90	1,17	0,58	1,75	3,75	2,03	0,12	4,00	48,79	3,72	30,47	14,95	33,05
	CV (%)	4,10	7,45*	28,08	25,31	14,63	15,60	13,23	20,50*	20,06*	21,47*	15,26	20,29*	20,94	28,61	22,28
20-40	CC	4,95 ^{ns}	0,03 ^{ns}	1,48 ^{ns}	1,30 ^{ns}	0,53 ^{ns}	2,15 ^{ns}	3,42 ^{ns}	2,45 ^{ns}	0,12 ^{ns}	1,17 ^{ns}	55,66 ^{ns}	1,43 ^{ns}	36,21 ^{ns}	15,95 ^{ns}	44,32 ^{ns}
	CN	5,00	0,03	1,20	1,22	0,50	2,42	3,04	2,50	0,11	1,40	59,88	1,61	38,92	16,87	40,10
	50CC/50CN	5,10	0,03	1,25	1,00	0,45	2,22	2,81	2,40	0,11	1,22	55,70	3,11	35,55	15,97	44,30
	75CC/25CN	5,07	0,03	1,20	1,13	0,50	2,15	2,94	2,27	0,12	1,20	58,66	2,83	37,72	16,95	41,35
	25CC/75CN	5,02	0,03	1,33	1,03	0,48	2,35	2,93	2,25	0,11	1,30	54,63	1,74	34,65	16,25	45,37
	Testemunha	4,70	0,06	1,45	0,70	0,38	1,75	2,60	2,00	0,07	1,02	43,76	6,40	26,32	14,47	56,22
	CV (%)	4,57	23,01*	20,36	15,13	16,26	15,60	14,93	20,05*	27,05	21,47*	20,04	37,96*	15,76*	20,69	24,22

ns – não significativo pelo teste F a 10% de probabilidade. Médias acompanhadas por letras minúsculas não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade. * dados transformados em Raiz quadrada + 0,5.

Tabela 4. Variáveis químicas do solo após a aplicação de calcário nanoparticulado e convencional, avaliados após o segundo corte da forrageira.

Prof.	Tratamentos	pH	Al	H+Al	Ca	Mg	Ca+Mg	CTC	Ca/Mg	K	P	V	m%	Ca/CTC	Mg/CTC	H+Al/CTC	
cm	CaCl ₂	----- cmolc dm ⁻³ -----							cmolc dm ⁻³ mg dm ⁻³								
0-20	CC	5,43 a	0,052 ^{ns}	2,04 ^{ns}	1,83 bc	0,8 ^{ns}	2,65 ^{ns}	4,8 ^{ns}	2,50 ^{ns}	0,12 ^{ns}	5,01 ^{ns}	58,50 a	1,17 ab	37,92 bc	15,95 ^{ns}	41,50 b	
	CN	5,37 a	0,052	2,04	2,12 abc	0,71	2,84	4,99	3,37	0,11	4,2	59,87 a	1,14 ab	42,46abc	16,87	40,13 b	
	50CC/50CN	5,45 a	0,045	1,99	2,53 ab	0,53	3,07	5,15	5,07	0,07	5,12	61,67 a	1,03 ab	49,13 a	15,97	38,32 b	
	75CC/25CN	5,44 a	0,062	1,96	2,32 ab	0,57	2,89	4,99	4,02	0,12	5,38	60,67 a	1,22 ab	45,37 ab	16,95	39,33 b	
	25CC/75CN	5,40 a	0,045	1,94	2,86 a	0,92	3,78	5,83	3,40	0,10	5,67	66,60 a	0,95 b	48,82 a	16,25	33,37 b	
	Testemunha	4,92 b	0,08	2,39	1,56 c	0,64	2,21	4,7	2,45	0,10	4,5	50,15 b	1,5 a	33,13 c	14,47	49,85 a	
	CV (%)	5,68	11,45*	14,63	26,35	17,6*	24,77	13,01	18,61*	20,18*	28,68	11,12	28,88*	18,11	20,69	16,39	
20-40	CC	5,12 a	0,08 ^{ns}	1,91 ^{ns}	1,26 ab	0,7 ^{ns}	2,01 ^{ns}	4,01 ^{ns}	1,73 ^{ns}	0,09 ^{ns}	3,08 ^{ns}	52,33 ab	3,69ab	31,54 ab	18,47 ^{ns}	47,67 ab	
	CN	5,14 a	0,05	1,96	1,90 a	1,00	2,90	4,95	1,88	0,09	3,05	59,74 a	1,61b	37,67 a	20,18	40,25 b	
	50CC/50CN	5,27 a	0,04	1,93	1,51 a	0,86	2,38	4,39	1,77	0,08	3,57	55,85 a	1,79b	34,26 a	19,75	44,14 b	
	75CC/25CN	5,36 a	0,06	1,68	1,70 a	1,02	2,72	4,48	1,62	0,06	2,78	60,24 a	2,71b	36,27 a	22,32	39,75 b	
	25CC/75CN	5,14 a	0,06	1,91	1,68 a	0,85	2,58	4,5	2,12	0,08	5,89	58,08 a	2,97ab	37,36 a	18,97	41,92 b	
	Testemunha	4,80 b	0,125	2,06	0,94 b	0,73	1,69	3,9	1,35	0,08	2,44	45,81b	6,8 a	24,76 b	18,92	54,18 a	
	CV (%)	4,54	15,66*	13,05	14,77*	27,51	28,25	15,02	25,88	16,64	28,77*	12,38	36,36*	17,28	17,6	15,34	

ns – não significativo pelo teste F a 10% de probabilidade. Médias acompanhadas por letras minúsculas não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade. * dados transformados em Raiz quadrada + 0,5.

Os resultados relativos ao cultivo de milho solteiro estão apresentados na Tabela 5. Observa-se que não foram identificadas diferenças estatísticas em relação às doses de calcário, tanto associadas como aplicadas de forma exclusiva, para as variáveis número de plantas (NEP), altura de plantas (AP), inserção de espiga (IE), diâmetro do colmo (DC), número de fileiras por espiga (NFE), número de grãos por fileira (NGF), comprimento da espiga (CE), diâmetro de espiga (DE), peso de mil grãos (PMG) e rendimento de grãos (RG).

Os efeitos da aplicação dos calcários no pH e na disponibilidade do cálcio na CTC ocorreram na camada de 0-20 cm e não foram suficientes para aumentar o rendimento de grãos do milho, resultado idêntico foi observado por Chapla et al. (2017). O milho é classificado por tolerância mediana às condições de acidez e toxidez por alumínio. Solos com 20% de saturação efetiva de alumínio limitam o rendimento do milho, podendo chegar de 7% a 47% em função do aumento do alumínio do solo (COLEHO et al., 2008), exigindo a soma dos teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} de pelo menos $2 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (ALVES et al., 1999). Nesse contexto, a falta de diferença nos componentes de rendimento do milho em função dos tratamentos pode estar relacionada à baixa disponibilidade de alumínio tóxico na CTC (m%) do solo, que não passou de 7%.

Em estudo conduzido por Caires et al. (2002) sobre a correção de acidez do solo e a nutrição da cultura do milho através da calagem superficial no plantio direto, observou-se que, embora a calagem em superfície tenha sido eficaz na correção da acidez na camada superficial e do subsolo, não houve aumento na produtividade do milho, mesmo com a aplicação da dose mais alta testada (6 t/ha^{-1}) de calcário. Similarmente, Tissi et al. (2004) constataram que, independentemente da dose de calcário utilizada em seu estudo (0, 1, 2 e 3 ton ha^{-1}) aplicada de forma superficial no sistema de plantio direto, não ocorreu alteração no comprimento e na distribuição relativa das raízes de milho até a profundidade de 40 cm. Apesar de ter havido um aumento na absorção de nutrientes (P, Ca, Mg e S), não houve impacto no rendimento de grãos do milho.

Ao considerar o cultivo consorciado de milho com forrageira, Tabela 6, foi observada diferença estatística na altura das plantas. Os tratamentos que utilizaram doses exclusivas de calcário convencional (CC) ou nanoparticulado (CN) assim como as associações entre eles (50% CC + 50% CN, 25% CN + 75% CC e 75% CN + 25% CC) foram superiores à testemunha nesse aspecto. No entanto, não foram observadas diferenças significativas nas demais variáveis da cultura, nem registrados aumentos no peso de mil grãos e nos rendimentos de grãos. Caires et al. (2002) também observaram aumento na altura das plantas ao aplicar diferentes doses de calcário, mas não identificaram incrementos na produtividade.

Vale ressaltar que esses resultados confirmam aqueles encontrados por Garcia et al. (2022), que não observaram resposta significativa em relação à correção química do solo nas características morfológicas como altura de plantas, altura da inserção da espiga, comprimento da espiga, diâmetro da espiga, número de fileiras, número de grãos por fileira, massa de grãos e produtividade, quando o milho foi consorciado com a forrageira Piatã. É evidente que o calcário necessita de um tempo para reagir, podendo esse tempo variar em função da precipitação e, se não houver condições favoráveis, pode não haver respostas como esperado.

Na avaliação da forrageira, resultante da colheita do milho, Tabela 7, nota-se que não houve diferença estatística durante o primeiro corte da forrageira entre as variáveis número de touceiras, número de perfilhos, altura de plantas, relação folha colmo, massa seca da parte aérea e rendimento de massa fresca. Isso pode estar relacionado ao fato de as gramíneas do gênero *Urochloa* terem alto grau de adaptação à acidez do solo, e segundo Cantarutti & Novais (2005) e Andrade (2010), solos com saturação por bases. Solos com saturação por bases superior a 30%, na camada de 0-20 cm de profundidade, não limitam o desenvolvimento da *U. brizantha*, cv. Piatã (ANDRADE et al., 2014).

Ao avaliar o segundo corte, Tabela 8, notam-se diferenças morfológicas do capim Piatã, a altura de plantas é maior com aplicação de calcário nas doses exclusivas e associados (convencional e nanoparticulado). Observa-se também, com aplicação da dose 100% convencional, maior número de touceiras, diferenciando da testemunha. Além disso, observam-se diferenças morfológicas no comportamento da forrageira, tendo ocorrido aumento da relação folha/colmo e do número de perfilhos em relação ao primeiro corte da forrageira. São fatores importantes para pastejos, apesar de não haver diferenças de massa seca total dos tratamentos.

Segundo Dim et al. (2015), o aumento da massa do colmo no pasto influencia a distribuição de folhas e modifica a qualidade e a quantidade de luz no interior, o que altera as características de perfilhamento da forrageira, sendo a estrutura prejudicada pelo efeito negativo no comportamento ingestivo animal. A relação Folha/Colmo e o perfilhamento são parâmetros de indicativo de qualidade nutricional do pasto, podendo essas características ser bastante influenciadas pelo período de descanso do pastejo.

Tabela 5. Número de plantas por metro (NPM), número de espigas por metro (NEM), número de espigas por planta (NEP), altura de plantas (AP), altura inserção da espiga (IE), diâmetro de colmo (DC), número de fileiras por espiga (NFE), número de grãos por fileira (NGF), comprimento de espiga (CE), diâmetro de espiga (DE), peso de mil grãos (PMG) e rendimento de grãos (RG) em função dos tratamentos.

Variáveis	Tratamentos						CV (%)
	CC	CN	50CC/50CN	75CC/25CN	25CC/75CN	Testemunha	
NPM	3,25 ^{ns}	3,21	3,17	3,25	3,38	3,17	17,92
NEM	3,50 ^{ns}	3,29	3,00	3,17	3,33	3,33	13,67
NEP	1,10 ^{ns}	1,03	0,95	0,98	0,99	1,07	12,08
AP (cm)	2,62 ^{ns}	2,69	2,63	2,64	2,68	2,58	2,23
IE (cm)	1,48 ^{ns}	1,51	1,49	1,46	1,48	1,48	4,05
DC (mm)	20,49 ^{ns}	21,13	20,96	21,22	21,61	20,27	6,89
NFE	14,00 ^{ns}	13,50	13,00	13,60	13,10	13,65	4,67
NGF	28,30 ^{ns}	27,45	26,80	27,75	29,35	28,00	6,69
CE (cm)	13,83 ^{ns}	13,89	13,52	12,89	14,22	13,63	5,44
DE (mm)	43,40 ^{ns}	43,24	44,25	42,29	44,41	41,15	4,72
PMG (g)	285,13 ^{ns}	265,05	272,30	274,48	286,05	257,93	12,59
RG (kg ha ⁻¹)	6.994,07 ^{ns}	6.199,23	5.376,40	5.780,71	6.133,01	6.061,98	23,46

ns – não significativo pelo teste F a 10% de probabilidade. Médias acompanhadas por letras minúsculas não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade. * dados transformados em Raiz quadrada + 0,5.

Tabela 6. Número de plantas por metro (NPM), número de espigas por metro (NEM), número de espigas por planta (NEP), altura de plantas (AP), altura inserção da espiga (IE), diâmetro de colmo (DC), número de fileiras por espiga (NFE), número de grãos por fileira (NGF), comprimento de espiga (CE), diâmetro de espiga (DE), peso de mil grãos (PMG) e rendimento de grãos (RG) em função dos tratamentos.

Variáveis	Tratamentos						CV (%)
	CC	CN	50CC/50CN	75CC/25CN	25CC/75CN	Testemunha	
NPM	1,45 ns	1,66	1,45	1,79	1,62	1,79	14,51
NEM	1,44 ns	1,47	1,52	1,48	1,56	1,59	12,48
NEP	1,00 ns	0,9	1,07	0,83	0,98	0,88	17,75
AP (cm)	2,42 a	2,42 a	2,50 a	2,52 a	2,47 a	2,30 b	2,16
IE (cm)	1,3 ns	1,35	1,35	1,32	1,375	1,27	5,42
DC (mm)	21,05 ns	21,12	21,52	21,3	21,6	20,17	5,51
NFE	13,2 ns	13,05	13,2	13,3	13,25	13	3,87
NGF	25,3 ns	24,85	23,9	21,3	23,35	21	11,94
CE (cm)	12,3 ns	12,62	11,75	11,45	12,42	11,1	7,51
DE (mm)	41,55 ns	41,45	40,65	40,52	40,95	37,75	6,70
PMG (g)	227,00 ns	224,82	222,95	225,34	227,6	224,15	9,78
RG (kg ha ⁻¹)	4204,98 ns	4190,08	4156,02	3950,61	3963,38	3831,41	14,93*

ns – não significativo pelo teste F a 10% de probabilidade. Médias acompanhadas por letras minúsculas não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade. * dados transformados em Raiz quadrada + 0,5.

Tabela 7. Número de perfilhos (NP), número de touceiras (NT), Altura da Forrageira (AF), relação folha colmo (F/C), rendimento da forrageira fresca (REDF), massa seca (MS) do primeiro corte da forrageira Piatã.

Variáveis	Tratamentos						CV (%)
	CC	CN	50CC/50CN	75CC/25CN	25CC/75CN	Testemunha	
NP	71,5 ^{ns}	67,25	76,75	77,5	67,75	61,5	27,58
NT	5,4 ^{ns}	4,5	5,75	6,25	5	4,25	24,35
AF (cm)	135 ^{ns}	140	136	140	136	132	4,49
F/C	0,5 ^{ns}	0,55	0,5	0,5	0,52	0,47	22,53
REDF (kg ha ⁻¹)	6543,75 ^{ns}	6687,5	5518,75	5968,75	5006,25	6093,75	16,73*
MS(kg ha ⁻¹)	3060 ^{ns}	2530	2899	2670	2486	2617	28,4

ns – não significativo pelo teste F a 10% de probabilidade. Médias acompanhadas por letras minúsculas não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade. * dados transformados em Raiz quadrada + 0,5.

Tabela 8. Número de perfilhos (NP), número de touceiras (NT), Altura da Forrageira (AF), relação folha colmo (F/C), rendimento da forrageira fresca (REDF), massa seca (MS) do segundo corte da forrageira Piatã.

Variáveis	Tratamentos						CV (%)
	CC	CN	50CC/50CN	75CC/25CN	25CC/75CN	Testemunha	
NP	162 ^{ns}	167	177	159	173	154	12,18
NT	6,6 a	5,67 ab	6 ab	5 b	5 b	4,8 b	13,1
AF (cm)	63,25 bc	67 ab	71,5 a	60,17 b	64,3 b	58,9 c	6,11
F/C	4,62 ^{ns}	4,55	3,8	5,225	4,27	4,45	19,5
REDF (kg ha ⁻¹)	6900 ^{ns}	7116	6900	6150	6547	6170	16,11
MS(kg ha ⁻¹)	2767 ^{ns}	2526	2319	2240	2244	2418	19,66

ns – não significativo pelo teste F a 10% de probabilidade. Médias acompanhadas por letras minúsculas não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade. * dados transformados em Raiz quadrada + 0,5.

4. CONCLUSÕES

1. Não houve aumento nos rendimentos de grãos de milho e no rendimento de forragem de *U. brizantha*, cv. Piatã.
2. A combinação entre os corretivos convencional e nanoparticulado proporcionou as melhores respostas, alterando os atributos Ca, pH e Saturação por bases, juntamente com a dose exclusiva de corretivo nanoparticulado na camada de 0-20 cm após a colheita do milho solteiro e após o segundo corte da forrageira;
3. Ambos os corretivos sofrem efeitos do tempo e da profundidade sobre sua atuação, sendo responsivos nas camadas superficiais nos períodos iniciais.
4. A presença do capim em consórcio se refletiu na diferença das respostas dos atributos de solo entre os diferentes sistemas de cultivo de milho

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALCARDE, J. C.; RODELLA, A. A.; Qualidade e legislação de fertilizantes e corretivos. **Tópicos em Ciências do Solo.**, v. 3, p. 291-334, 2003.
- ALVES, V. M. C.; VASCONCELLOS, C. A.; FREIRE, F. M.; PITTA, G. V. E.; FRANÇA, G. E.; RODRIGUES FILHO, A.; ARAÚJO, J. M.; VIEIRA, J. R.; LOUREIRO, J. E. Milho. In: Comissão de fertilidade do solo do estado de Minas Gerais. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação.** Viçosa, MG: s.n., p. 314-316, 1999.
- ALLEONI, L.R.F.; ZAMBROSI, F.C.B.; MOREIRA, S.G.; PROCHNOW, L.I.; PAULETTI, V. Liming and electrochemical attributes of an Oxisol under no tillage. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.60, p.119-123, 2003.
- ALMEIDA, F. M. S. **Decomposição da produtividade total dos fatores da produção de milho no Brasil, 1995/96 a 2017.** Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2023.
- AMARAL, A. S.; ANCHINONI, I.; DESCHAMPS, F. C. Resíduos de plantas decobertura e mobilidade dos produtos da dissolução do calcário aplicado na superfície do solo. **Revista Brasileira Ciências do Solo**, v. 28, p. 115-123, 2004.
- ANDRADE, C.M.S. Calagem em pastagens cultivadas na Amazônia. Rio Branco: **Embrapa Acre**. 29 p. (Embrapa Acre. Documentos, 118).2010.
- ANDRADE, C.M. S., REAN A. Z., and KLEIN, M. A. "Doses de calcário para estabelecimento da *Brachiaria brizantha*, cv. Piatã, na Amazônia." In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE ZOOTECNIA**, 24., 2014, Vitória. A Zootecnia fazendo o Brasil crescer: anais. Vitória, ES: UFES, 2014., 2014.
- BRITO, A. R.; PEREIRA, H. S.; BRACHTVOGEL, E. L. Saturação por bases na integração lavoura-pecuária com cultivo de milho nos dois primeiros anos. In: **Colloquium Agrariae**. ISSN: 1809-8215. p. 58-68, 2019.
- CAIRES, E. F; BARTH, G.; GARBUIO, F. J.; KUSMAN, M.T. Correção da acidez do solo, crescimento radicular e nutrição do milho de acordo com a calagem na superfície em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 26, p. 1011-1022, 2002.
- CAIRES, E. F; CHUEIRI, W. A.; MADRUGA, E. F.; FIGUEIREDO, A. Alterações de características químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na superfície em sistema de cultivo sem preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do solo** , Viçosa, v.22, p.27-34, 1998.
- CAIRES, E. F., KUSMAN, M. T., BARTH, G., GARBUIO, F. J., & PADILHA, J. M. (2004). Alterações químicas do solo e resposta do milho à calagem e à aplicação de gesso.

Revista Brasileira de Ciência do Solo, 28, 125-136, 2004.

CANTARUTTI, R.B.; NOVAIS, R.F. Quantificação da necessidade de uso de corretivo e fertilizante em pastagens. In: **Simpósio sobre manejo de pastagem 22.**, Piracicaba. Anais Piracicaba: FEALQ, p.181-194, 2005.

COELHO, A. M.; DE RESENDE, A. V. Exigências nutricionais e adubação do milho safrinha. 2008.

CHAPLA, M. E. Calagem superficial em área de plantio direto. Disponível em <http://ri.ufmt.br/handle/1/4222>, 2017.

DE OLIVEIRA, I. P., COSTA, K. D. P., DOS SANTOS, K. J. G., & MOREIRA, F. P. **Considerações sobre a acidez dos solos de cerrado**, 2005.

DIM, V. P., ALEXANDRINO, E., SANTOS, A. C. D., MENDES, R. D. S., & SILVA, D. P. D. Características agronômicas, estruturais e bromatológicas do capim Piatã em lotação intermitente com período de descanso variável em função da altura do pasto. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, 16, 10-22, 2015.

FEBA, L. T. Ação residual e interação entre calagem e gessagem superficial na fertilidade de um solo arenoso e no estado nutricional da soja. 2020.

FERREIRA, D. F. Sisvar: A guide for its bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia**, 39(2), 118-126, 2015.

FRANCHINI, J. C.; MEDA, A. R.; CASSIOLATO, M. E.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A. Potencial de extratos de resíduos vegetais na mobilização de calcário no solo por método biológico. **Scientia Agrícola**, v.58, p.357-360, 2001.

GARCIA, G. C. Produtividade de soja e milho de segunda safra consorciado com *Urochloa* spp. em função de profundidades de correção do solo e palhadas residuais em região de cerrado. 2022.

GOMES, V. S. Utilização de nanopartículas como corretivos da acidez do solo. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 16, n. 3, p. 1-6, 2021.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA DO BRASIL – INMET. Estações Climatológicas (2022/2024). Brasília - DF. Disponível em <<https://portal.inmet.gov.br/>>2024.

KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D.S.; SANTOS, E. J. S.; GATIBONI, L.C.; BOROLUZZI, E. C.; XAVIER, F.M. Resposta de culturas à aplicação de calcário em superfície ou incorporado ao solo a partir da pastagem natural. **Ci. Rural**, v. 30, p. 605-609, 2000.

LOPES, E. E. S. Aplicação superficial de calcário e gesso em solos arenosos: atributos

químicos do solo e qualidade da pastagem de *U. brizantha*, cv. Piatã. 2020.

MALAVOLTA, E. ABC da adubação. 5 ed. rev. at. São Paulo: **Agronômica Ceres**, 1989. 292p.

MELO, P.C.D.; FURTINI N., E. Avaliação do lithothamnium como corretivo da acidez do solo e fonte de nutrientes para o feijoeiro. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 27, p. 508-51

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; FRANCHINI, J C. Evaluation of plant residues on the Mobility of surface applied lime. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v.45, n. 3, p. 251-256, 2002.

MOREIRA, S. G.; KIEHL, J. C.; PROCHNOW, L. I.; PAULETTI, V. Calagem em sistema de semeadura direta e efeitos sobre a acidez do solo, disponibilidade de nutrientes e produtividade de milho e soja. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.25, p.71-81. 2001.

PREZOTTI, L. C., OLIVEIRA, J. A., GOMES, J. A., & DADALTO, G. G. Manual de recomendação de calagem e adubação para o Estado do Espírito Santo: 5ª aproximação. 2013.

QUAGGIO, J. A. Acidez e calagem em solos tropicais. Campinas: **Instituto Agronômico**, 2000. 111 p.

SILVA, H. M. F. Calcário convencional e nanoparticulado para correção de solo e produtividade e qualidade de milho para silagem em diferentes cultivos com soja em sucessão. 2023.

SOUSA, S. S.; MOREIRA, S. G.; CASTRO G. F. de. Avaliação da fertilidade do solo por Agricultura de Precisão e Convencional. **Revista Agrogeoambiental**, Pouso Alegre, v. 8, n. 1, p. 33-46, 2016.

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

TISSI, J. A.; CAIRES, E. F.; PAULETTI, Volnei. Efeitos da calagem em semeadura direta de milho. **Bragantia**, v. 63, p. 405-413, 2004.

VELOSO, C. A. C.; ARAUJO, S. M. B.; RODRIGUES, J. E. L. F.; SILVA, A. R. **Correção da acidez do solo**. BRASIL, EC; CRAVO, MS; VIÉGAS, I. de JM, (Ed.). Recomendações de calagem e adubação para o estado do Pará. 2. ed. rev. e atual. Brasília, DF: Embrapa. p. 121-131, 2020.

VIVIANI, C. A., MARCHETTI, M. E., VITORINO, A. C. T., NOVELINO, J. O., & GONÇALVES, M. C. Disponibilidade de fósforo em dois latossolos argilosos e seu acúmulo em plantas de soja, em função do aumento do pH. **Ciência e Agrotecnologia**,

34, 61-67, 2010